

Հ Հ Կ Ր Թ Ո Ւ Թ Յ Ա Ն Ե Վ Գ Ի Տ Ո Ւ Թ Յ Ա Ն  
Ն Ա Խ Ա Ր Ա Ր Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Հ Ա Յ Ա Ս Տ Ա Ն Ի Ա Չ Գ Ա Յ Ի Ն Պ Ո Լ Ի Տ Ե Խ Ն Ի Կ Ա Կ Ա Ն  
Հ Ա Մ Ա Լ Ս Ա Ր Ա Ն

Հ Ա Ր Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն Յ Ա Ն Ա Շ Ո Տ Գ Ե Վ Ո Ր Գ Ի

Ե Ն Թ Ա Մ Ի Կ Ր Ո Ն Ա Յ Ի Ն Թ Վ Ա Յ Ի Ն Ի Ն Տ Ե Գ Ր Ա Լ  
Ս Խ Ե Մ Ա Ն Ե Ր Ո Ւ Մ Տ Ա Ր Ր Ե Ր Ի Ն Ա Խ Ն Ա Կ Ա Ն  
Տ Ե Ղ Ա Բ Ա Շ Խ Մ Ա Ն Տ Ե Ս Ա Կ Ա Ն Հ Ի Մ Ո Ւ Ն Ք Ն Ե Ր Ի Ե Վ  
Գ Ո Ր Ծ Ի Ք Ա Մ Ի Զ Ո Ց Ն Ե Ր Ի Մ Շ Ա Կ Ո Ւ Մ Ը

Ա Տ Ե Ն Ա Խ Ո Ս Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Ե .27.01 « Է Լ Ե Կ տր ո ն ի կ ա , մ ի կ թ ո ն  
ն ա ն ո Է Լ Ե Կ տր ո ն ի կ ա »  
մ ա ս ն ա գ ի տ ո Լ թ յ ա մ ք տ Ե խ ն ի կ ա կ ա ն  
գ ի տ ո Լ թ յ ո Լ ն ն Ե թ ի դ ո կ տ ո թ ի  
գ ի տ ա կ ա ն ա ս տ ի ճ ա ն ի հ ա յ ց մ ա ն հ ա մ ա թ

Գ ի տ ա կ ա ն խ ո թ ի թ դ ա տ ո Լ Վ Հ Հ Գ Ա Ա թ դ թ ա կ ի ց  
ա ն դ ա մ ,  
Հ Հ գ ի տ ո Լ թ յ ա ն վ ա ս տ ա կ ա վ ո թ  
գ ո թ ծ ի չ ,  
տ .գ .դ ., պ թ ո թ \$ .Վ .Շ .Մ Ե Լ ի թ յ ա ն

Ե թ ա ն - 2018

# ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ .....	5
ԳԼՈՒԽ 1. ԵՆԹԱՄԻԿՐՈՆԱՅԻՆ ԹՎԱՅԻՆ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՀԱՐՑԵՐԸ ԵՎ ՆԱԽՆԱԿԱՆ ՏԵՂԱԲԱԾԽՄԱՆ ԽՆԴԻՐԸ .....	16
1.1. Ենթամիկրոնային թվային ինտեգրալ սխեմաների ֆիզիկական նախագծման արդի մարտահրավերները և դրանց հաղթահարման ուղիները .....	16
1.2. Ենթամիկրոնային թվային ինտեգրալ սխեմաների ֆիզիկական նախագծման միջոցների հետագա զարգացման պահանջներին ախանջ ու մը .....	20
1.3. Ենթամիկրոնային ինտեգրալ սխեմաների ֆիզիկական նախագծման ժամանակ տեղաբաշխման խնդրի կարևորությունը .....	34
1.4. Ինտեգրալ սխեմաների ֆիզիկական նախագծման գործիքային միջոցների հնարավորություններին և կիրառությունը սահմանների վերլուծությունը .....	43
1.5. Տարրերի նախնական տեղաբաշխման խնդրի ձևայնացումը .....	48
Եզրակացություններ .....	57
.....	
ԳԼՈՒԽ 2. ՏԱՐՐԵՐԻ ՆԱԽՆԱԿԱՆ ՏԵՂԱԲԱԾԽՄԱՆ ՓՈՒԼՈՒՄ ԹՎԱՅԻՆ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ԱՐԱԳԱԳՈՐԾՈՒԹՅԱՆ	59

ԱՊԱՅՈՎՈՒՄԸ .....	
2.1.Թվային ինտեգրալ սխեմաների նախագծման երթուղին և արագագործ ության ապահովումը .....	59
2.2.Թվային ինտեգրալ սխեմաների արագագործ ության և տոպոլոգիայի կապը .....	66
2.3.Շղթաների մոդելավորումը տեղաբաշխման փուլում .....	75
2.4.Շղթաների ժամանակային պարամետրերի վերլուծությունը տեղաբաշխման խնդրի տեսանկյունից .....	87
2.5.Շղթաների ժամանակային պահուստների գնահատումը .....	96
Եզրակացություններ .....	104
.....	
ԳԼՈՒԽ 3.ԹՎԱՅԻՆ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ՏԱՐՐԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿՈՎՈՒՂՂՈՐԴՎԱԾ ՏԵՂԱԲԱՇԽՈՒՄԸ .....	106
3.1.Թվային ԻՍ-երի տարրերի ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման կարևորությունը .....	106
.	
3.2.Տարրերի նախնական տեղաբաշխումը շղթաների ժամանակային պահուստների հաշվառմամբ .....	110
3.3.Շղթաների նախնական տեղակայման վրա հիմնված տարրերի ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխումը .....	125

3.4.Շղթաներում հապաղումները հաշվառմամբ տարրերի հարաբերական տեղաբաշխումը .....	130
3.5.Ժամանակով ուղղորդված նախնական տեղաբաշխման իրագործումը և սխեմայի արագագործություն	
գնահատումը .....	135
Եզրակացություններ .....	144
.....	
ԳԼՈՒԽ 4.ԹՎԱՅԻՆ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ՏԱՐՐԵՐԻ ՁԵՐՄԱՅԻՆ ՏԵՂԱԲԱՇԽՈՒՄԸ .....	146
4.1.Ձերմային տեղաբաշխումը որպես ինտեգրալ սխեմաների հոլսալիություն քարծրացման միջոց .....	146
4.2.Ձերմային տեղաբաշխման չափանիշի մշակումը .....	152
4.3.ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխումը ջերմային ռեժիմի հաշվառմամբ .....	160
4.4.Բազմապարամետրական նախնական տեղաբաշխումը ջերմային ռեժիմի հաշվառմամբ .....	163
4.5.Եռաչափի Ս-երի տարրերի ջերմային տեղաբաշխումը .....	170
Եզրակացություններ .....	185
.....	
ԳԼՈՒԽ 5.ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ԷՆԵՐԳԱՍՊԱՌՄԱՆԵՎ ՁԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆՆԵՐԻ ՏՈՊՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԲԱՇԽՄԱՆ ԳՐԱՖԻԿԱԿԱՆ	187

ԻՆՏԵՐՖԵՅՍԻ ՄԾԱԿՈՒՄԸ ԵՎ ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ  
ՆԱԽՆԱԿԱՆ ՏԵՂԱԲԱԾ ԽՄԱՆ

ԺԱՄԱՆԱԿ .....	
5.1.Տեղաբաշխման դաշտի ջերմային մոդելավորման մեթոդների ակնարկ ...	187
5.2.Ջերմաէլեկտրական նմանակման մեթոդի կիրառումը թյունը տարրերի նախնական տեղաբաշխման փուլում .....	195
5.3.Ջերմային դաշտի արտապատկերման` օգտագործողի գրաֆիկական ինտերֆեյսի մշակումը .....	205
Եզրակացումը թյուններ .....	218
.....	
ԵԶՐԱՅԱՆԳՈՒՄ .....	219
ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ .....	222
ՅԱՎԵԼՎԱԾ 1.ՆԵՐԴՐՄԱՆ ԱԿՏ .....	236
ՅԱՎԵԼՎԱԾ 2. “INIPLACE” ծրագրային համալիրի տեքստի որոշ հատվածներ .....	237
ՅԱՎԵԼՎԱԾ 3.ՆԿԱՐՆԵՐԻ ՑԱՆԿ .....	260
ՅԱՎԵԼՎԱԾ 4.ԱՂՅՈՒՍԱԿՆԵՐԻ ՑԱՆԿ .....	266

**Ն Ե Ր Ա Ճ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն**

**Թեմայի արդիականումը թյունը**

Ի ն տ Ե գ ր ա լ ս խ Ե մ ա ն Ե ր ի (Ի Ս) ն ա խ ա գ ծ մ ա ն մ Ե թ ո ղ ն Ե ր ի  
զ ա ր գ ա ց ո ւ մ ը պ ա յ մ ա ն ա վ ո ր վ ա ծ Ե դ ր ա ն ց  
ա ր տ ա դ ր ո ւ թ յ ա ն տ Ե խ ն ո լ ո գ ի ա յ ի մ ա ս շ տ ա Բ ա վ ո ր մ ա մ Բ ,  
ո ր ը Ե ն թ ա դ ր ո ւ մ Ե լ ի տ ո գ ր ա \$ ի կ ա կ ա ն թ ո ւ յ լ ա տ ր Ե լ ի  
չ ա փ ս Ե ր ի ա ն ը ն դ հ ա տ ն վ ա գ Ե ց ո ւ մ : Տ Ե խ ն ո լ ո գ ի ա կ ա ն  
մ ա ս շ տ ա Բ ա վ ո ր մ ա ն ը գ ո ւ գ ը ն թ ա ց ` ո ւ ժ Ե ղ ա ն ո ւ մ Ե Ի Ս -  
Ե ր ի \$ ի գ ի կ ա կ ա ն ի ր ա գ ո ր ծ մ ա ն և պ ար ա մ Ե տ ր Ե ր ի  
ա գ դ Ե ց ո ւ թ յ ո ւ ն ը դ ր ա ն ց Ե լ Ե կ տ ր ա կ ա ն և  
\$ ո ւ ն կ ց ի ո ն ա լ Բ ն ո ւ թ ա գ ր Ե ր ի վ ր ա :

Ե լ Ե կ տ ր ո ն ա յ ի ն ն ա խ ա գ ծ մ ա ն ա վ տ ո մ ա տ ա ց մ ա ն  
հ ա մ ա շ խ ա ր հ ա յ ի ն ա ռ ա ջ ա տ ա ր ը ն կ Ե ր ո ւ թ յ ո ւ ն ն Ե ր ը  
(Synopsys, Cadence, Menthor Graphics (Siemens) և ա յ լ ն ) ի ր Ե ն ց վ Ե ր ջ ի ն  
հ Ե տ ա գ ո տ ո ւ թ յ ո ւ ն ն Ե ր ո ւ մ Ի Ս -Ե ր ի \$ ի գ ի կ ա կ ա ն  
ն ա խ ա գ ծ մ ա ն ա ր դ յ ո ւ ն ա վ Ե տ ո ւ թ յ ա ն Բ ա ր ձ ր ա ց մ ա ն  
հ ի մ ն ա կ ա ն ո ւ ղ ի ն տ Ե ս ն ո ւ մ Ե ն ն ա խ ա գ ծ մ ա ն ա յ ն պ ի ս ի  
մ Ե թ ո ղ ն Ե ր ի , ա լ գ ո ր ի թ մ ն Ե ր ի և Ե ր թ ո ւ ղ ի ն Ե ր ի  
ս տ Ե ղ ծ մ ա ն ո ւ կ ի ր ա ռ մ ա ն մ Ե ջ , ո ր ո ն ք Ե ա պ Ե ս  
կ կ ր ճ ա տ Ե ն ն ա խ ա գ ծ մ ա ն ի տ Ե ր ա ց ի ա ն Ե ր ի ք ա ն ա կ ը : Ա յ ս  
դ Ե պ ք ո ւ մ ն ա խ ա գ ծ մ ա ն ժ ա մ կ Ե տ ն Ե ր ի կ ր ճ ա տ ո ւ մ ը ,  
ա ռ ա ջ ի ն հ Ե ր թ ի ն ` պ ա յ մ ա ն ա վ ո ր վ ա ծ Ե լ ա վ ա ր կ մ ա ն  
փ ո ւ լ ի ժ ա մ կ Ե տ ն Ե ր ի կ ր ճ ա տ մ ա մ Բ , ո ր ն Ե լ , ի ր հ Ե ր թ ի ն ,  
մ Ե ծ ա պ Ե ս կ ա խ վ ա ծ Ե ն ա խ ն ա կ ա ն փ ո ւ լ ո վ  
պ ա յ մ ա ն ա վ ո ր վ ա ծ լ ա վ ա ր կ մ ա ն մ Ե կ ն ա ր կ ի ո ր ա կ ա կ ա ն  
Բ ն ո ւ թ ա գ ր Ե ր ի ց :

Ն Ե ր կ ա յ ո ւ մ ս տ ա ր ր Ե ր ի տ Ե ղ ա Բ ա շ խ ո ւ մ ը  
հ ա ն դ ի ս ա ն ո ւ մ Ե Ի Ս -Ե ր ի \$ ի գ ի կ ա կ ա ն ն ա խ ա գ ծ մ ա ն  
հ ի մ ն ա ր ա ր փ ո ւ լ ը , ո ր ո վ պ ա յ մ ա ն ա վ ո ր վ ո ւ մ Ե ն  
\$ ի գ ի կ ա կ ա ն ն ա խ ա գ ծ մ ա ն մ ն ա ց ա ծ Բ ո լ ո ր խ ն դ ի ր ն Ե ր ը :  
Ը ս տ ա վ ա ն դ ա կ ա ն ս ա հ մ ա ն մ ա ն ` տ Ե ղ ա Բ ա շ խ ո ւ մ ը  
տ ա ր ր Ե ր ի Ե ր կ ր ա չ ա փ ա կ ա ն ճ շ գ ր ի տ տ Ե ղ Ե ր ի ո ր ո շ ո ւ մ ն  
Ե : Ո ր պ Ե ս տ Ե ղ ա Բ ա շ խ վ ո ղ տ ա ր ր Ե ր կ ա ր ո ղ Ե ն հ ա ն դ Ե ս  
գ ա լ փ ա կ ա ն ն Ե ր ը , ս տ ա ն դ ա ր տ և մ ա կ ր ո Բ ջ ի ջ ն Ե ր ը ,  
մ տ ա վ ո ր ս Ե փ ա կ ա ն ո ւ թ յ ա ն (Մ Ս) Բ լ ո կ ն Ե ր ը և ա յ լ ն :  
Գ ո ր ծ ն ա կ ա ն ո ւ մ տ Ե ղ ա Բ ա շ խ մ ա ն ը ն դ հ ա ն ր ա ց վ ա ծ  
ձ և ա յ ն ա ց վ ա ծ չ ա փ ա ն ի շ գ ո յ ո ւ թ յ ո ւ ն չ ո ւ ն ի , ի ս կ

ի մաս տայ ի ն առ ու մ ո վ տեղ աբ աշ խ մ ան ո ր ա կ ը  
գ ն ա հ ա տ վ ու մ է ը ս տ դ ր ա ն հ ա ջ ո ր դ ո ղ ծ ր ա գ ծ մ ան խ ն դ ր ի  
հ ա մ ա ր լ ա վ ա գ ու յ ն պ ա յ մ ան ն ե ր ա պ ա հ ո վ է լ ո վ : Ս ա  
պ ա յ մ ան ա վ ո ր վ ա ծ է ա յ ն հ ան գ ա մ ան ք ո վ , ո ր  
գ ո յ ու թ յ ու ն ու ն ե ց ո ղ ն ա խ ա գ ծ մ ան հ ա մ ա կ ա ր գ ե ր ու մ  
օ գ տ ա գ ո ր ծ վ ո ղ ծ ր ա գ ծ մ ան գ ո ր ծ ի ք ն ե ր ը հ ի մ ն վ ա ծ ե ն  
ն ու յ ն ա տ ի պ ա լ գ ո ր ի թ մ ն ե ր ի վ ր ա , և հ ե տ ն ա ք ա ր `   
ն ա խ ա գ ծ ի վ ե ր ջ ն ա կ ան ո ր ա կ ա կ ան ք ն ու թ ա գ ր ե ր ն  
ա վ է լ ի շ ա տ կ ան խ ո ր ո շ վ ու մ ե ն օ գ տ ա գ ո ր ծ վ ո ղ  
տեղ աբ աշ խ մ ան գ ո ր ծ ի ք ն ե ր ի  
հ ն ա ր ա վ ո ր ու թ յ ու ն ն ե ր ո վ և ս տ ա ց վ ո ղ  
ա ր դ յ ու ն ք ն ե ր ո վ :

Յ ա մ ա ձ ա յ ն կ ի ս ա հ ա ղ ո ր դ չ ա յ ի ն  
ա ր դ յ ու ն ա ք ե ր ու թ յ ան ա ս ո ց ի ա ց ի ա յ ի  
կ ան խ ա տ ե ս ու մ ն ե ր ի ` ե ն թ ա մ ի կ ր ո ն ա յ ի ն  
տե խ ն ո լ ո գ ի ա ն ե ր ի ն ք ն ո ր ո շ ի ր ո ղ ու թ յ ու ն ն ե ր ի  
պ ա յ մ ան ն ե ր ու մ Ի Ս - ե ր ի \$ ի գ ի կ ա կ ան ն ա խ ա գ ծ մ ան  
փ ու լ ու մ , հ ի մ ն ա կ ան ք ն ու թ ա գ ր ե ր ի ք ա ր ե լ ա վ մ ան  
տե ս ա ն կ յ ու ն ի ց , առ ա վ է լ գ ե ր ա կ ա ե ն  
ա ր ա գ ա գ ո ր ծ ու թ յ ու ն ը և ջ ե ր մ ա յ ի ն ռ ե ժ ի մ ը :

Ա ր ա գ ա գ ո ր ծ ու թ յ ան ա պ ա հ ո վ մ ան կ ա ր և ո ր ու թ յ ու ն ը  
Ի Ս - ե ր ի \$ ի գ ի կ ա կ ան ն ա խ ա գ ծ մ ան փ ու լ ու մ  
պ ա յ մ ան ա վ ո ր վ ա ծ է ա յ ն հ ան գ ա մ ան ք ո վ , ո ր 90 ն ն  
ա վ է լ ի փ ո ք ր տե խ ն ո լ ո գ ի ա ն ե ր ու մ Ի Ս - ե ր ու մ  
մ ի ջ մ ի ա ց մ ան մ ի ջ ի ն հ ա պ ա ղ ու մ ը գ գ ա լ ի ո ր ե ն  
գ ե ր ա կ ա յ ու մ է տ ր ա ն գ ի ս տ ո ր ի մ ի ջ ի ն հ ա պ ա ղ մ ան ը ,  
ի ն չ ը ս խ ե մ ա յ ի ա ր ա գ ա գ ո ր ծ ու թ յ ան տե ս ա ն կ յ ու ն ի ց  
ս կ գ ք ու ն ք ո ր ե ն ն ո ր պ ա հ ա ն ջ ն ե ր է առ ա ջ ա ց ն ու մ  
տեղ աբ աշ խ մ ան խ ն դ ր ի ն և կ ա ր և ո ր վ ու մ է  
ա ր ա գ ա գ ո ր ծ ու թ յ ան ը ն պ ա ս տ ո ղ չ ա փ ա ն ի շ ն ե ր ի  
կ ի ր առ ու թ յ ու ն ը : Ա յ ս պ ե ս , օ ր ի ն ա կ , ա ր դ ե ն 32 ն ն  
տե խ ն ո լ ո գ ի ա յ ու մ 1 ն ն ե ր կ ա ր ու թ յ ան մ ի ջ մ ի ա ց մ ան  
հ ա պ ա ղ ու մ ը մ ի ք ան ի հ ա ր յ ու ր ա ն գ ա մ գ ե ր ա գ ա ն ց ու մ է  
մ ե կ փ ա կ ան ու մ ա գ դ ան շ ա ն ի հ ա պ ա ղ մ ան ը , ի ս կ  
ամ ք ո ղ ջ ա կ ան Ի Ս - ու մ հ ա պ ա ղ ու մ ն ե ր ի 80...90%-ը ք ա ժ ի ն է

ը ն կ ն ու մ մ ի ջ մ ի ա գ ու մ ն եր ի ն : Ք ա ն ի ո Ր տ ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն  
ա ր դ յ ու ն ք ն եր ո վ ե ն հ ի մ ն ա կ ա ն ու մ պ ա յ մ ա ն ա վ ո Ր վ ա ծ  
ծ ր ա գ ծ մ ա ն հ ա ջ ո ղ ու թ յ ու ն ը և մ ի ջ մ ի ա գ ու մ ն եր ի  
ե ր կ ա ր ու թ յ ու ն ը , հ ե տ ն ա ք ա ր ` տ ե ղ ա ք ա շ խ ու մ ը կ ա ր ո ղ  
է մ ե ծ ա պ ե ս ն պ ա ս տ ե լ ս խ ե մ ա յ ի ար ա գ ա գ ո Ր ծ ու թ յ ա ն  
ա պ ա հ ո վ մ ա ն ը : Ա յ դ ի ս կ պ ա տ ճ ա ռ ո վ ար ա գ ա գ ո Ր ծ ու թ յ ա ն  
ա պ ա հ ո վ մ ա ն տ ե ս ա ն կ յ ու ն ի ց ` ն ե ր կ ա յ ու մ ս Ի Ս - եր ի  
Ֆ ի գ ի կ ա կ ա ն ն ա խ ա գ ծ մ ա ն կ ա ր և ո Ր ա գ ու յ ն  
խ ն դ ի Ր ն եր ի ց է տ ա Ր Ր եր ի տ ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն ժ ա մ ա ն ա կ  
շ ղ թ ա ն եր ու մ հ ա պ ա ղ ու մ ն եր ի հ ա շ վ ի ա ռ ն ե լ ը ` ի ն չ պ ե ս  
ա ռ ա ն ձ ի ն մ ի ջ մ ի ա գ ու մ ն եր ի , ա յ ն պ ե ս է լ  
ա մ ք ո ղ ջ ա կ ա ն ն ա խ ա գ ծ ի ար ա գ ա գ ո Ր ծ ու թ յ ա ն  
ա պ ա հ ո վ մ ա ն ի մ ա ս տ ո վ : Տ ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն խ ն դ Ր ի ա յ ս պ ի ս ի  
մ ո տ ե ց ու մ ն ը ն դ ու ն վ ա ծ է ա ն վ ա ն ե լ ժ ա մ ա ն ա կ ո վ  
ու ղ ղ ո Ր դ վ ա ծ տ ե ղ ա ք ա շ խ ու մ : Ն ե ր կ ա յ ու մ ս  
է լ ե կ տ Ր ո ն ա յ ի ն ն ա խ ա գ ծ մ ա ն ա վ տ ո մ ա տ ա ց մ ա ն  
հ ա մ ա կ ար գ եր ու մ ն եր դ Ր վ ու մ ե ն ժ ա մ ա ն ա կ ո վ  
ու ղ ղ ո Ր դ վ ա ծ տ ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն ը ն պ ա ս տ ո ղ  
հ ա մ ա պ ա տ ա ս խ ա ն գ ո Ր ծ ի ք ա յ ի ն մ ի ջ ո ց ն եր :

Ե ն թ ա մ ի կ Ր ո ն ա յ ի ն Ի Ս - եր ի Ֆ ի գ ի կ ա կ ա ն ն ա խ ա գ ծ մ ա ն  
փ ու լ ու մ մ յ ու ս կ ա ր և ո Ր հ ի մ ն ա խ ն դ ի Ր ը ջ եր մ ա յ ի ն  
ռ ե ժ ի մ ի ա պ ա հ ո վ ու մ ն է : Է ն եր գ ա ս պ ա ռ մ ա ն չ ն վ ա գ ո ղ  
ք ա ր ձ Ր մ ա կ ար դ ա կ ն եր ի պ ա յ մ ա ն ն եր ու մ Ի Ս - եր ի  
ի ն տ ե գ Ր մ ա ն ա ն ը ն դ հ ա տ ա ճ ը հ ա ն գ ե ց ն ու մ է  
կ ի ս ա հ ա ղ ո Ր դ չ ա յ ի ն ք յ ու Ր ե ղ ի տ ե ս ա կ ար ար  
է ն եր գ ա ս պ ա ռ մ ա ն ա ն ը ն դ հ ա տ ա ճ ի ն , ո Ր ը , ի Ր հ եր թ ի ն  
հ ա ն գ ե ց ն ու մ է ի ն չ պ ե ս կ ի ս ա հ ա ղ ո Ր դ չ ա յ ի ն  
ք յ ու Ր ե ղ ի ջ եր մ ա ս տ ի ճ ա ն ի ք ա ր ձ Ր ա ց մ ա ն ը , ա յ ն պ ե ս է լ  
ջ եր մ ա յ ի ն գ Ր ա դ ի ե ն տ ի մ ե ծ ա ց մ ա ն ը :  
Ե ն թ ա մ ի կ Ր ո ն ա յ ի ն Ի Ս - եր ու մ կ ի ս ա հ ա ղ ո Ր դ չ ա յ ի ն  
ք յ ու Ր ե ղ ի ա շ խ ա տ ա ն ք ա յ ի ն ջ եր մ ա ս տ ի ճ ա ն ը կ ա ր ո ղ է  
գ եր ա գ ա ն ց ե լ 100°C-ը , ի ս կ ք յ ու Ր ե ղ ի տ ա Ր ք եր  
տ ե ղ ա մ ա ս եր ու մ ջ եր մ ա ս տ ի ճ ա ն ա յ ի ն  
տ ա Ր ք եր ու թ յ ու ն ն եր ը ` տ ա ս ն յ ա կ ա ս տ ի ճ ա ն ն եր ը :  
Բ ա ր ձ Ր ջ եր մ ա ս տ ի ճ ա ն ը ք ա ց ա ս ա կ ա ն ա գ դ ե ց ու թ յ ու ն է



ն Լ Ն Ե Ն Ո Լ Մ Ի Ս-Ե Ր Ի հ ո Լ ս ա լ ի ո Լ թ յ ա ն վ Ր ա: Ա յ ս տ Ե ս ա ն կ յ ո Լ Ն ի ց հ ո Լ ս ա լ ի ո Լ թ յ ա ն ք ա ր ձ Ր ա ց մ ա ն ա ր դ յ ո Լ Ն ա վ Ե տ ճ ա ն ա պ ա ր հ ը կ ա ր ո ղ Ե Լ ի ն Ե Լ կ ի ս ա հ ա ղ ո Ր դ չ ա յ ի ն ք յ ո Լ Ր Ե Ղ ի վ Ր ա տ ա ր Բ Ե Ր ի ա յ ն պ ի ս ի տ Ե ղ ա ք ա շ խ ո Լ մ ը, ո Ր ը կ ն պ ա ս տ ի ջ Ե Ր մ ա յ ի ն դ ա շ տ ի տ ո պ ո Լ ո գ ի ա կ ա ն հ ա մ ա հ ա ր թ Ե ց մ ա ն ը և ք յ ո Լ Ր Ե Ղ ի տ ա ք տ Ե ղ ա մ ա ս Ե Ր ի ջ Ե Ր մ ա ս տ ի ճ ա ն Ն Ե Ր ի ի ջ Ե ց մ ա ն ը, ո Ր ո ն ք ջ Ե Ր մ ա յ ի ն հ ո Լ ս ա լ ի ո Լ թ յ ա ն ա ճ ո Լ մ ո վ ա ճ ա վ Ե Լ վ տ ա ն գ ա վ ո Ր Ե ն:

Ի Ս-Ե Ր Ի ի ն տ Ե գ Ր մ ա ն ա ճ ի ն գ ո Լ գ ա հ Ե ռ՝ տ Ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն խ ն դ Ր ի կ ա ր և ո Ր ո Լ թ յ ա ն ա ճ ը պ ա յ մ ա ն ա վ ո Ր վ ա ծ Ե հ Ե տ և յ ա լ գ ո Ր ծ ո ն Ն Ե Ր ո վ՝

- տ Ե ղ ա ք ա շ խ մ ա մ ք հ Ե տ ա գ ա ծ Ր ա գ ծ մ ա ն ա ճ ա ջ ի ն մ ո տ ա վ ո Ր ո Լ թ յ ա մ ք ո Ր ո շ ո Լ մ ը,

- մ ի ջ մ ի ա ց ո Լ մ ն Ե Ր ի կ ա ր և ո Ր ո Լ թ յ ա ն մ Ե ծ ա ց ո Լ մ ը՝ դ Ր ա ն ց ո Լ մ ա ճ կ ա հ ա պ ա ղ ո Լ մ ն Ե Ր ի տ Ե ս ա ն կ յ ո Լ Ն ի ց,

- կ ի ս ա հ ա ղ ո Ր դ չ ա յ ի ն ք յ ո Լ Ր Ե Ղ ի վ Ր ա տ Ե ս ա կ ա ր ա ր Ե ն Ե Ր գ ա ս պ ա ճ մ ա ն ա ճ ը, ի ն չ ը հ ա ն գ Ե ց ն ո Լ մ Ե ի ն չ պ Ե ս Ի Ս-Ե Ր Ի ա շ խ ա տ ա ն ք ա յ ի ն ջ Ե Ր մ ա ս տ ի ճ ա ն Ն Ե Ր ի, ա յ ն պ Ե ս Ե Լ կ ի ս ա հ ա ղ ո Ր դ չ ա յ ի ն ք յ ո Լ Ր Ե Ղ ի տ ա ր Բ Ե Ր տ Ե ղ ա մ ա ս Ե Ր ի մ ի ջ և ջ Ե Ր մ ա յ ի ն գ Ր ա դ ի Ե ն տ ի ա ճ ի ն:

Ա մ փ ո փ Ե Լ ո վ վ Ե Ր ն ա ս վ ա ծ ը՝ կ ա ր Ե Լ ի Ե ա ս Ե Լ, ո Ր ն Ե Ր կ ա յ ո Լ մ ս հ Ր ա տ ա պ Ե դ ա ճ ն ո Լ մ, Ե ն թ ա մ ի կ Ր ո ն ա յ ի ն տ Ե խ ն ո Լ ո գ ի ա ն Ե Ր ի ն ք ն ո Ր ո շ ի Ր ո ղ ո Լ թ յ ո Լ Ն ն Ե Ր ը հ ա շ վ ի ա ճ ն Ե Լ ո վ, Ի Ս-Ե Ր Ի Ֆ ի գ ի կ ա կ ա ն ն ա խ ա գ ծ մ ա ն կ ա ր և ո Ր ա գ ո Լ յ ն փ ո Լ Լ ի՝ տ Ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն ա յ ն պ ի ս ի մ Ե թ ո դ ն Ե Ր ի և ա լ գ ո Ր ի թ մ ն Ե Ր ի մ շ ա կ ո Լ մ ը, ո Ր ո ն ք կ ա ր և ո Ր պ ա ր ա մ Ե տ Ր Ե Ր ը հ ա շ վ ի ա ճ ն Ե Լ ո վ և մ Ե ք Ե ն ա յ ա կ ա ն փ ո ք Ր ճ Ե ս ո Լ Ր ս ն Ե Ր օ գ տ ա գ ո Ր ծ Ե Լ ո վ՝ կ ա պ ա հ ո վ Ե ն ա ն հ Ր ա ժ Ե շ տ ո Ր ա կ ի ն ա խ ն ա կ ա ն Լ ո Լ ծ ո Լ մ ն Ե Ր, ո Ր ո ն ք, ի Ր Ե ն ց հ Ե Ր թ ի ն, կ ա ր ո ղ Ե ն մ Ե կ ն ա ր կ ա յ ի ն Լ ա վ պ ա յ մ ա ն ն Ե Ր ա պ ա հ ո վ Ե Լ Լ ա վ ա ր կ մ ա ն փ ո Լ Լ ի հ ա մ ա ր, դ Ր ա ն ո վ ի ս կ ք ա ր ձ Ր ա ց ն Ե Լ ո վ ն ա խ ա գ ծ մ ա ն ո Ր ա կ ը և կ Ր ճ ա տ Ե Լ ո վ գ ո Ր ծ ը ն թ ա ց ի ժ ա մ կ Ե տ ն Ե Ր ը: Ե Լ ն Ե Լ ո վ ն կ ա ր ա գ Ր վ ա ծ

խնդրի կարևորությունից՝ ներկայումս ինտենսիվ աշխատանքներ են կատարվում թվային ԻՍ-երում տարրերի նախնական տեղաբաշխման այնպիսի միջոցների ստեղծման ուղղությամբ, որոնք, հաշվի առնելով ժամանակակից ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաները, կարող են նախագծվող ԻՍ-երի անհրաժեշտ որակը, ինչպես նաև կնպաստեն նախագծման գործընթացի արդյունավետության բարձրացմանը:

Չնայած նշված խնդրի լուծման ուղղությամբ ձեռք բերված որոշակի հաջողություններին, առկա միջոցներում՝

- նախագծվող ԻՍ-երի արագագործության տեսանկյունից հիմնական շեշտը դրվում է տեղաբաշխման օպտիմալացման փուլի վրա, ինչը, ինտեգրման անշեղաճի պայմաններում, հանգեցնում է նախագծման ժամկետների անհարկի մեծացման;

- ջերմային տեղաբաշխումը դիտարկվում է այլ կարևոր պարամետրերից անկախ, իսկ արդյունաբերական գործիքամիջոցներում այն ընդհանրապես չի դիտարկվում,

- բացակայում է ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաներով թելադրված կարևոր պարամետրերը համատեղ հաշվի առնող ընդհանրացված բազմապարամետրական մոտեցումը ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման ժամանակ:

Այդ իսկ պատճառով ներկայումս առաջացել է ենթամիկրոնային թվային ԻՍ-երում տարրերի նախնական տեղաբաշխման տեսական հիմունքների և գործիքամիջոցների ստեղծման ծայրահեղ անհրաժեշտություն:

Մասնավորապես՝ հրատապ են դառնում.

• նախագծման վաղ փուլներում միջմիացումները ժամանակային պարամետրերի գնահատման նոր և ավարկված միջոցների մշակումը,

• միջմիացումների դերի բարձրացմանը գույքընթաց՝ դրանց նոր և ավարկված մոդելների մշակումը,

• ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման այնպիսի չափանիշների և գործիքամիջոցների մշակումը, որոնք հաշվի կառնեն հետագա միջմիացումներում ենթադրվող հապաղումները և թույլ կտան դրանցով կառավարել տեղաբաշխման գործընթացը,

• ենթամիկրոնային ԻՍ-երի տարրերի ջերմային տեղաբաշխման այնպիսի չափանիշների և գործիքամիջոցների մշակումը, որոնք, նախագծային այլ բնութագրերի ընդունելի փոխզիջման պայմաններում, կապահովեն կիսահաղորդչային բյուրեղի ջերմային դաշտի տոպոլոգիական համահարթեցումը,

• ԻՍ-երի տարրերի նախնական տեղաբաշխման բազմապարամետրական մեթոդների և ալգորիթմների մշակումը,

• ԻՍ-երի ֆիզիկական կառուցվածքների ջերմային ռեժիմի մոդելավորման և գրաֆիկական արտապատկերման այնպիսի միջոցների մշակումը, որոնք հարմարեցված կլինեն տարրերի նախնական տեղաբաշխման փուլում օգտագործման համար:

**Յ Ե տ ա գ ո տ ո ւ թ յ ա ն առ ար կ ա ն**

Ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաներին բնորոշ իրողությունների հաշվառմամբ՝ ԻՍ-երի տարրերի նախնական տեղաբաշխման մեթոդական, մաթեմատիկական, ալգորիթմական և ծրագրային-գործիքային ապահովման միջոցներ:

**Ա շ խ ա տ ա ն ք ի ն պ ա տ ա կ ր**

Ենթամիկրոնային թվային ԻՍ-երի տարրերի նախնական տեղաբաշխման տեսական հիմունքների, մոդելների, մեթոդների, ալգորիթմների և համապատասխան գործիքամիջոցների մշակումը:

Այդ խնդրի լուծումը կարելի է դասակարգել որպես ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման միջոցների մշակման գիտականորեն հիմնավորված տեխնիկական այնպիսի լուծում, որը հիմնավորապես կնպաստի բնագավառի գիտատեխնիկական առաջընթացին:

### **Յ Ե տ ա գ ո ս մ ա ն մ Ե թ ո դ ն Ե ր ը**

Ատենախոսու թյան կատարման ընթացքում օգտագործվել են թվային ԻՍ-երի ֆիզիկական սինթեզի և վերլուծության մեթոդները, ստատիկ ժամանակային վերլուծության տեսությունը, ջերմափոխանակության տեսությունը, գրաֆների տեսությունը, կոմբինատորական օպտիմալացման մեթոդները:

### **Գ Ի տ ա կ ա ն ն ո ր ո ւ յ թ ը**

Ատենախոսու թյունում մշակված են նոր մեթոդներ, չափանիշներ, մոդելներ և ալգորիթմներ, որոնց գիտական նորույթը հանգում է հետևյալին.

- Առաջադրվել է ԻՍ-երի տարրերի նախնական տեղաբաշխման խնդրի ձևայնացված դրվածքը՝ որպես բազմապարամետրական քառակուսային նշանակման խնդիր, ինչը թույլ է տվել խնդրի լուծումը կազմակերպել արագագործ հաշորդական տեղաբաշխման ընթացակարգերով, միաժամանակ հաշվի առնելով ինչպես տարրերի միջև էլեկտրական կապվածությունը, այնպես էլ միջմիացումներով պայմանավորված հապաղումները և ջերմային ռեժիմը:

- Առաջարկվել են ենթամիկրոնային թվային ԻՍ-երի տարրերի՝ ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման չափանիշ և մեթոդ, որոնք նախնական տեղաբաշխման փուլում ապահովում են ապագա միջմիացումների երկարությունների կառավարումը՝ ըստ համապատասխան շղթաներում ժամանակային պահուստների, հանգեցնելով որոշիչ շղթաների միջմիացումների երկարությունների կրճատմանը՝ ոչ որոշիչ շղթաների երկարությունների համամասնական աճի հաշվին, դրանով իսկ նպաստելով սխեմայի արագագործության բարձրացմանը:
- Մշակվել են ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման վաղ փուլներում բազմաճյուղ շղթաների երկարությունների մոդելավորման և գնահատման նոր մեթոդ և ալգորիթմ, որոնք, ներկայումս օգտագործվող կիսապարագային մոդելի բազմամակարդակ հիերարխիկական ներկայացման հաշվին, ապահովում է ծտեյների նվազագույն ծառի մոդելին համեմատելի ճշտությամբ՝ անհամեմատ փոքր բարդությամբ ու նպայմաններում:
- Առաջարկվել են ԻՍ-երի տարրերի նախնական տեղաբաշխման նոր՝ ինքնատիպ սկզբունք, ալգորիթմ և գործիքամիջոց, որոնք, ի տարբերություն գոյություն ունեցողների, շղթաների նախնական տեղաբաշխման հաշվին ապահովում է շղթաների ժամանակային պարամետրերի և երկարությունների համամասնություն՝ դրանով իսկ նպաստելով սխեմայի մոլտքեր-ելքեր ուղիների ժամանակային համահավասարեցմանը:
- Մշակվել և տեսականորեն հիմնավորվել է ԻՍ-երի տարրերի նախնական ջերմային տեղաբաշխման նոր չափանիշ, որը, հիմքում ունենալով տարրերի կողմից էներգասպառման հավասարաչափ

տոպոլոգիական բաշխումը, նպաստում է կիսահաղորդչային բյուրեղի վրա ջերմային դաշտի համահարթեցմանը և ԻՍ-ի ջերմային հոսքի ուղղության բարձրացմանը: Չափանիշի մաթեմատիկական տեսքը թույլ է տալիս այն համադրել էլեկտրական կապվածության չափանիշի հետևաբար նախնական տեղաբաշխման փոփոխում օգտագործել ԻՍ-ի տարրերի տեղաբաշխմանը նդհանրացված չափանիշի տեսքով:

– Առաջարկվել են եռաչափ ԻՍ-երի տարրերի նախնական տեղաբաշխման բազմապարամետրական արագագործ մեթոդ և գործիքամիջոց, ինչը, շնորհիվ երկչափ նախնական տեղաբաշխման հայտնի մեթոդների համադրման, թույլ է տալիս միաժամանակ հաշվի առնել տարրերի միջև էլեկտրական կապվածությունը և ջերմային դաշտի համահարթեցումը:

– Մշակվել են ջերմաէլեկտրական նմանակման սկզբունքի վրա հիմնված՝ ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման ջերմային դաշտի մոդելավորման և գրաֆիկական արտապատկերման մեթոդ և համապատասխան գործիքամիջոց, որոնք հնարավորություն են տալիս օգտագործողին՝ երկխոսական ճանապարհով կայացնելու վճիռներ տարրերի ջերմային տեղաբաշխման տեսանկյունից, ինչպես նաև ապահովելու անհրաժեշտ փոխզույգում հաշվարկների ճշտության և մոդելավորման ժամանակի միջև:

**Պաշտպանություններ կայացվող դրոյթները**

– ԻՍ-երի տարրերի՝ ժամանակով ուղղորդված նախնական տեղաբաշխման սկզբունքը, չափանիշը, մեթոդը, ալգորիթմը և գործիքամիջոցը;

- ԻՍ-ե ր ի տար ր ե ր ի ջ ե ր մ ա յ ի ն ն ախն ա կ ան տեղ աբ աշ խմ ան ս կ գ բ ու ն ք ը , չ ափ ա ն ի շ ը , մ ե թ ո դ ը և ալ գ ո թ ի թ մ ը ;
- ԻՍ-ե ր ի տար ր ե ր ի բ ազ մ ապար ամ ե տր ա կ ան ն ախն ա կ ան տեղ աբ աշ խմ ան չ ափ ա ն ի շ ը , մ ե թ ո դ ը և ալ գ ո թ ի թ մ ը ;
- Ե ռ ա չ ա փ ԻՍ-ե ր ի տար ր ե ր ի բ ազ մ ապար ամ ե տր ա կ ան ն ախն ա կ ան տեղ աբ աշ խմ ան մ ե թ ո դ ը և գ ո թ ծ ի ք ա մ ի ջ ո գ ը ;
- ԻՍ-ե ր ի տար ր ե ր ի տեղ աբ աշ խմ ան ջ ե ր մ ա յ ի ն դ աշ տ ի մ ո դ ե լ ա վ ո թ մ ան և գ ռ ա \$ ի կ ա կ ան ար տապատկ ե թ մ ան ի ն տե ր ա կ տ ի վ մ ի ջ ո գ ը :

**Աշխատանքի գործնական արժեքը**

Ատե ն ախն ս ու թ յ ան բ ու լ ո թ հ ի մ ն ա կ ան տե ս ա կ ան ար դ յ ու ն ք ն ե թ ն ի ր ա գ ո թ ծ վ ե լ ե ն ե ն թ ա մ ի կ թ ո ն ա յ ի ն թ վ ա յ ի ն ԻՍ-ե ր ի տար ր ե ր ի ն ախն ա կ ա կ ան տեղ աբ աշ խմ ան “INIPLACE” ծ ռ ա գ ռ ա յ ի ն հ ա մ ալ ի թ ու մ և փ ո թ ծ ար կ վ ե լ ե ն ի թ ա կ ան չ ափ ո դ ա կ ան ու թ յ ան թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ան ե թ ի (ISCAS85 թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ան ե թ ի շ ար ք ի , ORCA, Chip Top, Open SPARC, Power PC պ թ ո գ ե ս ո թ ն ե թ ի շ ար ք ի և ա յ լ ն ) օ թ ի ն ա կ ն ե թ ո վ : “INIPLACE” ծ ռ ա գ ռ ա յ ի ն հ ա մ ալ ի թ ը կ ազ մ վ ա ծ ե ե թ ե ք գ ո թ ծ ի ք ա մ ի ջ ո գ ն ե թ ի ց .

1. թ վ ա յ ի ն ԻՍ-ե ր ի տար ր ե ր ի ժ ա մ ան ա կ ո վ ու դ ո թ ո դ վ ա ծ ն ախն ա կ ան տեղ աբ աշ խմ ան ,
2. թ վ ա յ ի ն ԻՍ-ե ր ի տար ր ե ր ի ե ռ ա չ ա փ տեղ աբ աշ խմ ան ,
3. տեղ աբ աշ խմ ան ջ ե ր մ ա յ ի ն դ աշ տ ի մ ո դ ե լ ա վ ո թ մ ան և գ ռ ա \$ ի կ ա կ ան ի ն տե ր ա կ տ ի վ ար տապատկ ե թ մ ան :

Մ շ ա կ վ ա ծ մ ի ջ ո գ ն ե թ ը կ ար ո ղ ե ն օ գ տ ա գ ո թ ծ վ ե լ ի ն չ պ ե ս ի ն ք ն ա վ ար գ ո թ ծ ի ք ն ե թ ի տե ս ք ո վ , ա յ ն պ ե ս Է լ ի ն տե գ թ վ ե լ գ ո յ ու թ յ ու ն ու ն ե գ ո ղ Է լ ե կ տ թ ո ն ա յ ի ն ն ախա գ ծ մ ան ա վ տ ո մ ա տ ա գ մ ան հ ա մ ա կ ար գ ե թ ու մ` ԻՍ-ե ր ի տար ր ե ր ի ն ախն ա կ ան տեղ աբ աշ խմ ան և ար դ յ ու ն ք ն ե թ ի վ ե թ լ ու ծ ու թ յ ան ն պ ա տ ա կ ո վ :

Ճրագրային համալիրի՝ տարիներին ընթացքում օգտագործելու փորձը, ինչպես նաև նրա համեմատությունը այլ ծրագրերի հետցույց է տվել “INIPLACE” - ի բարձր արդյունավետությունը: Ի տարբերություն գոյություն ունեցող համակարգերի, այն թույլ է տալիս իրագործել թվային ԻՍ-երում տարրերի բազմապարամետրական նախնական տեղաբաշխում, միաժամանակ հաշվի առնելով ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաների բնորոշ այնպիսի կարևոր պարամետրեր, ինչպիսիք են ազդանշանների հապաղումները միջմիացումներում և ջերմային ռեժիմը, դրանով իսկ նպաստելով նախագծվող ԻՍ-երի արագագործության և ջերմային հուսալիության բարձրացմանը:

**Գիտական դրույթների հավաստիությունը**

հիմնավորված է ստացված գիտական արդյունքների տեսական հիմնավորմամբ և գործնական իրագործման թեստային օրինակների արդյունքների համեմատական վերլուծությամբ:

**Ներդրումը**

Ատենախոսության հիման վրա մշակված ենթամիկրոնային թվային ԻՍ-երի տարրերի նախնական տեղաբաշխման “INIPLACE” ծրագրային համալիրը ներդրված է Սինոփսիս Արմենիա ՓԲԸ-ում: Այն օգտագործվում է ինչպես տարրերի նախնական տեղաբաշխման ինքնավար գործիքամիջոց, այնպես էլ Սինոփսիս ընկերության ֆիզիկական սինթեզի IC Compiler գործիքամիջոցի հետիստեգրված:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները ընկած են ՀՀ կրթության և գիտության



նախարարության Գիտությունների պետական կոմիտեյի գիտական և գիտատեխնիկական գործունեության պայմանագրային (թեմատիկ) ֆինանսավորմամբ «Խորը ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաների» բնորոշ իրողությունները հաշվի առնող ինտեգրալ սխեմաների ֆիզիկական նախագծման միջոցների մշակում» 13-2I130 թեմայի հիմքում:

Ատենախոսության առանձին արդյունքներ ներառված են ՀՀ ԿԳՆ ԳՊԿ և Հիմնարար հետազոտություններին Բելառուսական հանրապետական հիմնադրամի «ՀՀ ԿԳՆ ԳՊԿ - ՀԲՀՀ - 2011» միջազգային մրցույթի շրջանակներում իրականացված «Պատվիրված թվային գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների էներգասպառման գնահատման և փոքրացման մեթոդների մշակում» 11PB-002 ծրագրի և «ՀՀ ԿԳՆ ԳՊԿ - ՀՀԲՀՀ - 2014» մրցույթի շրջանակներում իրականացված «Թվային ԳՄԻՍ-երի էներգասպառման նվազեցումը դրանց ֆունկցիոնալ և կառուցվածքային նկարագրություններին լավարկման հիման վրա» 13PB-045 ծրագրի թեմաներում:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները ներառված են նաև միկրոէլեկտրոնիկայի էվրոպական միջհամալսարանական կենտրոնի (IMEC, Բելգիա). «90 նմ թվային նախագծում» նախագծի շրջանակներում ստեղծված նյութերում, ինչպես նաև Սինոֆուսիս Արմենիա ՓԲԸ ուսումնական դեպարտամենտում տեխնոլոգիական տարբեր նորմերին (90 նմ, 32/28 նմ և 14 նմ) համապատասխան մշակված միջարք նախագծային հավաքածուներում, որոնք ներդրվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում, Երևանի պետական համալսարանում, էվրոպական տարածաշրջանային ակադեմիայում, Հայ-Ռուսական

համալսարանում և Մոսկվայի ազգային հետազոտական համալսարանում (МИЭТ):

Ատենախոսություն արդյունքները ներառված են Սինոփսիս Արմենիա ՓԲԸ-ում մշակված միջարք համալիրներում, որոնք ներդրվել են՝ Սինոփսիս Արմենիա ընկերության ուսումնական դեպարտամենտում, Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում, Երևանի պետական համալսարանում, Եվրոպական տարածաշրջանային ակադեմիայում, Հայ-Ռուսական (Սլավոնական) համալսարանում և Մոսկվայի ազգային հետազոտական համալսարանում (МИЭТ):

**Աշխատանքի փորձաքննությունը**

Ձեկնուցումներ գիտաժողովներում և սիմպոզիումներում.

- IEEE «Արելելք - արելմոտք նախագծման և թեստավորման սիմպոզիում» (EWDTS'17), (Նովի Սադ, Սերբիա, 2017);
- IEEE «Էլեկտրոնիկա եւ նանոտեխնոլոգիաներ» 35-րդ միջազգային գիտաժողով, (ELNANO), (Կիել, Ուկրաինա, 2017);
- «Ժամանակակից տեղեկատվական և էլեկտրոնային տեխնոլոգիաներ» միջազգային գիտաժողովական գիտաժողովներ (SIET-7, 8, 9), (Օդեսա, Ուկրաինա, 2006, 2007, 2008);
- «Էլեկտրոնիկա և նանոտեխնոլոգիաներ» միջազգային գիտատեխնիկական գիտաժողովներ ЭЛНАНО-XXIX, XXX, XXXI (Կիել, Ուկրաինա, 2009, 2010, 2011);
- «Հեռակարային միկրոեւ նանոէլեկտրոնային համակարգերի զարգացման պրոբլեմները» համառուսաստանյան գիտատեխնիկական

գիտաժողովներ MՅC-III, V, VI, VII (Մոսկվա, Ռուսաստան, 2008, 2012, 2014, 2016);

- «Կիսահաղորդչային միկրոն և նանոէլեկտրոնիկա» միջազգային 6 և 11 գիտաժողովներ (Երեւան, Յայաստան, 2007, 2011);
- ՀԱՊՀ (Պոլիտեխնիկ) պրոֆեսորադասախոսական կազմի տարեկան գիտատեխնիկական գիտաժողովներ (Երեւան, Յայաստան, 2006, 2016);
- ՀՌՀ 3-րդ տարեկան գիտաժողով (Երեւան, Յայաստան, 2008);
- ՀՀ ԳԱԱ ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմներին նստիտուտի գիտական սեմինար (Երեւան, Յայաստան, 2018);
- «Միկրոէլեկտրոնային սխեմաներ և համակարգեր» ամբիոնի գիտական սեմինարներ (Երեւան, Յայաստան, 2005-2017):

**Հրապարակումներ:**

Ատենախոսական աշխատանքի հիմնական դրոյթները ներկայացված են 34 գիտական հրապարակումներում: Ատենախոսությունները ներառված են երեք պետբյուջետային գիտահետազոտական թեմաների հաշվետվություններում, որոնցում հեղինակը եղել ավագ գիտաշխատող՝ պատասխանատու կատարող:

**Ատենախոսություն կառուցվածքը և ծավալը:**

Ատենախոսությունները բաղկացած են երածություններից, 5 գլուխներից, եզրահանգումից, 189 անուն գրականություններից և 4 հավելվածներից (առաջին հավելվածում բերված է ատենախոսությունների րման ակտը, երկրորդ հավելվածում՝

Ենթամիկրոնային թվային ԻՍ-երի տարրերի նախնական տեղաբաշխման “INIPLACE” ծրագրային համալիրի տեքստից հատվածներ, երրորդ և չորրորդ հավելվածները ներկայացնում են ատենախոսու թյունում օգտագործված նկարների և աղյուսակների ցանկերը): Հիմնական տեքստը կազմում է 235 էջ, որում ընդգրկված են 105 նկար և 11 աղյուսակ: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը, հավելվածների հետմիասին, կազմում է 266 էջ:

**Գ Լ ՈՒ Խ 1. Ե Ն Թ Ա Մ Ի Կ Ր Ո Ն Ա Յ Ի Ն Թ Վ Ա Յ Ի Ն  
Ի Ն Տ Ե Գ Ր Ա Լ Ս Խ Ե Մ Ա Ն Ե Ր Ի Ֆ Ի Զ Ի Կ Ա Կ Ա Ն  
Ն Ա Խ Ա Գ Ճ Մ Ա Ն Ը Ն Դ Յ Ա Ն ՈՒ Ր Յ Ա Ր Ց Ե Ր Ը Ե Վ  
Ն Ա Խ Ն Ա Կ Ա Ն Տ Ե Ղ Ա Բ Ա Շ Խ Մ Ա Ն Խ Ն Դ Ի Ր Ը**

**1.1. Ենթամիկրոնային թվային ինտեգրալ սխեմաների ֆիզիկական նախագծման արդի մարտահրավերները և դրանց հաղթահարման ուղիները**

ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման հետ առնչվող հիմնական պարամետրերի զարգացման միտումները և ապագա կանխատեսումները, համաձայն կիսահաղորդչային արդյունաբերության ասոցիացիայի կանխատեսումների, ներկայացված են աղ.1.1-ում [1,2]:

Աղյուսակ 1.1

ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման առնչվող հիմնական պարամետրերի զարգացումը

Թվական	2009	2012	2015	2018	2021	2024	2030
Տեխնոլոգիան (նմ)	45	32	16/14	8/7	6/5	4/3	2/1,5
Փականի երկարություն	32	25	22	15,7	11,1	7,9	5

ը (ՆՄ)							
Սնուցման լարումը (Վ)	3,3	1,2	0,8	0,7	0,65	0,55	0,4
Միջմիացման նվազագույն լայնությունը (ՆՄ)	45	32	16/14	11/10	8/7	4/3	2/1,5
Միջմիացման տեսակարար դիմադրությունը (ՕՄ/ՄԿՄ)	15	25	40	130	800	3000	3000
Միջմիացման տեսակարար ունակությունը (աՑ/ՄԿՄ)	215	210	200	190	180	180	180
Միջշերտային մեկանցման դիմադրությունը (ՕՄ)	3,5	5	10	15	20	35	35
Բյուրեղի մակերեսը (ՄՄ <sup>2</sup> )	750	750	750	750	750	750	750
Միջին տեսակարար էներգապառումը (Վտ/ՄՄ <sup>2</sup> )	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,4

Աղյուսակ 1.1-ի շարունակությունը

Միջուկի սնուցման նվազագույն լարումը (Վ)	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Արագագործությու նը (ԳՅԳ)	5,45	6,82	8,52	10,65	13,32	15,41	18
Թ-նանցման առավելագույն ջերմաստիճանը (°C)	105	105	105	105	105	105	105
Ծահագործման առավելագույն ջերմաստիճանա յին միջակայքը (°C)	-40... 150	-40... 150	-40... 150	-40... 150	-40... 150	-40... 150	-40... 150
Օդի օպտիմալ հոսքի դեպքում	45	45	45	45	45	45	45

ԻՍ-ի իրանի շրջապատի ջերմաստիճանը (°C)							
--	--	--	--	--	--	--	--

Յաշվի առնելով աղյուսակում բերված տվյալները և հիմնվելով ԻՍ-երի զարգացման արդի վիճակի վրա [1-13], կարելի է առանձնացնել ԻՍ-երի խորը ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաներին բնորոշ հետևյալ հիմնական իրողությունները և դրանց հաղթահարմանը միտված ֆիզիկական նախագծման խնդիրները.

**Գերբարձր արագագործությունը և միջմիացումների աճող կարևորությունը:** Ինչպես հայտնի է, ԻՍ-երի տեխնոլոգիական չափսերի փոքրացմանը և ինտեգրման աստիճանի մեծացմանը գուցենթաց՝ միջմիացումներով պայմանավորված հապաղումների մասնաբաժինն ընդհանուր ուղացման մեջ աճում է և ներկայումս հասնում է ընդհուպ մինչև ազդանշանի գումարային հապաղման 80...90%-ին [1,13]: Այդ հապաղումները պայմանավորված են միջմիացումների պարագիտային պարամետրերով, որոնք, որոշակի տեխնոլոգիայի դեպքում, իրենց հերթին, կախված են միջմիացումների երկրաչափական չափերից (հիմնականում երկարություններին): Այդ երկարությունները որոշվում են միջմիացումների ծրագծումից հետո, որի արդյունքները զգալիորեն կանխորոշվում են տարրերի տեղաբաշխմամբ:

Այս խնդրի լուծման արդյունավետ ճանապարհ կարող են լինել, ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման այնպիսի մեթոդներ և ալգորիթմների մշակումն ու օգտագործումը, որոնք հաշվի կառնեն միջմիացումներով պայմանավորված հապաղումների ազդեցությունը դրանց արագագործության վրա: ԻՍ-երի արագագործության

ապահովման տեսանկյունից ներկայումս ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման կարևորագույն խնդիրներինց է համարվում տարրերի տեղաբաշխման այնպիսի մեթոդների մշակումը, որոնք հիմնվելով սխեմայի արագագործություն վերլուծության վրա՝ թույլ են տալիս, դեռևս տեղաբաշխման փուլում, կառավարել ապագա միջմիացումների երկարությունները, դրանով իսկ նպաստելով սխեմայի արագագործության բարձրացմանը: Տեղաբաշխման այնպիսի մոտեցումը կանվանենք ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխում: Ներկայումս ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման մեթոդները և համապատասխան գործիքային միջոցները ինտենսիվորեն ներդրվում են ԻՍ-երի էլեկտրոնային նախագծման ավտոմատացման համակարգերում [14-16]:

**Մեծ տեսակարար է ներգասպառումը:** Համաձայն կիսահաղորդչային արդյունաբերության ասոցիացիայի տվյալների [1, 2, 13]՝ ժամանակակից ԻՍ-երի բացարձակ էներգասպառումը հասնում է 100...150 Վտ-ի, իսկ միջին տեսակարար էներգասպառումը՝ 0,5...0,75 Վտ/մմ<sup>2</sup>-ի: Առաջիկա տասնամյակում կանխատեսվում է տեսակարար էներգասպառման աճ մինչև 1,35 Վտ/մմ<sup>2</sup> [1,2, 8, 17]: Եթե հաշվի առնվի այն հանգամանքը, որ ժամանակակից ԻՍ-երի իրանների՝  $p/n$  անցումից շրջակա միջավայր ջերմային դիմադրությունը կազմում է մոտ 0,2 °C/Վտ, ապա պարզ կդառնա, որ շրջակա միջավայրի 25°C ջերմաստիճանի պայմաններում ԻՍ-ի բյուրեղի վրա միջին ջերմաստիճանը կարող է հասնել ընդհուպ մինչև 75°C-ի: Արագագործ պրոցեսորային ԻՍ-երում այդ ջերմաստիճանը կարող է հասնել մինչև 100°C-ի, իսկ կիսահաղորդչային բյուրեղի տարբեր տեղամասերի տեղային ջերմաստիճանների տարբերությունը՝ 10...20°C-ի [8, 9]: Տեսակարար էներգասպառման մեծացումը

ն չ միայն խստացնում է ԻՍ-ի պատենավորման և ջերմահեռացման համակարգի վրա դրվող պահանջները, այլ և առաջացնում է հոլսալիոլթյան հիմնահարցեր, քանի որ ԻՍ-ի անխափան աշխատանքի միջին ժամանակը, ջերմաստճանից կախված, նվազում է էքսպոնենտային օրինաչափությամբ [18-20]: Որպես օրինակ՝ միջին բարդություն ԻՍ-երի արագացված ռեժիմներում փորձարկումները ցույց են տվել, որ դրանցում կիսահաղորդչային բյուրեղի ջերմաստիճանի 60°C-ից մինչև 125°C բարձրացման դեպքում ծառայության ժամկետը 50...75 տարուց իջնում է մինչև 1000...1500 ժամի [19]:

Այս խնդրի լուծման արդյունավետ ճանապարհներինց մեկը ԻՍ-երի \$իզիկական նախագծման այնպիսի մեթոդների և ալգորիթմների մշակումն ու օգտագործումն է, որոնք կապահովեն կիսահաղորդչային բյուրեղի ամբողջ մակերեսով ջերմային դաշտի համահարթեցումը, դրանով իսկ նվազեցնելով ամենատաք տեղամասերի ջերմաստիճանները և բարձրացնելով ԻՍ-երի հոլսալիոլթյունը [15-22]:

**Սնուցման և ազդանշանային լարումների ցածր մակարդակը:** Տեսակարար են երգասպառման աճին զուգընթաց՝ սնուցման լարման մակարդակի իջեցումը սնուցման շղթաներում հանգեցնում է տեսակարար հոսանքի աճի և միջմիացումների ռեգիստիվ բնույթի պատճառով այդ շղթաներում զգալիորեն աճում են լարման անկումները: IR անկում անվամբ հայտնի այս երևույթը զգալիորեն ազդում է ԻՍ-երի ջերմային ռեժիմի վրա և նվազեցնում դրանց հոլսալիոլթյունը [20]: Այդ պատճառով ԻՍ-երի \$իզիկական նախագծման էլեկտրոնային նախագծման ավտոմատացման ժամանակակից համակարգերում ներդրվում են այդ երևույթի դեմ պայքարի համապատասխան միջոցներ [15]:



Ազդանշանային լարման մակարդակի իջեցումը վտանգավոր է դարձնում միջմիացումներում լարման անկումը, որի հետևանքով փոքրանում է ԻՍ-երի աղմկակայունությունը [23-25]:

Խոր ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաներին բնորոշ իրողությունները հաշվի առնելու տեսանկյունից՝ նախագծային առաջատար ընկերությունները կարևորում են նաև համապատասխան տեխնոլոգիաներով նախագծվող տարրային հենքի մշակման առաջնահերթությունը: Մասնավորապես, ընդգծվում է նոր սերնդի գրադարանային բջիջների մշակմանն առնչվող խնդիրների կարևորությունը [26]:

Այս պատճառով ներկայումս անցում է կատարվում եռաչափ փականով տրանզիստորների վրա կառուցված բջիջների նախագծմանը, ինչը նպաստում է կորստի հոսանքի զգալի նվազեցմանը, դրանով իսկ փոքրացնելով էներգապառումը [4, 5, 27]:

Ընդհանրացնելով վերը շարադրվածը՝ կարելի է եզրակացնել .

1. Ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաներին բնորոշ իրողությունները նոր պահանջներ են առաջադրում ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման տեսանկյունից: Այդ պահանջներից առավել կարևորվում են՝

- միջմիացումներում ազդանշանի հապաղման գերակայությունը տրանզիստորներում առաջացող հապաղումների համեմատ,
- կիսահաղորդչային բյուրեղի վրա բարձր ջերմաստիճանով և մեծ ջերմային գրադիենտով տիրույթների առաջացումը:

2. ԻՍ-երի ինտեգրման աճին զուգընթաց՝ անշեղորեն աճում է այդ պահանջների կարևորությունը, և ներկայումս, առանց դրանք անհրաժեշտ չափով հաշվի առնելու, հնարավոր չէ

ապահովել նախագծվող ԻՍ-երի բավարար հոլսալի ու թյունն ու աշխատող նակ ու թյունը:

3. Դրանք որակապես նոր պահանջներ են առաջացնում՝ ինչպես ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման համապատասխան մեթոդների մշակման, այնպես էլ նախագծման գործընթացի կազմակերպման արդյունավետության բարձրացման տեսանկյունից:

**1.2. Ենթամիկրոնային թվային ինտեգրալ սխեմաների ֆիզիկական նախագծման միջոցների հետազոտարգացման պահանջների նախանշումը**

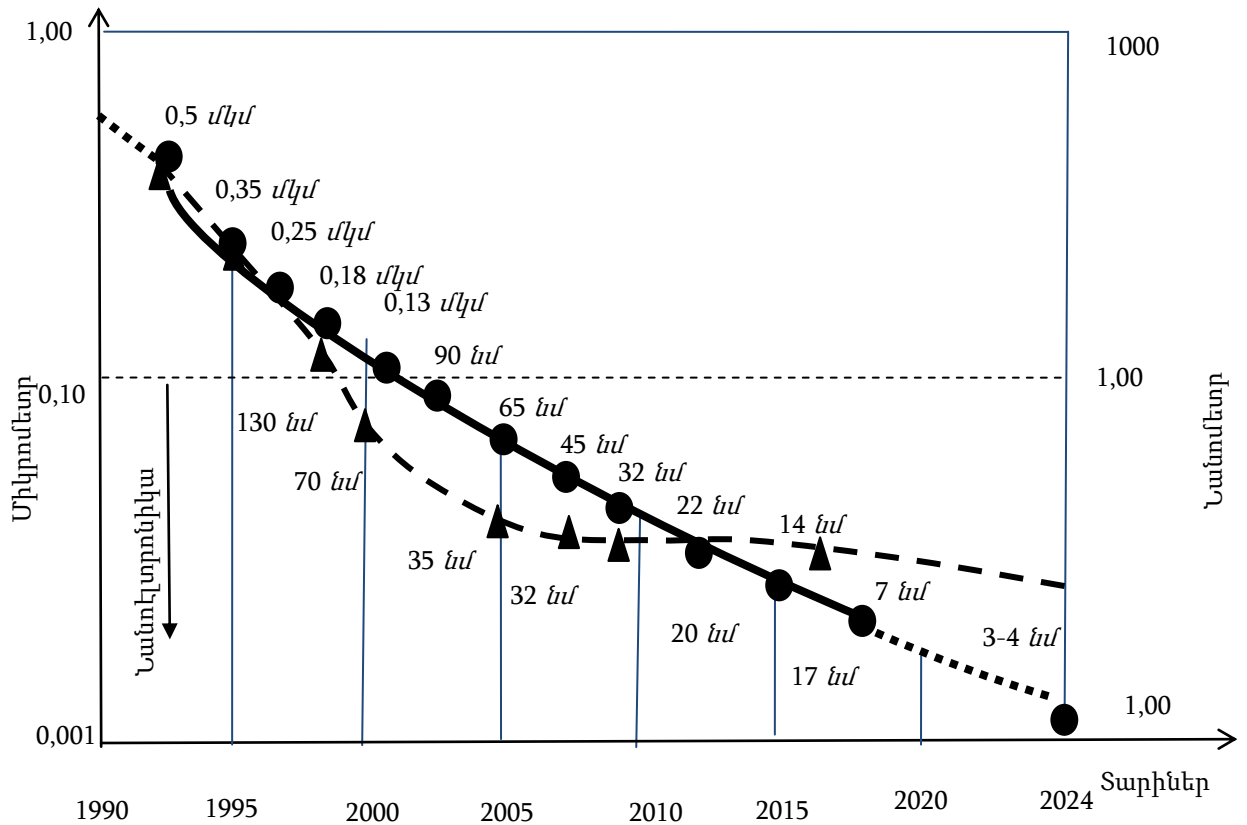
Ինչպես նշվեց 1.1-ում, ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաների բնորոշ իրողությունները նոր պահանջներ են առաջադրում ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման մեթոդների կատարելագործման և նոր մեթոդների մշակման տեսանկյունից: Ստորև նախանշված են ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաների բնորոշ իրողությունների պայմաններում թվային ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման միջոցների հետազոտարգացման պահանջները:

**Տոնկցիոնալ բարդություններ:** Յայտնի է, որ ԻՍ-երի զարգացումը բնութագրվում է տեխնոլոգիական մասշտաբավորմամբ, որը զգալի ազդեցություն ունի ԻՍ-երի հիմնական պարամետրերի վրա: ԻՍ-երի տեխնոլոգիաների զարգացումն ուղեկցվել է կոնկրետ տեխնոլոգիական գործընթացների լիտոգրաֆիական չափերի փոքրացմամբ: Այդ փոփոխության ընթացքը, հաշվի առնելով նաև մոտակա տարիների համար կանխատեսումները, բերված է նկ. 1.1-ում: Ինչպես երևում է նկարից, 22 նմից ավելի փոքր տեխնոլոգիայի աների դեպքում տրանզիստորի փականի երկարությունն ավելի մեծ է, քան տեխնոլոգիական չափը: Սա պայմանավորված է

Եռաչափ փակ անով տրանզիստորների առկայությունը [4]:

Նկ. 1.1. ԻՍ-երի տեխնոլոգիական մասշտաբավորումը

ԻՍ-ի բարդության աճը, որը ենթադրում է



- Տեխնոլոգիան
- ▲ Տրանզիստորի փականի երկարությունը

տրանզիստորների թվի մեծացումը, հանգեցնում է ֆունկցիոնալ հնարավորությունների ավելացման: Սա, իր հերթին, հնարավորություն է ստեղծում մեկ ԻՍ-ում ներառել ավելի մեծ թվով ֆունկցիոնալ միավորներ, ինչը թույլ է տալիս ԻՍ-ի վրա իրագործել մեծ համակարգի ֆունկցիաներ: Այդ ֆունկցիոնալ միավորները, որպես կանոն, իրագործվում են ֆունկցիոնալ բլոկների տեսքով (կամայական տրամաբանության, անալոգային, խառը ազդանշանային, ներկառուցված հիշողություն և

այլ ն), որոնց ինտեգրումը մեկ ԻՍ-ում առաջացնում է բարձր ինտեգրման այնպիսի կառուցվածքներ, ինչպիսիք են համակարգը բյուրեղի վրա, համակարգը պատյանի մեջ, բազմաբյուրեղ մոդուլը, եռաչափ ԻՍ-ը և այլն: Այդպիսի ԻՍ-երը կոչվում են համակարգային ինտեգրալ սխեմաներ (ՅԻՍ) [28]: ՅԻՍ-երի ներդրումը առաջ է բերել դրանց նախագծմանն առնչվող մի շարք նոր իրողություններ, որոնցից կարելի է առանձնացնել՝

- նախագծային աշխատանքների գոլգահեռականացմամբ և իտերացիաների կրճատմամբ նախագծման գործընթացի արտադրողականության բարձրացումը,
- առկա պատրաստի նախագծերի հենքի վրա մտավոր սեփականության բլոկների ստեղծումը և ՅԻՍ-երում այդպիսի բլոկների լայնամասշտաբ կիրառումը:

Տեխնոլոգիական մասշտաբավորումը, իր հերթին, հանգեցնում է ԻՍ-երի մակրոպարամետրերի փոփոխության: Որպես այդպիսի մակրոպարամետրեր կարելի է դիտարկել.

1.Սնուցման լարման նվազումը, ինչը հիմնականում նպաստում է էներգիայի սպառման կրճատմանը:

2.Արտադրողականության մեծացումը, որը թույլ է տալիս տեղեկություններ նույն ծավալի մշակումն իրականացնել ավելի կարճ ժամկետում:

3.Բարդության աճը, այսինքն՝ միավոր տարածքում տրանզիստորների թվի մեծացումը, որը պահանջում է կիսահաղորդչային բյուրեղի մակերեսի ավելի արդյունավետ օգտագործում:

Բնականաբար, մակրոպարամետրերի այսպիսի փոփոխությունների պայմաններում անհրաժեշտ է հնարավորինս պահպանել ԻՍ-ի տեխնիկա-տնտեսական

ց ու ց ա ն ի շ ն ե ը ը , ո ը ը ե ն թ ա դ ը ը ու մ է շ ու կ ա մ տ ն ե լ ու  
հ ն ա ր ա վ ո ը ի ն ս կ ա ը ճ ժ ա մ ա ն ա կ և ը ն դ ու ն ե լ ի գ ի ն :

Մ ա կ ը ո պ ա ր ա մ ե տ ը ե ը ի ն շ վ ա ծ փ ո փ ո խ ու թ յ ու ն ն ե ը ը ,  
ի ը ե ն ց հ ե ը թ ի ն , հ ա ն գ ե ց ն ու մ ե ն մ ի շ ա ը ք ք ա ց ա ս ա կ ա ն  
հ ե տ ե ւ ա ն ք ն ե ը ի , ո ը ո ն ք ք ա ը դ ա ց ն ու մ ե ն Ի Ս -ի  
ն ա խ ա գ ծ մ ա ն գ ո ը ծ ը ն թ ա ց ը : Օ ը ի ն ա կ , ս ն ու ց մ ա ն  
լ ա ը մ ա ն ն վ ա գ ու մ ը փ ո ք ը ա ց ն ու մ է Ի Ս -ի  
ա դ մ կ ա կ ա յ ու ն ու թ յ ու ն ը , ի ս կ  
ա ը տ ա դ ը ը ո ղ ա կ ա ն ու թ յ ա ն մ ե ծ ա ց ու մ ը ք ա ը դ ա ց ն ու մ է  
ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն հ ա մ ա տ ե ղ ե լ ի ու թ յ ա ն ա պ ա հ ո վ ու մ ը :

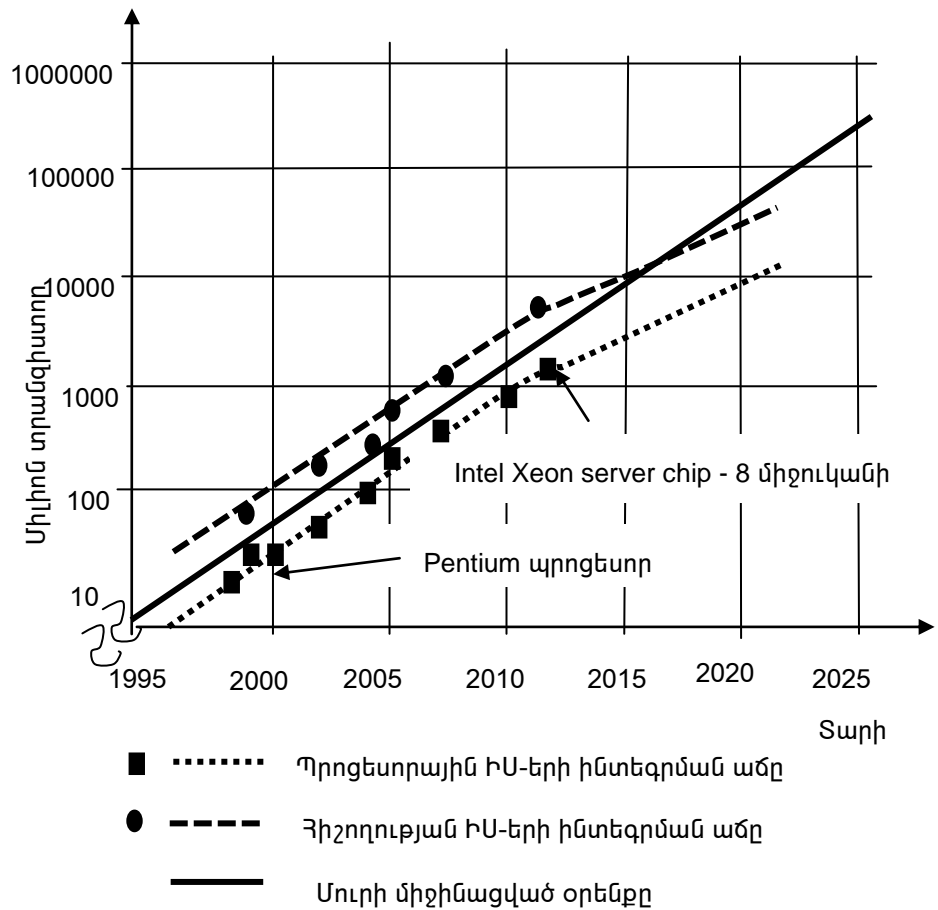
Բ ա ց ի ա յ դ , ք ա ը դ ու թ յ ա ն ա ճ ը , մ ե ծ թ վ ո վ  
տ ա ը ա ք ն ու յ թ \$ ու ն կ ց ի ո ն ա լ ք լ ո կ ն ե ը ի հ ա մ ա տ ե ղ մ ա ն ,  
ս տ ու գ մ ա ն և թ ե ս տ ա վ ո ը մ ա ն դ ե պ ք ե ը ու մ , մ ե ծ ա ց ն ու մ  
է ս խ ա լ ն ե ը ի հ ա վ ա ն ա կ ա ն ու թ յ ու ն ը :

Հ ա յ տ ն ի է , ո ը Ի Ս -ե ը ի ք ա ը դ ու թ յ ա ն ա ճ ը  
ք ն ու թ ա գ ը վ ու մ է Մ ու ը ի օ ը ե ն ք ո վ , և ժ ա մ ա ն ա կ ա կ ի ց  
տ ե խ ն ո լ ո գ ի ա ն ե ը ի դ ե պ ք ու մ մ ե ծ Ի Ս -ե ը ու մ  
տ ը ա ն գ ի ս տ ո ը ն ե ը ի ք ա ն ա կ ն ա ը դ ե ն գ ե ը ա գ ա ն ց ու մ է մ ի  
ք ա ն ի մ ի լ ի ա ը դ ը : ժ ա մ ա ն ա կ ի ը ն թ ա ց ք ու մ Ի Ս -ե ը ի  
ք ա ը դ ու թ յ ու ն ն ա ճ ու մ է ո չ մ ի ա յ ն տ ը ա ն գ ի ս տ ո ը ն ե ը ի  
ք ա ն ա կ ի ա ճ ի , ա յ լ և Ի Ս -ու մ ի ն տ ե գ ը վ ո ղ \$ ու ն կ ց ի ո ն ա լ  
մ ի ա վ ո ը ն ե ը ի ք ա ը դ ու թ յ ա ն և ք ա գ մ ա գ ա ն ու թ յ ա ն  
տ ե ս ա ն կ յ ու ն ի ց : Ն մ ա ն ա ճ ը ն ո ը պ ա հ ա ն ջ ն ե ը է  
ա ճ ա ջ ա դ ը ու մ ն ա խ ա գ ծ մ ա ն մ ե թ ո դ ն ե ը ի ն ,  
տ ե խ ն ո լ ո գ ի ա ն ե ը ի ն , ե ը թ ու ղ ի ն ե ը ի ն և  
գ ո ը ծ ի ք ա կ ա գ մ ի ն :

Մ ու ը ի օ ը ե ն ք ը , ի ը հ ի մ ք ու մ չ ու ն ե ն ա լ ո վ  
ք ն ու թ յ ա ն ո ը և է հ ի մ ն ա ը ա ը ե ը ու ն յ թ , ա ը տ ա հ ա յ տ ու մ  
է կ ի ս ա հ ա դ ո ը ը չ ա յ ի ն ա ը դ յ ու ն ա ք ե ը ու թ յ ա ն  
գ ա ը գ ա ց մ ա ն ի ը ա տ ե ս ա կ ա ն պ ա տ կ ե ը ը : Ա յ ն , 1965 թ .-ի ն  
ա ճ ա ջ ա ը կ վ ե լ ո վ Գ ո ը դ ո ն Մ ու ը ի կ ո ղ մ ի ց [29],  
ն ե ը կ ա յ ու մ ս է լ , ո ը ո շ ա կ ի ա ն ն շ ա ն շ ե ղ ու մ ն ե ը ո վ ,  
շ ա ը ու ն ա կ ու մ է պ ա հ պ ա ն ե լ է ի ը ճ շ տ ու թ յ ու ն ը (ն կ . 1.2)  
[1-3]:

Ժամանակակից միկրոպրոցեսորները, կամայական տրամաբանության և հիշողության հանգույցները, որպես կանոն, նախագծվում են կոմպլեմենտար մետադ - օքսիդ - կիսահաղորդիչ (ԿՄՕԿ) կառուցվածքների հիման վրա: Այս դեպքում ևս, լիտոգրաֆիական չափսերի մասշտաբավորուման հետևանքով, կիսահաղորդչային բյուրեղի վրա տրանզիստորների ինտեգրումը համապատասխանում է Մոլրի օրենքին [2,14,28,30]:

Սակայն քանակական շատ պահանջներ, ինչպիսիք են էներգասպառումը և կապուղիների թողունակությունը, ինչպես նաև շտաֆոնկցիոնալ պահանջներ, ինչպիսիք են պասսիվ բաղադրիչներով իրագործվող գործառնյթները, սենսորային և կենսաբանական ֆոնկցիաներն ու ներկառուցված ծրագրային ապահովման գործառնյթները, չեն մասշտաբավորվում Մոլրի օրենքի համաձայն, քանի որ հաճախայն ֆոնկցիաներն իրագործվում են ոչ ԿՄՕԿ կառուցվածքների հիման վրա:



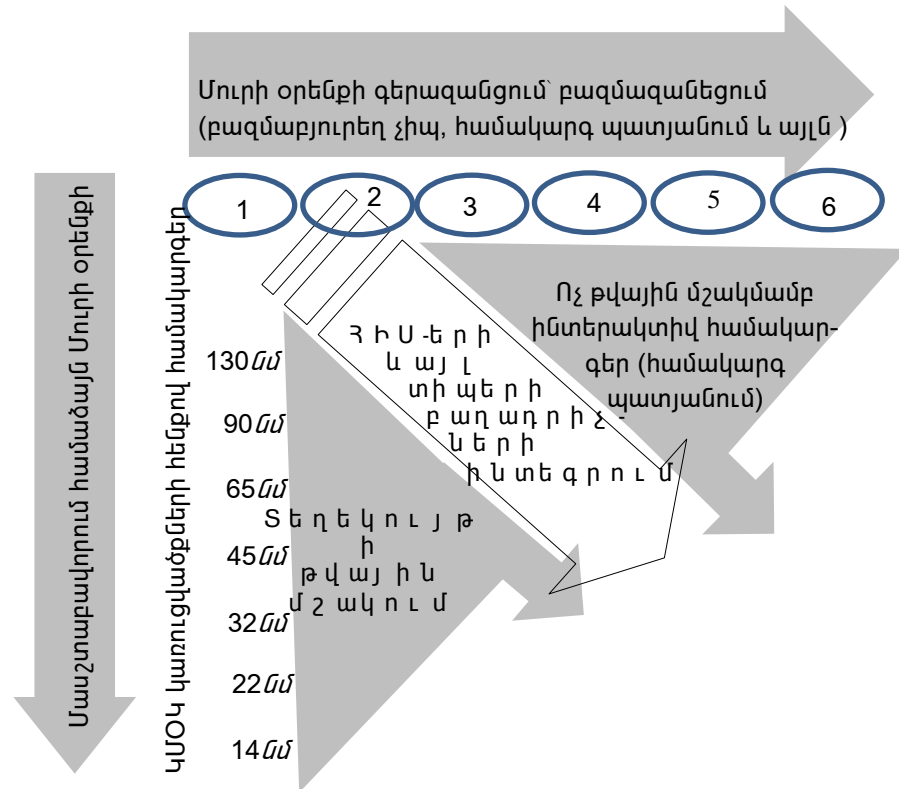
Նկ.12.Մուրի օրենքը ժամանակակից ԻՍ-երի դեպքում

ԿՄՕԿ և ոչ ԿՄՕԿ տեխնոլոգիաների ինտեգրումը մեկ ԻՍ-ում առաջացնում է նոր տիպի սխեմաներ, որոնք կոչվում են համակարգ պատյանում: Կանխատեսվում է, որ այդպիսի ինտեգրումը ապագայում էլ ավելի կկարևորվի: Ֆունկցիոնալ կատարման տեսանկյունից հիշողության ԻՍ-երը և համակարգ պատյանում տիպի ԻՍ-երը կփոխլրացնեն միմյանց՝ համապատասխանաբար կատարելով տեղեկության մշակման և արտաքին միջավայրի հետ կապող ինտերֆեյսային ֆունկցիաներ: Այս միտումները ներկայացված են նկ.1.3-ում [1, 2, 30]:

Միկրոէլեկտրոնային տեխնոլոգիաների զարգացումը և ԻՍ-երի բարդության աճը հանգեցնում են տրանզիստորների ֆիզիկական չափսերի փոքրացմանը: Քանի որ էլեկտրաստիկ

դաշտի ու ժը համեմատական է կիրառվող լարմանը, ապա տրանզիստորների հոլսալի շահագործման համար, վերջինս նույնպես կրճատվում է:

Այսպիսով \$ ու նկցի ունալ բարդ ու թյան անընդհատ աճը նախանշում է ԻՍ-երի այնպիսի նոր



- 1-Անալոգային և ռադիոհաճախականային սխեմաներ
- 2-Պասիվ բաղադրիչներ
- 3-Հգորբաղադրիչներ
- 4-Սենսորային բաղադրիչներ
- 5-Օպտիկական բաղադրիչներ
- 6-Բինչիպեր

կառուցվածքների և դրանց նախագծման մեթոդների մշակման և կատարելագործման, ինչպիսիք են՝ համակարգ բյուրեղի վրա և համակարգ պատյանում տիպի ԻՍ-երը, բազմաբյուրեղ մոդուլները, եռաչափ ԻՍ-երը, ինչպես նաև եռաչափ փականով տրանզիստորների կիրառությունը:

Նկ. 1.3. Մոլորի օրենքի հետազոտարգացումը

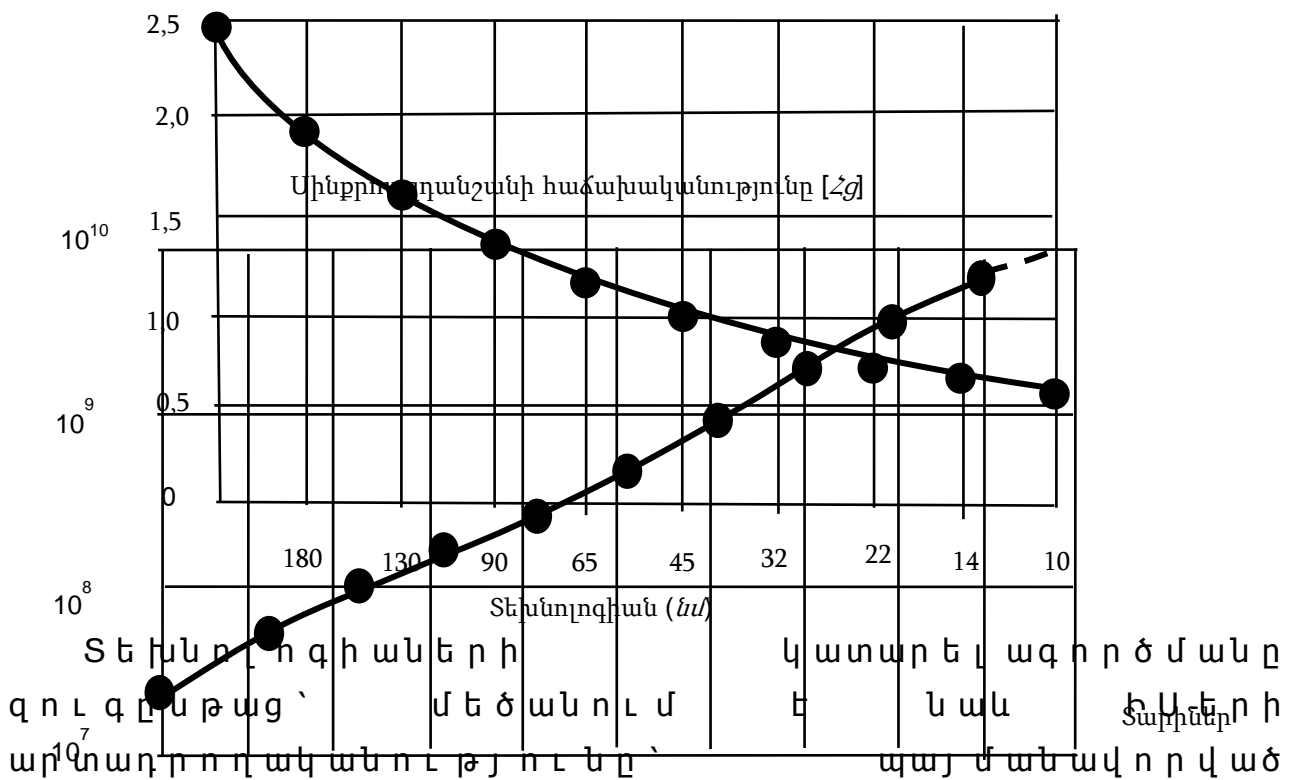
**ԻՍ-երի սնուցման լարումն անընդհատ փոքրանում է** (նկ. 1.4): Սնուցման լարման փոքրացումը



հանգեցնում է ԻՍ-ի էներգախնայողության մեծացման, որը շատ կարևոր է ժամանակակից դյուրակիր սարքերում դրանց օգտագործման տեսանկյունից: Սնուցման լարման փոքրացումը զգալիորեն ազդում է նախագծման տարբեր խնդիրների վրա, որոնցից են նախագծի ստուգման կարևորության մեծացումը և աղմկակայունության ապահովումը:

Ֆիզիկական նախագծման տեսանկյունից սնուցման լարման փոքրացումը նոր պահանջներ է առաջադրում միջմիացումներում լարման անկման փոքրացման և աղմկակայունության ապահովման միջոցների կատարելագործմանը:

Նկ.14. Սնուցման լարման մասշտաբավորումը  
Սնուցման լարումը [Վ]

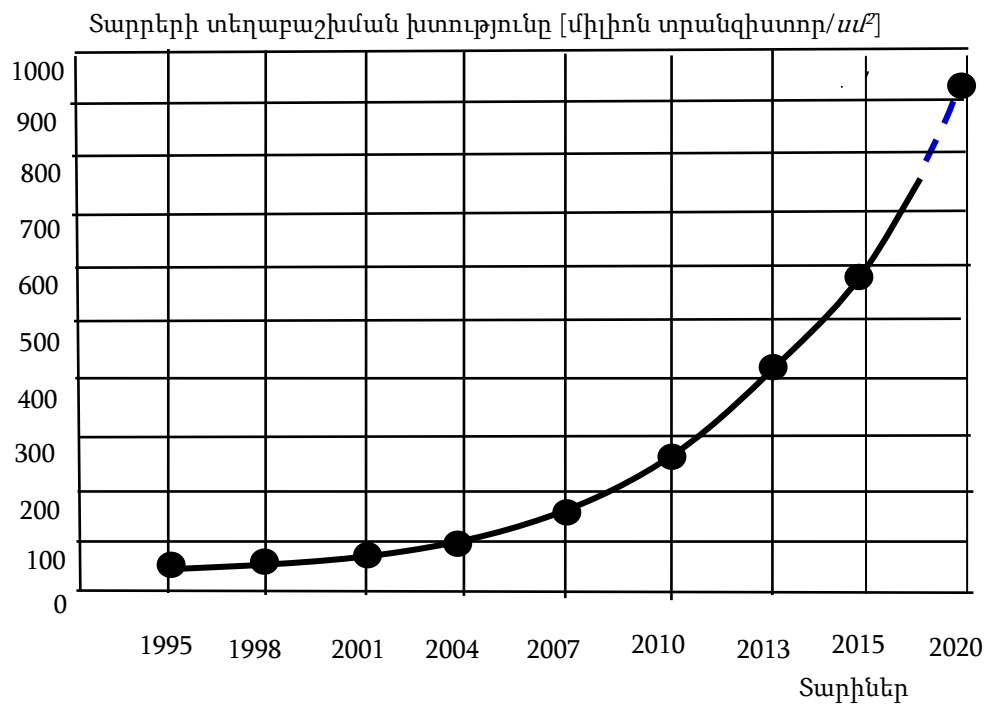


Սինքրոնիզացիայի համակարգում լարման անկման փոքրացումը առաջադրում է նախագծման և աղմկակայունության ապահովման միջոցների կատարելագործմանը (Նկ.15):

*Նկ .1.5 Սի ն ք ռ ո ա գ դ ան շ ան ի հ ա ճ ա խ ս ա կ ան ու թ յ ան մ աս շ տ ա ք ա վ ո թ ու մ ր*

Սի ն ք ռ ո ա գ դ ան շ ան ի տակ տայ ի ն հ ա ճ ա խ ս ա կ ան ու թ յ ան մ ե ծ ա գ ու մ ր , առ ա ջ ի ն հ եր թ ի ն , պայ մ ան ա վ ո թ վ ա ծ է ա գ դ ան շ ան ի տր ա մ ա ք ան ա կ ան մ ա կ ա թ դ ա կ ն եր ի տար ք ե թ ու թ յ ան փ ո ք ռ ա գ մ ա մ ք : Ա յ ն զ գ ալ ի ո թ ե ն ա գ դ ու մ է Ի Ս ն ա խ ա գ ծ մ ան տար ք եր խ ն դ ի թ ն եր ի վ ռ ա , ո թ ո ն ց ի ց ֆ ի գ ի կ ա կ ան ն ա խ ա գ ծ մ ան տե ս ան կ յ ու ն ի ց առ ա վ ել կ ա թ ն ո թ վ ու մ ե ն մ ի ջ մ ի ա գ ու մ ն եր ո վ պայ մ ան ա վ ո թ վ ա ծ հ ա պ ա դ ու մ ն եր ի հ ա շ վ ի առ ն ու մ ր և ս ի ք ռ ո ա գ դ ան շ ան ա յ ի ն ծ առ ի կ առ ու ց ու մ ր : Ա յ ս պայ մ ան ն եր ու մ կ ա թ ն ո թ վ ու մ ե ն ն ա ն ժ ա մ ան ա կ ա յ ի ն ս տ ու գ ու մ ն եր ի ճ շ տ ու թ յ ան ք ա թ ռ ա գ մ ան հ ա թ ց ե թ ր :

Տ ե խ ն ու լ ո գ ի ա կ ան մ աս շ տ ա ք ա վ ո թ մ ան տե մ պ եր ն ան հ ա մ ե մ ա տ ա վ ել ի մ ե ծ ե ն , ք ան Ի Ս -ի ք յ ու ռ ե դ ի մ ա կ եր ե ս ի ա ճ ր : Ա թ դ յ ու ն ք ու մ մ ե ծ ան ու մ է **տ ա թ ռ ե թ ի տե դ ա ք ա շ խ մ ան խ տ ու թ յ ու ն ր** , ա յ ս ի ն ք ն ` մ ի ա վ ո թ



մ ա կ եր ե ս ու մ տր ա ն գ ի ս տ ո թ ն եր ի թ ի վ ր (ն կ .1.6):

*Նկ .1.6. Ի Ս -ե թ ի տ ա թ ռ ե թ ի տե դ ա ք ա շ խ մ ան խ տ ու թ յ ան մ աս շ տ ա ք ա վ ո թ ու մ ր*

Տարրերի տեղաբաշխման խտությունն մեծացումը զգալիորեն ազդում է նախագծման գործընթացի այնպիսի խնդիրների վրա, ինչպիսիք են ազդանշանի ամբողջականության ապահովումը, էլեկտրամագնիսական համատեղելությունը, ջերմային ռեժիմը, տարրերի տեղաբաշխումը և միջմիացումների ծրագրումը:

Այս ազդեցությունները նոր պահանջներ են առաջադրում ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման միջոցների մշակման գործընթացին: Այդ պահանջները բավարարելու նպատակով անհրաժեշտություն է առաջանում մշակել ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման այնպիսի նոր և կատարելագործված չափանիշներ, մեթոդներ, ալգորիթմներ և համապատասխան գործիքամիջոցներ, որոնք այդ ազդեցությունների առկայությունն պայմաններում մրցունակ կլինեն նախագծերի որակի և նախագծման ժամկետների ապահովման տեսանկյունից:

Տեխնոլոգիական մասշտաբավորման արդյունքում ԻՍ-երի տարբեր պարամետրերի փոփոխությունները բերված են աղ. 1.2-ում:

Աղյուսակ 1.2

ԻՍ-երի պարամետրերի մասշտաբավորումը

Պարամետր նոր	90 նմ 2002	65 նմ 2005	45 նմ 2008	32 նմ 2010	14 նմ 2015
Ջոսրոհող երկարությունը (նմ)	1x	0,7x	0,5x	0,4x	0,2x
Հապաղումը (սվ)	1x	0,7x	0,5x	0,25x	0,2x
Հաճախականությունը (գՅց)	1x	1.43x	2x	4x	8x
Ինտեգրման	1x	2x	4x	5x	6x

աստիճանը					
Արտադրողական ինքնարժեքը (միկրոցենտ/ տրանզիստոր)	1x	0,35x	0,12x	0,1x	0,07x
Պատենավորողմը (միկրոցենտ/ տրանզիստոր)	1x	0,86x	0,73x	0,57x	0,42x
Սնուցմանլարողմը (Վ)	1x	0,85x	0,7x	0,55x	0,42x
Դինամիկ հզորությունը (Վտ)	1x	0,7x	0,5x	0,35x	0,25x
Շեմայինլարողմը (Վ)	1x	0,85x	0,7x	0,55x	0,42x
Կորստի հոսանքը (ՆԱ)	1x	3x	9x	27x	80x
Տեսակարար դինամիկ հզորությունը (Վտ/սմ <sup>2</sup> )	1x	1,43x	2x	2,8x	3,9x
Տեսակարար ստատիկ հզորությունը (Վտ/սմ <sup>2</sup> )	1x	2,5x	6,5x	16,2x	40,5x
Տեսակարար ընդհանուր հզորությունը (Վտ/սմ <sup>2</sup> )	1x	2x	5x	12,5x	30,1

Ինչպես երևում է աղ. 12-ից, տեխնոլոգիական յուրաքանչյուր սերնդափոխության ընթացքում կորստի հոսանքն աճել է 3 անգամ, տեսակարար դինամիկ էներգապառուցմը՝ 40%-ով, իսկ տեսակարար ստատիկ էներգապառուցմը՝ 150%-ով: Մյուս կողմից՝ տրանզիստորի հապաղումը փոքրացել է ավելի քան 30%-ով, ինչի արդյունքում երկու տարին մեկ կրկնապատկվել է դրանց հիման վրա կառուցվող միկրոպրոցեսորների արագագործությունը, և քառապատկվել ինտեգրման աստիճանը: Արդյունքում՝ անընդհատ նվազել են մեկ

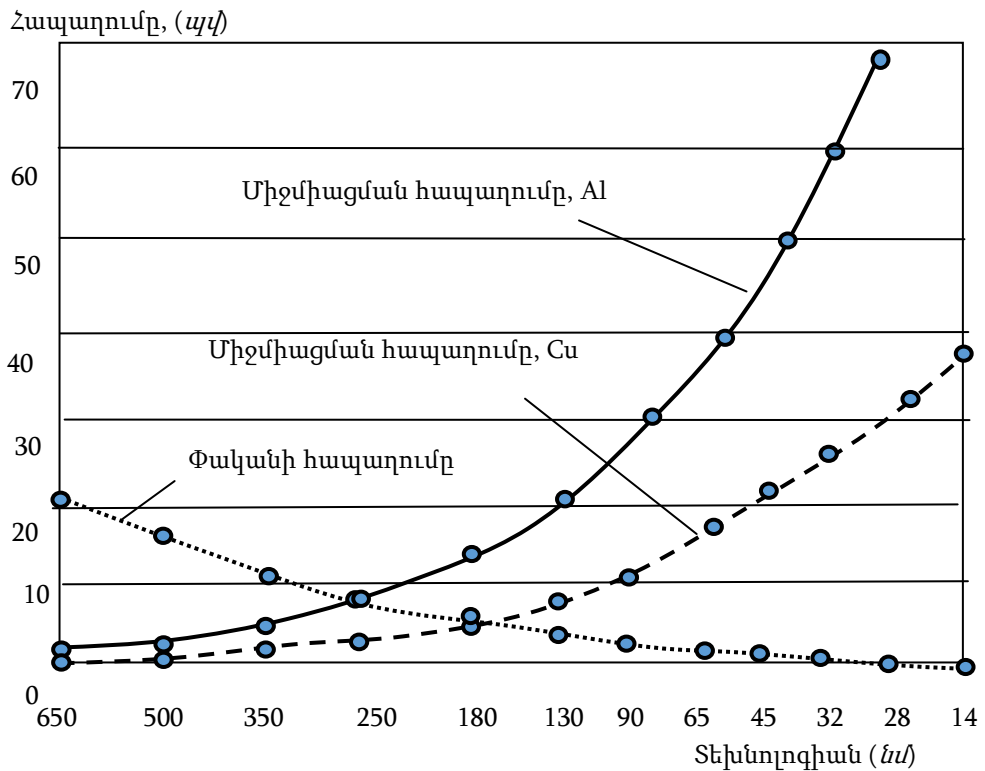
տրանզիստորի արտադրության և պատենավորման վրա կատարվող ծախսերը :

Նախագծողի տեսանկյունից պարամետրերի այսպիսի փոփոխությունները կարելի է բաժանել երկու խմբի .

- Փոփոխություններ, որոնց հետևանքով ավելի են խստանում նախագծային սահմանափակումները և պահանջները :
- Փոփոխություններ, որոնց հետևանքով փոփոխվում է տարբեր պարամետրերի հարաբերական կարևորությունն աստիճանը :

Ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաներին անցման պայմաններում պարամետրերի այսպիսի փոփոխությունները հաճախ հանգեցնում է ԻՍ-ի աշխատանքի վրա ֆիզիկական տարբեր երևույթների ազդեցության ոչ միայն քանակական այլև հաճախ որակական փոփոխությունների, ինչը ֆիզիկական նախագծման սկզբունքորեն նոր մեթոդների մշակման պահանջ է առաջացնում: Այսինքն՝ որոշ ֆիզիկական երևույթներ, որոնք մինչ այդ ունեին նվազ ազդեցություն և որոշ դեպքերում կարող էին հաշվի չառնվել, այնքան են կարևորվում, որ դրանք հաշվի չառնելը դառնում է անթույլատրելի :

Մասնավորապես, եթե նախկինում փականների հապաղումները զգալիորեն գերազանցում էին միջմիացումներում ազդանշանի հապաղումներին, ապա ներկայումս իրադրությունը կտրուկ փոխվել է, և, օրինակ՝ 32/28 նմ տեխնոլոգիաներում, 1 մմ երկարության միջմիացման հապաղումը նույնիսկ մի քանի հարյուր անգամ գերազանցում է մեկ փականում ազդանշանի ուղացմանը, իսկ ամբողջական ԻՍ-ում հապաղումների 80...90%-ը բաժին է ընկնում միջմիացումներին (նկ .1.7):

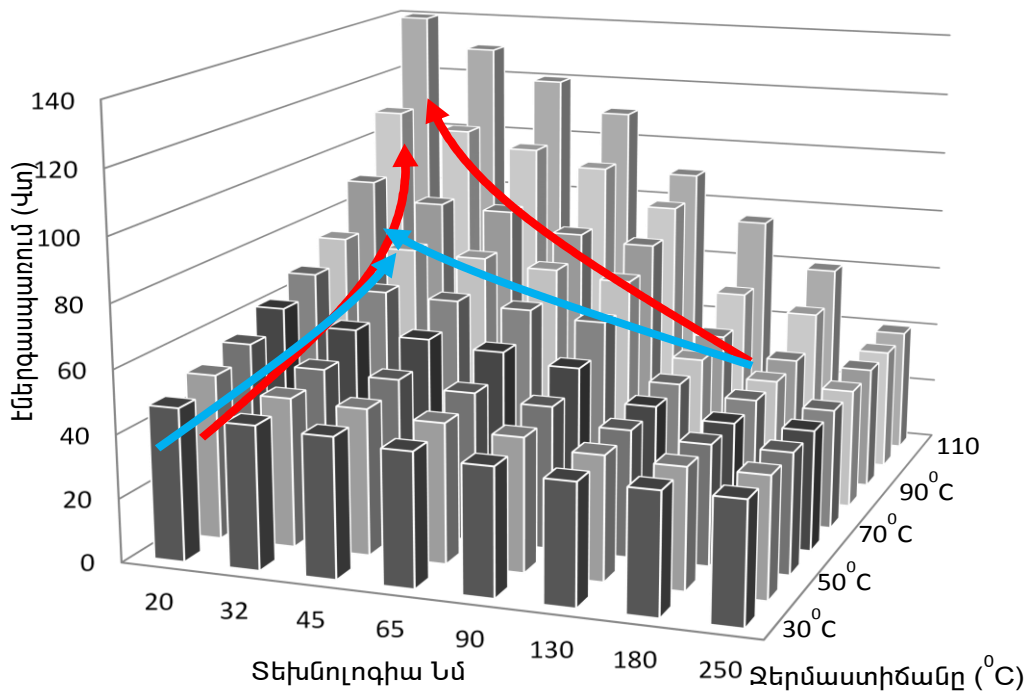


Նկ .1.7. Միջմիացման և փականի հապաղման փոփոխությունը

Սա նոր պահանջներ է առաջադրում ԻՍՖիզիկական նախագծման տեղաբաշխման և ծրագրման փուլերի իրագործմանը: Եթե նախկինում, նախագծվող սարքի արագագործությունն ապահովման պահանջները հիմնականում բավարարվում էին սխեմատեխնիկական նախագծման փուլում, ապա ներկայումս անհրաժեշտություն է առաջացել արագագործության հարցերին անդրադառնալ նաև տեղաբաշխման և ծրագրման փուլերում: Ավելին՝ հաճախ այս փուլերում կայացված վճիռները կարող են էական ազդեցություն ունենալ նախագծվող սխեմայի արագագործության վրա:

Մեկ այլ օրինակ է ԻՍ-երի էներգասպառման դինամիկ և ստատիկ բաղադրիչների հարաբերակցության փոփոխությունը: Եթե նախկինում էներգասպառման դինամիկ բաղադրիչը զգալիորեն գերազանցում էր ստատիկին, ապա ներկայումս պատկերը հակառակն է (նկ .1.8):

Ընդ որում, եթե 20°C-ում էներգասպառման ստատիկ բաղադրիչը կազմում է ընդհանուրի կեսից ավելին, ապա ջերմության աճին զուգընթաց՝ այն կարող է հասնել դրա ավելի քան 90%-ին: Սա առաջացնում է ցածր էներգասպառման ԻՍ-երի նախագծման միջոցների կիրառման անհրաժեշտություն, իսկ ֆիզիկական նախագծման տեսանկյունից կարևորվում են ջերմաստիճանի իջեցումը և կիսահաղորդչային բյուրեղի ջերմային դաշտի համահարթեցումը [31,32]:

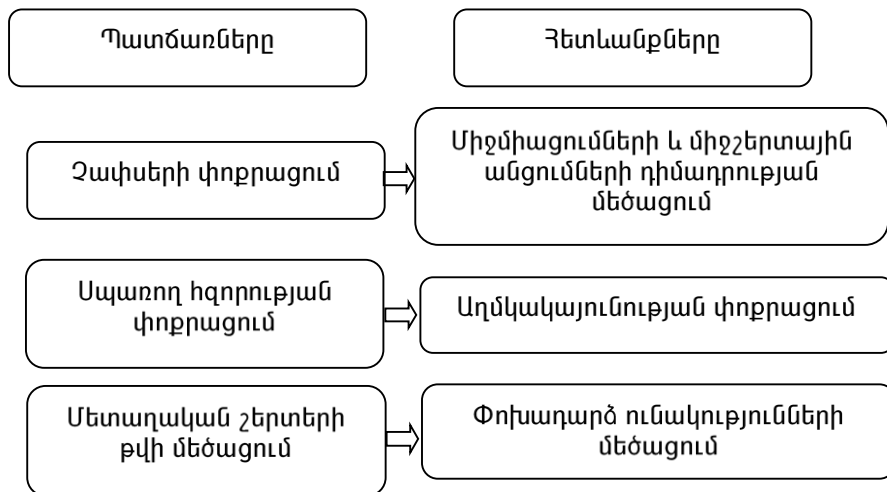


Նկ .1.8. ԻՍ-ի էներգասպառման կախվածությունը տեխնոլոգիայից և աշխատանքային ջերմաստիճանից

Ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաներում նոր երևույթների առաջացմանը զուգահեռ՝ խիստ սրվում են մինչ այդ արդեն գոյություն ունեցող ֆիզիկական երևույթների բացասական ազդեցություններն ԻՍ-ի աշխատանքի վրա (նկ .1.9):

Մասնավորապես, տեխնոլոգիական չափսերի փոքրացումը և տարրերի խտության աճը հանգեցնում են R, C, L պարագիտային պարամետրերի մեծացմանը: Սնուցման լարման փոքրացումը հանգեցնում է տրամաբանական տարրերի շեմային լարման

ի ջ ե ց մ ա ն ը , ո Ր Ն ի Ր հ ե Ր թ ի Ն փ ո Ք Ր ա ց Ն ու մ է դ Ր ա ն ց ա դ մ կ ա կ ա յ ու Ն ու թ յ ու Ն ը : Ա յ ս ա փ ս ո վ , ե ն թ ա մ ի կ Ր ո Ն ա յ ի Ն տ ե խ Ն ո լ ո գ ի ա ն ե Ր ը առ ա ջ ե ն ք ե Ր ու մ ն ա խ ա գ ծ մ ա ն մ ի շ ա Ր ք Ն ո Ր մ ա Ր տ ա հ Ր ա վ ե Ր ն ե Ր , ո Ր ո Ն ց ի ց առ ա վ ե լ կ ա Ր և ո Ր ե ն ն ա խ ա գ ծ մ ա ն ք ա Ր դ ու թ յ ու Ն ը , Ի Ս -ի ա Ր ա գ ա գ ո Ր ծ ու թ յ ու Ն ը , ա գ դ ա ն շ ա ն ի հ գ ո Ր ու թ յ ու Ն ը և ա մ ք ո ղ ջ ա կ ա ն ու թ յ ու Ն ը , է ն ե Ր գ ա ս պ առ մ ա ն կ առ ա վ ա Ր ու մ ը , ն ա խ ա գ ծ ի տ ե խ Ն ո լ ո գ ի ա կ ա ն ու թ յ ու Ն ը , պ ի տ ա ն ի Ի Ս -ե Ր ի ե լ ք ի տ ո կ ո ս ը , գ ի ն ը , ն ա խ ա գ ծ ի թ ե ս տ ա վ ո Ր վ ե լ ի ու թ յ ու Ն ը , ի տ ե Ր ա ց ի ա ն ե Ր ի ք ա ն ա կ ը , պ ա տ յ ա ն ա վ ո Ր ու մ ը և ա յ լ ն :



Ն կ .1.9. Ի Ս -ի ա շ խ ա տ ա ն ք ի վ Ր ա ֆ ի գ ի կ ա կ ա ն ե Ր և ու յ թ ն ե Ր ի ք ա ց ա ս ա կ ա ն ա գ դ ե ց ու թ յ ու Ն ն ե Ր ը

Ն շ վ ա ծ մ ա Ր տ ա հ Ր ա վ ե Ր ն ե Ր ն ա յ ս կ ա մ ա յ ն չ ա փ ո վ առ կ ա է ի ն ն ա ն ա վ ե լ ի մ ե ծ տ ե խ Ն ո լ ո գ ի ա ն ե Ր ի դ ե պ ք ու մ , ս ա կ ա յ ն ե ն թ ա մ ի կ Ր ո Ն ա յ ի Ն տ ե խ Ն ո լ ո գ ի ա ն ե Ր ու մ դ Ր ա ն ց ա գ դ ե ց ու թ յ ու Ն ը գ գ ա լ ի ո Ր ե ն ա ճ ու մ է , և , ո Ր ա վ ե լ ի կ ա Ր և ո Ր է , մ ե ծ ա ն ու մ է ն Ր ա ն ց փ ո խ կ ա պ վ ա ծ ու թ յ ու Ն ը : Վ ե Ր ջ ի ն ս ք ա Ր ծ Ր ա ց Ն ու մ է ն ա խ ա գ ծ ա յ ի ն տ ա Ր ք ե Ր խ Ն դ ի Ր ն ե Ր ի հ ա մ ա տ ե ղ լ ու ծ մ ա ն կ ա Ր և ո Ր ու թ յ ու Ն ը : Ա յ դ ա փ ս ի հ ա մ ա տ ե ղ լ ու ծ վ ո ղ խ Ն դ ի Ր ն ե Ր ի տ ի պ ի կ օ Ր ի ն ա կ ն ե Ր ե ն `

- ա գ դ ա ն շ ա ն ի ա մ ք ո ղ ջ ա կ ա ն ու թ յ ու Ն ը և ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն պ ա Ր ա մ ե տ Ր ե Ր ը ;



- ազդանշանի ամբողջականությունը և արտադրողականությունը;
- էներգասպառումը և թեստավորումը;
- ազդանշանի հզորությունը և ամբողջականությունը;
- անալոգային և թվային նմանակման և վերլուծության համատեղումը:

Այս ամենը պահանջում է նախագծման նոր և կատարելագործված մեթոդների ու միջոցների մշակում:

Նշված մարտահրավերները տարբեր չափով են ազդում նախագծման ընթացքի վրա, իսկ դրանց կարևորությունը ժամանակի ընթացքում փոփոխվում է:

Ամփոփելով կարելի է փաստել, որ ներկայումս հաշվի առնելով խոր ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաների բնորոշ իրողությունները՝ ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման միջոցների հետագա զարգացումը դարձել է միկրոէլեկտրոնային արդյունաբերության առաջընթացը պայմանավորող կարևորագույն ուղղություններին ցմեկը:

Չիմնվելով վերը շարադրվածի վրա՝ կարող ենք նախանշել ենթամիկրոնային ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման միջոցների հետագա զարգացման հետևյալ հիմնական ուղիները.

- միջմիացումների դերի բարձրացմանը զուգընթաց՝ դրանց նոր և լավարկված մոդելների մշակումը,
- միջմիացումներով ուղղորդված նախագծման այնպիսի միջոցների մշակումը, որոնք ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման փուլում հաշվի կառնեն միջմիացումներում առկա հապաղումները և լարման անկումները, դրանց միջև առկա փոխադարձ խանգարումները և սնուցման շղթաներում առաջացող IRլարման անկումները,

- միջմիացուցումներում առաջացող հապաղումներին գնահատման նոր և և՛ ավարկված միջոցների մշակումը, որոնք թույլ կտան նախագծման վաղ փուլներում ապահովել ապագա միջմիացուցումներին ժամանակային պարամետրերի հաշվարկի ճշտության բարձրացումը,
- ժամանակակից, այդ թվում՝ նաև ենաչափ կառուցվածքներով ԻՍ-երի \$իզիկական կառուցվածքներում ջերմային ռեժիմի մոդելավորման նոր և և՛ ավարկված միջոցների մշակումը,
- ԻՍ-երի տարրերի ջերմային տեղաբաշխման այնպիսի միջոցների մշակումը, որոնք, առանց վատացնելու նախագծային այլ բնութագրերը, կապահովեն ջերմային դաշտի տոպոլոգիական համահարթեցումը,
- ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման բազմապարամետրական մեթոդների և ալգորիթմների մշակումը,
- նախագծման գործընթացի կազմակերպման արդյունավետության բարձրացումը՝ հիմնվելով դրա գաղտնիության և անվտանգության վրա:

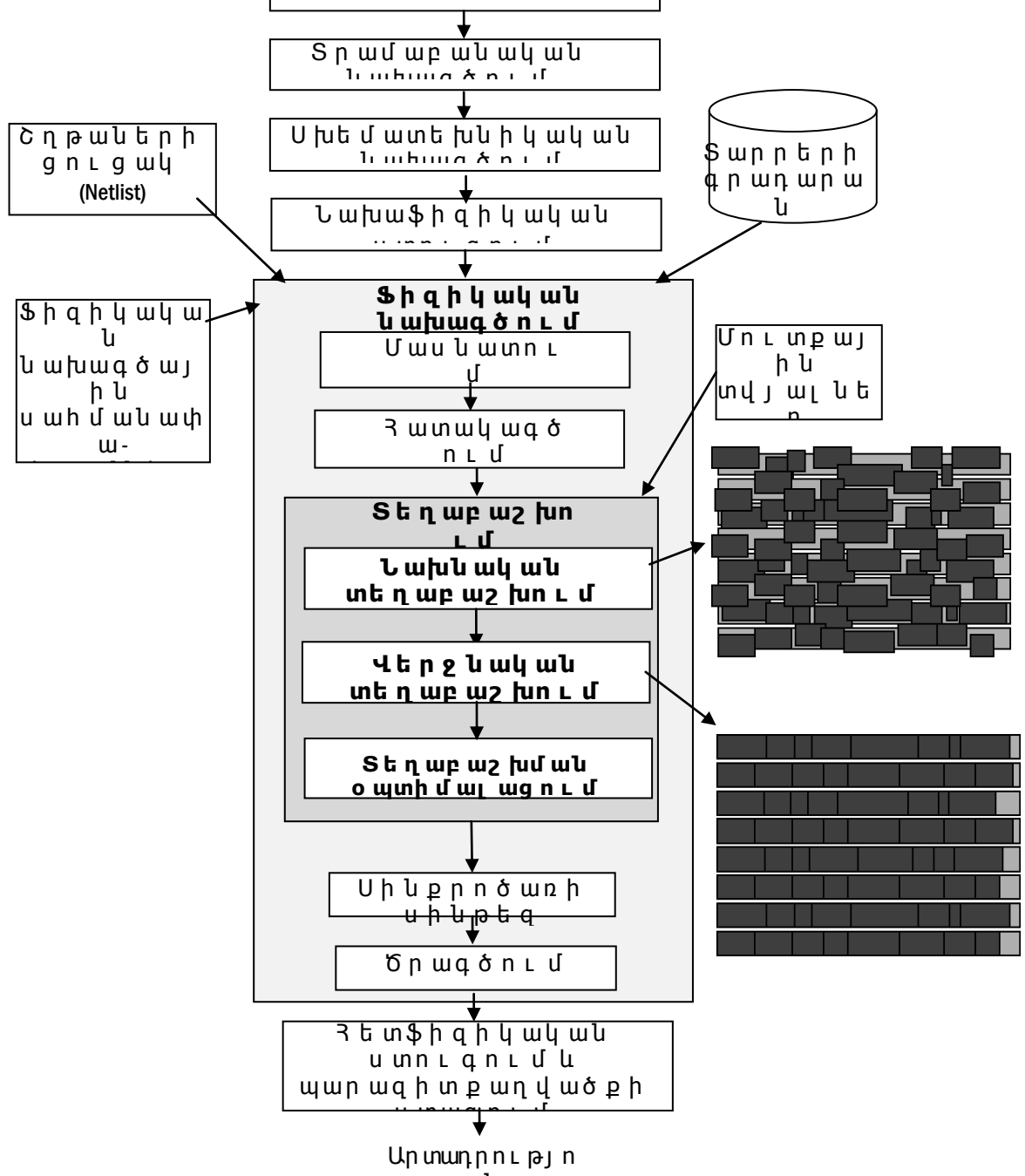
**1.3. Ենթամիկրոնային տեգրալ սխեմաների \$իզիկական նախագծման ժամանակ տեղաբաշխման խնդրի կարևորությունը**

Ներկայումս տեղաբաշխումը հանդիսանում է \$իզիկական նախագծման հիմնարար փուլ, որով կապվում են \$իզիկական նախագծման բոլոր խնդիրները [12, 13, 14, 33]:

Ըստ ավանդական սահմանման՝ տեղաբաշխումը տարրերի ճշգրիտ երկրաչափական տեղերի որոշումն է [14]: Որպես տեղաբաշխվող տարրեր կարող են հանդես գալ փականները, ստանդարտ և մակրոբջիջները, մտավոր սեփականություն (ՄՍ) բլոկները և այլն:

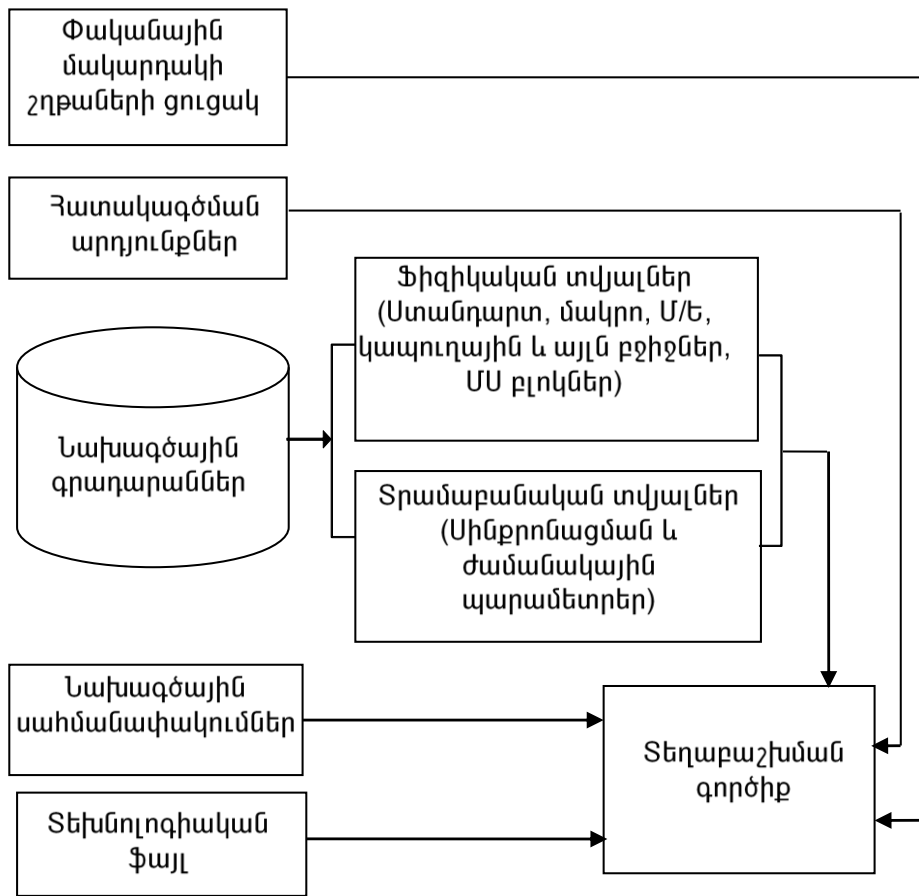
Գործնականում տեղաբաշխման ընդհանրացված ձևայնացված չափանիշ գոյությունն չունի, իսկ իմաստային առումով տեղաբաշխման որակը գնահատվում է ըստդրան հաջորդող ծրագրման խնդրի համար լավագույն պայմաններ ապահովելով: Որպես մասնակի չափանիշներ օգտագործվում են տեղաբաշխման ընդհանուր մակերեսի նվազարկումը, միջմիացումների գումարային երկարության նազարկումը, միջմիացումների կշռված երկարության նազարկումը, տրված երկարությունից մեծ միջմիացումների քանակի նվազարկումը, առանձին կապի գծերի երկարությունների նվազարկումը, ապագա միջմիացումների տեղային խտացումների նվազարկումը, միջմիացումներով պայմանավորված ժամանակային պարամետրերի լավարկումը, տարրերի միջև էլեկտրամագնիսական և ջերմային ազդեցությունների հաշվառումը և այլն: Տեղաբաշխման խնդրի լուծման ավանդական մոտեցման դեպքում տարրերի խտությունը գերակայում է միջմիացումների խտությանը և երկարությանը: Սակայն 250 նմ և ավելի փոքր տեխնոլոգիաներում միջմիացումներում հապաղումները գերակայում են տրանզիստորներում եղածներին, որը, սխեմայի արագագործության տեսանկյունից, սկզբունքորեն նոր պահանջներ է առաջադրում տեղաբաշխման խնդրին, և կարևորվում է դրան նպաստող չափանիշների կիրառությունը: Խորը ենթամիկրոնային ԻՍ-երի նախագծման ժամանակ էլ ավելի է կարևորվում միջմիացումների դերը՝ ինչպես դրանց երկարությունների, այնպես էլ փոխազդեցությունների տեսանկյունից: Չնայած միջմիացումներում ազդանշանի վարքը վերջնականապես որոշվում է շղթաների ծրագրման

արդյունքում, սակայն տեղաբաշխման արդյունքներինց են մեծապես կախված ծրագրման հաջողությունը և ֆիզիկական կառուցվածքը: Սա է հիմնական պատճառը, որ տեղաբաշխումը ներկայումս հանդիսանում է ֆիզիկական նախագծման գլխավոր խնդիրը: Նկ. 1.10-ում բերված է ԻՍ-երի նախագծման պարզեցված երթուղի, որում ներկայացված են ֆիզիկական նախագծման տեղը և բայլերը, ինչպես նաև տեղաբաշխման ֆիզիկական տեղը:



*Նկ . 1.10. Ֆիզիկական նախագծման տեղը ԻՍ-երի նախագծման երթուղում*

Տեղաբաշխման խնդրի լուծման համար որպես նախնական տվյալներ են ծառայում շղթաների ցուցակը, ֆիզիկական նախագծման սահմանափակումները (մակերես, նախագծման կանոններ և այլն), օգտագործված տարրերի գրադարանը և հատակագծման փուլի արդյունքները (նկ . 1.11):

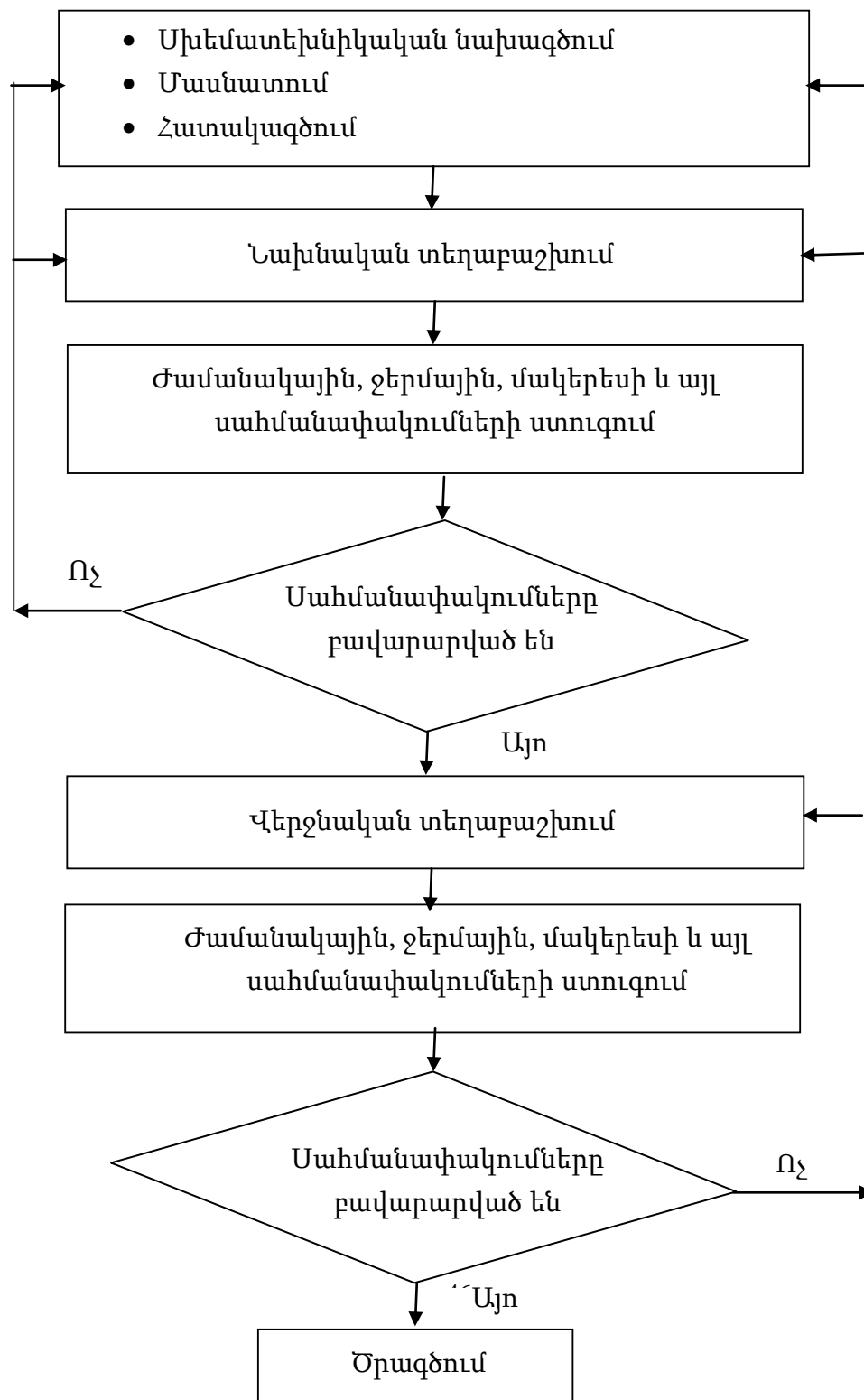


*Նկ . 1.11. Տեղաբաշխման գործիքամիջոցի մոլտքային տվյալները*

Ներկայումս նախագծվող ԻՍ-երի մեծ բարդությունը թույլ չի տալիս նախագծման գործընթացը կազմակերպել գծային հաջորդական ռազմավարություն, ինչպես ցույց է տրված նկ . 1.10-ում: Այդ պատճառով ժամանակակից ԻՍ-երի նախագծման երթուղիները պարունակում են

բազմակրկնակի ցիկլիկ գործընթացներ, որոնք թույլ են տալիս ավարկել տեղաբաշխման ինչպես ընդհանրական, այնպես էլ առանձին ենթափուլերի և ենթախնդիրների արդյունքները:

Նկ. 1.12-ում ներկայացված է տեղաբաշխման գործընթացի հնարավոր երթուղին, որը հաշվի է առնում ժամանակակից ԻՍ-երի ֆիզիկական



նախագծման մարտահրավերները :

*Նկ. 1.12. Ժամանակակից մարտահրավերները հաշվի առնող տեղաբաշխման գործընթացի հնարավոր երթուղի*

Ենթամիկրոնային ԻՍ-երի նախագծման փորձը ցույց է տալիս, որ ներկայումս հատակագծման և տեղաբաշխման որակը ավելի կարևոր է, քան անմիջականորեն ծրագծման որակը: Սա պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ ավտոմատացված նախագծման համակարգերում օգտագործվող ծրագծման գործիքները հիմնված են նույնատիպ ալգորիթմների վրա և, հետևաբար, նախագծի վերջնական որակական բնութագրերը ավելի շատ կանխորոշվում են տեղաբաշխման արդյունքներով: Լավորակ տեղաբաշխումը ոչ միայն արագացնում է ծրագծման գործընթացը, այլև ավպայմաններ է ստեղծում արագագործության, միջմիացումների տեղային խտացումների և այլ չափանիշների տեսանկյուններից:

Աղ. 1.3-ում բերված են ենթամիկրոնային ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման հիմնական մասնավոր չափանիշները և դրանք հաշվի առնող տեղաբաշխման մեթոդների առանձնահատկությունները:

*Աղյուսակ 1.3*

*Տեղաբաշխման հիմնական մասնավոր չափանիշները և դրանք հաշվի առնող տեղաբաշխման մեթոդները*

Տեղաբաշխման չափանիշները	Տեղաբաշխման մեթոդները
Մակերեսի նվազարկում	Տեղաբաշխման ավանդական մեթոդներ՝ հիմնված
Միջմիացումների երկարությունների նվազարկում	միջմիացումների գումարային երկարության նվազարկման վրա
Միջմիացումների տեղային խտացումների նվազարկում	խտացումներով ուղղորդված տեղաբաշխում

Առանձին միջմիացումներում ազդանշանի տարածման հապաղման ժամանակի նվազարկում	Ժամանակով նւղղորդված տեղաբաշխում
Տեսակարար սպառող հզորություն նվազարկում	Ձեռմային տեղաբաշխում
Ձեռմային գրադիենտի նվազարկում	

Մյուս կողմից՝ կարևորվում է տեղաբաշխման հետ կապված տեղեկույթի առկայությունը նախագծման ավելի վաղ՝ սխեմատեխնիկական և տրամաբանական փուլերում: Սա պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ տեղաբաշխման արդյունքում նախագծում ներառվում են նոր տարրեր, որոնք բացակայում են սխեմայում: Դրանք, առաջին հերթին, բուժերները և հապաղման տարրերն են, որոնք ներառվում են ազդանշանի ամբողջականության ապահովման համար:

Ժամանակակից ԻՍ-երի և դրանց նախագծման գործընթացի բարդությունը հանգեցրել է մի իրավիճակի, երբ մի կողմից՝ տեղաբաշխման խնդրի լուծման մեթոդները և ալգորիթմները կախված են ԻՍ-ի նախագծման ոճից, իսկ մյուս կողմից՝ ցանկացած նախագծման ոճում լուծումները ստացվում են տվյալ ոճին հատուկ բազմափուլ գործընթացների արդյունքում, որոնք ներառում են ինչպես անմիջական կատարողական, այնպես էլ լավարկման քննարկ գործողություններ:

Կախված նախագծման ոճից՝ տեղաբաշխման խնդիրն ունի հետևյալ առանձնահատկությունները [34-36]:

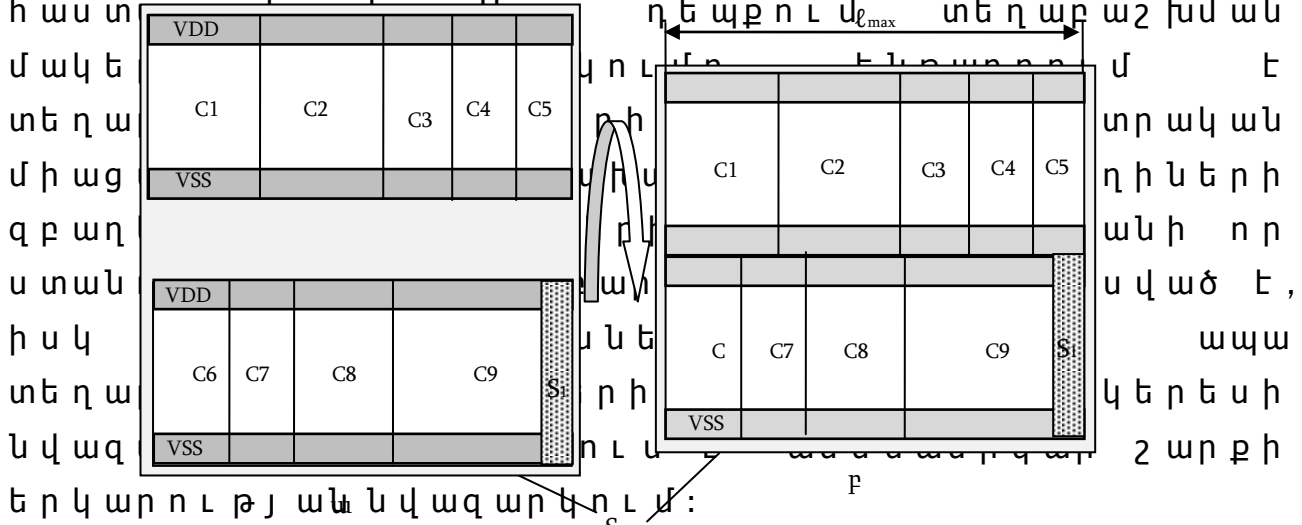
*Լրիվ պատվիրված նախագծում:* Տարրերի տեղաբաշխման ժամանակ նախագծողին տրվում է առավելագույն ազատություն: Որպես տեղաբաշխման



հիմնական չափանիշներ հաճախ օգտագործվում են տեղաբաշխման մակերեսի և միջմիացումների երկարության նվազարկման չափանիշները, որոնք որոշ դեպքերում հակասության մեջ են: Մակերեսի ոչ լիարժեք օգտագործման հիմնական պատճառներն են տարրերի ոչ կանոնավոր երկրաչափական տեսքը և չափսերը: Արագագործության բարձրացման տեսանկյունից կարևորվում է սխեմայի մուտք-ելք որոշիչ ուղիների վրա ընկած շղթաների երկարությունների նվազարկումը:

*Ստանդարտ բջիջներով նախագծում:* Այս դեպքում որպես տարրային հենք են ծառայում ստանդարտ գրադարանային բջիջները, որոնք տրված գրադարանի դեպքում ունեն ֆիքսված բարձրություն և (սկ. 1.13):

Ստանդարտ բջիջները տեղաբաշխվում են շարքերով, որոնց լայնությունը պայմանավորված է ստանդարտ բջիջների բարձրությամբ և նույնպես հաստատվում է:



*Նկ. 1.13. Ստանդարտ բջիջներով նախագծում. ա-միջշարային բացակով և բ-առանց բացակի բ- դեպքում ստանդարտ բջիջների վերնի շարքը շրջված է 180°-ով և երկու հարևան շարքերի սնուցման դողերը միացել են իրար: C1,...,C9-ստանդարտ բջիջներ; S1-բջիջների շարքերի չլրացման պատճառով առաջացած մակերեսային կորուստ;  $l_{max}$  - ամենաերկար շաքի երկարությունը;  $S_{\Sigma}$  - տեղաբաշխման գումարային մակերեսը*

Ինչ վերաբերում է կապուղիների գրադեցրած մակերեսների նվազարկմանը, ապա այն պայմանավորված է կապուղիներում նվազագույն քանակով ուղիների օգտագործմամբ ծրագծման իրականացմամբ [37]: Սակայն ԻՍ-երի իտեգրման աճի և մեծաթիվ մետաղական շերտերի ստացման տեխնոլոգիական հնարավորությունների պայմաններում ներկայումս գործնականում չի օգտագործվում միջշարային կապուղային ծրագծումը, և ժամանակակից ԻՍ-երի նախագծումը կատարվում է վերբջջային ծրագծմամբ: Այս դեպքում բջիջների միջշարային բացակները բացակայում են, և տեղաբաշխման մակերեսի նվազարկումը կախված է միայն շարքերի թվից և ամենաերկար շարքի երկարության նվազարկումից (նկ . 1.13.բ):

*Փականային մատրիցներով նախագծում:*

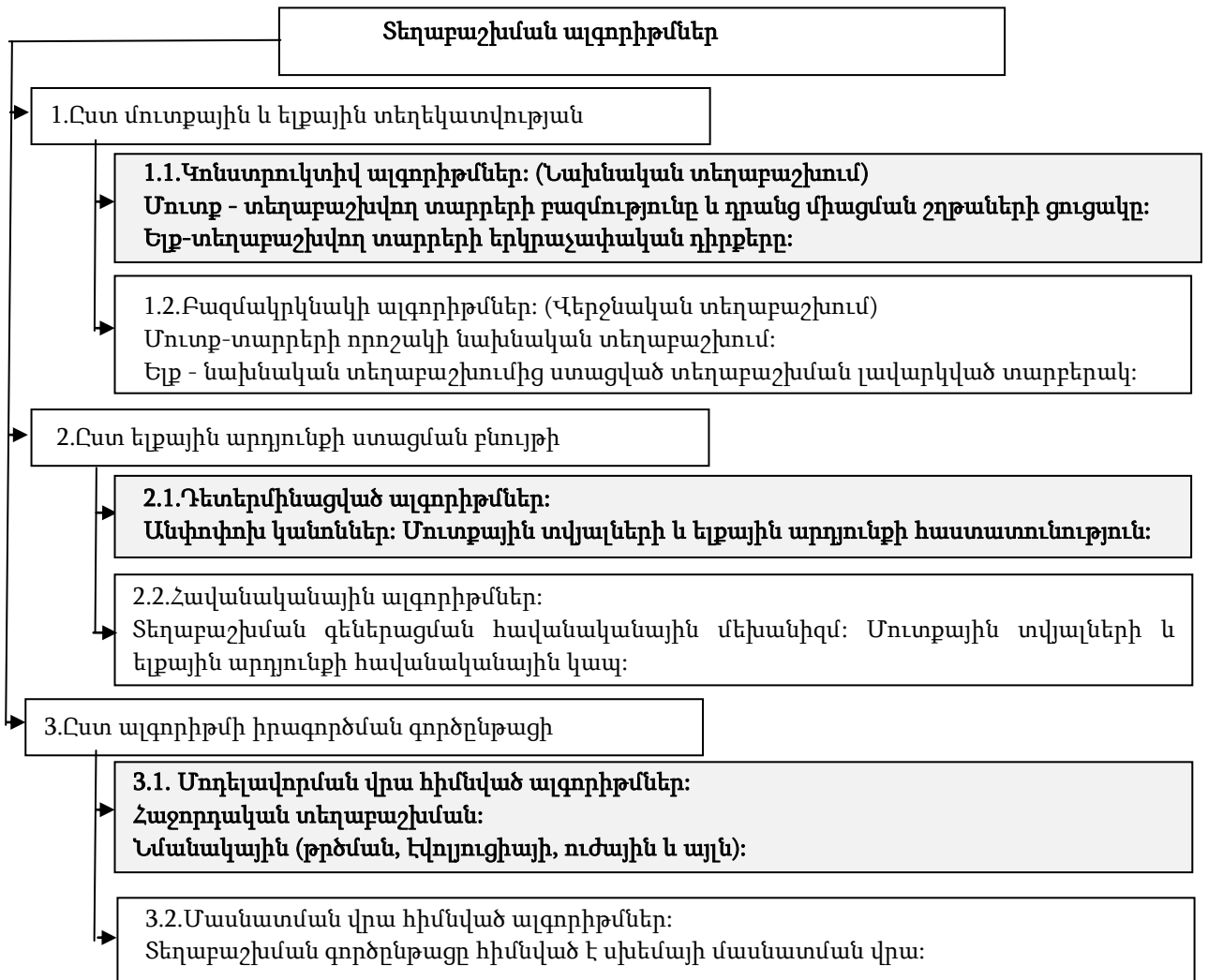
Նախագծման այս ոճը լայնորեն օգտագործվում է ըստ պատվերի ծրագրավորվող փականային մատրիցների նախագծման ժամանակ և ենթադրում է կանոնավոր կառուցվածքով տարրերի մատրիցաձև տեղաբաշխում: Այս դեպքում տեղաբաշխման խնդրի էությունը տարրերի այնպիսի դիրքերի ստացումն է, որը կհանգեցնի կամ ծրագծման համար անհրաժեշտ մակերեսի նվազարկման, կամ տրված սահմանափակ մոնտաժային ռեսուրսների պայմաններում միջմիացումների երկարությունների և դրանցով պայմանավորված աղմուկների նվազարկման:

ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման ծրագրային-գործիքային միջոցներում օգտագործվող ալգորիթմների մաթեմատիկական մոդելային ապարատը, որպես կանոն, հիմնված է գրաֆների տեսություն վրա [14, 40]: Այս դեպքում տեղաբաշխման խնդիրներում առկա են տեղաբաշխվող տարրեր, որոնց միջև հարաբերակցությունը նկարագրվում է

տեղաբաշխման որակի չափանիշով, մասնավորապես՝ նրանց էլեկտրական կապվածությամբ: Գրաֆները հարմար են և մաթեմատիկական տեսակետից լավ զարգացած գործիք այսպիսի օբյեկտների փոխկապվածությունը նկարագրելու համար և վճռորոշ դեր են խաղում գործնականում բոլոր տեղաբաշխման ալգորիթմներում: ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման խնդրի մոդելավորման նպատակով օգտագործվող գրաֆներում, որպես կանոն, գրաֆի գագաթները համապատասխանում են տեղաբաշխվող տարրերին, իսկ կողերը՝ դրանց միջև առկա հարաբերակցություններին: Մյուս կողմից՝ տեղաբաշխման խնդրի գրաֆային ներկայացումը այն վեր է ածում կոմբինատորական խնդրի, որի ճշգրիտ լուծումը ենթադրում է տեղաբաշխման տարբերակների լրիվ ընտրանք, այսինքն՝ ունի ֆակտորիալ կարգի բարդություն: Այսպիսով, տեղաբաշխման օպտիմալացման խնդիրը հանդիսանում է NP-դժվարության խնդիր: Եթե հաշվի առնվի ժամանակակից ԻՍ-երի բարձր ինտեգրումը, երբ հաճախ տեղաբաշխվող տարրերի քանակը կարող է գերազանցել 10<sup>9</sup>-ը, ապա որոշ դեպքերում նույնիսկ քառակուսային բարդություն ալգորիթմները գործնականում կիրառելի չեն [38,39]:

Տեղաբաշխման ալգորիթմների դասակարգումը՝ ըստ տարբեր հայտանիշների, բերված է նկ.1.14-ում:

Գոյություն ունեցող էլեկտրոնային նախագծման ավտոմատացման համակարգերում կոնստրուկտիվ ալգորիթմները կիրառվում են տարրերի նախնական տեղաբաշխման փուլում, իսկ բազմակրկնակի ալգորիթմները՝ ստացված արդյունքների լավարկման նպատակով:



Ն կ . 1.14. Տ եղ աբ աշ խ մ ան ալ գ ո ռ ի թ մ ն ե ռ ի դ աս ա կ ար գ ու մ ը

Ի Ս - ե ռ ի ք ա ռ դ ու թ յ ա ն ա ճ ի ն գ ու լ գ ը ն թ ա գ ` կ ար ն ո ռ վ ու մ է տեղաբաշխման կոնստրուկտիվ ալգորիթմների դերը, քանի որ դրանք, ունենալով անհամեմատ փոքր բարդություն, թույլ են տալիս խելամիտ ժամանակում մշակել մեծ ծավալի տեղեկատվություն և իրագործել բազմամիլիոն տարրերի տեղաբաշխում: Քանի որ դրանց արդյունքի որակից է կախված բազմակրկնակի ալգորիթմների աշխատանքի ժամանակը, ապա ադիական է նախնական տեղաբաշխման այնպիսի չափանիշների, մեթոդների և ալգորիթմների մշակումը, որոնք թույլ կտան առավել ապես հաշվի առնել նախագծային պահանջները և դրանով իսկ կրճատել տեղաբաշխման

օպտիմալացման փուլի ժամանակը: Այդ իսկ նպատակով հետագա շարադրանքում հիմնական ուշադրությունը դարձված է նախնական տեղաբաշխման ալգորիթմներին:

Ընդհանրացնելով վերը շարադրվածը՝ կարելի է եզրակացնել.

ԻՍ-երի ինտեգրման աճին գուցահեռ՝ տեղաբաշխման խնդրի կարևորությունն աճը պայմանավորված է հետևյալ գործոններով.

- Տեղաբաշխումն առաջին մոտավորություններում է հետագա թրագծումը,
- Մեծանում է միջմիացումների կարևորությունը դրանցում առկա հապաղումների և աղմկակայունության տեսանկյունից:
- Բյուրեղի վրատեսակարար էներգասպառման աճի հետևանքով աճում են ինչպես աշխատանքային ջերմաստիճանները, այնպես էլ կիսահաղորդչային բյուրեղի տարբեր տեղամասերի միջև ջերմաստիճանների տարբերությունը:
- Մարտահրավերներն են փոխկապակցվածության աճ՝ արագագործության և սպառող հզորության; ժամանակային և ազդանշանի ամբողջականության; էներգասպառման և հոսքի հոսքի:

**1.4. Ինտեգրալ սխեմաների \$իզիկական նախագծման գործիքային միջոցների հնարավորությունները և կիրառության սահմանների վերլուծությունը**

Արդյունաբերական էլեկտրոնային նախագծման ավտոմատացման (ԷՆԱ) բոլոր համակարգերի պարտադիր գոծառքական մաս են կազմում \$իզիկական

նախագծման ծրագրային-գործիքային միջոցները կամ, այլ կերպ ասած, ֆիզիկական սինթեզի միջոցները: Աղ. 1.4-ում բերված են **ԷՆԱ** առաջատար ընկերությունների համապատասխան գործիքակազմը և դրանց օգտագործելիությունը **ԻՍ**-երի ֆիզիկական նախագծման խնդրներում [40-46]:

**Տարբեր ԷՆԱ** համակարգերի համեմատական վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ **Synopsys**-ի **IC Compiler** [15, 40] ծրագրային գործիքը շահեկանորեն առանձնանում է իր բարձր արտադրողականությամբ, արագագործությամբ և ինտերֆեյսի զարգացվածությամբ: Այդ իսկ պատճառով այն ներկայումս բարձր ինտեգրման աստիճան ունեցող համակարգային ընդհանուր փրատիպի **ԻՍ**-երի ֆիզիկական սինթեզի հիմնական գործիքն է: **Բացի այդ**, **Synopsys**-ի **Prime Time** [40] գործիքը գրավում է ժամանակային վերլուծության խնդրների շուկայի գործնականում **100%**-ը [43]:

*Աղյուսակ 1.4*

*ԷՆԱ գործիքների օգտագործելիությունը ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման փուլում*

Ֆիզիկա-կան նախագրծ-ման փուլեր	Լ ու ծ վ ո ղ տի պայ ի ն խն դ ի ը ն ե ը	Օգտագործվող գործիքային միջոցները		
		Synopsys	Cadence	Mentor Graphics
Մասնատու	Սխեմայի ֆունկցիոնալ, տրամաբանական և ըստ տակտավորման խմբավորում	JupiterXT	SOC Encounter	Olympus-SoC
Հատակագծում	Մ/Եբջիջներին սնուցման դողերի կազմակերպում, մտավոր սեփականության բլոկներին տեղաբաշխում, տեղաբաշխման տարածքներին նախապատրաստում	IC Compiler, JupiterXT, Prime Power; Prime Rail	SOC Encounter, Nano Place	Olympus-SoC
Տեղաբաշխում	Նախանական տեղաբաշխում, Լեգալացում, տեղաբաշխման Լավարկում	IC Compiler	SOC Encounter	Olympus-SoC
Սինթրոագ-դանշանային ծառի սինթեզ	Բուժերներին չափաբերում, վերանշանակում, սինթրոագդանշանային ծառի հետտեղաբաշխումային Լավարկում	IC Compiler	SOC Encounter-	Olympus-SoC
Ծրագրում	Գլոբալ ծրագրում, կապուղիներին որոշում, կապուղային ծրագրում, մանրամասն ծրագրում, Ժամանակային և խտացումներով ուղղորդված ծրագրում	IC Compiler; JupiterXT	SOC Encounter-Nano Router	Olympus-SoC
RC քաղվածքի ստացում	RC պարագիտային պարամետրերի գնահատում	StarRCXT	QRC	Calibre xRC
Ժամանակային վերլուծություն	Ազդանշանի ամբողջականություն և վերլուծություն	Prime Time	Encounter Timing System [ETS]	Questa ADMS
Հետֆիզի-	LVS, DRC և ERC ստուգումներ	IC Validator	Assura	Calibre

Cadence-ի SOC Encounter [41, 45] ծրագրային գործիքն առանձնանում է իր օգտագործման պարզությունը և ցածր գնով: Mentor Graphics-ի Olympus-SoC [42, 46] ծրագրային գործիքը ավելի հարմարեցված է մասնագիտացված ԻՍ-երի, օրինակ՝ թվային ազդանշանային պրոցեսորներին և ախագծման, ինչպես և ևս բազմաբյուրեղ մոդուլներին և ախագծման համար: Բացի այդ, Mentor Graphics-ի Calibre xRC գործիքն առանձնանում է իր բարձր ճշտությունը [46]:

Ինչպես երևում է աղյուսակից, յուրաքանչյուր ԷՆԱ համակարգում \$իզիկական և ախագծման երեք կարևորագույն խնդիրների՝ հատակագծման, տեղաբաշխման և ծրագծման համար օգտագործվում է \$իզիկական սինթեզի միևնույն գործիքը: Սա բացատրվում է այս երեք խնդիրների փոխկապվածությունը և նպատակների ընդհանրությունը: Քանի որ հատակագծման և տեղաբաշխման խնդիրները պետք է նպաստեն ծրագծման խնդրի հաջող լուծմանը, ապա \$իզիկական և ախագծման բոլոր գործիքներում օգտագործվող չափանիշներում այս կամ այն ձևով առկա է \$իզիկական և ախագծման վերջին ծրագծման խնդրին նպաստող բաղադրիչը: Քանի որ \$իզիկական և ախագծմանը նախորդում է նախա\$իզիկական ստուգումը, հետևաբար՝ \$իզիկական և ախագծման ընթացքում անհրաժեշտ է ապահովել սխեմատիկական և ախագծման փոփոխում ստացված էլեկտրական պարամետրերի հնարավորինս փոքր շեղումներ: Այդպիսի շեղումներին առաջացման պատճառ են \$իզիկական և ախագծման արդյունքում առաջացող R, C, L պարագիտային պարամետրերը, որոնք առաջին հերթին պայմանավորված են միջմիացումներին կառուցվածքով և փոխադարձ դասավորությունը: Մյուս կողմից՝ ծրագծման



արդյունավետությունը զգալիորեն  
պայմանավորված է տեղաբաշխման արդյունքներով:  
Յետևաբար՝ տեղաբաշխման գործիքային միջոցները  
պետք է բուն տեղաբաշխման խնդրի լուծման հետ  
միաժամանակ հաշվի առնեն նաև ծրագրման  
պահանջները: Ըստ էության՝ տեղաբաշխման և  
ծրագրման խնդիրները միևնույն գործընթացի  
երկու մասերն են, ունեն մեկ ընդհանուր նպատակ՝  
ԻՍ-ի ֆիզիկական կառուցվածքի ստացումը, և  
ցանկալի է դրանց համատեղ լուծումը: Սակայն  
իրագործման տեսանկյունից դրանք անկախ են, քանի  
որ ունեն տարբեր մաթեմատիկական և ալգորիթմական  
հենք: Բացի այդ, տարբեր են նաև դրանց  
արդյունքները. տեղաբաշխումը որոշում է տարրերի  
երկրաչափական տեղը, իսկ ծրագրումը՝  
միջմիացումների կառուցվածքը՝ համաձայն տվյալ  
տեղաբաշխման և առկա շղթաների ցուցակի: Մյուս  
կողմից՝ համակարգ բյուրեղի վրա տիպի ԻՍ-երի  
նախագծման ժամանակ հարկ է լինում ներառել  
մտավոր սեփականության բլոկներ, որոնց  
երկրաչափական չափսերը անհամատեղելի են  
հիմնական տարրային հենքի հետ: Այդ իսկ պատճառով  
դրանց տեղաբաշխման խնդիրն առանձնացվում է  
ընդհանուր տեղաբաշխման խնդրից և, որպես կանոն,  
լուծվում է հատակագծման փուլում: Այսպիսով, այս  
երեք խնդիրները նախագծման տեսանկյունից իրար  
փոխլրացնող են, սակայն իրագործման  
տեսանկյունից ունեն տարբեր ալգորիթմական հենք  
և հետևաբար՝ տարբեր գործիքակազմ: Ժամանակակից  
ԻՍ-երում հատակագծման, տեղաբաշխման և ծրագրման  
խնդիրներն մեկանգամյա հաջորդական  
իրագործումը չի կարող հաջողություն ապահովել,  
քանի որ մեծապես ծրագրման արդյունքից են կախված  
պարագիտային պարամետրերի արժեքները, և առկա  
ծրագրման գործիքների դեպքում սխեմայի

Ֆուկսիոնալ պարամետրերի բարելավման կարելի է հասնել՝ միայն փոխելով տեղաբաշխումը, իսկ որոշ դեպքերում՝ նաև հատակագծումը: Այլ կերպ ասած, քանի որ տրված հատակագծման և տեղաբաշխման դեպքում ծրագրման որակը սահմանափակված է միայն օգտագործվող ծրագրման գործիքով, ապա որակի բարձրացումը հնարավոր է միայն հետադարձ բազմակրկնակի լավարկմամբ: Եթե հաշվի առնվի, որ բոլոր արդյունաբերական ԷՆԱ համակարգերում օգտագործվող ծրագրման գործիքները գործնականում ունեն նույն ալգորիթմական հենքը, ապա ակնհայտ է, որ ելնելով ծրագրման արդյունքներից՝ նախագծի որակի բարձրացման նպատակով անհրաժեշտ է առաջանում կատարել տարրերի վերատեղաբաշխում: Վերջինս պետք է ապահովի ծրագրման առավել որոշիչ տեղամասերի լավարկումը: Ասվածը կարող է վերաբերել այնպիսի կարևոր նախագծային լուծումներին, ինչպիսիք են միջմիացումների տեղային խտացումների վերացումը, արագագործ ության տեսանկյունից որոշիչ համարվող շղթաների կարճացումը, IR լարման անկումներին նվազեցումը, Էլեկտրամիգրացիայի նվազեցումը, միջմիացումների փոխադարձ աղմուկներին նվազեցումը և այլն: Խնդիրն ավելի է բարդանում սինթրոնացվող սխեմաների նախագծման դեպքում, երբ առանձին խնդիր է դառնում սինթրոնագրանշանային ծառի ծրագրումը: Արդյունաբերական ԷՆԱ համակարգերում այս խնդիրը լուծվում է տեղաբաշխումից հետո և ծրագրումից առաջ:

Նախագծվող սխեմայի աշխատունակ ության ապահովման նպատակով նախանշվում է երկու հնարավոր մոտեցում.

1. ծրագրած ման հետ առնչվող պարամետրերի առավելագույն հաշվի առնելը տեղաբաշխման փուլում,

2. տեղաբաշխում-ծրագրում գործընթացի բազմակրկնակի իրագործում՝ մինչև պահանջվող \$ ունկցիոնալ պարամետրերի ապահովումը:

Ընդ որում, երկու դեպքում էլ անհրաժեշտ է ապահովել ծրագրային գործիքների ճկունություն՝ նախագծային պահանջների և սահմանափակումների առաջնահերթությունների փոփոխության տեսանկյունից, որը կապահովի գործիքների համափոխարինելիությունը տարբեր ԻՍ-երի նախագծման և տեխնոլոգիաների փոփոխման տեսանկյունից:

Առաջին մոտեցումը շահեկան է նախագծման ժամկետների կրճատման տեսանկյունից, սակայն պահանջում է տեղաբաշխման համապատասխան չափանիշների մշակում և կիրառում, որոնք հաշվի կառնեն ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաների քնորոշնորիորդություններ:

Երկրորդ մոտեցումը հանգեցնում է նախագծման ժամանակի մեծացման, ինչը, իր հերթին, խիստ կախված է նախնական նախագծային լուծումների որակից:

Արդյունաբերական ԷՆԱ համակարգերի վերջին տարիների զարգացման վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ այն հիմնականում ընթանում է 2-րդ ճանապարհով. ինչը հանգեցնում է գործիքների բարդությանը և նախագծման ժամանակի անընդհատ աճին:

Փաստենք, որ ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաների քնորոշ մյուս կարևոր իրողությունը՝ հադիսացող ջերմային ռեժիմի ապահովման խնդիրը, ընդհանրապես հաշվի չի առնված առկա ԷՆԱ համակարգերի \$ զիզկական սինթեզի գործիքներում:

Յաշվի առնելով վերև ասվածը, ինչպես նաև հիմնվելով տեղաբաշխման ալգորիթմներին և ծրագրային գործիքներին վերաբերող մեծ ծավալի գրականությունները [14, 47-60], կարող ենք հանգել հետևյալ շատ կարևոր եզրակացությանը.

ԻՍ-երի ինտեգրման անշեղորեն աճի պայմաններում դրանց ֆիզիկական նախագծման գործիքային միջոցների զարգացման տեսանկյունից հրատապ է դարձել նախնական տեղաբաշխման այնպիսի չափանիշների, մեթոդների և համապատասխան արագագործ ալգորիթմների մշակումն ու կիրառումն, որոնք հաշվի կառնեն ենթամիկրոնային տեսնունդիաներն բնորոշ կարևորագույն իրողությունները՝ միջմիացումներով պայմանավորված արագագործությունը և ջերմային ռեժիմի ապահովումը, և նվազեցնելով լավարկման բազմակրկնակի ընթացակարգերի ծավալը՝ թույլ կտան ավելի լավ մեկնակետ ապահովել վերջնական տեղաբաշխման փուլի համար, դրանով իսկ փոքրացնելով օպտիմալացման խնդրի չափողականությունը և լուծման ժամանակը:

### **1.5. Տարրերի նախնական տեղաբաշխման խնդրի ձևայնացումը**

Տարրերի նախնական տեղաբաշխման հիմնական նպատակը տեղաբաշխման վերջնական՝ օպտիմալացման փուլի համար լավագույն պայմանների ստեղծումն է՝ միաժամանակ բավարարելով սխեմայի աշխատունակության ապահովման հիմնական պահանջները: Ինչպես արդեն նշվել է, նախնական տեղաբաշխման փուլում որպես մոտաճային տեղեկություն են ծառայում

տեղաբաշխվող տարրերի բազմությունը և դրանց միացման շղթաների ցուցակը, իսկ ելքում ստացվում են տեղաբաշխվող տարրերի երկրաչափական դիրքերը: Ընդհանուր դեպքում որոշակի հանգույցի տարրերի նախնական տեղաբաշխման խնդրի ձևայնացված ներկայացումը կարելի է նկարագրել հետևյալ կերպ:

Տրված է հանգույցի կոնստրուկտիվ տարրերի բազմությունը, որոնք միացված են իրար՝ համաձայն տրված սկզբունքային էլեկտրական սխեմայի: Պահանջվում է այդ տարրերը տեղաբաշխել հարթ դիսկրետ կոմուտացիոն դաշտում այնպես, որ որակի չափանիշ հանդիսացող որոշակի \$N\$ նկցիոնալը ստանա էքստրեմալ արժեք: Որպես դիսկրետ կոմուտացիոն դաշտ կարող է հանդես գալ ինչպես ԻՍ-ի ամբողջական բյունրեղը, այնպես էլ դրամի մասը: Դիսկրետ կոմուտացիոն դաշտի մակերեսը վերցվում է տեղաբաշխվող բոլոր տարրերի գումարային մակերեսին հավասար ուղղանկյան տեսքով, որի կողերի հարաբերությունը տրվում է՝ ելնելով ամբողջական նախագծի պահանջներից: Տեղաբաշխման դաշտի դիսկրետացումը կատարվում է՝ ելնելով տեղաբաշխվող տարրերի միջին երկրաչափական չափսերից: Վերջին պայմանից հետևում է, որ ընդհանուր դեպքում, նախնական տեղաբաշխման թույլատրվում են տարրերի փոխձածկումներ, որոնք հետագայում վերացվում են տեղաբաշխման լեզակացման արդյունքում: Բնականաբար, դրա արդյունքում որոշակիորեն կփոփոխվի նաև տեղաբաշխման մակերեսը: Այսպիսի պարզեցումները թույլ են տալիս նախնական տեղաբաշխման խնդիրը հանգեցնել քառակուսային նշանակման խնդրի, որը կոմբինատորական օպտիմալացման հիմնարար խնդիրներից մեկն է և

պատկանում է օբյեկտների տեղաբաշխման կատեգորիային [61-66]:

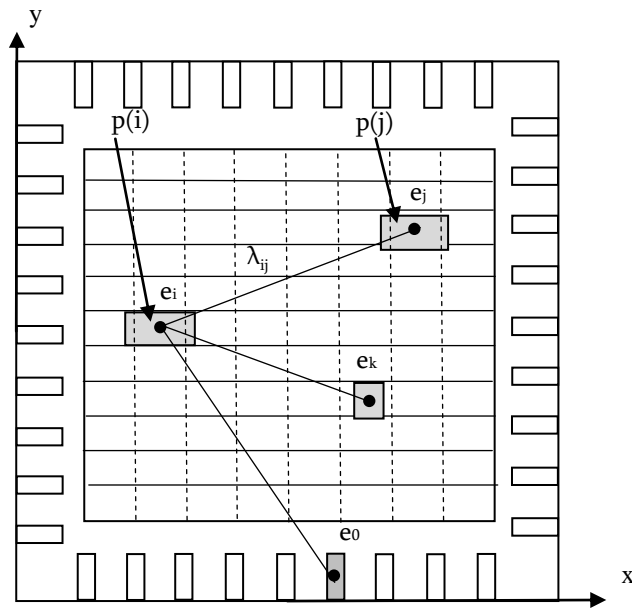
Խնդրի մաթեմատիկական դրվածքի տեսանկյունից՝ նախնական տեղաբաշխման խնդիրը կայանում է հետևյալն է: Տրված են տեղաբաշխման ենթակա տարրերի և դրանց տեղադրման դիրքերի երկու  $\Phi$ իքսված բազմություններ: Պահանջվում է գտնել այդ երկու բազմությունների միջև այնպիսի փոխհամապատասխանություն, որը կհանգեցնի տեղաբաշխման չափանիշի էքստրեմումին:

Տարրերի նախնական տեղաբաշխման խնդրի ձևայնացված դրվածքը կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ:

Տրված են սխեմայի տարրերի բազմությունը  $E\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  և տարրերի յուրաքանչյուր գույնի համար՝ փոխկապվածության բաշային գործակիցը  $\lambda_{ij}(i, j=1, 2, \dots, n)$ , որը որոշում է տարրերի տվյալ գույնի փոխադարձ կապվածությունը տեղաբաշխման իմաստով:

Բաշային գործակիցը կարող է բնութագրել ինչպես տարրերի միջև էլեկտրական կապերի թիվը, այնպես էլ այդ կապերով պայմանավորված շղթաների կարևորությունը, տարրերի փոխադարձ ջերմային ազդեցությունը, տարրերի էլեկտրամագնիսական համատեղելիությունը և այլն: Այսպիսով, կարող ենք ընդհանրել, որ սխեման տրված է  $\Lambda = \|\lambda_{ij}\|_{n \times n}$  մատրիցի տեսքով:

Տրված է նաև տարրերի տեղաբաշխման դիսկրետ կոմունտացիոն դաշտը՝  $\Phi$ իքսված դիրքերի բազմության տեսքով  $P\{p_1, p_2, \dots, p_m\}; (m \geq n)$  (նկ. 1.15): Այսուհետև կընդհանրենք, որ  $m=n$ : Եթե  $m>n$ , ապա կմտցնենք  $(m-n)$  ձևական տարրեր, որոնց փոխադարձ տեղաբաշխումը այլ տարրերի համեմատ ինվարիանտ է, այսինքն՝  $\lambda_{ij} = 0 (i = n+1, n+2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, m)$ :



Նկ . 1.15. Տարրերի տեղաբաշխման դիսկրետ կոմպոնենտացիոն դաշտի մոդելը

Սահման ենք դնել գոյություն ունեցող երկու միջև  $d_{ij}$  հեռավորությունը ն հետևյալ ձևերից մեկով՝

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (1.1)$$

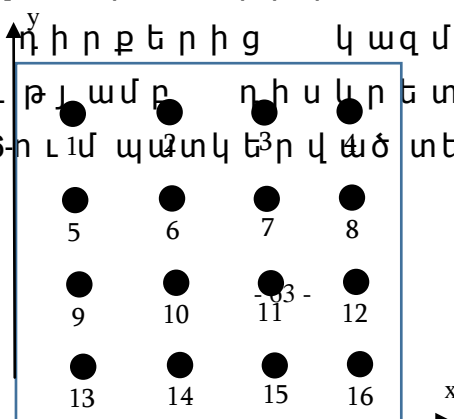
$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|, \quad (1.2)$$

որտեղ  $d_{ij}$ -ն հավասար է  $p_i$  և  $p_j$  դիսկրետ կետերի կենտրոնների միջև հեռավորությունը, իսկ  $x_i, x_j, y_i, y_j$  - ն այդ դիսկրետ համապատասխան կորդինատների արժեքներն են:

Տեղաբաշխման դաշտի համար, բոլոր դիսկրետ փոխադարձ հեռավորությունների բազմությունը կարելի է ներկայացնել հեռավորությունների մատրիցի տեսքով՝  $D = \|d_{ij}\|_{n \times n}$ :

$D$ -ն ներկայացնում է 0-ական գլխավոր անկյուն ազտով սիմետրիկ մատրից ( $d_{ij} = 0; i, j = 1, 2, \dots, n$ ):

Օրինակ՝ 16 դիսկրետ կազմված,  $4 \times 4$  կողերի հարաբերակցությամբ ուսկրետ դաշտի մոդելը կուսենական . 1.16-ում պատկերված տեսքը:



Նկ. 1.16. 16 դիրքերից կազմված 4x4 տեղաբաշխման դիսկրետ կոմոլտացիոն դաշտի մոդելը

Եթե հորիզոնական և ուղղահայաց ուղղուղթյուններով հարևան դիրքերի միջև հեռավորությունը ընդունենք հավասար 1 պայմանական միավորի և հեռավորությունների հաշվարկը կատարենք փոխուղղահայաց մետրիկայով, ապա նկ. 1.15.-ում բերված տեղաբաշխման դաշտի համար, որը պարունակում է 16 դիրք, հեռավորությունների մատրիցը կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & \dots & \dots & 14 & 15 & 16 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 14 \\ 15 \\ 16 \end{matrix} & \begin{vmatrix} 0 & 1 & 2 & \cdot & \cdot & \cdot & 4 & 5 & 6 \\ 1 & 0 & 1 & \cdot & \cdot & \cdot & 3 & 4 & 5 \\ 2 & 1 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 2 & 3 & 4 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 4 & 3 & 2 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 1 & 2 \\ 5 & 4 & 3 & \cdot & \cdot & \cdot & 1 & 0 & 1 \\ 6 & 5 & 4 & \cdot & \cdot & \cdot & 2 & 1 & 0 \end{vmatrix} \end{matrix} : \quad (1.3)$$

Տարրերի կամայական տեղաբաշխումը տրված դիրքերում ենթադրում է որոշակի վերադասավորում՝  $p = p(1), \dots, p(n)$ , որտեղ  $p(i)$ -ն ցույց է տալիս տրված դիրքի համարը:

Եթե տարրերի միջև փոխկապվածությունները պայմանականորեն համադրենք նրանց երկրաչափական կենտրոնների հետ, իսկ դրանք էլ իրենց հերթին՝ տեղաբաշխման դիրքերի կենտրոնների հետ, ապա  $e_i$  և  $e_j$  տարրերի միջև փոխկապվածությունը կգնահատվի հետևյալ բանաձևով՝

$$F_{ij} = \lambda_{ij} d_{p(i)p(j)}, \quad (1.4)$$



որտեղ  $d_{p(i)p(j)}$  - ն  $i$ -րդ դիրքում գտնվող տարրի հեռավորությունն է համապատասխանաբար  $j$ -րդ դիրքերում գտնվող տարրերից:

Հաճախ տեղաբաշխման ժամանակ որոշ տարրեր, ինչպես նաև որոշ արտաքին ելուստների դիրքեր նախօրոք ֆիքսված են: Եթե այդպիսի ֆիքսված տարրերի բազմությունը նշանակենք  $E_S$ , ապա որևէ  $e_i$  տարրի գումարային կշռված կապվածությունը  $E_S$  բազմության տարրերի հետ կգնահատվի հետևյալ բանաձևով՝

$$a_{ip(i)} = \sum_{S \in E_S} \lambda_{is} d_{p(i)s}, \quad (1.5)$$

որտեղ  $d_{p(i)s}$  - ն  $\lambda_{is}$  - ն համապատասխանաբար  $i$ -րդ դիրքում գտնվող տարրի հեռավորությունը և կապվածությունն են  $s$ -րդ դիրքերում գտնվող տարրերից:

Հաշվի առնելով վերը շարադրվածը, ինչպես նաև  $\Lambda$  և  $D$  մատրիցների սիմետրիկությունը, կամայական տեղաբաշխման համար բոլոր տարրերի գումարային կշռված կապվածությունը կարող ենք ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$F(p) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} d_{p(i)p(j)} + \sum_{i=1}^n a_{ip(i)}: \quad (1.6)$$

Սահմանենք փոփոխականների բինար մատրից  $Z = \|z_{ij}\|_{n \times n}$ , որի տողերը համապատասխանում են տեղաբաշխվող տարրերին, իսկ սյուները՝ տեղաբաշխման դիրքերին:  $z_{ij}$  փոփոխականը որոշվում է հետևյալ կերպ՝

$$z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{եթե } e_i \Rightarrow p(j), \\ 0, & \text{հակառակ դեպքում} \end{cases}: \quad (1.7)$$

Սահմանումից երևում է, որ  $Z$  մատրիցը որոշում է տարրերի վերադասավորումը տեղաբաշխման դիրքերում և կոչվում է նշանակման մատրից:

Ակնհայտ է, որ  $Z$  մատրիցը յուրաքանչյուր  $j$  սյունում  $n$  յուրաքանչյուր  $i$  տողում պարունակում է մեկ հատ՝

$$\sum_{i=1}^n z_{ij} = 1, i(j) = 1, 2, \dots, n: \quad (1.8)$$

Խնդրի այսպիսի ձևակերպումը հանգում է քառակուսային նշանակման խնդրի, որի ձևայնացված դրվածքը հետևյալն է:

Տրված են՝

1. Նույնաչափ երկու բազմություններ՝

- տեղաբաշխվող տարրերի բազմությունը՝  $E\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ ,
- տեղաբաշխման դիրքերի բազմությունը՝  $P\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ :

2. Կշռային  $\Phi$  նկնիցիա՝  $\lambda_{ij}(i, j = 1, 2, \dots, n): E \times E \rightarrow \underline{R}$ :

3. Հեռավորությունների  $\Phi$  նկնիցիա

$d_{i,j}(i, j = 1, 2, \dots, n): P \times P \rightarrow \underline{R}$ :

Պահանջվում է գտնել այնպիսի նշանակում (բիեկցիա)՝  $f: E \rightarrow P$ , կամ, որ նույնն է, այնպիսի  $Z_0$  մատրից, որի նպատակային  $\Phi$  նկնիցիան  $L$  ինի  $\min$ ՝

$$F(Z_0) = \min_{Z \in \Pi_n} \left( \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n \sum_{k,s=1}^n \lambda_{ij} d_{ks} z_{ik} z_{js} + \sum_{i,k=1}^n a_{ik} z_{ik} \right): \quad (1.9)$$

որտեղ  $\Pi_n$  -ը տարրերի փոխատեղումների մատրիցն է:

Որպես սահմանափակումներ հանդես են գալիս՝

$$\begin{aligned} 1) \sum_{j \in D} z_{ij} &= 1 \quad \text{եթե} \quad i \in E, \\ 2) \sum_{i \in E} z_{ij} &= 1 \quad \text{եթե} \quad j \in D, \\ 3) z_{ij} &\geq 0 \quad \text{եթե} \quad i, j \in E, D: \end{aligned} \quad (1.10)$$

Առաջին սահմանափակումը պահանջում է, որ յուրաքանչյուր տարր տեղաբաշխվի ճիշտ մեկ դիրքում:

Երկրորդ սահմանափակումը պահանջում է, որ յուրաքանչյուր դիրքին համապատասխանի ճիշտ մեկ տարր:

Երրորդ սահմանափակումը պահանջում է, որ բոլոր տարրերը տեղաբաշխվեն:

Եթե հաշվի առնենք, որ ժամանակակից ԻՍ-երում, որպես կանոն, օգտագործվում է մակերեսային ծրագծումը, երբ տարրերի ելուստները նույնականացվում են նրանց տեղաբաշխման երկրաչափական դիրքերի հետ, իսկ ԻՍ-երի արտաքին ելուստները տեղաբաշխվում են մատրիցաձևամբողջ մակերեսով, ինչպես նաև այն հանգամանքը, որ տարրերի միջև միջմիացումների գումարային երկարությունը շատ անգամ գերազանցում է դեպի արտաքին կոնտակտներ գնացող միջմիացումների երկարությանը, ապա գործնականում կարող ենք անտեսել (1.6) արտահայտության աջ մասի երկրորդ գումարելին, իսկ նվազարկման տեսակետից՝ նաև կրկնակի գումարի առջևի  $\frac{1}{2}$ -ը, և տեղաբաշխման նպատակային  $\Phi$  նկատման ներկայացնել հետևյալ ավելի պարզեցված տեսքով՝

$$F(Z_0) = \min_{Z \in \prod_n} \sum_{i,j=1}^n \sum_{k,s=1}^n \lambda_{ij} d_{ks} z_{ik} z_{js}, \quad (1.11)$$

կամ նույնը մատրիցային տեսքով՝

$$F(Z_0) = \min_{Z \in \prod_n} \text{trace}(\Lambda Z D Z^T): \quad (1.12)$$

Այսպիսով, նախնական տեղաբաշխման խնդիրը տեղաբաշխվող տարրերի  $P$  փոխատեղումների բազմություն վրա՝ (1.11) կամ (1.12),  $\Phi$  նկատման նվազարկումն է:

Նման խնդիրը հանդիսանում է ընդհանուր մաթեմատիկական մոդելի տարբերակ, որը ստացել է քառակուսային նշանակման խնդիր անվանումը:

Ժամանակակից ԻՍ-երում տարրերի տեղաբաշխման որակի վրա ազդող պարամետրերի բազմազանությունը,  $\Phi$  իրական փոխկապվածությունը, իսկ հաճախ նաև դրանց իրարամերժությունը գործնականում անհնար է դարձնում տարրերի կապվածությունը ընդհանրացված

քաջային գործակցի և հետևաբար՝ նաև տեղաբաշխման ընդհանրացված չափանիշի մշակումը [12, 13, 28]:

Կախված նախագծվող ԻՍ-ի ներկայացվող պահանջներից՝ կարևորվում են տեղաբաշխման միջարք մասնակի չափանիշներ, որոնցից հիմնականներն են՝

- միջմիացումներին գումարային երկարություն մինիմումը,
- տեղաբաշխման մակերեսի մինիմումը,
- սխեմայի որոշիչ ուղիների վրա ընկած միջմիացումներին երկարություն մինիմումը,
- բյուրեղի շերմային դաշտի համահարթեցումը,
- տարրերի էլեկտրամագնիսական համատեղելիությունը,
- միջմիացումներին հավասարաչափխտությունը բյուրեղի տարբեր տեղամասերում:

ԻՍ-երի նախագծման գործնական խնդիրներում, որպես կանոն, ընտրվում է մեկ գլխավոր չափանիշ, որը առավելագույնս հաշվի է առնում տվյալ նախագծին ներկայացվող կոնստրուկտորատեխնոլոգիական պահանջները, իսկ մյուս չափանիշները հանդես են գալիս սահմանափակումներին տեսքով: Այս դեպքում որպես դասական չափանիշ է հանդես գալիս միջմիացումներին գումարային երկարություն մինիմումի չափանիշը, իսկ այլ անհրաժեշտ չափանիշներին հաշվի առնելը կատարվում է տեղաբաշխման լավարկման փուլում [40]: Այսպիսի մոտեցումը եթե առաջներում ընդունելի էր, ապա ժամանակակից ենթամիկրոնային ԻՍ-երում հանգեցնում է նախագծման բազմակրկնակի ընթացակարգերի քանակի ավելացմանը, ինչը զգալիորեն մեծացնում է նախագծման ժամանակը և

օպտիմալացման ծրագրային գործիքների քարտեզում:

Այս պայմաններում նախագծման ժամկետները կրճատումը մեծապես պայմանավորված է ավարկման փուլի ժամկետները կրճատմամբ, որն էլ, իր հերթին, եականորեն կախված է ավարկման փուլի մեկնարկի որակական բնութագրերից:

Յետագա շարադրանքում ներկայացված են ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաների բնորոշ իրողությունները հաշվի առնող տարրերի նախնական տեղաբաշխման այնպիսի մեթոդներ և ալգորիթմներ, որոնք առավել կարևոր պարամետրերը հաշվի առնելով և մեքենայական փոքր ռեսուրսների օգտագործմամբ ապահովում են բավարարող որակի նախնական լուծումներ, որոնք, իրենց հերթին, կարող են ավելի մեկնարկային պայմաններ ապահովել տեղաբաշխման ավարկման փուլի համար, դրանով իսկ բարձրացնելով նախագծման որակը և կրճատելով գործընթացի ժամկետները: Այս նպատակով վերը շարադրված քառակուսային նշանակման խնդիրը հանգեցված է բազմապարամետրական դրվածքին:

Քառակուսային նշանակման խնդիրը բազմապարամետրական ներկայացման դեպքում տարրերի փոխկապվածություն քառային գործակիցը՝  $\lambda_{ij}(i, j=1,2,\dots,n)$  ներկայացվում է՝ ելնելով մասնակի պարամետրերի բազմապարամետրական գումարային (ադդիտիվ) միավորումից՝

$$\lambda_{ij} = \frac{1}{\ell} \sum_{q=1}^{\ell} (a_q \bar{\lambda}_{ijq}); i(j)=1,2,\dots,n, \quad (1.13)$$

որտեղ  $a_q$  - ն  $q$  - րդ մասնակի պարամետրի կարևորություն գործակիցն է,  $\ell$  - ը՝ հաշվի առնվող մասնակի պարամետրերի քանակը,  $\bar{\lambda}_{ijq}$  - ը՝ ըստ  $q$  - րդ պարամետրի փոխկապվածություն  $\lambda_{ijq}(i, j=1,2,\dots,n)$  քառային գործակիցի նորմավորված արժեքը:

Փոխկապված ության քառային գործակցի նորմավորումը կատարվում է՝ դրա [0,1] միջակայքում առանց չափողական ության մեծ ության փոխարկելու և համապատասխան տարրերի միջև  $d_{ij}$  հեռավորության մեծ ության նկատմամբ հակադարձ համեմատական ության նկատառումներին:

Կոմբինատորական օպտիմալացման ասպարեզում գոյություն ունենում են խնդիրների լուծման միջարք մոտավոր մեթոդներ, որանցից տեղաբաշխման խնդիրներում առավել մեծ տարածում են գտել հաջորդական տեղաբաշխման ալգորիթմները [12-14, 47]: Այս դասի ալգորիթմների հիմնական գաղափարը հավանորդության որոշակի ֆունկցիայի վրա հիմնված տարրերի հաջորդական ընտրումը և տեղաբաշխումն են: Այս աշխատանքում մշակված մեթոդները իրագործման նպատակով կիրառված ալգորիթմները մեծ մասամբ հիմնված են տարրերի միջև կապված ությունը բնութագրող հարևան ության մատրիցի և հետևյալ ընթացակարգի ռեկուրսիվ կրկն ության վրա: Յերթական մոտակա ազատ դիրքում տեղադրվում է այն տարրը, որն ունի β հավանորդության որոշակի ֆունկցիայի նվազագույն արժեքը: Յավանորդության ֆունկցիան սահմանվում է որպես հերթական i - րդ տարրի արդեն տեղաբաշխված և դեռևս չտեղաբաշխված տարրերի հետ, գումարային փոխկապված ության կշռված գործակիցների տարբերություն, ինչը համապատասխանում է հետևյալ պայմանին՝

$$b_i = \min_{j \in OE_{i,m}} e_{ij} - \min_{j \in OE_m} \bar{e}_{ij} \quad (1.14)$$

որտեղ  $E_m$  և  $E_{i,m}$  - ն տվյալ քայլում համապատասխանաբար արդեն տեղաբաշխված և դեռևս չտեղաբաշխված տարրերի բազմություններն են:

Այս պիսի բազմապարամետրական մոտեցման հիմնական դժվարությունը հաշվի առնվող տարբեր պարամետրերի համար փոխկապվածություն կշռային գործակիցների այնպիսի անալիտիկ տեսքերի մշակումն է, որոնք հնարավորություն կտան դրանց բազմապարամետրական գումարային ներառումը ընդհանուր հարևանություն մատրիցում, ինչը հնարավորություն կընձեռի՝ իրագործելու տեղաբաշխման հաջորդական բազմապարամետրական ալգորիթմը: Ատենախոսություն 2-րդ և 4-րդ գլուխերը նվիրված են այնպիսի ալգորիթմների մշակմանը և իրագործմանը՝ ենթամիկրոնային ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման տեսանկյունից ամենակարևոր երկու գործոնները՝ միջմիացումներով պայմանավորված արագագործությունը և ջերմային հոսքի ուղիղությունը հաշվի առնելու նպատակով:

Այս պիսով, նախնական տեղաբաշխման խնդրի ձևայնացված ներկայացումը՝ որպես քառակուսային նշանակման խնդիր, հնարավորություն է տալիս.

- Յամպատասխան տեսքի մասնակի չափանիշների առկայություն դեպքում նախնական տեղաբաշխման խնդիրը հանգեցնել բազմապարամետրական քառակուսային նշանակման խնդրի:
- Ի տարբերություն առկա տեղաբաշխման մեթոդների՝ նախնական տեղաբաշխման փուլում միջմիացումների գումարային երկարության հետ միաժամանակ հաշվի առնել այնպիսի կարևորագույն գործոններ, ինչպիսիք են շղթաներում առաջացող հապաղումները և ջերմային ռեժիմը:

***Եզրակացություններ***

1. Ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաներին բնորոշ իրողությունները նոր պահանջներ են առաջադրում ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման տեսանկյունից:

Այդ պահանջներից առավել կարևորվում են՝

- միջմիացումներում ազդանշանի հապաղման գերակայությունը տրանզիստրոներում առաջացող հապաղումների համեմատ,
- կիսահաղորդչային բյուրեղի վրա բարձր ջերմաստիճանով և մեծ ջերմային գրադիենտով տիրույթների առաջացումը:

ԻՍ-երի ինտեգրման աճին գուցա ընթաց` անշեղորեն աճում է այդ պահանջների կարևորությունը, և ներկայումս, առանց դրանք անհրաժեշտ չափով հաշվի առնելու, հնարավոր է ապահովել նախագծվող ԻՍ-երի բավարար հուսալիությունն աշխատունակությունը:

2. Հիմնավորվել են նախնական տեղաբաշխման խնդրի կարևորությունը և հնարավորությունները` ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաների հետևանքով առաջացող բացասական երևույթների հաղթահարման տեսանկյունից:

3. ԻՍ-երի ինտեգրման անշեղորեն աճի պայմաններում դրանց ֆիզիկական նախագծման գործիքային միջոցների զարգացման տեսանկյունից հրատապ է դարձել նախնական տեղաբաշխման այնպիսի չափանիշների, մեթոդների և համապատասխան արագագործ ալգորիթմների մշակման ու կիրառման անհրաժեշտությունը, որոնք հաշվի կառնեն ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաներին բնորոշ կարևորագույն իրողությունները` միջմիացումներով պայմանավորված արագագործությունը և ջերմային ռեժիմի ապահովումը, և նվազեցնելով լավարկման բազմակրկնակի ընթացակարգերի ծավալը` թույլ



կտան ավելի և ավելի նարկապահովել վերջնական տեղաբաշխման փուլի համար, դրանով իսկ փոքրացնելով օպտիմալացման խնդրի չափողականությունը և լուծման ժամանակը:

4. Նախնական տեղաբաշխման խնդիրը հանգեցվել է բազմապարամետրական քառակուսային նշանակման խնդրի, ինչը, ի տարբերություն առկա տեղաբաշխման մեթոդների, հնարավորություն է տալիս, համապատասխան տեսքի մասնակի չափանիշների առկայություն դեպքում, նախնական տեղաբաշխման փուլում միջմիացումների գումարային երկարության հետ միաժամանակ հաշվի առնել այնպիսի կարևորագույն գործոններ, ինչպիսիք են շղթաներում առաջացող հապաղումները և ջերմային ռեժիմը:

## **ԳԼՈՒԽ 2. ՏԱՐԲԵՐԻ ՆԱԽՆԱԿԱՆ ՏԵՂԱԲԱՇԽՄԱՆ ՓՈՒԼՈՒՄ ԹՎԱՅԻՆ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ԱՐԱԳԱԳՈՐԾՈՒ ԹՅԱՆ ԱՊԱՅՈՎՈՒՄԸ**

**2.1. Թվային ինտեգրալ սխեմաների նախագծման երթուղին և արագագործության ապահովումը**

ԻՍ-էրի ինտեգրման աճով պայմանավորված՝ արագագործունեյան ապահովման մարտահրավերները ստիպում են ժամանակային պարամետրերի լավարկման և սահմանափակումների ստուգման խնդիրը դիտարկել նախագծման բոլոր փուլերում [67-70]: ժամանակով ուղղորդված այդպիսի նախագծման հնարավոր պարզեցված երթուղին, ներկայումս ամենալայն կիրառություն ունեցող գրադարանային ոճով թվային ԻՍ-էրի նախագծման օրինակով, բերված է նկ. 2.1-ում: Ինչպես երևում է նկարից, ժամանակային գործոնի հաշվի առնելն իրագործվում է երկու ընթացակարգերով:

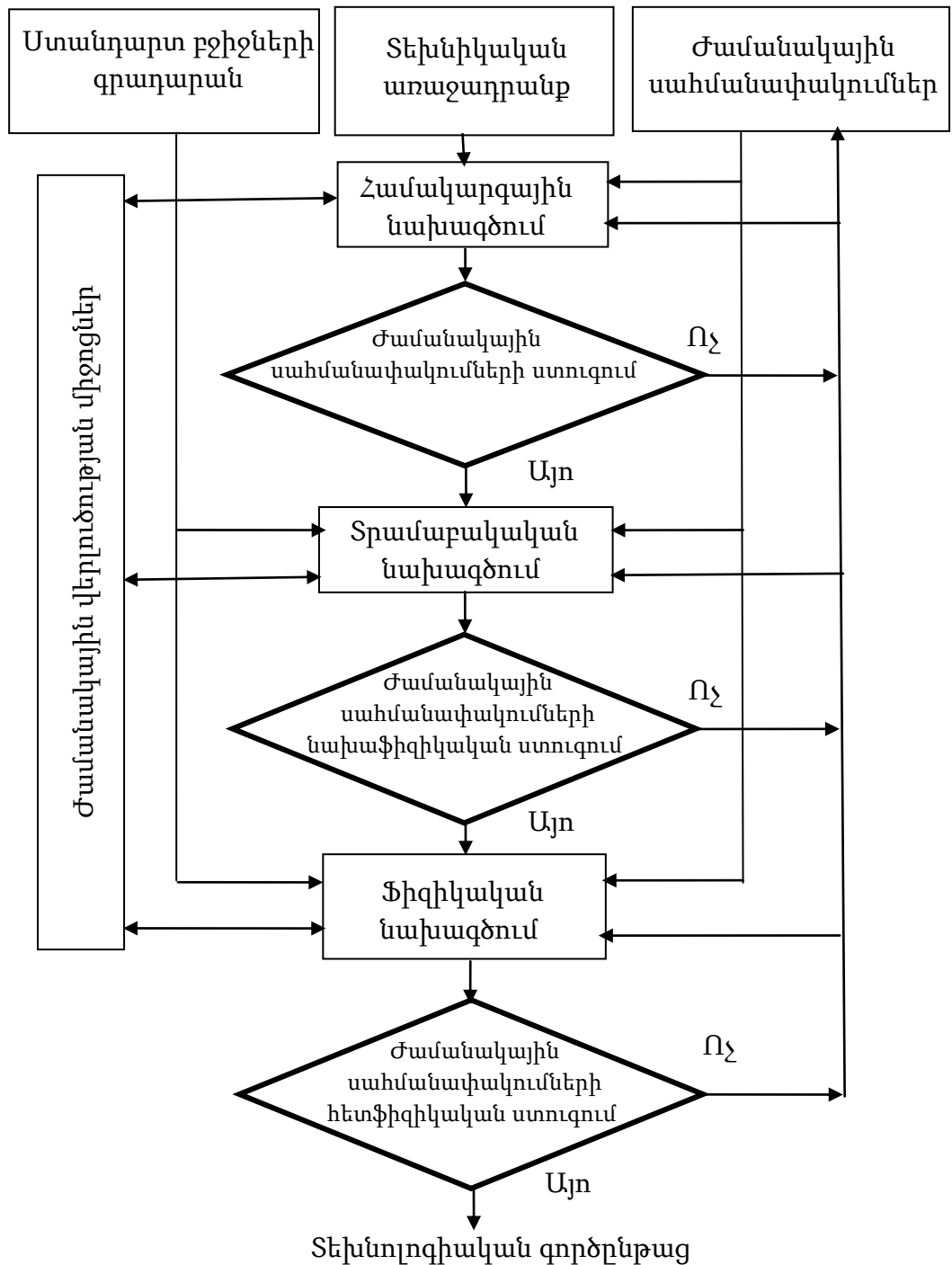
Առաջինը ժամանակային պահանջներն ու սահմանափակումները հաշվի առնելն է բոլոր նախագծային լուծումներում: Սակայն սաբավարարչէ, քանի որ նախագծման ընթացքում օգտագործվող մոդելների ոչ լիարժեքության պատճառով հաճախ հնարավոր չի լինում միանգամյա մոտեցմամբ բավարարել այդ պահանջները և սահմանափակումները:

Երկրորդ ընթացակարգը ենթադրում է ժամանակային սահմանափակումների ստուգում նախագծման յուրաքանչյուր փուլից հետո, որը թույլ է տալիս անհրաժեշտության դեպքում առանձին նախագծային փուլերում կատարել բազմակրկնակի ճշգրտումներ:

Ստորև դիտարկված են ԻՍ-էրի նախագծման տարբեր փուլերում լուծվող խնդիրները և դրանցում ժամանակային գործոնը հաշվի առնող առանձնահատկություններն ու հիմնական մոտեցումները:

Համակարգային նախագծման փուլում կատարվում է անցում վարքային նկարագրությունից կառուցվածքայինի՝ ֆունկցիոնալ միավորներով,

հիշողության տարրերով և դրանց միջև եղած կապերով: Ենթադրվում է, որ կառուցվածքային սխեմայի արտաքին միջավայրի նկատմամբ



ցուցաբերվող վարքը, ֆունկցիոնալ տեսակետից, որոշվում է դրա մուտքային և ելքային ազդանշաններով:

*Ն կ .2.1. Ար ա գ ա գ ո թ ո լ թ յ ա ն ա պ ա հ ո վ մ ա ն*

*տե ս ա ն կ յ ո լ ն ի ց գ թ ա դ ա թ ա ն ա յ ի ն ո ճ ո վ թ վ ա յ ի ն Ի Ս-ե թ ի ն ա խ ա գ ծ մ ա ն ա պ ա թ գ ե ց վ ա ծ ե թ թ ո լ ղ ի ն*

Ն ա խ ա գ ծ մ ա ն ա յ ս փ ո լ լ ո լ մ ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն գ ո թ ո ն ը հ ա շ վ ի ա ռ ն ե լ ը ե ն թ ա դ թ ո լ մ է տ վ յ ա լ ն ե թ ի հ ո ս ք ի գ թ ա \$ ո լ մ մ ո լ տ ք -ե լ ք ո լ ղ ի ն ե թ ի ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն վ ե թ լ ո լ ծ ո լ թ յ ո լ ն , յ ո լ թ ա ք ա ն չ յ ո լ թ գ ո թ ո ղ ո լ թ յ ա ն կ ա տ ա թ մ ա ն ժ ա մ ա ն ա կ ի ն ե թ ք ի ն ս ա հ մ ա ն ի գ ն ա հ ա տ ո լ մ ն մ ո լ տ ք -ե լ ք ո թ ո շ ի չ ո լ ղ ի ն ե թ ի ո թ ո շ ո լ մ : Ս ա թ ո լ յ լ է տ ա լ ի ս հ ա մ ա պ ա տ ա ս խ ա ն հ ա պ ա ղ մ ա ն տ ա թ թ ե թ ի ն ե թ դ թ մ ա մ ք վ ե թ ա ց ն ե լ ա գ դ ա ն շ ա ն ն ե թ ի «մ թ ց ա վ ա գ ք ը »:

Ա յ ս փ ո լ լ ո լ մ լ ո լ ծ վ ո ղ գ լ խ ա վ ո թ խ ն դ ի թ ն ե թ ն ե ն \$ ո լ ն կ ց ի ո ն ա լ մ ի ա վ ո թ ն ե թ ի տ ա թ ա ն ջ ա տ ո լ մ ը , դ թ ա ն ց ն շ ա ն ա կ ո լ մ ը և ս խ ե մ ա յ ի ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն պ լ ա ն ա վ ո թ ո լ մ ը : Տ ա թ ա ն ջ ա տ ո լ մ ը ն ա խ ա գ ծ վ ո ղ ս ա թ ք ի \$ ո լ ն կ ց ի ա վ ո թ մ ա ն ա լ գ ո թ ի թ մ ի ի թ ա կ ա ն ա ց մ ա ն հ ա մ ա թ ա ն հ թ ա ժ ե շ տ ա պ ա թ ա տ ա յ ի ն ռ ե ս ո լ թ ս ն ե թ ի պ ա հ ո լ ս տ ա վ ո թ ո լ մ ն է : Ն շ ա ն ա կ ո լ մ ը ե ն թ ա դ թ ո լ մ է ն ա խ ա գ ծ վ ո ղ ս ա թ ք ի \$ ո լ ն կ ց ի ա վ ո թ մ ա ն ա լ գ ո թ ի թ մ ի ն հ ա մ ա պ ա տ ա ս խ ա ն ո ղ տ վ յ ա լ ն ե թ ի հ ո ս ք ի գ թ ա \$ ի ծ ա ծ կ ո լ մ ը պ ա հ ո լ ս տ ա վ ո թ վ ա ծ ռ ե ս ո լ թ ս ո լ մ ա ռ կ ա ա պ ա թ ա տ ա յ ի ն մ ի ջ ո ց ն ե թ ո վ : Տ վ յ ա լ ն ե թ ի հ ո ս ք ի գ թ ա \$ ը ն կ ա թ ա գ թ ո լ մ է ս խ ե մ ա յ ի ա ռ ա ջ ն ա յ ի ն մ ո լ տ ք ե թ ի ց դ ե պ ի ա ռ ա ջ ն ա յ ի ն ե լ ք ե թ տ վ յ ա լ ն ե թ ի հ ո ս ք ը : Պ լ ա ն ա վ ո թ մ ա ն ժ ա մ ա ն ա կ կ ա տ ա թ վ ո լ մ է ս ա թ ք ի ա շ խ ա տ ա ն ք ը ն կ ա թ ա գ թ ո ղ տ վ յ ա լ ն ե թ ի հ ո ս ք ե թ ի վ ե թ լ ո լ ծ ո լ թ յ ո լ ն , ի ն չ ի ա թ դ յ ո լ ն ք ո լ մ ո թ ո շ վ ո լ մ ե ն գ ո թ ո ղ ո լ թ յ ո լ ն ն ե թ ի կ ա տ ա թ մ ա ն ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն պ ա հ ե թ ը , և կ ա տ ա թ վ ո լ մ է ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն պ լ ա ն ա վ ո թ ո լ մ :

Տ թ ա մ ա թ ա ն ա կ ա ն ն ա խ ա գ ծ մ ա ն փ ո լ լ ո լ մ կ ա տ ա թ վ ո լ մ է ս խ ե մ ա յ ի ս ի ն թ ե գ և օ պ տ ի մ ա լ ա ց ո լ մ տ թ ա մ ա թ ա ն ա կ ա ն փ ա կ ա ն ն ե թ ի վ թ ա , ի ն չ պ ե ս ն ա ն տ ե խ ն ո լ թ գ ի ա կ ա ն ք ա թ տ ա գ թ ո լ մ , ո թ ի ա թ դ յ ո լ ն ք ո լ մ տ թ ա մ ա թ ա ն ա կ ա ն փ ա կ ա ն ն ե թ ի վ թ ա կ ա ռ ո լ ց վ ա ծ ս խ ե մ ա ն ն ե թ կ ա յ ա ց վ ո լ մ

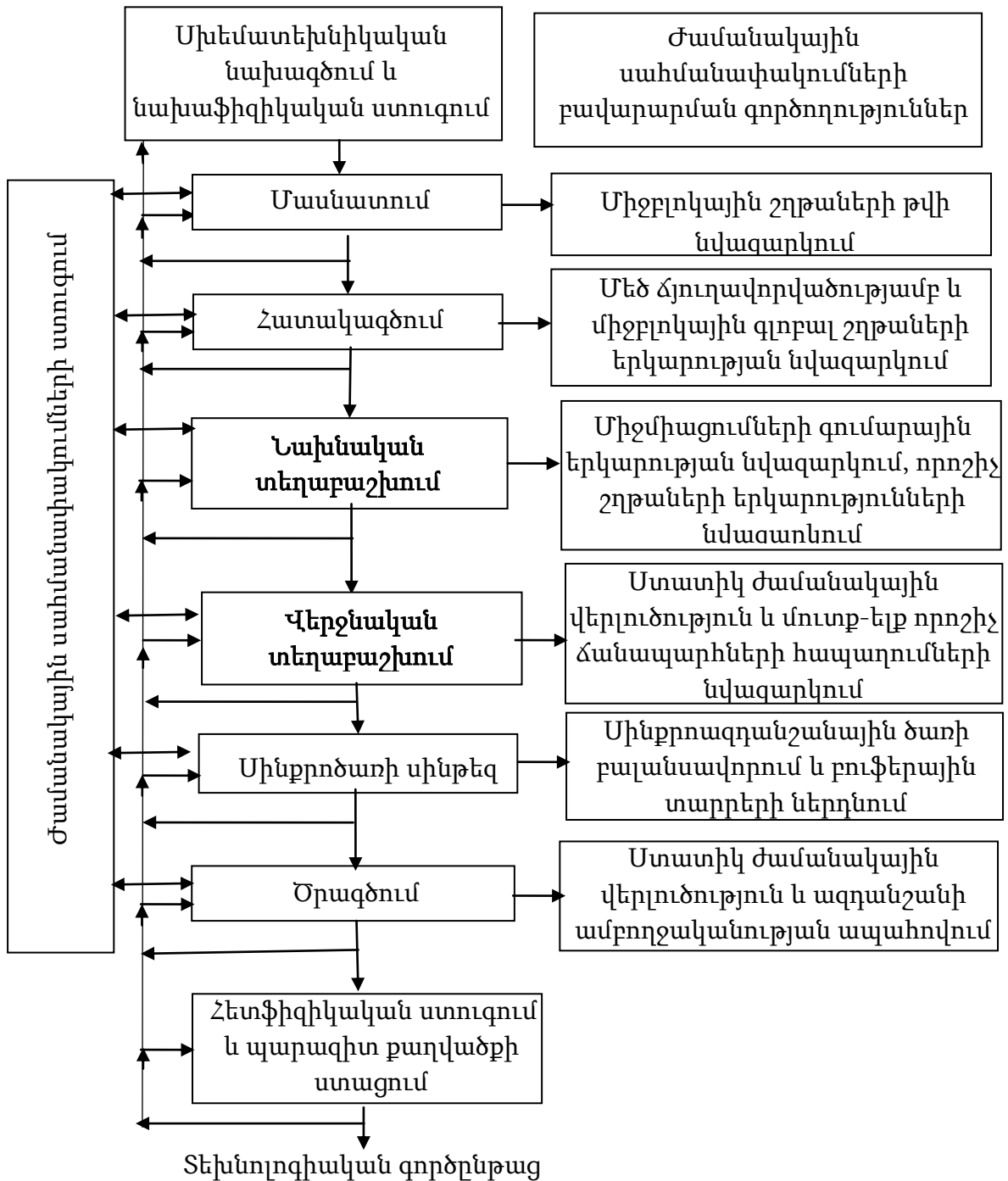
Է տեխնոլոգիական տարրերով, օրինակ՝ ստանդարտ բջիջների գրադարանի տարրերով: Այս փուլում ժամանակային գործոնը հաշվի առնելը ենթադրում է տրամաբանական սխեմայի ստատիկ ժամանակային վերլուծություն՝ հաշվի առնելով ընտրված տարրերի հապաղումները: Նպատակը նույնն է, ինչ որ նախորդ փուլում, այսինքն՝ ազդանշանների «մրցավազքի» վերացումը: Այս փուլում որպես ներդրվող հապաղման տարրեր են ծանայում ստանդարտ բջիջների գրադարանում առկա համապատասխան հապաղման տարրերը՝ տրամաբանական կրկնիչները:

Համակարգային և տրամաբանական նախագծման փուլերում կատարվող ժամանակային վերլուծությունների գործառնությունների ընդհանուր առանձնահատկությունն այն է, որ երկուսում էլ որպես նախնական տվյալներ են ծանայում օգտագործվող տարրային հենքի ժամանակային պարամետրերը (հապաղումները) և համապատասխան սխեմայի կառուցվածքը: Այսինքն՝ երկու դեպքում էլ ենթադրվում է, որ տարրերի միջև առկա կապերը իդեալական են, չունեն հապաղումներ և ժամանակային տեսակետից չեն անդրադառնում սխեմայի աշխատանքի վրա: Երկու դեպքում էլ ժամանակային վերլուծության իմաստը սխեմայի առանձին շղթաներում ազդանշանի ձևավորման ժամանակային պարամետրերի գնահատումն է, դրանց հիման վրա մոտքեր-ելքեր ուղիների ժամանակային պարամետրերի գնահատումը և որոշիչ ուղիների հայտնաբերումը:

Ի տարբերություն համակարգային և տրամաբանական նախագծման փուլերի՝ ֆիզիկական նախագծման փուլում սխեմայում առկա էլեկտրական կապերը նյութականանում են, շղթաները վերածվում են մետաղական միջմիացումներից կազմված

կառուցվածքների, որոնք ունեն որոշակի հապաղումներ և, բնականաբար, իրենց հստակ ազդեցությունն են ունենում սխեմայի ժամանակային պարամետրերի վրա: Այդ ազդեցության չափը պայմանավորված է նախագծման արդյունքում ստացված միջմիացումների երկարություններով, դրանց երկրաչափական կառուցվածքներով, օգտագործվող նյութերով և տեխնոլոգիաներով: Եթե օգտագործվող նյութերը և տեխնոլոգիաները նախագծման այս փուլում հայտնի են լինում, ապա միջմիացումների երկրաչափական կառուցվածքները և երկարությունները ստացվում են ֆիզիկական նախագծման գործընթացի արդյունքում: Քանի որ ֆիզիկական նախագծման արդյունքում նախագծվող սխեմայի ժամանակային պարամետրերը ենթարկվում են որոշակի փոփոխությունների, ապա դրանց ներկայացվող պահանջներն ու սահմանափակումները բավարարելու նպատակով հարկ է լինում կատարել հետֆիզիկական ժամանակային ստուգումներ, ինչը ենթադրում է պարազիտային քաղվածքի ստացում և դրա հաշվառում սխեմատեխնիկական ստուգումներում: Ժամանակային սահմանափակումների բավարարման նպատակով հաճախ հարկ է լինում կատարել համապատասխան նախագծային փոփոխություններ ինչպես բուն ֆիզիկական նախագծում, այնպես էլ, անհրաժեշտության դեպքում, սխեմատեխնիկական լուծումներում: Այս գործընթացում օգտագործվող մոդելների ոչ բավարար ճշտության պատճառով գործընթացը, որպես կանոն, կրում է բազմակրկնակի բնույթ, որտեղ կրկնությունների թիվը պայմանավորված է ժամանակային սահմանափակումների բավարարմամբ:

Ֆիզիկական նախագծման փուլերի կապի  
բազմակրկնակի բնույթը՝ ժամանակային  
սահմանափակումների բավարարման տեսանկյունից,  
բերված է նկ. 2.2-ում:



Նկ. 2.2. Ֆիզիկական նախագծման փուլերի կապի  
բազմակրկնակի բնույթը՝ արագագործող անհատական  
.....

Այս տեղ սխեմատեխնիկական նախագծում ասելով պայմանականորեն հասկացվում են ֆիզիկական նախագծմանը նախորդող բոլոր նախագայիս փուլերը: Ժամանակային սահմանափակումների տեսանկյունից նախաֆիզիկական ստուգումը ենթադրում է ժամանակային պարամետրերի ստուգում՝ հաշվի առնելով միայն սխեմայի մեջ մտնող տարրերի հապաղումները, իսկ հետֆիզիկական ստուգման դեպքում հաշվի են առնվում նաև միջմիացումների հապաղումները: Անհրաժեշտ է նշել, որ ֆիզիկական նախագծման փուլը ներառում է մի քանի համեմատաբար ինքնուրույն ենթափուլերի հաջորդական լուծումներ, որոնց արդյունքում էլ ձևավորվում են միջմիացումների երկրաչափական կառուցվածքները, երկարությունները և դրանցով պայմանավորված՝ ժամանակային պարամետրերը:

Ստորև դիտարկված է ֆիզիկական նախագծման տարբեր փուլերի ազդեցությունը միջմիացումների ժամանակային պարամետրերի ձևավորման վրա [14, 15, 52, 72]:

Ժամանակային գործոնի տեսանկյունից ֆիզիկական նախագծման բոլոր փուլերը միտված են վերջին՝ ծրագծման փուլում ավելի արագագործ (փոքր հապաղումներով) կառուցվածքների ստացման համար նպաստավոր պայմանների ստեղծմանը:

Մասնատման փուլի նպատակը սխեմայի ֆունկցիոնալ, տրամաբանական և ըստ տակտավորման խմբավորումն է այնպես, որ՝ ա) միևնույն մասում հայտնվեն ֆունկցիոնալ տեսակետից իրար հետ կապված տարրեր, բ) տարբեր մասերի միջև կապվածությունը լինի թույլ [13, 14, 47]: Ժամանակային գործոնի տեսանկյունից սա նշանակում է, որ առավել կարևոր շղթաները, որոնք ընկած են որոշիչ ուղիների վրա, մեծ մասամբ կհայտնվեն ֆունկցիոնալ հանգույցների ներսում, և



հետևաբար՝ հնարավորություն կստեղծվի դրանց  
ավելի սեղմ ֆիզիկական իրագործման համար, որը, իր  
հերթին, կնպաստի դրանցում ազդանշանի  
համեմատաբար փոքր հապաղումներին ապահովմանը:

Հատակագծման փուլում կատարվում է Մ/Ե  
բջիջների և սնուցման դողերի կազմակերպում,  
մտավոր սեփականության բլոկների տեղաբաշխում և  
հետագա տեղաբաշխման տարածքների  
նախապատրաստում [13, 14, 15] այնպես, որ ապահովվի  
կիսահաղորդչային բյուրեղի մակերեսի  
առավելագույն օգտագործումը՝ միաժամանակ  
բավարարելով նախագծային սամանափակումները:  
Այս փուլում ժամանակային գործոնը հաշվի է  
առնվում երկու տեսանկյուններով՝

- մտավոր սեփականության բլոկների  
տեղաբաշխում այն Մ/Ե բջիջներին մոտ  
տեղամասերում, որոնք հանդիսանում են  
ելուստներով չափավոր բլոկի համար,
- մտավոր սեփականության բլոկների  
տեղաբաշխում՝ հաշվի առնելով դրանց միջև  
էլեկտրական կապվածությունները:

Երկու դեպքում է նվազարկվում են  
արագագործության տեսակետից առավել  
վտանգավոր միջբլոկային կապերի  
երկարությունները, հետևաբար նաև դրանցում  
ազդանշանի հապաղումները:

Ինչպես արդեն նշվել է 13. - ում, հիմնականում  
տեղաբաշխման արդյունքներից են կախված  
ծրագծման հաջողությունը և ֆիզիկական  
կառուցվածքը: Հետևաբար՝ ժամանակային գործոնի  
տեսանկյունից տեղաբաշխումը մեծապես ազդում է  
հաջորդ՝ ծրագծման փուլում ինչպես առավել կարճ և  
փոքր հապաղումներով միջմիացումների ստացման,  
այնպես էլ միջմիացումների այնպիսի  
կառուցվածքի ստացման վրա, որը կապահովի

աղմուկներին ցածր մակարդակ: Սխեմայի արագագործունեյան ապահովման նպատակով անհրաժեշտունեյուն է առաջանում սխեմայի մուտքեր - ելքեր որոշիչ ուղիների վրա գտնվող տարրերի հնարավորիսս իրար ավելի մոտ տեղաբաշխման, ինչը կապահովի այդ ուղիներում ազդանշանի հապաղման ցածր արժեքներ:

Ծրագծման նպատակն է միջմիացումների երկրաչափական տեղերի, ձևերի և չափսերի որոշումը: Խնդիրն է միջմիացումների ծրագծման այնպիսի հերթականունեյուն և կառուցվածքի ստացումը, որը կապահովի ֆիզիկական նախագծով պայմանավորված սխեմայի էլեկտրական պարամետրերի նվազագույն շեղում սխեմատեխնիկական նախագծով պայմանավորված նունեյուն պարամետրերի արժեքներից: Ծրագծումը կատարվում է 2 փուլով՝ գլոբալ (նախնական) [73-78] և մանրամասն (վերջնական) [79-82]: Գլոբալ ծրագծման խնդիրը միջմիացումների գլոբալ բաշխումն է՝ ըստ դրա համար նախատեսված կապուղիների և միջմիացումների ծրագծման այնպիսի հերթականունեյուն սահմանման, որ նախորդող միջմիացումներն առավել քիչ խանգարեն հաջորդողների ծրագծմանը: Մանրամասն ծրագծման խնդիրն է յունրաքանչյունր միջմիացման ճշգրիտ ծրագծի որոշումը: Ժամանակային գործոնի տեսանկյունից ավելի կարևորվում է գլոբալ ծրագծումը, քանի որ առավել երկար և մեծ հապաղում ունեցող միջմիացումները որոշվում են այդ ժամանակ: Ընդհանունր առմամբ անհրաժեշտ է, որ որոշիչ և դրան մոտ ուղիների վրա ընկած շղթաներին պատկանող միջմիացումները ծրագծվեն առաջնահերթ, որը կապահովի դրանց առավել փոքր երկարունեյունները և, հետևաբար, ավելի փոքր հապաղումները: Բնականաբար, սա կարող է

հանգեցվել ավելի ուշ ծրագծվող ոչ որոշիչ  
ուղիների վրա ընկած շղթաների  
երկարությունների անհարկի աճին, ինչը կարող է  
մեծացնել միջմիացումների գումարային  
երկարությունը, ինչպես նաև առաջացնել նոր  
որոշիչ ուղիներ:

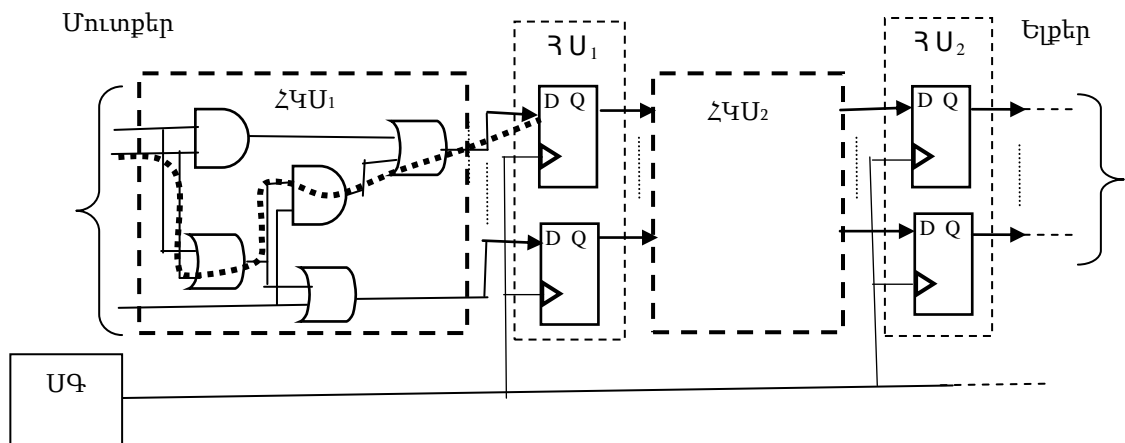
Ինչպես արդեն նշվել է առաջին գլխում,  
ժամանակակից ենթամիկրոնային ԻՍ-ներում  
ազդանշանի հապաղումները միջմիացումներում  
գերակայում են տարրերի հապաղումների համեմատ:  
Ասվածից արդեն պարզ է, որ ինտեգրման աստիճանի  
աճին զուգընթաց, մի կողմից՝ աճում է ֆիզիկական  
կառուցվածքի ազդեցությունը ԻՍ-ի  
արագագործության վրա, իսկ մյուս կողմից՝  
մեծանում է ֆիզիկական նախագծման մեթոդների  
դերն ու նշանակությունը արագագործության վրա  
ազդելու տեսանկյունից:

Ընդհանրացնելով վերը շարադրվածը՝ կարելի է  
եզրակացնել .

- Ենթամիկրոնային թվային ԻՍ-երի ֆիզիկական  
նախագծման երթուղու բոլոր փուլերում  
կարևորվում է արագագործության ապահովման  
անհրաժեշտությունը:
- Քանի որ մի կողմից՝ ֆիզիկական նախագծման  
փուլում արագագործության ապահովման  
հիմնական միջոցը միջմիացումներում առկա  
հապաղումների նվազեցումն է, իսկ մյուս  
կողմից՝ ժամանակակից ծրագծման  
գործիքամիջոցները մեծապես հիմնված են նման  
ալգորիթմների վրա, ապախիստ կարևորվում է  
տեղաբաշխման փուլը, որը կարող էլ ավմեկնարկ  
ապահովել հետագա ծրագծման համար:

## **2.2. Թվային ինտեգրալ սխեմաների արագագործության և տոպոլոգիայի կապը**

Հաջորդական թվային սխեմաներում տեղեկատվության մշակման ընդհանրացված ուղին կարելի է ներկայացնել համակցական և հիշողության սխեմաների հաջորդականությամբ: Հաջորդական սխեմայի աշխատանքի ժամանակ համակցականները փոխարկում են տվյալները որոշակի տրամաբանական կախվածությամբ, իսկ հիշողության սխեման այն ընդունում է անցողիկ գործընթացների ավարտից հետո: Համակցական սխեմաներում գոյություն ունեն մուտքերից մինչև ելքեր տարբեր ուղիներ, որոնք կարող են ունենալ տարբեր հապաղումներ: Հաջորդական



սխեմաներում ազդանշանների ժամանակային «մրցություն» վերացման հիմնական մեթոդը դրանց համաժամանակացումն է: Համաժամանակացումն իրականացվում է սինքրոզացիայի (ՍԳ), որի ազդանշանները տրվում են հիշողության սխեմաներին (ՀՐ), որոնք, իրենց հերթին, տեղադրված են համակցական սխեմաների (ՀԿՍ) միջև և թույլատրում են տվյալների ընդունումը դրանցով [83, 84] (նկ. 2.3):

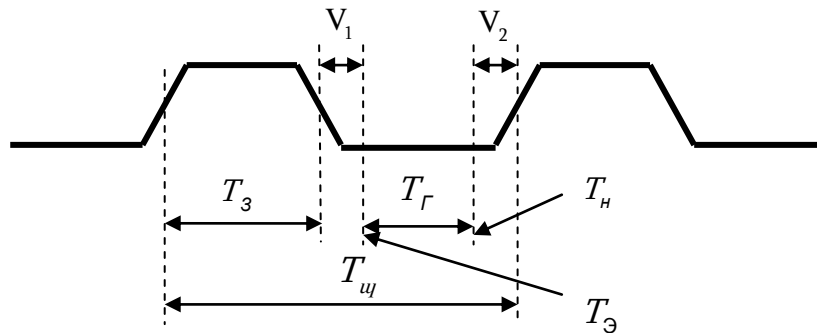
Նկ. 2.3. Տեղեկունյթի մշակումը թվային հաջորդական սխեմայում

Այսպիսով, սխեմայի արագագործությունը որոշվում է սինքրոզացիայի տրվող

սիսթրոնիմպոլլսնէրի պարբերութեամբ, որն էլ, իր հերթին, պայմանավորված է համակցական սխեմաների մուտք-ելք ուղիներում ազդանշանների առավելագույն հապաղումներով [13, 15, 83, 84]: Սակայն համակցական սխեմաների բոլոր մուտք-ելք ուղիների լրիվ համաձայնեցմանը հասնելը գործնականում անհնարին է: Գոյություն ունեն համակցական սխեմաների սկզբնական մուտքերից մինչև ելքեր ազդանշանի թույլատրելի հապաղման ( $T_r$ ) ներքին ( $T_\Theta$ ) և վերին ( $T_H$ ) սահմաններ, որոնց միջակայքում սխեման ճիշտե գործում:

$$T_\Theta \leq T_r \leq T_H: \quad (2.1)$$

Նկ. 2.4-ում բերված է սիսթրոնազդանշանի ժամանակային դիագրամը՝ համակցական սխեմայի սկզբնական մուտքերից մինչև ելքեր թույլատրելի հապաղման ներքին և վերին սահմանների նշմամբ:



Նկ. 2.4. Սիսթրոնազդանշանի ժամանակային դիագրամը

Թույլատրելի հապաղման ներքին սահմանը որոշվում է հիշողության սխեմայի հոլսալի փոխանջատման նվազագույն ժամանակով ( $\Delta_1$ ), որը, իր հերթին, բնութագրվում է հիշողության սխեմայի փոխանջատման նվազագույն ժամանակով և սիսթրոնիմպոլլսնէրի ընդունման հնարավոր պահերի ցրվածքով: Թույլատրելի հապաղման վերին սահմանը որոշվում է հիշողության սխեմայի հոլսալի փոխանջատման առավելագույն ժամանակով ( $\Delta_2$ ), և սիսթրոնիմպոլլսնէրի  $T_{uj}$  պարբերությամբ:

Հիշողությունը սխեմայի հոլսալի փոխանջատման ժամանակը կախված է ՀԿՍ-ի պարամետրերից և որոշվում է տվյալ սարքում օգտագործվող հիշողության սխեմայով, և հաստատուն է հիշողության տարրի որոշակի տեսակի դեպքում: Այսպիսով, պարբերական հաճախության սինքրոնիզմը և, հետևաբար, հաջորդական սխեմայի ընդհանուր արագագործությունը, որոշվում են այդ սխեմայի համակցական մասերի  $T_3$  և  $T_H$  արժեքներով: Հետևաբար, սխեմայի արագագործության մեծացման համար պետք է հնարավորինս կրճատել սինքրոնիզմի տևողությունը ( $T_H$ )՝ առանց  $T_H$ -ի մեծացման: Այդ տեսակետից համակցական սխեմաների բոլոր մուտք-ելք ուղիներին համար հապաղման նույնականությունը կլինեք ցանկալի: Որևէ ուղիներով պայմանավորված համակարգային արագագործությունը որոշվում է դրանում առկա տարրերի և միջմիացումների գումարային հապաղմամբ՝

$$T_{\text{համ}} = T_m + T_{\text{մի}}, \quad (2.2)$$

որտեղ  $T_h$ ,  $T_m$  և  $T_{\text{մի}}$  - ն համապատասխանաբար ամբողջական ուղու, տարրերի և միջմիացումների հապաղումներն են:

Սխեմայի մուտքեր-ելքեր յուրաքանչյուր ուղու համար համակարգային հապաղման ժամանակը կբնութագրի տվյալ ուղով ազդանշանի տարածման հապաղման ընդհանուր ժամանակը, որն իր հերթին կորոշվի այդ ուղու վրա ընկած բոլոր տարրերի  $T_m$  և դրանք իրար կապող միջմիացումների  $T_{\text{մի}}$  գումարային հապաղմամբ: Ամբողջական համակցական սխեմայի համար համակարգային հապաղումը

կորոշվի տվյալ սխեմայի որոշիչ ուղու համակարգային հապաղմամբ:

Ինչպես արդեն նշվել է, տեխնոլոգիական չափերի փոքրացմանը և ԻՍ-ի ինտեգրացման մեծացմանը զուգընթաց՝ աճում է միջմիացումներում ազդանշանների հապաղման մասնաբաժինը և ժամանակակից ԻՍ-ներում կարող է հասնել ազդանշանի ընդհանուր հապաղման 80-90% -ին: Յետևաբար՝ գնալով ավելի է կարևորվում միջմիացումներում հապաղումների դերը համակարգի հապաղման գնահատման ժամանակ:

Եթե ուղիների  $T_{\text{Յ}}$  և  $T_{\text{Ի}}$  ընդհանուր հապաղումներից հանվի տարրերի հապաղումներով պայմանավորված մասնաբաժինը, ապա միայն միջմիացումներով պայմանավորված մուտքից ելք ազդանշանի հապաղման սահմանները կլինեն՝

$$T_{\text{Յ}}^{\text{կազմ}}, T_{\text{Ի}}^{\text{կազմ}}, T_{\text{Ի}}^{\text{կազմ}}, \quad (2.3)$$

որտեղ  $T_{\text{Յ}}^{\text{կազմ}}$ ,  $T_{\text{Ի}}^{\text{կազմ}}$  և  $T_{\text{Ի}}^{\text{կազմ}}$  համապատասխանաբար ՅԿՍ-ի մուտքից ելք միջմիացումներով պայմանավորված հապաղման ներքին, վերին և թույլատրելի մեծություններն են:

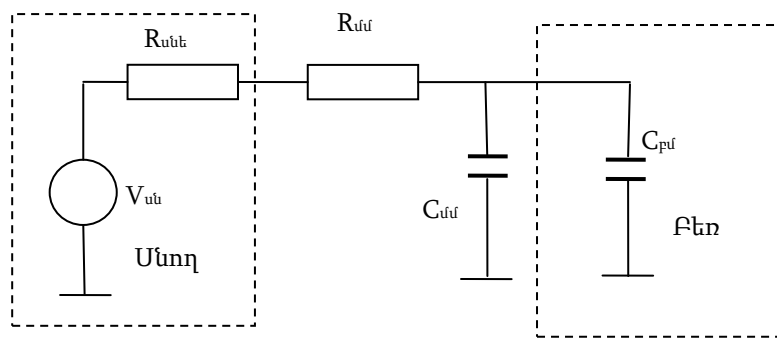
Եթե որոշակի տարրային հենքի ընտրության և այդ հենքի վրա տրամաբանական սինթեզի արդյունքում տարրերի հապաղումները դառնում են հայտնի, ապա որոշակի տեխնոլոգիայի դեպքում միջմիացումներում հապաղումը հիմնականում կախված կլինի դրանց երկարություններից: Վերջինս, իր հերթին, որոշվում է ֆիզիկական նախագծման արդյունքում, այսինքն՝ ծրագրումից հետո: Սակայն եթե հաշվի առնվի այն հանգամանքը, որ ծրագրման արդյունքը մեծ մասամբ կախված է տարրերի տեղաբաշխման արդյունքից, ապա ակնհայտ է դառնում տարրերի տեղաբաշխման խնդրի լուծման փուլում ապագա միջմիացումներում

հ ապ աղ ու մ ն եր ը հ աշ վ ի առ ն ե լ ու  
ան հ ր աժ ե շ տ ու թ յ ու ն ը: Այ ս տեղ ե ն թ ադ ր վ ու մ է , ո ր  
տեղ աբ աշ խ վ ած տ առ ր եր ի մ ի ջ և մ ե ծ տ ոպ ո լ ո գ ի կ ա կ ան  
հ եռ ա վ ո թ ու թ յ ու ն ն եր ի ն կ հ ա մ ապ ա տ ա ս խ ան ե ն  
առ ա վ ե լ եր կ ար մ ի ջ մ ի ա գ ու մ ն եր և , հ ե տ և աբ ար , մ ե ծ  
հ ապ աղ ու մ ն եր և հ ա կ առ ա կ ը: Այ ս խ ն դ ի ր ը  
գ ր ա կ ան ու թ յ ան մ ե ջ ան վ ան վ ու մ է “ժ ա մ ան ա կ ո վ  
ու ղ ղ ո թ դ վ ած տեղ աբ աշ խ ու մ ” [12-14, 52]: Ե Ն Ա գ ոյ ու թ յ ու ն  
ու ն ե գ ող հ ա մ ա կ ար գ եր ու մ , ո ր պ ե ս կ ան ո ն , այ ն  
լ ու ծ վ ու մ է ն ա խ ա գ ծ վ ող ս խ ե մ այ ի մ ու տ ք -ե լ ք  
ո թ ո շ ի չ ու ղ ի ն եր ի ժ ա մ ան ա կ այ ի ն վ եր լ ու ծ ու թ յ ան և  
այ դ ու ղ ի ն եր ու մ հ ապ աղ ու մ ն եր ի ն վ ա գ ար կ մ ան  
ու ղ ո վ [15]: Այ ս դ ե պ թ ու մ , ո ր պ ե ս կ ան ո ն ,  
օ գ տ ա գ ո թ վ ու մ ե ն տեղ աբ աշ խ մ ան ք ա գ մ ա կ ր կ ն ա կ ի  
ա լ գ ո թ ի թ մ ն եր , ո թ ո ն ք հ ի մ ն վ ած ե ն ո թ և է ն ա խ ն ա կ ան  
տեղ աբ աշ խ մ ան ք ա գ մ ա կ ր կ ն ա կ ի փ ո խ ա ր կ ու մ ն եր ի վ ր ա,  
ո թ ն ու ղ ղ վ ած է ո թ ո շ ի չ ու ղ ի ն եր ի վ ր ա գ տ ն վ ող  
տ առ ր եր ի ն ա խ ն ա կ ան տեղ աբ աշ խ մ ան այ ն պ ի ս ի  
վ եր ա տեղ աբ աշ խ ու մ ն եր ի ն , ո թ ո ն ք կ հ ան գ ե գ ն ե ն այ դ  
ու ղ ի ն եր ի հ ապ աղ ու մ ն եր ի կ թ ճ ա տ մ ան ը:  
Բ ա գ մ ա կ ր կ ն ա կ ի ա լ գ ո թ ի թ մ ն եր ի հ ի մ ն ա կ ան  
թ եր ու թ յ ու ն ը մ ե ք ե ն այ ա կ ան մ ե ծ ժ ա մ ան ա կ ն է և  
կ ա խ վ ած ու թ յ ու ն ը տ առ ր եր ի ն ա խ ն ա կ ան  
տեղ աբ աշ խ մ ան ո ր ա կ ի գ : Ն ա խ ն ա կ ան տեղ աբ աշ խ մ ան  
ա լ գ ո թ ի թ մ ն եր ը , ի թ ե ն գ հ եր թ ի ն , հ ի մ ն վ ած ե ն  
տ առ ր եր ը մ ի ա գ ն ող առ ան ձ ի ն շ ղ թ ան եր ի  
ժ ա մ ան ա կ այ ի ն պ ար ա մ ե տր եր ը հ աշ վ ի առ ն մ ե լ ու վ ր ա:  
Այ ս պ ի ս ո վ , ո թ ո շ ի չ ու ղ ի ն եր ի ո թ ո շ մ ան և դ ր ա ն գ  
ժ ա մ ան ա կ այ ի ն վ եր լ ու ծ ու թ յ ան հ ե տ մ ի ա ժ ա մ ան ա կ  
կ ար և ո թ խ ն դ ի թ է դ առ ն ու մ ն ա ն առ ան ձ ի ն շ ղ թ ան եր ու մ  
հ ապ աղ ու մ ն եր ի այ ն պ ի ս ի թ ու յ լ ա տր ե լ ի  
ս ա հ մ ան ն եր ի ո թ ո շ ու մ ը , ո թ ո ն ք չ ե ն հ ան գ ե գ ն ու մ  
այ դ պ ի ս ի ո թ ո շ ի չ ու ղ ու գ ու մ ար այ ի ն հ ապ աղ մ ան  
մ ե ծ ա գ մ ան ը :



Ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման տեսանկյունից կարևորվում է սխեմայի շղթաներն իրագործող միջմիացումների ֆիզիկական երկարությունների և դրանց էլեկտրական պարամետրերի միջև կապվածությունների հետազոտումը, որի հանգամանակից վերլուծությունը բերված է [64]-ում: Քանի որ ժամանակակից թվային ԻՍ-երի համար հիմնականում որպես տարրային հենք են ծառայում ԿՄՕԿ փականներով ստանդարտ բջիջները, ապա ԿՄՕԿ-ի թվային սխեմայի երկու փականների միջև եղած կապը կարելի է մոդելավորել նկ. 2.5-ում բերված սխեմայի տեսքով:

Ազդանշանը տարածվում է սնողից մինչև բեռ: Պարզեցված սխեմայում սնողը  $V_{սն}$  և արմամբ և արման աղբյուր է իրելքային դիմադրությունամբ ( $R_{սն}$ ), իսկ բեռը՝ մուտքային ունակությունը ( $C_{բ}$ ): Սնողի էլքային դիմադրությունը ձևավորվում է սնող փականի էլքային տրանզիստորի հաղորդականությամբ: Որքան փոքր է դիմադրությունը, այնքան ավելի մեծ է տրանզիստորի կապուղու հաղորդականությունը: Բեռի ունակությունը հավասարագոր է բեռ հանդիսացող փականի ներքին տրանզիստորների փականների ունակությանը:



Նկ. 2.5. Երկու ԿՄՕԿ փականների միջմիացման մոդելը

Միջմիացողումը, որը կապում է սնողը և բեռը, առաջին մոտավորություններ կարելի է ներկայացնել որպես RC հապաղման գիծ, իսկ նրանում ազդանշանի հապաղումը կլինի [72,85-87]`

$$t_{\text{մի}} = RC: \quad (2.4)$$

Ֆիզիկական նախագծման փուլում սնողը և բեռը որոշակի տարրեր են, որոնց պարամետրերի արժեքները չեն կարող փոփոխվել դրանց տեղաբաշխման և ծրագրման ընթացքում: Կապի գծի բնութագրերը որոշվում են ինչպես տեխնոլոգիայով, այնպես էլ տարրերի տեղաբաշխմամբ և ծրագրմամբ:

Կապի գծի պարագիտային ունակությունը կարելի է մոտավորապես գնահատել հետևյալ կերպ`

$$C_{\text{մի}} = \frac{elw}{d}, \quad (2.5)$$

որտեղ  $\varepsilon$ -ը օքսիդի շերտի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունն է,  $l$ ,  $\omega$ ,  $d$  -ն` համապատասխանաբար միջմիացման երկարությունը, լայնությունը և հաստությունը:

Քանի որ ժամանակակից թվային սխեմաներում ազդանշանային կապի գծերի լայնությունը, որպես կանոն, ֆիքսված է ծրագրման տվյալ մետաղական շերտի նախագծման նվազագույն թույլատրելի լայնությամբ, իսկ գծի հաստությունը սահմանվում է տեխնոլոգիայով, ապա ստացվում է, որ ֆիզիկական նախագծման տեսանկյունից կապի գծի պարագիտային ունակությունը համեմատական է դրա երկարությանը`

$$C_{\text{մի}} : l: \quad (2.6)$$

Կապի գծի դիմադրությունը որոշվում է հետևյալ կերպ`

$$R_{\text{մի}} = \frac{r l}{A}, \quad (2.7)$$

որտեղ  $\rho, 1, A$  - ն համապատասխանաբար միջմիացման նյութի տեսակարար դիմադրությունը, երկարությունը, լայնական հատույթի մակերեսն են: Տրված տեխնոլոգիայի համար ֆիզիկական նախագծման դեպքում ավելի հարմար է օգտվել մակերևույթային տեսակարար դիմադրությունից՝

$$R_s = \frac{r}{d}, \quad (2.8)$$

որտեղ  $d$ -ն միջմիացման հաստությունն է:

Տրված տեխնոլոգիայի դեպքում յուրաքանչյուր մետաղական մակարդակի համար մակերևույթային տեսակարար դիմադրությունը և միջմիացման հաստությունը սահմանված մեծություններ են: Յետևաբար՝ դիմադրության գնահատման համար ավելի հարմար է օգտվել հետևյալ արտահայտությունից, որը ստացվում է (2.7) և (2.8)-ից՝

$$R_{\text{մի}} = R_s \frac{1}{w}, \quad (2.9)$$

որտեղ  $w$ -ն միջմիացման լայնությունն է:

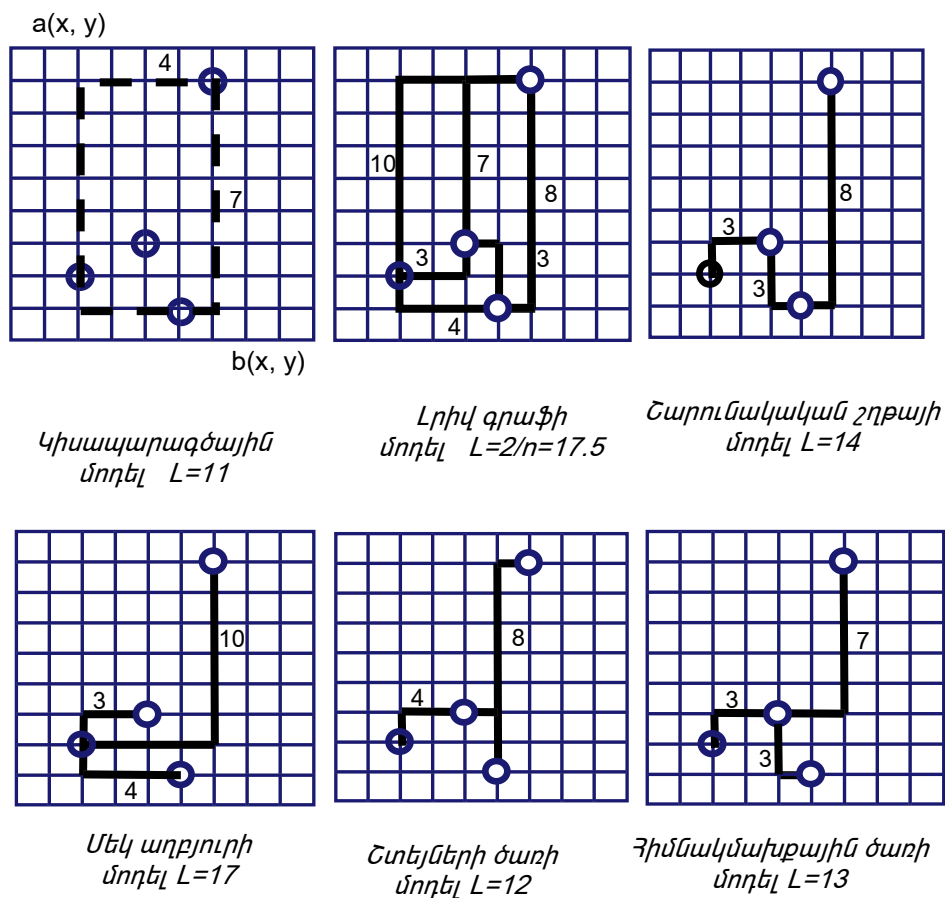
Եթե հաշվի առնվեն ֆիզիկական նախագծման փուլում կապի գծի վրա դրվող նույն պահանջները, ինչ որ ունակության դեպքում, ապա դիմադրության համար նույնպես կարելի է ասել, որ այն համեմատական է կապի գծի երկարությանը՝

$$R_{\text{մի}} : 1 : \quad (2.10)$$

Այսպիսով, (2.4), (2.6) և (2.10) արտահայտությունները հետևում է, որ կապի գծում ազդանշանի տարածման հապաղումը առաջին մոտավորությամբ ուղիղ համեմատական է կապի գծի երկարության քառակուսուն, իսկ քանի որ կապի գծի երկարությունն էլ, իր հերթին, մեծապես կախված է միացվող տարրերի տոպոլոգիական հեռավորությունից, հետևաբար՝ տարրերի տեղաբաշխումը էականորեն կարող է ազդել նախագծվող սխեմայի արագագործության վրա:

Քանի որ տեղաբաշխման փուլում դեռևս հայտնի չեն շղթաների տոպոլոգիական կառուցվածքները, ապա դրանցում հապաղումների գնահատման համար շղթաների վիրտուալ ծրագծման և դրանց երկարությունների գնահատման անհրաժեշտություն է առաջանում: Այս նպատակով օգտագործվում են շղթաների տոպոլոգիական ներկայացման տարբեր ցանցային մոդելներ:

Նկ. 2.6-ում պատկերված են բազմաճյուղ շղթայի տոպոլոգիայի մոդելավորման տարբեր



մոտեցումների օրինակներ [13, 88]:

*Նկ. 2.6. Շղթայի մոդելներ և օրինակները*

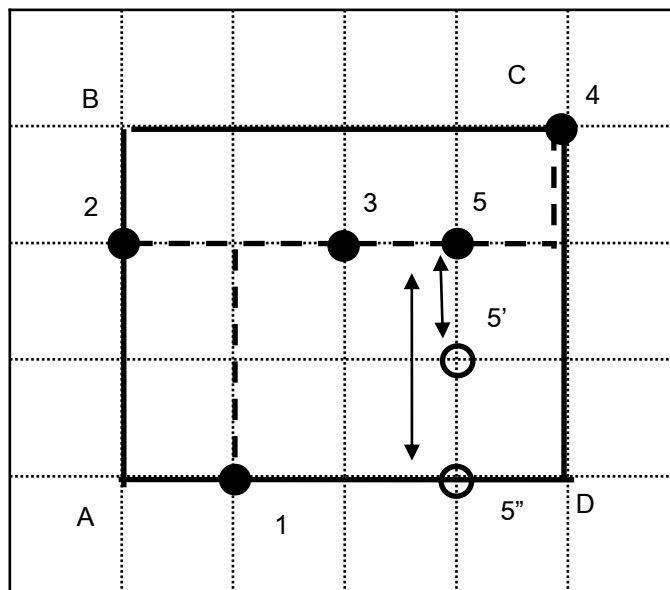
Շղթայի երկարություն գնահատման բերված մոտեցումներից ամենատարածված և ամենապարզագույն մեթոդը կիսապարազծային մոդելի վրա հիմնվածն է, որը շղթայի երկարությունը գնահատում է նրա կոնտակտներն

ընդգրկող նվազագույն ուղղանկյան կիսապարագծի երկարությունը [14, 47]:

Եթե  $a(x,y)$  և  $b(x,y)$ -ը նկ. 2.6-ում կիսապարագծային մոդելի դեպքի համար շղթայի հանգույցներն ընդգրկող նվազագույն ուղղանկյան անկյունագծային գագաթներն են, ապա կիսապարագծային մոդելով որոշվող շղթայի երկարությունը կգնահատվի հետևյալ կերպ՝

$$L_{\text{պ}} = |a(x)-b(x)| + |a(y)-b(y)| \quad (2.11)$$

Ստորև ասվածը դիտարկվում է նկ. 2.7-ում բերված



օրինակով:

*Նկ. 2.7. ԻՍ-երի տարրերի կապվածություն  
կիսապարագծային մոդելը*

Ենթադրվում է, որ 1, 2, 3, 4 և 5 կոնտակտները կազմում են մեկ շղթա: Այդ կոնտակտներն ընդգրկող նվազագույն ուղղանկյունը կլինի ABCD-ն, որի կիսապարագծը կլինի  $AD + DC$  և երկարությունը 7 միավոր: Նկարում պատկերված կոնտակտների դասավորության համար դրանք միացնող ծտեյների նվազագույն ծառը, որը ցույց է տրված կետագծերով, նույնպես ունի 7 միավոր երկարություն: Եթե 5-րդ կոնտակտը տեղադրվի 5' դիրքում, ապա ծտեյների նվազագույն ծառի երկարությունը կավելանա 1-ով,

իսկ եթե այն տեղադրվի 5" դիրքում, ապա երկարությունը կավելանա 2-ով: Երկու դեպքում էլ կիսապարագծային մոդելի գնահատականը չի փոխվի և կմնահավասար 7-ի:

Ընդհանուր դեպքում կիսապարագծային մոդելը շղթայի երկարության գնահատման ներքին սահմանն է և ունի փոքր ճշտություն և բազմաճյուղ շղթաների դեպքում: Սակայն փորձը ցույց է տալիս, որ կիսապարագծային մոդելը նախնական տեղաբաշխման փուլում կարող է ապահովել շղթայի երկարության գնահատման բավարար ճշտություն և տեղաբաշխման փուլում, հետագա ճշգրտումը թողնելով տեղաբաշխման և վարկման փուլին [13, 88-91]: Սահիմնավորվում է նաև մոդելի հաշվարկային պարզությունը և այն նկատառումով, որ արդյունաբերական սխեմաներում 2 և 3 հանգույցներով շղթաները միջին հաշվով կազմում են բոլոր շղթաների համապատասխանաբար 64% և 20%-ը:

Հաշվի առնելով այն հանգամանքը, որ շղթային պատկանող ցանկացած գույգ կոնտակտը միացնող միջմիացման պարագիտային ունակությունը պայմանավորված է ամբողջ շղթայի ունակությամբ, կիսապարագծային մոդելը, բացի շղթայի երկարության գնահատման միջոցից, կարող է հանդիսանալ նաև որպես շղթայի հապաղման գնահատման բավարար միջոց՝ ԻՍ-ի տարրերի ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման դեպքում: Այսպիսով, տարրերի միջև եղած հեռավորությունները, որոնք կառավարվում են տեղաբաշխման ժամանակ, կարող են հանդիսանալ միջմիացումների երկարության, հետևաբար՝ նաև դրանցում առկա հապաղումների բավարար գնահատման միջոց:

Սակայն, հաշվի առնելով միջմիացումներում հապաղումների դերի անընդհատ աճը, ներկայումս

կարևորվում է շղթաների երկարությունների և հապաղումների մոդելների հետագա կատարելագործումը, որը պետք է միտված լինի դրանց ճշտություն բարձրացմանը՝ առանց դրանց բարդության էական ավելացման: Թվային ԻՍ-երի տարրերի նախնական տեղաբաշխման ժամանակային մոդելների և դրանց կատարելագործման հարցերը ավելի հանգամանորեն քննարկված են ստորև:

Ընդհանրացնելով վերը շարադրվածը՝ կարելի է եզրակացնել .

Թվային սխեմաների արագագործություն և ապահովման տեսանկյունից կարևորվում է տարրերի այնպիսի տեղաբաշխումը, որը կապահովի մոլտք-ելք որոշիչ ուղիներով րաքննված տարրերը կապող շղթաների հնարավորինս սփոքր երկարություններ:

### **2.3. Շղթաների մոդելավորումը տեղաբաշխման փուլում**

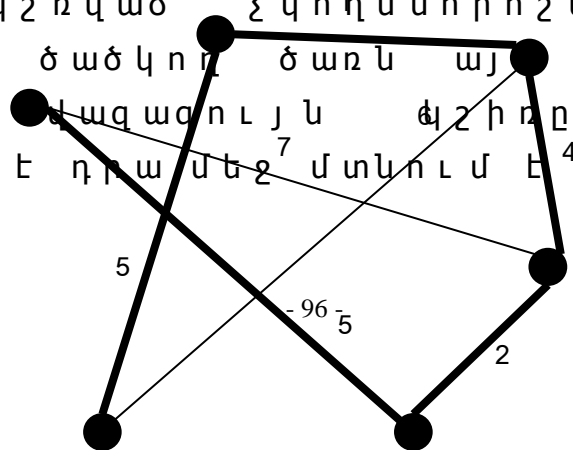
Թվային ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման փուլում, երբ դեռևս բացակայում է միջմիացումների \$իզիկական կառուցվածքը, կապի գծերի մոդելների մշակման և օգտագործման անհրաժեշտություն է առաջանում: Այդպիսի մոդելների առկայությունը, հնարավորություն է տալիս սխեմայի արագագործություն տեսանկյունից կառավարել տեղաբաշխման ընթացքը: Տարրերի տեղաբաշխման ժամանակային մոդելների և չափանիշների վրա դրվող հիմնական պահանջը ապագա միջմիացումների \$իզիկական և դրանով պայմանավորված՝ ժամանակային պարամետրերի արագ և բավարար ճշտությամբ գնահատումն է:

**Կապի գծերի երկարության մոդելները:** ԻՍ-երի \$իզիկական նախագծման ավտոմատացման ալգորիթմները հիմնված են կապվածություն

գրաֆների վրա, և որպես մուտքային տեղեկատվություն օգտագործում են նախագծվող սխեմայի շղթաների ցուցակը և երկչափ կամ եռաչափ տարածությունում տարրերի տեղաբաշխման և ծրագծման վրա դրվող նախագծային սահմանափակումները: Ընդհանուր դեպքում սխեմաներում առկա կապի գծերը բազմաճյուղ են, և դրանց ճիշտ ներկայացման համար անհրաժեշտ է օգտագործել շղթաների հիպերգրաֆային մոդելներ: Յուրաքանչյուր հիպերգրաֆային կողին պատկանող գագաթների թիվը համապատասխանում է տվյալ շղթայով միացվող կոնտակտների թվին, իսկ կապի գծերի մոդելները նախագծման ընթացքում օգտագործվում են միջմիացումների երկարությունների նվազարկման նպատակով: Այդպիսի մոդելները հիմնված են գրաֆների տեսությունից հայտնի նվազագույն ծածկող ծառերի և նվազագույն ծտեյների ծառերի վրա [14, 92, 93]: Ստորև հակիրճ ներկայացված է նվազագույն ծածկող ծառերի էությունը:

Կապված չկողմնորոշված գրաֆում ծածկող ծառը ներկայացնում է ացիկլիկ կապված ենթագրաֆ, որը պարունակում է տվյալ գրաֆի բոլոր գագաթները և կողերի այնպիսի ենթաբազմություն, որը թույլ է տալիս հասանել իրական ցանկացած գագաթից դեպի ցանկացած այլ գագաթներ՝ առանց ցիկլերի առաջացման:  $n$ -գագաթանի գրաֆում ցանկացած ծածկող ծառ պարունակում է ճիշտ  $n-1$  կողեր:  $n$ -գագաթանի լրիվ գրաֆում ծածկող ծառերի քանակը որոշվում է Կելի բանաձևով և հավասար է  $n^{n-2}$  [94]:

Կապված կշռված չկողմնորոշված գրաֆում նվազագույն ծածկող ծառն այն է, որն ունի հնարավոր նվազագույն կշիռը, որի տակ հասկացվում է դրամաձև մտնում է  $4$  բոլոր կողերի





կշիռն էր ի գումարը [94]: Նկ. 2.8-ում բերված է նվազագույն ծածկող ծառի օրինակ:

*Նկ. 2.8. Գրաֆում նվազագույն ծածկող ծառի օրինակը*

Նկարում բերված է 6 - գագաթանի կշռված գրաֆի օրինակ, որում նվազագույն ծածկող ծառի կողերը մզացված են: Ինչպես տեսնում է նկարից, նվազագույն ծառի կողերի թիվը հավասար է  $6-1=5$ , այն չի պարունակում ցիկլեր, իսկ ծառի կշիռը հավասար է 16-ի:

Այսպիսով,  $G = (V, E)$  կշռված գրաֆում նվազագույն ծածկող ծառի կառուցումը ենթադրում է գրաֆի կողերի  $E' \subseteq E$  այնպիսի ենթաբազմության (ենթաբազմությունների) որոշում, որը ներկայացնում է ծառ, և որի կողերի գումարային կշիռը նվազագույն է:

Գոյություն ունեն նվազագույն ծածկող ծառի կառուցման մի քանի ալգորիթմներ, որոնցից առավել հայտնի են Պրիմի և Կրուսկալի ալգորիթմները [14, 47]: Դրանց բարդությունը բնութագրվում է համապատասխանաբար՝  $O(E \log V)$  և  $O(E \log E)$ , որտեղ  $V$ -ն գագաթների թիվն է, իսկ  $E$ -ն՝ կողերի [95]: Այս ալգորիթմները տալիս են ճիշտ լուծումներ էվկլիդեսյան չափողականության դեպքում: Սակայն, քանի որ ԻՍ-երում ծրագրումը կատարվում է փոխողական կառուցվածքով, այսինքն՝ Մանհեթենյան չափողականությամբ, ապա այդ ալգորիթմների վրա հիմնված մոդելների կիրառումը տեղաբաշխման փոփոխում կարող է սահմանափակվել միայն նվազագույն ծածկող ծառի առանձնացման նպատակով, իսկ ծառի Մանհեթենյան երկարության գնահատումը տալիս է ոչ բավարար ճշտություն: Այդ իսկ պատճառով տեղաբաշխման փոփոխում շղթաների կապի գծերի երկարության մոդելավորման համար օգտագործվում են շտեյների նվազագույն ծառի վրա հիմնված մոդելները:

**Շտեյների նվազագույն ծառը:** Շտեյների խնդրի դրվածքը հետևյալն է [14]:  $G = (V, E)$  կշռված գրաֆում տրված է գագաթների  $D \leq V$  ենթաբազմություն:

Պահանջվում է ընտրել գազաթևերի  $V' \leq V$  այնպիսի ենթաբազմություն, որ բավարարի  $D \leq V'$  պայմանը և  $V'$ -ը բոլոր նման ծառերի միջից առաջացնի նվազագույն կշռով ծառ:  $D$  բազմությունը ներառում է շղթաների բոլոր ելուստները, իսկ  $V'-D$  բազմությունը պարունակում է ծտեյների լրացուցիչ գազաթևեր: Ակնհայտ է, որ  $D=V$  պայմանի դեպքում ծտեյների նվազագույն ծառը համարժեք է նվազագույն ծածկող ծառին:

Ենթադրենք՝ տրված է  $(X, d)$  չափական տարածությունը, որտեղ  $X$  գազաթևերի բազմության համար որոշված է դրանց միջև  $d$  հեռավորությունները:  $X$  գազաթևերի բազմության վրա տրված է  $G=(V, E)$  գրաֆը: Եթե  $M$ -ը  $X$ -ի վերջավոր ենթաբազմությունն է, իսկ  $G=(V, E)$  կապված գրաֆ է  $X$ -ի վրա, ապա  $G$ -ն կոչվում է  $M$ -ը միացնող գրաֆ: Այն  $G$  գրաֆը, որը  $M$ -ը միացնում է հնարավոր նվազագույն  $d(G)$  մեծությամբ, կոչվում է  $M$ -ի վրա նվազագույն ծտեյների ծառ: Նշենք, որ նվազագույն ծտեյների ծառը ոչ միշտ գոյություն ունի, սակայն  $M$ -ի վրա բոլոր կապված գրաֆներից նվազագույն  $d(G)$  արժեքը միշտ գոյություն ունի և կոչվում է  $M$ -ի վրա ծտեյների նվազագույն ծառի երկարություն: Ծտեյների խնդիրը NP դժվարության է, և դրա ճշգրիտ լուծումը ենթադրում է լրիվ ընտրանք [96-99]:

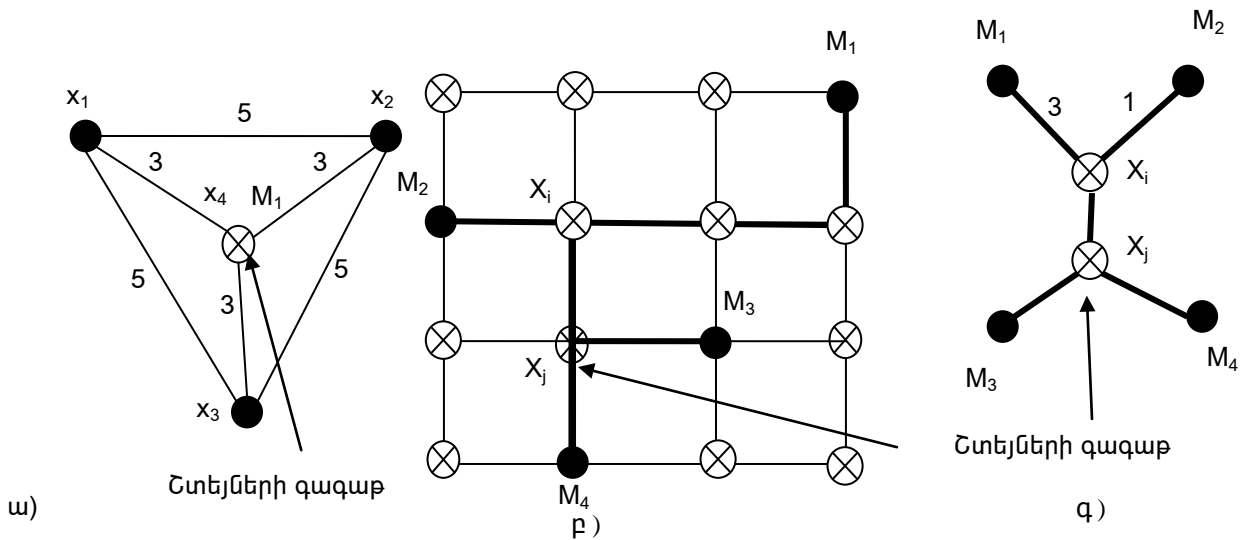
Կախված  $(X, d)$  հարթության տեսակից՝ ծտեյների խնդիրն ունենում է տարբեր ձևեր: Եթե  $(X, d)$ -ն ստանդարտ Էվկլիդեսյան հարթությունն է, որտեղ  $d$  հեռավորությունները որոշվում է  $\|(x, y)\| = \sqrt{x^2 + y^2}$  նորմով, ապա գործ ունենք ծտեյների դասական խնդրի հետ:

Եթե  $(X, d)$ -ն Մանհեթենյան հարթությունն է, որտեղ  $d$  հեռավորությունները որոշվում է  $\|(x, y)\| = |x| + |y|$  նորմով, ապա գործ ունենք ծտեյների ուղղանկյուն խնդրի հետ, իսկ նվազագույն ծառը կոչվում է ծտեյների ուղղանկյուն նվազագույն ծառ: Նկ. 2.9-ում բերված են ծտեյների նվազագույն ծառի օրինակներ:

Ծտեյների ուղղանկյուն նվազագույն ծառը լայնորեն օգտագործվում է ԻՍ-երի ծրագծման ավտոմատացման խնդիրներում: Հաշվի առնելով ենաչափ ԻՍ-երի առանձնահատկությունները, դրանց ծրագծման խնդիրներում հարթությունը

փոխարինվում է եռաչափ տարածությամբ, իսկ  $d$  հեռավորությունը որոշվում է  $||x, y, z|| = |x| + |y| + |z|$  նորմով:

Տեղաբաշխման փոփոխում ճտեյների նվազագույն ծառի մոդելի օգտագործումն իրանմիջական տեսքով սահմանափակվում է դրա բարդությամբ և, հետևաբար, իրագործման մեծ ժամանակով: Այդ իսկ պատճառով այս փոփոխում հիմնականում օգտագործվում են ճտեյների նվազագույն ծառի տարբեր պարզեցված մոդելներ, որոնք միմյանցից տարբերվում են իրենց բարդությամբ և գնահատման ճշտությամբ: Ճտեյների նվազագույն ծառի մոդելն իր նախնական տեսքով կարող է օգտագործվել միայն տեղաբաշխման վերջնական փոփոխում՝ լավարկման նպատակով:



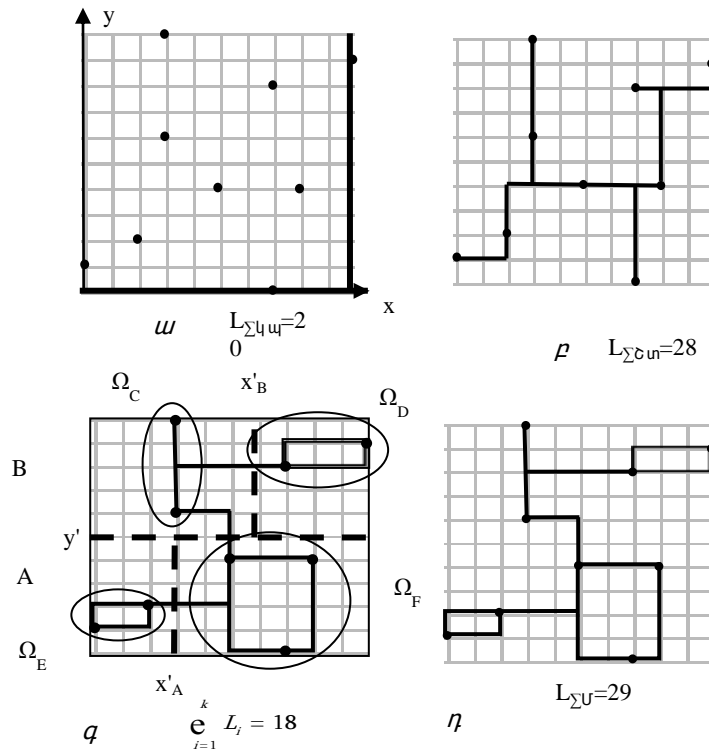
Նկ. 2.9. Ճտեյների նվազագույն ծառի օրինակները. ա)-էվլի իդեսսյան, բ)-ուդդանկյուն, գ)-ուդդանկյուն նվազագույն ծառի գրաֆային ներկայացումը

Ինչպես արդեն նշվել է, տեղաբաշխման գործիքներում ճտեյների նվազագույն ծառի տարբեր պարզեցված մոդելներից ամենամեծ կիրառությունը գտել են սահմանափակող ուդդանկյուն շրջանակի վրա հիմնված կիսապարագծային մոդելները, որոնք ապահովում են շղթաների երկարությունների գնահատման մեծ արագություն: Սակայն ԻՍ-երի ինտեգրման աճի պայմաններում ներկայումս շղթաների երկարությունների գնահատման նոր և

կատարելագործված մոդելների մշակման անհրաժեշտություն է առաջանում, որը մի կողմից՝ կբարձրացնի գնահատման ճշտությունը, մյուս կողմից՝ կունենա գնահատման համեմատաբար փոքր ժամանակ: Ակնհայտ է, որ բերված երկու պայմաններն իրարամերժ են, և մոդելի ընտրությունը հանդիսանում է ինժեներական փոխզիջման խնդիր:

Ստորև առաջարկված են մեթոդ և ալգորիթմ, որոնք ունենալով  $O(n \log n)$  բարդություն, գնահատման ճշտությամբ գերազանցում են կիսապարագծային մոդելին և մոտենում է ուղղանկյուն շտեյների նվազագույն ծառի մոդելի ճշտությանը: Առաջարկվող մեթոդը հիմնված է այն փաստի վրա, որ 2 և 3 կոնտակտների համար կիսապարագծային մոդելի ճշտությունը համընկնում է շտեյների ուղղանկյուն նվազագույն ծառի մոդելի ճշտությանը: Յաշվի առնելով ասվածը՝ առաջարկվում է բազմաճյուղ շղթաների կոնտակտների տեղաբաշխման դաշտը մասնատել այնպիսի տեղամասերի, որ դրանցից յուրաքանչյուրում հանդես գան ոչ ավելի, քան 3 կոնտակտ:

Նկ. 2.10-ում պատկերված է 9 - կոնտակտանի շղթայի օրինակ, որի կոնտակտների տեղաբաշխումը բերված է նկ. 2.10ա)-ում:



Նկ. 2.10. Շղթայի երկարություն  $q$  նահատման տարբեր մոդելները.  $ա$ - շղթայի կոնտակտների տեղաբաշխումը,  $բ$ - Շտեյների ուղղանկյուն նվազագույն ծառը,  $գ$ - մասնատված տեղամասերի կիսապարագծային մոդելները,  $դ$ - շղթայի երկարություն առաջարկվող մոդելը

Բերված օրինակում շղթայի երկարություն  $q$  նահատականը կիսապարագծային մոդելով հավասար է 20-ի, իսկ շղթայի ուղղանկյուն Շտեյների նվազագույն ծառն ունի 28 միավոր երկարություն: Առաջարկվող մեթոդն իրագործվում է հետևյալ քայլերով՝

1. Հավասարակշռված միջինի կոորդինատի հաշվարկ՝  $y$  առանցքով, որը կկորացվում է մինչև մոտակա ամբողջ թիվը՝

$$y' = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^9 y_i}{9} = \frac{44}{9} = 4,88(8) \approx 5 \quad (2.12)$$

2. Ստացված  $A$  և  $B$  երկու մասերի համար  $x$  առանցքով հավասարակշռված միջինի կոորդինատների հաշվարկ, որոնք կկորացվում են մինչև մոտակա ամբողջ թվերը՝

$$x_A' = \frac{\sum_{i=1}^n X_{Ai}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^4 X_{Ai}}{4} = \frac{23}{4} = 5,75 \approx 6, \quad (2.13)$$

$$x_B' = \frac{\sum_{i=1}^n X_{Bi}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^5 X_{Bi}}{5} = \frac{22}{5} = 4,4 \approx 4 : \quad (2.14)$$

3. 2 և 3 քայլերի ռեկոնստրուկցիոն ալգորիթմի արդյունքում ստացված լուծումները համարձակելով, միևնույն կոնտակտների առաջացած բոլոր ենթաբազմախումբային լուծումներում մնան 3-ից ոչ ավելի կոնտակտներ:

4. Կոնտակտների ստացված յուրաքանչյուր ենթաբազմախումբային համար շղթայի տվյալ տեղամասի երկարություն հաշվարկ՝ կիսապարագծային մոդելի միջոցով:

$$L_i = 0,5((\max X_i - \min X_i) + (\max Y_i - \min Y_i)); i = \overline{1, k}, \quad (2.15)$$

$$L_i = 0,5((\max_{X_i \in \Omega_i} X_i - \min_{X_i \in \Omega_i} X_i) + (\max_{Y_i \in \Omega_i} Y_i - \min_{Y_i \in \Omega_i} Y_i)); i = \overline{1, k}, \quad (2.16)$$

որտեղ  $X_i$  և  $Y_i$ -ը  $\Omega_i$  ենթաբազմախումբային կոնտակտների կոորդինատներն են,  $k$ -ն՝ կոնտակտների ենթաբազմախումբային քանակը:

5. Կոնտակտների ենթաբազմախումբային լուծումները միացնող նվազագույն փոխուղղահայաց ծառի երկարություն հաշվարկ:

Այս նպատակով սկզբում հաշվարկվում է  $\Omega_i; i = \overline{1, 2, \dots, k}$  ենթաբազմախումբային լուծումները տեղային կիսապարագծային մոդելների միջև առկա նվազագույն փոխուղղահայաց հեռավորությունները: Ենթաբազմախումբային լուծումների  $\Omega_i$  և  $\Omega_j$  որևէ գույքի համար այդ հեռավորությունը կլինի՝

1)  $\Omega_i$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ից աջ ներքև.

$$L_{ij} = |\max_{X_i \in \Omega_i} X_i - \min_{X_j \in \Omega_j} X_j| + |\min_{Y_i \in \Omega_i} Y_i - \max_{Y_j \in \Omega_j} Y_j|; i, j = \overline{1, k}; i \neq j,$$

$$\text{եթե } \max_{X_i \in \Omega_i} X_i < \min_{X_j \in \Omega_j} X_j; \min_{Y_i \in \Omega_i} Y_i > \max_{Y_j \in \Omega_j} Y_j;$$

2)  $\Omega_j$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ից աջ վերև.

$$L_{ij} = |\max_{X_i \in \Omega_i} X_i - \min_{X_j \in \Omega_j} X_j| + |\max_{Y_i \in \Omega_i} Y_i - \min_{Y_j \in \Omega_j} Y_j|; i, j = \overline{1, k}; i \neq j,$$

$$\text{է թ է } \max_{X_i \in \Omega_i} X_i < \min_{X_j \in \Omega_j} X_j; \max_{Y_i \in \Omega_i} Y_i < \min_{Y_j \in \Omega_j} Y_j;$$

3)  $\Omega_j$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ի ցածր կողմում.

$$L_{ij} = |\min_{X_i \in \Omega_i} X_i - \max_{X_j \in \Omega_j} X_j| + |\min_{Y_i \in \Omega_i} Y_i - \max_{Y_j \in \Omega_j} Y_j|; i, j =; i \neq j,$$

$$\text{է թ է } \min_{X_i \in \Omega_i} X_i > \max_{X_j \in \Omega_j} X_j; \min_{Y_i \in \Omega_i} Y_i > \max_{Y_j \in \Omega_j} Y_j;$$

4)  $\Omega_j$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ի ցածր կողմում.

$$L_{ij} = |\min_{X_i \in \Omega_i} X_i - \max_{X_j \in \Omega_j} X_j| + |\max_{Y_i \in \Omega_i} Y_i - \min_{Y_j \in \Omega_j} Y_j|; i, j =; i \neq j,$$

$$\text{է թ է } \min_{X_i \in \Omega_i} X_i > \max_{X_j \in \Omega_j} X_j; \max_{Y_i \in \Omega_i} Y_i < \min_{Y_j \in \Omega_j} Y_j;$$

5)  $\Omega_j$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ի ցածր կողմում (աջ).

$$L_{ij} = |\max_{Y_i(X_i) \in \Omega_i} Y_i(X_i) - \min_{Y_j(X_j) \in \Omega_j} Y_j(X_j)|; i, j =; i \neq j, \text{ է թ է } \cdot$$

$$\max_{X_i(Y_i) \in \Omega_i} X_i(Y_i) > \min_{X_j(Y_j) \in \Omega_j} X_j(Y_j); \min_{X_i(Y_i) \in \Omega_i} X_i(Y_i) < \max_{X_j(Y_j) \in \Omega_j} X_j(Y_j);$$

$$\max_{Y_i(X_i) \in \Omega_i} Y_i(X_i) < \min_{Y_j(X_j) \in \Omega_j} Y_j(X_j)$$

6)  $\Omega_j$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ի ցածր կողմում (ձախ).

$$L_{ij} = |\min_{Y_i(X_i) \in \Omega_i} Y_i(X_i) - \max_{Y_j(X_j) \in \Omega_j} Y_j(X_j)|; i, j =; i \neq j, \text{ է թ է } \cdot$$

$$\max_{X_i(Y_i) \in \Omega_i} X_i(Y_i) > \min_{X_j(Y_j) \in \Omega_j} X_j(Y_j); \min_{X_i(Y_i) \in \Omega_i} X_i(Y_i) < \max_{X_j(Y_j) \in \Omega_j} X_j(Y_j);$$

$$\min_{X_i(Y_i) \in \Omega_i} X_i(Y_i) > \max_{X_j(Y_j) \in \Omega_j} X_j(Y_j):$$

Այնուհետև կանոնավորվում է նախադասությունը հետևյալ կերպով: Եթե  $\Omega_j$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ի ցածր կողմում, ապա  $\Omega_j$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ի ցածր կողմում (աջ) կամ  $\Omega_j$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ի ցածր կողմում (ձախ) կամ  $\Omega_j$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ի ցածր կողմում (աջ) կամ  $\Omega_j$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ի ցածր կողմում (ձախ):

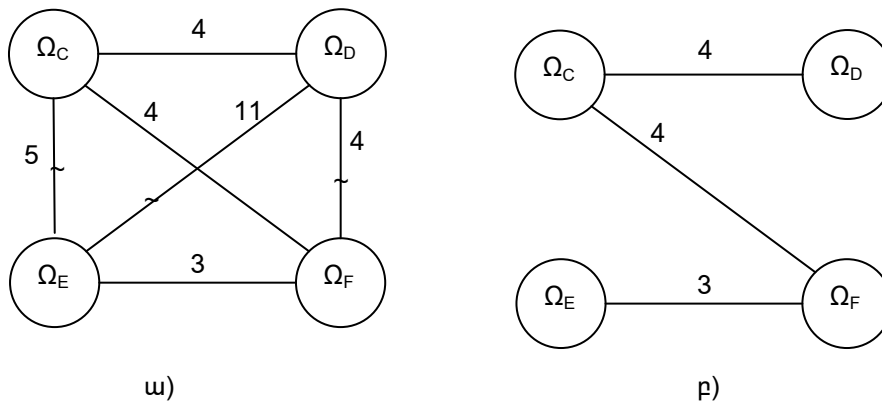
Նկ. 2.11 ա)-ում բերված է նկ. 2.10 գ)-ում բերված օրինակի նկարագրումը: Եթե  $\Omega_j$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ի ցածր կողմում (աջ) կամ  $\Omega_j$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ի ցածր կողմում (ձախ) կամ  $\Omega_j$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ի ցածր կողմում (աջ) կամ  $\Omega_j$ -ն գտնվում է  $\Omega_i$ -ի ցածր կողմում (ձախ):

Ենթաբազմոլթյունների հենավորոլթյունների կշռված գրաֆում թողնվում են փոքրագույն կշռով նվազագույն քանակի կողերը, որոնք առաջացնում են ենթաբազմոլթյունները միացնող նվազագույն փոխուղղահայաց ծառը: Դիտարկվող օրինակում (նկ. 2.11բ) այդ ծառի գումարային երկարոլթյունը հավասար է 11-ի: Նշենք, որ եթե այդպիսի ծառերը մեկից ավելի են, ապա թողնվում է դրանցից ցանկացածը:

6. Շղթայի երկարոլթյան գնահատման հաշվարկ հետևյալ բանաձևով`

$$L_{\Sigma} = \sum_{i=1}^k L_i + \min \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^k L_{ij} : \quad (2.17)$$

Դիտարկվող օրինակում (նկ. 2.11դ)  $L_{\Sigma} = 29$ :



Նկ. 2.11. Ենթաբազմոլթյունների հենավորոլթյունների կշռված գրաֆը.  
 ա-ենթաբազմոլթյունների հենավորոլթյունների լրիվ կշռված գրաֆը,  
 բ-ենթաբազմոլթյունների միացման նվազագույն ծառը

Այսպիսով, դիտարկվող օրինակում շղթայի երկարոլթյան գնահատումը առաջարկվող մեթոդով տարբերվում է շղթայի ծտեյների



նւղղանկյունն նվազագույն ծառի  
երկարությունից ընդամենը մեկ միավորով:  
Փորձարկված տարբեր դեպքերի համար  
առաջարկվող մեթոդով գնահատականն ապահովում  
է շուրջ 25%-ով ավելի մեծ գնահատման  
ճշտությունն՝ ներկայումս օգտագործվող  
կիսապարագծային մոդելի համեմատ:

**Շղթաների կապի գծերի հապաղման մոդելները:**

Շղթաներում ազդանշանի տարածման հապաղման  
մոդելները պետք է համարժեք լինեն ԻՍ-ում  
ընթացող իրական \$իզիկական գործընթացներին:  
Հապաղման հայտնի մոդելներից էլմորի մոդելն  
առավել համարժեք է արտահայտում էլեկտրոնային  
նախագծման ավտոմատացման համակարգերում  
լայնորեն օգտագործվող Spice մոդելավորման  
գործիքի ժամանակային վերլուծության  
արդյունքները և շատ հարմար է RC բաշխված  
պարամետրերով շղթաներում հապաղման գնահատման  
համար [72, 80, 99, 100]:

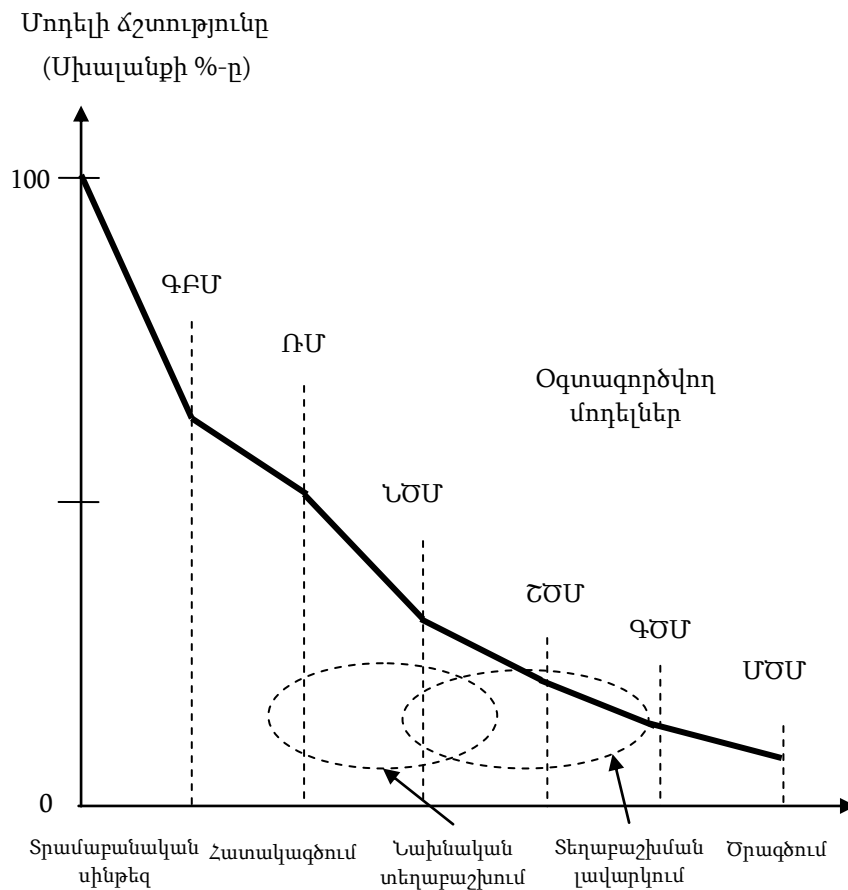
Էլմորի հապաղումը ներկայացնում է  
Էլեկտրոնային համակարգերում RC շղթայի միջոցով  
ազդանշանի հապաղման պարզ մոտարկում [72, 101, 102]: Այն,  
լինելով շղթաներում հապաղումների հաշվարկի և  
գնահատման մեթոդ, հաճախ օգտագործվում է  
Էլեկտրոնային համակարգերի նախագծման այնպիսի  
խնդիրներում, ինչպիսիք են տրամաբանական  
սինթեզը, ստատիկ ժամանակային վերլուծությունը,  
տեղաբաշխումը և ծրագրումը: Էլմորի մոդելի  
մոտավոր բնույթը չի խանգարում դրա  
օգտագործմանը տեղաբաշխման խնդիրներում, քանի  
որ այդ մոդելով գնահատված հապաղումների մեծ  
(փոքր) արժեքներին, որպես կանոն,  
համապատասխանում են իրական հապաղումների մեծ  
(փոքր) արժեքներ: Եթե հաշվի առնենք, որ  
տեղաբաշխման խնդիրներում առաջնային են ոչ թե

յ ու ր ա ք ա ն չ յ ու ր տարրի բացարձակ երկրաչափական կոորդինատները, այլ տարրերի փոխադարձ դասավորությունը, ապա այս դեպքում, շղթաներում հապաղումները հաշվի առնելու տեսանկյունից, նույն տրամաբանությամբ՝ առաջնային է դառնում ոչ թե յ ու ր ա ք ա ն չ յ ու ր շղթայի հապաղման բացարձակ արժեքի ճշտությունը, այլ տարբեր շղթաների հապաղումների փոխադարձ հարաբերական արժեքները:

Ենթամիկրոնային ԻՍ-երի նախագծման ժամանակ, տեսնելով զիաների փոքրացմանը գույքը նթաց, ավելի է կարևորվում տրամաբանական և ֆիզիկական նախագծման փուլերի միջև կապը: Նախագծվող սխեմայի արագագործության ապահովման տեսանկյունից ֆիզիկական նախագծման արդյունքում ձևավորվող միջմիացումների ժամանակային պարամետրերը հաշվի չառնել տրամաբանական նախագծման փուլում, հանգեցնում է սինթեզվող սխեմայի պարամետրերի անթույլատրելի որակին: Այդ իսկ պատճառով կարևորվում է նախագծման վաղ փուլերում ֆիզիկական պարամետրերի հնարավորիսս ճիշտ կանխատեսումը և հաշվի առնելը: Ֆիզիկական սինթեզի ընթացքում անհրաժեշտ է ապահովել սխեմայի ժամանակային պարամետրերի գնահատման այնպիսի մոդելների և մեթոդների կիրառումը, որոնք հնարավորիսս ճիշտ կգնահատեն ծրագրման ավարտին ստացվող իրական պարամետրերը, այսինքն՝ ֆիզիկական նախագծման յ ու ր ա ք ա ն չ յ ու ր փուլում նվազագույնի հասցվի միջմիացումների պատճառով առաջացող հապաղումների իրական և գնահատվող արժեքների տարբերությունը: Այստեղ գործունենք բազմակապակի խնդրի հետ, որը պետք է հաշվի առնի այնպիսի պարամետրեր, ինչպիսիք են ծրագրելի ու թյ ու ր ա ք ա ն չ յ ու ր մակերեսը, պիտանի ելքի

տոկոսը, տակտավորման շեղումը, էներգասպառումը և այլն: Բնականաբար, որքան ավելի մոտենում ենք նախագծման վերջին, այնքան պետք է բարձրանա օգտագործվող մոդելների ճշտությունը: Նկ. 2.12-ում պատկերված են նախագծման տարբեր փուլերում օգտագործվող միջմիացումների ժամանակային պարամետրերի գնահատման մոդելները և ճշտության բարելավումը հիերարխիկական պլանավորումից մինչև ծրագրում:

Դիտարկենք նկ. 2.12-ում բերված մոդելների կիրառության հնարավորությունները:



Նկ. 2.12. Նախագծման տարբեր փուլերում օգտագործվող միջմիացումների ժամանակային պարամետրերի գնահատման մոդելները

**Կապի գծերի բեռնվածություն վրահիմնված մոդել (ԳԲՄ)**-վի ճակագրական մեծություն է, որը հիմնված է

օգտագործվող տարրերի գրադարանի և նախագծի բարդությունը վրա: Այս դեպքում, ելքի ճյուղավորման գործակցի միևնույն արժեքն ունեցող բոլոր շղթաները ստանում են հապաղման միևնույն գնահատականը: Այն ունի շատ փոքր ճշտություն և օգտագործվում է տրամաբանական սինթեզի փուլում [80, 103]:

**Ռեկուրսիվ կանոնի վրահիմնված մոդելներ (ՌՄ)**-սրանք հիմնված են Ռեկուրսիվ փորձնական բանաձևի վրա, որը կապ է հաստատում սխեմայի ելուստների քանակի, մեկ տարրի ելուստների քանակի և տարրերի քանակի միջև [104]: Տարրերի համարը նդունելով միջինացված ստանդարտ երկրաչափական չափսեր՝ գնահատվում է մեկ միջմիացման միջին երկարությունը տրված տարրերի քանակի և տեղաբաշխման մակերեսի համար: Այս մոդելները բնորոշվում են 50% և ավելի մեծ սխալանքով և ժամանակակից ԻՍ-երի \$իզիկական նախագծման գործիքներում գործնականում չեն օգտագործվում: Անհրաժեշտության դեպքում դրանք կարող են օգտագործվել կանոնավոր կառուցվածքով ԻՍ-երի \$իզիկական նախագծման վաղ փուլներում՝ միջմիացումների գումարային երկարության մոտավոր գնահատման համար:

**Նվազագույն ծառի մոդելներ (ՆՄ)** - գնահատումը կատարվում է Մանհեթենյան հեռավորություններով պարզեցված ծառերի միջոցով (լրիվ գրաֆային, հիմնականախթային, կիսապարագծային և այլն): Սրանց մասին արդեն խոսվել է: Տեղաբաշխման փուլում օգտագործման համար այս մոդելներն ամենահարմարն են:

**Շտեյների ծառի մոդելներ (ՇՄ)** - գնահատումը կատարվում է Մանհեթենյան հեռավորություններով Շտեյների նվազագույն ծառի միջոցով: Ինչպես արդեն նշվել է, այս մոդելներն ունեն բավականին մեծ ճշտություն,

սակայն տեղաբաշխման փուլում դրանց օգտագործումը սահմանափակված է բարդությամբ:

**Գլոբալ ծրագծման մոդելներ (ԳՃՄ)** - հաշվի են առնում միջմիացումների բաշխումը ծրագծման շերտերով, ինչն ավելի է ճշգրտում RC հապաղման գնահատականը: Սրանք օգտագործվում են ծրագծման նախնական փուլերում:

**Մանրակրկիտ ծրագծման մոդելներ (ՄՃՄ)** - հաշվի են առնում միջմիացումների մանրակրկիտ ծրագծումը, և կատարվում է իրական երկրաչափական տոպոլոգիայի RC պարագիտիկային քաղվածքի ստացում:

Ամփոփելով վերը ասվածը կարող ենք ասել, որ.

- Նախնական տեղաբաշխման փուլում շղթաների հետագա երկարությունների գնահատման համար հարմար է օգտագործել նվազագույն ծառի մոդելները: Ներկայումս դրանցից ամենալայն տարածումն է գտել կիսապարագային մոդելը, որի հիմնական թերությունն է բազմաճյուղ շղթաների մոդելավորման ցածր ճշտություներ:
- Բազմաճյուղ շղթաների մոդելավորման համար առաջարկված է կիսապարագային մոդելի վրա հիմնված հիերարխիկական մոդելավորման մեթոդ, որը  $O(n \log n)$  բարդությամբ պայմաններում ապահովում է կիսապարագային մոդելի համեմատ շուրջ 25% ավելի բարձր ճշտություն և մոտելում է ծտեյների ծառի մոդելների ճշտությանը:

#### **2.4. Շղթաների ժամանակային պարամետրերի վերլուծությունը տեղաբաշխման խնդրի տեսանկյունից**

Տարրերի տեսանկյունից	ժամանակային սխեմայի	տեղաբաշխման ժամանակային
----------------------	---------------------	-------------------------

վերլուծության խնդիրն այդ տարրերը կապող շղթաներին ներկայացվող ժամանակային սահմանափակումներին գնահատումն է՝ տրված տարրային հենքի դեպքում: Այս խնդրի վերլուծումը ենթադրում է հետևյալ ենթախնդիրների վերլուծման հաջորդականությունը.

- սխեմայի ժամանակային վերլուծության մեթոդի ընտրություն,
- սխեմայի ժամանակային վերլուծության մոդելի կառուցում,
- ժամանակային պարամետրերի ընտրություն,
- սխեմայի ժամանակային վերլուծության ալգորիթմի մշակում և իրագործում:

Ստորև քննարկվում են վեր նշված ենթախնդիրները:

**Սխեմայի ժամանակային վերլուծության մեթոդի ընտրություն:** Գրականությունից հայտնի են սխեմայի ժամանակային վերլուծության տարբեր մոտեցումներ, որոնք կարելի է դասակարգել ըստ մոդելավորման նպատակի և ձևի [105,106]:

Ըստ մոդելավորման նպատակի՝ ժամանակային վերլուծության մեթոդները լինում են դինամիկ և ստատիկ: Դինամիկ մոդելները հաշվի են առնում սխեմայում առկա անցողիկ գործընթացները և կիրառվում են սխեմայի աշխատանքի ու փոխանցման բնութագրերի ուսումնասիրության համար: Ստատիկ մոդելները հաշվի են առնում սխեմայի տարրերում ու դրանք միացնող շղթաներում հապաղումները, կիրառվում են սխեմայի մուտք-ելք ուղիներում հապաղումների գնահատման և ազդանշանների մրցավազքի ուսումնասիրման համար: Ըստ մոդելավորման ձևի՝ ժամանակային մոդելավորման մեթոդները կարելի է բաժանել 2 խմբի՝ տրանզիտորային մակարդակի մոդելավորում և փականային մակարդակի մոդելավորում:

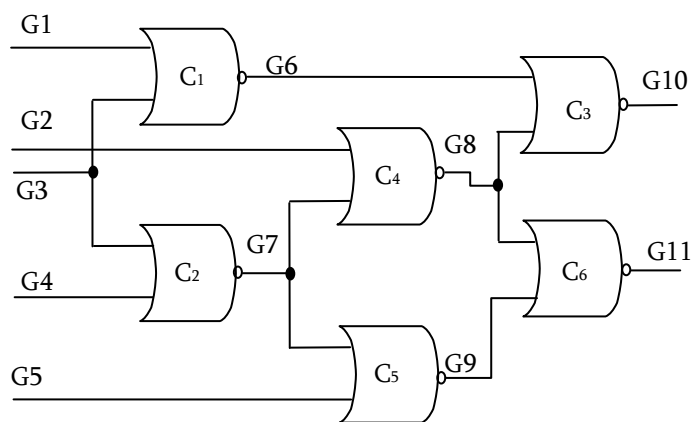
Տրանզիտորային մակարդակի մոդելավորումը հիմնված է սխեման նկարագրող դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգի լուծման վրա: Այն ապահովում է ավելի բարձր ճշտություներ, սակայն պահանջում է մեքենայական մեծ ժամանակ և գործնականում կիրառելի չէ մեծ սխեմաների մոդելավորման դեպքում: Այսպիսի մոդելավորման համակարգերից առավել լայնորեն տարածված է Spice համակարգը: Փականային մակարդակի մոդելավորման մեթոդներից առավել լայն կիրառություն է գտել ստատիկ ժամանակային վերլուծությունը, որը ներկայումս սինթրոն թվային համակարգերի համակցական սխեմաների արագագործության վերլուծության և գնահատման հիմնական մեթոդն է: Քանի որ ժամանակակից թվային համակարգերում համակցական սխեմաները կարող են ունենալ մի քանի տասնյակ հազարը գերազանցող փականեր և մեծ թվով մուտքեր/ելքեր, ապա դրանց արագագործության վերլուծությունը տրանզիտորային մակարդակի մոդելավորման մեթոդներով գործնականում անհնար է: Եթե հաշվի առնենք նաև այն հանգամանքը, որ ժամանակակից թվային ԻՍ-երում հիմնականում որպես տարրային հենք են ծառայում ստանդարտ գրադարանային բջիջները և մտավոր սեփականության բլոկները, որոնց մուտք-ելք հապաղումները \$իզիկական նախագծման փուլում հայտնի են, ապա ժամանակային տեղաբաշխման նպատակով առավել նպատակահարմար է ստատիկ ժամանակային վերլուծության վրա հիմնված արագագործության վերլուծության և գնահատման մեթոդների օգտագործումը:

**Սխեմայի ժամանակային վերլուծության մոդելի կառուցումը:**

Սխեմայի ժամանակային վերլուծության մոդելի կառուցման համար հիմք է ծառայում ուղղորդված կշռված գրաֆը, որը

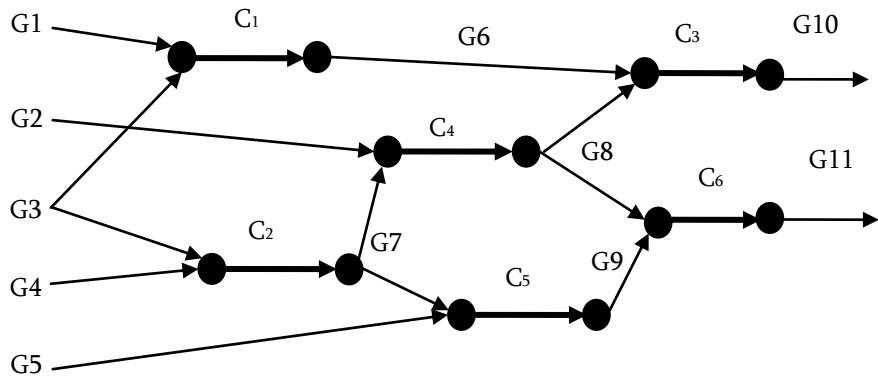
կոչվում է նաև սխեմայի ցանցային մոդել կամ ժամանակային գրաֆ [13]:

Այսպիսի գրաֆը սահմանվում է որպես  $V=(G, C)$ , որտեղ  $G$ -ն գագաթների, բազմությունն է, իսկ  $C$ -ն՝ ուղղորդված կողերի բազմությունը: Յուրաքանչյուր կողին վերագրվում է որոշակի կշիռ, որը համապատասխանում է այդ կողով միացված գագաթների միջև ժամանակային հապաղմանը: Քանի որ ենթամիկրոնային ԽՍ-երում կարևորվում են միջմիացումներում առաջացող հապաղումները, ապա այս դեպքում ինչպես սխեմայում առկա տարրերը, այնպես էլ դրանք իրար կապող շղթաները հանդիսանում են ազդանշանի տարածման հապաղման պատճառ, և հետևաբար՝ ընդհանուր դեպքում ժամանակային գրաֆը կարողնակի երկու տիպի գագաթներ, որոնք համապատասխանորեն ցույց կտան սխեմայում տարր-շղթա և շղթա-տարր անցումները: Նույն տրամաբանությամբ՝ գրաֆի կողերը կհամապատասխանեն ինչպես սխեմայի տարրերին, այնպես էլ՝ շղթաներին և սխեմայի շղթաների ցուցակին համապատասխան կմիացնեն գագաթները: Նկ. 2.13-ում բերված է տրամաբանական սխեմայի օրինակ, որի ժամանակային գրաֆը պատկերված է նկ. 2.14-ում:



Նկ. 2.13. Էլեկտրական սխեմայի օրինակը





*Նկ.2.14 Ժամանակային գրաֆը*

Ժամանակային գրաֆում յուրաքանչյուր կողմնակից շղթա, որը համապատասխանում է տվյալ կողմնակից համապատասխանող տարրի կամ շղթայի հապաղմանը: Ժամանակային գրաֆում առկա է կողերի երկու տիպ՝ ներքին և արտաքին: Ներքին կողերը համապատասխանում են տարրերին և դրանք փաստորեն տարրերի մուտքերը կապում են դրանց ելքերի հետ: Տեղաբաշխման ընթացքում այս կողերի կշիռները ֆիքսված են և կախված են տեխնոլոգիայից ու տարրերի ֆիզիկական հատկություններից: Արտաքին կողերը համապատասխանում են շղթաներին և ըստ սխեմայի տարրերը կապում են իրար:

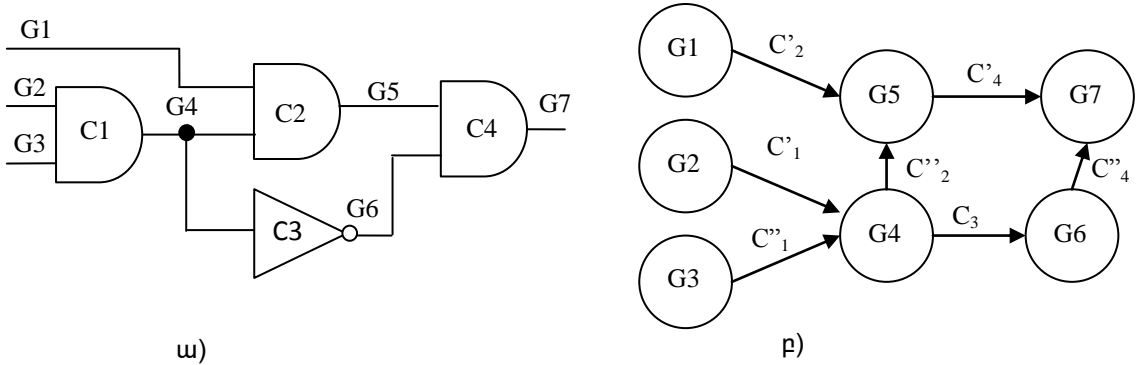
Տեղաբաշխման փուլի սկզբում հայտնի են լինում տարրերի հապաղումները, իսկ շղթաների հապաղումները ստացվում են տեղաբաշխման և ծրագծման արդյունքում: Այսպիսով, ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման խնդրում տարրերի հապաղումները հանդիսանում են մուտքային տվյալներ, իսկ խնդրի նպատակն է տարրերի տեղաբաշխման արդյունքում հասնել շղթաների ծրագծման ռեսուրսների այնպիսի բաշխման, որի դեպքում ժամանակային գրաֆում արտաքին կողերի վրա ստացվող կշիռները կհանգեցնեն մուտքեր-ելքեր ամենամեծ գումարային կշռով ուղղակի ավարկման:

Ստորև առաջարկվում է մոտեցում, որը թույլ է տալիս ԻՍ-երի շղթաներում հապաղումների հաշվառումը տարրերի նախնական տեղաբաշխման ժամանակ: Առաջարկվող մոտեցումը հիմնված է յուրաքանչյուր շղթայում ազդանշանի հայտնվելու հապաղման ներքին և վերին սահմանների ցանկալի ժամանակների հաշվարկի և, դրանով իսկ, շղթաների երկարությունների կառավարման հնարավորության վրա:

Քանի որ ժամանակային տեղաբաշխման խնդրում տարրերի հապաղումները հայտնի են, և անհրաժեշտ է վերլուծել միայն շղթաների ժամանակային պարամետրերը, ապա այսպիսի մոդելներում  $G$  գագաթների բազմությունը համապատասխանում է սխեմայի շղթաների բազմությանը, իսկ  $C$  կողերի բազմությունը՝ տրամաբանական տարրերի բազմությանը: Ընդ որում, ուղղորդված կողի սկիզբը համապատասխանում է տրամաբանական տարրի մուտքին, իսկ վերջը՝ ելքին: Պարզագույն տրամաբանական սխեմայի և դրա ժամանակային գրաֆի օրինակը բերված է նկ. 2.15-ում:

Ինչպես երևում է նկարից, ընդհանուր դեպքում մեկ տրամաբանական տարրին կարող են համապատասխանել մեկից ավելի կողեր: Եթե տրամաբանական տարրը պարունակում է ոմուտքեր և մեկ ելք, ապա ընդհանուր դեպքում այդ տարրին կհամապատասխանեն  $m \times n$  կողեր:

Նկ. 2.15. Տրամաբանական սխեմայի (ա) և դրա



*Ժամանակային գրաֆի (բ)օրինակները*

Քանի որ տրամաբանական տարրի յուրաքանչյուր ելքին համապատասխանում է որոշակի շղթա, ապա բոլոր այն մուտքերը, որոնց արժեքից կախված է սվյալ ելքի արժեքը, պետք է ժամանակային գրաֆում ունենան իրենց համապատասխան կոդերը: Այսպես, օրինակ, քանի որ G5 շղթայի վրա ազդանշանը որոշվում է C2 տարրի ելքային ազդանշանով, որը, իր հերթին, որոշվում է G1 և G4 շղթաների վրա եղած ազդանշաններով, որոնք հանդիսանում են C2 տարրի մուտքեր, ինչպես նաև՝ C2 տարրի տրամաբանական ամբ, ապա ժամանակային գրաֆում C<sub>2</sub>-ին համապատասխանում են 2 կոդեր՝ C'<sub>2</sub> և C''<sub>2</sub>, որոնք պայմանականորեն արտահայտում են C<sub>2</sub> տարրի 2 մուտքերից յուրաքանչյուրի անցումը դեպի այդ տարրի ելք:

Ժամանակային գրաֆում, որպես կոդերի կշիռ, հանդես են գալիս համապատասխան տարրերի մուտք-ելք հապաղումները: Ժամանակային գրաֆի յուրաքանչյուր գագաթի համար հնարավոր են 2 տիպի փոխանջատումներ՝ 0-1 (ցածրից բարձր) և 1-0 (բարձրից ցածր): Ընդհանուր դեպքում, քանի որ 0-1 և 1-0 փոխանջատումների հապաղումները կարող են լինել միմյանցից տարբեր, ապա յուրաքանչյուր կոդին կարելի է վերագրել 4 տիպի հապաղումներ՝ T<sup>99</sup> (ցածր-ցածր), T<sup>9բ</sup> (ցածր-բարձր), T<sup>բ9</sup> (բարձր-ցածր), և T<sup>բբ</sup> (բարձր-բարձր): Տարրերի ժամանակային տեղաբաշխման տեսանկյունից ինժեներական բավարար ճշտությամբ կարելի է խնդիրը պարզեցնել և որպես սվյալ տարրի հապաղման չափ վերցնել կամ վերը նշված 4 տիպի հապաղումներից առավել ազոլյնը, կամ դրանց միջինը: Յետագա շարադրանքում որպես ժամանակային գրաֆի կոդերի կշիռներ օգտագործված է միջին հապաղումը, որի արժեքը յուրաքանչյուր տրամաբանական տարրի համար բերված է լինում թվային ստանդարտ բջիջների գրադարաններում:

**Սխեմայի ժամանակային վերլուծության մեթոդը:**

Ժամանակային գրաֆի միջոցով վերլուծության

իրագործումը ենթադրում է հետևյալ 2 խնդիրների  
լուծումները .

1. Ժամանակային գրաֆում մուտք-ելք ուղիների  
փնտրման կազմակերպում ,

2. մուտք-ելք ուղիների և առանձին շղթաների  
ժամանակային պարամետրերի հաշվարկ :

Առաջին խնդիրը քննարկված է այս պարագրաֆում ,  
իսկ երկրորդը` հաջորդում :

Ժամանակային գրաֆում փնտրման  
կազմակերպումը հիմնված է կոդմնորոշված  
գրաֆում` ըստ խորուրթյան փնտրման մեթոդների վրա  
[97]: Այսպիսի փնտրման ընդհանուր  
ազմավարությունը հետևյալն է : Ժամանակային  
գրաֆի որևիցե մուտքից շարժվում ենք ազդանշանի  
մշակման ուղղությամբ , քանի դեռ դա հնարավոր է ,  
այսինքն` մինչև որևիցե ելքի հասնելը :  
Այնուհետև արդեն դիտարկված ուղղված շարժվում ենք  
հակառակ ուղղությամբ , և եթե ճանապարհին  
հանդիպում է գագաթ , որից կա ճանապարհ ազդանշանի  
մշակման ուղղությամբ , ապա շարժվում ենք այդ  
ճանապարհով` մինչև որևիցե ելքի հասնելը : Սա  
կրկնում ենք այնքան , մինչև չմնան չդիտարկված  
գագաթներ : Այնուհետև նկարագրված ընթացակարգը  
կիրառվում է հերթականորեն` մյուս բոլոր  
մուտքերից սկսած : Այս գործառույթի արդյունքում  
հայտնաբերվում են բոլոր մուտք-ելք  
ճանապարհները :

Ըստ խորուրթյան փնտրման` դասական ալգորիթմը  
կոչված է տրված գագաթից դեպի մնացած հասանելի  
գագաթները կարճագույն ուղու փնտրման համար :  
Այսպիսի մոտեցումը բավարար չէ սխեմայի  
առաջնային մուտքից դեպի առաջնային ելքեր բոլոր  
ուղիների հայտնաբերման համար : Այս նպատակով  
առաջարկված է ըստ խորուրթյան փնտրման  
մատրիցային ալգորիթմ , որը թույլ է տալիս  
հայտնաբերել սխեմայի մուտք-ելք բոլոր  
ուղիները` միաժամանակ հաշվարկելով գագաթների  
ժամանակային պարամետրերը : Փնտրման

կազմակերպման նպատակով գեներացվում են 3բիտար մատրիցներ, որոնցից մեկը  $n \times n$ -չափանի մատրից է, որտեղ  $n$ -ը շղթաների թիվն է: Եթե երկու շղթաներ

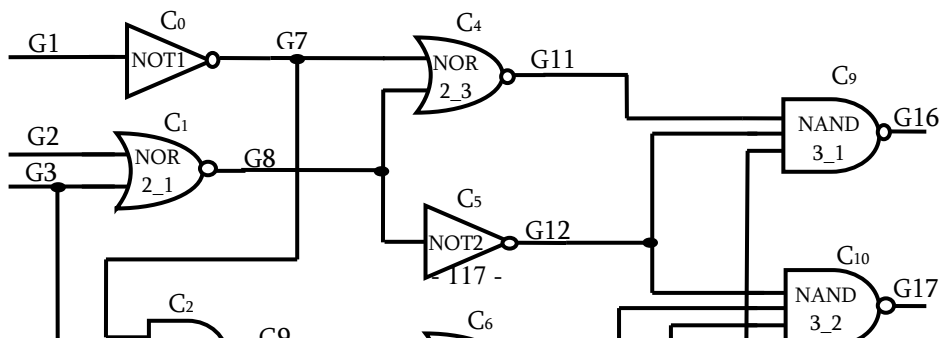
```

module a1(G1,G2,G3,G4,G5,G6,G7,G8,G9,G10,G11,G12,G13,G14,G15,G16,G17);
input G1,G2,G3,G4,G5, G6;
output G16,G17;
wire G7,G8,G9,G10,G11,G12,G13,G14;
notNOT1_1(G1,G7);
nor NOR2_1(G2,G3,G8);
and AND2_1(G4,G7,G9);
nor NOR2_2(G3,G5,G10);
nor NOR2_3(G7,G8,G11);
not NOT1_2(G8,G12);
or OR2_1(G3,G9,G13);
or OR2_2(G9,G10,G14);
nor NOR2_4(G6,G10,G15);
nand NAND3_1(G11,G12,G15,G16);
nand NAND3_2(G12,G13,G14,G17);
endmodule

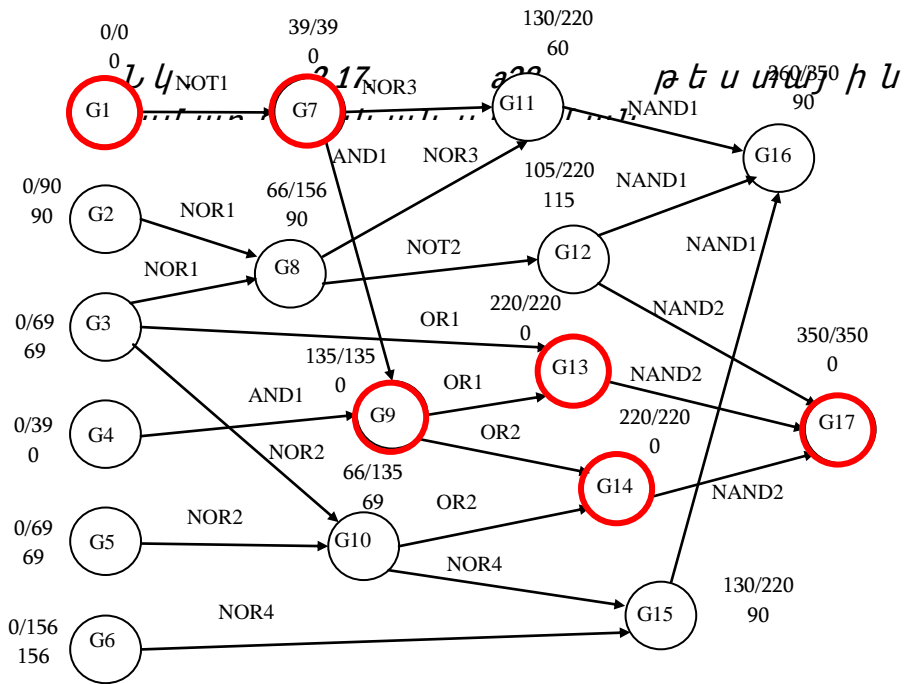
```

հանդիսանում են որևէ տարրի մուտք և ելք, ապա այդ մատրիցի համապատասխան տողի և սյան հատման կետում առկա է տվյալ տարրի հապաղման արժեքը, իսկ հակառակ դեպքում՝ ոչ: Մյուս երկու մատրիցները  $n \times 1$  սյուն մատրիցներ են, որոնց համապատասխան տողերում նշվում են սխեմայի մուտքեր կամ ելքեր հանդիսացող շղթաները: Ըստ խորոլթյան փնտրման՝ ալգորիթմի աշխատանքը դիտարկենք մեր կողմից գեներացված a28 պայմանական անվանումով թեստային սխեմայի օրինակով, որի Verilog նկարագիրը բերված է նկ. 2.16-ում:

Բերված Verilog նկարագրում համապատասխանող տրամաբանական սխեմայի տեսքը բերված է նկ. 2.17-ում, իսկ դիտարկվող սխեմայի ժամանակային գրաֆը պատկերված է նկ. 2.18-ում:



Նկ. 2.16. a28 թեստային սխեմայի Verilog նկարագիրը



Նկ. 2.18. a28 թե ս տայ ի ն ս խե մ այ ի ժամանակային սխեմայի

Դիտարկվող թե ս տայ ի ն ս խե մ այ ի ժամանակային վերլուծության սկզբունքը՝ հիմնված ըստ խորրուջան փնտրման ալգորիթմի վրա, բերված է նկ. 2.19-ում:

Ըստ խորրուջան փնտրման՝ ալգորիթմի աշխատանքը պարզաբան ենք ուղիներին ցմեկի վերլուծության օրինակով: Ինչպես երևում է նկարից, մուտքերի սյուն մատրիցում ընտրվում է առաջին մուտքային շղթան, որից հետո կատարվում է դիմում շղթաների մատրիցի առաջին տողին: Այս տողով հաջորդաբար դիտարկվում են բոլոր սյունները, մինչև հանդիպում է տարրի հապաղում պարունակող սյուն:

Դիտարկվող օրինակում դա 7-րդ սյունն է, որը նշանակում է՝ 7-րդ շղթան ելքային շղթա է 1-ին մուտքով NOT1 տարրի համար, որի հապաղումը  $T_1$  է:

Այնուհետև, նույն սկզբունքով, դիտարկվում է 7-րդ տողը: Այս ցիկլիկ գործընթացը շարունակվում է այնքան, մինչև հերթական քայլում հանդիպենք սխեմայի ելք հանդիսացող շղթայի: Դիտարկվող օրինակում դա 17-րդ շղթան է:

Այսպիսով, կառուցվում է առաջին ուղին՝ G1-G7-G9-G13-G17: Այս գործընթացը կրկնվում է սխեմայի բոլոր մուտքերի համար: Ստորև բերված են փնտրման արդյունքում ստացված բոլոր 17 ուղիները:

- |                      |                   |                     |                     |
|----------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 1) G1-G7-G9-G13-G17, | 5) G2-G8-G12-G16, | 9) G3-G8-G12-G17,   | 13) G4-G9-G13-G17,  |
| 2) G1-G7-G9-G14-G17, | 6) G2-G8-G12-G17, | 10) G3-G13-G17,     | 14) G4-G9-G14-G17,  |
| 3) G1-G7-G11-G16,    | 7) G3-G8-G11-G16, | 11) G3-G10-G14-G17, | 15) G5-G10-G14-G17, |
| 4) G2-G8-G11-G16,    | 8) G3-G8-G12-G16, | 12) G3-G10-G15-G16, | 16) G5-G10-G15-G16, |
|                      |                   |                     | 17) G6-G15-G16:     |

	$T_1 + T_3$						$T_1 + T_3 + T_7$				$T_1 + T_3 + T_7 + T_{11}$						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1							$T_1$										
2								$T_2$									
3								$T_2$		$T_4$			$T_7$				
4									$T_3$								
5										$T_4$							
6															$T_9$		
7									$T_3$		$T_5$						
8											$T_5$	$T_6$					
9													$T_7$	$T_8$			
10														$T_8$	$T_9$		
11																$T_{10}$	
12																$T_{10}$	$T_{11}$
13																	$T_{11}$
14																	$T_{11}$
15																$T_{10}$	
16																	16
17																	17

Նկ. 2.19. Թե ստայի ն սխեմայի ժամանակային գրաֆում ըստխորհրդան փնտրման սկզբունքը

Ընդհանրացնելով վերը շարադրվածը՝ կարելի է եզրակացնել .

- Տարրերի նախնական տեղաբաշխման փոփոխում ժամանակային վերլուծության խնդիրը այդ տարրերը կապող շղթաներին ներկայացվող ժամանակային սահմանափակումներին գնահատումն է՝ տրված տարրային հենքի դեպքում:
- Որպես սխեմայի ժամանակային վերլուծության մեթոդ առաջարկված է սխեմայի ժամանակային գրաֆում ըստ խորություն փնտրման ալգորիթմը, որը հնարավորություն է տալիս խնդիրը բերել մատրիցային փնտրման ալգորիթմի:

**2.5. Շղթաների ժամանակային պահուստների գնահատումը**

ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման տեսանկյունից կարևորվում է սխեմայի շղթաների այնպիսի ժամանակային պարամետրերի գնահատումը, որոնք թույլ կտան կառավարել այդ շղթաների երկարությունները տեղաբաշխման փոփոխում: Որպես այդպիսի պարամետրեր հանդես են գալիս.

1. Սխեմայի առաջնային մուտքերից մինչև ցանկացած  $i$ -րդ շղթայում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ամենավաղ ժամանակը կամ հապաղման ներքին սահմանը՝  $T_{u(i)}$ :

2. Սխեմայի առաջնային մուտքերից մինչև ցանկացած  $i$ -րդ շղթայում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ամենաուշ ժամանակը կամ հապաղման վերին սահմանը՝  $T_{H(i)}$ :

3. Սխեմայի ցանկացած  $i$ -րդ շղթայի ժամանակային պահուստը՝  $R_i$ :

Ստորև քննարկված են այս պարամետրերի գնահատման մեթոդները և ալգորիթմները:

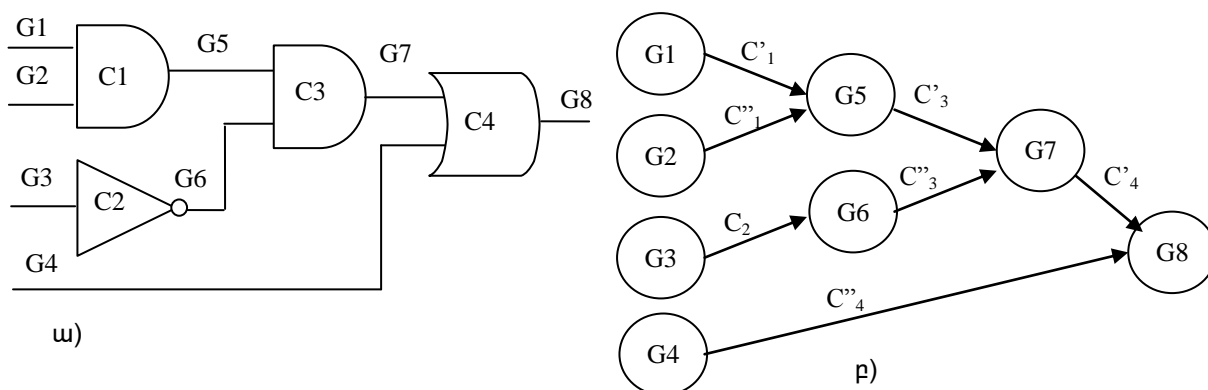
**Սխեմայի շղթաներում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանի որոշումը:**

Որևէ շղթայում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանը սխեմայի առաջնային մուտքերից մինչև տվյալ շղթան տանող բոլոր ուղիներին հապաղումներին ամենամեծն է, քանի որ



այդ հապաղումով է որոշվում տվյալ շղթայում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակը:

Սաքննարկ ենք նկ. 2.20-ում բերված օրինակով:



Նկ. 2.20. Պարզագույն սխեմայի (ա) և դրա ժամանակային գրաֆի (բ) օրինակը

Ենթադրենք՝  $G_1, G_2, G_3, G_4$ , բոլոր մուտքերին, որոնք տվյալ սխեմայի առաջնային մուտքերն են, միաժամանակ տրվում է ազդանշան: Առաջնային մուտքերին ազդանշանի տրման պահը պայմանականորեն ընդունենք ժամանակի հաշվարկի սկիզբ՝  $T_0 = 0$ : Եթե  $C_1$  տարրի միջին հապաղումը  $G_1$  և  $G_2$  երկու մուտքերի համար նշանակենք  $T_1$ , ապա  $C_1$ -ի ելքում հապաղման ներքին սահմանը կլինի  $T_{\text{զ1}} = T_1$ : Եթե ընդունենք, որ շղթաները հապաղման տեսանկյունից իդեալական են, այսինքն՝ դրանցում հապաղումը գրոյական է, ապակարող ենք գրել՝

$$T_{\text{զ}}(G_5) = T_{\text{զ}}(C_{1\text{տր}}) = T_1 : \quad (2.18)$$

Նույն տրամաբանությամբ կարող ենք գրել՝

$$T_{\text{զ}}(G_6) = T_{\text{զ}}(C_{2\text{տր}}) = T_2 : \quad (2.19)$$

Եթե ընդհանուր դեպքում  $T_1 \ll T_2$ , ապա  $C_3$  տարրի մուտքերին ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակները կլինեն տարբեր, քան ինք  $T_{\text{զ}}(G_5) \ll T_{\text{զ}}(G_6)$ :

Ենթադրենք  $T_{\text{զ}}(G_5) \ll T_{\text{զ}}(G_6)$ , ապա  $T = T_{\text{զ}}(G_5) - T_{\text{զ}}(G_6)$  ժամանակահատվածում  $C_3$  տարրի վերին մուտքում

կլիսի նախորդ տակտից մնացած ազդանշանը, իսկ ներքին մուտքում՝ տվյալ տակտում ձևավորված ազդանշանը: Օրինակ, եթե նախորդ տակտում  $C_3$ -ի վերին մուտքում կամ, որ նույնն է,  $G_5$  շղթայի վրա եղել է տրամաբանական “0” ազդանշան, իսկ ներքին մուտքում՝ “1” ազդանշան, ապա  $C_3$  տարրի ելքում կունենանք “0”: Եթե տվյալ տակտում  $C_3$ -ի վերին մուտքում տեղի է ունեցել անցում “0”-ից “1”, իսկ ներքին մուտքում մնացել է “1”, ապա  $C_3$ -ի ելքում պետք է տեղի ունենան անցում “0”-ից “1”: Սակայն ժամանակահատվածում, քանի դեռ  $C_3$ -ի վերին մուտքում պահպանվում է նախորդ տակտից մնացած “0”-ն, դրա ելքում կունենանք տվյալ տակտի համար սխալ “0” ազդանշան: Յետևաբար,  $C_3$ -ի ելքում ճիշտ ազդանշանը կձևավորվի որպես  $T = \max\{T_1; T_2\} + T_3$  հապաղում, որը մեր օրինակում կլիսի  $T = T_1 + T_3$ : Նույն տրամաբանությամբ՝  $C_4$  տարրի ելքում ճիշտ ազդանշանի ձևավորումը կպայմանավորվի դրամուտքերում ազդանշանի հապաղման ներքին սահմանի առավելագույն արժեքով և  $C_4$  տարրի հապաղմամբ: Քանի որ սխեմայի առաջնային մուտքից մինչև  $C_4$  տարրի ելքը գոյություն ունեն 3 ուղիներ ( $C_1$ - $C_2$ - $C_4$ ); ( $C_2$ - $C_3$ - $C_4$ ) և  $C_4$ , ապա վերև ասվածից հետևում է, որ  $C_4$  տարրի ելքում ճիշտ ազդանշանը կձևավորվի  $T = \max\{(T_1 + T_3 + T_4); (T_2 + T_3 + T_4)\}$  հապաղմամբ:

Յիմնվելով ասվածի վրա, սխեմայի ցանկացած  $i$ -րդ շղթայի համար ժամանակի ներքին սահմանը կարելի է որոշել հետևյալ ընդհանրացված բանաձևով՝

$$T_{\bar{a}} = \begin{cases} T_{0k}, & k \in I, \\ \max_{j \in E_1(j,i)} [T_{\bar{a}j} + T_{(j,i)}], & \text{հակառակ դեպքում} \end{cases} \quad (2.20)$$

որտեղ  $T_{0k}$ -ն սխեմայի  $k$ -րդ մուտքի նախնական տակտում պահն է,  $I$ -ն՝ սխեմայի մուտքերի քանակը,  $T_{\bar{a}i}$ -ն՝  $j$ -րդ շղթայում ազդանշանի ձևավորման վաղ ժամանակը,  $T_{(j,i)}$ -ն՝  $j$ -րդ մուտքով և  $i$ -րդ ելքով տարրի հապաղումը

$E_{l(j,i)}$ -ն՝ j-րդ մուտքով և i-րդ ելքով տարրերի

բազմուկայնությունը:

Ընդ որում, (i-1)-ից i անցումները կատարվում են սխեմայի տարրերի աշխատանքի նախորդ-հաջորդ տրամաբանուկայնամբ: Այսինքն՝ i-րդ շղթայի համար (i-1)-րդ շղթաներ են բոլոր այն շղթաները, որոնք միացված են (i-1) և i շղթաները կապող տարրի մուտքերին: Սխեմայի առաջնային մուտքերի համար ընդունված է  $T_0 = 0$ :

Դիտարկենք ըստխորուկայն փնտրման ալգորիթմի կիրառմամբ սխեմայի շղթաներում ճիշտագնան ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանի հաշվարկը նկ.2.16-ում բերված a28 թեստային սխեմայի օրինակով:

Դիտարկվող օրինակում և հաշվարկներում որպես տրամաբանական տարրային հենք է օգտագործվել «Սինոփսիս Արմենիա» ընկերության ուսումնական դեպարտամենտում մշակված 90նմ տեխնոլոգիայով SAED90 թվային ստանդարտ բջիջների գրադարանը [107]: a28 թեստային սխեմայում առկա տրամաբանական տարրերին համապատասխան բջիջների պարամետրերի արժեքները, SAED90 թվային ստանդարտ բջիջների գրադարանի համար, բերված են աղ.2.1-ում:

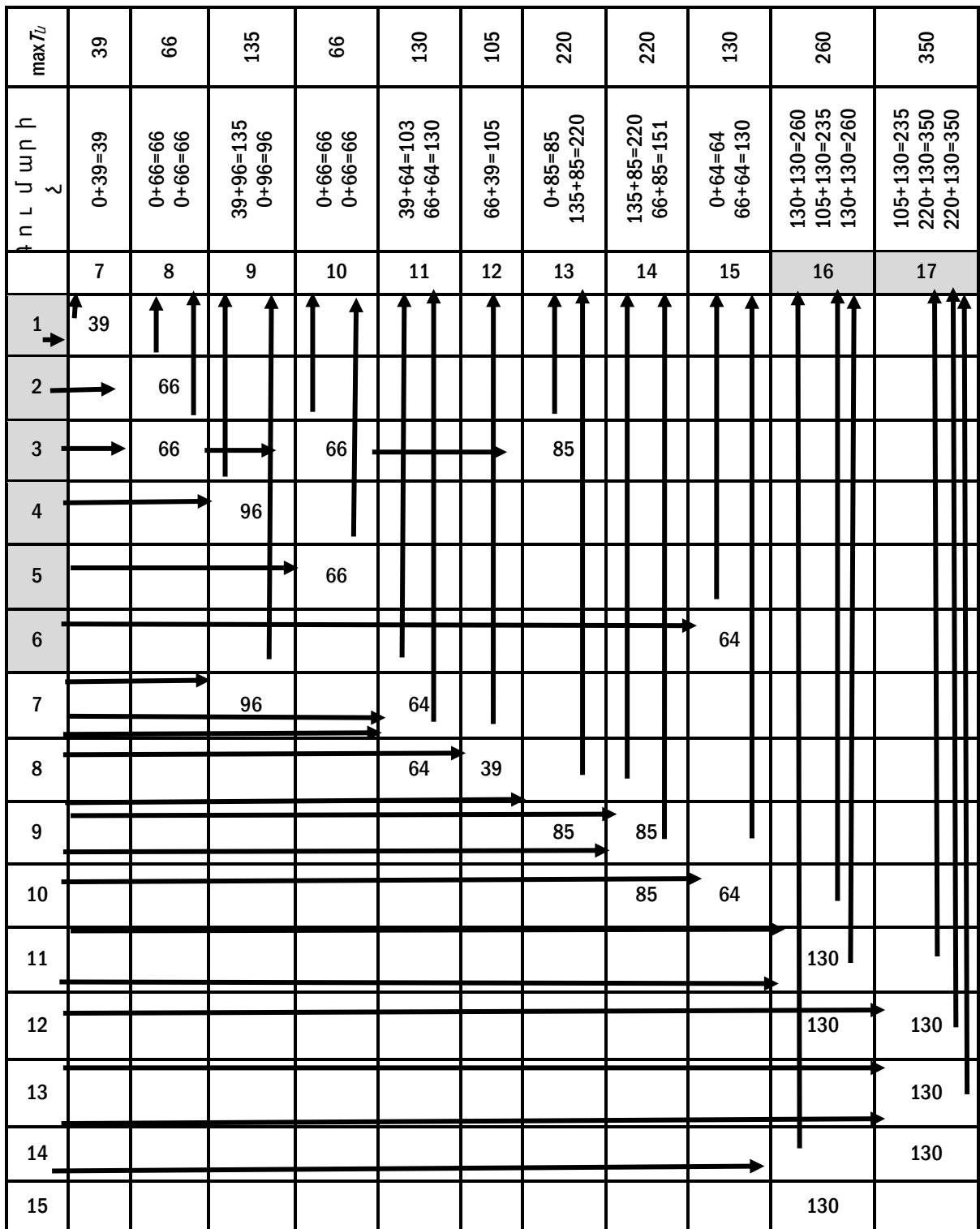
Աղյուսակ 2.1

Ստանդարտ բջիջների պարամետրերը

Բջջի անվանումը	Մուտքերի միավորման և ելքի ճյուղավորման գործակիցները	Չափադրումը, $\mu\text{վ}$	Բջջի երկարությունը, $\mu\text{վ}$	Բջջի բարձրությունը, $\mu\text{վ}$
NOT1, NOT2	1X2	39	2.95	3,0
NOR1, NOR2	2X2	66	3.2	3,0
AND1	2X2	96	2.88	3,0
NOR3, NOR4	2X1	64	2.24	3,0
OR1, OR2	2X1	85	2.56	3,0
NAND1, NAND2	3X1	130	4.16	3,0

Սխեմայի շղթաներում ճիշտագնան ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանի հաշվարկի

ընթացակարգը դիտարկենք նկ. 2.21 - ում բերված հաշվարկային սխեմայի վրա:



Նկ. 2.21. Շղթայի յո

ւմ ճիշտագրանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանի հաշվարկի ալգորիթմի աշխատանքը

1. G1, G2, G3, G4, G5, G6 բոլոր մուտքային շղթաների համար ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանն ընդունվում է հավասար 0-ի՝  $T_{u_i}=0; i=1, \dots, 6$ :

2. G1 մուտքային շղթային համապատասխանող առաջին տողը դիտարկվում է՝ շարժվելով ձախից աջ: Առաջին իմաստալից բջիջը պատկանում է 7-րդ սյանը: Այդ բջիջը համապատասխանում է G7 ելքային և G1 մուտքային շղթա ունեցող NOT1 տարրին, որի համար  $T_{17}=39\mu\text{վ}$ : Այդ բջջից կատարվում է անցում դեպի վեր՝ մինչև հաջվիչի համապատասխան բջիջը, որտեղ գրանցվում է  $T_1=0$  և  $T_{17}=39\mu\text{վ}$  հապաղումների գումարը՝  $T_{u_7}=0+39=39\mu\text{վ}$ : Այստեղ և հետագայում, յուրաքանչյուր բջիջ, որտեղից կատարվում է անցում տողից դեպի սյուն, նշվում է և հաջորդող քայլերում այլևս չի դիտարկվում: Քանի որ 7-րդ սյունում, բացի առաջին տողից, ուրիշ որևէ տողում իմաստալից թիվ չկա, ուստի համաձայն (2.20) բանաձևի՝ G7 շղթայում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանի վերջնական արժեքը կլինի՝  $T_{u_7}=39\mu\text{վ}$ :

3. Շարունակվում է 1-ին քայլում ընտրված ուղղով դիտարկումը ըստ խորություն, որի համար կատարվում է անցում G7 շղթային համապատասխանող 7-րդ տողին: Այդ տողի դիտարկմամբ առաջին իմաստալից սյունը, որը համապատասխանում է G7 մուտքային շղթա ունեցող տարրի ելքային շղթային, 9-րդ սյունն է, որը համապատասխանում է G9 ելքային և G7 մուտքային շղթա ունեցող AND1 տարրին, որի  $T_{79}=96\mu\text{վ}$  հապաղումը փոխանցվում է հաջվիչի համապատասխան բջջին և գումարվում է  $T_{u_7}$ -ին: Արդյունքում ունենում ենք  $T_{u_9}=39+96=135\mu\text{վ}$ :

4. 2 և 3 քայլերը կրկնվում են այնքան, մինչև հասնենք սխեմայի որևէ ելքային շղթայի: Դիտարկվող օրինակում դա կլինի G1-G7-G9-G13-G17 ուղին: Յուրաքանչյուր անգամ տողից դեպի սյունն անցնելիս հաշվիչի համապատասխան բջջում գրանցվում է տվյալ շղթայում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանի ընթացիկ արժեքը:

5. Կատարվում է վերադարձ G17-ից հակառակ՝ վերջից դեպի սկիզբ ուղղությամբ, մինչև հադիպի որևէ շղթային համապատասխան տող, որը պարունակում է չնշված իմաստալից բջիջ: Դիտարկվող օրինակում այդ պայմանին առաջինը բավարարում է G13 շղթային համապատասխանող տողը, որում արդեն նշված (9, 13) բջջից հետո հանդիպում է (9,14) դեռևս չնշված բջիջ:

Սկսած 5-րդ քայլում հանդիպած չնշված բջջից՝ կրկնվում են 3-ից 5 քայլերը այնքան ժամանակ, մինչև որ նշվեն առաջին ընտրված մուտքային շղթայից դեպի սխեմայի ելքերը տանող բոլոր հնարավոր ուղիներին վրա հանդիպած բջիջները: Դիտարկվող օրինակում դրանք G1-G7-G9-G13-G17; G1-G7-G9-G14-G17; G1-G7-G11-G16 ուղիներն են:

6. Սխեմայի բոլոր մուտքերի համար, նույն տրամաբանությամբ, կրկնվում են 1-ից 6 քայլերը:

7. Արդյունքում՝ հաշվիչի համապատասխան բջիջներում գրանցվում են բոլոր շղթաների ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանի ընթացիկ արժեքները:

8. Յուրաքանչյուր շղթայի համար հաշվարկվում է ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանի վերջնական արժեքը՝ համաձայն (2.20) բանաձևի: Դիտարկվող օրինակի համար այդ արժեքները բերված են նկ. 2.21-ի վերին տողում:

**Սխեմայի շղթաներում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի վերին սահմանի որոշումը:**

Որևէ շղթայում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի վերին սահմանը սխեմայի առաջնային մուտքերին ազդանշանը տալու պահից մինչև տվյալ շղթայում ճիշտ ազդանշանի ձևավորումն ընկած այն առավելագույն ժամանակն է, որը դեռևս չի հանգեցնում սխեմայի ելքերում ճիշտ ազդանշանի հայտնվելու ժամանակի մեծացմանը: Այն որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$T_{qi} = \begin{cases} \max_{k \in O} T_{ik}, & k \in O, \\ \min_{j \in E_{(j,i)}} [T_{qj} + T_{(j,i)}], & \text{հակառակ դեպքում} \end{cases}, \quad (2.21)$$

որտեղ  $O$ - ն՝ սխեմայի առաջնային ելքերի բազմությունն է,  $T_{qj}$ - ն՝  $j$ -րդ շղթայում ազդանշանի ձևավորման ժամանակի վերին սահմանը,  $t_{q(j,i)}$ - ն՝  $i$ -րդ մուտքով և  $j$ -րդ ելքով տարրի հապաղումը,  $E_{2(j,i)}$ - ն՝  $j$ -րդ մուտքով և  $i$ -րդ ելքով տարրերի բազմությունը:

Ընդ որում,  $(i+1)$ -ից  $i$  անցումները կատարվում են սխեմայի տարրերի աշխատանքի հաջորդ - նախորդ տրամաբանություններով: Այսինքն՝  $i$ -րդ շղթայի համար  $(i+1)$ -րդ շղթաներ են այն բոլոր շղթաները, որոնք միացված են  $i$  և  $(i+1)$  շղթաները կապող տարրի ելքին: Այս դեպքում սխեմայի բոլոր ելքերի համար որպես հաշվարկի սկիզբ է ծառայում դրանցում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին սահմաններից առավելագույնի արժեքը, քանի որ տվյալ համակցական սխեմայից ելքային ազդանշանների փոխանցումը հաջորդ համակցական սխեմային կարող է կատարվել այդ ժամանակից ոչ ավելի շուտ: Քանի որ, դիտարկվող օրինակում G16 ելքային շղթայի համար ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանը 260  $\mu$ վ է, իսկ G17 ելքային շղթայի համար՝ 350  $\mu$ վ, ապա ինչպես G16

այնպես էլ G17 ելքային շղթաների համար ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի վերին սահմանը կլինի 350 $\mu$ s: Չափարկի ընթացակարգը ենթարկվում է վերը նկարագրված ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանի հաշվարկի տրամաբանությանը այն տարբերություններ, որ այս դեպքում շղթաների դիտարկումը կատարվում է հակառակ հաջորդականությամբ՝ սխեմայի ելքերից դեպի մուտքերը, իսկ շղթաների ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի վերին սահմանի ընթացիկ արժեքներից վերջնական արժեքի ընտրումը կատարվում է (2.21) բանաձևով:

**Ժամանակային պահուստների գնահատումը:** Որևէ  $i$ -րդ շղթայի ժամանակի պահուստը ներկայացնում է տվյալ շղթայում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի վերին և ներքին սահմանների տարբերությունը՝

$$R_i = T_{qi} - T_{ui}; i=1, \dots, N, \quad (2.22)$$

որտեղ  $N$ -ն սխեմայի շղթաների թիվն է:

Դիտարկվող օրինակի համար շղթայում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին և վերին սահմանների, ինչպես նաև ժամանակի պահուստի հաշվարկված արժեքները ներկայացված են աղ. 2.2-ում:

Ինչպես երևում է աղյուսակից, շղթաների միմասի համար ժամանակի պահուստը հավասար է 0-ի: Այդ շղթաները, տվյալ սխեմայի արագագործության ապահովման տեսանկյունից, հանդիսանում են որոշիչ շղթաներ, իսկ դրանցով կապվող մուտքեր-ելքեր ուղիները՝ որոշիչ ուղիներ:

Աղյուսակ 2.2

ա28 թեստային սխեմայի ժամանակային պարամետրերը

Շղթա	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
$T_u, \mu s$	0	0	0	0	0	0	39	66	135



T <sub>վ</sub> , պվ	0	90	69	39	69	156	39	156	135
R, պվ	0	90	69	39	69	156	0	90	0
Շ ղ թ ա	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	-
T <sub>ն</sub> , պվ	66	130	105	220	220	130	260	350	-
T <sub>վ</sub> , պվ	135	220	220	220	220	220	350	350	-
R, պվ	69	90	115	0	0	90	90	0	-

Ի մաս տայ ի ն առ ու մ ո վ ո թ ն է շ ղ թ ա յ ի ժ ա մ ա ն ա կ ի պ ա հ ու ս տ ը ա յ ն առ ա վ ե լ ա գ ու յ ն ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն մ ի ջ ա կ ա յ ք ն է, ո թ ի ս ա հ մ ա ն ն եր ու մ ա գ դ ա ն շ ա ն ի հ ա պ ա ղ ու մ ը ա յ դ շ ղ թ ա յ ի վր ա չ ի հ ա ն գ ե գ ն ու մ ս խ ե մ ա յ ի ե լ ք եր ու մ տ ա թ թ եր ո վ պ ա յ մ ա ն ա վ ո թ վ ա ծ ա գ դ ա ն շ ա ն ի հ ա պ ա ղ ու մ ի գ ա վ ե լ ի լր ա գ ու ց ի չ հ ա պ ա ղ մ ա ն :

Ս խ ե մ ա յ ի ֆ ի գ ի կ ա կ ա ն ն ա խ ա գ ծ մ ա ն տ ե ս ա ն կ յ ու ն ի գ ` շ ղ թ ա ն եր ի պ ա հ ու ս տ ն եր ը կ ա թ ո ղ ե ն օ գ տ ա գ ո թ ծ վ ե լ ո թ պ ե ս չ ա փ ա ն ի շ տ ա թ թ եր ի տ ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն փ ու լ լ ու մ ` շ ղ թ ա ն եր ի եր կ ա թ ու թ յ ու ն ն եր ի կ առ ա վ առ մ ա ն հ ա մ ա թ , ո թ ի ն է լ ն վ ի թ վ ա ծ է հ ա ջ ո թ դ գ լ ու խ ը :

Ը ն դ հ ա ն թ ա գ ն ե լ ո վ վ եր ը շ ա թ ա դ թ վ ա ծ ը , կ ա թ ե լ ի է ե գ թ ա կ ա գ ն ե լ .

- Շ ղ թ ա ն եր ի ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն պ ա հ ու ս տ ն եր ը կ ա թ ո ղ ե ն տ ա թ թ եր ի ն ա խ ն ա կ ա ն տ ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն փ ու լ լ ու մ դ թ ա ն ք մ ի ա գ ն ո ղ մ ի ջ մ ի ա գ ու մ ն եր ի եր կ ա թ ու թ յ ու ն ն եր ի կ առ ա վ ա թ մ ա ն մ ի ջ ո ց լ ի ն ե լ :
- Առ ա ջ ա թ կ վ ա ծ ե ն հ ա մ ա կ ց ա կ ա ն ս խ ե մ ա ն եր ի շ ղ թ ա ն եր ու մ ճ ի շ տ ա գ դ ա ն շ ա ն ի ձ ն ա վ ո թ մ ա ն ժ ա մ ա ն ա կ ի ն եր ք ի ն և վ եր ի ն ս ա հ մ ա ն ն եր ի գ ն ա հ ա տ մ ա ն մ ե թ ո դ և մ ա տ թ ի ց ա յ ի ն ա լ գ ո թ ի թ մ , ո թ ո ն ց հ ի մ ա ն վր ա է լ գ ն ա հ ա տ վ ու մ ե ն շ ղ թ ա ն եր ի ժ ա մ ա ն ա կ ի պ ա հ ու ս տ ն եր ը :

### **Ե գ թ ա կ ա գ ու թ յ ու ն ն եր**

1. Քանի որ, մի կողմից՝ ֆիզիկական նախագծման փուլում արագագործության ապահովման հիմնական միջոց է միջմիացումներում առկա հապաղումների նվազեցումը, իսկ մյուս կողմից՝ ժամանակակից ծրագրման գործիքամիջոցները մեծապես հիմնված են նույնական ալգորիթմների վրա, ապա արագագործության տեսանկյունից խիստ կարևորվում է տեղաբաշխման փուլը, որը կարող է լավ մեկնարկ ապահովել հետագա ծրագրման համար:

2. Թվային սխեմաների արագագործության ապահովման տեսանկյունից կարևորվում է տարրերի այնպիսի տեղաբաշխումը, որը կապահովի մոտք-ելք որոշիչ ուղիների վրա ընկած տարրերը կապող շղթաների հնարավորինս փոքր երկարություններ:

3. Նախնական տեղաբաշխման փուլում շղթաների հետագա երկարությունների գնահատման համար հարմար է օգտագործել նվազագույն ծառի մոդելները: Ներկայումս դրանցից լայնորեն տարածված կիսապարագծային մոդելը, որի հիմնական թերությունը բազմաճյուղ շղթաների մոդելավորման ցածր ճշտությունն է:

4. Մշակվել են ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման վաղ փուլերում բազմաճյուղ շղթաների երկարությունների մոդելավորման և գնահատման նոր մեթոդ և ալգորիթմ, որոնք ներկայումս օգտագործվող կիսապարագծային մոդելի բազմամակարդակ հիերարխիկական ներկայացման հաշվին ապահովում է շուրջ 25%-ով ավելի մեծ գնահատման ճշտություն՝ այդ մոդելի համեմատ նույնի  $O(n \log n)$  ալգորիթմական բարդությունը: Ճշտության տեսակետից այն համեմատելի է Շտեյնների նվազագույն ծառի մոդելի ճշտությանը, սակայն նույնի անհամեմատ փոքր բարդություն:

5. Տարրերի նախնական տեղաբաշխման փոփոխում ժամանակային վերլուծության խնդիրը այդ տարրերը կապող շղթաներին ներկայացվող ժամանակային սահմանափակումների գնահատումն է՝ տրված տարրային հենքի դեպքում:

6. Որպես սխեմայի ժամանակային վերլուծության մեթոդ առաջարկված է սխեմայի ժամանակային գրաֆիկում ըստ խորություն փնտրման ալգորիթմը, որը հնարավորություն է տալիս խնդիրը բերել մատրիցային փնտրման ալգորիթմի:

7. Առաջարկված են համակցական սխեմաների շղթաներում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին և վերին սահմանների գնահատման մեթոդ և մատրիցային ալգորիթմ, որոնց հիման վրա էլ գնահատվում են շղթաների ժամանակի պահուստները:

8. Առաջարկված միջոցների արդյունավետությունը հիմնավորվել է թեստային սխեմաներում դրանց կիրառմամբ:

**Գ Լ Ո Ւ Խ 3. Թ Վ Ա Յ Ի Ն Ի Ն Տ Ե Գ Ր Ա Լ Ս Խ Ե Մ Ա Ն Ե Ր Ի  
Տ Ա Ր Ր Ե Ր Ի Ժ Ա Մ Ա Ն Ա Կ Ո Վ Ո Ւ Ղ Ղ Ո Ր Դ Վ Ա Ճ  
Տ Ե Ղ Ա Բ Ա Շ Խ Ո Ւ Մ Ը**

**3.1. Թվային ԻՍ-երի տարրերի ժամանակով  
ուղղորդված տեղաբաշխման կարևորությունը**

Ժամանակակից ենթամիկրոնային ԻՍ-երում միջմիացման հապաղումը կարող է հասնել տասնյակ և հարյուրավոր փականների գումարային հապաղման: Այսպես, օրինակ, 32ՆՄ տեխնոլոգիայում 1 ՄՄ երկարությամբ միջմիացման հապաղումը համարժեք է մոտ 200 փականների գումարային հապաղմանը [1-3]: Քանի որ միջմիացման երկարությունը առաջին մոտավորությամբ որոշվում է դրանով միացվող տարրերի հեռավորությամբ, ապա ակնհայտ է, որ տարրերի տեղաբաշխման ընթացքում կարելի է կառավարել ապագա միջմիացումների երկարությունները և դրանով իսկ զգալիորեն ազդել սխեմայի վերջնական արագագործության վրա: Ինչպես արդեն նշվել է, տեղաբաշխման խնդրի լուծման նման մոտեցումն ընդունված է անվանել ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխում:

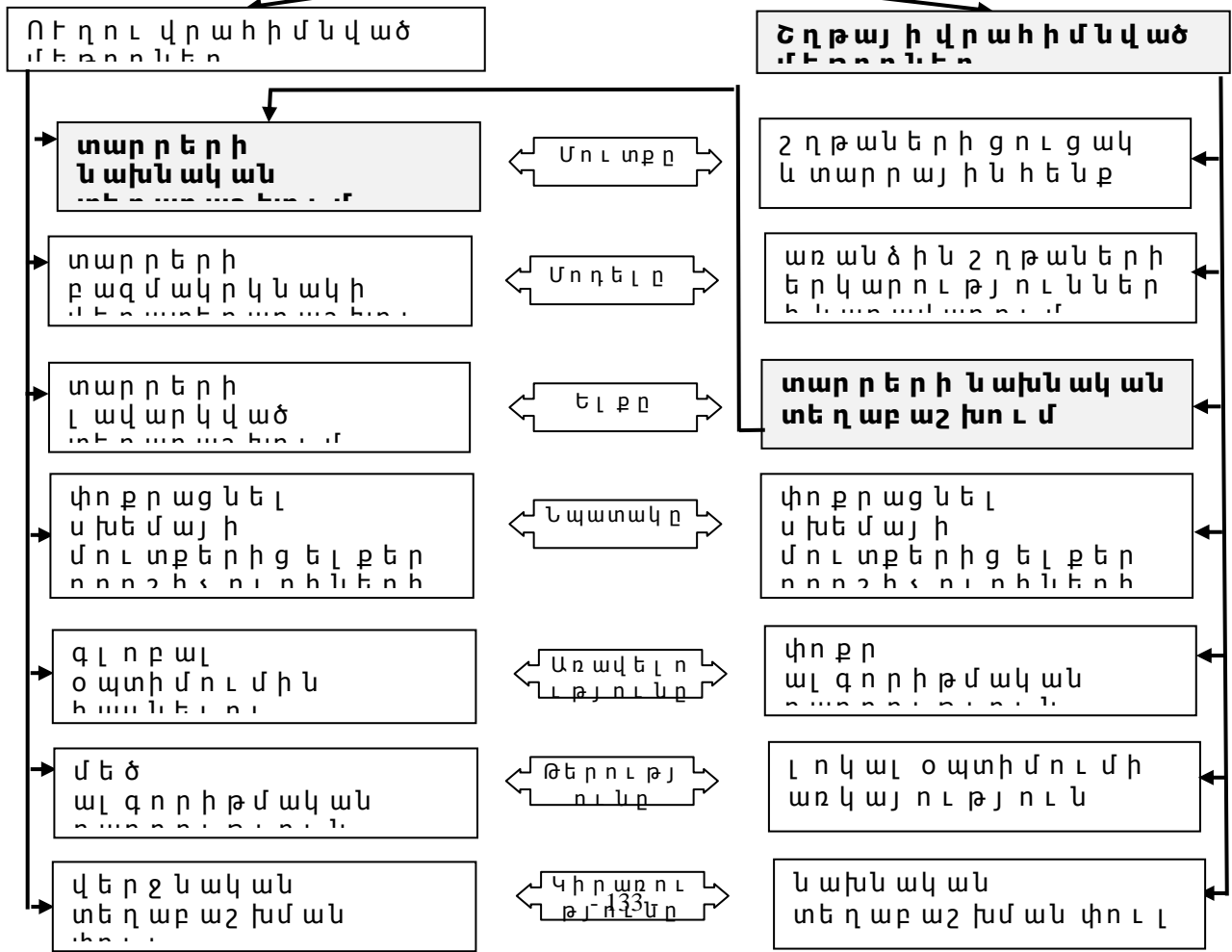
Ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման խնդիրը խորապես ուսումնասիրվել է՝ սկսած այն պահից, երբ միջմիացումներում հապաղումները սկսեցին գերակայել տրանզիստորների հապաղումների համեմատ [13-15, 47, 108-111]:

Ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման առկա մեթոդների համեմատական դասակարգումը բերված է նկ.3.1-ում:

Ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման առկա մոտեցումները հիմնված են սխեմայի մուտքեր-ելքեր որոշիչ ուղիների վրա ընկած միջմիացումների երկարությունների նվազարկման և, հետևաբար, այդ ուղիներում ազդանշանի հապաղման նվազարկման վրա: Ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման առկա մեթոդները կարելի է դասակարգել 2 խմբի՝

1. ուղղու վրա հիմնված մեթոդներ [112-115],
2. շղթայի վրա հիմնված մեթոդներ [116-119]:

Ուղղու վրա հիմնված մեթոդներով դիտարկվում են տարրերի տեղաբաշխման այնպիսի մոդելներ, որոնք իրենց մուտքում ունենալով տարրերի որոշակի տեղաբաշխում, ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխում են տարրերի վերատեղաբաշխում հիմնով փոքրացնել սխեմայի մուտքերից և էլքերից որոշիչ ուղիների



Քանի որ սխեմայում յուրաքանչյուր տրամաբանական տարր միանում է 2 կամ ավելի տարրերի, ապա տարրերի տեղաբաշխման ժամանակ, մակերեսի սահմանափակության պատճառով, որոշիչ ուղիների միջմիացումների երկարությունների կառավարումը պայմանավորվում է բազմաթիվ այլ, ոչ որոշիչ ուղիների վրա ընկած շղթաներով, որի հետևանքով, որոշիչ ուղիների վրա ընկած շղթաների երկարությունների փոքրացման արդյունքում, կարող է դիտվել այլ շղթաների միջմիացումների երկարության մեծացում: Արդյունքում՝ առկա որոշիչ ուղիների հապաղման փոքրացումը կարող է պատճառառանալ նոր որոշիչ ուղիների հայտգալուն, որոնք կարող են ունենալ ավելի մեծ հապաղում, և բացի այդ, կարող է մեծանալ նաև միջմիացումների գումարային երկարությունը: Ներկայումս այս խնդիրը լուծվում է տեղաբաշխման և ավարկման բազմակրկնակի ալգորիթմների կիրառմամբ, որոնք որոշիչ ուղիների տարրերի վերատեղաբաշխումների միջոցով, առանձին

*Նկ. 3.1. Ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման մեթոդների համեմատական որոշում*

միջմիացումների երկարությունների քայլ առ քայլ փոքրացման ճանապարհով, ձգտում են հասնել այդ ուղիների գումարային հապաղումների փոքրացմանը:

Ուղու վրա հիմնված տեղաբաշխումն ընդհանուր առմամբ ունի իրագործման մեծ բարդություն, քանի որ միաժամանակ դիտարկվում են մեծ թվով տարրեր և միջմիացումներ: Սրանք հիմնականում օգտագործվում են տեղաբաշխման վերջին՝ օպտիմալացման փուլում:

Ծղթայի վրահիմնված մեթոդները դիտարկում են յուրաքանչյուր շղթան առանձին - առանձին, և տարրերի տեղաբաշխման գործընթացում փորձ է արվում կառավարելու դրանցից յուրաքանչյուրի երկարությունը: Այս մեթոդները, իրենց հերթին, իրագործման տեսանկյունից կարելի է բաժանել 2 մոտեցումների: Դրանցից մեկը ենթադրում է որոշիչ ուղիների վրա ընկած շղթաների միջմիացումների երկարությունների այն սահմանափակումների որոշումն, որոնք հաշվի են առնվում տարրերի տեղաբաշխման ժամանակ: Սակայն պետք է նշել, որ տեղաբաշխման ալգորիթմներում այդ սահմանափակումները պահպանելը բավականին բարդ խնդիր է: Ծղթայի վրահիմնված մյուս մոտեցումը ենթադրում է արագագործության ապահովման տեսակետից շղթաների կարևորության կշիռների սահմանումը, որոնք համեմատական են այն ուղիների լարվածություններին, որոնց մաս է կազմում տվյալ շղթան: Այստեղ որպես ուղու լարվածության գնահատական է ծառայում դրահապաղման արժեքի մոտիկությունը որոշիչ ուղու հապաղմանը: Այսպիսով, որքան լարված է ուղին, այնքան մեծ է այդ ուղին կազմող շղթաների կարևորության կշիռը:

Ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման շղթայի վրահիմնված մեթոդներն ավելի հարմար են տարրերի նախնական տեղաբաշխման տեսանկյունից: Սա պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ նախնական տեղաբաշխման փուլում հիմնականում կիրառվում են տարրերի հաջորդական տեղաբաշխման ալգորիթմներ, և այս դեպքում հնարավոր է լինում տեղաբաշխման ընթացքում կառավարել հերթական տեղաբաշխվող տարրին պատկանող շղթաների երկարությունները: Այս մոտեցման բարդությունը

շղթաների քաշի գործակիցների որոշումն է ,  
այնպես , որ դրանք լինեն հեշտ հաշվարկելի :

Ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման  
ալգորիթմներում շղթաների կարևորության  
կշիռների սահմանման ամենատարածված մոտեցումը  
հիմնված է շղթայի ժամանակի պահուստ  
հասկացության վրա [115, 116, 120], որը բնութագրում է  
տվյալ շղթայի հապաղման այն առավելագույն  
թույլատրելի աճը , որը դեռևս չի հանգեցնի  
ամբողջական սխեմայի արագագործության նվազման :

ԻՍ-երի ավտոմատացված նախագծման առկա  
արդյունաբերական համակարգերի տեղաբաշխման  
գործիքների հնարավորությունների  
ուսումնասիրումը [40-46] և վերը նշված  
գրականության վերլուծությունը ցույց է տալիս ,  
որ ժամանակային տեղաբաշխման գոյություն  
ունեցող միջոցները լինվին չեն դիմագրավում ԻՍ-  
երի նախագծման ենթամիկրոնային  
տեխնոլոգիաների մարտահրավերները հետևյալ  
երկու պատճառներով`

1. Արդյունաբերական նախագծման համակարգերում  
առկա միջոցները , որպես կանոն , պահանջում են  
որոշակի նախնական տեղաբաշխում , իսկ դրանց  
գործառույթը համապատասխանում է տեղաբաշխման  
օպտիմալացման փուլին : Դրանք համապատասխանում  
են ուղու վրա հիմնված մեթոդներին և հիմնված են  
բազմակրկնակի ալգորիթմների կիրառման վրա :

2. Ծղթայի վրա հիմնված մեթոդները հարմարեցված  
չեն տեղաբաշխման արագագործ ալգորիթմներում  
կիրառմանը , ինչպես նաև այլ , ոչ պակաս կարևոր  
չափանիշների (ջերմային , միջմիացումների  
գումարային երկարության և այլն ) հետ համատեղ  
օգտագործմանը :

Ստորև առաջարկվում է ժամանակով ուղղորդված  
տեղաբաշխման մոտեցում : Այն թույլ է տալիս ԻՍ-երի



շղթաներում հապաղումները հաշվառումը տարրերի նախնական տեղաբաշխման ժամանակ, որը, իր հերթին, թույլ է տալիս տեղաբաշխման արագագործ ալգորիթմների կիրառմամբ ապահովել նախնական տեղաբաշխման բարձր որակ և արդյունավետություն, դրանով իսկ զգալիորեն նվազեցնելով արդյունաբերական նախագծման համակարգերում առկա տեղաբաշխման օպտիմալացման միջոցների ծանրաբեռնվածությունը: Առաջարկվող մոտեցումը հիմնված է յուրաքանչյուր շղթայում ճիշտագույն շանի հայտնվելու հապաղման ներքին և վերին սահմանների ցանկալի ժամանակների գնահատման և, դրանով իսկ, շղթաների երկարությունների կառավարման հնարավորություն վրա:

Ամփոփելով վերը շարադրվածը՝ կարելի է ասել, որ ենթամիկրոնային թվային ԻՍ-երի տարրերի ժամանակային տեղաբաշխման նոր մեթոդների մշակման կարևորությունը պայմանավորված է ԻՍ-երի արագագործությամբ և ինտեգրման աստիճանի մեծացմամբ՝ թելադրված հետևյալ հիմնական գործոններով.

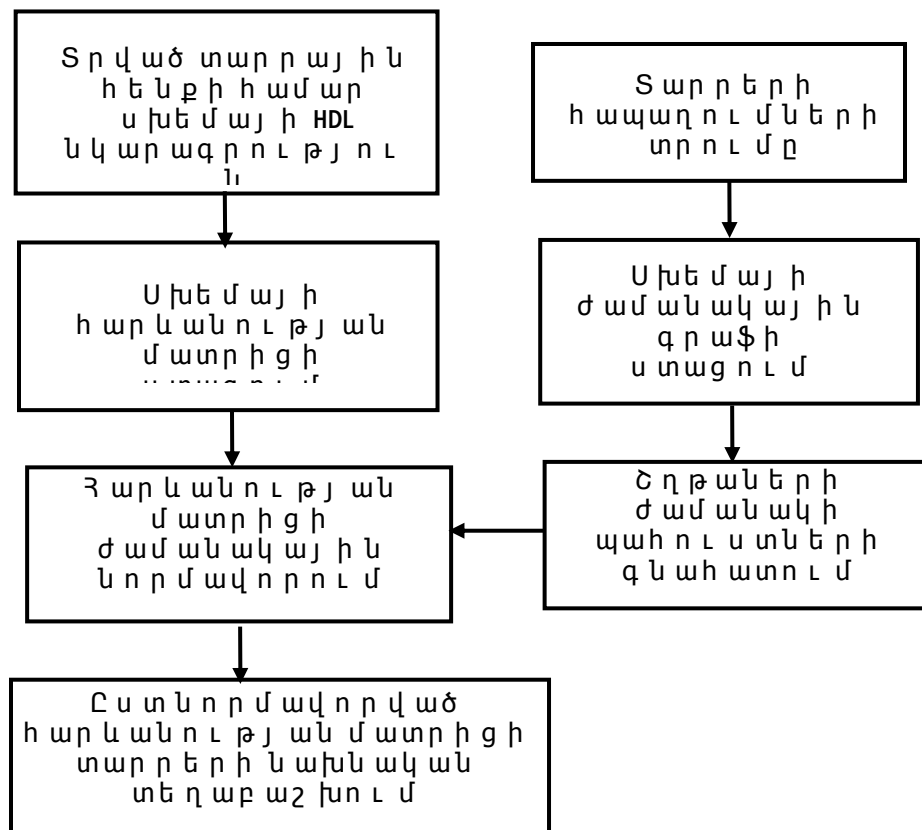
- Տրամաբանական բջիջների հապաղումների հետ համեմատած՝ միջմիացումների հապաղումների մեծացում:
- ԻՍ-երի ինտեգրացման աստիճանի մեծացմանը զուգընթաց՝ միջմիացումների քանակի ավելացում և դրանց ազդեցություն մեծանում ԻՍ-երի արագագործության վրա:
- Թվային համակարգերի տակտային հաճախություն մեծացում, որը հանգեցնում է ավելի խիստ պահանջների համակցական սխեմաների որոշիչ ուղիների ժամանակային պարամետրերի վրա:
- Տեղաբաշխվող տարրերի քանակի մեծացման հետ կապված՝ տեղաբաշխման խնդրի բարդություն աճ,

որը հանգեցնում է ալգորիթմների բարդության և մեքենայական ժամանակի աճին:

- Համակարգ բյուրեղի վրա, բազմաբյուրեղ և եռաչափ ԻՍ-երի քանակի ավելացում, որն առաջ է բերում ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման նոր մոտեցումների, մեթոդների և ալգորիթմների մշակման անհրաժեշտություն:

### 3.2. Տարրերի նախնական տեղաբաշխումը շղթաների ժամանակային պահուստների հաշվառմամբ

ԻՍ-երի շղթաներում ժամանակային պահուստները հաշվի առնող տարրերի նախնական տեղաբաշխման առաջարկվող մոտեցման երթուղին ներկայացված է նկ. 3.2-ում:



Նկ. 3.2. ԻՍ - երի շղթաներում հապաղումների հաշվառմամբ տարրերի նախնական տեղաբաշխման երթուղին

Ներկայացված երթուղու հիմքում ընկած է ըստ կապված ության տարրերի հաջորդական տեղաբաշխման ալգորիթմը, որում որպես կապված ության չափանիշ են օգտագործվում տարրերն իրար կապող շղթաների ժամանակի պահուստները [13, 121, 122]:

Տարրերի նախնական տեղաբաշխման ավանդական ալգորիթմներում որպես տեղաբաշխման չափանիշ է օգտագործվում տարրերի կապված ության չափանիշը, որն ապահովում է միջմիացումների գումարային երկարություն նվազարկումը՝

$$f_{\alpha} = \sum_{I=1}^n \sum_{\substack{I=1 \\ I \neq J}}^n r_{ij} d_{ij} \rightarrow \min, \quad (3.1)$$

որտեղ  $r_{ij}$  և  $d_{ij}$  համապատասխանաբար  $i$ -րդ և  $j$ -րդ տարրերի միջև կապերի թիվն է և հեռավորությունը, իսկ  $n$ -ը՝ տարրերի թիվը [14, 47, 88]:

Այս դեպքում արագագործ ության տեսանկյունն ից բուլնոր շղթաները հավասարաբեք են, այսինքն՝ հաշվի չի առնվում առանձին շղթաների ազդեցության չափը ամբողջական սխեմայի արագագործ ության վրա: Ինչպես արդեն նշվել է Գլուխ 2-ում, տարրերի նախնական տեղաբաշխման փուլում որպես դրանց միացնող միցնող միջմիացումների ժամանակային կարևորություն միջոց կարող են ծառայել այդ միջմիացումներով պայմանավորված շղթաների ժամանակային պահուստները: Արագագործ ության տեսանկյունն ից շղթաների կարևորությունները հաշվի առնելու նպատակով անհրաժեշտ է, որ որևէ շղթայի կարևորություն քաջային գործակիցը հակադարձ համեմատական լինի տվյալ շղթայի ժամանակի պահուստին: Դա նշանակում է, որ ավելի փոքր ժամանակային պահուստ ունեցող շղթաներով

կապված տարրերը կտեղաբաշխվեն միմյանց պելի մոտև հակառակը:

Եթե ընդունենք, որ  $k$ -րդ և  $j$ -րդ տարրերի միջև առկա որևէ  $k$ -րդ միջմիացում պատկանում է որոշակի ժամանակի պահուստով ( $R_k$ ) որևէ շղթայի, իսկ այդ շղթայով պայմանավորված տարրերի ժամանակային փոխկապվածությունը քաջային գործակիցը նշանակենք  $\lambda_k$ , ապա սխեմայի արագագործությունը վրա առանձին շղթաների ազդեցության չափը հաշվի առնելու նպատակով (3.1) չափանիշում  $r_{ij}$ -ն կարելի է փոխարինել  $k$ -րդ և  $j$ -րդ տարրերի միջև առկա բոլոր շղթաներով պայմանավորված փոխկապվածությունը գումարային քաջային գործակցով՝  $\lambda_{ij} = \sum_{k \in G_{ij}} \lambda_k$ , որտեղ  $G_{ij}$

-  $k$ -րդ և  $j$ -րդ տարրերի միջև առկա շղթաների բազմությունն է:

Հաշվի առնելով վերը շարադրվածը՝ տարրերի ժամանակային նախնական տեղաբաշխման չափանիշը կունենենահետևյալ տեսքը՝

$$f_{\sigma} = \sum_{I=1}^n \sum_{\substack{I=1 \\ I \neq J}}^n \left( r_{ij} \sum_{k \in G_{ij}} \lambda_k \right) d_{ij} \rightarrow \min: \quad (3.2)$$

Առաջարկվող մոտեցման դեպքում  $k$ -րդ շղթայի  $\lambda_k$  քաջի գործակցի և  $R_k$  ժամանակային պահուստի միջև կապի արտահայտման համար անհրաժեշտ է կատարել  $\lambda_k$ -ի նորմավորում՝ ելնելով այն պայմանից, որ  $\lambda_k$ -ի մեծարժեքներին պետք է համապատասխանեն  $R_k$ -ի փոքր արժեքները և հակառակը: Մյուս կողմից, 1.5 ենթագլխում բերված տարրերի նախնական տեղաբաշխման խնդրի դրվածքի և հաշորդական ալգորիթմի մատրիցային բազմապարամետրական ներկայացման տեսանկյունից, հարմար է, որ  $R$  մատրիցը նորմավորվի  $[0, 1]$  միջակայքում, որն անհրաժեշտ է սխեմայի էլեկտրական կապվածություն

և հապաղման արժեքները՝ որպես տարբեր ֆիզիկական չափողականություններ ունեցող մեծություններ, միաժամանակ հաշվի առնելու համար: Այդ նպատակով առաջարկվում է օգտվել  $R_k$ -ի նորմավորման հետևյալ բանաձևից՝

$$R_{\hat{a}k} = \frac{R_k - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}}, \quad (3.3)$$

որտեղ  $R_{\hat{a}k}$  և  $R_k$ -ն  $k$ -րդ շղթայի ժամանակի պահուստի համապատասխանաբար նորմավորված և ընթացիկ, իսկ  $R_{\max}$  և  $R_{\min}$  -ը դիտարկվող սխեմայի շղթաների ժամանակի պահուստի համապատասխանաբար առավելագույն և նվազագույն արժեքներն են:

Հաշվի առնելով վերը ասվածը՝ որևէ  $k$ -րդ շղթայի փոխկապվածություն քառային գործակցի նորմավորված արժեքը կարող է որոշվել հետևյալ կերպ՝

$$\lambda_{\hat{a}k} = 1 - R_{\hat{a}k}: \quad (3.4)$$

Ստորև դիտարկված է շղթաների ժամանակային պահուստները հաշվի առնող նախնական տեղաբաշխման հաջորդական ալգորիթմի աշխատանքը [13, 121, 122]:

Ալգորիթմի իրագործումը կդիտարկենք ISCAS 85 շարքի պարզագույն C17 թեստային սխեմայի օրինակով, վրա, որի Verilog նկարագիրը բերված է նկ. 3.3-

```

module c17(G1,G2,G3,G4,G5,G10,G11);
input G1,G2,G3,G4,G5;
output G10,G11;
wire G6,G7,G8,G9;

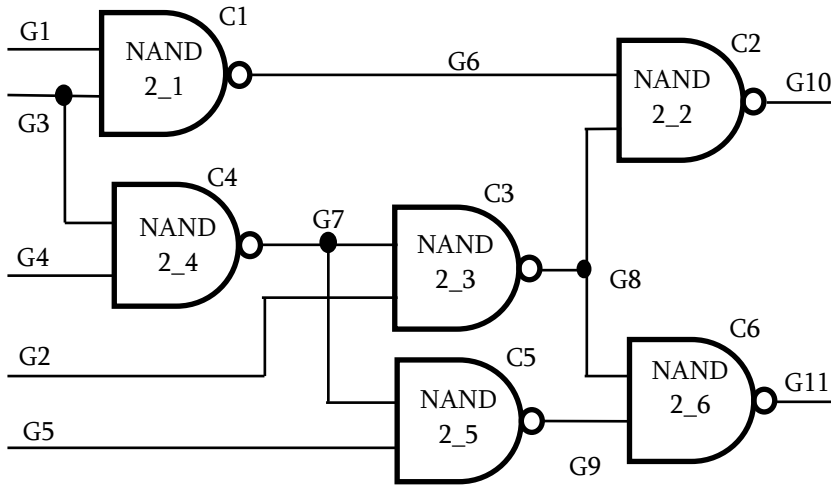
nand NAND2_1(G6,G1,G3);
nand NAND2_2(G10,G6,G8);
nand NAND2_3(G8,G2,G7);
nand NAND2_4(G7,G3,G4);
nand NAND2_5(G9,G5,G7);
nand NAND2_6(G11,G8,G9);
endmodule

```

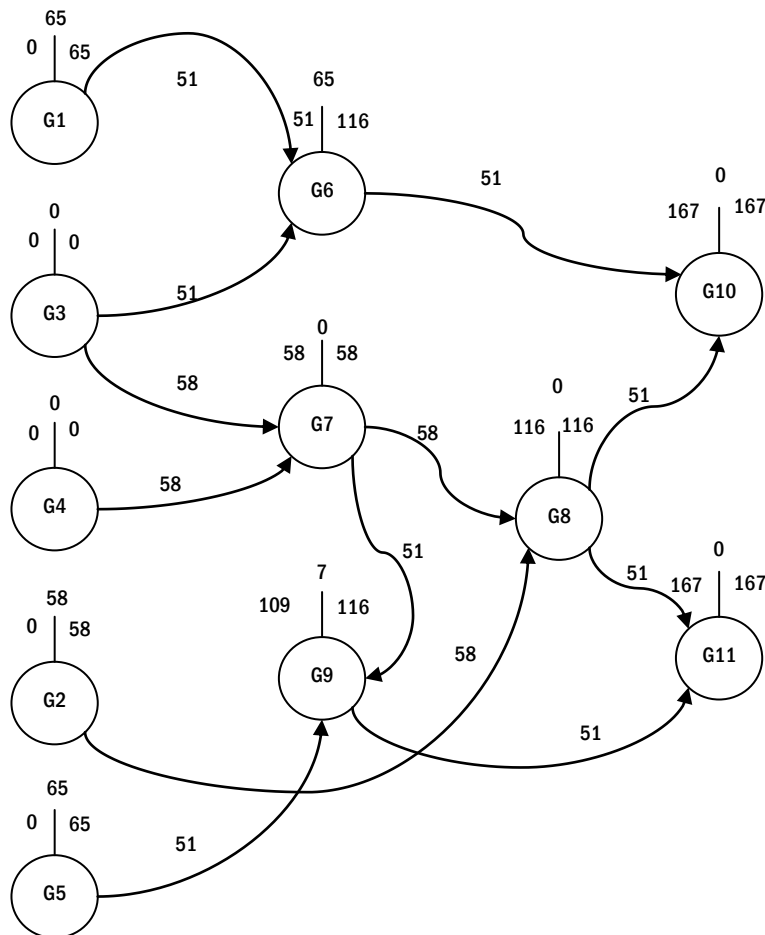
ն Լ Ը [123]:

*Ն կ . 3.3. ISCAS 852 ար ք ի C17 թ ե ս տայ ի ն ս խե մ այ ի Verilog  
ն կ ար ա գ ի ը ը*

Ս խե մ այ ի տե ս ք ը բ ե ը վ ա ծ է ն կ . 3.4-ն Լ Ը , ի ս կ  
ժ ա մ ա ն կ այ ի ն գ ը ա Ֆ ը ` ն կ . 3.5-ն Լ Ը :



*Ն կ . 3.4. ISCAS 852 ար ք ի C17 թ ե ս տայ ի ն ս խե մ ա ն*



*Նկ .3.5. ISCAS 852 արքի C17թե ստայի ն սխեմայի  
ժամանակային գրաֆը*

Ինչպես և նախորդ գլխի օրինակում, Յաշվարկի համար օգտագործված են SAED90 ստանդարտ բջիջների գրադարանի NAND2X2 և NAND2X1 բջիջները, որոնց հապաղումները համապատասխանաբար հավասար են 58 *պվ* և 51 *պվ*: C1, C2, C5, C6 տարրերի համար օգտագործված է NAND2X1 բջիջը, իսկ C3, C4 տարրերի համար՝ NAND2X2 բջիջը:

Նկ . 3.5-ում շղթաներին համապատասխանող գագաթների վերևի ձախև աջ կողմերում բերված են տվյալ շղթայում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակների՝ համապատասխանաբար ներքին և վերին սահմանների արժեքները, իսկ վերևում՝ ժամանակի պահուստները: Ինչպես երևում է դիտարկվող սխեմայի ժամանակային գրաֆից, սխեմայի ներքին շղթաների ժամանակային պահուստները կազմում են՝  $R_{G3}=R_{G7}=R_{G8}=0$  *պվ*;  $R_{G6}=65$  *պվ* և  $R_{G9}=7$  *պվ*:

Յաշվի առնելով (4.3) և (4.4)-ը, շղթաների կարևոր ության գործակիցները կլինեն՝  $\lambda_{u3} = \lambda_{u3} = \lambda_{u3} = 1$ ;  $\lambda_{u9} = 0,9$  և  $\lambda_{u6} = 0$ :

Առաջարկվող մեթոդի արդյունավետ ության գնահատման նպատակով իրականացված է C17թե ստայի ն սխեմայի տարրերի գծային տեղաբաշխում օգտվելով ինչպես (3.1), այնպես էլ (3.2) չափանիշներից:

Իրագործվել է գծային տեղաբաշխման հաջորդական ալգորիթմ, որը հիմնված է (1.14) հավակնորդ ության ֆունկցիայի և 1.5 ենթագլխում բերված տեղաբաշխման ընթացակարգի վրա:

Ալգորիթմով իրագործված են հետևյալ քայլերը .

1. Տարրերի հարևան ության  $\Lambda = \|\lambda_{ij}\|_{n \times n}$  մատրիցի տրոմ:

2. Յուրաքանչյուր տարրի համար  $\Lambda$  մատրիցի համապատասխան տողի տարրերի գումարի հաշվարկ,

դրավերագրում հավակնորդություն \$n\$ նկատի 0-  
 ալանքայլիս՝  $\beta_0(j); j=1, \dots, n$ :

3.  $\min \beta_0(j); j=1, \dots, n$ -իս համապատասխանող տարրի  
 ընտրություն և տեղաբաշխում շարային  
 դասավորություն առաջին եզրային դիրքում: Եթե  
 միևնույն  $\min \beta_0(j); j=1, \dots, n$  արժեքով տարրերը մեկից  
 ավելի են, ապա ընտրվում է դրանցից ցանկացածը  
 (օրինակ՝ ավելի փոքր համարով):

4. Յերթական  $b_i$ -ի արժեքի հաշվարկը դեռևս  
 չտեղաբաշխված  $C_j; j \in E_{2m}$  տարրերի համար, համաձայն  
 (1.14)-ի, հետևյալ բանաձևով՝

$$\beta_i(j) = \beta_{(i-1)}(j) - 2f_{(i-1)}(j, k), \quad (3.5)$$

որտեղ  $\beta_i(j)$  և  $\beta_{(i-1)}(j)$  -  $j$ -րդ տարրի հավակնորդության  
 \$n\$ նկատի արժեքներն են համապատասխանաբար  $i$   
 րդ և  $(i-1)$ -րդ քայլերում, իսկ  $f_{(i-1)}(j, k) = r_{ij}$  կամ  $f_{(i-1)}(j, k) = r_{ij} \sum_{k \in G_j} \lambda_k$  -ը

համապատասխանաբար (3.1) կամ (3.2) չափանիշներով  
 տեղաբաշխման դեպքում:

5.  $\min \beta_i(j); j \in E_{2m}$ -իս համապատասխանող տարրի  
 ընտրություն և տեղաբաշխում  $(i-1)$ -րդ քայլում  
 տեղաբաշխված տարրիս մոտակա դիրքում: Եթե  
 միևնույն  $\min \beta_i(j); j \in E_{2m}$  արժեքով տարրերը մեկից  
 ավելի են, ապա ընտրվում է դրանցից ցանկացածը  
 (օրինակ՝ ավելի փոքր համարով):

6. 4-րդ և 5-րդ քայլերի ռեկուրսիվ կրկնություն՝  
 մինչև բոլոր տարրերի տեղաբաշխումը:

C17 թեստային սխեմայի տարրերի հարևանություն  
 մատրիցը և  $b$  հավակնորդության \$n\$ նկատի  
 հաշվարկի ընթացքը համատեղված ձևով  
 ներկայացված են (3.1) չափանիշի օգտագործման  
 դեպքում՝ նկ. 3.6-ում, իսկ (3.2) չափանիշի օգտագործման  
 դեպքում՝ նկ. 3.7-ում:



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$
C1	0	1	0	1	0	0	2	x	x	x	x	x	x
C2	1	0	1	0	0	1	3	1	x	x	x	x	x
C3	0	1	0	1	1	1	4	4	2	0	x	x	x
C4	1	0	1	0	1	0	3	1	1	x	x	x	x
C5	0	0	1	1	0	1	3	3	3	1	-1	x	x
C6	0	1	1	0	1	0	3	3	1	1	-1	-3	x

Նկ. 3.6. Միայն տարրերի կապվածությունը և հաշվառմամբ ISCAS852 արքի C17-ը ստայի և սխեմայի տարրերի տեղաբաշխման ընթացքը

Ինչպես երևում է 3.6 նկարից, միայն տարրերի կապվածությունը և հաշվի առնող տեղաբաշխումն ունի հետևյալ հաջորդականությունը՝ C1→C2→C4→C3→C5→C6:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$
C1	0	0	0	1	0	0	1	x	x	x	x	x	x
C2	0	0	1	0	0	1	2	2	2	2	0	x	-2
C3	0	1	0	1	1	1	4	4	2	0	x	x	x
C4	1	0	1	0	1	0	3	1	x	x	x	x	x
C5	0	0	1	1	0	0,9	2,9	2,9	0,9	x	x	x	x
C6	0	1	1	0	0,9	0	2,9	2,9	2,9	1,1	-1,1	-3	x

Նկ.

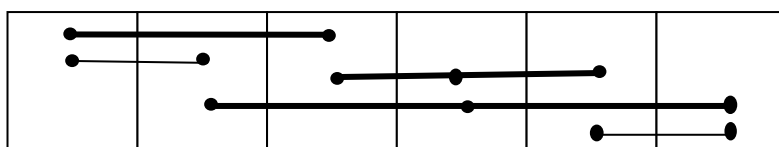
3.7.

Շղթաների կարևորությունը և հաշվառմամբ ISCAS852 արքի C17-ը ստայի և սխեմայի տարրերի տեղաբաշխման ընթացքը

Ինչպես երևում է 3.7 նկարից, շղթաների կարևորությունը և հաշվառմամբ տարրերի տեղաբաշխումն ունի հետևյալ հաջորդականությունը՝ C1→C4→C5→C3→C6→C2:

Շղթաների երկարությունների վերլուծության նպատակով ներկայացնենք տարրերի տեղաբաշխման պարզեցված տեսքերը՝ ցույց տալով շղթաները: Տեղաբաշխման արդյունքները ներկայացված են (3.7) չափանիշի օգտագործման դեպքում՝ նկ. 3.8-ում, իսկ (3.8)

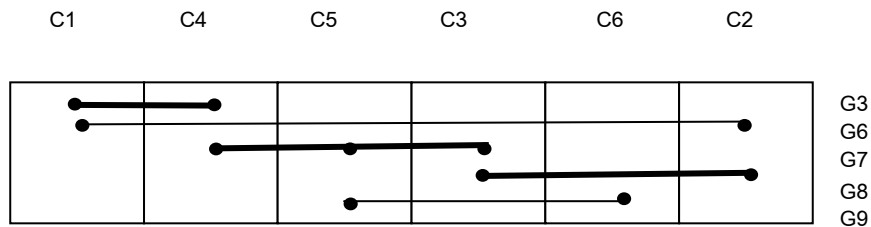
C1            C2            C4            C3            C5            C6



G3  
G6  
G7  
G8  
G9

չ ափան ի շ ի օ գ տ ա գ ո թ ժ մ ա ն դ ե պ թ ու մ ՝ ն կ .3.9- ու մ :

Ն կ . 3.8. Մ ի ա յ ն տ ա թ թ ե թ ի կ ա պ վ ա ծ ու թ յ ա ն հ ա շ վ առ մ ա մ ք I S C A S 85 շ ա թ ք ի C17 թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի տ ա թ թ ե թ ի տ ե դ ա ք ա շ խ ու մ ը



Ն կ .3.9. Շ ղ թ ա ն ե թ ի կ ա թ ա ն ո թ ու թ յ ա ն հ ա շ վ առ մ ա մ ք I S C A S 85 շ ա թ ք ի C17 թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի տ ա թ թ ե թ ի տ ե դ ա ք ա շ խ ու մ ը

Յ ա մ ա ձ ա յ ն S A E D 90 ս տ ա ն դ ա թ տ ք ջ ի ջ ն ե թ ի գ թ ա դ ա թ ա ն ի ՝ N A N D 2 X 2 և N A N D 2 X 1 ք ջ ի ջ ն ե թ ի ե թ կ ա թ ու թ յ ու ն ն ե թ ը հ ա մ ա պ ա տ ա ս խ ա ն ա ք ա թ հ ա վ ա ս ա թ ե ն 3,2 մ կ մ և 2,7 մ կ մ : Ը ն դ ու ն ե լ ո վ C3 և C4 ք ջ ի ջ ն ե թ ը ո թ պ ե ս N A N D 2 X 2, ա յ ս ի ն ք ն ՝ 3,2 մ կ մ ե թ կ ա թ ու թ յ ա մ ք , ի ս կ C1, C2, C5 և C6 ք ջ ի ջ ն ե թ ը ՝ ո թ պ ե ս N A N D 2 X 1, ա յ ս ի ն ք ն 2,7 մ կ մ ե թ կ ա թ ու թ յ ա մ ք , հ ն ա թ ա վ ո թ ե հ ա շ վ ե լ շ ղ թ ա ն ե թ ի ե թ կ ա թ ու թ յ ու ն ն ե թ ի մ ո տ ա վ ո թ ա թ ե ք ն ե թ ը տ ե դ ա ք ա շ խ ու մ ի ց հ ե տ ո , ո թ պ ե ս կ ո ն տ ա կ տ ա յ ի ն կ ե տ ե թ օ գ տ ա գ ո թ ժ ե լ ո վ ք ջ ի ջ ն ե թ ի կ ե ն տ թ ո ն ն ե թ ը :

Ի ն չ պ ե ս ե թ ա ու մ է ն կ . 3.8-ի ց , շ ղ թ ա ն ե թ ն ու ն ե ն հ ե տ ն յ ա լ ե թ կ ա թ ու թ յ ու ն ն ե թ ը ՝  $L_{G3}=5,6$  մ կ մ ;  $L_{G6}=3,2$  մ կ մ ;  $L_{G7}=3,5$  մ կ մ ;  $L_{G8}=10,4$  մ կ մ ;  $L_{G9}=3,2$  մ կ մ : Ա յ ս պ ի ս ո վ ո թ ո շ ի չ շ ղ թ ա ն ե թ ի գ ու մ ա թ ա յ ի ն ե թ կ ա թ ու թ յ ու ն ը կ ա գ մ ու մ է 19,5 մ կ մ , ի ս կ ք ո լ ո թ շ ղ թ ա ն ե թ ի գ ու մ ա թ ա յ ի ն ե թ կ ա թ ու թ յ ու ն ը ՝ 25,9 մ կ մ :

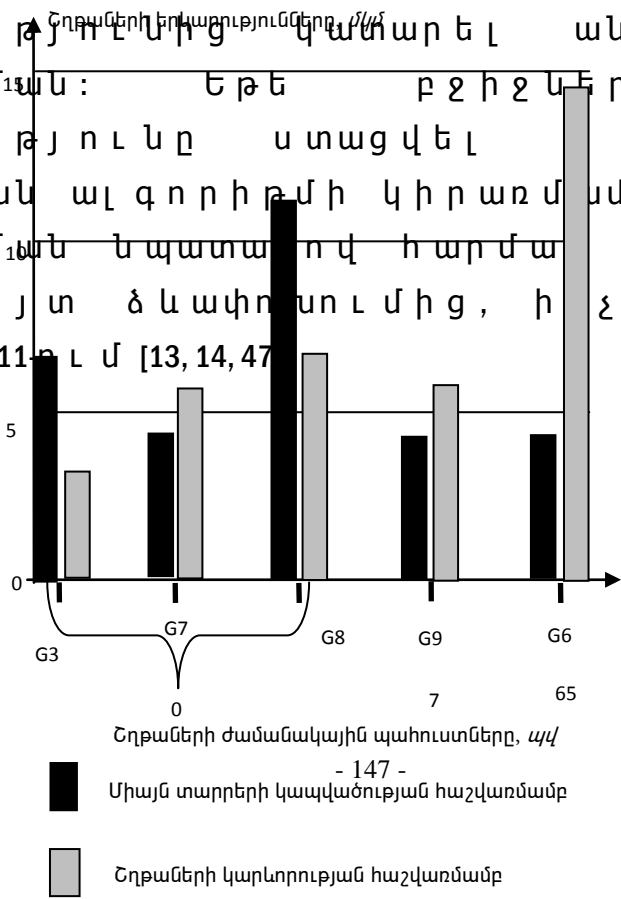
Շ ղ թ ա ն ե թ ի կ ա թ ա ն ո թ ու թ յ ա ն հ ա շ վ առ մ ա մ ք տ ե դ ա ք ա շ խ մ ա ն դ ե պ թ ու մ , ի ն չ պ ե ս ե թ ա ու մ է ն կ . 3.9-ի ց , դ թ ա ն ք ու ն ե ն հ ե տ ն յ ա լ ե թ կ ա թ ու թ յ ու ն ն ե թ ը ՝  $L_{G3}=2,4$  մ կ մ ;  $L_{G6}=13,4$  մ կ մ ;  $L_{G7}=5,1$  մ կ մ ;  $L_{G8}=5,6$  մ կ մ ;  $L_{G9}=5,1$  մ կ մ : Յ ե տ ն ա ք ա թ ո թ ո շ ի չ շ ղ թ ա ն ե թ ի գ ու մ ա թ ա յ ի ն ե թ կ ա թ ու թ յ ու ն ը

կազմում է 13,1 մկմ, իսկ բոլոր շղթաների ընդհանուր երկարությունը՝ 31,6 մկմ:

Այսպիսով, շղթաների կարևորություն հաշվառմամբ տեղաբաշխման դեպքում ստացվում է որոշիչ շղթաների գումարային երկարության նվազում 6,4 մկմ-ով, կամ 33%, իսկ բոլոր շղթաների գումարային երկարության աճ՝ 5,7 մկմ-ով, կամ 22%, ինչը, համաձայն (2.6) և (2.10) - ի, համապատասխանում է որոշիչ շղթաներում ազդանշանի միջին հապաղման 2,2անգամ նվազմանը: Դաավելի պահանջներ կառուցված հիստոգրամում:

Նկ. 3.10-ում բերված հիստոգրամից հետևում է, որ շղթաների կարևորության հաշվառմամբ տեղաբաշխման դեպքում ապահովվում է դրանց ժամանակի պահուստների և երկարությունների համամասնությունը, որը, միայն տարրերի կապվածության հաշվառմամբ տեղաբաշխման համեմատ, հանգեցրել է որոշիչ շղթաների գումարային երկարության ավելի քան 30%-ով փոքրացման:

Ստանդարտ բջիջներով նախագծման ժամանակ հաճախ հարկ է լինում բջիջների շարային դասավորությունը և անհատական անցում երկչափ տեղաբաշխման: Եթե բջիջների շարային դասավորությունը ստացվել է տեղաբաշխման հաջորդական ավգործիքի կիրառմամբ, ապա երկչափ փոխակերպման նպատակով հարմար է օգտվել գծի ուղորապտոլյտ ձևափոխումից, ինչպես ցույց է տրված նկ. 3.11-ում [13, 14, 47]:



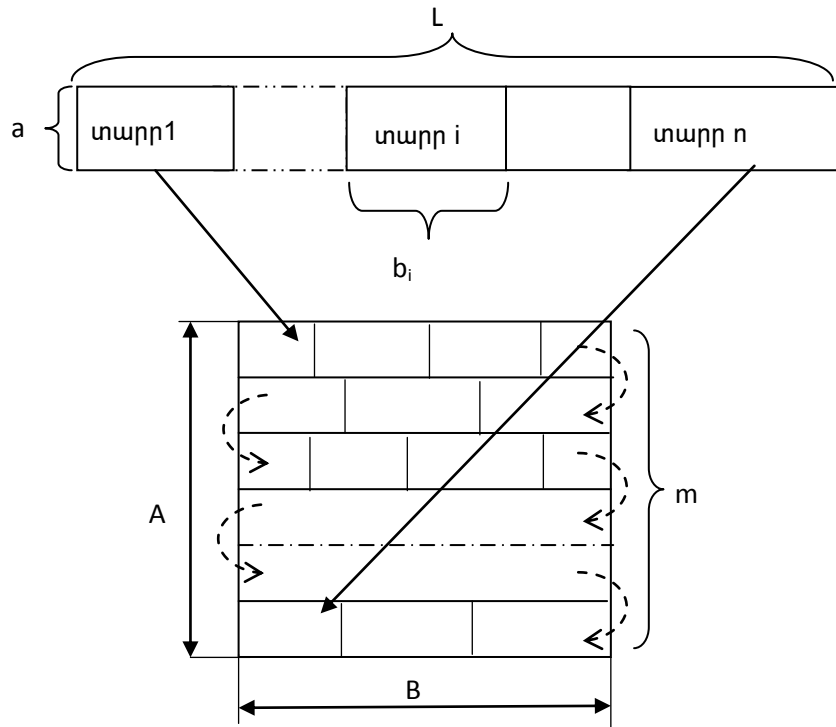
Շղթաների ժամանակային պահուստները, *պվ*  
 - 147 -  
 Միայն տարրերի կապվածության հաշվառմամբ  
 Շղթաների կարևորության հաշվառմամբ

*Ն կ . 3.10. Տարրերի տեղաբաշխումը միջհետո ISCAS 852 արքի C17 թեստային սխեմայի շղթաների երկարություններին բաշխումը*

Այսպիսի ձևափոխման արդյունավետությունը հիմնավորվում է հետևյալ նկատառումներով .

- Տեղաբաշխման հաջորդական ալգորիթմի կիրառման արդյունքում ստացված տարրերի հաջորդականությունում ցանկացած հարևան տարրերի փոխատեղումը չի կարող հանգեցնել դրանք միացնող կապի գծի կարճացմանը : Սրանից հետևում է , որ տեղաբաշխման լավարկման փուլում միջմիացումների երկարության նվազեցմանը կարելի է հասնել միայն շարային դասավորությունում իրար ոչ հարևան տարրերի փոխատեղմամբ :
- Տեղաբաշխման հաջորդական ալգորիթմն ապահովում է որևէ տարրի հետ կապված այլ տարրերի հանդես գալու հավանականության նվազում` դիտարկվող տարրից այդ տարրերի հեռացվածության աճին գուցե ընթաց :
- Գրադարանային նախագծման պայմաններում որպես տարրային հենք հանդիսացող ստանդարտ բջիջների երկարությունները կազմում են միավոր միկրոններ , որի հետևանքով իրական նախագծերում մեկ բջջային շարքի վրա տեղավորվում են բավականին մեծ թվով բջիջներ :

- Ենթամիկրոնային տեսնունդի աներում ստանդարտ բջիջների բարձրությունները,



որպես կանոն, չեն գերազանցում դրանց երկարությունը:

*Նկ 3.11. Միաչափ շարային տեղաբաշխման փոխարկումը երկչափի*

Բերված նկատառումներից հետևում է, որ գծի ուղորապտույտ ձևափոխումից միջմիացումների երկարությունները չի կարող ավելանալ, իսկ դրանց միմասի՝ հորիզոնական ուղղություններից ուղղահայացի փոխարկումը կհանգեցնի երկարությունների նվազմանը:

Եթե տրված է տեղաբաշխման ուղղանկյան կողերի  $K=A/B$  հարաբերությունը, ապա բջիջների շարային դասավորությունից երկչափ տեղաբաշխման անցումը կատարվում է հետևյալ քայլերի հաջորդականությամբ.

1. Տեղաբաշխվող բջիջների գումարային երկարություն հաշվարկ՝

$$L = \sum_{i=1}^n b_i,$$

որտեղ  $b_i$  - ն իր դ բջիջի երկարությունն է,  $n$  - ը՝ տեղաբաշխվող բջիջների թիվը:

2. Երկչափ տեղաբաշխման շարքերի թվի որոշում՝

$$m = \sqrt{\frac{L}{a} K},$$

որտեղ  $K=A/B$  - ն երկչափ տեղաբաշխման  $A$  բարձրություն և  $B$  երկարության տրված հարաբերությունն է,  $a$  - ն՝ ստանդարտ բջիջների բարձրությունը:

3. Երկչափ տեղաբաշխման  $A$  բարձրության որոշում՝

$$A=ma:$$

4. Երկչափ տեղաբաշխման  $B$  երկարություն որոշում՝

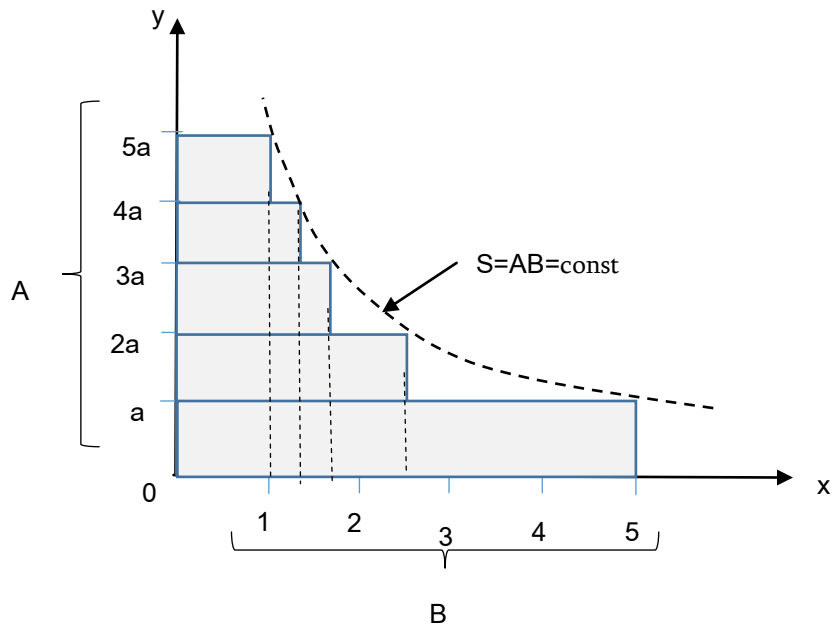
$$B=A/K:$$

5. Բջիջների շարային դասավորության ոլորապտույտ ձևափոխում՝ սկսած առաջին շարքի սկզբից: Յուրաքանչյուր շարքի վերջին բջիջը, որը կհանգեցնի երկչափ տեղաբաշխման երկարության գերազանցմանը, տեղափոխվում է հաջորդ շարք և տեղադրվում՝ սկսած ուղղանկյան եզրագծից: Արդյունքում՝ հարևան շարքերի հակառակ եզրերում կառաջանան բջիջներից ազատ տարածքներ:

6. Բջիջների շարքերի համահավասարեցում՝ ըստ ուղղանկյան ձախեզրի:

Արդյունքում, ընդհանուր դեպքում, կառաջանան աջակողմյան որոշակի չօգտագործված մակերեսներ: Բջիջների շարային դասավորությունն ից երկչափ տեղաբաշխման անցման 2-րդ փայլում, ընդհանուր դեպքում, տեղաբաշխման շարքերի թիվը կարող է ստացվել ոչ ամբողջ մեծություն: Այս դեպքում վերջին շարքում կմնա չօգտագործված մակերես:

Մյուս կողմից, քանի որ ստանդարտ գրադարանային բջիջների բարձրությունը տվյալ գրադարանի համար ֆիքսված մեծություն է, ապա ընդհանուր տեղաբաշխման մակերեսի առավելագույն օգտագործման նպատակով հարկ է լինում կատարել  $A$  և  $B$  չափսերի վերահաշվարկ: Պահպանելով տեղաբաշխվող բջիջների գումարային մակերեսը, կախված տեղաբաշխման շարքերի թվից, կարող են ստացվել կողերի տարբեր հարաբերություններ, տեղաբաշխման ուղղանկյուն դաշտի տարբերակներ,



ինչը պատկերված է նկ. 3.12-ում: Ինչպես երևում է նկարից, տեղաբաշխման մակերեսի ֆիքսված մեծության պահպանումը բնութագրվում է անընդհատ կորով, սակայն ստանդարտ բջիջներով տեղաբաշխման դեպքում, երբ տրված է տեղաբաշխման ուղղանկյան կողերի  $K=A/B$  հարաբերությունը, այն հնարավոր է պահպանել միայն դիսկրետ ձևով:

*Նկ 3.12. Երկչափ տեղաբաշխման մակերեսի ձևի կորը*

Տեղաբաշխման մակերեսի առավելագույն օգտագործման նպատակով առաջարկվում է հետևյալ մոտեցումը: Երկչափ տեղաբաշխման անցման 2-րդ

քայլում ստացված տեղաբաշխման շարքերի թիվը կլորացվում է մինչև մոտակա ամբողջ թիվը: Այնուհետև ստացված ամբողջ թվի համար կատարվում է ուղղանկյան  $B$  չափսի վերահաշվարկ՝  $B=L/ma$ :

Երկչափ տեղաբաշխման  $A$  և  $B$  չափսերի վերահաշվարկի արդյունքում որոշակիորեն կխախտվի տրված  $K$  մեծություն արժեքը: Սակայն մակերեսի առավելագույն օգտագործման տեսանկյունից դաանխուսափելի է և արդարացված:

Քանի որ երկչափ տեղաբաշխման  $A$  և  $B$  չափսերի վերահաշվարկի արդյունքում ուղղանկյան մակերեսը հավասարեցվում է տեղաբաշխվող բջիջների գումարային մակերեսին, ապա անհրաժեշտություն է առաջանում հաշվի առնել մեկ շարքում առկա բջիջների գումարային երկարություն անհամապատասխանությունը  $B$  երկարությունը: Ելնելով բջիջների շարային դասավորությունից, երկչափ տեղաբաշխման անցման 5-րդ քայլի տրամաբանությամբ, տեղաբաշխման վերջում կարող է առաջանալ բջիջների ավելցուկ: Դրանից խուսափելու համար առաջարկվում է հետևյալ մոտեցումը: Յուրաքանչյուր շարքի վերջին բջիջը, որը կհանգեցնի երկչափ տեղաբաշխման երկարության գերազանցմանը՝ տեղափոխվում է հաջորդ շարք, եթե  $B$  երկարությունը գերազանցվում է այդ բջիջ երկարության կեսից ավել և թողնվում է նույն շարքում՝ հակառակ դեպքում: Տեղաբաշխման արդյունքում հարևան շարքերի հակառակ եզրերում կառաջանա բջիջներով զբաղեցված շարքերի գծային չափսերի երկկողմանի գերազանցում  $B$  չափից: Այդ գերազանցման չափը յուրաքանչյուր կողմից չի գերազանցի եզրերում հայտնված բջիջներից ամենաերկարի կեսին: Եթե հաշվի առնվի, որ վերջում կատարվում է բջիջների շարքերի



համահավասարեցում՝ ըստ ուղղակյան ձախեզրի, ապա նշված գերազանցումը կլինի միայն ուղղակյան աշկողմից: Արդյունքում՝ վերջնական տեղաբաշխման *B* չափը որոշակիորեն կմեծանա, ինչն անխուսափելիորեն կհանգեցնի ստացված տեղաբաշխման մակերեսի որոշակի գերազանցմանը բջիջների գումարային մակերեսից: Այդ գերազանցման հետևանքով առաջացող չօգտագործված մակերեսը կախված է ինչպես օգտագործվող գրադարանային բջիջների երկարություններից, այնպես էլ այդ երկարությունների տարբերություններից և, համեմատաբար մեծ սխեմաների դեպքում, կարող է կազմել ոչ ավելի, քան ամբողջ մակերեսի 5%-ը: Գործնականում տեղաբաշխման և ավարկման փուլում կարող է առաջանալ մակերեսի մինչև 20-25 % լրացուցիչ աճ [15]: Սա պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ տեղաբաշխման արդյունքում նախագծում ներառվում են նոր տարրեր, որոնք բացակայում են սխեմայում: Դրանք, առաջին հերթին, բուժերներն են և հապաղման տարրերը, որոնք ներառվում են՝ ազդանշանի ամբողջականությունը ապահովելու համար:

Ստորև դիտարկված է ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման մեկ այլ օրինակ, որում տարրերը տեղաբաշխված են երկչափմոնոտոմային դաշտում:

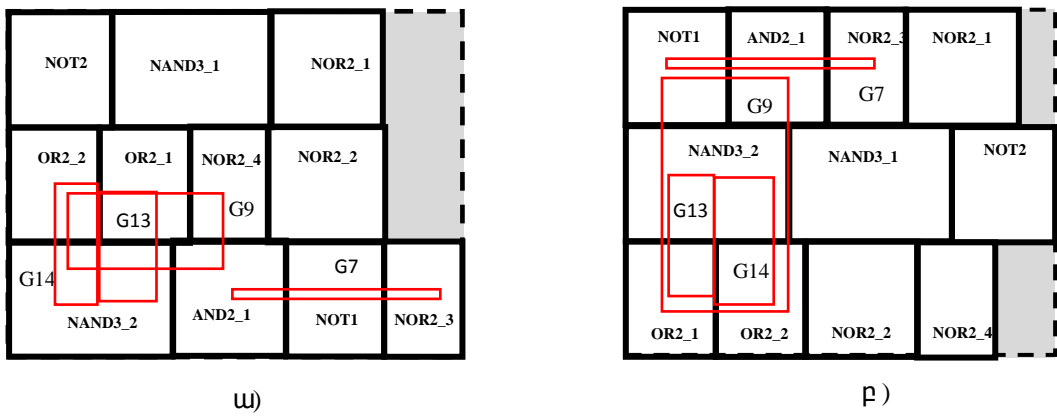
Որպես երկչափ տեղաբաշխման օրինակ դիտարկված է նկ. 2.17. - ում պատկերված *a28* թեստային տրամաբանական սխեմայի տարրերի տեղաբաշխումը:

Տարրերի պարամետրերը վերցված են աղ. 2.1-ից, իսկ շղթաների ժամանակային պարամետրերի հաշվարկված արժեքները ներկայացված են աղ. 3.1-ում:

Աղյուսակ 3.1.  
*a28* թեստային սխեմայի ներքին շղթաների ժամանակային պարամետրերը:

Ծ ղ թ ա	G3	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15
R, սլվ	69	0	90	0	69	90	115	0	0	90
Երկար ու թյ ու ն ը ժամանակ ո վ ու ղ ղ ո ղ ո վ ա ծ տեղաբաշխման դեպք ու մ , մ կ մ	8,12	6,08	15,64	7,3	7,68	12,1	9,56	4,76	3,8	4,21
Երկար ու թյ ու ն ը կապված ու թյ ամբ տեղաբաշխման դեպք ու մ , մ կ մ	14,39	6,03	5,84	9,1	5,5	3,7	7,71	3,08	4,76	6,2

Կատարված է տարրերի տեղաբաշխում 3 շարք պարունակող ուղղանկյուն դաշտում՝ ինչպես շղթաների ժամանակի պահուստների հաշվառումով (3.8 չափանիշ), այնպես էլ տարրերի կապված ու թյ ամբ (3.7 չափանիշ): Տեղաբաշխման արդյունքները բերված են



Նկ. 3.13. a28 թեստային սխեմայի տարրերի ժամանակ ո վ ու ղ ղ ո ղ ո վ ա ծ տեղաբաշխումը երկչափ մոնտաժային դաշտում: ա) ժամանակ ո վ ու ղ ղ ո ղ ո վ ա ծ տեղաբաշխում, որտեղ պատկերված են նաև որոշ իջ շղթաները:

Սխեմայի ներքին շղթաների ժամանակի պահուստները և կիսապարագային մոդելով գնահատված երկար ու թյ ու ն ները բերված են աղ. 3.1 - ու մ:

Ինչպես երևում է աղյուսակից, շղթաների կարևոր ու թյ ան հաշվառմամբ տեղաբաշխման

դեպքում 0-ական ժամանակային պահուստով առավել երկար G92 դթայի երկարությունը նվազել է շուրջ 20%-ով: Ընդհանրացնելով վերը շարադրվածը՝ կարելի է եզրակացնել .

- Առաջարկված է ենթամիկրոնային ԻՍ-երի տարրերի ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման նոր չափանիշ (3.8), որի մաթեմատիկական տեսքը համանման է միջմիացումների գումարային երկարության ավանդական չափանիշի (3.7) տեսքին և կարող է օգտագործվել նախնական տեղաբաշխման հաշորդական ալգորիթմներում:
- ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման առաջարկված (3.8) չափանիշը թույլ է տալիս սխեմայի շղթաներին վերագրել կարևորության գործակից՝ համաձայն նրանցում հապաղումների ժամանակային պահուստների մեծության, ինչը արդյունքում հանգեցնում է սխեմայի որոշիչ ուղիների վրա ընկած շղթաների համեմատական կարճացմանը և, հետևաբար, արագագործության բարձրացմանը:
- Առաջարկված մոտեցման իրագործումը կատարվել է ինչպես բերված, այնպես էլ մի շարք այլ թեստային սխեմաների տարրերի նախնական տեղաբաշխման օրինակների վրա, ինչը ապահովել է որոշիչ շղթաների երկարությունների 20-30% նվազում:

**3.3. Շղթաների նախնական տեղակայման վրա հիմնված տարրերի ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխումը**

Նախորդ ենթագլխում նկարագրված ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման մոտեցումը, ապահովելով որոշիչ շղթաների

Երկար ու թյուր նկերի նվագեցումը, միաժամանակ հաշվի չի առնում թվային սխեմայում ազդանշանի մշակման տրամաբանական հաջորդականությունը: Այս թերությունը հետևանք է կիրառվող տեղաբաշխման հաջորդական ալգորիթմի էություն, որը յուրաքանչյուր հերթական տարրի և դրա տեղաբաշխման դիրքի ընտրությունը կատարում է միայն տվյալ քայլում առկա իրողությունները հաշվի առնելով: Սա, սահմանափակ մոնտաժային ռեսուրսների առկայություն պարագայում, տեղաբաշխման ավարտին մոտենալու զուգընթաց, հանգեցնում է շղթաների երկարությունների աճին: Արդյունքում՝ որոշ ոչ որոշիչ շղթաների երկարությունների չարդարացված մեծարժեքների պատճառով կարող են առաջանալ նոր որոշիչ ուղիներ՝ էլ ավելի մեծ հապաղմամբ: Գոյություն ունեցող \$իզիկական սինթեզի ծրագրային գործիքային միջոցներում այս խնդիրը լուծվում է տեղաբաշխման լավարկման փուլում, որի արդյունքը, ինչպես արդեն նշվել է, մեծապես կախված է նախնական տեղաբաշխման որակից:

Այս բաժնում ներկայացված է նախնական ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման նոր մոտեցում, որտեղ տարրերի տեղաբաշխումը հիմնվում է շղթաների նախնական տեղաբաշխման վրա, ինչը թույլ է տալիս տեղաբաշխման ընթացքում բոլոր շղթաների ժամանակային պարամետրերի միաժամանակյա հաշվառում և դրանով իսկ՝ տեղաբաշխման գործընթացի կառավարում [13, 124-127]:

Առաջարկվող մեթոդը հիմնված է հետևյալ հաջորդական քայլերի վրա՝

1. գծային կոորդինատային համակարգում սխեմայի շղթաների դիրքերի որոշում,
2. գծային կոորդինատային համակարգում սխեմայի տարրերի դիրքերի որոշում,

3. տարրերի տեղաբաշխման համահավասարեցում (փոխծածկումների և բացակների վերացում),

4. ուղղանկյուն մակերեսի վրա կողերի տրված հարաբերություններ գծային տեղաբաշխման վերածնափոխում:

**Գծային կոորդինատային համակարգում սխեմայի շղթաների դիրքերի որոշումը:** Այս խնդրի լուծման հիմքում ընկած է շղթաների ժամանակային պարամետրերից անցումը գծային կոորդինատային համակարգին:

Շղթաների գծային կոորդինատները որոշվում են հետևյալ նկատառումներով.

- տեղեկություն մշակելիս շղթաներում ազդանշանի ձևավորման հաջորդականությունը կատարվում է՝ դրանցում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակների ներքին սահմանների աճը հաշվի առնելով,
- ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանի առավելագույն արժեքին ( $T_{u\max}$ ) համապատասխանում է տարրերի շարային դասավորություն առավելագույն երկարություն ( $L_{(G)\max}$ ), որը որոշվում է բոլոր տեղաբաշխվող բջիջների գումարային երկարություններ, իսկ որևէ  $i$ -րդ շղթայում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանին ( $T_{ui}$ ) համապատասխանող գծային կոորդինատը ( $L_{(G)ui}$ ) համամասնական է տվյալ շղթայում ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանի  $T_{ui}$  արժեքին: Այն որոշվում է հետևյալ կերպ.

$$L_{(G)ui} = \frac{L_{(G)\max}}{T_{u\max}} T_{ui} : \quad (3.6)$$

Կոոորդինատային համակարգում շղթաների դիրքերի որոշումը կատարվում է հետևյալ քայլերի հաջորդականությամբ .

1. Տեղաբաշխվող տարրերի շարային դասավորության առավելագույն երկարության որոշում`

$$L_{\max} = \sum_{i=1}^n L_i, \quad (3.7)$$

որտեղ  $L_i$ -ն  $i$ -րդ ստանդարտ բջջի երկարությունն է,  $n$ -ը` տեղաբաշխվող բջջերի քանակը :

2. Սխեմային մուտքերից ելքեր ազդանշանի տարածման հապաղման ժամանակի ներքին ( $T_{ii}$ ) և վերին ( $T_{ji}$ ) սահմանների որոշում: Սակատարվում է նախորդ գլխում նկարագրված ձևով` հիմնվելով (2.9) և (2.10) արտահայտություններով:

3. Գծային կոորդինատային համակարգում սխեմայի յուրաքանչյուր շղթային համապատասխանող դիրքերի որոշում`

$$X_{\hat{a}(q)i} = T_{\hat{a}(q)i} \frac{L_{\max}}{T_{\hat{a}(q)\max}}; i = 1, \dots, n, \quad (3.8)$$

որտեղ  $X_{\hat{a}(q)i}$  - ն  $i$ -րդ շղթայի հապաղման ժամանակի ներքին (վերին) սահմանին համապատասխանող գծային կոորդինատն է,  $T_{\hat{a}(q)i}$  - ն`  $i$ -րդ շղթայի հապաղման ժամանակի ներքին (վերին) սահմանը,  $T_{\hat{a}(q)\max}$  - ը` տվյալ սխեմայի մուտքերից ելքեր ազդանշանի տարածման հապաղման ժամանակի ներքին (վերին) սահմանը: Ինչպես արդեն հիմնավորվել է նախորդ գլխում, հաջորդական սինքրոնացվող սխեմայի ճիշտ աշխատանքի ապահովման տեսանկյունից դրա մակամոդ համակցական սխեմայում պետք է ապահովել  $T_{\hat{a}\max} = T_{\hat{q}\max}$  պայմանը :

**Գծային կոորդինատային համակարգում սխեմայի տարրերի դիրքերի որոշումը:** Այս խնդրի լուծման

հիմքում ընկած է տարրերի դիրքերի ընտրությունը դրանց կից շղթաների ժամանակային պահուստները հաշվի առնելու ճանապարհով: Տեղաբաշխման ժամանակ շղթաների երկարությունների կառավարման նպատակով մտցված է ժամանակային տեսակետից շղթաների կարևորությունը բնութագրող որոշակի գործակից, որը կորոշվի տվյալ շղթայի ժամանակային պահուստի և սխեմայում առկա առավելագույն ժամանակային պահուստի հարաբերական մեծությամբ: Քանի որ որևէ շղթայի ցանկալի երկարությունը հակադարձ համեմատական է դրա ժամանակային պահուստին, ինչպես նաև հաշվի առնելով, որ  $T_{m_i=0}$ , որևէ  $j$ -րդ շղթայի համար այդ կարևորություն  $K_j$  գործակիցը կարելի է որոշել հետևյալ կերպ՝

$$K_j = 1 - \frac{R_j}{R_{\max}} : \quad (3.9)$$

Սխեմայի տարրերի դիրքերի գծային կոորդինատները որոշվում են հետևյալ նկատառումներով.

- յուրաքանչյուր տարր դիտարկվում է որպես դրան կից շղթաներից ձգողականության ենթարկվող նյութական կետ,
- յուրաքանչյուր շղթայի ձգողականության ուժը հակադարձ համեմատական է տվյալ շղթայի ժամանակի պահուստին,
- տարրերի համար ընտրվում են այնպիսի դիրքեր, որ սխեմայի ուժային համակարգը բերվի հավասարակշռության վիճակի,
- որպես տարրերի կոորդինատային հաշվարկման սկզբնական վերցվում են դրանց երկրաչափական կենտրոնները,

- տեղաբաշխման այս փուլում թույլատրվում են տարրերի փոխծածկումները և միջտարրային բացակները:

Չաշվի առնելով վերը բերված նկատառումները՝ որևէ  $i$ -րդ տարրի գծային կոորդինատը որոշող անալիտիկ արտահայտությունը կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$X_{(C_i)} = \frac{\sum_{j \in G(C_i)} 0,5(X_{ij} + X_{ji})K_j}{\sum_{j \in G(C_i)} K_j}, \quad (3.10)$$

որտեղ  $T_{ij}$ -ն և  $T_{ji}$ -ն համապատասխանաբար  $j$ -րդ շղթայում ճիշտագրանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին և վերին սահմաններին համապատասխանող գծային կոորդինատներն են;  $K_j$  - ն՝  $j$ -րդ շղթայի կարևորություն գործակիցը;  $G_{(C_i)}$  - ն՝  $C_i$  տարրին պատկանող շղթաների բազմությունը:

Վերը բերված գործողություններն արդյունքում կոորդինատային առանցքի վրա ստացվում է տարրերի անկանոն դասավորվածություն: Տարրերի տեղաբաշխման կարգավորման համար անհրաժեշտ է կատարել դրանց վերատեղաբաշխում, որը բացառի տարրերի փոխծածկումները և միջտարրային բացակները:

**Տարրերի տեղաբաշխման համահավասարեցում:** Սխեմայի տարրերի տեղաբաշխման համահավասարեցումը կատարվում է հետևյալ նկատառումներով.

- տարրերի շարային դասավորություն՝ ապահովելով դրանց փոխծածկումները և միջտարրային բացակների բացառումը,
- գծային կոորդինատային համակարգում տարրերի անկանոն դասավորվածության դիրքերի կոորդինատների նվազագույն



փոփոխություն, որը կհանգեցնի նախորդ  
նկատառման բավարարմանը:

Տարրերի տեղաբաշխման համահավասարեցումը  
կատարվում է հետևյալ քայլերի  
հաջորդականությամբ.

1. Այն տարրը, որի կորդինատային հաշվարկման  
սկզբնակետն ամենամոտն է կորդինատային  
առանցքի սկզբնակետին, տեղադրվում է շարային  
դասավորության սկզբում: Եթե այդ պայմանը  
բավարարում են մեկից ավել տարրեր, ապա որպես  
սկզբնական տարր ընտրվում է առավել քանակով 0-ին  
հավասար ժամանակային պահուստով շղթաներին կից  
տարրը: Եթե այս պայմանը բավարարում են մեկից  
ավելի տարրեր, ապա դրանցից ընտրվում է  
ցանկացածը:

2. Յուրաքանչյուր հաջորդ տեղաբաշխվող տարրի  
ընտրությունը կատարվում է ըստ նախորդ փուլում  
ստացված դիրքերի գծային կորդինատների աճի:  
Եթե այս պայմանը բավարարում են մեկից ավելի  
տարրեր, ապա ընտրությունը կատարվում է 1-ին  
քայլում բերված տրամաբանությամբ: Ընտրված  
յուրաքանչյուր տարրը տեղադրվում է վերջին  
տեղադրված տարրից հետո՝ առանց բացակի:

3. 1-ին և 2-րդ քայլերը կրկնվում են՝ մինչև վերջին  
տարրի տեղաբաշխումը:

Ունենալով տարրերի շարային տեղաբաշխումը՝  
անհրաժեշտության դեպքում այն պետք է  
վերատեղաբաշխել կողերի տրված հարաբերությամբ  
ուղղանկյան մակերեսի վրա 3.2 բաժնում  
նկարագրված ձևով:

Ընդհանրացնելով վերը շարադրվածը՝ կարելի է  
ասել, որ առաջարկված է ԻՍ-երի տարրերի նախնական  
տեղաբաշխման նոր սկզբունք, որը, ի  
տարբերություն գոյություն ունեցողների  
տարրերի, տեղաբաշխումը կատարում է շղթաների

նախնական տեղաբաշխման հիման վրա: Այսպիսի մոտեցումը յուրաքանչյուր տարրի համար ապահովում է այնպիսի դիրքի ընտրություն, որը համամասնորեն է հեռացված տվյալ տարրին միացված շղթաների ժամանակի վերին սահմաններին համապատասխանող կոորդինատներից, ինչը հանգեցնում է ոչ միայն որոշիչ, այլ նաև մյուս բոլոր շղթաների երկարությունների համամասնական կառավարմանը:

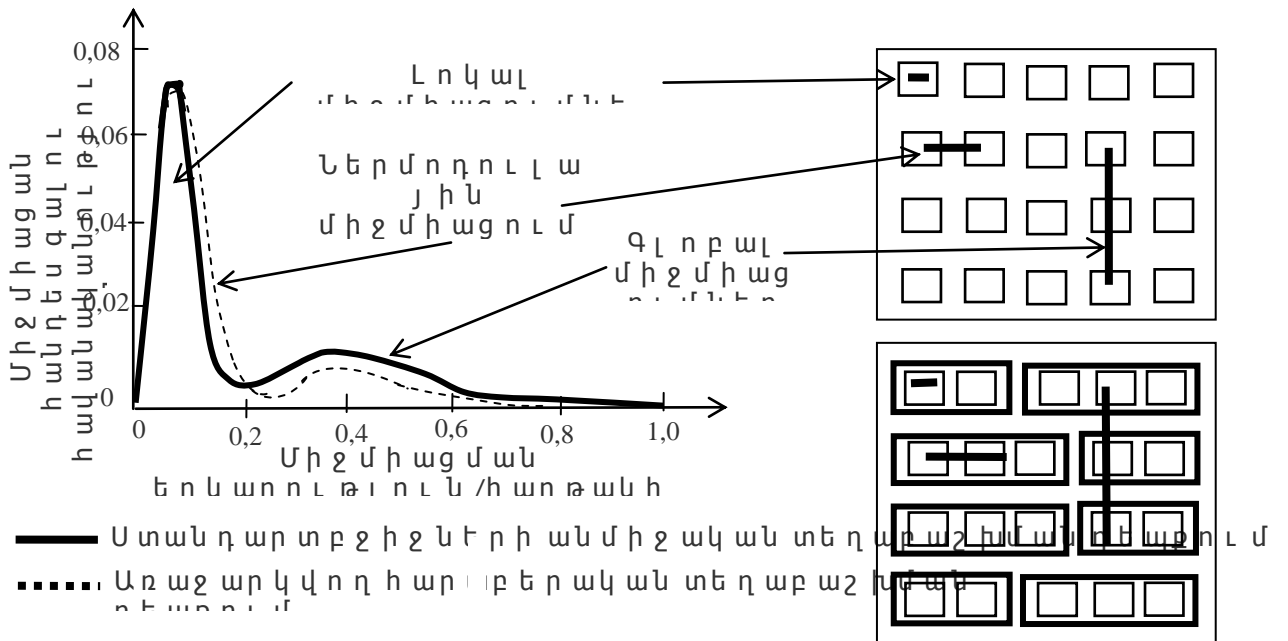
### **3.4. Շղթաներում հապաղումների հաշվառմամբ տարրերի հարաբերական տեղաբաշխումը**

ԻՍ-երի ինտեգրման աճին գույքը նթաց՝ ավելանում է դրանց նախագծման բարդությունը և աշխատատարությունը: Այսպես, օրինակ՝ 18մմ x 18մմ մակերես գբաղեցնող, մոտ 10<sup>5</sup> տրամաբանական բջիջներ և 10<sup>6</sup> կարգի միջմիացումներ պարունակող, 500 մՅԳ հաճախականությամբ և 50 - 100 Վտ հզորությամբ թվային հանգույցի նախագծման գործընթացի կազմակերպումը պահանջում է բարձր որակավորմամբ ավելի քան 80 ճարտարագետ նախագծողներն ենթակազմված թիմ և արդյունքում՝ կարող է պահանջել մոտ 800 հազար \$ ներդրումներ [128]:

Գլուխ 1-ում դիտարկված ԻՍ-երի նախագծման ավանդական երթուղին (նկ. 1.4), ենթադրում է ֆիզիկական նախագծման իրագործման միասնական միջանցիկ ընթացակարգ: Այսպիսի երթուղին մեծ բարդության նախագծերի դեպքում կարող է հանգեցնել մեծ ծավալի անճշտությունների և թերությունների, որոնց վերացման համար հարկ կլինի ֆիզիկական նախագծման ամբողջ ընթացքի բազմակրկնակի ցիկլիկ կրկնություն: Այսպիսի մոտեցումը հանգեցնում է նախագծման ժամկետների զգալի ավելացման և վերջնական ֆիզիկական

Նախագծի ստացման համար կարող է պանջվել ամիսներ: Եթե հաշվի առնենք, որ ենթամիկրոնային ԻՍ-երում արագագործության պահանջների բավարարման տեսանկյունից մեծ դեր ունեն հապաղումները միջմիացումներում, որոնք ստացվում են ծրագրման արդյունքում, ապա հաճախ հարկ է լինում, վերը նշված ցիկլիկ կրկնությունների ժամանակ, տարրերի վերատեղաբաշխման ճանապարհով հիմնավորապես փոփոխել ընթացիկ տպուկ գիական կառուցվածքը:

Նախագծման այսպիսի երթուղին, ստանդարտ գրադարանային բջիջների վրա կառուցված ԻՍ-երի դեպքում, հանգեցնում է միջմիացումների երկարությունների երկու բնութագրիչ խմբի առաջացման, որոնց որակական բաշխումը բերված է



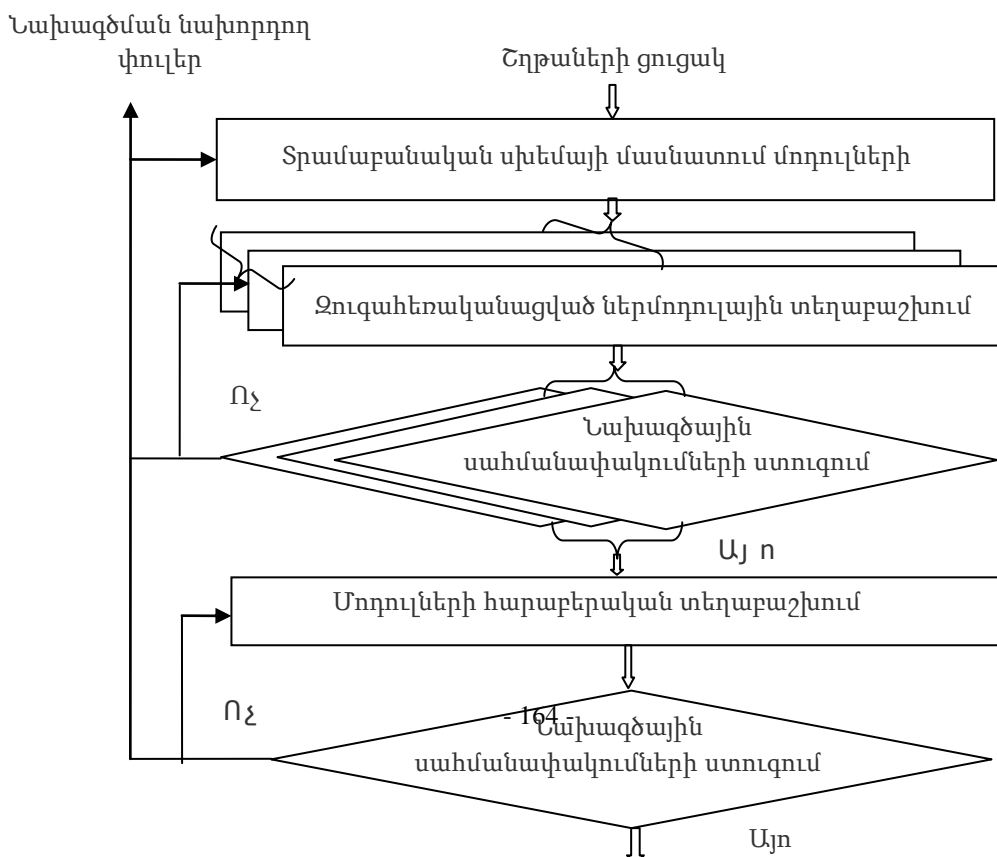
Նկ .3.14-ում [129]:

Նկ .3.14. Թվային ԻՍ-երի միջմիացումների երկարությունների բաշխումը

Լոկալ միջմիացումները պայմանավորված են տրամաբանական բջիջների ներքին միջտրանզիստորային միջմիացումներով, որոնց երկարությունները համաչափ են բջիջների

տոպոլոգիական չափսերին և, օրինակ, 32 նմ տեխնոլոգիայի դեպքում կազմում են 3 մկմ-ի կարգի: Գլոբալ միջմիացումները պայմանավորված են միջբջջային կապերով և կարող են տարածվել տվյալ նախագծի գբադեցրած ամբողջ մակերեսով, իսկ նրանց երկարությունները համաչափ են կիսահաղորդչային բյուրեղի գծային չափսերին և կազմում են  $10^4$  մկմ կարգի: Եթե ընդունենք, որ տրանզիստորների և ստանդարտ բջիջների էլուստների քանակները նույն կարգի են, իսկ մեկ բջջում տրանզիստորների քանակը 10-ի կարգի է, ապա լոկալ և գլոբալ միջմիացումների գումարային երկարությունների հարաբերության կարգը կլինի  $10^{-3}$ : Ասվածից հետևում է, որ հապաղումների հիմնական մասը բաժին է ընկնում գլոբալ միջմիացումներին:

Ստորև նկարագրված է ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման խնդրի լուծման հարաբերական գուգահեռականացված ընթացակարգ, որն ապահովում է գլոբալ և լոկալ միջմիացումների քանակների հարաբերական փոփոխությունն՝ ի նպաստ լոկալ միջմիացումների քանակի ավելացման [130]: ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման առաջարկվող

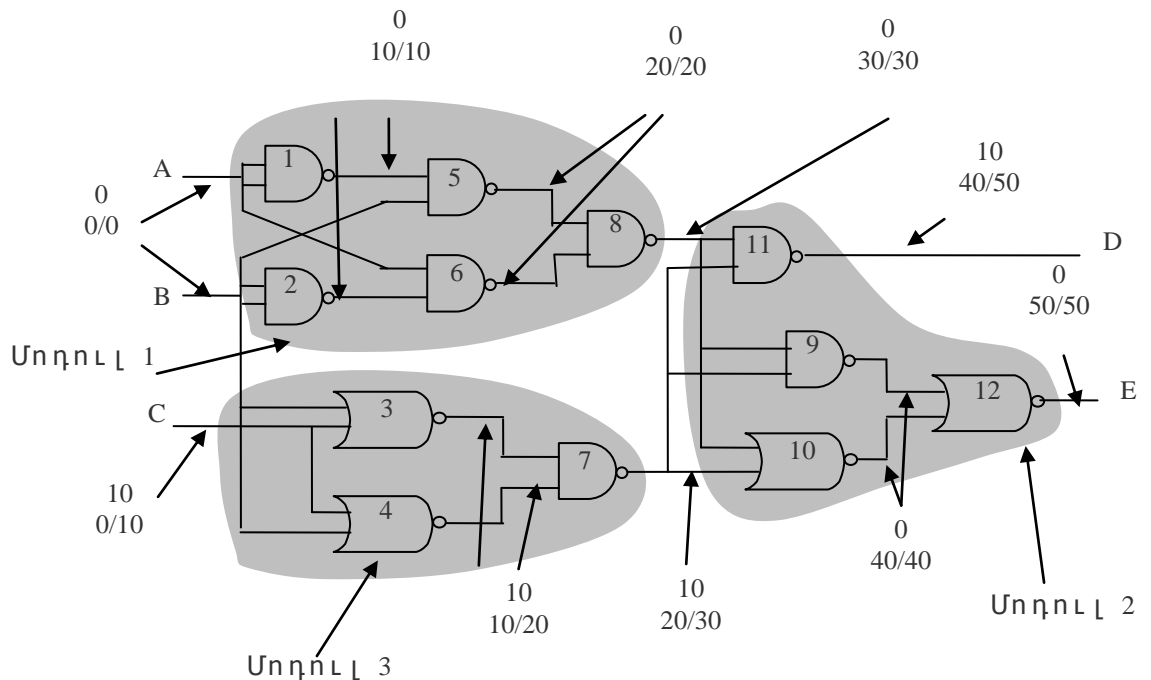


հարաբերական գուգահեռականացված ընթացակարգի երթուղին բերված է նկար 3.15-ում :

Նկ. 3.15. ԻՄ-երի տարրերի հարաբերական տեղաբաշխման երթուղին

Առաջարկվող մոտեցումը հնարավորություն է տալիս գլոբալ միջմիացումների միմասը վերածել անհամեմատ ավելի կարճ ներմոդուլային միջմիացումների, որոնց երկարությունները մոտենւոկալ միջմիացումների երկարություններին : Միջմիացումների երկարությունների այսպիսի վերաբաշխման որակական փոփոխությունը պատկերված է նկ. 3.14-ում կետագծային բաշխման կորով : Այսպիսի մոտեցման արդյունավետությունը կախված է սխեմայի մասնատման որակից :

Առաջարկվող մոտեցումը դիտարկենք նկ.3.16-ում բերված թեստային տրամաբանական սխեմայի



Նկ. 3.16. Թեստային սխեմայի ժամանակային վերլուծությունը և մասնատումը մոդուլների

տարրերի տեղաբաշխման օրինակով :

Դիտարկվող սխեմայի մասնատումը մոդուլներին կատարված է շղթաների ժամանակային պահուստների հաշվառմամբ, որոնց արժեքները գնահատվում են նախորդ գլխում դիտարկված մեթոդաբանությամբ:

Պարզության համար դիտարկվող օրինակում բոլոր տրամաբանական տարրերի հապաղումներն ընդունված են հավասար 10 պայմանական միավորի: Շղթաների համար ազդանշանի ձևավորման ներքին, վերին սահմանների և ժամանակի պահուստների արժեքները, որոնք հաշվարկված են համապատասխանաբար (2.19), (2.20) և (2.21) բանաձևերով, բերված են նկ.3.16-ում:

Սխեմայի մասնատումը կատարվել է մասնատման հաջորդական ալգորիթմի օգտագործմամբ [14], որում որպես որակի չափանիշ է ծառայում մոդուլների միջև կապերի քանակի նվազարկումը: Արդյունքում՝ ձևավորված են 3 մոդուլներ, որոնց համար կատարված է տարրերի ներմոդուլային գծային տեղաբաշխում՝ նախորդ բաժնում նկարագրված տեղաբաշխման հաջորդական ալգորիթմի միջոցով:

Այսպիսի մոտեցման արդյունավետությունը կախված է մասնատվող մոդուլների մեծությունից և սխեմայի մասնատման որակից:

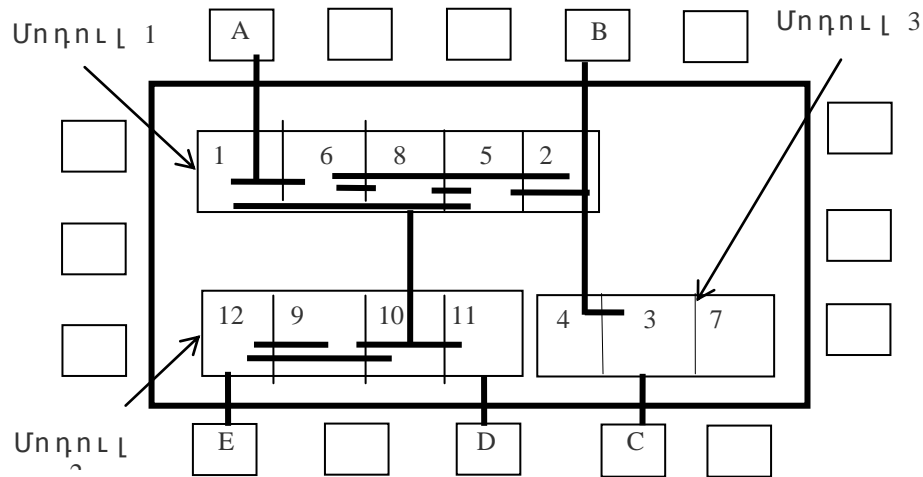
Ստորև առաջարկված է սխեմայի մասնատման մոդուլներին մեծության գնահատման մեթոդ, որը հիմնված սխեմայի տրամաբանական խորություն, այսինքն՝ տրամաբանական տարրերի կասկադների թվի մոտավոր գնահատման վրա [131, 132, 133]: Այն հիմնված է Ռենտի գործակցի վրան ունի հետևյալ տեսքը [133]՝

$$H = 10^{(1-P) \lg n}, \quad (3.11)$$

որտեղ  $n$  - ը մասնատվող սխեմայի տարրերի թիվն է,  $H$  - ը՝ մոդուլում տարրերի թիվը,  $P$  - ն՝ Ռենտի ցուցիչը, որը ժամանակակից թվային սխեմաներում կարող է տատանվել 0,4-ից 0,6 միջակայքում [132]:

Այս պեսս, օրինակ, նկ. 3.16-ում դիտարկված սխեմայի համար, որում  $n=12$ , ընդունելով  $P=0,5$ , կստանանք  $H \approx 3,5$ :

Հարաբերական տեղաբաշխման վերջնական տեսքը բերված է նկ. 3.17-ում:



Նկ. 3.17. Թեստային սխեմայի տարրերի հարաբերական տեղաբաշխումը

Նկարում պատկերված են որոշիչ շղթաները, որոնք հիմնականում իրագործված են ներմոդուլային միջմիացումների մակարդակում:

Ամփոփելով վերը շարադրվածը՝ կարելի էասել, որ ենթամիկրոնային թվային ԻՍ-երի տարրերի ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման վերը շարադրված մոտեցումն ապահովում է մոդուլներին բազմուղյան գույքահեռականացված նախագծման հնարավորությունն՝ նախագծման երթուղու հետադարձ կապերի խորուղյան փոքրացմամբ, ինչը կհանգեցնի նախագծման ժամկետների կրճատման և նախագծային լուծումների կանխատեսելիության մեծացման:

**3.5. Ժամանակով ուղղորդված նախնական տեղաբաշխման իրագործումը և սխեմայի արագագործության գնահատումը**

Թվային ԻՍ-երի տարրերի ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման առաջարկված և վերը շարադրված մեթոդների հիման վրա մշակվել է գրադարանային

ստանդարտ բջիջների հենքի վրա ժամանակով  
 ուղղորդված նախնական տեղաբաշխման ծրագրային  
 գործիք, որն իրագործված է C++ ԷԳՎՈՎ և փորձարկված  
 է մի շարք թեսթային սխեմաների համար [13, 125]:  
 Մշակված ծրագրային գործիքում իրագործված է  
 թվային ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման փոփոխում  
 դրանց արագագործ ության ապահովման և գնահատման  
 միջոցների համալիր ընթացակարգ, որը իրագործում  
 է հետևյալ երեք նախագծային գործառնությունները՝

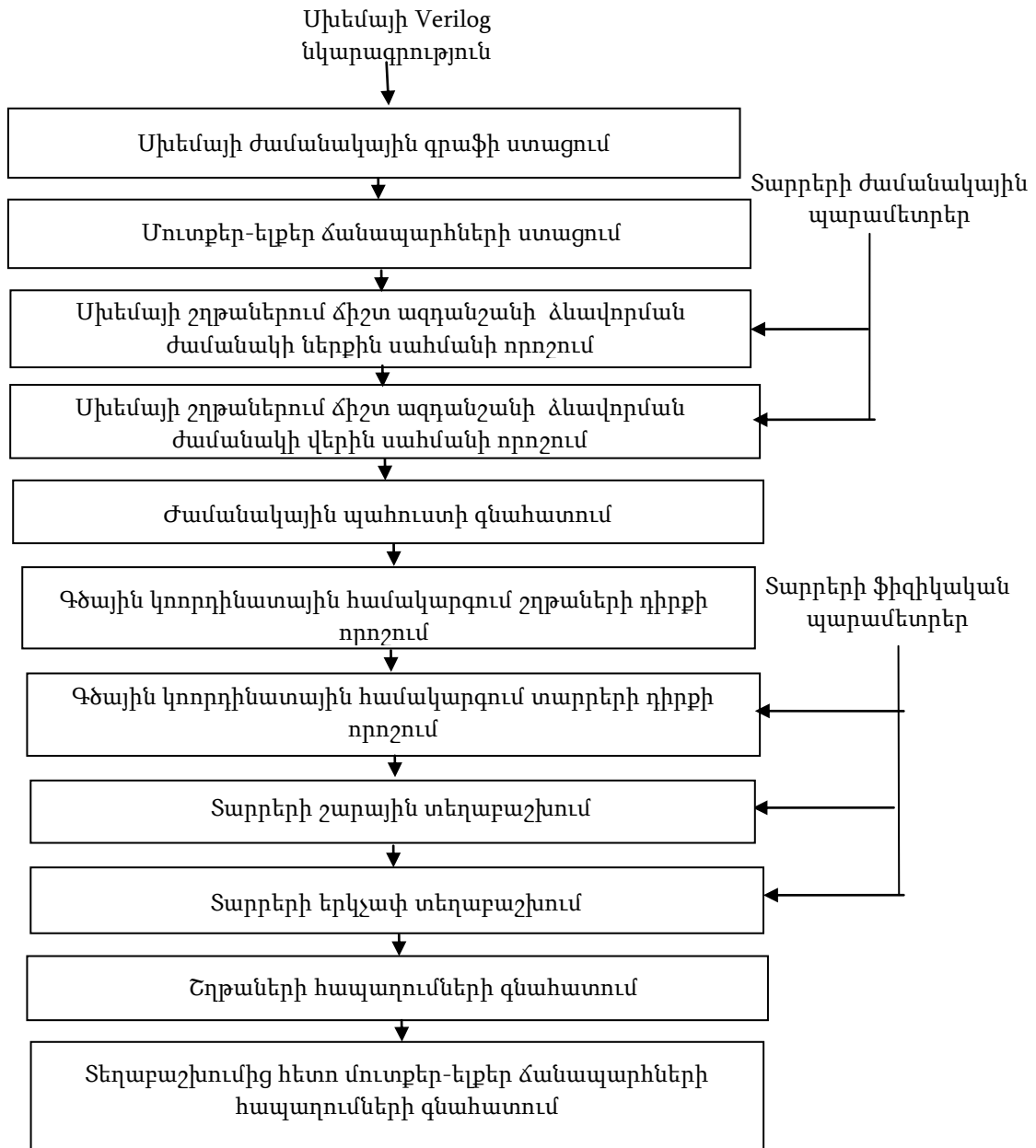
- սխեմայի բոլոր շղթաների համար  
 ժամանակային պարամետրերի հաշվարկ,
- տարրերի ժամանակով ուղղորդված  
 տեղաբաշխում,
- տեղաբաշխումից հետո սխեմայի  
 արագագործ ության գնահատում:

Նշված գործառնությունների իրագործման երթուղին  
 բերված է նկ. 3.18-ում:

Մշակված ծրագրային գործիքի համար որպես  
 մոլտքային տվյալներ ծառայում են՝

1. սխեմայի փականային մակարդակի Verilog  
 նկարագրող ությունը,
2. ստանդարտ բջիջների գրադարանը, որի տարրերը  
 պետք է օգտագործվեն նախնական տեղաբաշխման  
 իրագործման համար,
3. տեղաբաշխման ձևաչափը՝ գծային կամ կոդերի  
 տրված հարաբերություններով՝ ուղղանկյուն:





*Նկ. 3.18. Թվային ԻՍ-երի տարրերի ժամանակով ու ռդդորդով ածտեղաբաշխման և արագագործ ու թյան գնահատման առաջարկվող երթուղին*

Որպես ԵԼՔային արդյունքներ ստացվում են՝

1. սխմայի մուտքեր-ելքեր բոլոր ուղիների ցուցակը ,
2. յուրաքանչյուր շղթայի համար ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի ներքին և վերին սահմանները ,
3. յուրաքանչյուր շղթայի ժամանակի պահուստը ,

4. շղթաների և տարրերի կոորդինատները գծային տեղաբաշխման դեպքում,

5. ուղղանկյուն տեղաբաշխման դեպքում տարրերի տեղաբաշխման կոորդինատները,

6. շղթաների կիսապարագծային մոդելները,

7. կիսապարագծային մոդելով շղթաների հապաղումներին գնահատումը,

8. սխեմայի մուտք-ելք բոլոր ուղիների հապաղումներին գնահատումը՝ հաշվի առնելով ինչպես տարրերի, այնպես էլ շղթաների հապաղումները:

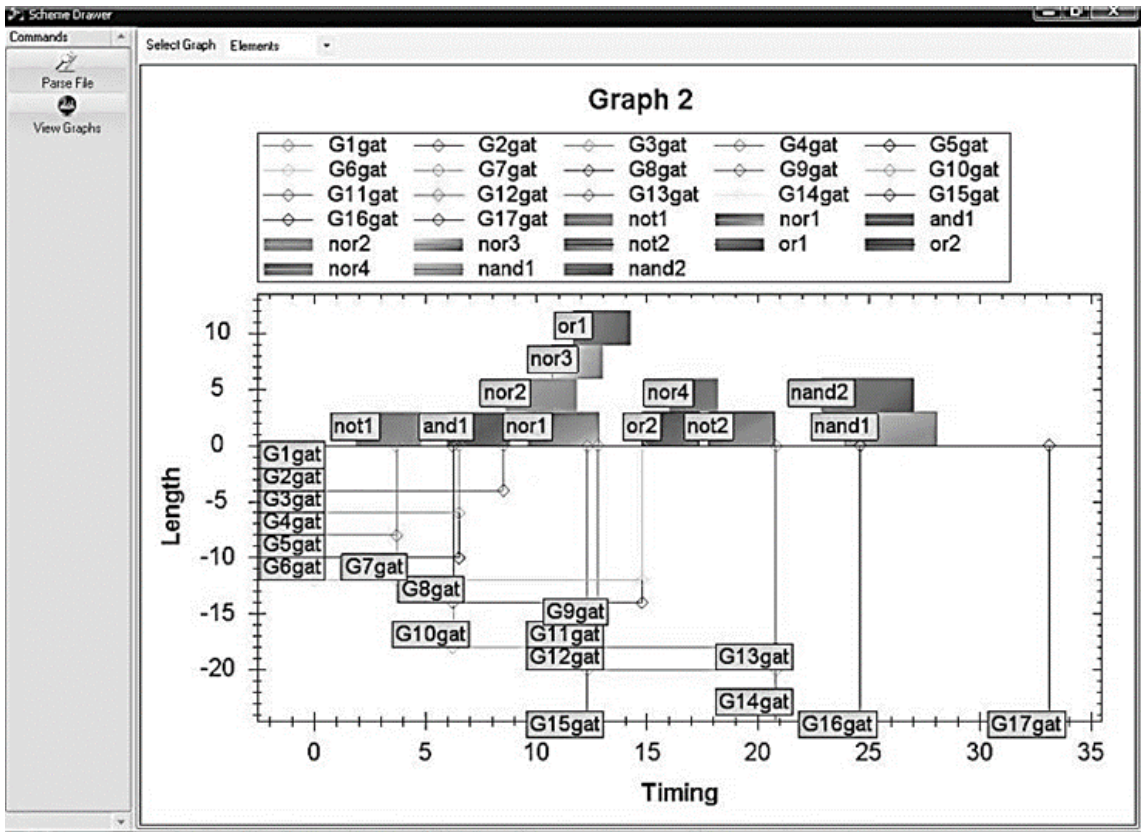
Մշակված ծրագրային գործիքն ունի զարգացած գրաֆիկական ինտերֆեյս, որը թույլ է տալիս ինչպես տեղաբաշխման վերջնական արդյունքի, այնպես էլ այնպիսի միջանկյալ արդյունքների արտապատկերումը, ինչպիսիք են շղթաներում ճիշտագդան շանի ձևավորման ժամանակին ներքին և վերին սահմաններին համապատասխանող գծային կոորդինատները, տարրերի նախնական տեղաբաշխումը գծային կոորդինատային համակարգում, տարրերի վերջնական շարային տեղաբաշխումը, տարրերի երկչափ տեղաբաշխումը, շղթաների կիսապարագծային մոդելների արտապատկերումը տեղաբաշխման արդյունքի վրա:

Մշակված ծրագրային գործիքի աշխատանքի արդյունքները ներկայացված են երրորդ գլխում դիտարկված a28 թեստային սխեմայի օրինակով: Որպես տարրային հենք օգտագործված է SAED90 թվային ստանդարտի չափերի գրադարանը:

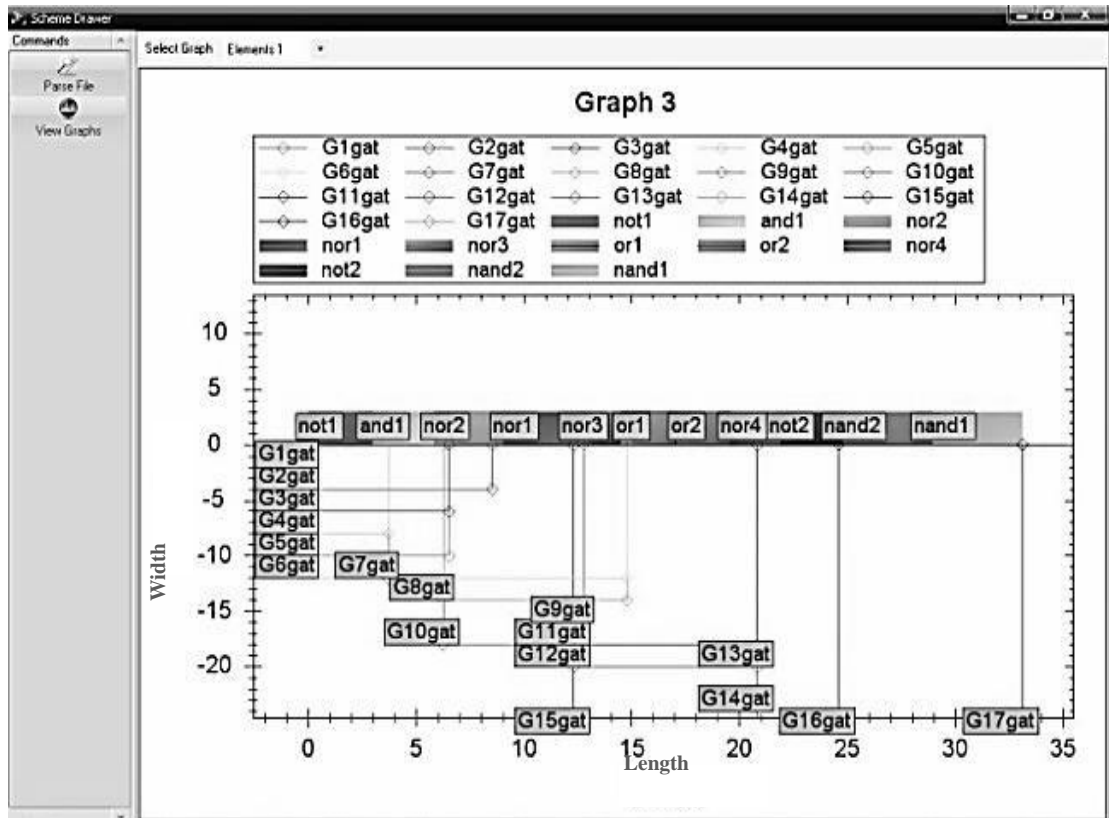
Նկ. 3.19-ում պատկերված է գծային առանցքի վրա (3.10) բանաձևով ստացված տարրերի ոչ կանոնավոր տեղաբաշխումը: Նույն նկարում բերված են նաև գծային առանցքի վրա շղթաներում ճիշտագդան շանի ձևավորման ժամանակին ներքին և վերին սահմաններին համապատասխանող կոորդինատները:

Նկ. 3.20-ում պատկերված է տարրերի կանոնավոր շարային տեղաբաշխումը, որում վերացված են փոխածածկումները և միջտարային բացակները:

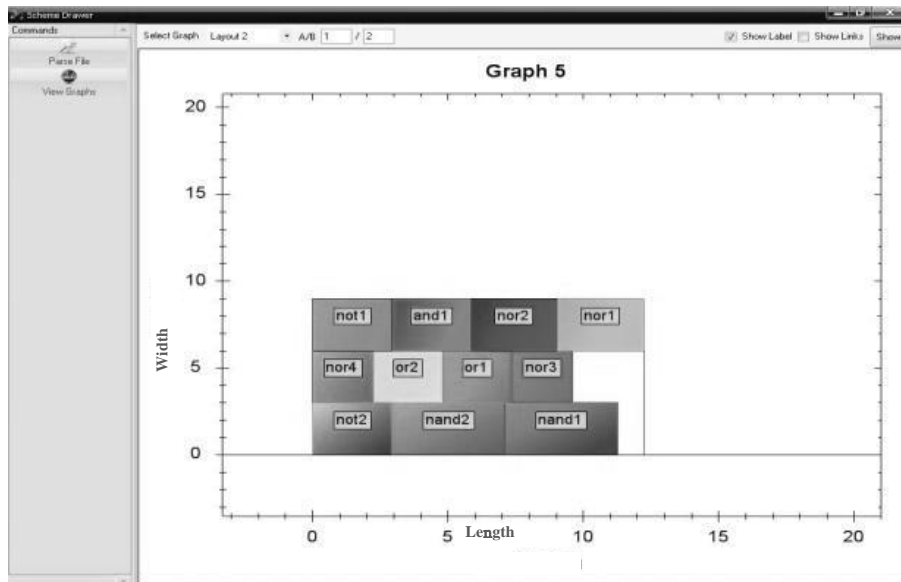
Ստացված շարային տեղաբաշխումից անցումը երկչափ տեղաբաշխման կատարված է 3.2 ենթագլխում նկարագրված մեթոդաբանությամբ: Նկ. 3.21-ում պատկերված է  $K=1/2$  կողերի հարաբերության դեպքում երկչափ տեղաբաշխման արդյունքը: Տեղաբաշխման մակերեսը ստացվել է  $110,07 \text{ մկմ}^2$ : Տեղաբաշխվող բջիջների գումարային մակերեսը  $99,3 \text{ մկմ}^2$  է: Արդյունքում՝ ստացվել է 9,8% չօգտագործված մակերես:



Նկ. 3.19. a28թ ե ս տայ ի ն ս խե մ այ ի տարրերի անկանոն գծային տեղաբաշխումը



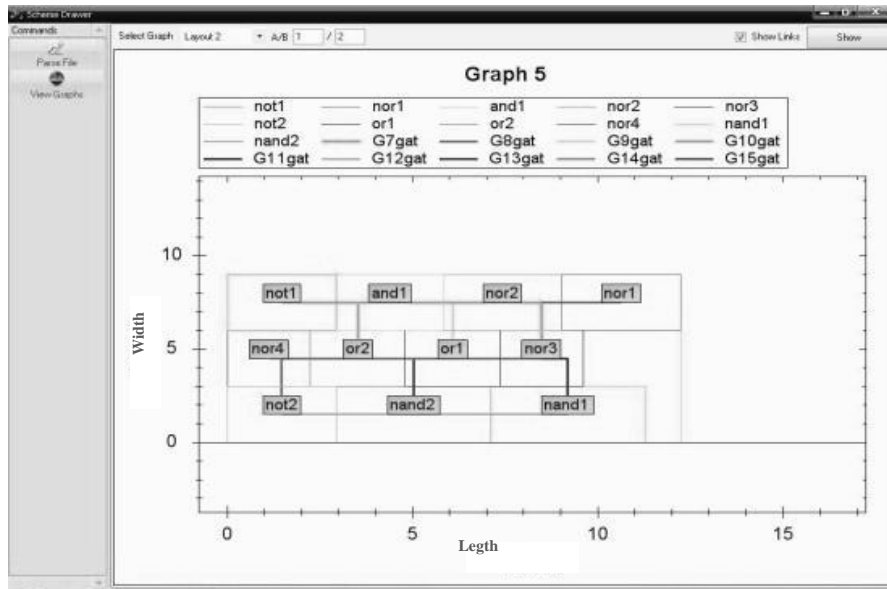
Նկ. 3.20. a28 թե ս տայ ի ն ս խե մ այ ի տարր եր ի կանոնավոր



շարայ ի ն տեղաբաշխումը

Նկ. 3.21. a28 թե ս տայ ի ն ս խե մ այ ի տարր եր ի երկչափ տեղաբաշխումը

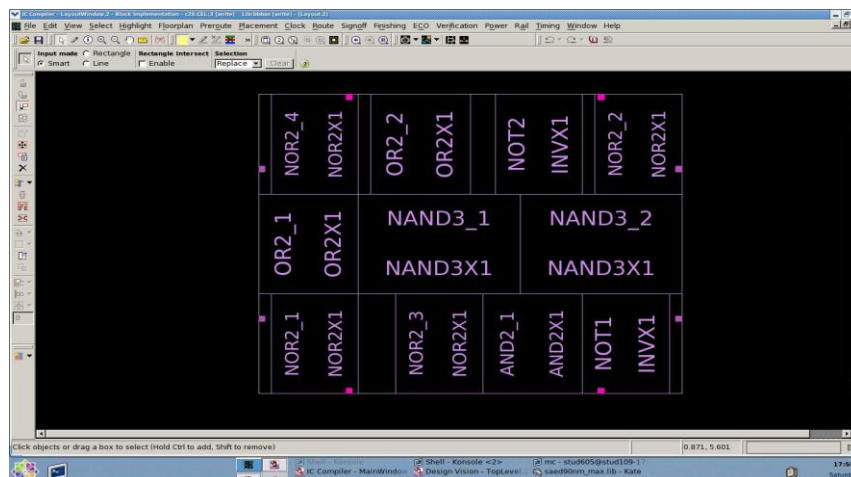
Ինչպես արդեն նշվել է, տեղաբաշխումից հետո սխեմայի շղթաներով պայմանավորված ժամանակային վերլուծությունը կատարվել է կիսապարագծային մոդելի միջոցով: Նկ. 3.22-ում բերված է շղթաների կիսապարագծային մոդելների արտապատկերումը տարրերի երկչափ տեղաբաշխման վրա: Որպես շղթաների միացման հաշվարկային



կոորդինատներ վերցված են համապատասխան տարրերի երկչափական կենտրոնները:

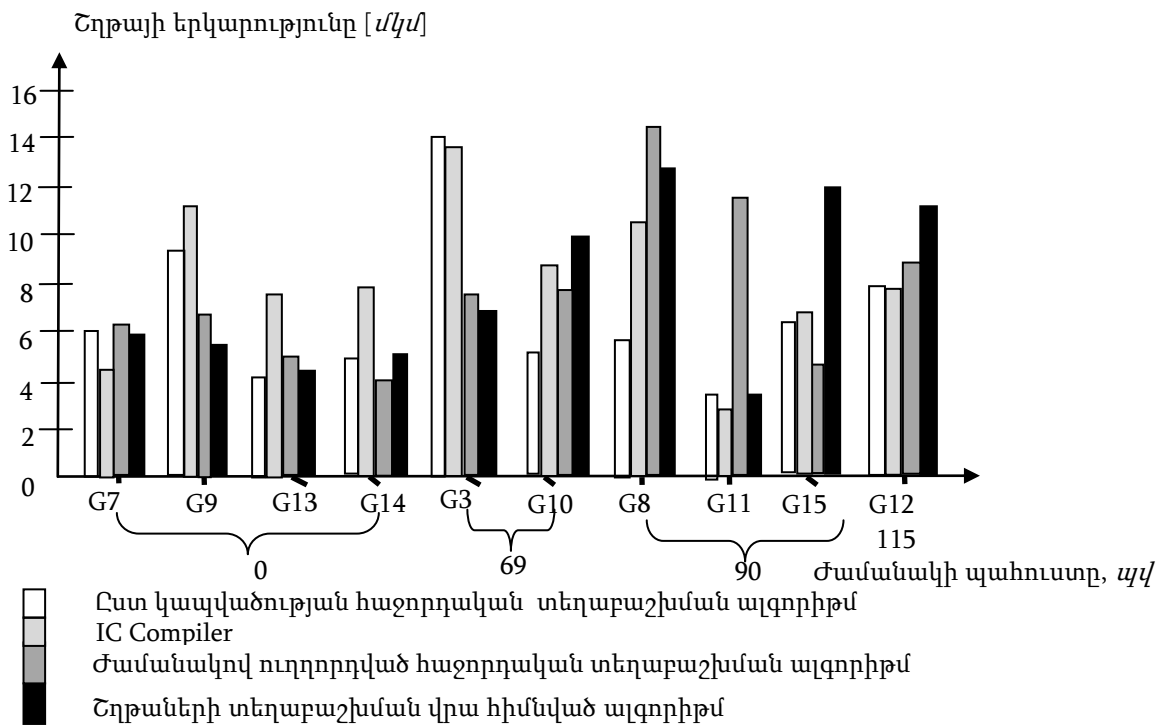
*Նկ. 3.22. Շղթաների կիսապարագծային մոդելների արտապատկերումը a28 թեստային սխեմայի տարրերի երկչափ տեղաբաշխման վրա*

Արդյունքների համեմատության համար կատարված են աննույն սխեմայի տարրերի նախնական տեղաբաշխում Սինոփսիս ընկերության



Ֆիզիկական սինթեզի IC Compiler ծրագրային գործիքով, որի արդյունքը բերված է նկ. 3.23-ում:

Նկ. 3.23. a28 թե ստայի ն սխեմայի տարրերի նախնական տեղաբաշխումը Սինոփսիսը նկերոն թյան ֆիզիկական սինթեզի IC Compiler ծրագրային գործիքով Կիսապարագայի ն մոդելով շղթաների երկարությունը ն ների գնահատումը կախված շղթաների ժամանակի պահուստներից, ներկայացված



Ե նկ. 3.24 - ում հիստոգրամի տեսքով: Ծղթաները խմբավորված են ըստ ժամանակի պահուստի աճի:

Հիստոգրամում բերված են նույն սխեմայի տարրերի նախնական տեղաբաշխման արդյունքները հետևյալ չորս տեսակներով՝

- Հաջորդական տեղաբաշխման ալգորիթմի տարրերի կապվածություն (3.7) չափանիշի կիրառմամբ,
- 3.2 պարագրաֆում ներկայացված շղթաների ժամանակային պահուստները հաշվի առնմող հաջորդական տեղաբաշխման ալգորիթմով,

- 3.3 պարագրաֆում ներկայացված շրթաների նախնական դասավորման վրա հիմնված տարրերի ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման ալգորիթմով,

- IC Compiler ծրագրային գործիքով:

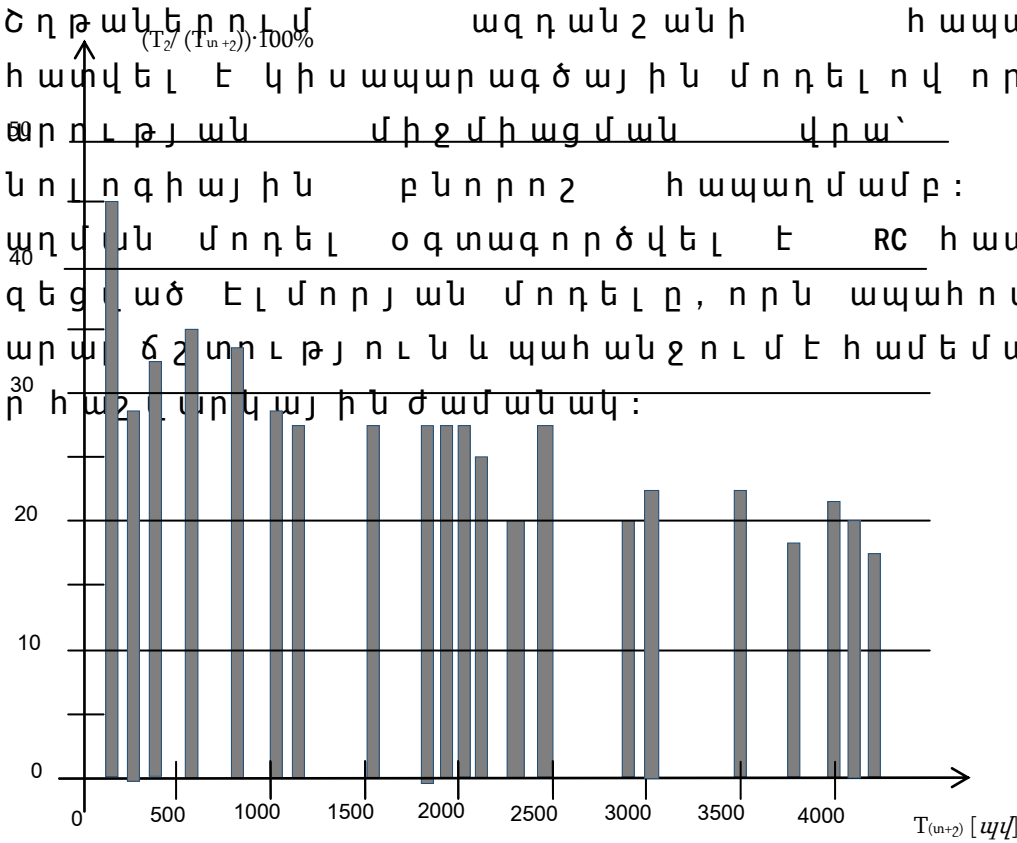
Ինչպես երևում է նկարից, գրոյական ժամանակի պահուստով որոշիչ շրթաների ամենակարճ երկարությունները ստացվել են շրթաների նախնական դասավորման վրա հիմնված տարրերի՝ ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման դեպքում: Այսպես, օրինակ՝ շրթաների նախնական դասավորման վրա հիմնված տարրերի ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման դեպքում, համեմատած տարրերի կապվածությունամբ տեղաբաշխման հետ, ապահովվել է որոշիչ շրթաների երկարության 30% նվազում՝ բոլոր շրթաների գումարային երկարության շուրջ 10% աճի պայմաններում: Այս արդյունքը ավելի մեծ է ստացվել Սինոֆուս ընկերության \$իզիկական սինթեզի IC Compiler ծրագրային գործիքով նախնական տեղաբաշխման համեմատ՝ կազմելով համապատասխանաբար 50% և 15%: Միևնույն ժամանակ նկատվել է IC Compiler-ի համեմատ տեղաբաշխման մակերեսի շուրջ 8,5% մեծացում: Սա բացատրվում է նրանով, որ IC Compiler-ի նախնական տեղաբաշխման դեպքում հիմնական ուշադրությունը սևեռվում է մակերեսի փոքրացման վրա՝ ժամանակային լավարկման հարցերը թողնելով տեղաբաշխման հաջորդ՝ օպտիմալացման փուլին:

Առաջարկվող մեթոդի արդյունավետությունն ավելի ակնհայտ է մեծ սխեմաների տարրերի տեղաբաշխման դեպքում: Նկ. 3.25-ում ցույց է տրված տեղաբաշխումից հետո ISCAS 85 սերիայի C5315 ամենամեծ թեստային համակցական սխեմայի մոնտքեր-ելքեր ուղիներին հապաղումների հարաբերական աճի

դիագրամը: Այդ սխեման պարունակում է 2307 բջիջ և 3008 շղթա:

Քանի որ այդ ուղիների քանակը շատ մեծ է և հավասար է 1.341.304, պատկերավոր լինելու համար դիտարկված է այդ ճանապարհների որոշակի պատահական ընտրանք՝ ներառելով նվազագույն և առավելագույն հապաղմամբ ուղիները, որոնք կազմում են համապատասխանաբար 159 և 4178 *պվ*: Ինչպես երևում է հիստոգրամից, տեղաբաշխման արդյունքում որոշիչ և դրանց մոտիկ ուղիները նվազագույն հապաղմամբ ուղիների համեմատ, ցուցաբերել են շղթաներով պայմանավորված հարաբերական հապաղման ավելի քան 25%-ով փոքր աճ:

Շղթաներով ազդանշանի հապաղումը գնահատվել է կիսապարագծային մոդելով որոշված երկարության միջմիացման վրա՝ տրված տեխնոլոգիային բնորոշ հապաղմամբ: Որպես հապաղման մոդել օգտագործվել է RC հապաղման պարզեցված էլմորյան մոդելը, որն ապահովում է բավարարձ շտուրթյուն և պահանջում է համեմատաբար փոքր հաշվարկային ծամանակ:



Նկ. 3.25. C5315 թեստային սխեմայի մոլտքեր-ելքեր ճանապարհների հապաղումների հարաբերական աճի բաշխման հիստոգրամը

$T_{un+2}$  և  $T_2$  - ը համապատասխանաբար մոլտքեր-ելքեր ճանապարհների ամբողջական և միայն շղթաներով...



Եթե տարրերի փոխանջատման և արու մը ընդունվի մոտավորապես հավասար տրամաբանական մակարդակների տարբերություն կեսին, որևէ իրդ շղթայի համար, կախված դրա երկարությունից, հապաղումը կարելի է գնահատել երկու տիպի մոդելներով՝ կենտրոնացված և բաշխված պարամետրերով [134]՝

$$t_i = \begin{cases} 0,69rcL_i L_i J 120t_{\min} & \text{մկմ համար,} \\ 0,38r_0c_0L_{0i}^2 & \text{մնացած շղթաների համար,} \end{cases} \quad (3.12)$$

որտեղ՝  $r$ -ը միավոր երկարության միջմիացման դիմադրությունն է [ՕՄ/Մկմ],  $c$ -ն՝ ունակությունը [ՖՖ/Մկմ],  $L$ -ը՝ տվյալ միջմիացման կիսապարագծային մոդելի երկարությունը [Մկմ],  $t_{\min}$ -ն՝ տեղաբաշխվող բջիջների նվազագույն հապաղումը [սկմ],  $r_0=120t_{\min}r$ ,

$$c_0=120t_{\min}c, \quad L_{0i} = \frac{L_i}{120\tau_{\min}}$$

Օգտագործված SAED90 գրադարանի համար  $t_{\min}=39$  սկմ, իսկ  $r$  և  $c$ -ի համար ընդունված են հետևյալ արժեքները՝  $r=320$  ՕՄ/Մկմ և  $c=1,8$  ՖՖ/Մկմ [1]:

Առաջարկված մեթոդով ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման արդյունքում ստացված ժամանակային պարամետրերը, միջարք թեստային սխեմաների համար, բերված է աղ.3.2-ում:

Մշակված ծրագրի միայն տեղաբաշխմանը վերաբերող մասի աշխատանքի ժամանակացույցի արդյունքները, կախված սխեմայի բարդությունից, բերված է նկ.3.26-ում:

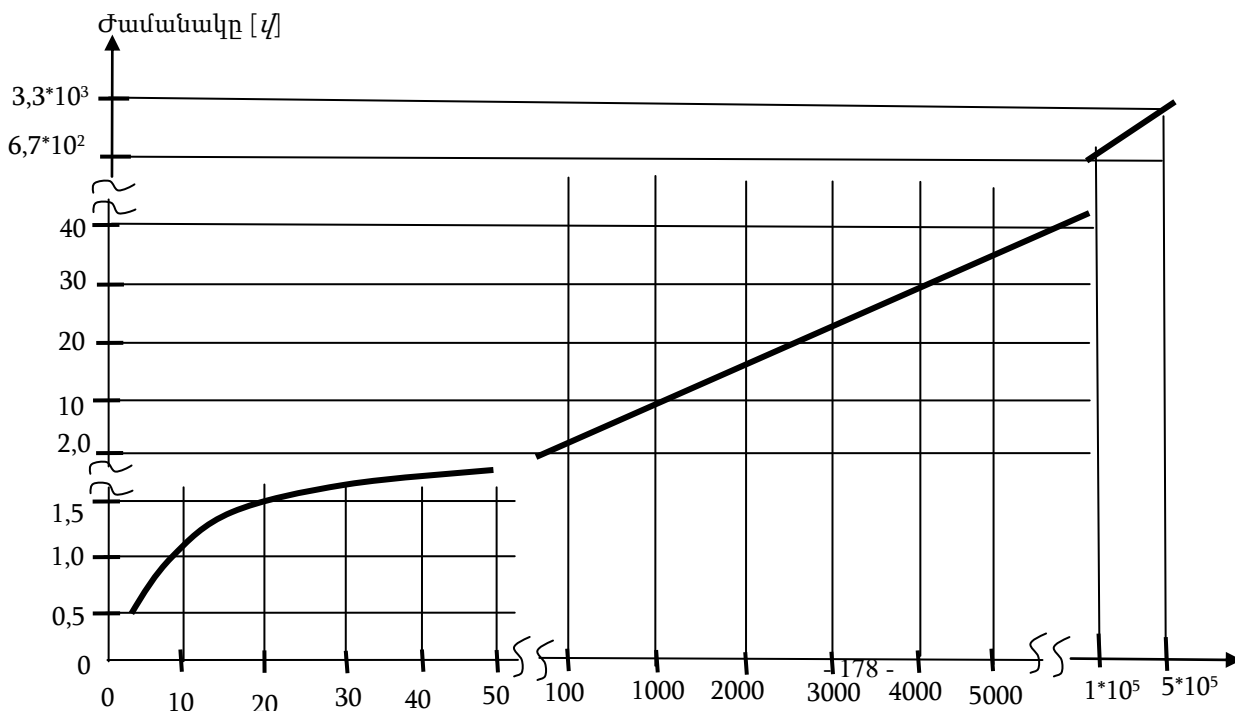
### Աղյուսակ 3.2

Թեստային սխեմաների տարրերի տեղաբաշխման արդյունքում հապաղումների գնահատված արժեքները

Պարամետրերը	Թեստային սխեմայի նշանակումը				
	C17	a28	C432	C1908	C5315
1	2	3	4	5	6
Բջիջների քանակը	6	11	160	880	2307

Շղթաների քանակը	11	17	272	1028	3008
Մեկ շղթայի միջին հապաղումը [սվ]					
1	2	3	4	5	6
առավելագույն պահուստով	2	4,4	8,5	32	77
միջին պահուստով	0	3,2	5,4	15	27
որոշիչ	1,6	2,6	3,5	12	14
Շղթայի հապաղման հարաբերական նվազումը $((t_{max} - t)/t_{max})100\%$ :					
առավելագույն պահուստով	0	0	0	0	0
միջին պահուստով	-	28	37	54	65
որոշիչ	20	41	59	63	82
Միայն բջիջներով պայմանավորված ուղիներին հապաղումը [սվ]					
առավելագույն պահուստով	102	194	701	1250	89
միջին պահուստով	0	235	1070	1842	1750
որոշիչ	153	350	1453	2475	3414
Միայն շղթաներով պայմանավորված ուղիներին հապաղումը [սվ]					
առավելագույն պահուստով	4	4,4	119	331	155
միջին պահուստով	0	8	108	648	954
որոշիչ	5	7,8	249	597	944

Աղյուսակ 3.2-ի շարունակական թյունը



Ինչպես երևում է նկարից, սկսած մոտ 50 տարրերից և շղթաներից կազմված սխեմաներից ծրագրի աշխատանքի ժամանակը ցուցաբերում է սխեմայի բարդություններից կախված գծային կախվածություն, որը լինվիս բավարարում է նախնական տեղաբաշխման ալգորիթմներին ներկայացվող պահանջները:

### **Եզրակացություններ**

1. Առաջարկվել են թվային ԻՍ-երի շղթաների ժամանակային պահուստները հաշվի առնող, տարրերի տեղաբաշխման ալգորիթմ և ծրագրային միջոց: Առաջարկված ալգորիթմն ապահովում է որոշիչ շղթաների երկարության 30-35% նվազում, բոլոր շղթաների գումարային երկարության ոչ ավելի, քան 25% աճի պայմաններում:

### **Նկ. 3.26 Տեղաբաշխման ենթացիկ աշխատանքային ժամանակի կախումը սխեմայի բարդություններից**

2. Առաջարկվել են թվային ԻՍ-երի շղթաների նախնական տեղաբաշխման վրա հիմնված տեղաբաշխման նոր ալգորիթմ և ծրագրային միջոց: Առաջարկված ալգորիթմը, կախված սխեմայի բարդություններից, առավելագույն պահուստով շղթաների համեմատապահովում է որոշիչ շղթաների հապաղումների 20...80% նվազում: Ընդ որում, եթե հաշվի առնենք, որ տեսնուկոգիական չափսերի նվազմանը գուցե չենք սխեմայում առկա հապաղումներում աճում է միջմիացումներով պայմանավորված հապաղումների մասնաբաժինը, ապա պահանջատե, որ առաջարկված մեթոդի արդյունավետությունը համապատասխանաբար կաճի:

3. Առաջարկվել է ստանդարտ բջիջների շարային տեղաբաշխումից կողերի տրված հարաբերությունամբ ուղղանկյան վրա երկչափ տեղաբաշխման ալգորիթմ:

4. Առաջարկվել է, տեղաբաշխման արդյունքում սխեմայի արագագործության գնահատման միջոց՝ հիմնված կիսապարագային մոդելի վրա:

5. Ներկայացված են մշակված միջոցների ծրագրային իրագործումը և թեստային սխեմաների համար, դրա փորձարկման արդյունքները:

#### **Գ Լ ՈՒ Խ 4. Թ Վ Ա Յ Ի Ն Ի Ն Տ Ե Գ Ր Ա Լ Ս Խ Ե Մ Ա Ն Ե Ր Ի Տ Ա Ր Բ Ե Ր Ի Ջ Ե Ր Մ Ա Յ Ի Ն Տ Ե Ղ Ա Բ Ա Շ Խ ՈՒ Մ Ը**

##### **4.1. Ջ Ե Ր Մ Ա Յ Ի Ն Տ Ե Ղ Ա Բ Ա Շ Խ ՈՒ Մ Ը Ո Ր Ա Ե Ս Ի Ն Տ Ե Գ Ր Ա Լ Ս խ Ե մ ան Ե Ր Ի հ ո Լ ս ա Լ ի ո Լ թ Յ ան ք ար ձ ր ա ց մ ան մ ի ջ ո ց**

Է ն ե Ր գ ա ս պ առ մ ան չ ն վ ա գ ո ղ ք ար ձ ր մ ա կ ար դ ա կ ն ե Ր ի պ ա յ մ ան ն ե Ր ո Լ մ Ի Ս -ե Ր ի ի ն տ Ե գ Ր մ ան ան ը ն դ հ ա տ ա ճ ը հ ան գ Ե ց ն ո Լ մ Է կ ի ս ա հ ա ղ ո Ր դ չ ա յ ի ն ք յ ո Լ ր Ե ղ ի տ Ե ս ա կ ար ար Է ն ե Ր գ ա ս պ առ մ ան ան ը ն դ հ ա տ ա ճ ի ն : Մ ի ա ժ ա մ ան ա կ , ն ո Լ յ ն ի ս կ ա մ Ե ն ա Լ ա վ ջ Ե Ր մ ա հ Ե ո ա ց մ ան հ ն ար ա վ ո Ր ո Լ թ Յ ո Լ ն ն ե Ր ո վ պ ա տ յ ան ն ե Ր ի օ գ տ ա գ ո Ր ծ մ ան պ ա յ մ ան ն ե Ր ո Լ մ , ի ն չ պ Ե ս ար դ Ե ն ն շ վ Ե Լ Է առ ա ջ ի ն գ Լ խ ո Լ մ , կ ի ս ա հ ա ղ ո Ր դ չ ա յ ի ն ք յ ո Լ ր Ե ղ ի ա շ խ ա տ ան ք ա յ ի ն ջ Ե Ր մ ա ս տ ի ճ ան ն ե Ր ը կ ար ո ղ Է ն

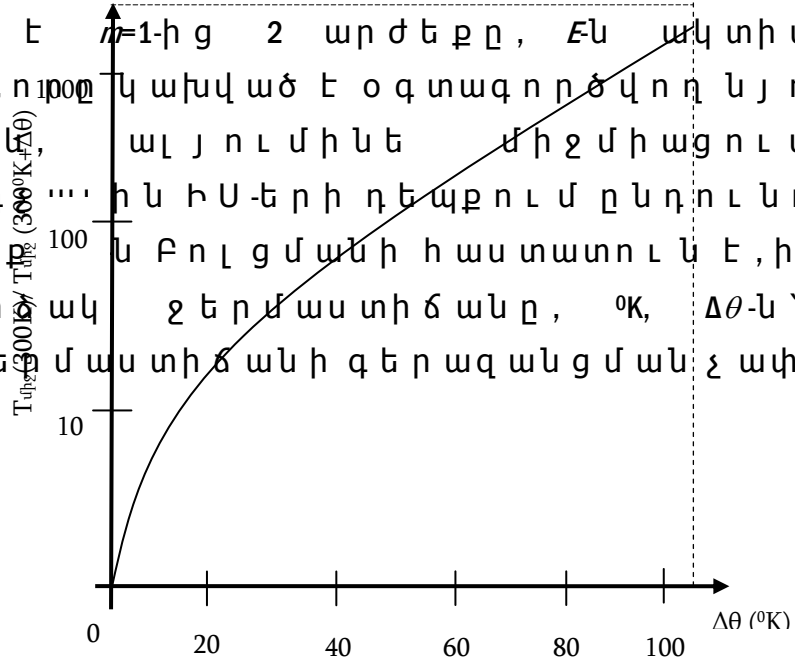
գերազանցել 100°C-ը, իսկ բյուրեղի տարբեր տեղամասերում ջերմաստիճանային տարբերությունները՝ տասնյակ աստիճանները [1, 2, 8, 9, 13, 17-20,]:

Բարձր ջերմաստիճանը բացասական ազդեցություն է ունենում նաև ԳՄԻՍ-ների ժամանակային բնութագրերի վրա: Աշխատանքային ջերմաստիճանի յուրաքանչյուր 10°C-ով բարձրացման դեպքում ՄՕԿ տրանզիստորի տանող ուժը փոքրանում է մոտավորապես 4%-ով, իսկ միջմիացումներով պայմանավորված հապաղումները՝ 5%-ով: Չնախատեսված մեծ ջերմաստիճանային գրադիենտը որոշ դեպքերում կարող է հանգեցնել նույնիսկ տրամաբանական սխալների առաջացման [1, 2, 13]:

Ինչպես հայտնի է, ԻՍ-ի անխափան աշխատանքի միջին ժամանակի կախվածությունը ջերմաստիճանից ( $T_{միջ}(\theta)$ ) ունի էքսպոնենցիալ տեսք (նկ. 4.1) և բնութագրվում է Բլեյբի օրենքով [20, 135]՝

$$T_{միջ}(\theta) = AJ^{-m} \exp\left(\frac{E}{k\theta}\right), \quad (4.1)$$

որտեղ  $A$  պարամետրը կախված է տեխնոլոգիական միկրոկառուցվածքից,  $J$ և  $m$  հոսանքի խտությունն է, իսկ  $m$  ցուցիչը  $J=(0,2\text{-ից } 2,0)10^6 \text{ Ա/սմ}^2$  սահմաններում ընդունում է  $n=1\text{-ից } 2$  արժեքը,  $E$ և  $k$  ակտիվացման էներգիան է, որով կախված է օգտագործվող նյութերի տեսակից  $E$ , ալյումինե միջմիացումներով կիսահաղորդիչի ն ԻՍ-երի դեպքում ընդունում է  $E=0.5, \dots, 0.6 \text{ eV}$  արժեքը:  $k$  Բոլցմանի հաստատուն է, իսկ  $\theta$ -ն՝ ԻՍ-ի բացարակ ջերմաստիճանը,  $^\circ\text{K}$ ,  $\Delta\theta$ -ն՝ ԻՍ-ի բացարձակ ջերմաստիճանի գերազանցման չափը,  $300^\circ\text{K}$ :



Նկ. 4.1. Էլեկտրամիգրացիայով պայմանավորված՝ մինչև խափանումը միջին ժամանակի կախումը ջերմաստիճանից

ԻՍ-ի բյուրեղի վրա տեղային բարձր ջերմային տիրույթներին առկայ ությունը կարող է հանգեցնել սխեմայի առանձին տեղամասերի աշխատանքի վատթարացմանը և հոլսալի ության անկմանը: Բարձր ջերմույթյան առկայ ությունն արագացնում է ԻՍ-երի կառուցվածքներում և օգտագործվող նյութերում ոչ ցանկալի ֆիզիկա-քիմիական գործընթացները, ինչը ժամանակի ընթացքում կարող է հանգեցնել սխեմայի աշխատանքի վերջնական խափանմանը [1, 2, 136, 137]:

Այսպիսով, ԻՍ-ի կիսահաղորդչային բյուրեղի աշխատանքային ջերմաստիճանի բարձրացումը հանգեցնում է դրա հոլսալի ության կտրուկ անկմանը:

Ջերմաստիճանի իջեցման ավանդական միջոցներ՝ ջերմացրիչների և հովացուցիչների օգտագործումը ոչ միշտ է արդարացված, իսկ օրեցօր ընդլայնվող դյուրակիր և ինքնաբավ սնուցմամբ սարքերի դեպքում դրանց կիրառումն ընդհանրապես հնարավոր չէ:

Յետևաբար, ԻՍ-երը նախագծելիս հրատապ են դառնում դրանց ջերմային հոլսալի ության բարձրացման միջոցների մշակման հարցերը:

ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման ժամանակ ջերմային ռեժիմի ապահովման տեսանկյունից կարևորվում է ոչ միայն կիսահաղորդչային բյուրեղի ջերմաստիճանը, այլև ջերմային գրադիենտը: Այս տեսանկյունից հոլսալի ության բարձրացման արդյունավետ ճանապարհ կարող է լինել կիսահաղորդչային բյուրեղի տարբեր տեղամասերում ջերմաստիճանային

տարբերություններին վազեցումը: Սա, առաջին հերթին, վերաբերում է տարրերի տեղաբաշխման փոփոխության: Տեղաբաշխման փոփոխումը ջերմային դաշտի տոպոլոգիական համահարթեցումը կնպաստի բյուրեղի տաք տեղամասերի ջերմաստիճանների իջեցմանը, որոնք ջերմային հոսքի իրականացմանը, առումով առավել վտանգավոր են: Միեւնույն ժամանակ, բյուրեղի համեմատաբար սառը տեղամասերում կնկատվի ջերմաստիճանի որոշակի բարձրացում, քանի որ դրանք կկատարեն յուրօրինակ միկրոհոսքի շարժման գործառնություն: Տեղաբաշխման փոփոխումը կարևորվում է նաև անալոգային և խառը ազդանշանային ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման առանձնահատկությունները հաշվի առնելը: Այս դեպքում սխեմայի բալանսավորվող տեղամասերում տրանզիստորային գոյացրի տարբեր տրանզիստորների աշխատանքային ռեժիմների նույնականության անհրաժեշտություն է առաջանում: Այդպիսի սխեմաների օրինակներ են դիֆերենցիալ օպերացիոն ուժեղարարները, կոմպարատորները, անալոգ-թիվ և թիվ-անալոգ ձևափոխիչները և այլն: Այդ դեպքերում գոյացրի տրանզիստորների ջերմաստիճանների տարբերությունը, որպես կանոն, չպետք է գերազանցի 0,1-ից 0,3°C-ը [13]: Յետևաբար, կարևորվում է ջերմային մոնիթորինգի և վերլուծության միջոցների օգտագործումը տարրերի տեղաբաշխման փոփոխում, ինչը թույլ կտա խոստովել նման իրավիճակներից:

Քանի որ ջերմային դաշտի տոպոլոգիական բաշխումը հիմնականում կախված է տարրերի տեղաբաշխումից, ներկայումս առաջնահերթ կարևորություն է ստանում ջերմային տեղաբաշխման մեթոդների և միջոցների մշակումը

ուսանողները ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման ավտոմատացման համակարգերում: Այս նպատակով, առաջին հերթին, անհրաժեշտությամբ առաջանում է քերական տեղաբաշխման այնպիսի չափանիշների մշակման, որոնք հարմար ձևով ինտեգրվեն նախորդ գլխում քննարկված սխեմաների էլեկտրական կապվածության և ժամանակային հապաղումների վրա հիմնված չափանիշների հետ:

ԻՍ-երի քերական տեղաբաշխման տեսանկյունից ստորև ներկայացված է հեղինակի կողմից կատարված հոլսալիություն և տարրերի քերամաստիճանների բաշխվածության փոխկապվածության վերլուծությունը [13, 138-143]:

ԻՍ-ի նորմալ աշխատանքային ժամանակահատվածի համար, որը բնութագրվում է խափանումների հանդես գալու հավանականությունների անկախության մեկ դրանք բաշխման էքսպոնենտային օրենքով, ԻՍ-ի առավելագույն հոլսալիության ապահովման պայմանը կարտահայտվի դրանխափան աշխատանքի հավանականության առավելագույն արժեքի ապահովման պայմանով [144]՝

$$P(T, \theta) = \exp\left(-T \sum_{i=1}^n v_i(\theta_i)\right) \rightarrow \max, \quad (4.2)$$

որտեղ  $P(T, \theta)$ -ն ԻՍ-ի անխափան աշխատանքի հավանականությունն է՝ կախված ժամանակից  $T$ , և քերամաստիճանից  $\theta$ ,  $v_i(\theta_i)$ -ն՝  $i$ -րդ տարրի խափանման ինտենսիվությունը  $\theta_i$  քերամաստիճանի դեպքում, որը՝ ԻՍ-ում դիտարկվող տարրերի քանակը:

Բարձր ինտեգրման աստիճանով ԻՍ-երի դեպքում մեկ ԻՍ-ի սահմաններում (4.1)-ի բոլոր պարամետրերը, բացի  $\theta$  քերամաստիճանից, կարելի է ընդունել մոտավորապես հավասար բոլոր տարրերի համար: Եթե (4.1)-ում, պարզեցման նպատակով, կատարվեն հետևյալ



նշանակումները՝  $B = (AJ^{-m})^{-1}$  և  $C = \frac{k}{E}$ , ինչպես նաև հաշվի առնելով, որ (4.2) պայմանում անխափան աշխատանքի  $P(T, \theta)$  հավանականությունը,  $(v_i(\theta_i))$ -ից կախված, մոնոտոն նվազող ֆունկցիա է, և քանի որ խափանումների ինտենսիվությունը  $(v(\theta))$  հակադարձ համեմատական է անխափան աշխատանքի միջին ժամանակին  $(T_{սրբ}(\theta))$ , ապա (4.2)-ից առավելագույն հոլսալիությունն ապահովման պայմանը՝ կախված ջերմաստիճանից, կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$v_i(\theta_i) = (T_{սրբi}(\theta_i))^{-1} = (B \exp(C\theta_i)) \rightarrow \min: \quad (4.3)$$

Քանի որ (4.3)-ում  $v_i(\theta_i)$ -ն ջերմաստիճանից կախված մոնոտոն աճող ֆունկցիա է, ապա էքսպոնենտը վերլուծելով աստիճանային շարքի և սահմանափակվելով առաջին երկու կախյալ անդամներով, առավելագույն հոլսալիությունն ապահովման պայմանը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$\sum_{i=1}^n (a_i + b_i \theta_i + c_i \theta_i^2) \rightarrow \min, \quad (4.4)$$

որտեղ  $a_i, b_i$  և  $c_i$  բազմանդամի գործակիցներ են:

Որպեսզի (4.4) պայմանը բերվի ԻՍ-ում տարրերի տեղաբաշխման խնդրի համար հարմար տեսքի, սահմանենք ԻՍ-ի տարրերի միջին ջերմաստիճանը՝ որպես բոլոր տարրերի ջերմաստիճանների միջին

թվաբանական՝  $\theta_{սրբ} = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i}{n}$  և (4.4)-ում կատարենք որոշ

ձևափոխություններ՝

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (a_i + b_i \theta_i + c_i \theta_i^2) &= \sum_{i=1}^n (a_i + b_i \theta_i + c_i (\theta_i - \theta_{սրբ} + \theta_{սրբ})^2) = \\ &= \left( \sum_{i=1}^n a_i + \sum_{i=1}^n b_i \theta_i + \sum_{i=1}^n c_i (\theta_i - \theta_{սրբ})^2 + 2 \sum_{i=1}^n c_i (\theta_i - \theta_{սրբ}) \theta_{սրբ} + \sum_{i=1}^n c_i \theta_{սրբ}^2 \right) \rightarrow \min: \end{aligned} \quad (4.5)$$

Ակնհայտ է, որ (4.5) արտահայտության նվազագույն արժեքի ստացման նպատակով անհրաժեշտ է ապահովել բոլոր հինգ գումարելիների նվազագույն արժեքները: ԻՍ-ի բյուրեղի մակերևույթին ջերմաստիճանի հավասարաչափ բաշխման տեսանկյունից այդ գումարելիներից ուղղաձուգական միայն  $\left( \sum_{i=1}^n c_i (\theta_i - \theta_{\text{միջ}})^2 \right)$  և  $\left( 2 \sum_{i=1}^n c_i (\theta_i - \theta_{\text{միջ}}) \theta_{\text{միջ}} \right)$

արտահայտությունները, քանի որ մնացած երեք գումարելիների արժեքները կախված չեն տարրերի փոխադարձ դասավորությունից: Եթե հաշվի առնվի, որ  $c_i$  գործակիցները կախված չեն ջերմաստիճանից, և միևնույն բյուրեղի վրա բոլոր տարրերի համար դրանց արժեքները նույնն են ( $c_1=c_2=\dots=c_n=c_0$ ), ապակարելի է գրել՝

$$2 \sum_{i=1}^n c_i (\theta_i - \theta_{\text{միջ}}) \theta_{\text{միջ}} = 2c_0 \theta_{\text{միջ}} \sum_{i=1}^n (\theta_i - \theta_{\text{միջ}}) = 2c_0 \theta_{\text{միջ}} \left( \sum_{i=1}^n \theta_i - n \sum_{i=1}^n \frac{\theta_i}{n} \right) = 0:$$

Այսպիսով, (4.5)-ից հետևում է, որ տարրերի տեղաբաշխման տեսանկյունից ԻՍ-ի ջերմային հոսալիությունն պայմանը բերվում է բյուրեղի մակերևույթին ջերմաստիճանի հավասարաչափ բաշխմանը, ինչը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$\left( \sum_{i=1}^n (\theta_i - \theta_{\text{միջ}})^2 \right) \rightarrow \min : \quad (4.6)$$

Ստացված (4.6) պայմանը ներկայացնում է տարրերի ջերմաստիճանների միջինից շեղումների քառակուսիների գումարը և բնութագրում է ԻՍ-ի ջերմային դաշտի տոպոլոգիական հավասարաչափությունը:

Որպեսզի նախորդ պայմանը բերվի գույքատարրերի ջերմաստիճանների տարբերությունն տեսքի, ինչը անհրաժեշտ է տարրերի փոխադարձ դասավորության տեսանկյունից՝ հաշվի առնելով  $\theta_{\text{միջ}}$ -ի սահմանումը, կարելի է գրել, որ՝

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (\theta_i - \theta_{\text{avg}})^2 &= \sum_{i=1}^n \left( \theta_i - \left( \frac{\sum_{j=1}^n \theta_j}{n} \right) \right)^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \left( n\theta_i - \sum_{j=1}^n \theta_j \right)^2 = \\ &= \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \left( (n-1)\theta_i + \theta_i - \sum_{j=1, j \neq i}^n \theta_j \right)^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1, j \neq i}^n (\theta_i - \theta_j) \right)^2 \rightarrow \min : \end{aligned} \quad (4.7)$$

Ստացված (4.7) պայմանից հետևում է առաջին գումարի յոլրաքանչյուր անդամի միևնույն պայմանը՝

$$\left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (\theta_i - \theta_j) \right)^2 \rightarrow \min, i=1, 2, \dots, n \text{ համար :} \quad (4.8)$$

Քանի որ  $\left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (\theta_i - \theta_j) \right)^2 \geq 0, i=1, 2, \dots, n$  համար, ապա (4.8)-ից

հետևում է հետևյալ պայմանը՝

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |\theta_i - \theta_j| \rightarrow \min, i=1, 2, \dots, n \text{ համար :} \quad (4.9)$$

Հաշվի առնելով վերնասվածը, ինչպես նաև այն հանգամանքը, որ  $\frac{1}{n^2}$  արտահայտության արժեքը կախված չէ տարրերի տեղաբաշխումից, (4.7) պայմանը կարող ենք փոխարինել հետևյալ պայմանով՝

$$\sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |\theta_i - \theta_j| \rightarrow \min : \quad (4.10)$$

Ստացված (4.10) պայմանը ԻՍ-ի ջերմային դաշտի տոպոլոգիական հավասարաչափում (4.6) պայմանի ներկայացումն է՝ առանձին տարրերի ջերմաստիճանների տեսքով:

Քանի որ տարրերի տեղաբաշխման փոփոխում հայտնի են դրանց ոչ թե ջերմաստիճանները, այլ հզորությունները, ապա (4.10) պայմանը ջերմային տեղաբաշխման չափանիշի փոխարկելու նպատակով անհրաժեշտ է դրանում առկա ջերմաստիճաններն արտահայտել համապատասխան հզորություններով, ինչը կդիտարկվի հաջորդելն ագլխում:

Ամփոփելով վերը շարադրվածը՝ կարելի է եզրակացնել .

- ԻՍ-երի հոլսալիոլթյունը խիստ կախված է նրանց ջերմաստիճանից (Բլեյքիօրենքը):
- ԻՍ-երի հոլսալիոլթյան բարձրացման արդյունավետ ճանապարհ տարրերի տեղաբաշխման փոփոխում, կարող է հանդիսանալ ջերմաստիճանների տոպոլոգիական բաշխվածություն համահարթեցման ապահովումը, ինչը կհանգեցնի կիսահաղորդչային բյուրեղի վրա ջերմային գրադիենտի փոքրացմանը, որը, իր հերթին, հոլսալիոլթյան տեսակետից կապահովի բարձր ջերմային տեղամասերում առավել վտանգավոր տեղային ջերմաստիճանների իջեցումը և ջերմային հոլսալիոլթյան բարձրացումը:

#### **4.2. Ջերմային տեղաբաշխման չափանիշի մշակումը**

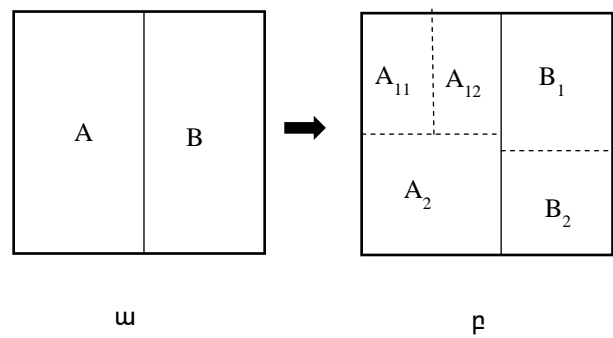
Ջերմային տեղաբաշխման առկա մեթոդները խնդիրը լուծում են երկու փոփոխվող՝ նախնական տեղաբաշխում՝ հիմնված մոտավոր արագագործ ալգորիթմների վրա, և վերջնական՝ հիմնված բազմակրկնակի ալգորիթմների վրա, որոնք լավարկում են նախնական տեղաբաշխումը [14, 18, 145]: Ինչպես և ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման դեպքում, մեծ մասամբ նախնական տեղաբաշխման որակից է կախված երկրորդ փոփոխիտերացիաների քանակը և, հետևաբար, նաև տեղաբաշխման խնդրի լուծման ընդհանուր ժամանակը:

Գրականությունից հայտնի ջերմային տեղաբաշխման ալգորիթմները կարելի է դասակարգել երկու խմբի [145-148]՝

- մասնատման վրահիմնված ալգորիթմներ ,
- մատրիցային ալգորիթմներ :

Առաջին խմբի ալգորիթմները հարմար են նախնական տեղաբաշխման փոփոխում կիրառելու համար : Դրանց հիմքում ընկած է տարրերի նախնական դասակարգումն ըստ նրանց հզորությունների : Այնուհետև որոշակի էվրիստիկ ընթացակարգերի օգտագործմամբ՝ կատարվում է տարրերի տեղաբաշխում՝ նպատակ ունենալով հզորությունների հնարավորինս հավասարաչափ ցրումը տեղաբաշխման մակերեսի վրա : Ստորև դիտարկված են այդ ալգորիթմների աշխատանքի մեխանիզմները :

Եթե սխեման կազմված է  $n$  տարրերից, որոնց հզորությունները հայտնի են՝  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , ապա առաջին քայլում կատարվում է տարրերի դասակարգում՝ ըստ դրանց հզորությունների աճի կամ նվազման՝  $P_1 \geq P_2 \geq \dots \geq P_n$  : Այնուհետև մասնատման վրահիմնված ալգորիթմներում կատարվում է տարրերի մասնատում երկու այնպիսի խմբերի, որ դրանցում հայտնված տարրերի գումարային հզորությունները լինեն հնարավորինս իրար հավասար : Այդ խմբերին համապատասխանեցվում են տեղաբաշխման մակերեսի համապատասխան տեղամասեր, ինչպես սցոլյոզ է տրված նկ.4.2-ում :



Նկ.4.2.Սխեմայի մասնատմամբ ջերմային տեղաբաշխման իրագործումը

Յատկանշական է, որ այդ մակերեսները ոչ միշտ են ճշգրիտ իրար հավասար, քանի որ տարաչափ տարրերի առկայությունը դեպքում կարող են առաջանալ որոշակի մակերեսային տարբերություններ: Խիստ տարաչափ տարրերի դեպքում, սխեման մասնատելիս, առաջնային է համարվում մակերեսների մոտիկություն պահանջը, որը կառաջացնի խմբերում տարրերի քանակների տարբերություն: Բոլոր դեպքերում առաջնային է համարվում խմբերում տարրերի գումարային հզորություն մոտիկության պայմանը՝  $\sum_{i \in A} P_i \approx \sum_{j \in B} P_j$ : Նկ. 4.2. ա-ում պատկերված

առաջնային մասնատումը շարունակվում է հիերարխիկ մասնատման սկզբունքով, մակերեսի հորիզոնական և ուղղահայաց բաժանումների հաջորդականությամբ, ինչպես պատկերված է նկ. 4.2. բ-ում: Այսպիսի հիերարխիկ մասնատման գործընթացը շարունակվում է այնքան, մինչև առաջանան այնպիսի ենթամասեր, որոնցում լինի մեկ տարր կամ նախօրոք տրված թվով փոքր քանակությամբ տարրեր: Արդյունքում ստացվում է տարրերի հզորությունների հնարավորինս հավասարաչափ ցրում տեղաբաշխման մակերեսի վրա:

Ջերմային տեղաբաշխման մատրիցային ալգորիթմներում, ըստ հզորությունների աճիկամ նվազման տարրերի դասակարգումից հետո, լուծվում է մատրիցային համահավասարեցման խնդիր: Խնդիրը դրվում է հետևյալ կերպ. տրված թվերի բազմությունից սինթեզել այնպիսի մատրից, որ դրա՝ նախօրոք տրված չափի բոլոր ենթամատրիցներում հայտնված թվերի գումարներից առավելագույնը լինի հնարավորինս փոքր:

Այս դեպքում մատրիցի թվերը ներկայացնում են տարրերի հզորությունները, մատրիցի չափողականությունը համապատասխանում է տեղաբաշխվող տարրերի քանակին, իսկ տողերի և սյունների հարաբերակցությունը՝ տեղաբաշխման ուղղանկյուն մակերեսի կողերի հարաբերակցությանը: Խնդրի նման դրվածքը ներկայացնում է կոմբինատորական խնդիր, որի ճշգրիտ լուծումը ենթադրում է լրիվ ընտրանքի կիրառում, այսինքն՝ *n!* տեղաբաշխման տարբերակների դիտարկում: Քանի որ այսպիսի մոտեցումը կպահանջի հաշվողական մեծ ժամանակ, ապագործնականում կիրառում են մատրիցի ստացման որոշ էվրիստիկ ընթացակարգեր, որոնցից առավել մեծ տարածում է գտել հետևյալ ընթացակարգը: Սկզբում տրվում է դիտարկվող տեղային ենթամատրիցների չափողականությունը: Սակատարվում է փորձնական ճանապարհով՝ հիմնվելով ջերմափոխանակության տեղային ազդեցության սկզբունքի վրա [149]: Յամաձայն դրա՝ ջերմային դաշտի ցանկացած տեղային գրգռումը ջերմափոխանակության տեսակետից հանդիսանում է տեղային և չի տարածվում դաշտի հեռավոր կետերի վրա: Այնուհետև ըստ տարրերի հզորությունների աճի կամ նվազման դասակարգված շարքը տրոհվում է այնքան մասեր, որքան բջիջ կա յուրաքանչյուր ենթամատրիցում: Ենթամատրիցներից յուրաքանչյուրին վերագրվում է մեկական տարր՝ շարքի բաժանման արդյունքում ստացված յուրաքանչյուր ենթաբազմություններից: Նկ. 4.3-ում պատկերված է 12 տարրերի ջերմային տեղաբաշխման օրինակ, որոնց հզորություններին վերագրված են 0-ից 8 թվեր:

1	0	3	7
2	8	7	0
0	4	8	2
3	3	1	3

ա)

Նկ.

0	8	1	8
1	3	0	3
3	3	0	4
0	7	2	7

բ)

0	3	0	3
3	8	2	7
0	3	1	4
2	8	1	7

գ)

4.3. Սխեմ մայի մատրիցայի նշերի մայի նտեղաբաշխման օրինակը.

ա-պատահական տեղաբաշխում, բ-լավարկված տեղաբաշխում, գ-էվրիստիկ լավարկման արդյունք

Տեղաբաշխումը կատարվել է 4x4 մատրիցի վրա, իսկ ենթամատրիցների չափը վերցված է 2x2: Պատահական տեղաբաշխման դեպքում, որը բերված է նկ. 4.3. ա-ում, ենթամատրիցներից առավելագույն գումարը ստացվել է 27: Լրիվ ընտրանքի ճանապարհով ստացված լավարկված տեղաբաշխման դեպքում այդ արդյունքը 13 է: Լրիվ ընտրանքից խուսափելու նպատակով կարելի է կիրառել որոշ էվրիստիկ ընթացակարգեր, որոնք կտան լավագույնի նմուշը լուծումներ: Օրինակ՝ շարքի բաժանման արդյունքում ստացված յուրաքանչյուր ենթաբազմաթյուններից կարելի է վերցնել տարրերի հզորությունների՝ փոքր-մեծ կրկնվող հաջորդականությունը: Բերված օրինակում, այս ընթացակարգի կիրառման արդյունքում, ըստ հզորությունների աճի տարրերի դասակարգումից հետո շարքի բաժանումից առաջացած քառյակները կլինեն՝ 1) 0, 0, 0, 1; 2) 1, 2, 2, 3; 3) 3, 3, 3, 4; 4) 7, 7, 8, 8: Օգտվելով հզորությունների մեծ-փոքր կրկնվող հաջորդականությունից և ընտրված տարրերը տեղաբաշխելով վերևից ներքև, ճախից աջ հերթականությամբ կստացվի նկ. 4.3. գ-ում բերված տեղաբաշխման մատրիցը, որում առավելագույն ենթամատրիցային գումարը ստացվում է 14:



Այս ալգորիթմների հիմնական թերույթյունն այն է, որ ջերմային տեղաբաշխման ընթացքում հաշվի չեն առնում տարրերի սխեմատիկական կապվածությունը՝ հետառնելով չափանիշները, որի արդյունքում կարող են ստացվել ջերմային ռեժիմի տեսանկյունից լավ, սակայն արագագործության առումով ոչ բավարարար արդյունքներ: Այս դեպքում, որպես կանոն, սխեմատիկ կապվածության հարցերը դիտարկվում են տեղաբաշխման լավարկման փուլում՝ օգտվելով բազմակրկնակի լավարկման ալգորիթմներից և տարրերի էլեկտրական կապվածությունը հաշվի առնող չափանիշներից, որոնք դիտարկվել են նախորդ գլխում:

Ամփոփելով վերնասվածը՝ ակնհայտ է դառնում նախնական տեղաբաշխման այնպիսի չափանիշների մշակման անհրաժեշտությունը, որոնք ջերմային ռեժիմի հետ միաժամանակ հաշվի կառնեն նաև տարրերի էլեկտրական կապվածությունները:

Ստորև ներկայացված է հեղինակի կողմից մշակված տարրերի ջերմային տեղաբաշխման չափանիշ, որը հիմնված է ԻՍ-ի ջերմային դաշտի տոպոլոգիական հավասարաչափության (4.10) պայմանի վրա, և որի մաթեմատիկական տեսքը համանման է տարրերի էլեկտրական կապվածության նախորդ գլխում բերված (3.7) և (3.8) չափանիշներին [142, 143, 148, 150-154]:

**Ջերմային ռեժիմի տոպոլոգիական չափանիշի մշակումը:** Ենթադրվում է, որ ԻՍ-ի տարրերի հզորությունները, ԻՍ-ի բյուրեղի առանձին տեղամասերի ջերմահաղորդականության և ջերմափոխանակության գործակիցները կախված չեն ջերմաստիճանից: Դիցուք տրված է տարրերի որոշակի տեղաբաշխում, որում տարրերի համարները համընկնում են իրենց տեղաբաշխման դիրքերի համարներին: Համաձայն ջերմափոխանակության տեսությունից հայտնի համադրման սկզբունքի՝

որևէ իր դ տարրի ստացիոնար շերմաստիճանը որոշվում է բոլոր տարրերի փոխադարձ շերմային ազդեցություններից [149, 155]՝

$$\theta_i = \theta_0 + \sum_{k=1}^n P_k R_{\rho ki}, \quad (4.11)$$

որտեղ  $\theta_0$ -ն արտաքին միջավայրի շերմաստիճանն է,  $P_k$ -ն՝  $k$ -րդ տարրի հզորությունը,  $R_{\rho ki}$  -ը՝  $k$ -րդ և  $i$ -րդ դիրքերի միջև շերմային դիմադրությունը:

Իր և  $j$ -րդ տարրերի համար (4.11) արտահայտությունները գումարից առանձնացնենք այն անդամները, որոնք որոշում են տարրերի սեփական գերտաքացումները և դրանց փոխադարձ ազդեցությունը:

$$\theta_i = \theta_0 + P_i R_{\rho ii} + P_j R_{\rho ji} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i, j}}^n P_k R_{\rho ki},$$

$$\theta_j = \theta_0 + P_j R_{\rho jj} + P_i R_{\rho ij} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i, j}}^n P_k R_{\rho kj}: \quad (4.12)$$

Այդ դեպքում  $i$ -րդ և  $j$ -րդ տարրերի շերմաստիճանների տարբերությունը կլինի՝

$$\theta_i - \theta_j = \theta_0 - \theta_0 + P_i R_{\rho ii} - P_j R_{\rho jj} + P_j R_{\rho ji} - P_i R_{\rho ij} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i, j}}^n P_k R_{\rho ki} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i, j}}^n P_k R_{\rho kj}: \quad (4.13)$$

Բարձր ինտեգրման աստիճանով և կառուցվածքային համասեռությամբ օժտված ԻՍ-ի համար կարելի է ընդունել տարրերի տեղաբաշխման բոլոր դիրքերի սեփական շերմային դիմադրությունների արժեքների հավասարությունը, այսինքն՝  $R_{\rho ij} \approx R_{\rho ji} = R_{\rho 0}$ ;  $i, j=1, \dots, n$  համար:

Չաշվի առնելով նաև, որ  $\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i, j}}^n P_k R_{\rho ki}$  և  $\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i, j}}^n P_k R_{\rho kj}$  գումարների

արժեքները քիչ են կախված  $i$ -րդ և  $j$ -րդ տարրերի փոխադարձ դասավորություններից, և նկատի ունենալով (4.10) և (4.13) արտահայտությունները, որպես ստեղծաբաշխման չափանիշ, որը հաշվի կառնի ԻՍ-ի

բյուրեղի վրա ջերմաստիճանի տոպոլոգիական հավասարաչափ բաշխումը, կստացվի՝

$$\sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |(P_i - P_j)(R_{\rho 0} - R_{\rho ij})| \rightarrow \min : \quad (4.14)$$

Քանի որ  $R_{\rho ij}$ -ն նվազող ֆունկցիա  $i$ -րդ և  $j$ -րդ տարրերի երկրաչափական հեռավորություններից ( $d_{ij}$ ), ապա  $(R_{\rho 0} - R_{\rho ij})$ -ի մեծ արժեքներին կհամապատասխանեն  $d_{ij}$  -ի մեծ արժեքներ և հակառակը: ԻՍ-ի առավելագույն հոլսալի ու թյան ապահովման տեսանկյունից տարրերի ջերմային տեղաբաշխման չափանիշը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$f_{\rho} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n |P_i - P_j| d_{ij} \rightarrow \min : \quad (4.15)$$

Չափվի առնելով (4.15)-ը և 1.5-ում բերված նախնական տեղաբաշխման խնդրի դրվածքը, ԻՍ-երի տարրերի ջերմային տեղաբաշխման խնդիրը կարելի է ձևակերպել հետևյալ կերպ: Անհրաժեշտ է գտնել ԻՍ-ի տրված հզորություններից տարրերի փոխադարձ տոպոլոգիական հեռավորությունների ( $d_{ij}; i, j = 1, 2, \dots, n$ ) այնպիսի կոորդինատներ, որոնք բավարարեն (4.15) պայմանը: Ինչպես արդեն նշվել է 1.5-ում, այսպիսի խնդիրը ներկայացնում է կոմբինատորական խնդիր, որի ճշգրիտ լուծումը ենթադրում է տեղաբաշխման տարբերակների լրիվ ընտրանք, ինչը գործնականում հնարավոր չէ: Նախնական տեղաբաշխման փոփոխում, նախորդ գլխում նկարագրված ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխմանը համանման ձևով, տեղաբաշխման բավարարող կարելի է ապահովել տեղաբաշխման հաջորդական ալգորիթմների կիրառմամբ:

Մաթեմատիկական տեսանկյունից ստացված (4.15) չափանիշը ներկայացնում է երկու տողմատրիցների սկալյար արտադրյալ, որոնց անդամները,

համապատասխանաբար, գոլյգ տարրերի փոխադարձ հզորությունների տարբերության բացարձակ արժեքները և դրանց միջև տոպոլոգիական հեռավորություններն են: Այդպիսի արտահայտության նվազագույնը կապահովվի այն դեպքում, երբ այդ մատրիցների անդամներն ըստ իրենց արժեքների դասավորված են հակառակ կարգով:

Ստացված (4.15) պայմանը նախագծողի տեսանկյունից նշանակում է, որ բացարձակ արժեքով մեծ հզորությունամբ տարբերվող տարրերը անհրաժեշտ է հնարավորինս իրար մոտ տեղադրել և հակառակը, ինչը կհանգեցնի կիսահաղորդչային բյուրեղի ջերմային դաշտի հավասարակշռմանը, և հետևաբար՝ կնվազեն հոլսալիության տեսանկյունից ամենավտանգավոր տեղամասերի ջերմաստիճանները:

Հիմնվելով վերը շարադրված ի վրա և ելնելով (4.15) չափանիշի տեսքից՝ ԻՍ-երի տարրերի հզորությունների տեսանկյունից ջերմային տեղաբաշխման խնդիրը կարելի է ձևակերպել հետևյալ կերպ: ԻՍ-ի տարրերի տրված հզորությունների դեպքում պահանջվում է գտնել տարրերի այնպիսի տեղաբաշխում, որ դրանց դիրքերի միջև փոխադարձ տոպոլոգիական հեռավորությունները ( $d_{ij}; i, j = 1, \dots, n$ ) բավարարեն (4.15) պայմանը: Ստացված չափանիշի տեսքը թույլ է տալիս տարրերի նախնական տեղաբաշխման փոփոխում օգտվել գծային բարդությունամբ հաջորդական տեղաբաշխման ալգորիթմներից, որոնք տալիս են բավարարարարդյունք, որը տեղաբաշխման ավարկման բազմակրկնակի ալգորիթմներով կարելի է հետագայում բարելավել:

ԻՍ-երի իրական կառուցվածքների վերլուծության համար անհրաժեշտ է հաշվի առնել ջերմափոխանակության սահմանային պայմանները և

նյութերի շերմաֆիզիկական հատկությունները: Մասնավորապես, պետք է հաշվի առնել, որ կիսահաղորդչային բյուրեղի եզրային սահմանների մոտ շերմափոխանակությունն ավելի լավ է, քան դրական տրոնական մասերում: Չերմային դաշտի վրա մեծ ազդեցություն կարող են գործել նաև մետաղական միջմիացումների ուղղվածությունները, որոնց շերմային դիմադրությունը շատ անգամ փոքր է կիսահաղորդչի շերմային դիմադրությունից: Ընդհանուր առմամբ, որքան բարդ է ԻՍ-ի կառուցվածքը, այնքան ավելի դժվար է հաժվի առնել շերմափոխանակության եզրային սահմանները: Չերմափոխանակության պայմանների վերլուծության անալիտիկ մեթոդները հաճախ այնքան բարդ և աշխատատար են, իսկ դրանց ճշտությունն այնքան ցածր է, որ համակարգի շերմային դաշտի ուսումնասիրության այս ճանապարհը կարող է դառնալ աննպատակահարմար: Դա է պատճառը, որ իրական ԻՍ-երի շերմային դաշտի վերլուծության նպատակով հիմնականում օգտվում են փորձարարական մեթոդներից, օրինակ՝ կիսահաղորդչային բյուրեղի մակերևույթի ինֆրակարմիր ճառագայթմամբ շերմատեսագրիչներից [156]: Սակայն, ուսումնասիրության փորձարարական մեթոդները չեն կարող օգտագործվել ԻՍ-երի նախագծման փուլում: Այս նպատակով ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման փուլում, երբ արդեն հայտնի են առանձին տարրերի հզորությունները, օգտագործվում են շերմափոխանակության պարզեցված մոդելներ, որոնք ապահովում են բավարար ճշտություն:

Հաշվի առնելով շերմափոխանակության տեսությունից հայտնի տեղային ազդեցության սկզբունքը [149, 155], ինչպես նաև ԻՍ-երի ինտեգրման

մեծ աստիճանը, առաջարկված ջերմային տեղաբաշխման (4.15) չափանիշը կարող է ապահովել ջերմային դաշտի համահարթեցում կիսահաղորդչային բյուրեղի մակերևույթի հիմնական մասի վրա:

Ինչպես արդեն նշվել է նախորդ գլխում, տարրերի նախնական տեղաբաշխման ավանդական ալգորիթմներում, որպես տեղաբաշխման չափանիշ է օգտագործվում տարրերի կապվածության (3.7) տեսքի չափանիշը, որն ապահովում է կապերի գումարային երկարության նվազարկում:

Չամադրելով (3.7) և (4.15) չափանիշները, առաջարկվում է տեղաբաշխման ընդհանրացված չափանիշ, որը հաշվի կառնի ինչպես տարրերի էլեկտրական կապվածությունը, այնպես էլ ԻՍ-ի ջերմային ռեժիմը [151, 152]:

Առաջարկվող չափանիշի օգտագործման արդյունավետությունը դիտարկված է հաջորդ ենթագլխում:

Ամփոփելով վերը շարադրվածը՝ կարելի է եզրակացնել.

- ԻՍ-երի տարրերի նախնական ջերմային տեղաբաշխման գոյությունը ունեցող ալգորիթմերը հաշվի չեն առնում տարրերի էլեկտրական կապվածությունը:
- Մշակված և տեսականորեն հիմնավորված է ԻՍ-երի տարրերի նախնական ջերմային տեղաբաշխման նոր չափանիշ, որի հիմքում ընկած է տարրերի միջոցով ցրվող հզորությունների հավասարաչափ տոպոլոգիական բաշխումը:
- Մշակված ջերմային տեղաբաշխման չափանիշի մաթեմատիկական տեսքը թույլ է տալիս այն համադրել էլեկտրական կապվածության (3.7) չափանիշի հետ և տարրերի նախնական

տեղաբաշխման փուլում օգտագործել ԻՍ՝  
տարրերի տեղաբաշխման ընդհանրացված  
չափանիշի տեսքով:

### **4.3. ԻՍ-էրի տարրերի տեղաբաշխումը ջերմային ռեժիմի հաշվառմամբ**

Նախորդ բաժնում ստացված (4.15) չափանիշի հիման վրա իրագործվել է հաշնորդական տեղաբաշխման ալգորիթմ: Առաջարկվող մեթոդի արդյունավետության գնահատման նպատակով որպես օրինակ դիտարկել ք ջերմային տեղաբաշխման իրագործումը վեց տրամաբանական բջիջներից կազմված ISCAS 85 շարքի պարզագույն C17 թեստային սխեմայի օրինակով, որի տեսքը բերված է նկ. 3.4-ում: Ստորև իրականացված է C17 թեստային սխեմայի տարրերի շարային տեղաբաշխում՝ օգտվելով ինչպես տարրերի կապվածության (3.7), այնպես էլ ջերմային տեղաբաշխման (4.15) չափանիշներից:

Խնդրի լուծման պարզեցման նպատակով ընդունվել են հետևյալ պայմանականությունները, որոնք տեղաբաշխման առաջարկվող չափանիշի արդյունավետության գնահատման տեսանկյունից չեն ազդում հիմնական խնդրի վրա՝

- բջիջների տեղերի տոպոլոգիական չափերի հավասարաչափությունը,
- բջիջների՝ առանց բացակների շարային տեղաբաշխումը,
- բջիջների հզորությունների ներկայացումը պայմանական միավորներով:

Դիտարկվող սխեմայի C1, C2, C3, C4, C5 և C6 տրամաբանական բջիջների համար ընդունված են ցրվող հզորությունների պայմանական միավորներով կամայական արժեքներ, համապատասխանաբար՝

$$P1=P2=P3=10, P4=P6=20 \text{ և } P5=30:$$

Տարրերի էլեկտրական կապերի  $R = ||r_{ij}||$  մատրիցը և դրա հիման վրա տարրերի տեղաբաշխման հաշվարկը բերված են նկ. 3.6-ում: Բջիջների հզորությունների փոխադարձ տարբերությունների բացարձակ արժեքների  $\Delta P = |||P_i - P_j|||$  մատրիցը և դրա հիման վրա տարրերի տեղաբաշխման հաշվարկը բերված են նկ. 4.4-ում:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$
C1	0	0	0	10	20	10	40	X	X	X	X	X
C2	0	0	0	10	20	10	40	40	20	X	X	X
C3	0	0	0	10	20	10	40	40	20	20	-20	X
C4	10	10	10	0	10	0	40	20	X	X	X	X
C5	20	20	20	10	0	10	80	40	20	-20	X	X
C6	10	10	10	0	10	0	40	20	20	0	-20	-40

Նկ. 4.4. ISCAS 85 շարքի C17 թեստային սխեմայի տարրերի ջերմային տեղաբաշխման հաշվարկի ընթացքը

Իրագործվել է շարային տեղաբաշխման հաջորդական ալգորիթմ, որը հիմնված է (1.14) հավակնորդություն  $\Phi$  նկատմամբ 1.5 ենթագլխում բերված տեղաբաշխման ընթացակարգի վրա և համանման է 3.2. բաժնում բերված ալգորիթմին: Ալգորիթմը իրականացված է՝ հիմնվելով հետևյալ հիմնական գործընթացի ռեկուրսիվ կրկնություն վրա: Հերթական մոտակա դիրքում տեղադրվում է այն տարրը, որն օժտված է  $\beta$  հավակնորդություն  $\Phi$  նկատմամբ նվազագույն արժեքով, որն իր հերթին սահմանվում է որպես հերթական տեղաբաշխվող տարրի՝ դեռևս չտեղադրված և արդեն տեղադրված տարրերի բազմությունների հետ կապվածությունների տարբերություն: Հաշվի առնելով վերը շարադրվածը, չտեղաբաշխված հերթական  $i$  - ընտրվող տարրի համար տեղաբաշխման հավակնորդության  $\Phi$  նկատման կունենա հետևյալ տեսքը՝

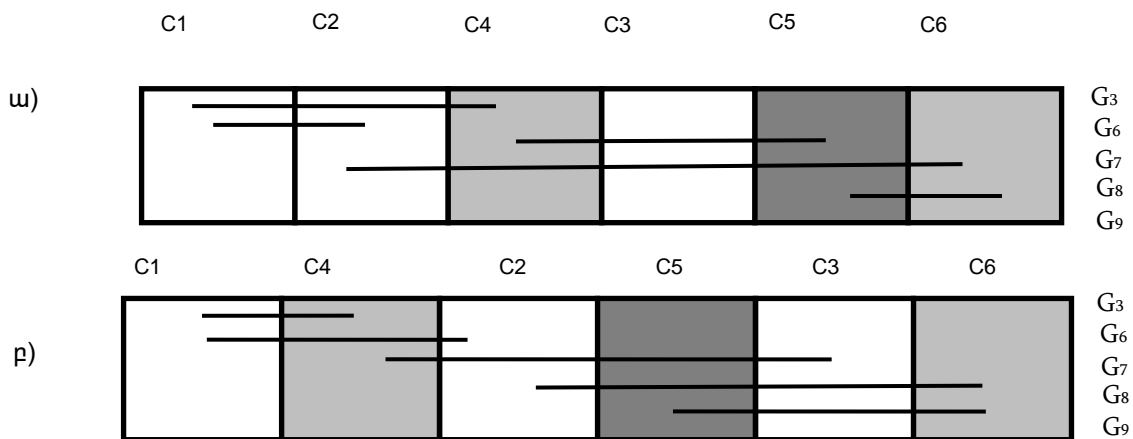


$$b_i = \min_{\substack{K \\ i \in E_{\text{in}}, j \in E_{\text{out}}}} e(DP_{ij}) - \min_{\substack{H \\ j \in E_{\text{in}}, i \in E_{\text{out}}}} e(DP_{ji}) \quad i = 1, \dots, n, \quad (4.16)$$

որտեղ  $E_{\text{in}}$  և  $E_{\text{out}}$ -ը համապատասխանաբար տեղաբաշխված և չտեղաբաշխված տարրերի բազմություններն են:

Նկ. 4.4-ում  $f_0$  արժեքները համապատասխանում են տվյալ տողի թվերի գումարին, իսկ  $\beta_1$ -ից  $\beta_5$  -ի արժեքները՝ (4.16) պայմանին:

Տեղաբաշխման արդյունքները բերված են նկ. 4.5-



նում:

Նկ. 4.5. Թեստային սխեմայի բջիջների տեղաբաշխման արդյունքները.

ա - (3.7) չափանիշի կիրառմամբ, բ - (4.16) չափանիշի կիրառմամբ

Նկ. 4.5 ա)-ում բերված է միայն տարրերի կապվածությունը տեղաբաշխումը, որի դեպքում միջմիացումների գումարային երկարությունը ստացվել է 10 պայմանական միավոր, իսկ 4.6 բ)-ում՝ ջերմային տեղաբաշխումը, որի դեպքում միջմիացումների գումարային երկարությունը ստացվել է 11 պայմանական միավոր: Նկարի վրա բերված է սխեմայի ներքին շղթաների սխեմատիկ պատկերը: Ինչպես երևում է նկարից, ջերմային տեղաբաշխման դեպքում ապահովվել է տարրերի հզորությունների առավել հավասարաչափ

տեղաբաշխում, սակայն շղթաների գումարային երկարությունն աճել է մեկ պայմանական միավորով:

Ամփոփելով վերը շարադրվածը՝ կարող ենք եզրակացնել.

- Առաջարկված է ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխմանը նդհանրացված չափանիշ, որը հաշվի է առնում ինչպես ջերմային ռեժիմը, այնպես էլ տարրերի էլեկտրական կապվածությունը:
- Իրագործված է առաջարկված ջերմային չափանիշի կիրառման վրա հիմնված տեղաբաշխման հաջորդական ալգորիթմ:
- Առաջարկված միջոցի արդյունավետությունը ցույց է տրված թեստային սխեմայի տարրերի ջերմային տեղաբաշխման օրինակով:

#### **4.4. Բազմապարամետրական նախնական տեղաբաշխումը ջերմային ռեժիմի հաշվառմամբ**

ԻՍ-երի տարրերի բազմապարամետրական նախնական տեղաբաշխման առաջարկվող մեթոդը հիմնված է 1-ին գլխում բերված քառակուսային նշանակման խնդրի բազմապարամետրական ներկայացման մոտեցման վրա, որում տարրերի փոխկապվածության քառային գործակիցները ներկայացվում են՝ հիմնվելով մասնակի պարամետրերի նորմավորման վրա, ելնելով համապատասխան տարրերի միջև հեռավորությունների մեծության նկատմամբ հակադարձ համեմատականության նկատառումներին [151-155]: Յիմնվելով քառակուսային նշանակման խնդրի բազմապարամետրական ներկայացման դեպքում տարրերի փոխկապվածության  $\lambda_{ij}(i, j=1, 2, \dots, n)$  քառային գործակցի բազմապարամետրական գումարային միավորման (1.13) արտահայտության և տեղաբաշխման

$b_i (i = 1, 2, \dots, n)$  հավակնորդությունը  $\Phi$  նկատի ունի (1.14) պայմանի վրա, որպես տարրերի տեղաբաշխման ընդհանրացված չափանիշ, որը միևնույն ժամանակ հաշվի կառնի և բջիջների էլեկտրական կապվածությունը, և ԻՍ-ի ջերմային ռեժիմը, և հապաղումները ԻՍ-ի շղթաներում, առաջարկվում է օգտագործել մի գումարային  $\Phi$  նկատի, որը բաղկացած է տեղաբաշխման 3 տարրեր մասնակի չափանիշներից  $f_{ij}, f_{ij}, f_{ij}$

$$F = a_1 f_{ij} + a_2 f_{ij} + a_3 f_{ij} = \sum_{i=1}^n \left( a_1 \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n r_{ij} d_{ij} + a_2 \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |\Delta P_{ij}| d_{ij} + a_3 \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n R_{ij} d_{ij} \right), \quad (4.17)$$

որտեղ  $r_{ij}, \Delta P_{ij}$  և  $R_{ij}$  -ն  $r_{ij}, \Delta P_{ij}$  և  $R_{ij}$  -ի նորմավորված արժեքներն են, իսկ  $a_1, a_2, a_3$ -ը՝ դրանց քաշային գործակիցները:

Նորմավորումը կատարվում է, որպեսզի տարրերի  $\Phi$  հիպոթեզային մեծությունները նկատի առնելով պարամետրերը բերվեն առանց չափողականության մեծությունների: Ընդ որում, որևէ  $x_i$  պարամետրի նորմավորված արժեքը կարելի է հաշվել հետևյալ բանաձևով՝

$$X_{ij} = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (4.18),$$

որտեղ  $X_i, X_{\min}$  և  $X_{\max}$ -ը համապատասխանաբար  $x$  պարամետրի ընթացիկ, նվազագույն և առավելագույն արժեքներն են:

Նախագծողը  $a_1, a_2, a_3$  քաշային գործակիցների միջոցով կարող է կարգավորել միջմացումների երկարություն, ջերմաստիճանի հավասարաչափ քաշի մասնակի շղթաներում հապաղումների համեմատական կարևորությունը:

Առաջարկվող բազմապարամետրական նախնական տեղաբաշխման մեթոդի արդյունավետությունը ցույց տանք նկ. 4.6-ում բերված պարզ թեստային սխեմայի տարրերի շարային տեղաբաշխման օրինակով:

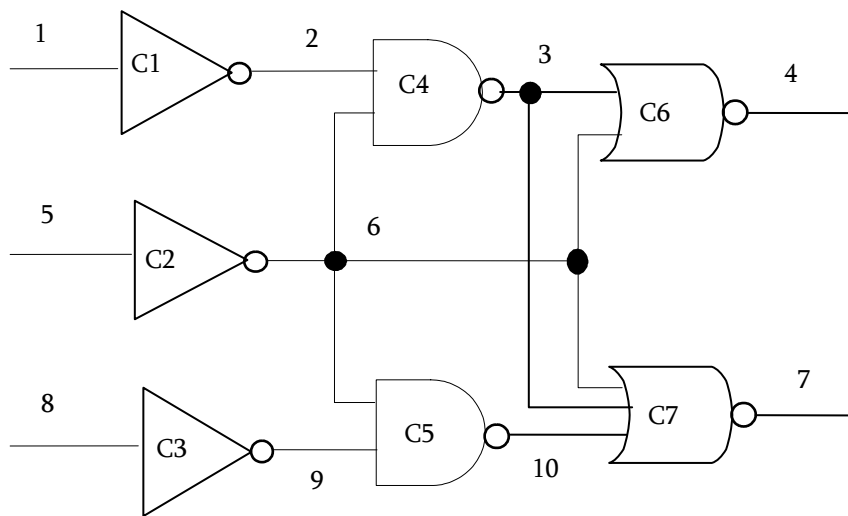
Խնդրի պարզեցման նպատակով ընդունված են նախորդ բաժնում բերված պայմանականությունները:

Դիտարկվող սխեմայի տարրերի համար տրված են հետևյալ պարամետրերը.

$$P_1 = P_3 = 10, P_4 = P_5 = 20, P_2 = P_6 = 30, P_7 = 40,$$

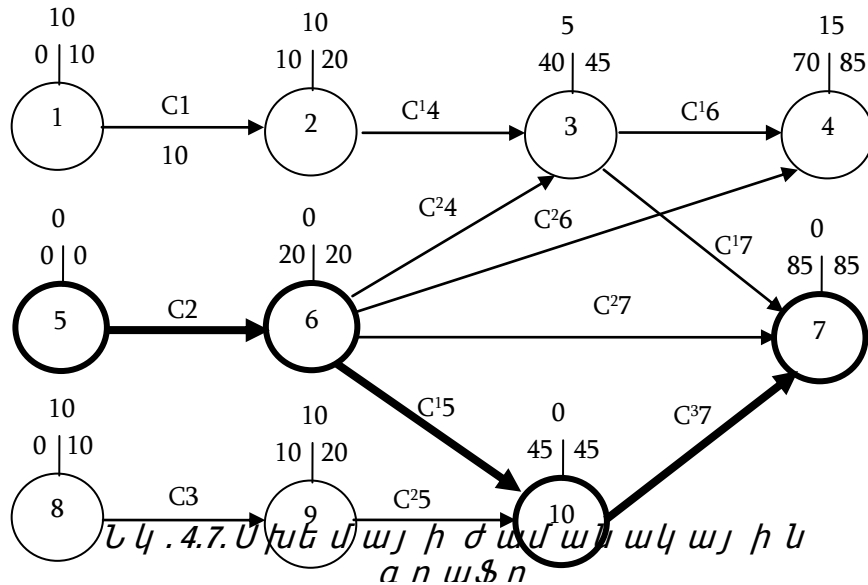
$$T_1 = T_3 = 10, T_2 = T_4 = 20, T_5 = 25, T_6 = 30, T_7 = 40.$$

որտեղ  $P$ -ն սխեմայի տարրերում ցրվող հզորությունն է՝ վերցված պայամանական միվորներով, իսկ  $T$ -ն՝ հապաղում է, նույնպես վերցված պայամանական միավորով:



Նկ. 4.6. Թեստային սխեմայի օրինակ

Շղթաներում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակներին և 0-ական պահուստով որոշիչ շղթաների ակնհայտ ներկայացման նպատակով նկ. 4.7-ում պատկերված է սխեմայի ժամանակային գրաֆը:



Շղթաների վերևի ուղղահայաց գծերի ձախ, աջ և վերին մասերում բերված են համապատասխան շղթաներում ճիշտ ազդանշանի ձևավորման ժամանակի համապատասխանաբար ներքին և վերին սահմանները և ժամանակի պահուստները, իսկ մզացված օղակներով՝ որոշիչ շղթաները: Նշված պարամետրերի հաշվարկը կատարված է 2.5 ենթագլխում ներկայացված մեթոդներով:

Իրականացված է 1.5 ենթագլխում նկարագրված և 3.2 ենթագլխում իրագործված ընթացակարգով հաջորդական տեղաբաշխման ալգորիթմը, որում ներկայացված (1.14) հավակնորդության ֆունկցիան կստանահետևյալ տեսքը՝

$$b_i = \min_{j \in OE_{in}} \left\{ a_{ij} e^{r_{ij} \sigma} - e^{r_{ij} \sigma} + a_2 e^{|DP_{ij}|} - e^{|DP_{ij}|} + a_3 e^{R_{ij} \sigma} - e^{R_{ij} \sigma} \right\}, \quad (4.19)$$

որտեղ  $E_{in}$  և  $E_{z in}$ -ն համապատասխանաբար տեղաբաշխված և չտեղաբաշխված տարրերի բազմություններն են:

Որպես առաջին տարրը նտրվում է մնացած բոլոր տարրերի հետ գումարային նվազագույն

կապված ու թյուն ունեցող տարրը և տեղադրվում է գծային շարքի եզրային դիրքում: Մի քանի տարրերի համար  $\beta$   $\Phi$  ունկցիայի միևնույն արժեքի դեպքում որպես հերթական տեղադրող տարր պայմանականորեն ընտրվում է նվազագույն հերթական համարով տարրը: Ստորև կներկայացնենք կատարված հաշվարկների ընթացքը:

Շղթաների հապաղումների պահուստների մատրիցը կունենանկ .4.8-ում բերված տեսքը:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	-	-	-	10	-	-	-
C2	-	-	-	0	0	0	0
C3	-	-	-	-	10	-	-
C4	10	0	-	-	0	5	5
C5	-	0	10	0	-	-	0
C6	-	0	-	5	-	-	5
C7	-	0	-	5	0	5	-

ա)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	-	-	-	1	-	-	-
C2	-	-	-	0	0	0	0
C3	-	-	-	-	1	-	-
C4	1	0	-	-	0	0.5	0.5
C5	-	0	1	0	-	-	0
C6	-	0	-	0.5	-	-	0.5
C7	-	0	-	0.5	0	0.5	-

բ)

*Նկ.4.8. Շղթաների հապաղումների պահուստների մատրիցը.*

Մատրիցը սորմավորումը կատարվել է [0-1] միջակայքում՝ օգտվելով (3.3) և (3.4) նորմավորման բանաձևերից:

Քանի որ մեծ ժամանակային պահուստներ ունեցող շղթաներով կապված տարրերը անհրաժեշտ է տեղաբաշխել իրարից ավելի հեռու, քան փոքր ժամանակային պահուստներով կապվածները, ապա ստացված մատրիցի յուրաքանչյուր տարրի արժեքը կփոխարինենք (1-r) արժեքով և կստանանք շղթաների հապաղումների պահուստների հաշվարկային մատրիցը, որի տեսքը բերված է նկ.4.9-ում:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	-	-	-	0	-	-	-
C2	-	-	-	1	1	1	1
C3	-	-	-	-	0	-	-
C4	0	1	-	-	1	0.5	0.5
C5	-	1	0	1	-	-	1
C6	-	1	-	0.5	-	-	0.5
C7	-	1	-	0.5	1	0.5	-

Նկ.4.9. Շղթաների հապաղող մեների պահող ստների հաշվառության հնմատոհոն

Նույն տրամաբանությամբ կառուցված տարրերի էլեկտրական կապվածությունների և հզորությունների տարբերությունների բացարձակ արժեքների հաշվարկային մատրիցները բերված են համապատասխանաբար նկ.4.10 աև բ-ում:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0	0	0	0.5	0	0	0
C2	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5
C3	0	0	0	0	0.5	0	0
C4	0.5	0.5	0	0	0.5	0.5	0.5
C5	0	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5
C6	0	0.5	0	0.5	0.5	0	1
C7	0	0.5	0	0.5	0.5	1	0

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0	2/3	0	1/3	1/3	2/3	1
C2	2/3	0	2/3	1/3	1/3	0	2/3
C3	0	2/3	0	1/3	1/3	2/3	1
C4	1/3	1/3	1/3	0	0	1/3	2/3
C5	1/3	1/3	1/3	0	0	1/3	2/3
C6	2/3	0	2/3	1/3	1/3	0	1/3
C7	1	2/3	1	2/3	2/3	1/3	0

Կատարված) տարրերի տեղաբյուրում  $a_1, a_2, a_3$  քաշային

Նկ.4.10. Տարրերի էլեկտրական

կապվածությունների (ա) և հզորությունների

գործակիցների տարբեր արժեքների համար: Չափի առնելով այն հանգամանքը, որ միջմիացումների գումարային երկարության և որոշիչ շղթաների երկարությունների գնահատումը ավելի հաշվարկելի մեծություն է, քան ջերմային ռեժիմինը, ստորև ներկայացված են տեղաբաշխման 3 դեպքեր ջերմային ռեժիմի հաշվառման քաշային գործակից տարբեր արժեքների համար՝

1. միայն տարրերի էլեկտրական կապվածությունն հաշվառմամբ՝  $a_1=1, a_2=a_3=0$ ;

2. միայն ջերմային ռեժիմի հաշվառմամբ՝  $a_3=1, a_1=a_2=0$ ;

3. բոլոր պարամետրերի հավասարաչափ հաշվառմամբ՝  $a_1=a_2=a_3=1/3$ ։

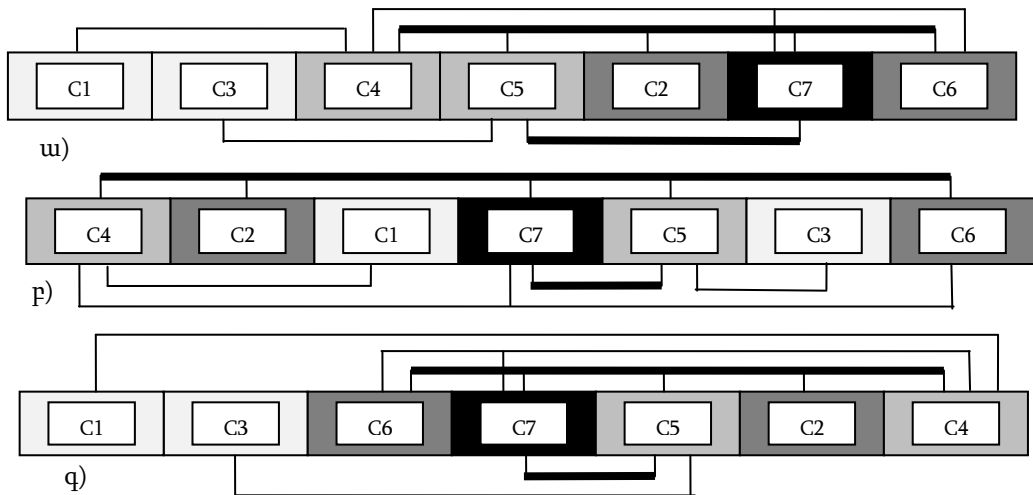
Ստորև ներկայացված է  $\beta$  հավակնորդությունն ֆունկցիայի հաշվարկի ընթացքը 3-րդ դեպքի համար (նկ. 4.11)։

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	$\Sigma$	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$
C1	0	2/3	0	1/3	1/3	2/3	1	3	2,25	0,95	x	x	x	0	X
C2	2/3	0	2/3	1/3	1/3	0	2/3	2,75	2	x	x	x	x	x	X
C3	0	2/3	0	1/3	1/3	2/3	1	3	2,25	0,95	0,95	-1,05	-1,8	x	X
C4	1/3	1/3	1/3	0	0	1/3	2/3	2	x	x	x	x	x	x	X
C5	1/3	1/3	1/3	0	0	1/3	2/3	2	2	1,25	0,5	-1	x	x	X
C6	2/3	0	2/3	1/3	1/3	0	1/3	2,75	2	2	0,5	-0,25	-1	-2,5	X
C7	1	2/3	1	2/3	2/3	1/3	0	4,75	3,25	1,75	-0,25	x	x	x	X

Նկ. 4.11. Թեստային սխեմայի տարրերի բազմապարամետրական նախնական

տեստառաջիման ու ռաժժոն  $a_1=a_2=a_3=1/3$  դեպքում

Տեղաբաշխման սխեմատիկ տեսքը վերը բերված 3 դեպքերի համար ներկայացված է նկ. 4.12-ում։



Նկ. 4.12. Թեստային սխեմայի տարրերի բազմապարամետրական տեղաբաշխման տարբերակներ.

Տեղաբաշխման բնութագրերի արդյունքների համեմատությունը՝ ըստ (4.17) բազմապարամետրական



չ ափան ի շ ի մ ե ջ մ տ ն ո ղ  $f_U, f_2, f_{\sigma}$  մ ա ս ն ա կ ի չ ափան ի շ ն եր ի ,  
բ եր վ ա ծ է ա ղ .4.1-ն ւ մ :

Ա ղ յ ու ւ ա կ 4.1

*Տ ե ղ աբ ա շ խ մ ա ն բ ն ու թ ա գ ը ե ղ ի ար ղ յ ու ն ք ն ե ղ ի  
հ ա մ ե մ ա տ ու թ յ ու ն ը*

	$f_U$	$f_2$	$f_{\sigma}$	F
ա	1,9	3,8	2,4	2,7
բ	1,9	1,8	2,1	1,9
գ	2,3	2,6	1,9	2,3

Ա ղ յ ու ւ ա կ ի գ եր ն ու մ է , ո ղ ղ ի տար կ վ ո ղ թ ե ս տ ա յ ի ն  
ս խ ե մ ա յ ու մ բ ա գ մ ա պ ար ա մ ե տր ա կ ա ն տե ղ աբ ա շ խ մ ա ն  $f_U$   
պ ար ա մ ե տր ի ո ղ ա կ ա կ ա ն 20%-ն վ վ ա տ թ ար ա գ ու մ ը  
հ ա ն գ ե գ ը ե լ է մ ն ա գ ա ծ  $f_2$  և  $f_{\sigma}$  պ ար ա մ ե տր ե ղ ի  
հ ա մ ա պ ա տ ա ս խ ա ն աբ ար 31% և 21% ո ղ ա կ ա կ ա ն  
բ ար ե լ ա վ մ ա ն ը :

Ա մ փ ո փ ե լ ո վ վ եր ը շ ար ա ղ ը վ ա ծ ը ` կ ար ո ղ ե ն ք  
ե գ ղ ա կ ա գ ն ե լ .

- Առ ա ջ ար կ վ ա ծ է Ի Ս - ե ղ ի տար ը ե ղ ի  
բ ա գ մ ա պ ար ա մ ե տր ա կ ա ն ն ա խ ն ա կ ա ն տե ղ աբ ա շ խ մ ա ն  
չ ափան ի շ , ո ղ ը թ ու յ լ է տա լ ի ս տար ը ե ղ ի  
ե լ ե կ տր ա կ ա ն կ ա պ վ ա ծ ու թ յ ա ն հ ե տ մ ի ա ժ ա մ ա ն ա կ  
հ ա շ վ ի առ ն ե լ ս խ ե մ ա յ ի ար ա գ ա գ ո ղ ծ ու թ յ ու ն ը և  
ջ եր մ ա յ ի ն ռ ե ժ ի մ ը :

- Իր ա գ ո ղ ծ վ ա ծ է առ ա ջ ար կ վ ա ծ  
բ ա գ մ ա պ ար ա մ ե տր ա կ ա ն չ ափան ի շ ի կ ի ղ առ մ ա ն վ ղ ա  
հ ի մ ն վ ա ծ տե ղ աբ ա շ խ մ ա ն հ ա ջ ո ղ ա կ ա ն ա լ գ ո ղ ի թ մ :

Առ ա ջ ար կ վ ա ծ մ ե թ ո ղ ի ար ղ յ ու ն ա վ ե տ ու թ յ ու ն ը  
գ ու յ գ է տր վ ա ծ թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի տար ը ե ղ ի  
բ ա գ մ ա պ ար ա մ ե տր ա կ ա ն տե ղ աբ ա շ խ մ ա ն օ ղ ի ն ա կ ո վ , ո ղ ի  
ար ղ յ ու ն ք ու մ տե ղ աբ ա շ խ մ ա ն  $f_U$  պ ար ա մ ե տր ի  
ո ղ ա կ ա կ ա ն 21%-ն վ վ ա տ թ ար ա գ ու մ ը հ ա ն գ ե գ ը ե լ է  
մ ն ա գ ա ծ  $f_2$  և  $f_{\sigma}$  պ ար ա մ ե տր ե ղ ի հ ա մ ա պ ա տ ա ս խ ա ն աբ ար 31%  
և 21% ո ղ ա կ ա կ ա ն բ ար ե լ ա վ մ ա ն ը :

Նմանատիպ տեղաբաշխման փորձերը զանազան ավելի բարդ ԻՍ-երի վրա (ISCAS-85 թեստային սխեմաների շարք, ORCA, Chip Top, Open SPARC, Power PC պրոցեսորների շարք և այլն) ցույց են տվել առաջարկված մեթոդի բարձր արդյունավետությունը, ապահովելով արագագործություն և ջերմային չափանիշների համապատասխանաբար 20-ից 30% և 30-ից 35% բարելավում՝ միջմիացումների գումարային երկարության չափանիշի 18-ից 20% վատթարացման հաշվին:

#### **4.5. Եռաչափ ԻՍ-երի տարրերի ջերմային տեղաբաշխումը**

ԻՍ-երի ինտեգրման անընդհատ աճի պայմաններում դրանց երկչափ կառուցվածքի հետագա զարգացումը սահմանափակվում է մի շարք տեխնոլոգիական և \$ ունկցիոնալ գործոններով, որոնցից հիմնականներն են.

1. ԻՍ-ի բյուրեղի չափերի հետագա մեծացումը, բյուրեղի միավոր մակերեսում առկա արատների հաստատունություն պայմաններում, հանգեցնում է արատների ընդհանուր քանակի աճին և հետևաբար՝ պիտանիելի տոկոսի նվազմանը:

2. ԻՍ-ի բյուրեղի չափերի մեծացմանը զուգընթաց՝ մեծանում է ինչպես միջմիացումների գումարային երկարությունը, այնպես էլ մեկ միջմիացման միջին երկարությունը: Այս պայմաններում աճում է համեմատաբար երկար, համընդհանուր միջմիացումների քանակը: Քանի որ ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաների դեպքում միջմիացումներով պայմանավորված հապաղումների արժեքները գերազանցում են փականներով պայմանավորվածներին, իսկ գլոբալ միջմիացումներում հապաղումները հարյուրավոր անգամ կարող են գերազանցել փականների

հապաղումներին, ապա դրանք կարող են զգալիորեն իջեցնել համակարգի արագագործությունը և արտադրողականությունը:

3. Աճում են տարրերի և միջմիացումների միջև փոխազդեցությունները և պարագիտային երևույթների ազդեցությունը: Պարագիտային և փոխազդեցության երևույթները զգալի ազդեցություն են թողնում սխեմայի աշխատանքի վրա և կարող են հանգեցնել ԻՍ-ի հոլսալիության անկման:

Այս խնդիրներին լուծման նպատակով ներկայումս կիրառվում են ԻՍ-երի ինտեգրման նոր կառուցվածքային լուծումներ, որոնք ենթադրում են մեկից ավելի կիսահաղորդչային բյուրեղների ինտեգրումը մեկ պատյանի մեջ:

Լուծումներից մեկն է եռաչափ ԻՍ-ն: Եռաչափ ԻՍ-երի կիրառությունը թույլ է տալիս մեկ պատյանի մեջ ունենալ մեկից ավելի բյուրեղ, որոնք դասավորված են ուղղահայաց առանցքի երկայնքով և միմյնացից տարանջատված են մեկուսիչ շերտերով:

Եռաչափ ԻՍ-երը թույլ են տալիս շրջանցել կամ լուծել բազմաթիվ խնդիրներ, որոնք բնորոշ են երկչափ կառուցվածքներին: Եռաչափ ԻՍ-երի կիրառումը հնարավորություն է ընձեռում գործնականում պահպանել և նույնիսկ գերազանցել Մուրի օրենքով բնութագրվող տարրերի քանակի աճը ԻՍ-ում: Հնարավոր է լինում պահպանել համակարգի արագագործությունը և արտադրողականությունը՝ ապահովելով սինթրոազդանշանի հաճախության և տեղային քեշ հիշողության աճ: Հնարավոր է լինում իրագործել ավելի բարդ գործառնություններ համակարգեր՝ առանց մեծացնելու բյուրեղի չափերը, ինչը թույլ է տալիս խոլսափել արատների քանակի աճից և նպաստում է գործող ԻՍ-երի ելքի տոկոսի աճին: Եռաչափ ԻՍ-երում, շնորհիվ առանձին

բյուրեղների չափերի փոքրացման, հնարավոր է  
լինում կրճատել գլոբալ միջմիացումների  
երկարությունը՝ նվազեցնելով ազդանշանի  
հապաղումը:

Նշված բոլոր առավելությունների հետ  
գոյություն ունեն նաև եռաչափ ԻՍ-երին բնորոշ  
թերություններ, որոնցից ամենակարևորը  
ջերմային ցրման խնդիրն է:

Տարրերի բարձր նտեգրման պատճառով առաջացող  
ջերմային էներգիայի կուտակումը եռաչափ ԻՍ-ի  
ծավալում կարող է հանգեցնել վերջինիս  
հուսալիություն կտրուկ անկման, իսկ որոշ  
դեպքերում՝ լիարժեք անպիտանություն: Եռաչափ ԻՍ-  
երում ջերմային երևույթների բացասական  
ազդեցությունների նվազեցման նպատակով  
կիրառվում են բազմաբևույթ մոտեցումներ, որոնք  
ներառում են ինչպես սխեմատիկ խնդիրների  
լուծումներ՝ ցածր հզորության նախագծման  
մեթոդների կիրառմամբ, այնպես էլ՝ ֆիզիկական:  
Ներկայումս կիրառվող ֆիզիկական լուծումներից  
է բլոկների և դրանցում տարրերի հատուկ  
ջերմային տեղաբաշխումը, որոնց դեպքում մեծ  
տեսակարար հզորությունը տարրերը տեղաբաշխվում  
են բյուրեղի մակերեսով հնարավորինս  
հավասարաչափ, և ջերմային միջմիացումների  
կիրառությունը, երբ տեղադրվում են հատուկ  
միջսիլիկոնային ջերմային միացումներ, որոնք  
թույլ են տալիս հեռացնել ջերմային էներգիան տաք  
տիրույթներից: Արդյունքում՝ կատարվում է  
առավելագույն ջերմությունը լուրջ  
տեղամասերում ջերմաստիճանի հնարավորինս  
իջեցում՝ ի հաշիվ համեմատաբար ցածր  
ջերմությունը տեղամասերի ջերմաստիճանների  
որոշակի բարձրացման, այսինքն՝ կատարվում է  
ջերմային դաշտի համահարթեցում: Այս

աշխատանքում մշակված է եռաչափ ԻՍ-երում տարրերի նախնական տեղաբաշխման մեթոդ, որը հիմնված է նախորդ երկու գլուխներում դիտարկված երկչափ տեղաբաշխման չափանիշների և մեթոդների համապատասխան փոխակերպման վրա, ինչը, ի տարբերություն առկա մեթոդների, թույլ է տալիս միաժամանակ հաժվի առնել ԻՍ-ի տարրերի էլեկտրական կապվածությունը և ջերմային ռեժիմը նախնական տեղաբաշխման ժամանակ [13, 153-157]:

Ընդհանուր դեպքում, եթե եռաչափ ԻՍ-ը կազմված է հատ բյուրեղներից, որոնցից յուրաքանչյուրը սպառում է  $P_i$  ( $i=1,2,\dots,k$ ) հզորություն, ապա պատենավորումից հետո ԻՍ-ի գումարային սպառող հզորությունը կլինի՝  $P = \sum_{i=1}^k P_i$ : Յետևաբար, եթե եռաչափ ԻՍ-ում բյուրեղների բազմափակ կառուցվածքը դիտարկվի որպես մեկ ընդհանուր ջերմային տիրույթ, ապա դրա ջերմաստճանը կորոշվի հետևյալ կերպ [158, 159]՝

$$q = q_0 + R_{\text{ջլ}} P, \tag{4.20}$$

որտեղ  $q_0$ -միջավայրի ջերմաստճանն է, իսկ  $R_{\text{ջլ}}$ -ը՝ ԻՍ-ի պատյանի ջերմային դիմադրությունը:

Այս դեպքում ԻՍ-ի պատյանի ջերմային դիմադրությունը մոդելավորվում է 3 դիմադրությունների միջոցով՝ պայմանավորված ջերմահաղորդականությամբ, կոնվեկտիվ և ճառագայթային ջերմացրումներով: Քանի որ ժամանակակից ԻՍ-երի պատյանների համար կոնվեկտիվ և ճառագայթային դիմադրությունները ջերմահաղորդականությամբ պայմանավորված դիմադրության համեմատ շատ փոքր են, ուստի դրանք կարելի է արհամարհել: Նման մոտեցումը կիրառելի է համեմատաբար պարզ և այնպիսի ԻՍ-երի դեպքում, որոնցում տարբեր մակարդակների բյուրեղների

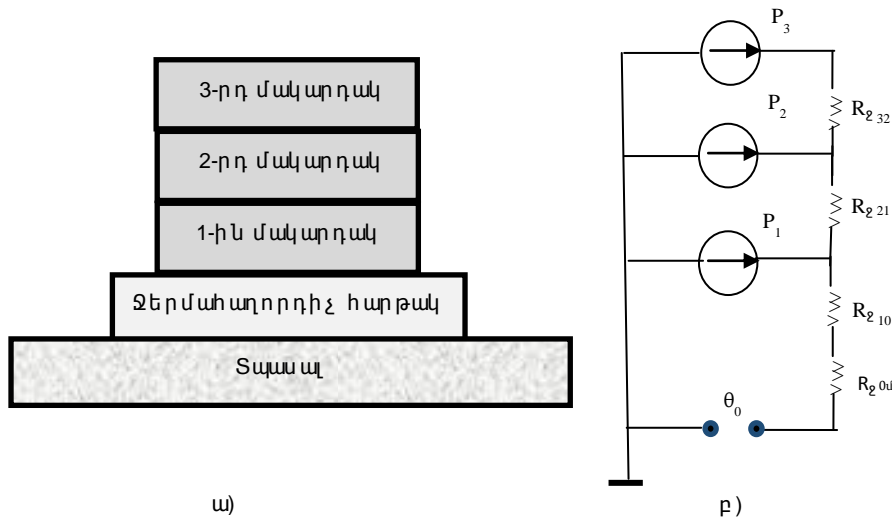
միջև ջերմային գրադիենտը գործնականում քաղցրացված է, ինչը թույլ կտա կիսահաղորդչային բյուրեղների եռաչափ կառուցվածքը դիտարկել որպես մեկ ընդհանուր ջերմային տիրույթ: Սակայն քանի որ գործնականում եռաչափ ԻՍ-ի տարբեր են նրանց բյուրեղներ ունեն սպառման տարբեր հզորություններ, և քաղցրացումը, նրանց համար տարբեր է ջերմային դիմադրություններ, ապա այս դեպքում ԻՍ-ի ջերմաստիճանը կախված կլինի ինչպես առանձին բյուրեղներում սպառվող հզորություններից, այնպես էլ պատյանի մեջ դրանց փոխադարձ դասավորվածությունից:

Նկ. 4.13-ում պատկերված են երեք մակարդակից կազմված եռաչափ ԻՍ-ի պարզեցված կառուցվածքը և համապատասխան ջերմային մոդելը [155, 156]:

Բերված մոդելում,  $P_3$ ,  $P_2$  և  $P_1$ -ը համապատասխանաբար երրորդ, երկրորդ և առաջին մակարդակներում տեղադրված բյուրեղների հզորություններն են,  $q_0$ -ն՝ միջավայրի ջերմաստիճանը, իսկ  $R_{23}$ ,  $R_{21}$ ,  $R_{210}$  և  $R_{201}$ -ը՝ համապատասխանաբար երրորդից երկրորդ, երկրորդից առաջին, առաջինից ջերմահաղորդիչ հարթակ և ջերմահաղորդիչ հարթակից դեպի շրջակա միջավայր (տվյալ դեպքում՝ տպասալ), ջերմային դիմադրությունները:

Այս դեպքում 1-ից 3 մակարդակների բյուրեղների գումարային տաքացումը միջավայրի նկատմամբ առաջին մոտավորություն կարելի է արտահայտել հետևյալ կերպ [160]՝

$$q = e \sum_{i=1}^3 q_i = e \sum_{i=1}^3 P_i \sum_{j=i-1}^3 e R_{2ij} + R_{20i} e \sum_{i=1}^3 P_i : \quad (4.21)$$



Նկ. 4.13. Եռաշափհ U-ի ջերմային մոդելը.  
 ա-եռաշափհ U-ի պարզեցված  
 և առուժմած թռ. թ-ջերմային մոդելը

Բերված արտահայտության մեջ երկրորդ գումարելիի արժեքը կախված է ըստ մակարդակների բյուրեղների դասավորվածությունից: Առաջին գումարելին ներկայացնում է երկու բազմությունների սկալյար արտադրյալը, որոնցից մեկը բյուրեղների հզորությունների բազմությունն է, իսկ մյուսը՝ բյուրեղներից մինչև ջերմահաղորդիչ հարթակ գումարային ջերմային դիմադրությունը: Ինչպես հայտնի է, այսպիսի սկալյար արտադրյալի նվազագույն արժեքը ստացվում է այն դեպքում, երբ բազմություններից մեկի աճող հաջորդականությունը համապատասխանության մեջ է դրվում մյուս բազմության նվազող հաջորդականությանը [161]:

Ընդհանրացնելով եռաշափհ U-ի ջերմային մոդելը կամայական  $n$  մակարդակների համար՝ ցանկացած  $p$  և  $q$  մակարդակների համար կարող ենք գրել՝

$$\text{էթե } p < q, \text{ ապա } \prod_{j=p-1}^0 R_{yij} \prod_{j=q-1}^0 R_{zij}; i = 1, 2, \dots, n: \quad (4.22)$$

Յետևաբար, համաձայն (4.21)-ի, հաշվի առնելով, որ ընդհանուր դեպքում հնարավոր է նաև տարբեր բյուրեղների հզորությունների հավասարություն,  $\theta$ -ի նվազագույն արժեքը ( $\theta_{min}$ ) կապահովվի հետևյալ պայմանի դեպքում՝

$$P_i \leq P_{i+1}; i = 1, 2, \dots, n \text{ ու } q = q_{min}: \quad (4.23)$$

ԻՍ-երի նախագծման տեսանկյունից (4.23) պայմանը հանգեցնում է կարևոր եզրակացության՝ որ տրված հզորությունների առկայությամբ եռաչափ ԻՍ-ում նվազագույն ջերմաստիճանի ապահովման համար անհրաժեշտ է ըստ մակարդակների այդ բյուրեղները տեղաբաշխել ըստ ջերմացրիչից հեռացվածության հզորությունների նվազման հաջորդականությամբ:

Եռաչափ ԻՍ-երում կարևորվում է նաև տարբեր մակարդակների բյուրեղների միջև էլեկտրական կապերի իրագործման խնդիրը: Այդ նպատակով օգտագործվում են միջանցիկ սիլիկոնային անցումներ, որոնք էլեկտրական կապի հետ համատեղ ծառայում են նաև որպես մակարդակների միջև ջերմահաղորդման միջոց: Այդպիսի անցումների տրամագիծը բավականին մեծ է և, օրինակ, 32 նմ տեխնոլոգիայում այն կարող է կազմել ստանդարտ բջիջների բարձրության 5, ..., 10 պատիկը [162, 163]: Դրանք, զբաղեցնելով բավականին մեծ մակերես, նվազեցնում են բյուրեղի վրա տարրերի տեղաբաշխման և ծրագծման ռեսուրսները:

Եռաչափ ԻՍ-երում ջերմաստիճանի աճին նպաստող հանգամանքները երկուսն են՝ միավոր ծավալում պարունակվող ակտիվ բաղադրիչների աճը և անբավարար ջերմահեռացումը, որոնց պատճառներից մեկը անբավարար ջերմահաղորդականությունն է:



Առաջին տեսակի խնդիրները կարող են լուծվել ցածր էներգասպառմամբ նախագծմամբ, ինչպես նաև բլոկերի և տարրերի տեղաբաշխման փոփոխություններով: Երկրորդ տեսակի խնդիրները՝ ոչ բավարարչերմահեռացումը, պայմանավորված են այն հանգամանքով, որ ԻՍ-ի արտադրության ընթացքում կիրառվող նյութերի մի մասն ունեն շատ ցածր ջերմահաղորդականություն և խոչընդոտում են ջերմության փոխանցմանը: Այդպիսի նյութերից են, օրինակ, էպօքսիդային միացությունները: Նման պայմաններում, նույնիսկ տարրերի հավասարաչափ տեղաբաշխման դեպքում, հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ եռաչափ ԻՍ-ի միջուկում ջերմաստիճանը կարող է հասնել 150°C: Այս դեպքում, ինչպես արդեն նշվեց, ջերմահեռացման նպատակով կարող են կիրառվել հատուկ միջանցիկ սիլիկոնային անցումներ, որոնք կիրառվում են ԻՍ-ի իրանից դեպի հովացուցիչ՝ ջերմության տեղափոխման նպատակով [163]:

Միջանցիկ սիլիկոնային անցումների չափերի աճը մի կողմից՝ նպաստում է ջերմահեռացմանը, սակայն մյուս կողմից՝ բարդանում է ծրագծման հնարավորությունը [164]: Միջանցիկ սիլիկոնային անցումները կարող են տեղաբաշխվել բյուրեղի եզրերով կամ մակերեսով, ռեգուլյար կամ խառը ձևով (Նկ . 4.14) [165, 166]:

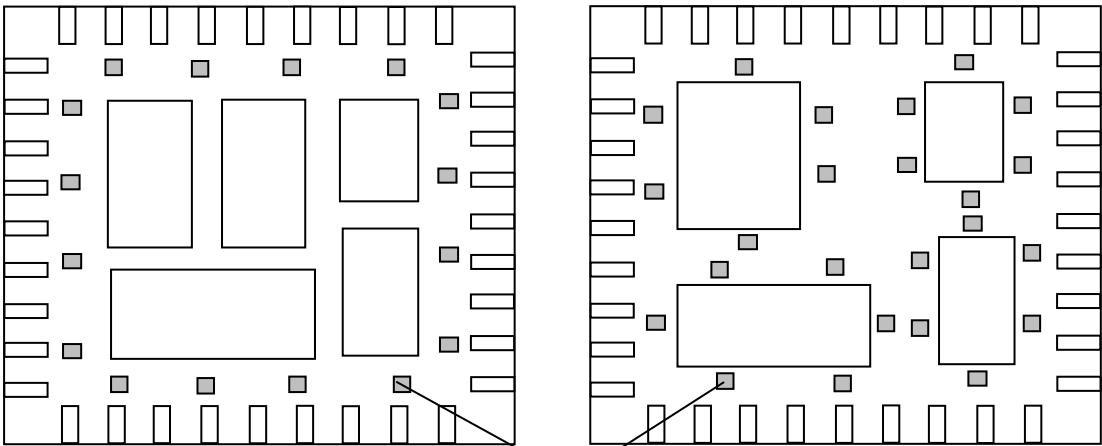
Միջանցիկ սիլիկոնային անցումների օգտագործման ժամանակ անհրաժեշտ է հաշվի առնել հետևյալ սահմանափակումները [167, 168].

- Միջանցիկ սիլիկոնային անցումների չափերը մի քանի կարգով մեծ են տարրերի տեխնոլոգիական չափերից, որը հանգեցնում է բյուրեղի մակերեսի մոտ 10-15% աճի:

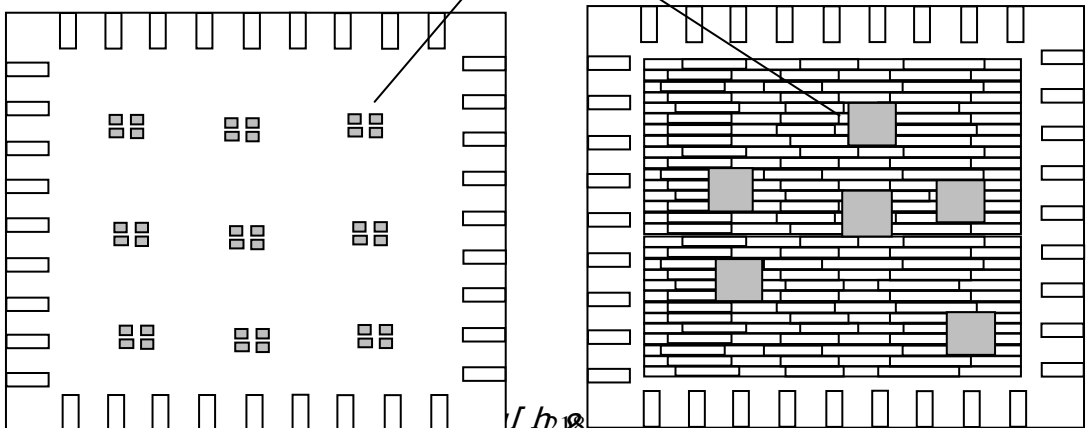
• Միջանցիկ սիլիկոնային անցումներն առաջացնում են մեխանիկական և արվածություններ, և անհրաժեշտ է լինում դրանց շրջակայքում պահպանել որոշակի ազատտիրույթներ:

• Միջանցիկ սիլիկոնային անցումները, զբաղեցնելով բավականին մեծ մակերես, նվազեցնում են բյուրեղի վրա տարրերի տեղաբաշխման և ծրագծման հնարավորությանը:

Ասվածից հետևում է, որ եռաչափ ԻՍ-երում, մի կողմից՝ ջերմային դաշտի համահարթեցման նպատակով կարելի է կիրառել ջերմային միջբյուրեղային միացումներ, իսկ մյուս կողմից՝ ցանկալի չէ դրանց քանակի անհարկի ավելացումը միջբյուրեղային էլեկտրական կապերի իրագործման նպատակով: Հետևաբար, նախագծվող համակարգի, առանձին բյուրեղների մասնատման դեպքում, ցանկալի է նվազարկել միջբյուրեղային էլեկտրական կապերի թիվը:



ա) Միջսիլիկոնային անցումներ բ)



տեղաբաշխումը բյուրեղի վրա.  
 ա - տեղաբաշխումը բյուրեղի եզրերում, բ -  
 տեղաբաշխումը բլոկների եզրերում, գ -

Հաշվի առնելով վերը շարադրվածը՝ առաջարկվում է ենթադրել ԽՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման հետևյալ ընթացակարգը.

1. համակարգի մասնատումը բյուրեղների, միջբյուրեղային կապերի թվի նվազարկում,
2. բյուրեղների փոխադարձ դասավորության որոշումը՝ ըստ նրանց հզորությունների,
3. տարրերի ներբյուրեղային տեղաբաշխումը՝ ջերմային դաշտի համահարթեցման պայմանով:

Առաջին խնդրի լուծումը կատարվում է մասնատման հաջորդական ալգորիթմի կիրառմամբ [157, 158]: Որպես որակի չափանիշ հանդես է գալիս միջբյուրեղային կապերի թվի նվազարկումը՝ բյուրեղի մակերեսի տրված սահմանափակմամբ.

$$F = \sum_{i=1}^k \sum_{\substack{j=1; \\ i \neq j}}^k r_{ij} \rightarrow \min, \sum_{i \in v_j} S_i(v_j) \leq \frac{S_{\Sigma}}{k} \cup S_{\max}; j=1,2,\dots,k, \quad (4.24)$$

որտեղ  $r_{ij}$ -ն հորդ և հորդ բյուրեղների միջև կապերի թիվն է;  $k$ -ն՝ բյուրեղների քանակը,  $v_j$ -ն՝ հորդ բյուրեղի տարրերի բազմությունը;  $S_i(v_j)$ -ը՝ հորդ բյուրեղի հորդ տարրի մակերեսը;  $S_{\max}$ -ը՝ սխեմայի ամենամեծ տարրի մակերեսը,  $S_{\Sigma}$ -ն՝ սխեմայի տարրերի գումարային մակերեսը:

Մասնատման հաջորդական ալգորիթմը հիմնված է հետևյալ ընթացակարգի ռեկուրսիվ կրկնություն վրա: Որպես հերթական ձևավորվող մասի հերթական հորդ տարր ընտրվում է այն տարրը, որն ունի հավանորդության ֆունկցիայի ( $\beta$ ) նվազագույն արժեք: Այն որոշվում է դեռևս չմասնատված ( $E_{\alpha\beta}$ ) և արդեն մասնատված ( $E_{\alpha\omega}$ ) տարրերի հետ տվյալ տարրի կապերի տարբերությամբ՝

$$b_i = \min_{i \in E_{\alpha\beta}} \left( \sum_{j \in E_{\alpha\beta}} r_{ij} \right) - \min_{j \in E_{\alpha\omega}} \left( \sum_{i \in E_{\alpha\omega}} r_{ij} \right), \quad (4.25)$$

որտեղ  $E_{\text{շ}}^{\text{ը}}$  և  $E_{\text{մաս}}$ -ը տվյալ քայլում դեռևս չմասնատված և արդեն մասնատված տարրերի բազմություններն են:

Երկրորդ խնդրի լուծումը հանգում է (4.23) պայմանի կատարմանը:

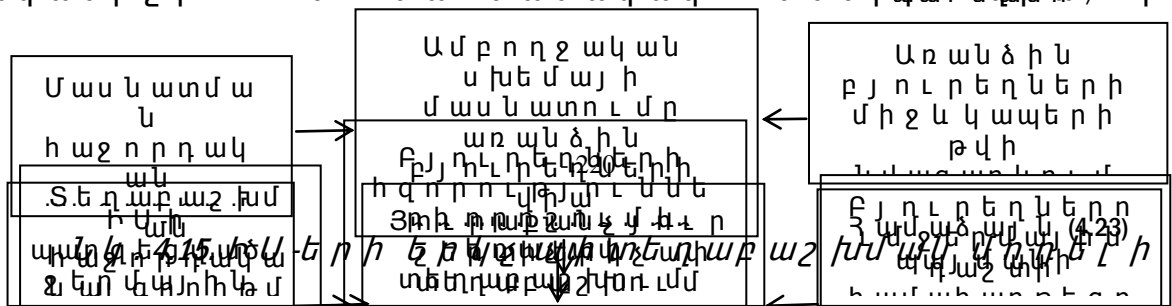
Երրորդ խնդրի համար առաջակվում է 4.3. ենթագլխում ներկայացված տեղաբաշխման հաջորդական ալգորիթմը: Որպես տեղաբաշխման չափանիշ հանդես է գալիս 4.4 բաժնում ներկայացված ջերմային ռեժիմի հաշվառմամբ բազմապարամետրական նախնական տեղաբաշխման (4.19) չափանիշը [157, 158]:

Եռաչափ ԻՍ-երում տեղաբաշխման խնդրի լուծման առաջարկվող ընթացակարգը հիմնված է ներկայումս բավականին լավ մշակված երկչափ ԻՍ-երի տեղաբաշխման մոդելի եռաչափ փոխարկման վրա: Այդպիսի փոխարկման առաջարկվող ընթացակարգը բերված է նկ. 4.15-ում:

Հիմնվելով առաջարկվող ընթացակարգի վրա՝ իրագործվել է եռաչափ ԻՍ-երում տարրերի տեղաբաշխման ալգորիթմ, որի աշխատանքը ներկայացնենք a28 պայմանական անվանումով թեստային սխեմայի օրինակով, որի Verilog նկարագիրը բերված է նկ. 2.15-ում:

Առաջարկված ընթացակարգի առաջին խնդրի լուծման նպատակով իրագործված է մասնատման հաջորդական ալգորիթմի մոդիֆիկացված տարբերակ, որը բյուրեղների միջև կապվածության նվազարկման դեպքում ապահովում է առանձին բյուրեղների համար մակերեսային սահմանափակումները:

Մասնատման ալգորիթմը հիմնված է (4.24) որակի խնդրի լուծման և սահմանափակումների հսկման վրա, իսկ



ալ գործիք մի և նթացակարգը՝ (4.25) պայմանի ռեկոնստրուկցիայի կրկնակցական վրա:

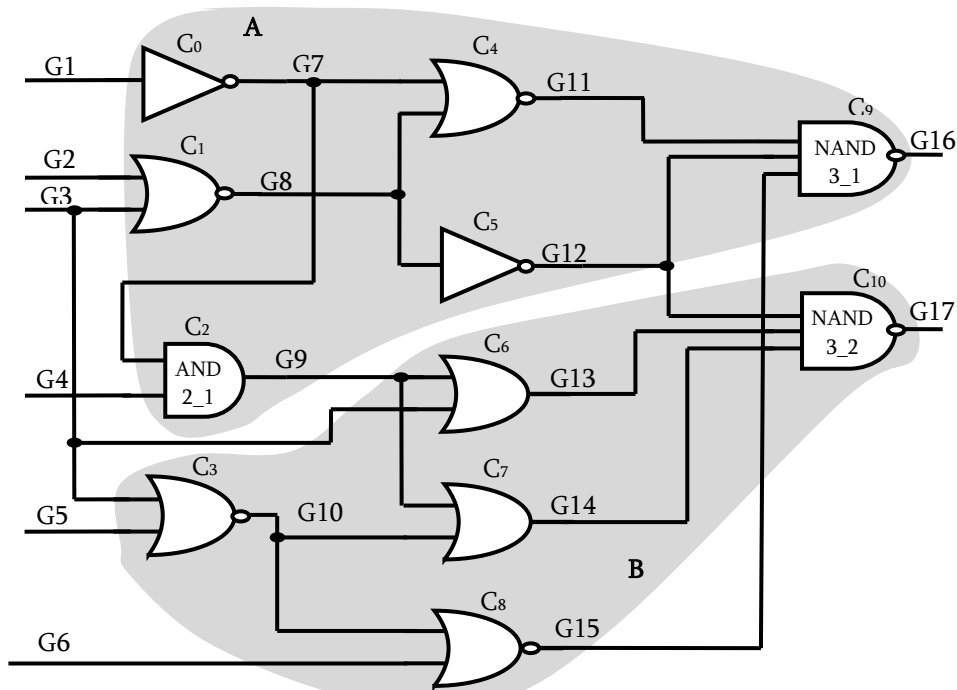
Սխեմայի հարևանական մատրիցը, մասնատման ալգորիթմի իրականացման քայլերի հաշվարկով,

-	A											B												
	C <sub>0</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>8</sub>													
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	$\beta_7$	$\beta_8$	$\beta_9$	$\beta_{10}$	$\beta_{11}$
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	4	4	4	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	4	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	4	4	4	4	2	2	2	2	0	-2	x	x	x
4	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	5	3	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	4	4	4	2	0	x	x	x	x	x	x	x	x
6	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	5	5	3	3	1	1	1	-1	x	x	x	x	x
7	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	5	5	3	3	3	3	3	1	-1	x	x	x	x
8	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	3	3	3	3	3	3	1	1	1	-1	-3	x	x
9	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	4	4	4	2	2	0	x	x	x	x	x	x	x
10	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	4	4	4	4	4	2	0	x	x	x	x	x	x

Նկ. 4.16. a28 թեստային սխեմայի հարևանական մատրիցը՝ մասնատման հաշվարկով

բերված է նկ. 4.16-ում:

Մասնատման արդյունքում ստացվել են A(e<sub>0</sub>, e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub>, e<sub>4</sub>, e<sub>5</sub>, e<sub>9</sub>) և B(e<sub>3</sub>, e<sub>6</sub>, e<sub>7</sub>, e<sub>8</sub>, e<sub>10</sub>) խմբերը: Թեստային սխեման և խմբերի բաժանումը բերված է նկ. 4.17-ում:



Մասնատված խմբերի միջև կապերի թիվը 4 է, որը հնարավոր նվազագույնն է:

Առաջարկված ընթացակարգի երկրորդ խնդրի լուծումը հիմնված է (4.23) պայմանի կատարման վրա, ինչը ենթադրում է սխեմայի մասնատված մասերին համապատասխանող բյուրեղների ուղղահայաց տեղաբաշխում՝ ըստ շերտացրիչից դրանց հեռացված ության հզորությունների նվազման: Սխեմայի մասնատված մասերի հզորությունները կարելի է գնահատել դրանցում առկա տրամաբանական տարրերի հզորությունների գումարով: Եթե որպես տրամաբանական տարրային հիմք է ծառայում թվային ստանդարտ բջիջների գրադարանը, ապա, որպես կանոն, դրանցում տրվում են ինչպես տվյալ գրադարանի

*Նկ. 4.17. a28 թե ստային սխեման՝ մասնատված A և B խմբերի նշումով*

աշխատանքային հաճախականությունը, այնպես էլ յուրաքանչյուր տրամաբանական բջջի սպառող ստատիկ հզորությունն ու տեսակարար դինամիկ հզորությունը [170]: Այս դեպքում սխեմայի հզորությունը կարելի է գնահատել հետևյալ բանաձևով՝

$$P = \sum_{j=1}^n (P_{iNn} \cdot K_{iq} \omega + P_{inn}), \quad (4.26)$$

որտեղ  $P_{iNn}$ -ը՝ հրդ բջջի տեսակարար դինամիկ հզորությունն է,  $K_{iq}$ -ն՝ բջջի փոխանցատունների ակտիվությունը,  $\omega$ -ն՝ տվյալ գրադարանի աշխատանքային հաճախականությունը,  $P_{inn}$ -ը՝ հրդ բջջի ստատիկ հզորությունը:

Դիտարկվող օրինակում, որպես տարրային հենք, օգտագործվել է Սինոփսիս Արմենիա ՓԲԸ ուսումնական դեպարտամենտում մշակված SAED32/28nm թվային ստանդարտ բջիջների գրադարանը [171]:

Ամասի գոլմարային հզորությունն է 14,1 ՆՎտ, իսկ B մասինը՝ 6,1 ՆՎտ: Յետևաբար, համաձայն (4.23) պայմանի, A մասը կտեղաբաշխվի ջերմացրիչին ավելի մոտ:

Երրորդ խնդրի լուծման համար, ընդհանուր դեպքում, առաջակվում է տարրերի ներբյուրեղային բազմապարամետրական երկչափ տեղաբաշխում, ինչը կարելի է իրագործել (4.17) չափանիշի կիրառմամբ հաջորդական տեղաբաշխման ավգորիթմով: Դիտարկվող օրինակում կիրառվել է ջերմային դաշտի համահարթեցման (4.15) պայմանը, որը (4.17) չափանիշի մասնավոր դեպքն է, երբ  $a_2=1, a_1=a_2=0$ :

Չզորությունների տարբերությունների բացարձակ արժեքների մատրիցը նորմավորումից հետո և շարային տեղաբաշխման հաշվարկը A(0-2-4-1-5-9) խմբի համար բերված ինչև .4.18-ում:

-	0	1	2	4	5	9		2	5	1	0	9	4
0	0	0.817837	0.789	0.7931	0.65	1	4.046	2.467473	1.176	-0.46	x	x	x
1	0.81784	0	0.029	0.02474	0.17	0.1822	1.226	1.16823	0.824	x	x	x	x
2	0.78914	0.028696	0	0.00396	0.14	0.2109	1.176	x	x	x	x	x	x
4	0.7931	0.024735	0.004	0	0.15	0.2069	1.176	1.16823	0.873	0.824	-0.7623	-1.1762	x
5	0.64566	0.172176	0.143	0.14744	0	0.3544	1.463	1.176151	x	x	x	x	x
9	1.00001	0.182177	0.211	0.20691	0.35	0	1.954	1.532583	0.824	0.46	-1.5405	x	x

Նկ. 4.18. Չզորությունների մատրիցը նորմավորումից հետո և գծային տեղաբաշխումը A(0-2-4-1-5-9) խմբի համար

Այսպիսով, A մասի տարրերի տեղաբաշխման հաջորդականությունն է 2-5-1-0-9-4:

Չզորությունների մատրիցը նորմավորումից հետո և շարային տեղաբաշխումը B(10-6-7-3-8) խմբի համար բերված են ինչև .4.19-ում:

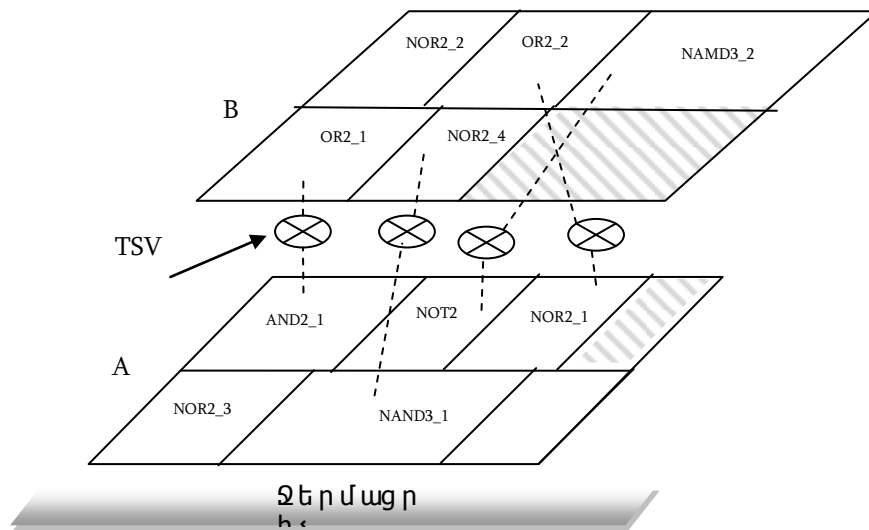
-	3	6	7	8	10		3	7	10	8	6
3	0	0.017104	0.025	0.07	0.496	0.606	x	x	x	x	x
6	0.02	0	0.042	0.05	0.513	0.623	0.588877	0.505	-0.522	-0.6231	x
7	0.03	0	0	0.09	0.471	0.589	0.538709	x	x	x	x
8	0.07	0.050295	0.092	0	0.564	0.774	0.639171	0.454	-0.673	x	x
10	0.5	0.513498	0.471	0.56	0	2.045	1.052208	0.11	x	x	x

Նկ. 4.19. Չզորությունների մատրիցը նորմավորումից հետո և գծային

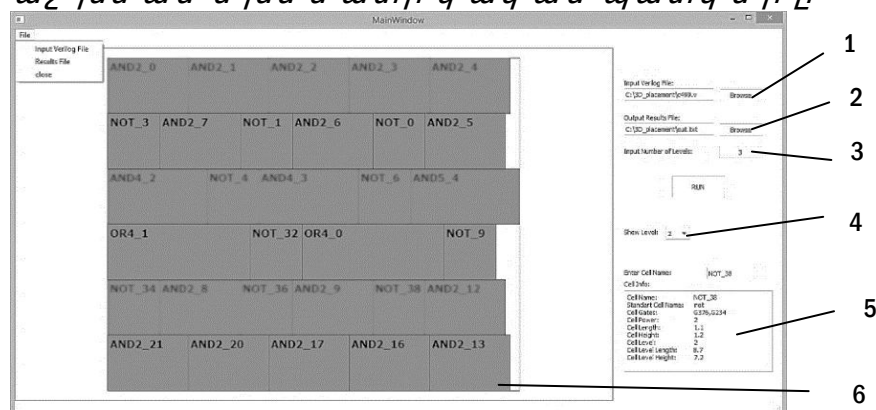
Այս պիտուվ, B մասի տարրերի տեղաբաշխման հաշորդական ությունն է 3-7-10-8-6:

Ստացված շարային տեղաբաշխումների ցկատարված է անցում երկչափ տեղաբաշխման՝ համաձայն 3.2 բաժնում բերված մեթոդաբանության, որի արդյունքները՝ եռաչափ ԻՍ-ի սխեմատիկ պատկերի տեսքով, բերված են նկ. 4.20-ում:

Վերը շարադրված մոտեցման հիման վրա մշակվել է ԻՍ-երի տարրերի շերմային տեղաբաշխման համապատասխան ծրագրային միջոց, որը փորձարկվել է ISCAS 85 շարքի թեստային սխեմաների վրա՝ (4.17) չափանիշի  $a_1$  և  $a_2$  քաջային գործակիցների տարբերարժեքների դեպքում [156, 157]: Ծրագրի աշխատանքային պատուհանը բերված է նկ. 4.21-ում:



Նկ. 4.20.  $a_{28}$  թեստային սխեմայի եռաչափ տեղաբաշխման սխեմատիկական պատկերը



1. մուտքային Verilog\$-ը, 2. ելքային \$այլի հասցեն, 3. մակարդակների թիվը, 4. արտապատկերվող մակարդակի համարը, 5.

Նկ. 4.21. Տեղաբաշխման ծրագրի տվյալները



Այնուհանդերձ նախագծողին հարմարեցված ինտերֆեյս, որը հնարավորություն է տալիս ստանալ և արտապատկերել յուրաքանչյուր մակարդակի բյուրեղի վրա տարրերի տեղաբաշխումը: Ծրագրի համար որպես մուտք ծառայում է սխեմայի Verilog նկարագիրը և որպես տարրային հենք՝ օգտագործվող ստանդարտ գրադարանային բջիջների և հզորությունների արժեքները: ԻՍ-ի մակարդակների թիվը ներմուծվում է նախագծողի կողմից:

Որպես տարրային հենք օգտագործվել է Սինոփսիս Արմենիա ՓԲԸ ուսումնական դեպարտամենտում մշակված SAED32/28nm թվային ստանդարտ բջիջների գրադարանը [171]:

Որպես օրինակ, նկ. 4.21-ում ներկայացված է 98 տարր պարունակող C499 - ISCAS-85 թեստային սխեմայի եռամակարդակ տեղաբաշխման 2-րդ մակարդակի տեղաբաշխումը, որը պարունակում է 31 բջիջ:

Դիտարկված բոլոր սխեմաները մասնատվել են երեքական մասերի՝ բջիջների մոտավորապես հավասար գումարային մակերեսներով: Յուրաքանչյուր հարթակի համար իրագործվել է 4.3 ենթագլխում նկարագրված տեղաբաշխման հաջորդական ալգորիթմը, (4.17) ընդհանրացված չափանիշի օգտագործմամբ, ինչը թույլ է տալիս հաշվի առնել ինչպես տարրերի էլեկտրական կապվածությունը, այնպես էլ ԻՍ-ի շերմային ռեժիմը:

Հզորությունների տոպոլոգիական բաշխման որակի գնահատումը կատարվել է ԻՍ-ի բյուրեղի լոկալ շերմային տեղամասերի առավելագույն և նվազագույն հզորությունների տարբերությամբ: Ակնհայտ է, որ որքան փոքր է այդ տարբերությունը, այնքան ավելի մեծ է հզորությունների տեղաբաշխման համահարթեցումը: Լոկալ շերմային տեղամասերի չափսերի ընտրությունը կատարվել է՝

հիմնվելով ջերմափոխանակության տեղային ազդեցության սկզբունքի վրա: Յամաձայն դրա՝ ջերմային դաշտի ցանկացած տեղային գրգռումը ջերմափոխանակության տեսակետից հանդիսանում է տեղային և թույլ է ազդում դաշտի հեռավոր կետերի վրա:

Յետազոտության ներքին գույք են տվել, որ ստանդարտ բջիջների տեղաբաշխման դեպքում և կալ ջերմային տեղամասերի չափսերը կարելի է վերցնել 4-ական հարևան տարրերից կազմված տեղամասերի չափով [169]:

Եթե դիտարկվող տեղաբաշխումը կազմված է  $m$  հատկապես ջերմային տեղամասերից, ապա որևէ  $i$ -րդ տեղամասում ( $L_i$ ) տեղաբաշխված տարրերի տեսակարար հզորությանը գնահատվում է հետևյալ կերպ՝

$$K_{L_i} = \left( \frac{\sum_{i \in L_i} P_i}{\sum_{i \in L_i} S_i} \right); i = 1, 2, \dots, m: \quad (4.27)$$

Տեղաբաշխման ընդհանուր որակը հզորության ներքին համահարթեցման տեսանկյունից գնահատվի հետևյալ կերպ՝

$$K_L = \left( \frac{\max K_{L_i} - \min K_{L_i}}{\max K_{L_i}} \right) 100\%; i = 1, 2, \dots, m: \quad (4.28)$$

Տարբեր թեստային սխեմաների համար տեղաբաշխման որակի համեմատական արդյունքները ներկայացված են աղ. 4.2-ում:

Տեղաբաշխման ընդհանուր որակը հզորության ներքին համահարթեցման տեսանկյունից հաշվարկված է (4.29) բանաձևով տեղաբաշխման յուրաքանչյուր մակարդակի համար, այնուհետև միջինացված է տվյալ սխեմայի բոլոր 3 մակարդակների համար:

Թեստային սխեմաների տարրերի տեղաբաշխման

Սխեմայի նշանակումը		C499	C3540	C5315
Բջիջների քանակը		202	1669	2307
Նսնահանրացված որակը, ըստ հզորություն	$a_1 = 1;$ $a_2 = 0$	0.45	0.22	0.25
	$a_1 = 0;$ $a_2 = 1$	0.14	0.09	0.12
	$a_1 = 0.5;$ $a_2 = 0.5$	0.26	0.13	0.16
Միջմիջոցները գումարային երկարությունը, մկմ	$a_1 = 1;$ $a_2 = 0$	4731	52134	152429
	$a_1 = 0;$ $a_2 = 1$	2089	28475	74638
	$a_1 = 0.5;$ $a_2 = 0.5$	2488	31462	78428

համեմատական տվյալները

Լոկալ ջերմային տեղամասերի չափսերը վերցված են տեղաբաշխված 4 հարևան բջիջներին համապատասխան: Միջմիջոցների գումարային

Երկար ու թյունը գնահատված է կիսապարագծային մոդելով:

Ինչպես երևում է աղյուսակից, քաշի գործակիցներն  $a_1 = a_2 = 0.5$  արժեքներին դեպքում, համեմատած առանց հզոր ու թյուն ներքին հաշվի առնող ( $a_1 = 0; a_2 = 1$ ) տարբերակի հետ, հզոր ու թյուն ներքին համահարթեցման  $K_L$  գործակից արժեքը մեծանում է 33 – 85%-ով, իսկ միջմիացումներին գումարային երկար ու թյունը, համեմատած առանց միջմիացումները հաշվի առնող ( $a_1 = 0; a_2 = 1$ ) տարբերակի հետ, նվազում է 40 – 50%-ով:

Ամփոփելով վերը շարադրվածը՝ կարող ենք եզրակացնել.

- Առաջարկվել են եռաչափ ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման բազմապարամետրական մեթոդ և ծրագրային միջոց, հիմնված երկչափ տեղաբաշխման հայտնի մեթոդների փոխակերպման վրա, որոնք իրագործվել և փորձակվել են թեստային սխեմաների օրինակով:
- Առաջարկված մեթոդի փորձարկումները ցույց են տվել դրա բարձր արդյունավետ ու թյունը ինչպես եռաչափ կառուցվածքի միջբյուրեղային էլեկտրական կապվածության նվազարկման, այնպես էլ ներբյուրեղային ջերմային դաշտի տոպոլոգիական համահարթեցման տեսանկյուններին:

### **Եզրակացում ու թյուններ**

1. Հիմնավորված է, որ ԻՍ-երի հոսալի ու թյան բարձրացման արդյունավետ ճանապարհ կարող է լինել, տարրերի տեղաբաշխման փոփոխում ջերմաստիճաններին տոպոլոգիական բաշխված ու թյան համահարթեցման ապահովումը, ինչը հանգեցնում է կիսահաղորդչային բյուրեղի

վրա ջերմային գրադիենտի փոքրացմանը, որը, իր հերթին, ապահովում է հոլսալիոլթյան տեսակետից առավել վտանգավոր և ոկալ բարձր ջերմային տեղամասերում ջերմաստիճանների իջեցումը և ջերմային հոլսալիոլթյան բարձրացումը:

2. Մշակված և տեսականորեն հիմնավորված է ԻՍ-երի տարրերի նախնական ջերմային տեղաբաշխման նոր չափանիշ, որի հիմքում ընկած է տարրերի միջոցով ցրվող հզորությունների հավասարաչափ տոպոլոգիական բաշխումը:

3. Հիմնվելով մշակված չափանիշի մաթեմատիկական հարմար տեսքի վրա՝ առաջարկվել են ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման ընդհանրացված չափանիշ և դրավրա հիմնված տեղաբաշխման մեթոդ, որոնք, ի տարբերություն ներկայումս գոյություն ունեցող ջերմային տեղաբաշխման մեթոդների, ջերմային ռեժիմի հետ միաժամանակ հաշվի են առնում նաև տարրերի էլեկտրական կապվածությունը:

4. Առաջարկվել են ԻՍ-երի տարրերի բազմապարամետրական նախնական տեղաբաշխման չափանիշ և դրա կիրառման վրա հիմնված տեղաբաշխման հաջորդական ալգորիթմ, որոնք թույլ են տալիս տարրերի էլեկտրական կապվածության հետ միաժամանակ հաշվի առնել սխեմայի արագագործությունը և ջերմային ռեժիմը, ապահովում է սխեմայի արագագործության և ջերմային ռեժիմի 20-ից 35 % բարելավում՝ միջմիացումների գումարային երկարության ոչավելի, քան 20% աճի պայմաններում:

5. Առաջարկված մեթոդի արդյունավետությունը ցույց է տրված թեստային սխեմայի տարրերի բազմապարամետրական տեղաբաշխման օրինակով, որի արդյունքում տեղաբաշխման  $f_{\text{տ}}$  պարամետրի որակական 21%-ով վատթարացումը հանգեցրել է

մնացած  $f_2$  և  $f_3$  պարամետրերի համապատասխանաբար 31% և 21% որակական բարելավմանը :

6. Առաջարկվել են եռաչափ ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման բազմապարամետրական մեթոդ և ծրագրային միջոց՝ հիմնված երկչափ տեղաբաշխման հայտնի մեթոդների փոխակերպման վրա, որոնք իրագործվել և փորձակվել են թեստային սխեմաների օրինակով : Առաջարկված մեթոդի փորձարկումները ցույց են տվել դրա բարձր արդյունավետությունը ինչպես եռաչափ կառուցվածքի միջբյուրեղային էլեկտրական կապվածության նվազարկման, այնպես էլ ներբյուրեղների ջերմային դաշտի տոպոլոգիական համահարթեցման տեսանկյուններից՝ 33 – 85% -ով և միջմիացումների գումարային երկարության նվազարկման տեսանկյուններից՝ 40 – 50% -ով :

**Գ Լ Ո Ւ Խ 5. Ի Ն Տ Ե Գ Ր Ա Լ Ս Խ Ե Մ Ա Ն Ե Ր Ի  
Է Ն Ե Ր Գ Ա Ս Պ Ա Ռ Մ Ա Ն Ե Վ Ջ Ե Ր Մ Ա Ս Տ Ի Ճ Ա Ն Ն Ե Ր Ի  
Տ Ո Պ Ո Լ Ո Գ Ի Ա Կ Ա Ն Բ Ա Շ Խ Մ Ա Ն Գ Ր Ա Ֆ Ի Կ Ա Կ Ա Ն  
Ի Ն Տ Ե Ր Ֆ Ե Յ Ս Ի Մ Շ Ա Կ Ո Ւ Մ Ը Ե Վ  
Օ Գ Տ Ա Գ Ո Ր Ծ Ո Ւ Մ Ը Ն Ա Խ Ն Ա Կ Ա Ն Տ Ե Ղ Ա Բ Ա Շ Խ Մ Ա Ն  
Ժ Ա Մ Ա Ն Ա Կ**

**5.1. Տեղաբաշխման դաշտի ջերմային  
մոդելավորման մեթոդների ակնարկ**

Ջերմափոխանակության տեսությունը, ընդհանուր առմամբ, և նադիր էլեկտրոնային

սարքերի ջերմային մոդելավորման հարցերը, մասնավորապես, ներկայումս բավականին լավ ուսումնասիրված են: Վերջին տարիներին կատարվել են մեծ ծավալի գիտական հետազոտություններ ԻՍԵՐԻ ջերմային մոդելավորման բնագավառում [149, 172-178]: Ջերմափոխանակության տեսական հարցերի ներկայացումը դուրս է այս ատենախոսության սահմաններից: Ստորև ներկայացված է ջերմային մոդելավորման մեթոդների հակիրճ ակնարկ՝ առանց խորանալու դրանց տեսական հարցերի մեջ:

Ջերմային մոդելավորման դասական մեթոդները կարելի է բաժանել երկու խմբի՝ անալիտիկ և թվային:

**Անալիտիկ մեթոդներ** [149, 172, 174, 176]: Տիպային անալիտիկ մեթոդները հիմնված են Գրինի \$N\$-նկցիայի վրա, որի ստացումը կարող է կատարվել արտապատկերման, Լապլասի փոխակերպման և փոփոխականների տարանջատման մեթոդներով: Գրինի \$N\$-նկցիայի անալիտիկ տեսքը հետևյալն է՝

$$G(x, T | x', T') = \frac{1}{\sqrt{4pa(T - T')}} \exp\left[-\frac{(x - x')^2}{4a(T - T')}\right], \quad (5.1)$$

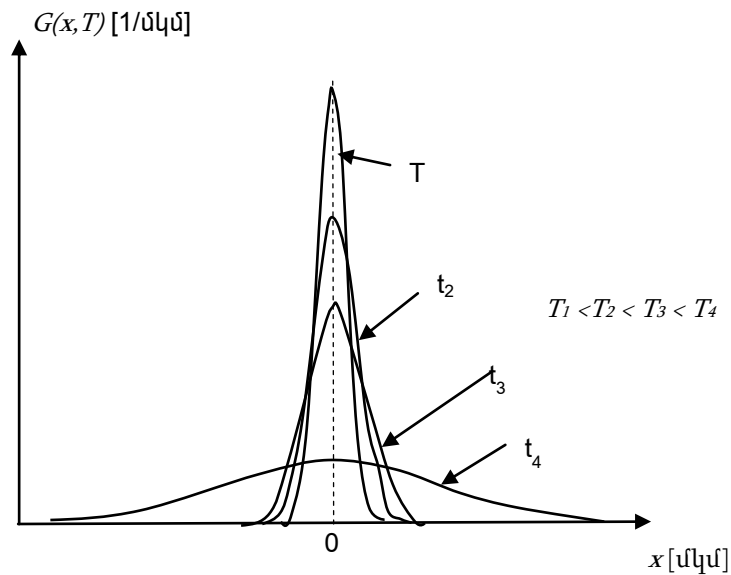
որտեղ  $x, x'$  և  $T, T'$  համապատասխանաբար ջերմություն և ժամանակի ընթացիկ ու տրված սահմանային արժեքներն են, իսկ  $a$ -ն դրական հաստատուն է:

Գրինի \$N\$-նկցիայի տիպային որակական տեսքը բերված է նկ. 5.1-ում:

Ջերմային մոդելավորման անալիտիկ մեթոդների առավելություններն են՝

- Լուծման տվյալ բանաձևի շրջանակներում մեծ ճշտության ապահովումը,

- համապատասխան ծրագրային ապահովման դեպքում մեծ արագագործությունը:



Ն Կ . 5. 1. Գրիսի ֆունկցիայի որակական տեսքը

Սակայն դրանք ունեն հետևյալ էական թերությունները, որոնք խիստ սահմանափակում են վերջիններիս կիրառությունը իրական բարդ կառուցվածքների ջերմային վերլուծության գործնական խնդիրներում՝

- իրական քիչ թե շատ բարդ կառուցվածքների համար բացահայտ լուծման բանաձևի առկայության բացակայություն,
- հետազոտվող կառուցվածքի մոդելի պարտադիր պարզեցման անհրաժեշտություն:

Ջերմային մոդելավորման անալիտիկ մեթոդների առավելությունների օգտագործման նպատակով կիրառություն են գտել, այսպես կոչված, կիսաանալիտիկ մեթոդները: Այս դեպքում հետազոտվող կառուցվածքի ամբողջական մոդելը բաժանվում է տարրական մոդելների, որոնցից յուրաքանչյուրում կարող են արհամարհվել վերը նշված թերությունները, և խնդիրը կարող է



լ ու ծ վ ե լ ան ա լ ի տ ի կ մ ե թ ո դ ն ե ր ո վ : Ա մ ք ո դ ջ ա կ ան մ ո դ ե լ ի հ ա մ ար խ ն դ ր ի լ ու ծ ու մ ը գ ծ ա յ ն ա գ վ ու մ է ` օ գ տ վ ե լ ո վ վ ե ր ա դ ր մ ան ս կ զ ք ու ն ք ի ց , ո ր ի հ ի մ ք ու մ ը ն կ ա ծ է տ ար ր ա կ ան մ ո դ ե լ ն ե ր ո վ ս տ ա գ վ ա ծ ար դ յ ու ն ք ն ե ր ի վ ե ր ա դ ր ու մ ը [149]:

**Թվային մեթոդներ** [172, 174, 175, 177]: Ջ ե ր մ ա յ ի ն մ ո դ ե լ ա վ ո ր մ ան թ վ ա յ ի ն մ ե թ ո դ ն ե ր ը հ ի մ ն վ ա ծ ե ն ջ ե ր մ ա փ ո խ ան ա կ ու թ յ ան դ ի ֆ ե ր ե ն ց ի ա լ հ ա վ ա ս ար մ ան լ ու ծ մ ան թ վ ա յ ի ն մ ե թ ո դ ն ե ր ի կ ի ր ա ռ մ ան վ ր ա , ո ր ի դ ե պ ք ու մ հ ե տ ա զ ո տ վ ո դ կ ա ռ ու ց վ ա ծ ք ի ա մ ք ո դ ջ ա կ ան ան ը ն դ հ ա տ մ ո դ ե լ ը դ ի ս կ ր ե տ ա գ վ ու մ է , և լ ու ծ վ ու մ է հ ան ր ա հ ա շ վ ա կ ան հ ա վ ա ս ար ու մ ն ե ր ի հ ա մ ա կ ար գ : Ա յ ս պ ի ս ի մ ո տ ե ց մ ան հ ի մ ն ա կ ան ա ռ ա վ ե լ ու թ յ ու ն ը ք ար դ կ ա ռ ու ց վ ա ծ ք ն ե ր ի վ ե ր լ ու ծ ու թ յ ան հ ն ար ա վ ո ր ու թ յ ու ն ն է , ի ս կ ո ր պ ե ս թ ե ր ու թ յ ու ն կ ար ե լ ի է ն շ ե լ ա յ ն հ ան գ ա մ ան ք ը , ո ր լ ու ծ մ ան ար դ յ ու ն ա վ ե տ ու թ յ ու ն ը և ճ շ տ ու թ յ ու ն ը ան մ ի ջ ա կ ան ո ր ե ն կ ա խ վ ա ծ ե ն դ ի ս կ ր ե տ ա գ մ ան ձ և ի ց և ք ա յ լ ի ց : Կ ա խ վ ա ծ հ ե տ ա զ ո տ վ ո դ կ ա ռ ու ց վ ա ծ ք ի դ ի ս կ ր ե տ ա գ մ ան ձ և ի ց , թ վ ա յ ի ն մ ե թ ո դ ն ե ր ը ք ա ժ ան վ ու մ ե ն ե ր կ ու խ մ ք ի `

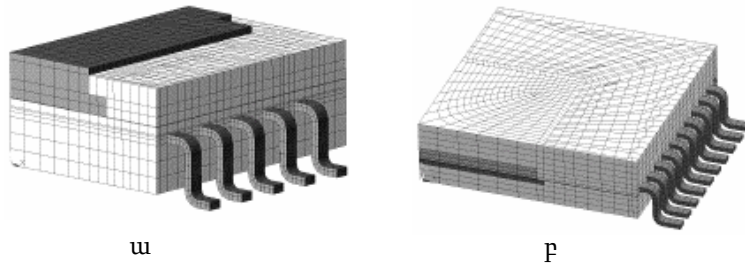
- վ ե ր ջ ա վ ո ր տ ար ք ե ր ու թ յ ու ն ն ե ր ի մ ե թ ո դ ,
- վ ե ր ջ ա վ ո ր տ ար ր ե ր ի մ ե թ ո դ :

Վ ե ր ջ ա վ ո ր տ ար ք ե ր ու թ յ ու ն ն ե ր ի մ ե թ ո դ ի դ ե պ ք ու մ դ ի ս կ ր ե տ ա գ մ ան ց ա ն ց ն ու ն ի խ ի ս տ կ ան ո ն ա վ ո ր , պ ար ք ե ր ա կ ան ք ն ու յ թ և ն ե ր կ ա յ ա ց ն ու մ է տ ար ր ա կ ան խ ո ր ան ար դ ն ե ր ի հ ան ր ա գ ու մ ար : Ա յ ս մ ե թ ո դ ի հ ի մ ն ա կ ան ա ռ ա վ ե լ ու թ յ ու ն ն ե ր ը դ ի ս կ ր ե տ ց ա ն ց ի կ ա ռ ու ց մ ան պ ար գ ու թ յ ու ն ը և հ ա շ վ ո դ ա կ ան փ ո ք ր ժ ա մ ան ա կ ն ե ն , ի ս կ թ ե ր ու թ յ ու ն ը ` հ ե տ ա զ ո տ վ ո դ օ ք յ ե կ տ ի կ ա ռ ու ց վ ա ծ ք ի ու դ դ ան կ յ ու ն զ ու գ ա հ ե ռ ան ի ս տ ե ր ո վ ար տ ա հ ա յ տ վ ա ծ կ ան ո ն ա վ ո ր տ ե ս ք (ն կ .5.2.ա) ու ն ե ն ա լ ու պ ա յ մ ան ը [172]:

Ի տ ար ք ե ր ու թ յ ու ն վ ե ր ջ ա վ ո ր տ ար ք ե ր ու թ յ ու ն ն ե ր ի մ ե թ ո դ ի , վ ե ր ջ ա վ ո ր տ ար ր ե ր ի

մեթոդի դեպքում դիսկրետացման ցանցի վրա հատուկ պահանջներ չեն դրվում և այն կարող է ունենալ ցանկացած տեսք (նկ. 5.2. բ): Այս մեթոդի առավել ությունը դիսկրետ ցանցի կամայական տեսքն է, որը թույլ է տալիս որոշել օբյեկտի ցանկացած կետի ջերմաստիճանը, իսկ թերուղյակները՝ մեծ հաշվողական ժամանակը:

Ջերմային մոդելավորման թվային մեթոդները, լինելով բավարարողյուն ավետի Մ-երի ընդհանուր ջերմային վերլուծության խնդիրներում, բավականին անհարմար են անմիջականորեն դրանց նախագծման ընթացքում օպերատիվ օգտագործման տեսանկյունից, քանի որ վերջիններս օգտագործումը բավականին աշխատատար է և հանգեցնում է նախագծման ժամկետների մեծացման:



*Նկ. 5.2. Դիսկրետ ցանցի կառուցվածքը ջերմային մոդելավորման թվային մեթոդներում. ա) վերջավոր տարրեր ու թյուններ ի մեթոդ, բ) վերջավոր տարրերի մեթոդ*

Մյուս կողմից՝ ԻՄ-երի նախագծման ընթացքում և, առաջին հերթին, ֆիզիկական նախագծման փուլում, որպես կանոն, ուժագրավ են տեղային բարձր ջերմաստիճանային տարածքները: Բացի այդ, տարրերի տեղաբաշխման փուլում կարևորվում է ոչ այնքան ջերմաստիճանների գնահատման ճշտությունը, որքան տարբեր տարրերի կամ տոպոլոգիական տարածքների ջերմաստիճանային

տարբերությունները, այսինքն՝ ջերմային գրադիենտը: Այս դեպքում անհրաժեշտություն է առաջանում այնպիսի մոդելների կիրառման, որոնք երկրաչափական տեսքի և նյութական կառուցվածքների պարզեցման հաշվին ապահովում են կոնկրետ տեղային տարածքների ջերմաստիճանների արագ գնահատումը: Այդպիսի ջերմային մոդելները հիմնված են ջերմության աղբյուրների համադրման սկզբունքի վրա, ինչը ենթադրում է առանձին ջերմության աղբյուրների գումարային ազդեցության գնահատումը հետաքրքրություններ կայացնող տեղային տարածքի վրա: Այդ սկզբունքի վրա կառուցված մոդելները կոչվում են սեղմ ջերմային մոդելներ [173, 178]: Սեղմ ջերմային մոդելներում տարբեր ջերմային տարածքների փոխազդեցությունը մոդելավորվում է համապատասխան ջերմային դիմադրություններով և ունակություններով: Եթե հաշվի են առնվում միայն ջերմային դիմադրությունները, ապա ստացվում են ստացիոնար սեղմ մոդելներ, իսկ եթե հաշվի են առնվում նաև ջերմային ունակությունները՝ ապա դիսամիկ սեղմ մոդելներ, որոնք հաշվի են առնում ջերմային անցողիկ գործընթացները:

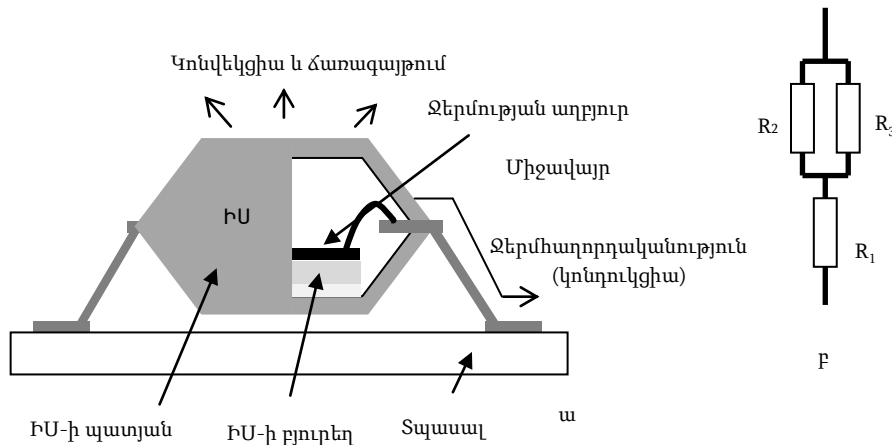
ԻՍ-երի ջերմային մոդելավորման և վերլուծության ժամանակակից ծրագրային գործիքները մեծասամբ դեռևս ինտեգրված չեն արդյունաբերական նշանակության էլեկտրոնային նախագծման ավտոմատացման համակարգերում և, որպես կանոն, ներկայացնում են ինքնավար գործիքային միջոցներ, որոնք նպատակառոչված են նախագծային որոշակի գործընթացների արդյունավետության բարձրացմանը: Ջերմային մոդելավորման արդյունաբերական միջոցները

հիմնականում նախատեսված են տպասալերի ջերմային ռեժիմների վերլուծության համար: Դրանցից առավել լայն տարածում են գտել «Մենթոնր գրաֆիկս» ընկերության HyperLynx և Flo/PCB, ANSYS ընկերության TASPBCB և Ռուսաստանի դաշնության ընկերությունները [179]:

Ջերմային մոդելավորման HyperLynx ծրագրի հիմնական առավելություններ դրա բարձր ճշտությունը և օգտագործման հարմարավետություններն են: Սակայն դրա հետքերից սրբ հարմարեցված է տպասալերի նախագծման Expedition PCB փաթեթին, որի պատճառով այն շատ հարմար է տպասալերի ջերմային մոդելավորման համար, իսկ ԻՍ-երի դեպքում առաջանում են որոշակի դժվարություններ՝ կապված տարրերի դիրքային նշանակումների, բաղադրիչների տիպերի, դրանց ձևի, կոորդինատների և այլ նկարագրության հետ: Flo/PCB ծրագիրը նույնպես նախատեսված է առաջին հերթին տպասալերի ջերմային մոդելավորման համար: Այն բարդ կառուցվածքների նկարագրության հնարավորություն չի տալիս, սակայն ապահովում է կարճ մոդելավորման ժամանակ: Այն հնարավորություն ունի ինտեգրվելու «Քեյդենս» ընկերության \$իգիկական նախագծման Allegro փաթեթի հետ: TASPBCB ծրագիրն ունի բարդ երկրաչափական տարրերի և սխեմաների նկարագրման համար նախատեսված ինտերֆեյս, սակայն այն նախատեսված չէ առկա նախագծային համակարգերի հետ ինտեգրվելու համար:

Այսպիսով, ամփոփելով վերը շարադրվածը, կարող ենք ասել, որ առկա արդյունաբերական ծրագրային միջոցները նախատեսված չեն ժամանակակից բարձր ինտեգրացմամբ ԻՍ-երի ջերմային մոդելավորման համար: Դրանցում ԻՍ-ը դիտարկվում է որպես

ամբողջական ջերմային տիրույթ, ինչպես պատկերված է նկ. 5.3-ում:



*Նկ. 5.3. ԻՍ-ի ջերմային մոդելը. ա) ջերմույթյան ճանապարհները բ) ջերմափոխանկույթյան մոդելը*

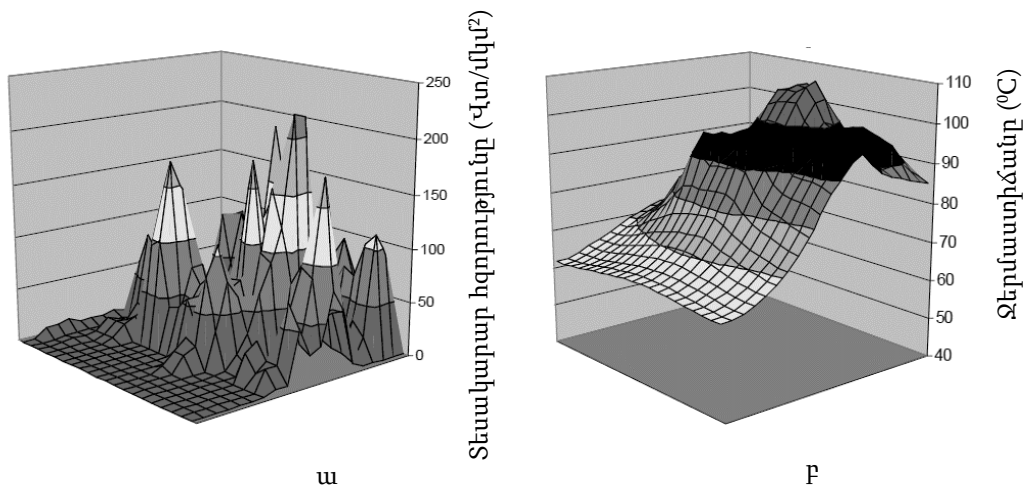
Այս դեպքում ԻՍ-ի հզորությունը սպառող տարրերից ջերմույթյունը տրվում է տպասալին ջերմահաղորդականության ճանապարհով, իսկ շրջակա միջավայրին՝ կոնվեկցիայի և ճառագայթման ճանապարհով: ԻՍ-ի ջերմաստիճանը որոշվում է (4.20) բանաձևով:

ԻՍ-ի պատյանի համարժեք ջերմային դիմադրությունը մոդելավորվում է 3 դիմադրությունների միջոցով, ինչպես ցույց է տրված նկ. 5.3. բ-ում, որտեղ  $R_1$ -ը բյուրեղ-շրջակա միջավայր ջերմային դիմադրությունն է, իսկ  $R_2$  և  $R_3$ -ը՝ համապատասխանաբար իրան-շրջակա միջավայր կոնվեկտիվ և ճառագայթային դիմադրությունները:

Նման մոտեցումը կիրառելի է համեմատաբար պարզ և այնպիսի ԻՍ-երի դեպքում, որոնցում կիսահաղորդչային բյուրեղի վրա ջերմային գրադիենտը գործնականում բացակայում է: Այսպես, օրինակ, համեմատաբար մեծ տեխնոլոգիաների դեպքում (0,5 մկմ և ավելի), ԻՍ-երի բյուրեղների վրա ջերմաստիճանների տոպոլոգիական

տարբերությունները չէին գերազանցում 1-2°C, ինչը թույլ էր տալիս կիսահաղորդչային բյուրեղը դիտարկել որպես մեկ ընդհանուր ջերմային տիրույթ [180]: Ինչպես արդեն նշվել է, ժամանակակից ԻՍ-երում առկա է ջերմաստիճանների խիստ անհամաչափ բաշխում բյուրեղի մակերեսի վրա: Նկ. 5.4-ում բերված են միջին բարդություն պրոցեսորային ԻՍ-ի բյուրեղի վրա հզորությունների և ջերմաստիճանների բաշխման եռաչափ քարտեզները [181]:

Ինչպես երևում է նկ. 5.4. ա)-ից, ԻՍ-ի տարրերի տեղաբաշխման արդյունքում առաջանում է տեսակարար հզորությունների տոպոլոգիական բաշխման մեծ անհամասեռություն, որը մկմ<sup>2</sup>



մակերեսի վրա կարող է փոփոխվել միավոր վտ-երից մինչև 200վտ:

*Նկ. 5.4. Հզորությունների (ա) և ջերմաստիճանների (բ) քարտեզները*

Չնայած կիսահաղորդչային բյուրեղի ջերմահաղորդականության հետևանքով ջերմաստիճանների բաշխումը որոշ չափով հարթվում է, սակայն դրանց տարբերությունները մնում են բավականին մեծ: Ինչպես երևում է նկ. 5.4. բ)-ից, բյուրեղի վրա առկա է ջերմային մեծ

գրադիենտ, որի արդյունքում տարբեր տեղամասերի ջերմաստիճանների տարբերությունը կազմել է շուրջ 55°C: Ընդ որում, բավականին մոտ տարածքներում ջերմաստիճանների տարբերությունը հասնում է մոտ 20°C:

Ասվածից հետևում է, որ ներկայումս մեծ կարևորություն է ստանում ԻՍ-երի ջերմային մոդելավորման այնպիսի միջոցների ստեղծումը, որոնք հնարավորություն կտան տարրերի տեղաբաշխման փոփոխում օպերատիվ ձևով գնահատել ջերմաստիճանների բաշխումը: Սա թույլ կտա անհրաժեշտության դեպքում համապատասխան վերատեղաբաշխումների միջոցով կառավարել ջերմաստիճանների բաշխումը:

Բացի այդ, ԻՍ-ի ջերմային մոդելավորման առկա ծրագրային փաթեթները հաշվի չեն առնում այն հանգամանքը, որ ԻՍ-երի բյուրեղի տարբեր ջերմային տիրույթներում գտնվող տրանզիստորների ջերմաստիճաններից կախված՝ տարբեր չափերով են փոփոխվում տրանզիստորների էլեկտրական պարամետրերը և, հետևաբար, ամբողջական սխեմայի պարամետրերը: Չաշվի առնելով ջերմային ռեժիմի խիստ ազդեցությունը ժամանակակից ԻՍ-երի հոսալիության վրա՝ ներկայումս բնագավառի առաջատար ընկերություններում ինտենսիվ հետազոտություններ են կատարվում այդ ուղղությամբ: Այդ հետազոտությունների հիմքում ընկած է ջերմաէլեկտրական մոդելավորման գաղափարը [13, 149, 154-157, 172, 174, 175, 182-184]:

Գոյություն ունի ջերմաէլեկտրական մոդելավորման երկու հիմնական մոտեցում: Առաջինը, այսպես կոչված, «միջավայրերի համատեղման» մեթոդն է, որը ենթադրում է մոդելավորման էլեկտրական և ջերմային

միջավայրերի համատեղ կիրառումը: Այս մոտեցումը ընկած է տարբեր ջերմաստիճանների համար սխեմաների մոդելավորման հիմքում: Այս դեպքում ջերմաստիճանը ներառված է սխեմայի տարրերի մոդելներում: Այսպիսի մոտեցումն օգտագործվում է սխեմաների էլեկտրական նմանակման ծրագրերում, որոնցից առավել մեծ տարածում է գտել Spice ծրագրային գործիքը: Այս մոտեցումը, օտագործվելով սխեմատեխնիկական նախագծման փուլում, չի կարող օգտագործվել \$իզիկական նախագծման փուլում, քանի որ այն հաշվի չի առնում տարրերի միջև առկա ջերմային ազդեցությունները:

Երկրորդը ջերմաէլեկտրական նմանակման մեթոդն է, որի հիմքում ընկած է ջերմային և էլեկտրական երևույթների համանմանությունը: Այս դեպքում նախօրոք կառուցվում է հետազոտվող կառուցվածքի ջերմափոխանակության համարժեք էլեկտրական սխեման, որից հետո ջերմային ռեժիմի վերլուծությունը կատարվում է՝ օգտվելով լայն տարածում ստացած էլեկտրական նմանակման ծրագրային գործիքներից: Այս մեթոդը հարմար է օգտագործել ԻՍ-երի \$իզիկական նախագծման փուլում հետևյալ հիմնական պատճառներով՝

- բարդ \$իզիկական կառուցվածքները վերածվում են համեմատաբար պարզ, հիմնականում միայն ռեզիստորներից կազմված համարժեք էլեկտրական սխեմաների,
- \$իզիկական նախագծման ընթացքում առաջացող տարրերի տեղաբաշխման փոփոխությունները, որպես կանոն, չեն հանգեցնում սխեմայի կառուցվածքի փոփոխության, այլ անդրադառնում են միայն պարամետրերի արժեքների վրա,
- սխեմատեխնիկական մոդելավորման առկա ծրագրերը ներառված են արդյունաբերական



նախագծման համակարգերում և հարմար են նախագծման գործընթացում օպերատիվ օգտագործման տեսանկյուններից :

Այս գլխի հաշորդող ենթագլխում նվիրված են ջերմաէլեկտրական նմանակման մեթոդի կիրառությունը տարրերի նախնական տեղաբաշխման փուլում և դրա հիման վրա ԻՍ-երի ջերմային մոդելավորման գործիքի իրագործմանը :

Ամփոփելով վերը շարադրվածը՝ կարող ենք եզրակացնել .

- ԻՍ-երի ջերմային մոդելավորման առկա արդյունաբերական ծրագրային միջոցները հարմարեցված չեն ենթամիկրոնային ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման փուլում օգտագործման համար :
- Ներկայումս մեծ կարևորություն է ստանում ԻՍ-երի ջերմային մոդելավորման այնպիսի միջոցների ստեղծումը, որոնք հնարավորություն կտան տարրերի տեղաբաշխման փուլում օպերատիվ ձևով գնահատել նաև ջերմաստիճանների բաշխումը : Սա թույլ կտա, անհրաժեշտության դեպքում, համապատասխան վերատեղաբաշխումների միջոցով կառավարել ջերմաստիճանների բաշխումը :

**5.2. Ջերմաէլեկտրական նմանակման մեթոդի կիրառությունը տարրերի նախնական տեղաբաշխման փուլում**

Ջերմաէլեկտրական նմանակման մեթոդը, որպես ԻՍ-երի ջերմային մոդելավորման միջոց, հիմնված է հետևյալի վրա՝

- ջերմափոխանակության սեղմ մոդելի կիրառում ,

- ջ երմային և էլեկտրական երևույթների համանմանությունը:

Ջերմափոխանակության սեղմ մոդելի մաթեմատիկական տեսքը հիմնված է ջերաստիճանի որոշման բանաձևի մատրիցային ներկայացման վրա: Եթե ԻՍ-ի կիսահաղորդչային հարթակի ֆիզիկական կառուցվածքը ներկայացվի  $\alpha \times \alpha$  չափողականությամբ մատրիցաձև դասավորված ջերմային տիրույթների տեսքով, ինչպես նաև հաշվի առնվի ջերմային համադրման սկզբունքը, ապա ջերմափոխանակության սեղմ մոդելը կունենա հետևյալ մաթեմատիկական տեսքը [145, 146]՝

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_i \\ \vdots \\ \theta_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{i1} & R_{ij} & \ddots & R_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_i \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix}; i = 1, \dots, n, \quad (5.2)$$

որտեղ  $q_i$ - ներդրումը և  $i$ -րդ տոպոլոգիական բջջի ջերմաստիճանն է,  $R_{ij}$ -ն՝  $i$ -րդ և  $j$ -րդ տոպոլոգիական բջջի ներքին տեղաբաշխման տեղերի միջև եղած ջերմային դիմադրությունը, իսկ  $P_i$ -ն՝  $i$ -րդ տոպոլոգիական բջջի հզորությունը:

Ջերմափոխանակության սեղմ մոդելի անմիջական մաթեմատիկական լուծումը պահանջում է մեծ ծավալի հաշվարկներ, իսկ ինչն ավելի սկզբունքային է, պահանջում է  $R_{ij}$  ջերմային դիմադրությունների արժեքների հմացությունը:

Նշված դժվարությունների հաղթահարման նպատակով կատարվում է ջերմափոխանակության սեղմ մոդելի համադրություն և համապատասխան էլեկտրական մոդելի հետ: Սա հնարավոր է իրականացնել՝ օգտվելով ջերմային և էլեկտրական երևույթների համանմանությունից [185]:

Ինչպես հայտնի է, հոծ մարմիններում, հաստատված ջերմային ռեժիմում,  $X$  ուղղությամբ, ջերմային Քհոսքը որոշվում է Ֆուրյեի օրենքով՝

$$q = -\mu \text{grad}\theta, \quad (5.3)$$

համաձայն որի ջերմային հոսքի խտությունը համեմատական է ջերմաստիճանի գրադիենտին:  $\mu$  համեմատականության գործակիցը տվյալ նյութի՝ ջերմունքի հաղորդելու հատկությունը բնութագրող ֆիզիկական պարամետր է և կոչվում է տեսակարար ջերմահաղորդականության գործակից:

(5.3) արտահայտության աջ կողմի միևնուս նշանը ցույց է տալիս, որ ջերմային հոսքն ուղղված է գրադիենտի վեկտորին հակառակ, այսինքն՝ ջերմաստիճանային բարձր տիրույթից դեպի ցածրը:

Հոծ մարմիններում, հաստատված ջերմային ռեժիմում, հատույթի  $S$  մակերեսով երկու իզոթերմային մակերևույթների համար, ջերմային  $P$  հոսքը  $X$  ուղղությամբ որոշելու համար Ֆուրյեի օրենքը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$P = \mu \frac{\theta_1 - \theta_2}{x_2 - x_1} S, \quad (5.4)$$

որտեղ  $q_1$  և  $q_2$  -ը ջերմաստիճաններն են  $x_1$  և  $x_2$  կոորդինատներով մակերևույթների վրա: Ընդ որում՝  $q_1 \neq q_2; x_2 \neq x_1$ :

Հաշվի առնելով, որ՝  $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\theta_1 - \theta_2}{x_2 - x_1} = \frac{d\theta}{dx} = \text{grad}\theta$ , (5.4)-ից կարելի է գրել՝

$$d\theta = \frac{P}{\mu S} dx: \quad (5.5)$$

Ինտեգրելով (5.5)-ի երկու կողմերը համապատասխանաբար  $q_1$ -ից  $q_2$  և  $x_1$ -ից  $x_2$  միջակայքերի համար, կստացվի՝

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta = \int_{x_1}^{x_2} \frac{P}{\mu S} dx: \quad (5.6)$$

Եթե հաշվի առնվի, որ  $Dx = (x_1 - x_2)$  հենազրոյանը համապատասխանում է  $(\theta_2 - \theta_1)$  ջերմաստճանների տարբերությանը, իսկ  $(x_2 - x_1) = 0$  պայմանի դեպքում  $(\theta_2 - \theta_1)$ -ը հավասարվում է ինտեգրման հաստատունին, ապա (5.6) արտահայտության լուծումը կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$\theta_1 = \theta_2 + \frac{P}{\mu S} \Delta x: \quad (5.7)$$

Եթե  $q_1$ -ը ընդունվի որպես ԻՍ-ի, իսկ  $q_2$  -ը՝ ջերմաստճան, միջավայրի, ապա հաշվի առնելով, որ  $R = \frac{x_2 - x_1}{\mu S}$  ներկայացնում է ջերմային դիմադրությունը, ակնհայտ է դառնում ստացված (5.7) նույնականությունը (4.20)-ի հետ:

Այժմ, եթե ԻՍ-ի բյուրեղը ներկայացվի ուստի ջերմային բջիջների տեսքով, ապա որևէ չոր բջիջ ջերմաստճանը, պայմանավորված դրավրաբուրբ բջիջների միաժամանակյա ջերմային ազդեցությամբ, այդ թվում՝ նաև ինքն իր վրա, համաձայն (5.7) բանաձևի, կորոշվի հետևյալ գումարի տեսքով՝

$$\theta_i = \sum_{j=1}^n R_{ij} P_j: \quad (5.8)$$

(5.8) արտահայտության կիրառելով  $i=1, \dots, n$  բոլոր բջիջների դեպքում՝ կստացվի (5.2) սեղմմոդելի ստացվող արդյունքը:

Ստորը դիտարկված է Օհմի օրենքը, որը կապ է ստեղծում էլեկտրական լարման, հոսանքի և շղթայի տեղամասի դիմադրության միջև: Ինչպես հայտնի է, իզոտրոպ հաղորդչում  $X$  ուղղությամբ էլեկտրական / հոսանքը որոշվում է Օհմի օրենքով՝

$$I = -\gamma \text{grad} \Delta U J, \quad (5.9)$$

համաձայն որի՝ հաստատուն դիմադրությունամբ հաղորդչով հոսող հոսանքի խտությունը համեմատական է այդ հաղորդչի ծայրերում կիրառված լարման գրադիենտին:

$\gamma$  համեմատականության գործակիցը տվյալ հաղորդչի էլեկտրահաղորդականությանը բնութագրող  $\Phi$ ի գիկական պարամետր է և կոչվում է տեսական արար  $\epsilon$  էլեկտրահաղորդականության գործակից:

(5.9) արտահայտության աջ կողմի միևնուսնշանը  $g$  ու  $j$  գետալիս, որ էլեկտրական հոսանքն ուղղված է գրադիենտի վեկտորին հակառակ, այսինքն՝ բարձր լարումից դեպի ցածրը:

Համեմատելով (5.3) և (5.9) արտահայտությունները՝ ակնհայտ է դառնում  $\Phi$  ու  $R$  յի և Օհմի օրենքների նույնականությունը: Օհմի օրենքի համար կատարելով (5.4)-(5.6)-ին համանման ձևափոխություններ, կստացվի դրահանրահաշվական տեսքը՝

$$U = RI, \tag{5.10}$$

Որտեղ  $U$ ,  $I$  և  $R$ -ը համապատասխանաբար լարումը, հոսանքը և դիմադրություններն են:

Էլեկտրական և ջերմային հիմնական պարամետրերի նմանակման համապատասխանությունը բերված է աղ. 5.1-ում:

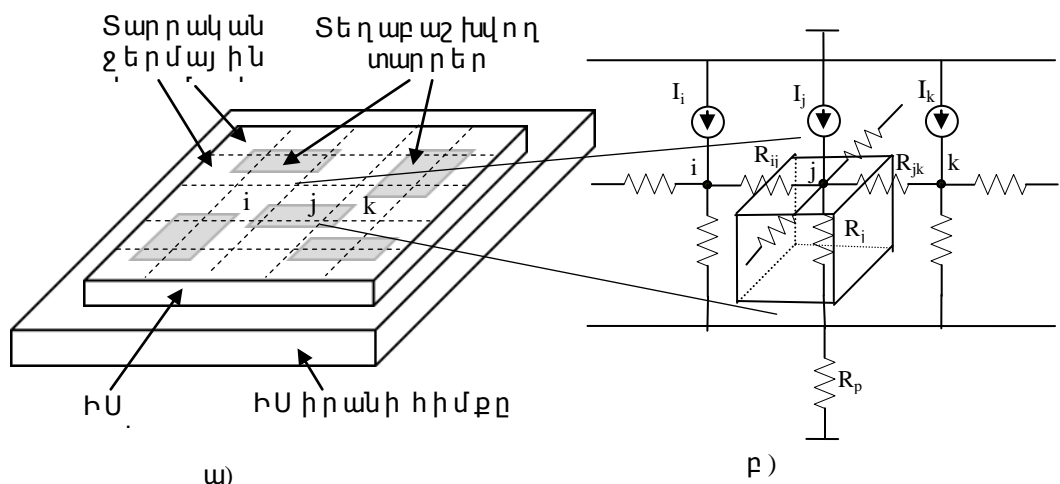
Օգտվելով ջերմաէլեկտրական նմանակման վերը շարադրված մոտեցումից՝ առաջարկված է ԻՍ-երի բյուրեղի ջերմային դաշտի մոդելավորման մեթոդ: Մեթոդի իրագործման համար օգտագործված է սխեմատեխնիկական մոդելավորման արդյունաբերական HSpice ծրագրային գործիքը:

*Աղյուսակ 5.1*

*Էլեկտրական և ջերմային պարամետրերի համապատասխանությունը*

Էլեկտրական պարամետրերը		Ջերմային պարամետրեր	
Անվանումը	Չափման միավոր	Անվանումը	Չափման միավորը
Էլեկտրական լիցք	<i>Կոուլոն</i>	Ջերմաքանակ	<i>Ջոուլ</i>
Էլեկտրական լարում	<i>Վոլտ</i>	Ջերմաստիճան	<i>°C կամ °K</i>
Էլեկտրական դիմադրություն	<i>Օմ</i>	Ջերմային դիմադրություն	<i>°C/W կամ °K/W</i>
Յոսանքի ուժ	<i>Ամպեր</i>	Ջերմային հոսք	<i>W</i>
Էլեկտրական ունակություն	<i>Ֆարադ</i>	Յամակարգի ջերմային ունակություն	<i>Ջոուլ / °C կամ Ջոուլ / °K</i>
Օհմի օրենքը	$U_{ij} = U_i - U_j = IR_{ij}$	Ֆոլդերի օրենքը	$T_{ij} = T_i - T_j = PR_{ij}$

Առաջարկվող մեթոդը հիմնված է տարրական ջերմային բջջի ջերմաէլեկտրական մոդելի վրա, որը ներկայացված է նկ. 5.5-ում [185-187]:



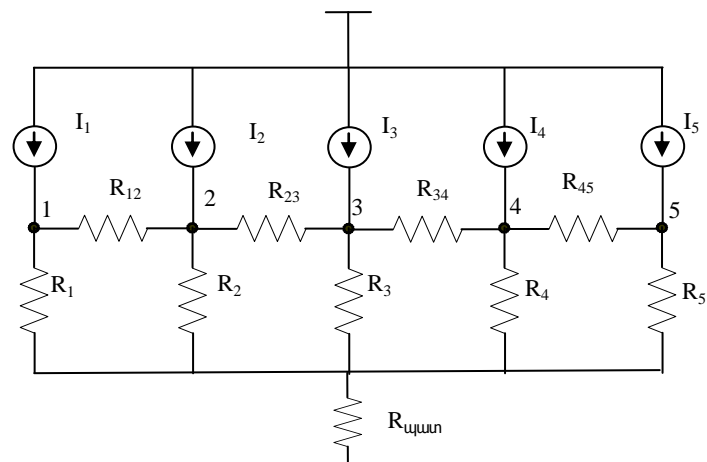
Նկ. 5.5. Տարրական տոպոլոգիական բջջի ջերմաէլեկտրական մոդելը.

ա – ԻՍ հարթակի փոխարինման գրաֆիկական մոդելը,  
բ – տարրական ջերմային բջջի փոխարինման ռեզիստիվ սխեման

Նկարում պատկերված են որևէ j-րդ տարրական ջերմային բջջի մոդելը և դրա կապը հարևան բջիջների հետ: *i*, *j* և *k* հանգույցները համապատասխանում են համապատասխանաբար *i*, *j* և *k* ջերմային բջիջների տոպոլոգիական

կենտրոններին:  $i, j$  և  $k$  բջիջների հզորությունները նկարագրված են համապատասխանաբար  $I_i, I_j$  և  $I_k$  հոսանքի աղբյուրներով:  $R_j$  դիմադրությունը մոդելավորում է  $j$ -րդ շերմային բջիջների մասին համապատասխանող հարթակի շերմային դիմադրությունը,  $R_{ij}$  և  $R_{jk}$ -ն՝  $j$ -րդ շերմային բջիջ և համապատասխանաբար  $i$ -րդ և  $k$ -րդ շերմային բջիջների միջև առկա շերմային դիմադրությունները, իսկ  $R_p$ -ն՝ ԻՍ-ի պատյանի շերմային դիմադրությունը: Նկարագրված շերմաէլեկտրական տարրական մոդելի հիման վրա կարելի է կառուցել ամբողջական ԻՍ-ի տոպոլոգիայի շերմային մոդելը:

Ստորև դիտարկված է այդպիսի մոդելի կառուցման օրինակ պարզագույն տոպոլոգիական սխեմայի դեպքում: Որպես օրինակ դիտարկված է նկ. 3.4-ում բերված ISCAS 85 շարքի պարզագույն C17 թեստային սխեման, որի տարրերն տեղաբաշխված են շարային տոպոլոգիայով [186, 187]: Քանի որ ընդհանուր դեպքում տարրերը ունեն տարբեր տոպոլոգիական չափսեր, օգտագործված են նույնաչափ ժիրտուալ շերմային բջիջներ: Չերմաէլեկտրական մոդելավորման նպատակով սխեմայի 6 տարրերի շարային



տեղաբաշխումը բաժանված է 5 հավասարաչափ տարրական շերմային բջիջների: Այս դեպքում

ջերմաէլեկտրական մոդէլը կոչւենա նկ. 5.6-ում քերված տեսքը:

*Նկ. 5.6. Թեստային սխեմայի տարրերի շարային տեղաբաշխման ջերմաէլեկտրական մոդէլը*

Նկարում քերված մոդէլի վրա 1,2,...,5 հանգույցները համապատասխանում են բջիջների տեղաբաշխման հերթականութանը: Պարզութան համար արտաքին միջավայրի ջերմաստիճանը հաշվի չի առնված, այսինքն՝ ենթադրվում է, որ ջերմաստիճանները գնահատվում են որպես տաքացումներ արտաքին միջավայրի ջերմաստիճանի նկատմամբ:  $R_{\text{պատ.}}$  դիմադրություն միջոցով մոդէլավորվել է ԻՍ-ի պատյանի ջերմային դիմադրությունը:

Քանի որ մոդէլավորումը կատարվում է սխեմատիկական մոդէլավորման համակարգում, անհրաժեշտ է փոխարինման սխեմայի դիմադրությունների արժեքները որոշել՝ հաշվի առնելով ջերմային մեծությունների փոխարկումը էլեկտրականի: Նկ. 5.6-ում առկա բոլոր դիմադրությունները համապատասխանում են (5.7) և (5.8)-ում առկա ջերմային դիմադրությունը և որոշվում են հետևյալ բանաձևով [136 149]՝

$$R = \frac{d}{\mu S}, \quad (5.11)$$

որտեղ  $d$ -ն համապատասխանաբար կամ տոպոլոգիական բջիջների կենտրոնների միջև եղած հեռավորությունն է՝  $R_{ij}$  և  $\mu_j$  հաշվարկի դեպքում, կամ կիսահաղորդչային բյուրեղի հաստությունն է՝  $R_i$ -ի հաշվարկի դեպքում;  $S$ -ը ջերմափոխանակության մակերեսն է, որը որոշվում է կամ որպես տոպոլոգիական բջիջի գծային չափի ու դրա ակտիվ մասի խորություն արտադրյալով՝  $R_{ij}$  հաշվարկի դեպքում, կամ կիսահաղորդչային բյուրեղի հաստության արտադրյալով՝  $\mu_j$  հաշվարկի դեպքում,



կամ էլ հավասար է բջջի տոպոլոգիական մակերեսին՝  $R$  հաշվարկի դեպքում;  $\mu$ -ն բյուրեղի տեսակարար ջերմահաղորդականությունն է:

Յոսանքների համար հաշվարկվում են համապատասխան բջիջների հզորությունները: Եթե մոդելավորվող ջերմային բջիջների և տարրերի տոպոլոգիական չափերը համընկնում են, ապա բջջի հզորությունը որոշվում է (4.26) բանաձևով:

Եթե մոդելավորվող ջերմային բջիջների և տարրերի տոպոլոգիական չափերը չեն համընկնում, ապա որևէ ջերմային բջջի հզորությունը որոշվում է հետևյալ կերպ.

$$P = \sum_{i=1}^m P_i \frac{S_i \cap S_T}{S_T}, \quad (5.12)$$

որտեղ  $S_T$ -ն ջերմային բջջի մակերեսն է,  $S_i$ -ն՝ տվյալ ջերմային բջջի հետհատվող  $i$ -րդ տարրի մակերեսը,  $P_i$ -ն՝ ջերմային բջջի հետհատվող  $i$ -րդ տարրի հզորությունը,  $i=1, \dots, m$ -ը դիտարկվող ջերմային բջջի մակերեսի հետհատվող տարրերի բազմությունը, իսկ  $S_i \cap S_T$ -ը  $i$ -րդ տարրի և դիտարկվող ջերմային բջջի փոխձածկման մակերեսը:

Որպես օրինակ դիտարկված է նկ. 5.6.-ում բերված ջերմաէլեկտրական մոդելի կիրառությունը ISCAS 85 շարքի պարզագույն C17 թեստային սխեմայի տարրերի շարային տեղաբաշխման ժամանակ [167, 168]:

Դիտարկվող օրինակում տոպոլոգիական բջիջների պարամետրերը վերցված են SAED90 թվային ստանդարտ բջիջների գրադարանից [107]:

Պարամետրերի արժեքներն են՝ տրամաբանական բջիջների տոպոլոգիական բարձրությունը՝ 2,88 մկմ; տրամաբանական բջիջների տոպոլոգիական երկարությունները C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>5</sub>, C<sub>6</sub>-ի համար՝ 1,92 մկմ, իսկ C<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>-ի համար՝ 3,2 մկմ;

$$P_{1N_{\text{տ.}}} = P_{3N_{\text{տ.}}} = P_{5N_{\text{տ.}}} = P_{6N_{\text{տ.}}} = 15 \frac{\text{նՎտ}}{\text{մզՀգ}}; P_{2N_{\text{տ.}}} = P_{4N_{\text{տ.}}} = 28 \frac{\text{նՎտ}}{\text{մզՀգ}}; \omega = 300 \text{մզՀգ}:$$

Տրամաբանական բջիջների փոխանջատումների ակտիվությունները գնահատվել են պատահական մոլտքային հավաքների գեներացման ճանապարհով, որոնց միջինացման արդյունքում ստացվել են հետևյալ արդյունքները՝  $K_1=0,27; K_2=0,15; K_3=0,26; K_4=0,3; K_5=0,8; K_6=0,6$ : Տարրերի հզորությունների հաշվարկը կատարվել է վերը շարադրվածի հիման վրա՝ օգտվելով (4.26) բանաձևերից, որի արդյունքում ստացվել են հետևյալ արժեքները՝  $P_1=1,15 \cdot 10^{-6} \text{մտ}; P_2=1,26 \cdot 10^{-6} \text{մտ}; P_3=1,17 \cdot 10^{-6} \text{մտ}; P_4=2,52 \cdot 10^{-6} \text{մտ}; P_5=3,6 \cdot 10^{-6} \text{մտ}; P_6=2,7 \cdot 10^{-6} \text{մտ}$ :

Մոդելավորումը կատարվել է շարային տեղաբաշխման հետևյալ 3 դեպքերի համար, օգտվելով նախորդ գլխում շարադրված նախնական տեղաբաշխման հաջորդական ալգորիթմից, (4.17) չափանիշից (4.19) պայմանից՝

- ա) միայն էլեկտրական կապվածությունը հաշվի առնելով ( $a_1=1, a_2=a_3=0$ ),
- բ) միայն ջերմային ռեժիմը հաշվի առնելով ( $a_2=1, a_1=a_3=0$ ),
- գ) հավասարապես էլեկտրական կապվածությունը և ջերմային ռեժիմը միաժամանակ հաշվի առնելով ( $a_1=a_2=a_3=1/3$ ):

Տեղաբաշխման արդյունքում ստացվել են տարրերի հետևյալ հաջորդականությունները՝

- ա)  $C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5 \rightarrow C_6$ ,
- բ)  $C_4 \rightarrow C_1 \rightarrow C_6 \rightarrow C_2 \rightarrow C_5 \rightarrow C_3$ ,
- գ)  $C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5 \rightarrow C_6 \rightarrow C_3$ :

Ջերմաէլեկտրական մոդելավորման նպատակով տարրերի շարային տեղաբաշխման երկարությունը բաժանվել է 5 հավասար ջերմային բջիջների: Այսպիսի կառուցվածքի դեպքում նկ. 5.6-ում պատկերված ջերմաէլեկտրական մոդելի 6ժճյունղանի փոխարինման սխեման կվերածվի

համանման 5-ճյուղանի սխեմայի: Յոսանքի ուժը ստացված 5 ջերմային բջիջների համար հաշվարկվել է վերը շարադրված մեթոդաբանությամբ՝ հաշվի առնելով (4.26) և (5.11)-ը:

Արդյունքում՝ ստացվել են ստացվել են ջերմային բջիջների հզորությունների հետևյալ արժեքները ( $\cdot 10^{-6} \text{W}$ )՝

ա)  $I_1=1,53; I_2=1,27; I_3=2,01; I_4=3,69; I_5=3,89,$

բ)  $I_1=2,27; I_2=2,72; I_3=2,43; I_4=3,04; I_5=2,36,$

գ)  $I_1=1,53; I_2=1,39; I_3=2,63; I_4=4,88; I_5=1,98:$

Կիսահաղորդչային բյուրեղի ակտիվ և պասսիվ խորությունները վերցվել են համապատասխանաբար 3 և 30 մկմ: Սիլիցիումային հարթակի տեսակարար ջերմահաղորդականությունը վերցվել է  $1,4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ : Յամաձայն (4.26) և (5.12)-ի՝ ստացվել են դիմադրությունների հետևյալ արժեքները՝  $R_{ij}=5 \cdot 10^4 \text{ OI}$ ,  $r_{ij}=0,5 \cdot 10^4 \text{ OI}$ ,  $R_i=2 \cdot 10^4 \text{ OI}$ : Իրանի ջերմային դիմադրության համար ընդունված է  $1,2 \cdot 10^7 \text{ OI}$  արժեքը:

HSpice մոդելավորման արդյունքում սխեմայի ջերմային բջիջներին համապատասխանող 5 հանգույցային կետերում ստացվել են լարումների հետևյալ արժեքները (Վ)՝

ա)  $U_1=43; U_2=44; U_3=45; U_4=45,5; U_5=46,$

բ)  $U_1=43,5; U_2=43,5; U_3=43; U_4=44; U_5=43,5,$

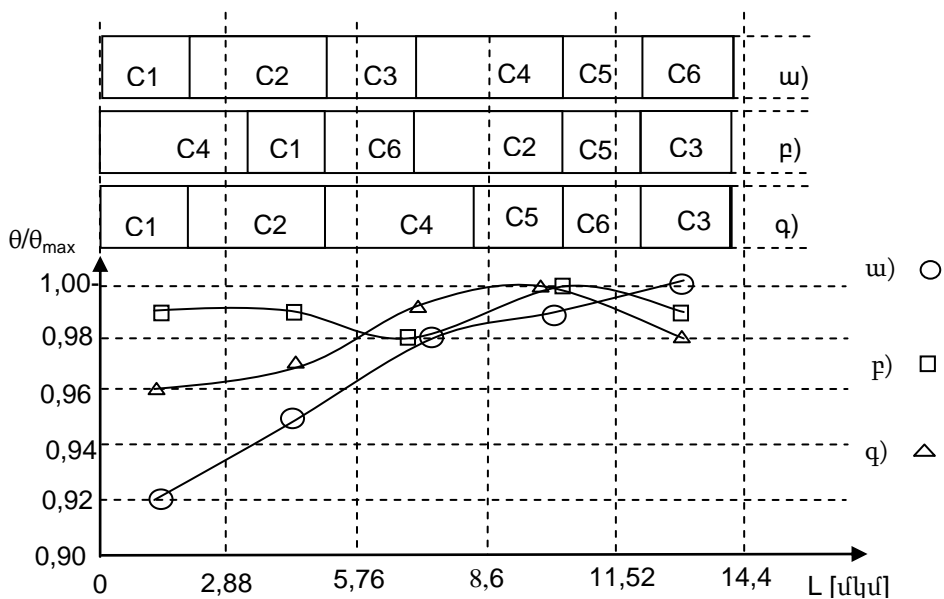
գ)  $U_1=43; U_2=43,5; U_3=44,5; U_4=45; U_5=44:$

Յամաձայն ջերմաէլեկտրական նմանակման նույնականության մեխանիզմի՝ ջերմային բջիջների ջերմաստիճանների թվային արժեքները, արտահայտված  $^\circ\text{C}$ -ով, կլինեն հավասար ստացված լարումների արժեքներին, ավելացնելով շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանը:

Ջերմային դիմադրությունների որոշման մեծ սխալանքները պատճառով ստացված ջերմաստիճանների արժեքները կլինեն բավականին մոտավոր, սակայն ամբողջ համակարգի համար նույն

մեթոդաբանության կիրառման հետևանքով ջերմաստճանների հարաբերական արժեքները ստացվում են բավարար ճշտությամբ և հաջողությամբ կարող են կիրառվել տարրերի նախնական տեղաբաշխման փուլում համապատասխան նախագծային վճիռների կայացման նպատակով: Ասվածը ավելի պատկերավոր երևում է քննարկված օրինակի տեղաբաշխման տարբերակների համար բերված նկ.5.7-ում ջերմային դաշտի գրաֆիկներից:

Գրաֆիկի ուղղահայաց առանցքը համապատասխանում է ջերմաստիճանների հարաբերական արժեքներին: Ինչպես երևում է նկարից, տարրերի հզորությունները հաշվի առնող տեղաբաշխումը հանգեցնում է ջերմային դաշտի համահարթեցմանը: Նույն մեթոդաբանությամբ՝ մի շարք թեստային սխեմաների ջերմաէլեկտրական մոդելավորման արդյունքները ցույց են տվել, որ տարրերի նախնական տեղաբաշխման փուլում դրանց հզորությունները հաշվի առնելը հանգեցնում է ջերմային դաշտի 70-80% համահարթեցմանը:



Նկ. 5.7. Թեստային սխեմայի տարրերի շարային տեղաբաշխման ջերմային դաշտի գրաֆիկները. ա, բ, և գ

գրաֆիկները համապատասխանում են վերը բերված տեղաբաշխումներին

Ամփոփելով վերը շարադրվածը՝ կարող ենք եզրակացնել .

- Հիմնվելով ջերմաէլեկտրական նմանակման մեթոդի վրա՝ առաջարկված է ԻՍ-երի բյուրեղի ջերմային դաշտի օպերատիվ մոդելավորման մեթոդ, որի իրագործման համար օգտագործված է սխեմատեխնիկական մոդելավորման արդյունաբերական HSpice ծրագրային գործիքը: Առաջարկվող մեթոդը հիմնված է տարրական ջերմային բջջի ջերմաէլեկտրական մոդելի վրա:
- Առաջարկված մեթոդի՝ թեստային սխեմաների վրա, փորձարկումը ցույց է տվել, որ տարրերի նախնական տեղաբաշխման փոփոխում դրանց հզորությունները հաշվի առնելը հանգեցնում է ջերմային դաշտի 70-80% համահարթեցմանը:

**5.3. Ջերմային դաշտի արտապատկերման՝ օգտագործողի գրաֆիկական ինտերֆեյսի մշակումը**

Ներկայումս մեծ կարևորություն ունի նախնական տեղաբաշխման այնպիսի ինտերակտիվ միջոցների մշակումը, որոնք հնարավորություն կընձեռեն տեղաբաշխման ընթացքում օպերատիվ կերպով գնահատել ջերմային դաշտի բաշխումը: Սա թույլ կտա նախագծողին, անհրաժեշտության դեպքում, կառավարել տեղաբաշխման ընթացքը՝ տարրերի անհրաժեշտ վերատեղաբաշխման ճանապարհով: Այս նպատակով առաջարկվում է նախնական տեղաբաշխման ընթացքում կիրառել ջերմային դաշտի մոդելավորման վերը շարադրված

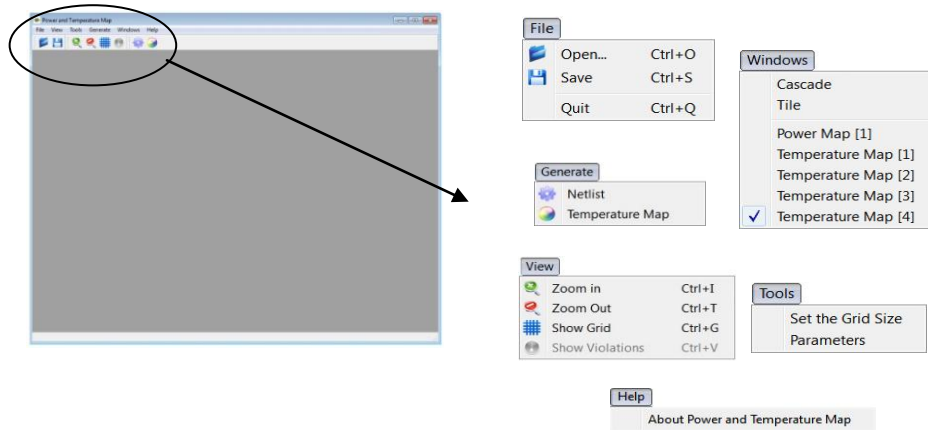
մեթոդը, քանի որ այն առանձնակալ է չափում ներհարազագործությունը և կառավարման հարմարավետությունը:

Հարկ է նշել, որ ջերմաէլեկտրական նմանակման ճշտությունը զգալիորեն կախված է 5.11 բանաձևի մեջ մտնող ԻՍ-ի կառուցվածքի և նյութերի ֆիզիկական պարամետրերի արժեքների ընտրման ճշտությունից, որանք կարող են փոփոխվել՝ կախված տեխնոլոգիայից, նյութերից և ԻՍ-ի կառուցվածքից: Սակայն եթե հաշվի առնենք, որ նույն նախագծի սահմաններում տարրերի տարբեր տեղաբաշխումների համար ընդունվող մոտավորությունների և անճշտությունների մեծ մասը կկրեն պարբերական բնույթ, և բացի այդ, տարրերի տեղաբաշխումը առաջին հերթին որոշվում է ոչ թե այդ պարամետրերի բացարձակ արժեքներով, այլ տարրերի միջև դրանց հարաբերակցությամբ, ապա առաջարկվող մեթոդը լիովին ընդունելի է նախնական տեղաբաշխման փոփոխում՝ ջերմային դաշտի օպերատիվ համահարթեցման տեսանկյունից:

Այս նպատակով նախորդ ենթագլխում շարադրված մեթոդի հիման վրա մշակվել է ԻՍ-ի հարթակի ջերմային դաշտի մոդելավորման օգտագործողի գրաֆիկական ինտերֆեյս (GUI) [13, 155, 188]: Այն թույլ է տալիս ակնառն արտապատկերել տարրերի տեղաբաշխումը՝ տարրերի հզորությունների և հարթակի ջերմային դաշտի արտապատկերմամբ:

ԻՍ-երի ջերմաէլեկտրական մոդելավորման վերը շարադրված մեթոդաբանության հենքի վրա մշակվել է համապատասխան ծրագրային գործիք, որը հիմնականում նախատեսված է ԻՍ-երի տարրերի նախնական տեղաբաշխման փոփոխում օգտագործման համար: Այն համալրված է զարգացած գրաֆիկական ինտերֆեյսով, որը հնարավորություն է տալիս նախագծողին օպերատիվ ձևով տեղեկատվություն

ստանալ ջերմային դաշտի բաշխվածությունը վերաբերյալ և կառավարել տեղաբաշխման ընթացքը: Ծրագրային գործիքի գլխավոր պատուհանը, որը պատկերված է նկ. 5.8. ա)-ում, պարունակում է File, View, Tools, Generate և Help բաժինները (նկ. 5.8. բ)), որոնցից յուրաքանչյուրն էլ բաղկացած է ենթաբաժիններից:



ա)

բ)

*Նկ. 5.8. Գրաֆիկական ինտերֆեյսի գլխավոր պատուհանը (ա) և դրա ենթաբաժինները (բ)*

Open ենթաբաժնի միջոցով կատարվում է մուտքային ֆայլի ընտրում: Մուտքային ֆայլը ներկայացնում է .epf (elements' power list) ընդլայնման տեքստային ֆայլ, որտեղ ներկայացվում են տարրերի պայմանական անունները, կոորդինատները, երկրաչափական չափերը և տեսակարար հզորությունները:

Մուտքային ֆայլի օրինակի մի հատվածը բերված է նկ. 5.9-ում:

```

elem=1; coords=(1,1 ) ; height =19; width=2 ; power=0.5
elem=2; coords=(1, 21) ; height =12; width=2;
power=0.32
elem=3; coords=(5, 1) ; height =1; width=6;
power=0.25
elem=4; coords=(4, 3); width=3; height =1; power=0.65
coords=(8, 3); height =1; elem=5; width=3; power=0.2
elem=6; power=0.2; coords=(4, 5); width=4; height =1
elem=7; coords=(9, 5); width=3; height =2; power=0.42
elem=8; coords=(4, 7); width=1.5; height =1.5; power=0.32
height =2.5; power=0.82; elem=9; coords=(4, 9); width=2.5

```

Նկ .5.9. Մոլ տքայ ի ն \$այ լ ի

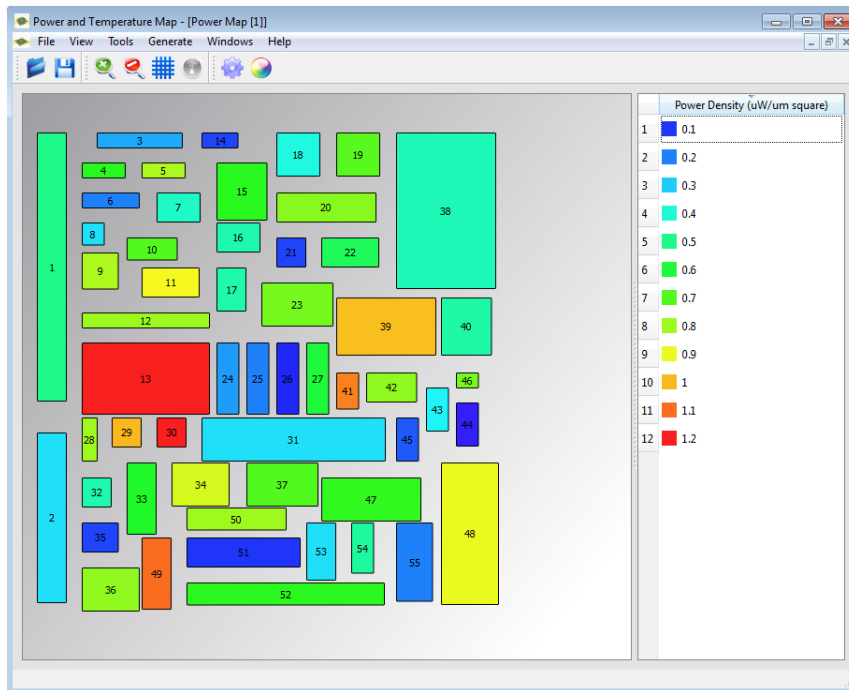
Այս տեղ *elem*, *coords*, *width*, *height* և *power* բառերը բանալիներ են: *Elem*-ը ներկայացնում է տարրի պայմանական անվանումը: *Coords* նշիչով նկարագրվում են տարրի կոորդինատները, իսկ *width* և *height* նշիչներով՝ համապատասխանաբար տարրի լայնությունն ու երկարությունը: *Power*-ը տվյալ տարրի անվանական տեսակարար հզորությունն արժեքն է ( $\cdot 10^{-6}$ վտ/մկմ<sup>3</sup>): Քանի որ տվյալներին նշիչները նկարագրվում են բանալի բառերով, դրանց հերթականությունն էական չէ. միայն պետք է մեկ տարրի նկարագրությունն լինի մեկ տողի սահմաններում:

Կարդալով մոլ տքայ ի ն \$այ լ ը՝ ծրագիրը կատարում է տարրերի արտապատկերում՝ դրանց կոորդինատների և երկրաչափական չափերի համաձայն: Ընդ որում, յուրաքանչյուր տարր ներկվում է որոշակի գունային երանգով, ինչը համապատասխանում է սխեմայում առավելագույն սպառվող հզորության նկատմամբ այդ տարրի հզորության համեմատական չափին (նկ .5.10):

Որքան գույնը մոտեման ու շակագույնին, այնքան այդ տարրի հզորությունը փոքր է, իսկ որքան կարմիրին՝ այդքան մեծ: Թվային արտապատկերման պատողականում գույներն ու դրանց համապատասխանող թվային արժեքները



տեսակավորված են: Օգտագործողը կարող է, “Values” կոճակը սեղմելով, ընտրել տեսակավորման տեսակը՝



Նկ. 5.10. Տեղաբաշխված տարրերի

ըստարժեքների աճման կամ նվազման:

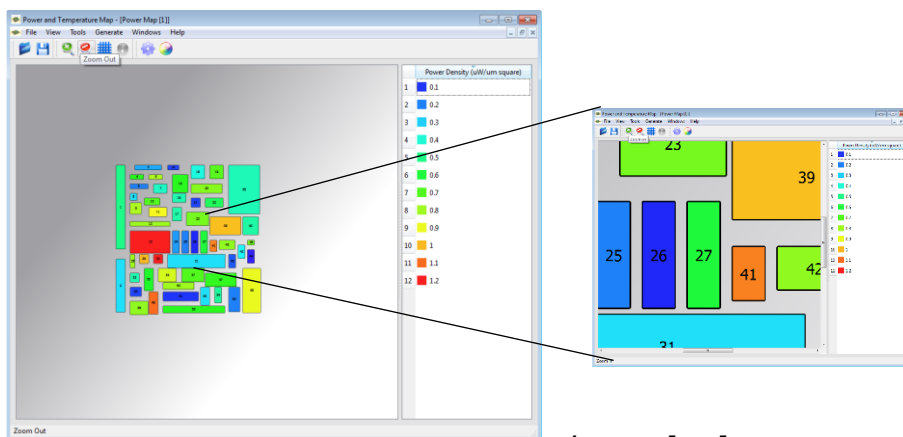
File->Save հրամանի միջոցով կատարվում է տեղաբաշխված տարրերի, դրանց կոորդինատների, երկրաչափական չափերի և հզորությունների արտածումը էլքային ֆայլի մեջ, որը ևս ունի .epf ընդլայնում և նկարագրվում է ճիշտ մուտքային ֆայլի նման:

Տարրերի գրաֆիկական արտապատկերման համար օգտագործվել է Qt գրադարանի գրաֆիկական ներկայացման (Graphics View) դասերի համախումբը: Այն հիմնված է երեք հիմնային հասկացությունների (դասերի) վրա՝ QGraphicsScene, QGraphicsView և QGraphicsItem: Ժառանգելով այդ դասերից՝ հնարավորություն է ստեղծվում կատարել մեծ քանակի տարրերի գրաֆիկական արտապատկերում, ինչպես նաև դրանց հետ գործողությունների կատարումը իրական

Ժամանակում: Այդ գործողությունները կատարվում են արագ և արդյունավետ: Դա իրականացվում է հիմնականում այն բանի շնորհիվ, որ կամայական տարրի որևէ փոփոխություն դեպքում QGraphicsScene դասի օբյեկտը հիշում է այդ տարրի վիճակը: Վերաարտապատկերման ժամանակ ամբողջ տարածքը բաժանվում է նթատարածքների, և կատարվում է այդ տարածքներում եղած փոփոխությունների վերլուծություն: Արդյունքում՝ վերապատկերվում են միայն այն տարածքները, որոնցում փոփոխություններ են եղել:

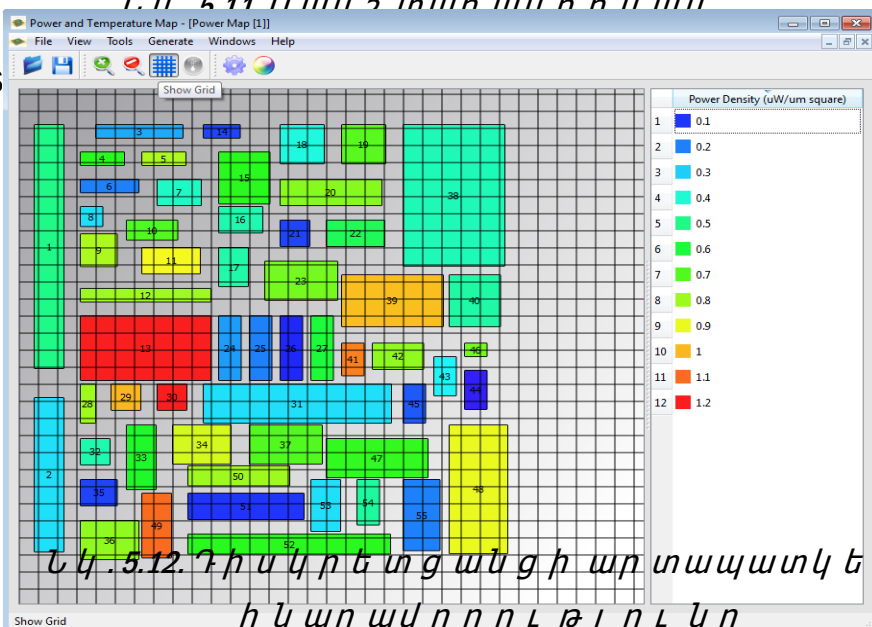
Գրաֆիկական ներկայացման գործիքը թույլ է տալիս նաև կատարել փոխածկվող տարրերի վերլուծություն, գտնել դրանց հատման տիրույթները, միավորել դրանք և այլն:

Ծրագրային գործիքն ունի մասշտաբավորման հնարավորություն, ինչը ներկայացված է նկ. 5.11 - ում:



Նկ. 5.11 Մասշտաբավորում

View->S  
վահան  
դիսկր



րծիքների  
տեսված է  
կ. 5.12):

Նկ. 5.12. Դիսկրետիզացիոն արտապատկերման հնարավորություն

Ցանցը քառակուսային է, յուրաքանչյուր ցանցային բջիջ համապատասխանում է մեկ շերմային բջիջ և օգտագործվում է տարրերի հզորությունների վերահաշվարկի ժամանակ, իսկ հզորություն և որ արժեքներն էլ հետագայում մասնակցում են այդ շերմային բջիջ շերմաստիճանի ստացման գործընթացին:

Tools բաժինն օգտագործողին հնարավորություն է ընձեռում՝ փոփոխելու կամ լրացնելու որոշ պարամետրերի արժեքներ:

Tools->Set Grid Size ենթաբաժինը հնարավորություն է տալիս երկխոսային ռեժիմում փոփոխելու քառակուսային ցանցի չափը:

Ունենալով բոլոր նախնական տվյալները՝ հնարավոր է ստանալ տարրերի շերմաստիճանային քարտեզը: Դա կատարվում է Generate բաժնի միջոցով:

Generate->Netlist ենթաբաժինն ընտրելիս ծրագիրը մոլտքային տվյալների համապատասխան ստանում է շերմային բջիջների երկչափ համակարգ: Կատարվում է հզորությունների վերահաշվարկ՝ ըստ ընդհատ ցանցի: Ստացված հզորորոնությունների արժեքներով որոշվում են շերմային բջիջների հզորությունների արժեքները: Ձերմային բջիջը կառուցված է՝ համաձայն նկ. 5.5-ում պատկերված տեսքի:

Ձերմալեկտրական մոդելավորման նպատակով ծրագրի միջոցով գեներացվում է նաև Spice նկարագրությունը, ինչի համար որպես մոլտքային տվյալներ են հանդիսանում անհրաժեշտ տոպոլոգիական չափերը (տեսնոլոգիական գործընթացը) և պատյանի շերմային դիմադրությունը:

Spice նկարագրող լայն մի հատված բերված է նկ . 5.13-  
նում:

*Նկ . 5.13. Ջերմաէլեկտրական մոդելի SPICE  
նկարագրող լայն հատվածը*

Spice-ի աշխատանքի արդյունքում գեներացվում է .ic0  
ընդլայնմամբ ֆայլ, որի մեջ գրվում են ջերմային  
բջիջների բոլոր հանգույցների լարումների  
արժեքները՝ հաշված գրոյական պոտենցիալի  
նկատմամբ (նկ . 5.14):

```
* "simulator" "HSPICE"  
* "version" "C-2009.09 32-BIT"  
* "format" "HSP"  
* "rundate" "10:50:43 04/12/2013 "  
* "netlist" "netlist.sp "  
* "runtitle"  
*****  
*****  
* time = 0.  
* temperature = 25.0000  
*** BEGIN: Saved Operating Point ***  
.option  
+ gmindc= 1.0000p  
.nodeset  
+ _n1 = 12.8857  
+ _n10 = 10.0032  
+ _n100 = 0.0000
```

*Նկ . 5.14. Ջերմային բջիջների լարումների*

```
***** Cell 1 *****  
ip1 vdd _n1 dc = i1 ac = 0  
rR1 _n1 _n2 R = Ri  
rRsub1 _n2 vss R = Rsub  
***** End Cell 1 *****  
  
***** Cell 2 *****  
ip2 vdd _n3 dc = i2 ac = 0  
rR3 _n3 _n4 R = Ri  
rRsub2 _n4 vss R = Rsub  
rR1 _n1 _n2 R = Ri
```

*ցուցալի*

Արդյունքում, կարդալով շերմային բջիջների և արումների ցուցակը, գետերացվում է այդ շերմային դաշտը բնութագրող շերմաստիճանային քարտեզը (Generate->Temperature Map ենթաբաժինն ընտրելիս):

Ստորև բերված են շերմային ցանցի քայլի տարբեր արժեքների դեպքում ստացված շերմային քարտեզների օրինակներ (նկ .5.15):

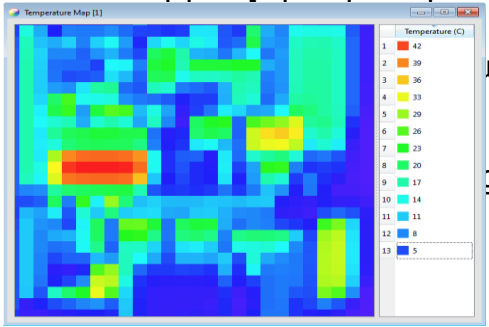
Ինչպես կարելի է նկատել, ցանցի քայլի ավելի փոքր արժեքների դեպքում ստացվում է ոչ այնքան ճշգրիտ պատկեր, և քայլը փոքրացնելիս քարտեզի ճշտությունը մեծանում է: Սակայն դակատարվում է հիշողության մեծացման և արագագործության փոքրացման հաշվին:

Քարտեզի աջ հատվածում պատկերվում են գունային երանգների համապատասխանող շերմաստիճանների արժեքները (°C):

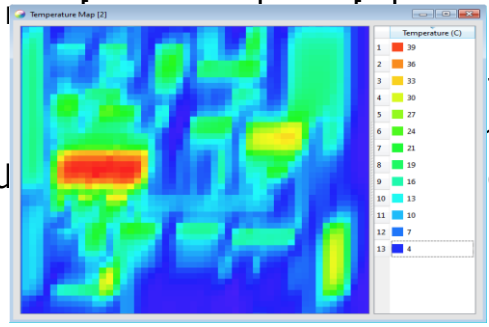
**Մասշտաբավորման և ցանցի արտապատկերման կոճակները գործում են ակտիվ** պատուհանի համար: Օրնակ՝ շերմաստիճանային քարտեզի մասշտաբը կարելի է մեծացնել և տեսնել տաք տեղամասի ավելի մանրամասն պատկեր (նկ .5.16):

Ինչպես կարելի է նկատել, ցանցի քայլի ավելի փոքր արժեքների դեպքում ստացվում է ոչ այնքան ճշգրիտ պատկեր, և քայլը փոքրացնելիս քարտեզի ճշտությունը մեծանում է: Սակայն դակատարվում է հիշողության մեծացման և արագագործության փոքրացման հաշվին:

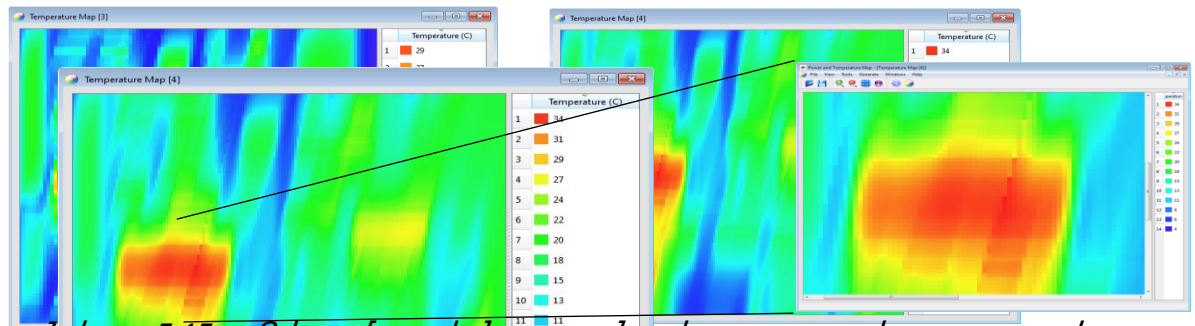
ճշտությունը մեծանում է:



ա)




բ)



Նկ. 5.15. Շերմային ցանցի քայլի տարբեր արժեքների դեպքում ստացված շերմային քարտեզները: Նկ. 5.16. Շերմային քարտեզի մասշտաբավորման և տեսնել տաք տեղամասի ավելի մանրամասն պատկեր:

Քարտեզի աջ հատվածում պատկերվում են գունային երանգներին համապատասխանող շերմաստիճաններին արժեքները (°C):

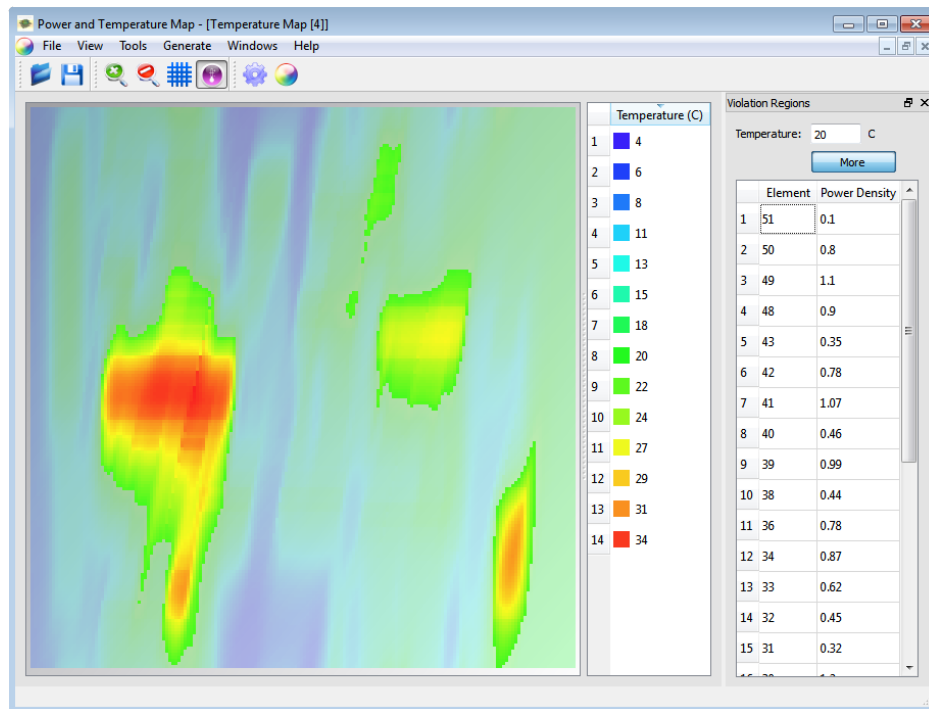
Օգտագործողն ունի նաև դիսկրետ ցանցի արտապատկերման, ինչպես նաև ցանցի քայլի փոփոխման հնարավորություն: Ի տարբերություն հզորություններին քարտեզի՝ շերմաստիճաններին քարտեզի դեպքում պայմանականորեն ընտրվել է ցանցի սպիտակ գույնը:

View->Show Violation ենթաբաժնի կամ գործիքների վահանակի  կոճակն ըտրելու դեպքում ծրագրային միջոցի աջ մասում հայտնվում է երկխոսային պատուհան (Dock Widget), որտեղ օգտագործողը լրացնում է նախագծի վրա դրվող պահանջներին տեսանկյունից վտանգավոր համարվող շերմաստիճանային սահմանափակումը: Այդ դեպքում ակտիվ շերմաստիճանային քարտեզում տրված շերմաստիճանից բարձր շերմաստիճանային տիրույթներն առանձնանում են իրենց վառ երանգավորմամբ:

Այդ պատուհանի “More” կոճակը սեղմելով քայլում է վերը նշած շերմաստիճանից բարձր տիրույթներում գտնվող տարրերի պայմանական անվանումներին և դրանց տեսակարար հզորություններին ցուցակը, որը բերված է նկ. 5.17-ում:

Տաք տեղամասերում գտնվող տարրերի ցուցակն ունի որոշակի խորհրդատվական բնույթ, որի միջոցով օգտագործողը տեղեկանում է սպասվելիք վտանգավոր շերմաստիճաններ ունեցող տարրերի մասին: Իսկ ընդհանուր շերմաստիճանային ֆոնը հարթեցնելու համար խորհուրդ է տրվում այդ վտանգավոր տարրերը տեղափոխել ավելի սառը տեղամասեր՝ վերատեղաբաշխման և պատակով դիմելով նախնական տեղաբաշխման ծրագրին:

Ծրագրային գործիքը փորձարկվել է մի շարք թեստային կառուցվածքների, ինչպես նաև «Սինոփսիս Արմենիա» ընկերության ուսումնական դեպարտամենտում նախագծված OpenSPARC պրոցեսորի ջերմաստիճանային քարտեզները ստանալու համար:



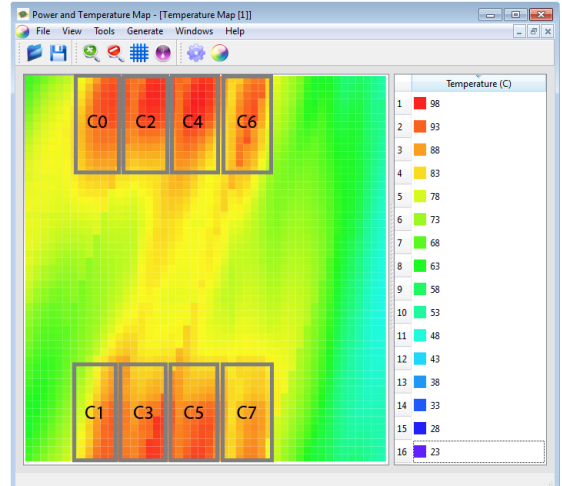
Նկ. 5.17. Տրված ջերմաստիճանից ավելի բարձր ջերմաստիճանային տիրույթներում գտնվող տարրերի և դրանց միջին հզորությունների հարմարեցման օրինակ

Պրոցեսորի հզորությունների համար ստացվել է նկ. 5.18 ա)-ում բերված արտապատկերումը, իսկ ջերմային մոդելավորման արդյունքում գետերացված ջերմաստիճանային քարտեզն ունի նկ. 5.18 բ)-ում բերված տեսքը: Նկ. 5.18 գ)-ում պատկերված է Sun Microsystems ընկերության կողմից նախագծված OpenSparcT1 բաց պրոցեսորի ջերմաստիճանային քարտեզը, որ ստացվել է թերմոփզորի միջոցով [189]: Բերված ջերմային քարտեզների ակնառու վերլուծությունը թույլ է տալիս եզրակացնել

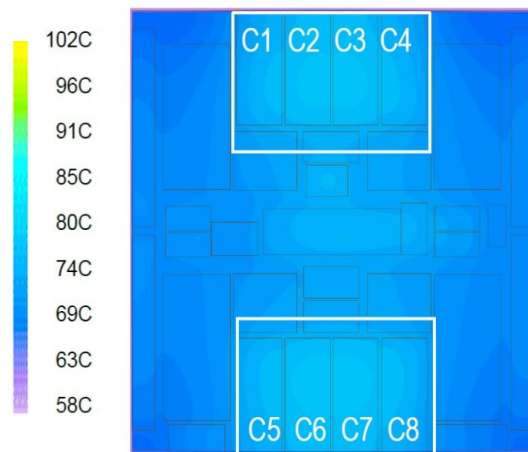
մշակված մոդելավորման գործիքով ստացված պատկերի որակական նմանությունը Sun Microsystems ընկերության կողմից նախագծված OpenSparc T1 բաց պրոցեսորի ջերմաստիճանային քարտեզին :



ա)



գ) բ)



Նկ .5.18. OpenSPARC պրոցեսորի ջերմաստիճանային քարտեզը .

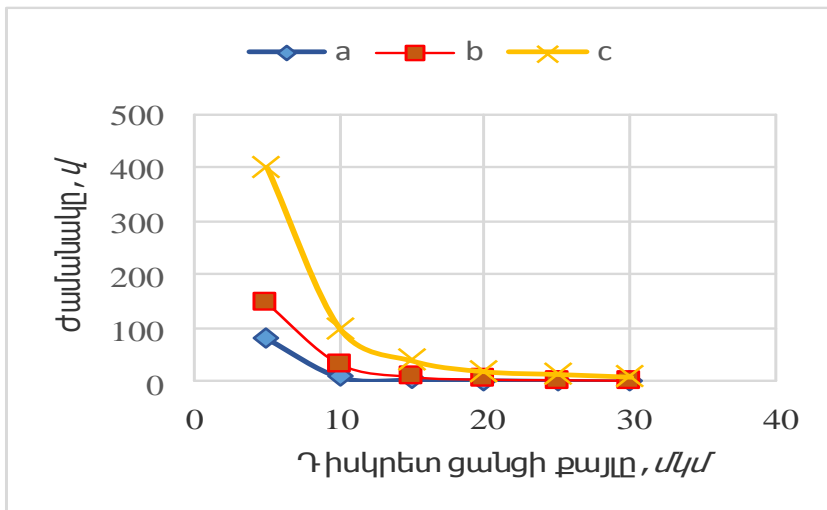
ա - OpenSPARC պրոցեսորի հզորություններին բաշխումը ,

բ - ջերմաստիճանային քարտեզը ` ստացված առաջարկվող գործիքով ,



Նշենք, որ մոդելավորման ժամանակ 5.11 բանաձևի մեջ մտնող պարամետրերի արժեքները ընտրված են՝ համաձայն «Սինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ ուսումնական դեպարտամենտում մշակված SAED32/28nm թվային ստանդարտքի չնեղի գրադարանի պարամետրերի [171]:

Կատարվել է ճրագրային գործիքի աշխատանքային պարամետրերի հետազոտում՝ կախված տարրերի տեղաբաշխումից, դիսկրետ ցանցի քայլից և կատարման ժամանակից: Նկ. 5.19-ում բերված է դիսկրետ ցանցի քայլի մեծություններից ճրագրի կատարման ժամանակի կախվածությունը արտացոլող



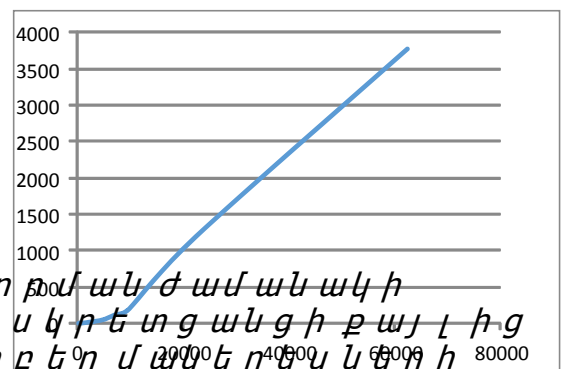
գրաֆիկներ՝ տեղաբաշխման տարբեր մակերեսների համար:

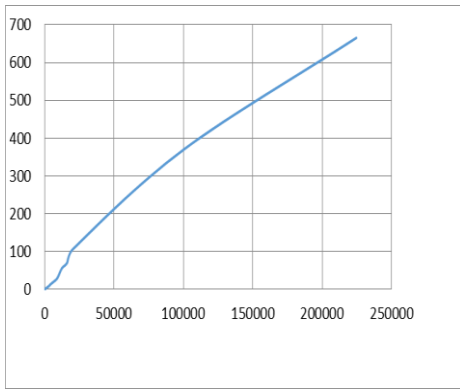
ճրագրային գործիքի աշխատանքի արագագործությունը անկախում է չերմային քիչ չնեղի և տեղաբաշխվող տարրերի քանակներից բերված է նկ. 5.20-ում:

Ջերմաստիճանների հաշվարկման ժամանակ, վ

Ջերմաստիճանների հաշվարկման ժամանակ, վ

Նկ. 5.19. Մոդելավորման ժամանակի կախվածությունը դիսկրետ ցանցի քայլից տեղաբաշխման տարբեր մակերեսների





ա) Ջերմային բջիջների քանակը

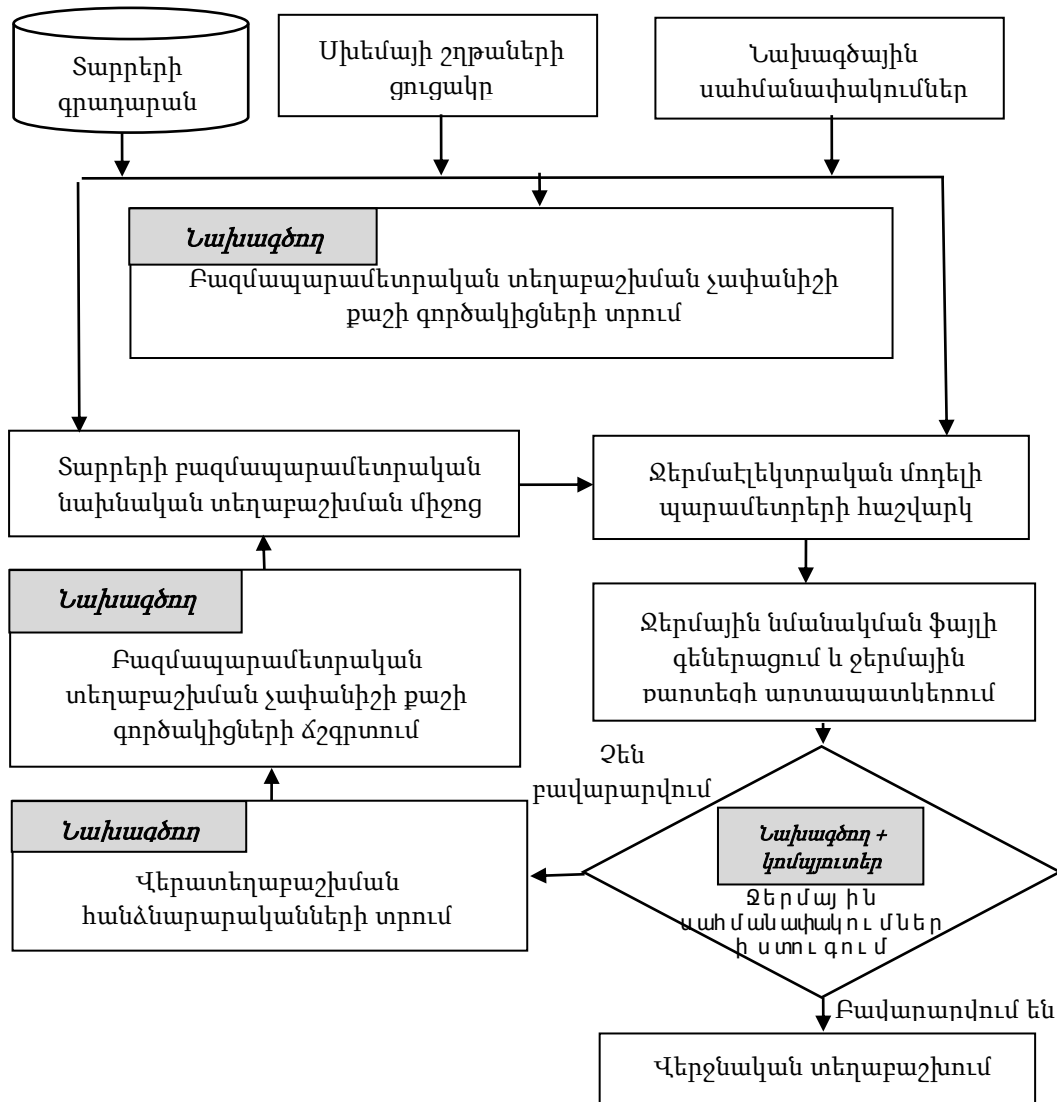
բ) Տեղաբաշխման տարրերի քանակը

**Ն կ . 5.20. Ծրագրային գործիքի աշխատանքի արագացումը և լայնացումը ջերմային**

Ինչպես երևում է նկ . 5.20 ա) գրաֆիկից, ջերմաստիճանների հաշվարկման ժամանակն արագորեն աճում է ջերմային բջիջների քանակի մեծացմանը զուգընթաց, և մոտ 250.000 բջիջների դեպքում հաշվարկման ժամանակը կազմում է մոտ 12ր :

Ն կ . 5.20 բ)-ում ներկայացված է ջերմաստիճանների հաշվարկման ժամանակի կախումը տեղաբաշխման տարրերի քանակից, երբ դիսկրետ ցանցի քայլի մեծությունը 50 մկմ է :

Առաջարկված է օգտագործողի գրաֆիկական  
 ինտերֆեյսի կիրառումը՝ ամբ  
 ինտերակտիվ  
 բազմապարամետրական նախնական տեղաբաշխման



Նկ. 5.21. Նախնական բազմապարամետրական տեղաբաշխման և ջերմաէլեկտրական

Երթուղի, որը բերված է նկ. 5.21-ում:

Ամփոփելով վերը շարադրվածը՝ կարող ենք եզրակացնել.

- Ջերմաէլեկտրական նմանակման մեթոդով մշակվել է ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման ջերմային դաշտի մոդելավորման և

գրաֆիկական

արտապատկերման

գործիքամիջոց:

- Մշակված միջոցը հնարավորություն է տալիս օգտագործողին՝ երկխոսական ճանապարհով կատարելու ընտրություն մոդելավորման ճշտության և ժամանակի միջև, ինչպես նաև կայացնելու վճիռներ տարրերի տեղաբաշխման տեսանկյունից:
- Յետագոտվել է մշակված միջոցի ջերմաստիճանների հաշվարկման ժամանակի կախումը մոդելավորման դիսկրետ ցանցի քայլի մեծությունից:
- Ներկայացվել է նախնական բազմապարամետրական տեղաբաշխման և ջերմաէլեկտրական մոդելավորման ինտերակտիվ ինտեգրման երթուղին:

**Եզրակացություններ**

1. Ձերմաէլեկտրական նմանակման մեթոդով առաջարկվել է ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման ջերմային դաշտի մոդելավորման և գրաֆիկական արտապատկերման միջոց:

2. Մշակված միջոցը հնարավորություն է տալիս օգտագործողին՝ երկխոսական ճանապարհով կատարելու ընտրություն մոդելավորման ճշտության և ժամանակի միջև, ինչպես նաև կայացնելու վճիռներ տարրերի տեղաբաշխման տեսանկյունից:

3. Յետագոտվել է մշակված միջոցի ջերմաստիճանների հաշվարկման ժամանակի կախումը մոդելավորման դիսկրետ ցանցի քայլի մեծությունից:

## ԵԶՐԱՅ ԱՆԳՈՒՄ

1. ԻՍ-ե ր ի տար ր ե ր ի տեղ աբ աշ խմ ան առ կ ա մ ե թ ո դ ն ե ր ի ն և հ ամ ապատաս խան գ ո թ ի ք ամ ի ջ ո գ ն ե ր ի ն վ ե ր աբ ե ր ո ղ գ ր ա կ ան ու թ յ ան վ ե ր լ ու ծ ու թ յ ան հ ի մ ան վ ր ա հ ի մ ն ա վ ո Ր վ ե լ Է , ո ր ե ն թ ամ ի կ ր ո ն ա յ ի ն ԻՍ-ե ր ի ն ախա գ ծ մ ան ա ս պ ար ե գ ու մ հ ր ա տ ա պ Է դ ար ծ ե լ դ ր ա ն ց տար ր ե ր ի ն ախն ա կ ան տեղ աբ աշ խմ ան ա յ ն պ ի ս ի տե ս ա կ ան հ ի մ ու ն ք ն ե ր ի , չ ա փ ա ն ի շ ն ե ր ի , մ ե թ ո դ ն ե ր ի և հ ամ ապատաս խան ար ա գ ա գ ո թ գ ո թ ի ք ամ ի ջ ո գ ն ե ր ի մ շ ա կ ու մ ն ու կ ի ր առ ու մ ն , ո ր ո ն ք հ ա շ վ ի կ առ ն ե ն ե ն թ ամ ի կ ր ո ն ա յ ի ն տե խ ն ո լ ո գ ի ան ե ր ի ն ք ն ո Ր ո շ կ ար և ո Ր ա գ ու յ ն ի Ր ո ղ ու թ յ ո ն ն ե ր ը ` մ ի ջ մ ի ա գ ու մ ն ե ր ո վ պ ա յ մ ան ա վ ո Ր վ ա ծ ար ա գ ա գ ո թ ու թ յ ու ն ը և ջ ե Ր մ ա յ ի ն հ ու ս ա լ ի ու թ յ ան ա պ ա հ ո վ ու մ ը : Ա յ ս պ ի ս ի մ ի ջ ո գ ն ե ր ը , ն ախա գ ծ մ ան ք ա գ մ ա կ ր կ ն ա կ ի ը ն թ ա գ ա կ ար գ ե ր ի ծ ա վ ա լ ի ն վ ա գ ե ց մ ան ճ ան ա պ ար հ ո վ , ա վ ե լ ի լ ա վ մ ե կ ն ար կ ե ն ա պ ա հ ո վ ու մ տեղ աբ աշ խմ ան լ ա վ ար կ մ ան փ ու լ ի հ ամ ար ` գ գ ա լ ի ո Ր ե ն ք ար ե լ ա վ ե լ ո վ ն ախա գ ծ ե ր ի ո Ր ա կ ը և կ Ր ճ ա տ ե լ ո վ ն ախա գ ծ մ ան ժ ա մ կ ե տ ն ե ր ը [12, 13]:

2. Մ շ ա կ վ ե լ Է ԻՍ-ե ր ի տար ր ե ր ի ն ախն ա կ ան տեղ աբ աշ խմ ան խ ն դ Ր ի ձ և ա յ ն ա գ վ ա ծ դ Ր վ ա ծ ք ը ` ո Ր պ ե ս ք ա գ մ ա պ ար ա մ ե տ Ր ա կ ան ք առ ա կ ու ս ա յ ի ն ն շ ա ն ա կ մ ան խ ն դ ի Ր , ի ն չ ը թ ու յ լ Է տ վ ե լ խ ն դ Ր ի լ ու ծ ու մ ը կ ա գ մ ա կ ե ր պ ե լ ար ա գ ա գ ո թ հ ա ջ ո Ր դ ա կ ան տեղ աբ աշ խմ ան ը ն թ ա գ ա կ ար գ ե ր ո վ , մ ի ա ժ ա մ ան ա կ հ ա շ վ ի առ ն ե լ ո վ ի ն չ պ ե ս տար ր ե ր ի մ ի ջ և Է լ ե կ տ Ր ա կ ան կ ա պ վ ա ծ ու թ յ ու ն ը , ա յ ն պ ե ս Է լ մ ի ջ մ ի ա գ ու մ ն ե ր ո վ

պայմանավորված հապաղումները և ջերմային ռեժիմը [12, 13, 154]:

3. Առաջարկվել են ԻՍ-երի տարրերի նախնական տեղաբաշխման փուլում միջմիացումներով պայմանավորված հապաղումները հաշվի առնող նոր չափանիշ և մեթոդ, որոնք ապահովում են հետագա միջմիացումների երկարությունների կառավարումը՝ ըստ համապատասխան շղթաներում ժամանակային պահուստների: Միաժամանակ, կրճատվում են որոշիչ շղթաների միջմիացումների երկարությունները՝ ոչ որոշիչ շղթաների երկարությունների համամասնական աճի հաշվին, դրանով իսկ նպաստելով ԻՍ-երի արագագործության բարձրացմանը [13, 84, 89-91, 121, 122, 126, 130]:

4. Մշակվել է շղթաների երկարությունների գնահատման մոդել, որը ներկայումս լայնորեն օգտագործվող կիսապարագային մոդելի բազմամակարդակ հիերարխիական ներկայացման հաշվին ապահովում է նրա համեմատ շուրջ 25%-ով ավելի մեծ գնահատման ճշտություն: Ճշտության տեսակետից այն համեմատելի է Շտեյների նվազագույն ծառի մոդելի ճշտությանը, սակայն ունի անհամեմատ փոքր բարդություն [13, 72, 84, 85, 90, 121, 126]:

5. Մշակվել է ժամանակով ուղղորդված նախնական տեղաբաշխման մեթոդ, որն ապահովում է հետագա միջմիացումների երկարությունների կառավարումը՝ ըստ նրանց ժամանակային պահուստների, հանգեցնելով որոշիչ շղթաների միջմիացումների երկարությունների 26-30% կրճատման՝ ոչ որոշիչ շղթաների երկարությունների համամասնական աճի հաշվին, դրանով իսկ նպաստելով սխեմայի արագագործության բարձրացմանը [13, 84, 89-91, 121, 122, 126, 130]:

6. Առաջարկված են ԻՍ-երի տարրերի նախնական տեղաբաշխման սկզբունք, ալգորիթմ և գործիքամիջոց, որոնք, ի տարբերություն գոյություն ունեցողների, տարրերի տեղաբաշխումը կատարում են շղթաների դիրքերի նախնական որոշման հիման վրա, դրանով իսկ նպաստելով սխեմայի մոտքեր-ելքեր ուղիների ժամանակային համահավասարեցմանը: Փորձարկումները ցույց են տվել, որ այսպիսի մոտեցումը, կախված սխեմայի բարդությունից, առավելագույն պահուստով շղթաների համեմատապահովում է որոշիչ շղթաների հապաղումների 20-ից 80% նվազում [13, 124, 125, 127]:

7. Մշակվել և տեսականորեն հիմնավորվել է ԻՍ-երի տարրերի նախնական ջերմային տեղաբաշխման նոր չափանիշ, որը, տարրերի էներգասպառման հավասարաչափ տոպոլոգիական բաշխման շնորհիվ, նպաստում է կիսահաղորդչային բյուրեղի վրա ջերմային դաշտի համահարթեցմանը և ԻՍ-ի ջերմային հուսալիություն բարձրացմանը: Չափանիշը համադրելի է էլեկտրական կապվածության չափանիշի հետ, և տարրերի նախնական տեղաբաշխման փուլում այն կարելի է օգտագործել ԻՍ տարրերի տեղաբաշխմանը նդհանրացված բնութագրի տեսքով [13, 138-143, 148, 150-155, 157]:

8. Առաջարկվել են ԻՍ-երի տարրերի բազմապարամետրական նախնական տեղաբաշխման չափանիշ և դրա կիրառման վրա հիմնված տեղաբաշխման հաջորդական ալգորիթմ, որոնց փորձարկումները ցույց են տվել սխեմայի արագագործության և ջերմային ռեժիմի 20-ից 35% բարելավում, միջմիացումների գումարային երկարության չափանիշի քան 20% աճի պայմաններում [13, 138-143, 148, 150-155, 157]:

9. Առաջարկվել են եռաչափ ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման բազմապարամետրական մեթոդ և գործիքամիջոց՝ հիմնված երկչափ տեղաբաշխման հայտնի մեթոդների փոխակերպման վրա: Առաջարկված մեթոդի փորձարկումները, միջարք թեստային սխեմաների դեպքում, ցույց են տվել դրա բարձր արդյունավետությունը ինչպես եռաչափ կառուցվածքի միջբյուրեղային էլեկտրական կապվածության նվազարկման տեսանկյունից, այնպես էլ ներբյուրեղների ջերմային դաշտի 33–85%-ով տոպոլոգիական համահարթեցման և միջմիացումների գումարային երկարության 40–50%-ով նվազարկման տեսանկյուններից [13, 156, 157]:

10. Մշակվել են ջերմաէլեկտրական նմանակման սկզբունքի վրա հիմնված՝ ԻՍ-երի տարրերի տեղաբաշխման ջերմային դաշտի մոդելավորման և գրաֆիկական արտապատկերման մեթոդ և համապատասխան գործիքամիջոց, որոնք հնարավորություն են տալիս օգտագործողին՝ երկխոսական ճանապարհով կայացնելու վճիռներ տարրերի ջերմային տեղաբաշխման տեսանկյունից, ինչպես նաև ապահովելու փոխզիջում մոդելավորման ճշտության և ժամանակի միջև [13, 148, 155, 184, 186-188]:

## **ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ**

1. The International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS), 2013 <http://www.itrs.net/Links/2013ITRS/2013Chapters/2013SysDrivers.pdf>.



2. The International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS), 2015 Edition, More Moore,  
[https://www.semiconductors.org/clientuploads/Research\\_Technology/ITRS/2015/5\\_2015%20ITRS%202.0\\_More%20Moore.pdf](https://www.semiconductors.org/clientuploads/Research_Technology/ITRS/2015/5_2015%20ITRS%202.0_More%20Moore.pdf).
3. Khang A., Carballo J. ITRS 2.0, System Integration Focus Team. Stanford. -2015.- 39 p.
4. Suman Datta, Advanced FinFETs and Tunnel FETs for HPC, University of Notre Dame Notre Dame HPC Workshop, Baltimore. 2016. 37 p.
5. The physical design challenges of 20nm processes. By Tong Gao | 2 Comments | Posted: October 11, 2012 Topics/Categories: EDA - DFM | Tags: 20nm, DFM, double patterning, library design, place and route | Organizations: Synopsys. Dr Tong Gao is a Synopsys Fellow. raviteja on October 14, 2012. -2 p.
6. Physical Design Challenges. © Cadence Design Systems, Inc. All Rights Reserved.  
[http://www.cadence.com/Training/Pages/physical\\_design.aspx.2012](http://www.cadence.com/Training/Pages/physical_design.aspx.2012).
7. Brunet Jean-Marie. Challenges Of Physical Design Closure. Mentor Graphics.-2012  
<http://semiengineering.com/challenges-physical-design-closure/>
8. Chang Yao-Wen. Physical Design for Nanometer ICs. Graduate Institute of Electronics Engineering. Department of Electrical Engineering. National Taiwan University. Spring 2017.  
<http://cc.ee.ntu.edu.tw/~ywchang>. -28p.
9. Chunh-Wei Line et al. “Recent Research&Emerging Challenges in Physical Design for manufacturability/Reliability”, [wite paper] available at <[cc.ee.ntu.edu.tw/~ywchang/Papers/aspdac07-pd.pdf](http://cc.ee.ntu.edu.tw/~ywchang/Papers/aspdac07-pd.pdf)> Retrieved on 01 Apr 2012.
10. Davis J. “The challenge of analog, mixed-signal and custom physical implementation at 28 nm”, [online] available at <<http://www.techdesignforums.com/eda/eda-topics/digital-analog-implementation/the-challenge-of-analog-mixed-signal-and-custom-physical-implementation-at-28nm>> Retrieved on 01 Apr 2012.
11. Puri R., Kung D.S. The Dawn of 22nm Era: Design and CAD Challenges. IBM T J Watson Res. Center, Yorktown Heights, NY, USA . VLSI Design, 2010. VLSID '10. 23rd International Conference on Date of Conference: 3-7 Jan. -2010. -P. 429-433.
12. Melikyan V., Harutyunyan A., Matevosyan A., Chobanyan S., Shahinyan T., Babayan E. Physikal Design Implementation. Yerevan, Chartaraget, 2014.-360p.
13. Մելիքյան Վ.Շ., Հարությունյան Ա.Գ., Գևորգյան Ա.Ա. Միկրոէլեկտրոնային սխեմաների ֆիզիկական նախագծման մեթոդներ: Մենագրություն / ՀԳՅՀ.-եր., ճարտարագետ, 2015.-240 էջ

14. Naveed A. Sherwani. Algorithms for VLSI Physical Design Automation. Intel Corporation.- Kluwer Academic Publishers, 2007. -572 p.
15. IC Compiler User Guide: Implementation Version B-2008.09, September 2008 Send comments on the documentation by going to <http://solvnet.synopsys.com>, then clicking “Enter a Call to the Support Center.” Copyright c 2008 Synopsys, Inc.-786 p.
16. Talus Automated Chip Creation Methodology // Magma Design Automatin 1650 Technology Drive San Jose, CA 95110: Copyright © 2006 Magma Design Automation, Inc. [www.magma-da.com](http://www.magma-da.com).-San Jose, -2006.- 12 p.
17. Keating M., Flynn D., Aitken R., Gibbons A., Shi K. Low Power Methodology Manual For System-on-Chip Design. Springer. -2007. -299 p.
18. Tsai Ching-Han, Kang Sung-Mo. Cell-level placement for improving substrate thermal distribution // IEEE Transactions on Computer-Aided Design. - 2000. - Vol. 19. - №2 -P. 253-266.
19. “Тепловой режим процессоров Pentium4-athlonxp”. -15 с.  
<http://www.ixbt.com/cpu/Pentium4-athlonxp-thermal-managment.shtml>.
20. De Orio R.L., Ceric H., Selberherr S. Physically based models of electromigration: From Black’s equation to modern TCAD models. Institute for Microelectronics, TU Wien Gußhausstraße 27–29/E360, A-1040 Wien, Austria. Microelectronics Reliability 50. -2010. – P. 775-789.
21. Kahng Andrew B., Kang Sung-Mo, Li Wei, Liu Bao. Analytical Thermal Placement for VLSI Lifetime Improvement and Minimum Performance Variation. CSE Dept., UC San Diego, CA 92093, CSE Dept., UC Santa Cruz, CA 95064. 1-4244-1258-7/07/\$25.00 ©2007 IEEE. -P. 71-77.
22. Tsai J.-L., Chen C., Chen G., Goplen B., Qian H., Zhan Y., Kang S.-M., Wong M. D. F., and Sapatnekar S. S. “Temperature Aware Placement for SOCs”, in IEEE Special Issue on On-Chip Thermal Engineering, Aug. -2006, -P. 1502-1518.
23. Sivakumar R., Jothi D. Recent Trends in Low Power VLSI Design, International Journal of Computer and Electrical Engineering, Volume 6, Number 6, December 2014,-P). 509-523.
24. Physical Design Challenges. © Cadence Design Systems, Inc. All Rights Reserved.[http://www.cadence.com/Training/Pages/physical\\_design.aspx](http://www.cadence.com/Training/Pages/physical_design.aspx).2012. -3 p.
25. Shankardas Depti Bharat. Design challenges in Physical Design. CGB0911002. VSD 531. M.S.Ramaiah School of Advansed Studis. Coventry University 2012. -20 p.

26. Sani R. Nassif, Kevin J. Nowka. IBM Research, Austin, TX, USA. Physical design challenges beyond the 22nm node. ISPD '10 Proceedings of the 19th international symposium on Physical design. Pages 13-14. ACM New York, NY, USA ©2010. -P. 13-14.
27. Jha N.K. and Chen D. (eds.) Nanoelectronic Circuit Design, Springer Science+Business Media, LLC 2011. -480 p.
28. Մելիքյան Վ.Շ., Յարոնթյունյան Ա.Գ., Պողոսյան Ա.Ս. Յամակարգային ինտեգրալ սխեմաների նախագծում: Մենագրություն/ՅՊՃՅ. -Եր., Ճարտարագետ, 2013.-239 էջ
29. Moore G.E. Cramming more components onto integrated circuits // Electronics. - 1965. - Vol. 38. - P. 114-117.
30. Hemsoth N. More than Moore: IEEE Set to Standardize on Uncertainty, May 9, 2016. <https://www.nextplatform.com/2016/05/09/moore-ieee-set-standardize-uncertainty/>
31. Nowak E., et al. “Scaling beyond the 65 nm node with FinFET-DGCMOS” Proceedings of the IEEE Custom Integrated Circuits Conference, Sept. 21-24, 2003, -P.339-342.
32. EE-382M VLSI–II. Circuits Design for Low Power. Kevin Nowka, IBM Austin Research Laboratory. -2015.
33. Pan D. VLSI Physical Design Automation. Placement. Office: ACES 5.434. 2017. 68P. [http://users.ece.utexas.edu/~dpan/EE382V\\_PDA/notes/lecture9\\_placement1.ppt](http://users.ece.utexas.edu/~dpan/EE382V_PDA/notes/lecture9_placement1.ppt)
34. Bozorgzadeh E. ICS 252, Introduction to Computer Design. Winter 2004. <http://www.ece.umn.edu/users/kia/Courses/EE5301>. -30 p.
35. Sarrafzadeh M., Wong C. “An Introduction to VLSI Physical Design” McGraw-Hill, 1996. -350p.
36. An Introduction to Channel Routing. 2008. [www.yzuda.org/slides/20080711.ppt](http://www.yzuda.org/slides/20080711.ppt). -34p.
37. Dutt S. General Routing Overview and Channel Routing. [www.ece.uic.edu/~dutt/.../Channel\\_Routing.ppt](http://www.ece.uic.edu/~dutt/.../Channel_Routing.ppt). -26 p.
38. CSEP 521 – Applied Algorithms – Winter 2007. -455p.
39. Adharapurapu P. Project: Algorithms for VLSI Physical Design Automation. March 12, 2007. -9 p.
40. <https://www.synopsys.com/>
41. <https://www.cadence.com/>
42. <https://www.mentor.com/>
43. Lockhart D. Place and Route using Synopsys IC Compiler. ECE5745 Tutorial 3 (Version 606ee8a) January 30, 2016. <https://web.csl.cornell.edu/courses/ece5745/handouts/ece5745-tut3-icc.pdf>

44. IC Compiler. Place and Route System <https://www.synopsys.com/implementation-and-signoff/physical-implementation/ic-compiler.html>
45. Cadence SOC Encounter Tutorial.  
[http://eeweb.poly.edu/labs/nanovlsi/tutorials/soctutorials/Tutorial\\_Encounter.html](http://eeweb.poly.edu/labs/nanovlsi/tutorials/soctutorials/Tutorial_Encounter.html)
46. Comprehensive Place-and-Route Platform. Olympus-SoC [www.mentor.com/olympus-soc](http://www.mentor.com/olympus-soc)
47. Sabih H. Gerez. Algorithms for VLSI Design Automation. John Wiley & Sons, 2006, -326 p.
48. Sait, S. M., & Youssef, H. (1995). VLSI physical design automation: Theory and practice. Europe: McGraw-Hill Book Company, also co-published by IEEE Press, New York. -1995. -25 p.
49. CAD for VLSI. 2. Introduction. Placement.
50. <http://www.facweb.iitkgp.ernet.in/~isg/CAD/SLIDES/09-placement.pdf>. -41 p.
51. Jiang Zhe-Wei, Chen Hsin, Chen Tung-Chieh, and Chang Yao-Wen. Challenges and Solutions in Modern VLSI Placement. 2007. -P. 1-5.
52. Mohammad Tehranipoor, ECE 6095, VLSI CAD Algorithms, Placement. 4 November 2008. -43 p. [http://www.engr.uconn.edu/~tehrani/teaching/cad/15\\_placement.pdf](http://www.engr.uconn.edu/~tehrani/teaching/cad/15_placement.pdf).
53. Saab Y., & Rao V. Stochastic evolution: A fast effective heuristic for some generic layout problems. 27th ACM/IEEE. Design Automation Conference. 1990. -P.26–31.
54. Kirkpatrick S., Gelatt C., Vecchi M. Optimization by simulated annealing. Science, 220(4598). 1983. -P. 498–516.
55. Youssef H., Saitb S., Alic H.. Fuzzy simulated evolution algorithm for VLSI cell placement. Computers & Industrial Engineering 44 (2003) -P.227–247;
56. Goldberg D. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Reading, MA: Addison-Wesley. -1989. -405 p.
57. Glover F., & Laguna M. Tabu search. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. -1997. -P. 626-737.
58. Sait S., Youssef H., Nassar K., & Benten M. Timing driven genetic placement. Computer Systems Sciences & Engineering, 13(6). -1998. -P. 125–133.
59. Varatharajan R., Perumal S. , Lekha R. , Kumaravel S. Evolutionary Algorithmical Approach for VLSI Physical Design- Placement Problem. ACEEE Int. J. on Electrical and Power Engineering, Vol. 02, No. 02, August 2011. -P.6-10;
60. Agnihotri A. R., Ono S., and Madden P. Recursive bisection placement: Feng Shui 5.0 implementation details. In Proc. of ISPD. -2005. -P. 230-232.;

61. Clayton W., Commander A. Survey of the Quadratic Assignment Problem, with Applications. Morehead Electronic Journal of Applicable Mathematics Issue 4 — MATH-2005-01. University of Florida, Gainesville, FL 32611. 15 P.
62. Bhati Ravi Kumar, Rasool Akhtar. Quadratic Assignment Problem and its Relevance to the Real World: A Survey. International Journal of Computer Applications (0975 –8887) Volume 96 – No. 9, June 2014. -P. 42-47.
63. Cela E. The Quadratic Assignment Problem: Theory and Algorithms. Springer, 1998. 287 P.
64. Akpan N., Abraham U. A Critique of the Hungarian Method of Solving Assignment Problem to the Alternate Method of Assignment Problem by Mansi. International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)(2016) Volume 29, No 1, -P. 43-56.
65. Автоматизированное проектирование средств и систем управления [Электронный ресурс] : курс лекций / Е. Е. Носкова, Д. В. Капулин, Ю. В. Краснобаев, С. В. Ченцов. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2009. -266 С.;
66. Иванова Н.Ю., Романова Е.Б. Инструментальные средства конструкторского проектирования электронных средств. Учебное пособие. СПб: НИУИТМО, 2013. -121 С.
67. Chan T., Cong J., Shinnerl J., Sze K., and Xie M. mPL6: Enhanced multilevel mixed-size placement. In Proc. of ISPD. -2006. -P. 212-214.
68. Chen T., Hsu T., Jiang Z., and Chang Y. NTUplace: a ratio partitioning based placement algorithm for large-scale mixed- size designs. In Proc. of ISPD. -2005. P. -236-238.
69. Smith M. Application-Specific Integrated Circuits. Prentice Hall. -1997. -P. 450.
70. Baker R. Jacob CMOS: Circuit Design, Layout, and Simulation Revised Second Edition from the Technical Reviewers. John Wiley & Sons. -2008. -1038 p.
71. Neil W., Harris D. CMOS VLSI Design: A Circuits and Systems Perspective, Addison-Wesley Publishing Company , USA ©2010. -864p.
72. Մելիքյան Վ.Շ., Յարոնթյունյան Ա.Գ. Ինտեգրալ սխեմաների միջմիացումների և սնուցման դոզերի մոդելավորում: Մենագրություն / ՅՊՃՀ.-Եր., Ճարտարագետ, 2012.-180 էջ :
73. Chandrasetty V. VLSI Design. A Practical Guide for FPGA and ASIC Implementations. SpringerBriefs in Electrical and Computer Engineering, Vol. 2011.-106p.
74. Lemieux G., Brown S., and Vranesic Z. “On two-step routing for FPGAs,” in ACM Symposium on Physical Design. -1997, P. 60–66.
75. Lemieux G. and Brown S. “A detailed router for allocating wire segments in FPGAs,” in ACM Physical Design Workshop. -1993. P. 215–226.

76. Brown S., Rose J., Vranesic Z. "A detailed router for FPGAs," in IEEE Transactions on Computer Aided Design. -1992. P. -620–628.
77. Chang Y., Thankur S., Zhu K., and Wong D. "A new global routing algorithm for FPGAs," in IEEE Transactions on Computer Aided Design. -1994. -P. 356–361.
78. Rose J. "Parallel global routing for standard cells," in IEEE Transactions on Computer Aided Design. -1990. -P. 1085–1095.
79. Placzewski M., "Plane parallel A\* maze router and its application to FPGAs," in ACM Design Automation Conference. -1990. -P. 691–697.
80. McMurchie L. and Ebeling C. "PathFinder: A negotiation-based performance-driven router for FPGAs," in Proceedings of the 3rd ACM/SIGDA International Symposium on Field Programmable Gate Arrays. -1995. -P. 111-117.
81. Wu Y.-L. and Marek-Sadowska M. "An efficient router for 2-d FPGAs," in European Design Automation Conference. -1994. -P. 412–416.
82. Lee Y.-S. and Wu A. "A performance and routability driven router for FPGAs," in ACM Design Automation Conference. -1995. -P. 557–561.
83. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника: Учеб. Пособие для вузов. 2-е изд., перераб. И доп. СПб.: БХВ-Петербург. -2004. -544с.
84. Арутюнян А., Мхитарян Л. Начальное размещение элементов ИС с минимизацией задержек в цепях, Труды восьмой международной научно-практической конференции современные информационные и электронные технологии, 21-25 мая 2007г., г. Одесса, Украина, 2007, -С.255.
85. Арутюнян А.Г., Мхитарян Л.Л. Временной анализ цепей цифровых ИС при начальном размещении логических ячеек Труды девятой международной научно-практической конференции современные информационные и электронные технологии, 19-23 мая 2008г., г. Одесса, Украина, 2008, -С.222.
86. Cho M., Xiang H., Puri R., and Pan D. "Wire Density Driven Global Routing for CMP Variation and Timing", Proc. IEEE/ACM Int'l Conference on Computer-Aided Design (ICCAD), November, 2006. -P.487-492.
87. Ramalingam A., Kumar Singh A., Nassif Sani R., Orshansky M. and Pan D. "Accurate Waveform Modeling using Singular Value Decomposition with Applications to Timing Analysis", ACM/IEEE International Workshop on Timing Issues in the Specification and Synthesis of Digital Systems (TAU), Austin, Texas, Feb 2007. -25p.

88. Pan D., Halpin B., and Ren H. "Timing-Driven Placement" in Handbook of Algorithms for VLSI Physical Automation (edited by Charles J. Alpert, Dinesh P. Mehta, and Sachin S. Sapatnekar), CRC Press, 2007 (Invited) (Amazon) (ISBN: 0849372429). -2008. -1024p.
89. Арутюнян А.Г., Мхитарян Л.Л. Размещение логических ячеек комбинационных схем с учетом задержек в цепях Труды третьей научной конференции РАУ.5-10 декабря 2008г.,РАУ,Ереван. -2009. -С. 164-167.
90. Յարուկ թյուկան Ա.Գ., Մխիթարյան Լ.Լ. Ինտերպլ սխեմաների շղթաներում հապաղումների հաշվառումը տարրերի նախնական տեղաբաշխման ժամանակ ՅՊՃՅ տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու, հ.2.- Երևան, 2006. -Էջ 459-461:
91. Յարուկ թյուկան Ա.Գ., Մխիթարյան Լ.Լ. Ինտերգրալ սխեմաների շղթաներում հապաղումների ռեգերվի գնահատումը նախազգծման վաղ փուլերում // ՅՊՃՅ տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու . - Երևան, 2006. - Յ.2.- Էջ 462-464:
92. Sadiq M. Sait, Habib Youssef, VLSI Placement, King Fahd University of Petroleum & Minerals College of Computer Sciences & Engineering Department of Computer Engineering.1-995. -62p.
93. Chu C. and Wong Yiu-C. FLUTE: Fast Lookup Table Based Rectilinear Steiner Minimal Tree Algorithm for VLSI Design. IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTER-AIDED DESIGN, 2007. -14 P.
94. Brazil M., Zachariasen M. Optimal Interconnection Trees in the Plane: Theory, Algorithms and Applications. Springer. 2015. -341 P.
95. Kahng Andrew B., Mandoiu Ion I., and Zelikovsky Alexander Z. Highly scalable algorithms for rectilinear and octilinear steiner trees. In ASPDAC: Proceedings of the 2003 conference on Asia South Pacific design automation, New York, NY, USA, 2003. ACM. -2003. -P.827-833.
96. Aigner Martin, Ziegler Günter M.. Proofs from the book. — Springer-Verlag, 2004. -P. 173-178.
97. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ, 2-е изд. - М.: Вильямс, 2013. - 1328 с.
98. Bang Ye Wu, KunMao Chao, Steiner Minimal Trees[Online]. Available:<http://www.csie.ntu.edu.tw/~kmchao/tree07spr/Steiner.pdf>(2010, March 18). -6p.
99. Santuari A., Steiner Tree NPcompleteness Proof [Online].

- Available:<http://users.dimi.uniud.it/~romeo.rizzi/classes/Complexity/provette/Santuari/steiner.pdf>(2010, March 18). -2p.
100. G. Robins and A. Zelikovsky, Improved Steiner Tree Approximation in Graphs[Online]. Available :[http://www.cs.virginia.edu/~robins/papers/soda2000\\_camera.pdf](http://www.cs.virginia.edu/~robins/papers/soda2000_camera.pdf) (2010, March 18). -10p.
  101. Elmore W. The transient response of damped linear network with particular regard to wideband amplifiers. *Journal of Applied Physics*, 19: 1948. –P. 55-63.
  102. Boese K., Kahng A., McCoy B., and Robins G. Fidelity and near-optimality of Elmore-based routing constructions. In *Proceedings of the International Conference on Computer Design*, Cambridge, MA, Oct. 1993. -P. 81-84.
  103. Stroobandt D. *A Priori Wire Length Estimates for Digital Design*. Kluwer Academic Publishers. ISBN 0-7923-7360-X. -2001. -298 p.
  104. Christie P. and Stroobandt D. The Interpretation and Application of Rent's Rule, *IEEE Trans. on VLSI Systems, Special Issue on System-Level Interconnect Prediction*, vol. 8, no. 6. - 2000. -P. 639–648
  105. *Basic of Timing Analysis in Physical Design*. VLSI Concepts.  
<http://www.vlsi-expert.com/2011/02/timing-analysis-basis-what-and-why.html>. 2011.
  106. Kahng A., Lienig J., Markov I. et al. *VLSI Physical Design: From Graph Partitioning to Timing Closure*, DOI 10.1007/978-90-481-9591-6\_8, © Springer Science+Business Media B.V. 2011. -190 p.
  107. *Digital Standard Cell Library//SAED\_EDK90\_CORE DATABOOK*: © 2008 SYNOPSYS ARMENIA Educational Department.- Yerevan, 2008. – 96 p.
  108. Breuer M., Sarrafzadeh M., and Somenzi F. Fundamental CAD algorithms. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design*, 19(12). 2000. -P.1449-1475.
  109. *Talus Automated Chip Creation Methodology // Magma Design Automatin 1650 Technology Drive San Jose, CA 95110*: Copyright © 2006 Magma Design Automation, Inc. [www.magma-da.com](http://www.magma-da.com).-San Jose, 2006.- 12 p.
  110. Wang C. “Scalable and Deterministic Timing-Driven Parallel Placement for FPGAs”, The University of British Columbia, October 2011. -101p.
  111. Hur S., Cao T., Rajagopal K., et al. Force directed mongrel with physical net constraints. In *Proc. Design Automation Conf.* -2003. -P.214-219.
  112. [www.vlsi-expert.com/.../delay-interconnect-delay](http://www.vlsi-expert.com/.../delay-interconnect-delay).
  113. Kang S. and Leblebici Y., *CMOS Digital Integrated Circuits*, McGraw-Hill Publishing Company, Inc, 2003. -655p.



114. Jackson M., Kuh E. and Marek-Sadowska M. "Timing-Driven Routing for Building Block Layout," Proc. of ISCAS, 1987. -P. 518-519.
115. Prashant Saxena and Satyanarayan Gupta. Shield count minimization in congested regions. In Proceedings of 2002 International Symposium on Physical Design. ACM Press, 2002. -P.78-83.
116. Halpin W. "Timing Driven Placement Through Net Length Constraints", Proquest, Umi Dissertation Publishing, United States 2011. -84p.
117. Terai M., Takahashi K., and Sato K. "A New Min-Cut Placement Algorithm for Timing Assurance Layout Design Meeting Net Length Constraint," Proc. Design Automation Conference, June 1990, -P. 96-102.
118. Chan T., Cong J. and Sze K. Multilevel generalized force-directed method for circuit placement. In Proc. Int. Symp. on Physical Design, New York, NY, USA, 2005. ACM Press. -2005. -P.185-192.
119. Tsay R. and Koehl J. "An Analytic Net Weighting Approach for Performance Optimization in Circuit Placement," Proc. Design Automation Conference, June 1991, -P. 620-625.
120. Jackson M. and Kuh E. "Performance-Driven Placement of Cell Based IC's," Proc. Design Automation Conference, June 1989, -P. 370-375.
121. Арутюнян А.Г., Мхитарян Л.Л. Повышение быстродействия цифровых интегральных схем на этапе начального размещения логических ячеек Вестник ГИУА. Серия Моделирование, оптимизация, управление, выпуск 10, том 2, Ереван 2007, -С. 8-16.
122. Арутюнян А.Г. Линейное размещение ячеек цифровых интегральных схем с учетом резервов задержек в цепях. Электроника и связь. Тематический выпуск "электроника и нанотехнологии", N3, Киев, 2010, -С. 79-83.
123. ISCAS85                                      Combinational                                      Benchmark                                      Circuits.  
<https://filebox.ece.vt.edu/~mhsiao/iscas85.html>
124. Арутюнян А.Г., Мхитарян Л.Л. Управление длинами цепей при начальном размещении логических ячеек цифровых интегральных схем // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2013.- Т.66, №3 . -С. 35-44
125. Арутюнян А.Г., Мхитарян Л.Л., Оганджян А.Ж. Подсистема управляемого временем начального размещения ячеек цифровых интегральных схем // Вестник инженерной академии Армении . -Ер.2013.- Т.10, № 3.-С. 542-550.
126. Арутюнян А.Г. Начальное размещение логических ячеек интегральных схем с учетом важности цепей// Проблемы разработки перспективных микро- и нанозлектронных

- систем – 2014. Сборник трудов / под общ. Ред. Академика РАН А.Л. Стемповского, М.: ИППМ РАН, 2014. Часть 1. Москва: 2014.- С.143-146.
127. Арутюнян А.Г., Мхитарян Л.Л. Размещение элементов комбинационных схем с учетом важности цепей// Вестник НАН РА и ГИУА, серия технических наук. - Ер.2016.- Т.69, № 4.-С. 403-412.
  128. Talus Automated Chip Creation Methodology// Magma Design Automatin 1650 Technology Drive San Jose, CA 95110: Copyright © 2006 Magma Design Automation, Inc. www.magma-da.com.-San Jose, 2006. 12p.
  129. Kumar A. Introduction to VLSI Physical Design, Published on Apr 15, 2013. 48 P. <https://www.slideshare.net/sasikun/1-introduction-to-vlsi-physical-design>.
  130. Арутюнян А.Г. Относительное размещение модулей цифровых интегральных схем с учетом задержек в цепях. Вестник РАУ, Физико-математические и естественные науки, N1, Ереван, 2010, С.35-41.
  131. Landman B.S. and Russo R.L. On a Pin Versus Block Relation Ship for Partitionings of Logic Graphs. - IEEE Trans. Comput. - Dec. 1971. - Vol. C-20. - p. 1469-1479.
  132. Pedder D. Interconnection and Packaging of Solid-State Circuit. - IEEE Journal of solid-state circuit.- june 1989. - Vol.24. - N 3. -P.698-703.
  133. Файзулаев Б.Н., Шагурин И.И. и др. Быстродействующие матричные БИС и СБИС. Теория и проектирование. –М. : Радио и связь. 1989.-304с.
  134. Rabaey J., Chandrakasan A., Nikolic B. Digital Integrated Circuits: A Design Perspective, 2nd ed. Englewood Cliffs: NJ.- Prentice- Hall, 2003.- 761 p.
  135. Reddy V. Introduction to semiconductor reliability// 2003 international reliability physics symposium.- Hyatt regency Dallas, Texas.- 2003.-topic 111. -P. 1-74.
  136. Shabani Y. Heat Transfer: Thermal Management of Electronics. Boca Raton, London, New York. CRC Press Taylor&Francis Group, 2010.-508p.
  137. Grasser T. Hot Carrier Degradation in Semiconductor. New York. Springer International Publishing, 2015.-516p.
  138. Арутюнян А.Г., Повышение тепловой надежности ИС на этапе топологического проектирования, Труды седьмой международной научно-практической конференции современные информационные и электронные технологии, 22-26 мая 2006г., г. Одесса, Украина, том 2, 2006, -С.22.
  139. Арутюнян А.Г. Повышение тепловой надежности интегральных схем на этапе размещения элементов. Вестник ГИУА. Серия Моделирование, оптимизация, управление, выпуск 11, том 2, Ереван 2008, -С. 22-34.

140. Harutyunyan A., Kajoyan A., Increase of thermal reliability IC at the stage of placement of cells. Semiconductor Micro- and Nano-Electronics. Proceedings of the sixth international conference. Tsakhcadzor, september 18-20. Yerevan, 2007. -P.180-183.
141. Harutyunyan A.G. and Kajoyan A.H. Increase of thermal reliability IC at the stage of placement of cells. Armenian Journal of Physics, vol. 1, 2008, -P. 178-182.
142. Арутюнян А.Г.. Тепловое размещение элементов интегральных схем на поверхности кристалла // Известия НАН РА. Физика. 2017.- Т. 52, №3. – С. 376-382.
143. Harutyunyan A.G. Thermal Placement of Elements of Integrated Circuits on Crystal Surface. Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences) Vol. 52 No. 3. © Allerton Press, Inc 2017. P. 276-280.
144. Микроэлектроника: Учеб. Пособие для вузов. В 9 кн. / Под ред. Л.А. Коледова. Кн. 5. И.Я. Козырь. Качество и надежность интегральных микросхем.-М.: Высш. шк., 1987. - 128 с.
145. Chen G., Sapatnekar S. Partition Driven Standard Cell Thermal Placement // IEEE Transactions on Computer-Aided Design.-2002.- Vol. 14, No. 3. -P. 349-359.
146. Chen G., Sapatnekar S. Partition-Driven Standard Cell Thermal Placement. Monterey, California, USA. Copyright 2003. -бр.
147. Chu C., D.F. Wong. A Matrix Synthesis Approach to Thermal Placement. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, V. 17, N. 11, November 1998. -P. 1166-1174.
148. Gasparyan T., Harutyunyan A. Approach to matrix based thermal placement // Proceedings of the semiconductor micro & nanoelectronics 11th international conference. - Yerevan, Armenia, 2017. – P. 196-198. Дульнев Г. Н., Теория тепло- и массообмена. Санкт – Петербург, НИУ ИТМО, 2012. -194с.
149. Арутюнян А.Г. Повышение равномерности распределения теплового поля при начальном размещении топологических ячеек ИС. Проблемы разработки перспективных микро-и нанoeлектронных систем-2008: Сборник научных трудов/ Под общ. ред. А.Л. Стемповского.-М.: ИППМ РАН. 2008. -С. 251-254.
150. Арутюнян А.Г. Многопараметрическое начальное размещение логических ячеек цифровых интегральных схем. Электроника и связь. Тематический выпуск “электроника и нанотехнологии”, ч.2, Киев, 2009. -С. 99-103.
151. Арутюнян А.Г.. Размещение логических ячеек интегральных схем с одновременным учетом быстродействия и теплового режима // Проблемы разработки перспективных

- микро- и наноэлектронных систем – 2016. Сборник трудов / под общ. Ред. Академика РАН А.Л. Стемпковского, М.: ИППИ РАН, 2016. Часть 1. Москва: 2016.- С.165-170.
152. Հարոն թյուն Ա.Գ., Հարոն թյուն Յ.Ժ., Վարդաշակյան Ն.Ս. Ինտեգրալ սխեմաների տարրերի տեղաբաշխումը ջերմային ռեժիմի հաշվառմամբ // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու .- Երևան: Ճարտարագետ, 2017.- Մաս 1. – Էջ 277-282:
153. Melikyan V.Sh., Harutyunyan A.G., Vagharshakyan N.S., Harutyunyan H.J. Multifactor Initial Placement of IC Cells // Proceedings of the IEEE 35th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). - Kiev, Ukraine, 2017.- P.104-107.
154. Melikyan V.Sh., Harutyunyan A.G., Gasparyan T.A. Temperature-Aware Interactive Initial Placement for Integrated Circuits // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'17). - Novi Sad, Serbia, 2017. - P.34-37.
155. Հարոն թյուն Ա.Գ., Մարտիրոսյան Ա.Ռ., Հարոն թյուն Յ.Ժ., Գասարյան Տ.Ա., Եռաչափ ինտեգրալ սխեմաների տարրերի ջերմային տեղաբաշխումը // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու .- Երևան: Ճարտարագետ, 2017.- Մաս 1. – Էջ 283-288:
156. Melikyan V.Sh., Harutyunyan A.G.. 3D Integrated Circuits Multifactor Placement // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'17). - Novi Sad, Serbia, 2017.-P.45-48.
157. Massoud P. Robust Design of Power-Efficient VLSI Circuits //University of Southern Cslifornia, Depth .of Electrical Engineering. -March 28, 2011. -52 p.
158. Vassighi A., Sachdev M. Thermal and Power Management of Integrated Circuits. Springer US.2006.-177p.
159. Cong J. and Zhang Y.. Thermal-Aware Physical Design Flow for 3-D ICs. Proceedings of the 23rd International VLSI Multilevel Interconnection Conference (VMIC), Fremont, CA, September, 2006. <http://cadlab.cs.ucla.edu/~cong/papers/2006-9-VMIC.pdf>. -P. 73-80
160. Романовский И. В. Дискретный анализ. — 3-е изд. — СПб.: Невский Диалект; БХВ-Петербург, 2003. - 320 с.
161. Sung K. 3D Circuit Design with Through-Silicon-Via: Challenges and Opportunities 3D Circuit Design with Through-Silicon-Via: GTCAD Laboratory EDPS 2010 Talk, April 9, 2010. -42p.
162. A wafer-scale 3-D circuit integration technology /J.A. Burns, B.F. Aull, C.K. Chen, et al // IEEE Transactions on Electron Devices. – October, 2006. - Vol. 53, No. 10. - P.2507-2516.

163. Rahman A. and Reif R. Thermal analysis of three-dimensional (3-D) integrated circuits (ICs) // Proceedings of the Interconnect Technology Conference (IITC). - 2001. - P. 157-159.
164. Yang J., Athikulwongse K., Lee Y., Lim S., and Pan D., “TSV Stress Aware Timing Analysis with Applications to 3D-IC Layout Optimization”, ACM Design Automation Conference, 2010. P. 803-806.
165. Kim D., Athikulwongse K., and Lim S. Block-level Designs of Die-to-Wafer Bonded 3D ICs and Their Design Quality Tradeoffs. CCAD'09, November 02–05, 2009, San Jose, California, USA. Copyright 2009, 7 p.
166. Labun A. Thermally-coupled IC interconnect networks // IEEE 14th International Mixed-Signals, Sensors, and Systems Test Workshop. -2008. -P. 1-5.
167. Wong E., Lim S.K. 3D Floorplanning with Thermal Vias // Proceedings of the Design Automation & Test in Europe Conference. - 2006. - Vol. 1. - P.1-6.
168. Kyoung Keun Lee, Edward J., Sung Kyu Lim. Thermal-driven Circuit Partitioning and Floorplanning with Power Optimization. Georgia Institute of Technology by KK Lee - 2003. - 7 p.
169. Մելիքյան Վ.Ճ., Հարությունյան Ա. Գ., Մաթևոսյան Ա.Վ., Պետրոսյան Յ.Պ. Ցածր էներգասպառմամբ ինտեգրալ սխեմաների նախագծում: Մենագրություն / ՀՀԳՀ-Եր., Ճարտարագետ, 2012.-195 էջ:
170. Digital Standard Cell Library.- SAED\_EDK32/28 // SYNOPSIS ARMENIA Educational Department.- Yerevan, 2011. -152 P.
171. Thermal Analysis of Semiconductor Systems.Freescale Semiconductor, Inc. -2008. -24 p.
172. Wei Huang. HotSpot—A Chip and Package Compact Thermal Modeling Methodology for VLSI Design. University of Virginia. -2007. -156 p.
173. Vladimír S. Introduction to thermal simulation. Budapest University of Technology and Economics. Budapest. -2009. -33 p.
174. Cerovský A., Dulce A., Ferreira A. Application of the Finite Difference Method and the Finite Element Method to Solve a Thermal Problem.Universidade Do Porto. -2014. -48 p.
175. Du B., Hudgins J., Bryant A. et all. Transient Electrothermal Simulation of Power Semiconductor Devices. IEEE Transactions on Power Electronics, V. 25, N. 1, January 2010. -P. 237-248.
176. Zhan Y., Kumar S. and Sapatnekar S. Thermally Aware Design. Foundations and Trends. Electronic Design Automation. Vol. 2, No. 3. 2008. -P. 255–370.

177. Sridhar A., Vincenzi A., Ruggiero R. 3D-ICE: Fast compact transient thermal modeling for 3D ICs with inter-tier liquid cooling. Proceedings of the IEEE. -2010. -P. 463-470.
178. Козылко П. А. Разработка подсистем электро-теплового моделирования БИС и печатных плат в среде промышленной САПР. – Москва. -2010. -26 с.
179. Файзуллаев Б.Н. и др. Быстродействующие матричные БИС и СБИС. Теория и проектирование.-М.: Радио и связь, 1989. -304с.
180. Amirtharajah R., Parkhurst J., EEC 118 Spring 2010. -23 p.
181. Cheng Y.. Electrothermal analysis of VLSI systems. Kluwer Academic Publishers, ©2002. - 205 p.
182. Петросянц К.О., Рябов Н.И., Харитонов И.А., Козылко П.А. Реализация процесса электротеплового моделирования в САПР БИС Mentor Graphics. -2013. -4 p.
183. Melikyan V., Babayan E., Harutyunyan A. Pattern-Based Approach to Current Density Verification // Electronics.- Banja Luka, 2012.-Vol. 16, No. 1. - P. 77-82.
184. Thermal Analysis of Semiconductor Systems. © Freescale Semiconductor, Inc. 2008. Document Number: BASICTHERMALWP/ REV 0.
185. Harutyunyan A., Tovmasyan A.T. Increase of thermal reliability IC at the stage of placement of cells. Semiconductor Micro- and Nano-Electronics: Proceedings of the seventh international conference. - Yerevan, 2009. - P.230-232.
186. Арутюнян А.Г. Электротепловое моделирование теплового поля интегральных схем при размещении элементов. Электроника и связь. Тематический выпуск “электроника и нанотехнологии”, N1, Киев, 2011, С. 104-108.
187. Harutyunyan A.G.. Modeling of Thermal Field of Substrate of Integrated Circuits by Similarity Method // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'17). - Novi Sad, Serbia, 2017. - P.117-120.
188. Sheahan D. Distinguished Engineer Niagara Architecture Group Sun Microsystems. OPENSPARC T1 OVERVIEW. Creative Commons Attribution-Share 3.0 United States License. <http://www.oracle.com/technetwork/systems/opensparc/2008-oct-opensparc-slide-cast-04-ds-1539002.html>. 29 p.

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 1.  
ՆԵՐԴՐՄԱՆ ԱԿՏ

Հաստատում եմ  
«ՄԻՆՓՈՒՄ ԱՐՄԵՆԻԱ» ՓԲԸ  
Գլխավոր տնօրեն  
Հ. Մուսաբեկյան



Աշոտ Գևորգի Հարությունյանի «Սեֆամիկրոնային թվային ինտեգրալ սխեմաներում տարրերի նախնական տեղաբաշխման տեսական եփմունքների և գործիքամիջոցների մշակումը» թեմայով դոկտորական աստիճանատիրական արդյունքների

## ՆԵՐՈՒՄԱՆ ԱԿՏ

ՀԱՊՀ «Միկրոէլեկտրոնային սխեմաներ և համակարգեր» ամբիոնի դոցենտ Աշոտ Գևորգի Հարությունյանի կողմից «Սեֆամիկրոնային թվային ինտեգրալ սխեմաներում տարրերի նախնական տեղաբաշխման տեսական եփմունքների և գործիքամիջոցների մշակումը» թեմայով դոկտորական աստիճանատիրական աստիճաններում մշակված «INIPLACE» ծրագրային միջոցը ներդրված է «ՄԻՆՓՈՒՄ ԱՐՄԵՆԻԱ» ՓԲԸ-ում: Այն նախատեսված է թվային ինտեգրալ սխեմաների տարրերի նախնական տեղաբաշխման և արդյունքների վերլուծության համար:

Մշակված «INIPLACE» ծրագրային միջոցը կազմված է 3 ենթահամակարգերից, որոնք ապահովում են՝

1. Թվային ինտեգրալ սխեմաների տարրերի ժամանակով ուղղորդված նախնական տեղաբաշխում և արդյունքների վերլուծություն:
2. Թվային ինտեգրալ սխեմաների տարրերի բազմապարամետրական նապաստակ տեղաբաշխում:
3. Ինտեգրալ սխեմաների ջերմաստիճանների տարրողիակն լաշխման գրոմֆիկանոն արտապատկերում:

Ծրագրային միջոցը հանդիսանում է ինտեգրալ սխեմաների ավտոմատացված նախագծման գործընթացի բաղկացուցիչ մասը , որանց ֆիզիկական նախագծման փուլում սպասովելյով արագագործության և ջերմային ռեժիմի բաղադրիչը: Մշակված ծրագրային միջոցը բավարարում է ժամանակակից էլեկտրոնային նախագծման բնագավառում կիրառվող ծրագրային գործիքամիջոցներին և ներկայացվող պահանջներին:

Լուծումների խմբի  
2-րդ կարգի կատարարիչ



Մ. Հարությունյան



## “INIPLACE” ծրագրային համալիրի տեքստի որոշ հատվածներ :

Ենթամիկրոնային թվային ԻՍ-երի տարրերի նախնական տեղաբաշխման “INIPLACE” ծրագրային համալիրը կազմված է երեք գործիքամիջոցներից .

1. Թվային ինտեգրալ սխեմաների տարրերի ժամանակով ուղղորդված նախնական տեղաբաշխման :
2. Թվային ԻՍ-երի տարրերի եռաչափ տեղաբաշխման :
3. Ինտեգրալ սխեմաների ջերմաստիճանների տոպոլոգիական բաշխման գրաֆիկական արտապատկերման :

1. Թվային ինտեգրալ սխեմաների տարրերի ժամանակով ուղղորդված նախնական տեղաբաշխման ծրագրի տեքստի որոշ հատված :

main

```
#pragma warning(disable:4786)

//-----

#include <iostream>
#include <stdlib.h>

#include "../Utils/Common/auto_resize_array.h"
#include "../Utils/Common/stream.h"
#include "../Utils/Common/bench_file.h"

#include "../process.h"
#include "../Utils/Common/CommandLineParams.h"
#include "../Utils/DB/XML/XMLTree.h"
#include "../cells_lib_xml_parser.h"
//-----

//#define _TEST_

int main(int argc, char *argv[ ])
{
#ifdef _TEST_
    SCommandLineParams cl_params;
    cl_params.Add(_T("fn"), _T(""), ECPT_String, _T("Bench file name."));
    cl_params.Add(_T("cells.xml"), _T(""), ECPT_String, _T("Cells library xml
file."));

    if(cl_params.parse(argc, argv))
```

```

#endif // _TEST_
{

    SXMLTree xml_tree;
#ifdef _TEST_
    const SString &file_name = cl_params.get_stringValue(_T("fn"));
    const SString &cells_xml =
cl_params.get_stringValue(_T("cells.xml"));

    //cout << file_name << "\n";
    //cout << cells_xml << "\n";
#else // _TEST_
    SString file_name = "d:\\Documents\\work\\Scheme Delays\\word.txt";

    SString cells_xml = _T("<elements> \
<element name=\"2 AND gate\" pins=\"2\" type=\"AND\"> \
<x1> \
<tau value=\"85.00\"/> \
<b value=\"2.56\"/></x1> \
<x2> \
<tau value=\"96.00\"/> \
<b value=\"2.88\"/></x2></element> \
<element name=\"3 NAND gate\" pins=\"3\" type=\"NAND\"> \
<x1> \
<tau value=\"130.00\"/> \
<b value=\"4.16\"/></x1> \
<x2> \
<tau value=\"142.00\"/> \
<b value=\"4.48\"/></x2></element> \
<element name=\"2 NOR gate\" pins=\"2\" type=\"NOR\"> \
<x1> \
<tau value=\"64.00\"/> \
<b value=\"2.24\"/></x1> \
<x2> \
<tau value=\"66.00\"/> \
<b value=\"3.20\"/></x2></element> \
<element name=\"1 NOT gate\" pins=\"1\" type=\"NOT\"> \
<x1> \
<tau value=\"38.00\"/> \
<b value=\"2.24\"/></x1> \
<x2> \
<tau value=\"39.00\"/> \
<b value=\"5.12\"/></x2></element> \
<element name=\"2 OR gate\" pins=\"2\" type=\"OR\"> \
<x1> \
<tau value=\"85.00\"/> \
<b value=\"2.56\"/></x1> \
<x2> \
<tau value=\"94.00\"/> \
<b value=\"3.20\"/></x2></element></elements> \
");
#endif // _TEST_

    //- Read Cells lib -----
    SCellsLibXMLParser cells_lib_xml_parser;

    if(xml_tree.Parse(cells_xml))
    {
        SXMLTreeNode* p_root = xml_tree.GetRoot();
        if(p_root) {

            p_root = p_root->GetFirstChild();
            if(p_root && p_root->GetName() == _T("elements")) {

```

```

                SXMLTreeNode* p_child = p_root->GetFirstChild();
                while(p_child) {
                    cells_lib_xml_parser.Parse(p_child);

                    p_child = p_root->GetNextChild();
                }
            }
        }

        //- Read bench file -----
        electronics::SBenchFile bench_file;

        if(bench_file.parse(file_name))
        {
            if(bench_file.get_error_text() != "")
            {
                std::cerr << bench_file.get_error_text() << std::endl;
                exit(1);
            }
        }
        else {
            std::cerr << "error open bench file" << std::endl;
            exit(1);
        }

        //- Tablicayi stacum & anaparhneri hashvum -----
        SProcess ps;

        if(ps.init(bench_file, cells_lib_xml_parser)) // tablicayi stacum
        {
            if(ps.start()) //- anaparhneri stacum
            {
                //- Arta&um -----

                std::ofstream fout("result.log");

                for(int i = 0; i < ps.d.size(); i++){
                    fout << i << " ";
                    for(int j = 0; j < ps.H.size(i); j++) {
                        SString s_pin;
                        bench_file._pin_id.GetValueById(ps.H[i][j],
s_pin);

                        fout << s_pin << "-";
                    }
                    fout << "   d=" << ps.d[i] << "\n";
                }
                fout << "-----\n";

                for(int i = 0; i < ps.R.size(); i++) {
                    SString s_pin;
                    bench_file._pin_id.GetValueById(i, s_pin);
                    fout << s_pin << " ) tush=" << ps.tush[i] << "
tvax=" << ps.tvax[i] << "   R=" << ps.R[i] << "\n";
                }

                fout << "-----\n";

                fout.close();

                system("post_call.bat");
            }
        }
    }
}

```

```

        }
        else
            cerr << "Processing start error!!!";
    }
    else
        cerr << "Init error!!!";
}

//_sleep(50000);

return 0;
}

```

### Process

```

#ifndef _PROCESS_H_
#define _PROCESS_H_

#include <math.h>
#include "../Utils/Common/bench_file.h"
#include "../table_file.h"
#include "../cells_lib_xml_parser.h"

#define DEFINE_RESERVE ((double)-18446744073709.0)

class SProcess
{
public:

    SProcess() : tush(100000000) { Lsum = 0.0; }

    bool init(const electronics::SBenchFile &bench_file, const
    SCellsLibXMLParser &lib_parser)
    {
        bool ret = true;

        n = bench_file.GetPinsCount();
        c = 0.0;

        //- mutqeri pahum
        int mutq_vector_size = (int)bench_file.mutq_vector.size();
        for(int i = 0; i < mutq_vector_size; i++) //!!! interatorov sarqel
            line_type[bench_file.mutq_vector[i]] = 1;

        //- elqeri pahum
        int elq_vector_size = (int)bench_file.elq_vector.size();
        for(int i = 0; i < elq_vector_size; i++) //!!! interatorov sarqel
            line_type[bench_file.elq_vector[i]] = 2;

        //- tablicayi stacum
        for(int i = 0; i < n; i++)
            for(int j = 0; j < n; j++)
                x[i][j] = DEFINE_RESERVE;

        std::map<int, int> elqayin_tshuxavorum;

        //- elqayin &uxavorman hashvum
        int connection_vector_size =
        (int)bench_file._connection_vector.size();
        for(int i = 0; i < connection_vector_size; i++)
        {
            electronics::CONNECTION *cnt =
            bench_file._connection_vector[i];

```

```

        elqayin_tshuxavorum[cnt->in]++;
    }

    std::map<int, int>::const_iterator end = elqayin_tshuxavorum.end();
    for(std::map<int, int>::iterator i = elqayin_tshuxavorum.begin(); i
    != end; ++i) {
        if((*i).second > 16) (*i).second = 6;           // => x32
        else if((*i).second > 8) (*i).second = 5; // => x16
        else if((*i).second > 4) (*i).second = 4; // => x8
        else if((*i).second > 2) (*i).second = 3; // => x4
        //else if((*i).second = 2) (*i).second = 2; // => x2
        //else if((*i).second = 1) (*i).second = 1; // => x1
        else if((*i).second == 0) {
            if(line_type[*i].first != 2)
                ret = false;
            (*i).second = 1; // => x1
        }
    }

    //- elementneri tablicayi stacum
    for(int i = 0; i < connection_vector_size; i++)
    {
        electronics::CONNECTION *cnt =
bench_file._connection_vector[i];

        SString type;
        bench_file._cell_type_id.GetValueById(cnt->cell_type_id,
type);

        SCellsLibXMLParser::CELLS_MAP_TYPE::const_iterator i_t =
lib_parser._cells.find(type);
        if(i_t != lib_parser._cells.end()) {

            std::map<int , electronics::CELL>::const_iterator i_c =
bench_file._cells.find(cnt->cell_name_id);

            if(i_c != bench_file._cells.end()) {

                SCellsLibXMLParser::CELLS_MAP_TYPE_VALUE::const_iterator i_p =
(*i_t).second.find((*i_c).second.input_pins_count);
                if(i_p != (*i_t).second.end()) {
                    int i_cnt = elqayin_tshuxavorum[cnt->out];
                    if(i_cnt == 0) {
                        elqayin_tshuxavorum[cnt->out] = 1;
                        i_cnt = 1;

                        if(line_type[cnt->out] != 2)
                            ret = false;
                    }
                }

                SCellsLibXMLParser::CELLS_MAP_TYPE_VALUE2::const_iterator i_et =
(*i_p).second.find(i_cnt);

                if(i_et != (*i_p).second.end()) {
                    x[cnt->in][cnt->out] =
(*i_et).second.first; //tau
                }
                else {
                    x[cnt->in][cnt->out] = 0;
                    ret = false;
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        else {
            x[cnt->in][cnt->out] = 0;
            ret = false;
        }
    } else {
        x[cnt->in][cnt->out] = 0;
        ret = false;
    }
}
else {
    x[cnt->in][cnt->out] = 0;
    ret = false;
}
}

return ret;
}

bool start()
{
    //- step 1 --
    MGAutoResizeArray<int>          krt_ynt;

    int i;
    for(i = 0; i < n; i++)
    {
        if(line_type[i] == 1)
        {
            H[d.size()][0] = i;
            double b = 0;
            int p = 1;
            int tox = i;

            krt_ynt.empty();

_LABEL1:
            int j = 0;
_LABEL2:
            while(j < n)
            {
                if(fabs(x[tox][j] - DEFINE_RESERVE) > 10)
                {
                    H[d.size()][p] = j;
                    p = p + 1;

                    b = b + x[tox][j];
                    x[tox][j] = -x[tox][j];

                    if(tvax[j] < b)
                        tvax[j] = b;

                    krt_ynt[j] = 1;
                    tox = j;

                    if(line_type[tox] == 2)
                    {
                        d.add(b);

                        if(c < b)
                        {
                            c = b;
                            krt = krt_ynt;
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

else
    if(c == b)
        for(int i2 = 0; i2 < n;
i2++)
            krt[i2] |=
krt_ynt[i2];
        else
            goto _LABEL1;
_LABEL3:
    for(int r = 0; r < n; r++)
    {
        if((x[r][tox] < 0) &&
(fabs(x[r][tox] - DEFINE_RESERVE) > 10))
        {
            x[r][tox] = -x[r][tox];
            b = b - x[r][tox];
            j = tox + 1;
            tox = r;
            p = p - 1;

            int d_size = d.size();

            for(int ind = 0; ind < p;
ind++)
                H[d_size][ind] =
H[d_size-1][ind];

            goto _LABEL2;
        }
    } else
        goto _LABEL1;
    }
    j++;
}

if(line_type[tox] != 1)
    goto _LABEL3;
}

}

// - step 2 --
for(i = 0; i < d.size(); i++)
{
    double b = c;
    for(int j = H.size(i)-1; j >=1; j--)
    {
        b = b - x[H[i][j-1]][H[i][j]];
        if(tush[H[i][j-1]] > b){
            tush[H[i][j-1]] = b;
        }
    }
    tush[H[i][H.size(i)-1]] = c;
}

// - step 3 --
for(i = 0; i < tush.size(); i++)
    R[i] = tush[i] - tvax[i];

// - step 4 --
double kr;

```

```

        for(i = 0; i < d.size(); i++){
            kr = 0.0;

            for(int j=0; j < H.size(i) - 1; j++)
                if(krt[H[i][j]] == 1)
                    kr += x[ H[i][j] ][ H[i][j+1] ];
        }

        return true;

//_LABEL_ERROR:
        return false;
    }

private:
    int    n;

    // line_type[i]:  (2) - erb i-rd haxordalar@ elq e
    //                  (1) - erb i-rd haxordalar@ mutq e
    //                  (0) - hakarak depqum
    MGAutoResizeArray<int>    line_type;

public:
    MGAutoResizeArray2<double>    x;

    // &anaparhner
    // H[i][j]: i-rd &anaparhi j-rd haxordalar@
    MGAutoResizeArray2<int>    H;

    MGAutoResizeArray<double>    tvax;
    MGAutoResizeArray<double>    tush;
    MGAutoResizeArray<int>    krt;
    MGAutoResizeArray<double>    d;
    MGAutoResizeArray<double>    R;
    //MGAutoResizeArray<double>    KL;
    double                        Lsum;

    double c;
};

#endif // _PROCESS_H_

```



## 2. Թվային ԻՍ-երի տարրերի եռաչափ տեղաբաշխման ծրագրի տեքստի որոշ հատված:

```
////////////////////HPP
#pragma once
#include <iostream>
#include <vector>
#include <set>
#include <map>
#include <fstream>
#include <string>
#include <sstream>
#include <list>

typedef std::list<int>          ilst;

typedef std::vector<int>       ivec;

typedef std::pair<std::string, ivec >   svpair;
typedef std::pair<int, std::string>     ispair;
typedef std::pair<std::string,int>      sipair;
typedef std::pair<int, int>             iipair;
typedef std::pair<std::string, ivec>    sivecpair;

typedef std::pair<int, bool>           ibpair;

typedef std::vector<std::set<int>>     isetvec;

typedef std::vector<ivec>              imatrix;
typedef std::vector<ilst>              ilstvec;

typedef std::map<std::string, ivec>    sivecmap;
typedef std::map<std::string, ivec >   svmap;

class ElementsGraph
{
private:
    struct Cell
    {
        public:
        std::string m_cell_name;
        std::string m_standart_cell_name;
        int m_power;
        int m_length;

        Cell():m_cell_name("")
            ,m_standart_cell_name("")
            ,m_power(0)
            ,m_length(0)
        {}

        Cell(const std::string& cell_name, const std::string&
standart_cell_name, const int& power, const int& length):m_cell_name(cell_name)
            ,m_standart_cell_name(standart_cell_name)
            ,m_power(power)
    }
};
```

```

        ,m_length(length)
    {}
    Cell(const Cell& cell):m_cell_name(cell.m_cell_name)
        ,m_standart_cell_name(cell.m_standart_cell_name)
        ,m_power(cell.m_power)
        ,m_length(cell.m_length)
    {}
private:
    const Cell& operator=(const Cell&);
};

struct Power_sum_and_chip_floor_index_pair
{
    int power_sum;
    int chip_floor_index;
    bool operator<(const Power_sum_and_chip_floor_index_pair& obj1)
    {
        return (this->power_sum < obj1.power_sum);
    }
};

typedef std::pair<int, typename ElementsGraph::Cell>          icellpair;
typedef std::vector<icellpair>                               icellvec;
typedef std::vector<Power_sum_and_chip_floor_index_pair>     sumindexpvec;

private:
    imatrix matrix;
    sivecmap standart_cells;
    svmap gate_and_elements;
    icellvec cellname_to_matrix_mapping;
    isetvec chip_floors;
    sumindexpvec sorted_floors_vec;
    ilstvec cells_list_for_each_floor;

public:
    ElementsGraph();
    void read_verilog_file(const std::string&);
    void write_in_file(const std::string&);
    void create_cells_matrix();
    void algorithm();
    void print_matrix();
    void sort_chip_floors_by_power();
    void create_cells_list(const imatrix& floor_matrix, const ivec& floor_vec,
ilst& list);
    void create_cells_lists();

private:
    unsigned int min(const std::vector<ibpair>&) const;
    void add_elements(std::string line, const ElementsGraph::Cell& simap_it);
    void add_cellname_for_mapping(const ElementsGraph::Cell& cell);
};

//////////CPP
#include "stdafx.h"
#include "Header.h"
#include <set>
#include <algorithm>

int floor_length;

void ElementsGraph::create_cells_lists()
{
    for(int i = 0; i < chip_floors.size(); ++i){

```

```

        ivec
floor_vec(chip_floors[sorted_floors_vec[i].chip_floor_index].begin(), chip_floors
[sorted_floors_vec[i].chip_floor_index].end());
        //std::cout << "NUMBER OF ELEMENTS of " <<
sorted_floors_vec[i].chip_floor_index << " =" <<
chip_floors[sorted_floors_vec[i].chip_floor_index].size() << std::endl;
        imatrix floor_matrix;
        floor_matrix.resize(floor_vec.size());
        for(int k = 0; k < floor_vec.size(); ++k){
            floor_matrix[k].resize(floor_vec.size());
        }
        for(int k = 0; k < floor_vec.size(); ++k){
            for(int j = 0; j < floor_vec.size(); ++j){
                floor_matrix[k][j] =
abs(cellname_to_matrix_mapping[floor_vec[j]].second.m_power -
cellname_to_matrix_mapping[floor_vec[k]].second.m_power);
            }
        }
        /*
        for(int k = 0; k < floor_vec.size(); ++k){
            for(int j = 0; j < floor_vec.size(); ++j){
                std::cout << floor_matrix[k][j] << '\t' ;
            }
            std::cout << '\n' << std::endl;
        }*/
        ilst list;
        create_cells_list(floor_matrix, floor_vec, list);
        cells_list_for_each_floor.push_back(list);
        for(ilst::iterator k = cells_list_for_each_floor[i].begin(); k !=
cells_list_for_each_floor[i].end(); ++k){
            //std::cout <<
cellname_to_matrix_mapping[*k].second.m_cell_name << "   LENGTH=" <<
cellname_to_matrix_mapping[*k].second.m_length << std::endl;
        }
    }
}

void ElementsGraph::create_cells_list(const imatrix& floor_matrix, const ivec&
floor_vec, ilst& list)
{
    std::vector<ibpair> curr_col;
    curr_col.resize(floor_matrix.size());

    for(unsigned int i = 0; i < curr_col.size(); ++i){
        curr_col[i].first = 0;
        curr_col[i].second = false;
    }

    // create current_column vector
    for(unsigned int i = 0; i < floor_matrix.size(); ++i){
        for(unsigned int j = 0; j < floor_matrix.size(); ++j){
            curr_col[i].first += floor_matrix[j][i];
        }
    }

    for(unsigned int k = 0; k < curr_col.size(); ++k){
        /*for(unsigned int i = 0; i < curr_col.size(); ++i){
            std::cout << i << "\t" << curr_col[i].first << "\t" <<
((curr_col[i].second == 0) ? "false" : "true") << '\n' << std::endl;
        }*/
        //find min
        unsigned int min_i = min(curr_col);

        //insert to list

```

```

        curr_col[min_i].second = true;
        list.push_back(floor_vec[min_i]);
        //std::cout <<
cellname_to_matrix_mapping[floor_vec[min_i]].second.m_cell_name << std::endl;
        for(unsigned int i = 0; i < curr_col.size(); ++i){
            if(floor_matrix[min_i][i] != 0 && curr_col[i].second ==
false){
                curr_col[i].first -= 2 * floor_matrix[min_i][i];
            }
        }
    }
    /* for(ilst::iterator i = list.begin(); i != list.end(); ++i){
        std::cout << cellname_to_matrix_mapping[*i].second.m_cell_name
<< '\t';
        std::cout << '\n' << std::endl;
    }*/
}

void ElementsGraph::sort_chip_floors_by_power()
{
    for(unsigned int i = 0; i < chip_floors.size(); ++i){
        Power_sum_and_chip_floor_index_pair new_sum;
        new_sum.power_sum = 0;
        new_sum.chip_floor_index = i;
        for(std::set<int>::iterator it = chip_floors[i].begin(); it !=
chip_floors[i].end(); ++it){
            new_sum.power_sum +=
cellname_to_matrix_mapping[*it].second.m_power;
        }
        sorted_floors_vec.push_back(new_sum);
    }
    std::sort(sorted_floors_vec.begin(), sorted_floors_vec.end());
}

void ElementsGraph::print_matrix()
{
    /*std::cout << '\n' << std::endl;
    for(unsigned int i = 0; i < matrix.size(); ++i){
        for(unsigned int j = 0; j < matrix[i].size(); ++j){
            std::cout << matrix[i][j] << " ";
        }
        std::cout << '\n' << std::endl;
    }
    */
}

unsigned int ElementsGraph::min(const std::vector<ibpair>& vec) const
{
    unsigned int index = 0;
    for(unsigned i = 1; i < vec.size(); ++i){
        if(vec[vec.size()-i].second == false){
            index = vec.size() -i;
            break;
        }
    }
    for(unsigned int i = 0; i < vec.size(); ++i){
        if(vec[i].second == false && (vec[i].first < vec[index].first ||
(vec[i].first == vec[index].first && index > i))) {
            index = i;
        }
    }
}

```

```

        return index;
    }

void ElementsGraph::algorithm()
{
    unsigned int n = 2;
    //std::cout << "Please enter the number of floors " << std::endl;
    //std::cin >> n;
    if(n < 2){return;}
    chip_floors.resize(n);

    //Count all cells' length SUM
    int length_sum = 0;
    for(int i=0;i<cellname_to_matrix_mapping.size();++i){
        length_sum += cellname_to_matrix_mapping[i].second.m_length;
    }
    floor_length = length_sum/n+15;
    int floor_max_size = floor_length;
    int floor_i = 0;
    int floor_i_curr_length = 0;

    std::vector<ibpair> curr_col;
    curr_col.resize(cellname_to_matrix_mapping.size());

    for(unsigned int i = 0; i < curr_col.size(); ++i){
        curr_col[i].first = 0;
        curr_col[i].second = false;
    }

    // create current_column vector
    for(unsigned int i = 0; i < matrix.size(); ++i){
        for(unsigned int j = 0; j < matrix.size(); ++j){
            curr_col[i].first += matrix[j][i];
        }
    }

    for(unsigned int k = 0; k < curr_col.size(); ++k){
        // for(unsigned int i = 0; i < curr_col.size(); ++i){
        //     std::cout << i << "\t" << curr_col[i].first<< "\t" <<
        ((curr_col[i].second == 0) ? "false" : "true") << '\n' << std::endl;
        //}
        //find min
        unsigned int min_i = min(curr_col);

        //insert to chip_floors vector
        curr_col[min_i].second = true;

        floor_i_curr_length +=
        cellname_to_matrix_mapping[min_i].second.m_length;
        if(floor_i_curr_length < floor_max_size){
            chip_floors[floor_i].insert(min_i);
        }else{
            // std::cout << floor_i << " FLOOR LENGTH = " <<
            floor_i_curr_length-cellname_to_matrix_mapping[min_i].second.m_length <<
            std::endl;
            ++floor_i;
            floor_i_curr_length =
            cellname_to_matrix_mapping[min_i].second.m_length;
            chip_floors[floor_i].insert(min_i);
        }

        for(unsigned int i = 0; i < curr_col.size(); ++i){
            if(matrix[min_i][i] != 0 && curr_col[i].second == false){

```

```

        curr_col[i].first -= 2 * matrix[min_i][i];
    }
}
}
//      std::cout << floor_i << " FLOOR LENGTH = " << floor_i_curr_length <<
std::endl;
    /*for(unsigned int i = 0; i < chip_floors.size(); ++i){
        std::cout << "FLOOR_SIZE = " << chip_floors[i].size() << std::endl;
        for(std::set<int>::iterator it = chip_floors[i].begin(); it !=
chip_floors[i].end(); ++it){
            std::cout << cellname_to_matrix_mapping[*it].second.m_length
<< '\t';
        }
        std::cout << '\n' << std::endl;
    }*/
}

void ElementsGraph::create_cells_matrix()
{
    matrix.resize(cellname_to_matrix_mapping.size());
    for(unsigned int i= 0; i < matrix.size(); ++i){
        matrix[i].resize(cellname_to_matrix_mapping.size());
    }
    for(unsigned int i = 0; i < matrix.size(); ++i){
        for(unsigned int j = 0; j < matrix.size(); ++j){
            matrix[i][j] = 0;
        }
    }
    svmap::iterator svit = gate_and_elements.begin();
    for( ; svit != gate_and_elements.end(); ++svit){
        for(unsigned int i = 0; i < svit->second.size(); ++i){
            unsigned int j = i;
            ++j;
            if(j == svit->second.size()){
                continue;
            }
            for( ; j < svit->second.size(); ++j){
                //      std::cout << "I = " << svit->second[i] << " J = " <<
svit->second[j] << " I_FIRST = " << svit->first << " J_FIRST = " << svit-
>first << std::endl;
                matrix[svit->second[i]][svit->second[j]] +=1;
                matrix[svit->second[j]][svit->second[i]] +=1;
            }
        }
    }

    print_matrix();
}

void ElementsGraph::add_cellname_for_mapping(const ElementsGraph::Cell& cell)
{
    cellname_to_matrix_mapping.push_back(icellpair(cellname_to_matrix_mapping.
size(), cell));
}

void ElementsGraph::add_elements(std::string line, const ElementsGraph::Cell&
cell)
{
    std::string::size_type st1 = line.find_first_of('(')+1;
    std::string::size_type st2 = line.find_last_of('')+1;

```

```

line = line.substr(st1, st2-st1-1) + ',';
//For every Gate
while(line.length() > 0){
    st1 = line.find_first_of(',');
    //Get gate
    std::string element = line.substr(0, st1);
    //erase found gate from 'line' string
    line = line.substr(st1+1, line.length() - st1);

    //check if Gate exists in Gate_list -> add cell_name to name_list,
    //if gate does not exist -> add
    svmap::iterator it = gate_and_elements.find(element);
    if(it == gate_and_elements.end()){
        ivec cell_index;
        cell_index.push_back(cellname_to_matrix_mapping.size());
        gate_and_elements.insert(svpair(element, cell_index));
    }
    else{
        it->second.push_back(cellname_to_matrix_mapping.size());
    }
}
add_cellname_for_mapping(cell);
}

ElementsGraph::ElementsGraph()
{
    //insert standart cell's name, power and length
    //AND
    ivec power_and_length;
    power_and_length.resize(2);
    power_and_length[0]=5;
    power_and_length[1]=17;
    standart_cells.insert(sivecpair("AND2", power_and_length));
    power_and_length[0]=6;
    power_and_length[1]=19;
    standart_cells.insert(sivecpair("AND3", power_and_length));
    power_and_length[0]=7;
    power_and_length[1]=21;
    standart_cells.insert(sivecpair("AND4", power_and_length));
    power_and_length[0]=8;
    power_and_length[1]=23;
    standart_cells.insert(sivecpair("AND5", power_and_length));
    //NAND
    power_and_length[0]=4;
    power_and_length[1]=21;
    standart_cells.insert(sivecpair("NAND2", power_and_length));
    power_and_length[0]=5;
    power_and_length[1]=23;
    standart_cells.insert(sivecpair("NAND3", power_and_length));
    power_and_length[0]=6;
    power_and_length[1]=25;
    standart_cells.insert(sivecpair("NAND4", power_and_length));
    power_and_length[0]=7;
    power_and_length[1]=27;
    standart_cells.insert(sivecpair("NAND5", power_and_length));
    //NOR
    power_and_length[0]=5;
    power_and_length[1]=21;
    standart_cells.insert(sivecpair("NOR2", power_and_length));
    //NOT
    power_and_length[0]=2;
    power_and_length[1]=11;
    standart_cells.insert(sivecpair("NOT", power_and_length));
}

```

```

//OR
power_and_length[0]=7;
power_and_length[1]=30;
standart_cells.insert(sivecpair("OR4", power_and_length));
//XOR
/*power_and_length[0]=3;
power_and_length[1]=36;
standart_cells.insert(sivecpair("XOR2", power_and_length));
*/
}

void ElementsGraph::read_verilog_file(const std::string& file_name)
{
    std::ifstream vfile(file_name);
    std::string line;
    //For every line (for each cell)
    while (std::getline(vfile, line)){
        if(line.length() == 0) {
            continue;
        }

        std::istringstream iss(line);
        std::string first_str;
        iss >> first_str;

        //check if first_str is not from standard cells list -> ignore
        std::string the_rest;
        iss >> the_rest;
        std::string::size_type st1 = the_rest.find_first_of('_');
        first_str = the_rest.substr(0, st1);
        const sivecmap::iterator simap_it = standart_cells.find(first_str);
        if( simap_it == standart_cells.end()){
            continue;
        }
        st1 = the_rest.find_first_of('(');
        std::string cell_name = the_rest.substr(0, st1);
        Cell cell(cell_name, simap_it->first, simap_it->second[0], simap_it->second[1]);
        add_elements(line, cell);
    }
    vfile.close();
    create_cells_matrix();
}

void ElementsGraph::write_in_file(const std::string& file_name)
{
    std::ofstream file(file_name);
    //for(int i=0; i < chip_floors.size(); ++i){
        int i = 1;
        int GH = 12;
        //file << floor_length*GH << std::endl;
        int h = sqrt(floor_length*GH)/GH;
        h *=GH;
        //file << "HEIGHT " << h << std::endl;
        //file << "LENGTH " << (floor_length*30)/h << std::endl;
        std::cout << floor_length << std::endl;
        for(ilst::iterator k = cells_list_for_each_floor[i].begin(); k !=
        cells_list_for_each_floor[i].end(); ++k){
            //std::string ss =
            std::to_string(cellname_to_matrix_mapping[*k].second.m_power);
            //file << std::string("powers.push_back(") + "'" + ss + "'" +
            ");"<< std::endl;

```



```

        std::string ss =
std::to_string(cellname_to_matrix_mapping[*k].second.m_length);
        file << std::string("rec_lengths.push_back(") + ss +
");"<< std::endl;

        //file << std::string("rec_names.push_back(") + "'" +
cellname_to_matrix_mapping[*k].second.m_cell_name + "'" + ")";<< std::endl;
        //'\t' << cellname_to_matrix_mapping[*k].second.m_length <<
        //cellname_to_matrix_mapping[*k].second.m_cell_name << '\t' <<
    }
    //}

}

```

3. Ի ն տե գ ռ ալ      ս խե մ ա ն ե թ ի      ջ ե ռ մ ա ս տ ի ճ ա ն ն ե թ ի  
տո պ ո լ ն գ ի ա կ ա ն      ք ա շ խ մ ա ն      գ ռ ա \$ ի կ ա կ ա ն  
ար տ ա պ ա տ կ ե ռ մ ա ն ծ ռ ա գ ռ ի տ ե ք ս տ ի ո թ ո շ հ ա տ վ ա ծ ::

Մ ո լ տ ք ա յ ի ն \$ ա յ լ ի հ ա տ վ ա ծ `

```
*****
***This file is automatically generated by Power and Temperature Map***
***Creator --- Harutyunyan***
*****
```

```
.prot
.lib '/remote/am04home2/ilena/usumnakan/hspice/saed32nm.lib' TT
.unprot
```

```
.temp 25
vvdv vdd gnd dc = 1.2
vvss vss gnd dc = 0.0
*****
```

```
.param Rij = 2.57511
.param rij = 1.49022
.param Ri = 4.44979
.param Rsub = 4.44979
.param i1 = 6.12
.param i2 = 6.12
.param i3 = 6.12
.param i4 = 6.12
.param i5 = 6.12
```

```
.....
.param i137 = 5.832
.param i138 = 4.9572
```

```
***** Cell 1 *****
ip1 vdd _n1 dc = i1 ac = 0
rR1 _n1 _n2 R = Ri
rRsub1 _n2 vss R = Rsub
rR1_3 _n1 _n3 R = Rij
rr2_4 _n2 _n4 R = rij
```

```
***** End Cell 1 *****
```

```
***** Cell 2 *****
ip2 vdd _n2 dc = i2 ac = 0
rR3 _n3 _n4 R = Ri
rRsub2 _n4 vss R = Rsub
rR3_5 _n3 _n5 R = Rij
rr4_6 _n4 _n6 R = rij
```

```
.....
```

```
***** Cell 138 *****
ip138 vdd _n138 dc = i138 ac = 0
rR275 _n275 _n276 R = Ri
rRsub138 _n276 vss R = Rsub
rR275_277 _n275 _n277 R = Rij
rr276_278 _n276 _n278 R = rij
```

```
***** End Cell 138 *****
```

```
.option post probe
```

```
.global gnd
```

```
.probe v(*) i(*)
```

```
.tran 10p 5n
```

```
.end
```

Ե Լ ք ա յ ի ն \$ ա յ Լ ի հ ա տ վ ա ծ `

```
* "simulator" "HSPICE"
* "version" "C-2009.09 32-BIT"
* "format" "HSP"
* "rundate" "16:47:55 04/09/2013 "
* "netlist" "netlist.sp "
* "runtitle"
"*****"
* time = 0.
* temperature = 25.0000
*** BEGIN: Saved Operating Point ***
.option
+ gmindc= 1.0000p
.nodeset
+ _n1 = 72.2186
+ _n10 = 39.1971
+ _n100 = 20.1343
+ _n101 = 38.7403
+ _n102 = 22.8637
+ _n103 = 49.5780
+ _n104 = 25.9803
+ _n105 = 49.2199
+ _n106 = 28.9399
+ _n107 = 51.4689
+ _n108 = 31.0057
+ _n109 = 54.1977
+ _n11 = 55.2297
+ _n110 = 36.1735

.....

+ _n9 = 59.5562
+ _n90 = 23.1570
+ _n91 = 30.8300
+ _n92 = 23.1175
+ _n93 = 29.9064
+ _n94 = 20.4259
+ _n95 = 31.3531
+ _n96 = 21.1987
+ _n97 = 30.3635
+ _n98 = 19.2969
+ _n99 = 32.7367
+ vdd = 1.2000
+ vss = 0.
*** END: Saved Operating Point ***
```

Ե ռ կ խ ո ս ո Լ թ յ ա ն կ ա գ մ ա կ Ե ռ պ մ ա ն հ ա տ վ ա ծ `

```
#ifndef GRIDSIZEDIALOG_H
#define GRIDSIZEDIALOG_H

#include <QDialog>

class QLabel;
class QSpinBox;
class QPushButton;

// This class represents a dialog, in which
// the user can change the scene's grid size.
```

```

class GridSizeDialog : public QDialog{
    Q_OBJECT
public:
    // Constructor.
    GridSizeDialog(QWidget* pwgt = 0);

    // Set the scene's grid size.
    void setGridSize();

private:
    // The grid size label.
    QLabel* m_plbl;
    // The grid size spin box.
    QSpinBox* m_pspb;
    // Ok and Cancel buttons.
    QPushButton* m_pbOk;
    QPushButton* m_pbCancel;

    // The spin box's old value.
    int m_old_value;
};

#endif // GRIDSIZEDIALOG_H

```

Տր ազրի հատված`

```

#ifndef PROGRAM_H
#define PROGRAM_H

#include <QtGui>

#include <QMainWindow>
#include <QWorkspace>
#include <QSignalMapper>
#include <QAction>

class Node;
class QGraphicsItem;
class QGraphicsScene;
class GraphicsScene;
class GraphicsView;
class PowerWidget;
class TempWidget;

class QWorkspace;
class QSignalMapper;

class GridSizeDialog;
class ParametersDialog;

// The main window.
class Program : public QMainWindow{
    Q_OBJECT
public:
    // Constructor.
    Program(QWidget* pwgt = 0);
    // Destructor.
    ~Program();

    // Initialize menus and toolbars.

```

```

void init();

// Output an error string.
bool error(QString) const;

// Paint function.
void paint(QPainter *painter,
           const QStyleOptionGraphicsItem *option, QWidget *widget);

public slots:
    // Load *.epl file.
    void slotLoadPower();
    // Save into *.epl file.
    void slotSave();
    // Zoom in.
    void zoomIn();
    // Zoom Out.
    void zoomOut();

    // Show the grid size dialog.
    void showGridSizeDialogSlot();
    // Show Parameters dialog.
    void showParametersDialogSlot();
    // Generate thermoelectrical model.
    void generateNetListActionSlot();
    // Generate temperature map.
    void generateTemperatueMapSlot();
    // Show About Power and Temperature map dialog.
    void showAboutSlot();
    // Manage MDI windows.
    void slotWindows();
    // Show the grid or clear it.
    void showGridSlot(bool);
    // Show violation field.
    void showViolationsSlot(bool);
    // Set the violation temperature.
    void setViolationTemp(QString);
    // Show violation elements tree view.
    void ShowViolationTree(bool);

protected:
    // Events.
    void resizeEvent(QResizeEvent *event);
    void keyPressEvent(QKeyEvent *event);

private:
    // The Workspace and signal mapper.
    QWorkspace* m_pws;
    QSignalMapper* m_psigMapper;

    // The View and windows menus.
    QMenu* pmnuView;
    QMenu* m_pmnuWindows;

    // Create and return a power widget.
    PowerWidget* createNewPowerDoc();
    // Create and return a temperature widget.
    TempWidget* createNewTempDoc();

    //create Menu bar
    void createMenus();

    // create File menu

```

```

void createFileMenu();
// create View menu
void createViewMenu();
// create tools menu
void createToolsMenu();
// create Generate menu
void createGenerateMenu();
// create help menu
void createHelpMenu();

// File and View tool bars.
QToolBar* ptbFile;
QToolBar* ptbView;

// The current graphics scene.
GraphicsScene *scene;
// The current graphics view.
QGraphicsView *view;

// Zoom in action.
QAction* m_zoomInAction;
// Zoom out action.
QAction* m_zoomOutAction;
// Show grid action.
QAction* m_showGridAction;
// Show violations regions action.
QAction* m_showViolationsAction;

// Set grid size action.
QAction* m_setGridSizeAction;
// Set parameters action.
QAction* m_setParameters;

// Generate netlist action.
QAction* m_setGenerateNetListAction;
// Generate temperature map action.
QAction* m_setGenerateTempMapAction;

void refreshPixmap();
enum { Margin = 50 };

// The grid size dialog.
GridSizeDialog* m_pGridSizeDialog;
// The parameters dialog.
ParametersDialog* m_pParametersDialog;

// The violation temperature value.
int m_violTemp;

public:
// Current zoom factor.
static int curZoom;
static double subThickness;
static double supplyVoltage;

// Power widgets' count.
static int PdocCount;
// Temperature widgets' count.
static int TdocCount;

// Create a violation properties dock.
void createViolationDock();
private:

```

```

// Violation fields' model and dock widget.
QStandardItemModel* model;
QDockWidget *dock;

QLineEdit* violationLE;
QToolBar* ptbViolation;

QTableView* table;
};

class Element{
    friend class Program;
public:
    ~Element();
private:
    QString m_name;
    QPoint m_point;
    double m_hight;
    double m_weight;
    double m_power;
};

#endif // PROGRAM_H

```

### Հ Ա Վ Ե Լ Վ Ա Ճ 3.

#### Ն Կ Ա Ր Ն Ե Ր Ի Ց Ա Ն Կ

1. Ն կ .1.1. Ի Ս - ե թ ի տ ե խ ն ո լ ո գ ի ա կ ա ն  
մ ա ս շ տ ա բ ա վ ո թ ո լ մ ը .....21
2. Ն կ .1.2. Մ ո լ թ ի օ թ ե ն ք ը ժ ա մ ա ն ա կ ա կ ի ց Ի Ս - ե թ ի  
դ ե պ ք ո լ մ .....24
3. Ն կ .1.3. Մ ո լ թ ի օ թ ե ն ք ի հ ե տ ա գ ա  
գ ա թ գ ա ց ո լ մ ը .....25
4. Ն կ .1.4. Ս ն ո լ ց մ ա ն լ ա թ մ ա ն  
մ ա ս շ տ ա բ ա վ ո թ ո լ մ ը .....26
5. Ն կ .1.5 Ս ի ն ք թ թ ո ա գ դ ա ն շ ա ն ի հ ա ճ ա խ ա կ ա ն ո լ թ յ ա ն

	մասշտաբավորումը .....	26
6.	Նկ .1.6.ԻՍ-էրիտարրերի տեղաբաշխման խտուրթյան մասշտաբավորումը .....	27
7.	Նկ .1.7.Միջմիացման և փականի հապաղման փոփոխությունը .....	30
8.	Նկ .1.8.ԻՍ-ի էներգասպառման կախվածությունը տեխնոլոգիայից և աշխատանքային ջերմաստիճանից .....	31
9.	Նկ .1.9.ԻՍ-ի աշխատանքի վրա \$իզիկական երևույթները քաղաքացիական ազդեցությունները .....	32
10.	Նկ . 1.10.\$իզիկական նախագծման տեղը ԻՍ-երի նախագծման երթուղում .....	35
11.	Նկ .1.11.Տեղաբաշխման գործիքամիջոցի մոտքային տվյալները .....	36
12.	Նկ .1.12.Ժամանակակից մարտահրավերները հաշվի առնող տեղաբաշխման գործընթացի հնարավոր երթուղին .....	37
13.	Նկ .1.13.Ստանդարտքիջներով նախագծում .....	40
14.	Նկ .1.14.Տեղաբաշխման ալգորիթմների դասակարգումը .....	42
15.	Նկ .1.15.Տարրերի տեղաբաշխման դիսկրետ կոմբոնատացիոն դաշտի մոդելը .....	50
16.	Նկ .1.16. 16դիրքերից կազմված 4x4տեղաբաշխման դիսկրետ կոմբոնատացիոն դաշտի մոդելը .....	51
17.	Նկ .2.1.Արագագործությունն ապահովման տեսանկյունից գրադարանային ճովային ԻՍ-երի նախագծման պարզեցված երթուղին .....	60
18.	Նկ .2.2.\$իզիկական նախագծման փուլերի կապի բազմակրկնակի բնույթը արագագործությունն ապահովման տեսանկյունից .....	63
19.	Նկ .2.3.Տեղեկությունի մշակումը թվային	



	հ ա ջ ո ղ ա կ ա ն ս խ ե մ ա յ ու մ .....	67
20.	Ն կ .2.4.Ս ի ն ք ռ ո ա զ դ ա ն շ ա ն ի ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն դ ի ա զ ռ ա մ ը .....	68
21.	Ն կ .2.5.Ե ռ կ ու Մ Օ Կ փ ա կ ա ն ն ե ռ ի մ ի ջ մ ի ա գ մ ա ն մ ո դ ե լ ը .....	71
22.	Ն կ .2.6.Շ ղ թ ա յ ի մ ո դ ե լ ն ե ռ ի օ ռ ի ն ա կ ն ե ռ ը .....	73
23.	Ն կ .2.7.Ի Ս -ե ռ ի տ ա ռ ռ ե ռ ի կ ա պ վ ա ծ ու թ յ ա ն կ ի ս ա պ ա ռ ա զ ծ ա յ ի ն մ ո դ ե լ ը .....	74
24.	Ն կ .2.8.Գ ռ ա Ֆ ու մ ն վ ա զ ա գ ու յ ն ծ ա ծ կ ո ղ ծ առ ի օ ռ ի ն ա կ ը .....	77
25.	Ն կ .2.9.Շ տ ե յ ն ե ռ ի ն վ ա զ ա գ ու յ ն ծ առ ի օ ռ ի ն ա կ ն ե ռ ը .....	79
26.	Ն կ ա ռ 2.10.Շ ղ թ ա յ ի ե ռ կ ա ռ ու թ յ ա ն գ ն ա հ ա տ մ ա ն տ ա ռ ք ե ռ մ ո դ ե լ ն ե ռ ը .....	80
27.	Ն կ ա ռ 2.11.Ե ն թ ա ք ա զ մ ու թ յ ու ն ն ե ռ ի հ եռ ա վ ո ռ ու թ յ ու ն ն ե ռ ի կ շ ո վ ա ծ գ ռ ա Ֆ ը .....	83
28.	Ն կ .2.12.Ն ա խ ա զ ծ մ ա ն տ ա ռ ք ե ռ փ ու լ լ ե ռ ու մ օ գ տ ա գ ո ռ ծ վ ո ղ մ ի ջ մ ի ա գ ու մ ն ե ռ ի ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն պ ա ռ ա մ ե տ ռ ե ռ ի գ ն ա հ ա տ մ ա ն մ ո դ ե լ ն ե ռ ը .....	85
29.	Ն կ .2.13.Է լ ե կ տ ռ ա կ ա ն ս խ ե մ ա յ ի օ ռ ի ն ա կ ը .....	89
30.	Ն կ .2.14.Ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն գ ռ ա Ֆ ը .....	89
31.	Ն կ .2.15.Տ ռ ա մ ա ք ա ն ա կ ա ն ս խ ե մ ա յ ի (ա) ն դ ռ ա ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն գ ռ ա Ֆ ի (բ) օ ռ ի ն ա կ ն ե ռ ը .....	91
32.	Ն կ .2.16.a28 թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի Verilog ն կ ա ռ ա գ ի ը .....	93
33.	Ն կ .2.17.a28 թ ե ս տ ա յ ի ն տ ռ ա մ ա ք ա ն ա կ ա ն ս խ ե մ ա ն .....	93
34.	Ն կ .2.18. a28 թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն գ ռ ա Ֆ ը .....	94
35.	Ն կ .2.19. Թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն գ ռ ա Ֆ ու մ ը ս տ խ ո ռ ու թ յ ա ն փ ն տ ռ մ ա ն ս կ զ ք ու ն ք ը . .....	95

36.	Ն կ .2.20. Պարզագույն սխեմայի (ա) և դրա ժամանակային գրաֆի (բ) օրինակը .....96	96
37.	Ն կ .2.21 Ծղթայնում ճիշտագնան ձևավորման ժամանակի ներքին սահմանի հաշվարկի ալգորիթմի աշխատանքը .....99	99
38.	Ն կ .3.1.Ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման մեթոդների համեմատական դասակարգումը .....107	107
39.	Ն կ .3.2.ԻՍ -երի շղթաներում հապաղումներ հաշվառմամբ տարրերի նախնական տեղաբաշխման երթուղին .....111	111
40.	Ն կ .3.3.ISCAS 85 շարքի C17թեստային սխեմայի Verilog նկարագիրը .....113	113
41.	Ն կ .3.4. ISCAS 85 շարքի C17թեստային սխեման .....114	114
42.	Ն կ .3.5.ISCAS 85 շարքի C17թեստային սխեմայի ժամանակային գրաֆը .....114	114
43.	Ն կ .3.6.Միայն տարրերի կապվածություն հաշվառմամբ ISCAS 85 շարքի C17թեստային սխեմայի տարրերի տեղաբաշխման ընթացքը .....116	116
44.	Ն կ .3.7.Ծղթաների կարևորություն հաշվառմամբ ISCAS 85 շարքի C17թեստային սխեմայի տարրերի տեղաբաշխման ընթացքը .....117	117
45.	Ն կ .3.8.Միայն տարրերի կապվածություն հաշվառմամբ ISCAS 85 շարքի C17թեստային սխեմայի տարրերի տեղաբաշխումը .....117	117
46.	Ն կ .3.9.Ծղթաների կարևորություն հաշվառմամբ ISCAS 85 շարքի C17թեստային սխեմայի տարրերի տեղաբաշխումը .....117	117
47.	Ն կ .3.10.Տարրերի տեղաբաշխումից հետո ISCAS 85 շարքի C17թեստային սխեմայի շղթաների	

	Երկար ու թյուն ների բաշխումը .....	119
48.	Նկ 3.11. Միաչափ շարային տեղաբաշխման փոխարկումը երկչափի .....	120
49.	Նկ 3.12. Երկչափ տեղաբաշխման մակերեսի ձևի կորը .....	122
50.	Նկ .3.13. a28 թեստային սխեմայի տարրերի ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխումը երկչափ մոնտաժային դաշտում .....	124
51.	Նկ .3.14. Թվային ԻՍ-երի միջմիացումների երկար ու թյուն ների բաշխումը .....	131
52.	Նկ .3.15. ԻՍ-երի տարրերի հարաբերական տեղաբաշխման երթուղին .....	132
53.	Նկ .3.16. Թեստային սխեմայի ժամանակային վերլուծությունը և մասնատումը մոդուլների .....	133
54.	Նկ .3.17. Թեստային սխեմայի տարրերի հարաբերական տեղաբաշխումը .....	134
55.	Նկ .3.18. Թվային ԻՍ-երի տարրերի՝ ժամանակով ուղղորդված տեղաբաշխման և արագագործություն գնահատման առաջարկվող երթուղին .....	136
56.	Նկ .3.19. a28 թեստային սխեմայի տարրերի անկանոն գծային տեղաբաշխումը .....	138
57.	Նկ .3.20. a28 թեստային սխեմայի տարրերի կանոնավոր շարային տեղաբաշխումը .....	138
58.	Նկ .3.21. a28 թեստային սխեմայի տարրերի երկչափ տեղաբաշխումը .....	139

59.	Ն կ .3.22.Շ ղ թ ա ն ե ր ի կ ի ս ա պ ա ր ա գ ծ ա յ ի ն մ ո ղ ե լ ն ե ր ի ար տա պ ա տ կ ե ր ու մ ը a28 թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի տ ա ր ր ե ր ի ե ր կ չ ա փ տ ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն վ ր ա .....	139
60.	Ն կ .3.23.a28 թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի տ ա ր ր ե ր ի ն ա խ ն ա կ ա ն տ ե ղ ա ք ա շ խ ու մ ը Ս ի ն ո փ ս ի ս ը ն կ ե ր ու թ յ ա ն ֆ ի գ ի կ ա կ ա ն ս ի ն թ ե գ ի IC Compiler ծ ր ա գ ր ա յ ի ն գ ո ղ ծ ի ք ո վ .....	140
61.	Ն կ .3.24.a28 թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի շ ղ թ ա ն ե ր ի կ ի ս ա պ ա ր ա գ ծ ա յ ի ն մ ո ղ ե լ ո վ գ ն ա հ ա տ վ ա ծ ե ր կ ա ր ու թ յ ու ն ն ե ր ի ք ա շ խ մ ա ն հ ի ս տ ո գ ր ա մ ը .....	140
62.	Ն կ .3.25.C5315 թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի մ ու տ ք ե ր -ե լ ք ե ր ճ ա ն ա պ ա ր հ ն ե ր ի հ ա պ ա ղ ու մ ն ե ր ի հ ա ր ա ք ե ր ա կ ա ն աճ ի ք ա շ խ մ ա ն հ ի ս տ ո գ ր ա մ ը .....	142
63.	Ն կ .3.26 S ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն ե ն թ ա ծ ր ա գ ր ի ա շ խ ա տ ա ն ք ա յ ի ն ժ ա մ ա ն ա կ ի կ ա խ ու մ ը ս խ ե մ ա յ ի ք ա ր ղ ու թ յ ու ն ի ց .....	144
64.	Ն կ .4.1.Է լ ե կ տ ր ա մ ի գ ր ա ց ի ա յ ո վ պ ա յ մ ա ն ա վ ո ղ ա ծ մ ի ն չ ն խ ա փ ա ն ու մ ը մ ի ջ ի ն ժ ա մ ա ն ա կ ի կ ա խ ու մ ը ջ ե ր մ ա ս տ ի ճ ա ն ի ց .....	147
65.	Ն կ .4.2.Ս խ ե մ ա յ ի մ ա ս ն ա տ մ ա մ ք ջ ե ր մ ա յ ի ն տ ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն ի ր ա գ ո ղ ծ ու մ ը .....	153
66.	Ն կ .4.3.Ս խ ե մ ա յ ի մ ա տ ր ի ց ա յ ի ն ջ ե ր մ ա յ ի ն տ ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն օ ղ ի ն ա կ ը .....	155
67.	Ն կ .4.4.ISCAS 85 շ ա ր ք ի C17 թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի տ ա ր ր ե ր ի ջ ե ր մ ա յ ի ն տ ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն հ ա շ վ ա ր կ ի ը ն թ ա ց ք ը .....	161
68.	Ն կ .4.5.Թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի ք ջ ի ջ ն ե ր ի տ ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն ա ր ղ յ ու ն ք ն ե ր ը .....	162
69.	Ն կ .4.6 Թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի օ ղ ի ն ա կ .....	165
70.	Ն կ .4.7.Ս խ ե մ ա յ ի ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն գ ր ա ֆ ը .....	165

71. Ն կ .4.8.Շ ղ թ ա ն ե թ ի հ ա պ ա ղ ու լ մ ն ե թ ի պ ա հ ու ս տ ն ե թ ի մ ա տր ի ց ը .....166
72. Ն կ .4.9.Շ ղ թ ա ն ե թ ի հ ա պ ա ղ ու լ մ ն ե թ ի պ ա հ ու ս տ ն ե թ ի հ ա շ վ ա ր կ այ ի ն մ ա տր ի ց ը .....167
73. Ն կ .4.10.S ա ր ր ե թ ի է լ ե կ տր ա կ ա ն կ ա պ վ ա ծ ու թ յ ու ն ն ե թ ի (ա)և հ գ ո թ ու թ յ ու ն ն ե թ ի տ ա ր ք ե թ ու թ յ ու ն ն ե թ ի ք ա գ ա ր ձ ա կ ա ր ժ ե ք ն ե թ ի (ք ) հ ա շ վ ա ր կ այ ի ն մ ա տր ի ց ն ե թ ը .....167
74. Ն կ .4.11.Թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի տ ա ր ր ե թ ի ք ա գ մ ա պ ա ր ա մ ե տր ա կ ա ն ն ա խ ն ա կ ա ն տ ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն ը ն թ ա գ ք ը  $a_1=a_2=a_3=1/3$  դ ե պ ք ու լ մ .....168
75. Ն կ .4.12.Թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի տ ա ր ր ե թ ի ք ա գ մ ա պ ա ր ա մ ե տր ա կ ա ն տ ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն տ ա ր ք ե թ ա կ ն ե թ .....168
76. Ն կ .4.13.Ե ռ ա չ ա փ Ի Ս -ի ջ ե թ մ ա յ ի ն մ ո դ ե լ ը .....173
77. Ն կ .4.14.Ջ ե թ մ ա յ ի ն մ ի ջ մ ի ա գ ու լ մ ն ե թ ի տ ե ղ ա ք ա շ խ ու լ մ ը ք յ ու լ թ ե ղ ի վ ը .....176
78. Ն կ .4.15.Ի Ս -ե թ ի ե թ կ չ ա փ տ ե ղ ա ք ա շ խ մ ա ն մ ո դ ե լ ի փ ո խ ա ր կ ու լ մ ը ե ռ ա չ ա փ ի .....178
79. Ն կ .4.16. $a_{28}$  թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի հ ա ր և ա ն ու թ յ ա ն մ ա տր ի ց ը ` մ ա ս ն ա տ մ ա ն հ ա շ վ ա ր կ ո վ .....179
80. Ն կ .4.17. $a_{28}$  թ ե ս տ ա յ ի ն ս խ ե մ ա ն ` մ ա ս ն ա տ վ ա ծ A և B խ մ ք ե թ ի ն շ ու լ մ ո վ .....179
81. Ն կ .4.18.Յ գ ո թ ու թ յ ու ն ն ե թ ի մ ա տր ի ց ը ն ո թ մ ա վ ո թ ու լ մ ի ց հ ե տ ու լ ա գ ծ ա յ ի ն տ ե ղ ա ք ա շ խ ու լ մ ը A(0-2-4-1-5-9) խ մ ք ի հ ա մ ա ր .....181
82. Ն կ .4.19.Յ գ ո թ ու թ յ ու ն ն ե թ ի մ ա տր ի ց ը ն ո թ մ ա վ ո թ ու լ մ ի ց հ ե տ ու լ ա գ ծ ա յ ի ն

	տեղաբաշխումը B(10-6-7-3-8)խմբի համար .....	181
83.	Նկ .4.20. a28թեստային սխեմայի եռաչափ տեղաբաշխման սխեմատիկական պատկերը .....	182
84.	Նկ .4.21. Տեղաբաշխման ծրագրի աշխատանքային պատուհանը .....	182
85.	Նկ .5.1. Գրինի ֆունկցիայի որակական տեսքը .....	188
86.	Նկ .5.2. Դիսկրետ ցանցի կառուցվածքը շերմային մոդելավորման թվային մեթոդներում .....	190
87.	Նկ .5.3. ԻՍ-ի շերմային մոդելը .....	192
88.	Նկ .5.4. Հոնոլթյուններ (ա)և շերմաստիճաններ (բ) քարտեզները .....	193
89.	Նկ .5.5. Տարրական տոպոլոգիական բջջի շերմաէլեկտրական մոդելը .....	199
90.	Նկ .5.6. Թեստային սխեմայի տարրերի շարային տեղաբաշխման շերմաէլեկտրական մոդելը .....	200
91.	Նկ .5.7. Թեստային սխեմայի տարրերի շարային տեղաբաշխման շերմային դաշտի գրաֆիկները .....	204
92.	Նկ .5.8. Գրաֆիկական ինտերֆեյսի գլխավոր պատուհանը (ա)և դրա ենթաբաժինները (բ ) .....	206
93.	Նկ .5.9. Մուտքային ֆայլի հավաքածու .....	207
94.	Նկ .5.10. Տեղաբաշխված տարրերի արտապատկերումը .....	208
95.	Նկ .5.11. Մասշտաբավորման հնարավորությունը .....	209
96.	Նկ .5.12. Դիսկրետ ցանցի արտապատկերման	

- հ ն ա ր ա վ ո ր ո ւ թ յ ո ւ ն ը .....209
97. Ն կ .5.13.Ձ ե ր մ ա է ւ Ե կ տ ր ա կ ա ն մ ո դ Ե ւ ի SPICE  
ն կ ա ր ա գ ր ո ւ թ յ ա ն հ ա տ վ ա ծ ը .....210
98. Ն կ .5.14.Ձ ե ր մ ա յ ի ն ք ջ ի ջ ն ե ր ի ւ ար ո ւ մ ն ե ր ի  
ց ո ւ ց ա կ ը .....211
99. Ն կ .5.15.Ձ ե ր մ ա յ ի ն ց ա ն ց ի ք ա յ ւ ի տ ա ր ք ե ր  
ար ժ ե ք ն ե ր ի դ Ե պ ք ո ւ մ ջ ե ր մ ա ս տ ի ճ ա ն ա յ ի ն  
ք ա ր տ Ե գ ն ե ր ը .....212
100. Ն կ .5.16.Ձ ե ր մ ա ս տ ի ճ ա ն ա յ ի ն ք ա ր տ Ե գ ի  
մ ա ս շ տ ա ք ա վ ո ր ո ւ մ ը .....212
101. Ն կ .5.17.Տ ր վ ա ծ ջ ե ր մ ա ս տ ի ճ ա ն ի ց ա վ Ե ւ ի ք ա ր ձ ր  
ջ ե ր մ ա ս տ ի ճ ա ն ա յ ի ն տ ի ր ո ւ յ թ ն ե ր ո ւ մ գ տ ն վ ո դ  
տ ա ր ր Ե ր ի և դ ր ա ն ց մ ի ջ ի ն հ գ ո ր ո ւ թ յ ո ւ ն ն ե ր ի  
խ տ ո ւ թ յ ո ւ ն ն ե ր ի  
ն ե ր կ ա յ ա ց ո ւ մ ը .....214
102. Ն կ .5.18. OpenSPARC պ ր ո ց Ե ս ո ր ի ջ ե ր մ ա ս տ ի ճ ա ն ա յ ի ն  
ք ա ր տ Ե գ ը .....215
103. Ն կ .5.19.Մ ո դ Ե ւ ա վ ո ր մ ա ն ժ ա մ ա ն ա կ ի  
կ ա պ վ ա ծ ո ւ թ յ ո ւ ն ը դ ի ս կ ր Ե տ ց ա ն ց ի ք ա յ ւ ի ց ,  
տ Ե դ ա ք ա շ խ մ ա ն տ ա ր ք ե ր մ ա կ Ե ր Ե ս ն ե ր ի  
հ ա մ ա ր .....216
104. Ն կ .5.20.Ծ ր ա գ ր ա յ ի ն գ ո ր ծ ի ք ի ա շ խ ա տ ա ն ք ի  
ար ա գ ա գ ո ր ծ ո ւ թ յ ա ն կ ա խ ո ւ մ ը ջ ե ր մ ա յ ի ն  
ք ջ ի ջ ն ե ր ի (ա)և տ Ե դ ա ք ա շ խ վ ո դ տ ա ր ր Ե ր ի (բ )  
ք ա ն ա կ ն ե ր ի ց .....216
105. Ն կ .5.21.Ն ա խ ն ա կ ա ն ք ա գ մ ա պ ա ր ա մ Ե տ ր ա կ ա ն  
տ Ե դ ա ք ա շ խ մ ա ն և ջ ե ր մ ա է ւ Ե կ տ ր ա կ ա ն  
մ ո դ Ե ւ ա վ ո ր մ ա ն ի ն տ Ե ր ա կ տ ի վ ի ն տ Ե գ ր մ ա ն  
Ե ր թ ո ւ դ ի ն ....217

Հ Ա Վ Ե Լ Վ Ա Ճ 4.

Ա Ղ Յ Ո Ւ Ս Ա Վ Ն Ե Ր Ի Ց Ա Ն Կ

Աղ .1.1 Ի Ս - երի ֆիզիկական նախագծման նառնչվող հիմնական պարամետրերի զարգացումը .

.....16

Աղ .1.2. Ի Ս - երի պարամետրերի մասշտաբավորումը

.....28

Աղ .1.3. Տեղաբաշխման հիմնական մասնավոր

չափանիշները և դրանք հաշվի առնող

տեղաբաշխման մեթոդները .....38

Աղ .1.4. ԷՆԱ գործիքների օգտագործելիությունը

Ի Ս - երի ֆիզիկական նախագծման

փուլում .....44

Աղ .2.1. Ստանդարտքիջների պարամետրերը

.....98

Աղ .2.2. a28 թեստային սխեմայի ժամանակային

պարամետրերը .....103

Աղ .3.1. a28 թեստային սխեմայի ներքին շղթաների

ժամանակային պարամետրերը

.....124

Աղ .3.2. Թեստային սխեմաների տարրերի

տեղաբաշխման արդյունքում հապաղումների

գնահատված արժեքները .....143

Աղ .4.1. Տեղաբաշխման բնութագրերի

արդյունքների

համեմատությունը .....169

Աղ .4.2. Թեստային սխեմաների տարրերի

տեղաբաշխման համեմատական

տվյալները .....184

Աղ .5.1. Էլեկտրական և ջերմային պարամետրերի

համապատասխանությունը .....199



