

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Հարությունյան Աննա Մարտինի

ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՀԱԼԵՑՄԱՆ ԿԱՏԱՐԵԼԱԳՈՐԾՎԱԾ ԻՆԴՈՒԿՑԻՈՆ
ԷԼԵԿՏՐԱՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Ատենախոսություն

Ե.09.01– «Էլեկտրատեխնիկա, էլեկտրամեխանիկա,
էլեկտրատեխնոլոգիաներ» մասնագիտությամբ

Տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի

գիտական աստիճանի համար

Գիտական ղեկավար՝

տ.գ.դ., պրոֆեսոր Ժ.Դ. Դավիդյան

Երևան 2018

Բովանդակություն

Նախաբան.....	4
Հապավումների ցանկ	10
Նշանակումների ցանկ	10
ԳԼՈՒԽ 1. ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՀԱԼԵՑՄԱՆ ԻՆԴՈՒԿՑԻՈՆ ԷԼԵԿՏՐՈՎԵՂԱԿԱՅԱՆՔՆԵՐԻ ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ԱԿՆԱՐԿ: ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ԽՆԴՐԻ ԱՌԱՋԱԴՐՈՒՄ	13
1.1. Ինդուկցիոն տաքացումը և կիրառման բնագավառները.....	13
1.2. Մետաղների հալեցման ինդուկցիոն ԲՀՏՏ-ներ	17
1.3. Մետաղների հալեցման ցածրահաճախական խուղակային տեղակայանք	30
1.4. Մետաղների հալեցման ԲՀՏՏ և ՑՀԽՏ համեմատությունը.....	36
1.5. Խնդրի առաջադրում	39
Եզրակացություններ առաջին գլխի վերաբերյալ.....	42
ԳԼՈՒԽ 2. ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՀԱԼԵՑՄԱՆ ՑԱԾՐ ՀՋՈՐՈՒԹՅԱՆ ՑՀԽՏ-Ի ՄՇԱԿՈՒՄԸ	43
2.1. Առաջարկվող ցածրահաճախական խուղակային տեղակայանքի նկարագրությունը	43
2.2. ՑՀԽՏ-ի էլեկտրական գործընթացների մաթեմատիկական մոդելը.....	56
2.3. ՑՀԽՏ-ի ջերմային գործընթացների մաթեմատիկական մոդելը.....	80
Եզրակացություններ երկրորդ գլխի վերաբերյալ.....	89
ԳԼՈՒԽ 3. ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՀԱԼԵՑՄԱՆ ՑՀԽՏ-Ի ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ՄԵԹՈՂԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ.....	90
3.1. ՑՀԽՏ-ի աշխատանքի ռեժիմները.....	90
3.2. ՑՀԽՏ-ի հաշվարկի մեթոդիկան.....	91
Եզրակացություններ երրորդ գլխի վերաբերյալ	106
ԳԼՈՒԽ 4. ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՀԱԼԵՑՄԱՆ ՑԱԾՐԱՀԱՃԱԽԱԿԱՆ ԽՈՒՂԱԿԱՅԻՆ 107	107
ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔԻ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՆՄՈՒՇԻ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄԸ.....	107
4.1. Փորձարկման պայմանները	107
4.2. Հալման հիմնական ռեժիմի որոշման փորձարկումներ.....	110
4.3. Փորձարկումներ՝ չկարգավորվող լարման ցանցից սնման դեպքում	112
4.4. Իրական հալման և հաշվարկի արդյունքների համադրումը	116

Եզրակացություններ չորրորդ գլխի վերաբերյալ	118
ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ	119
Օգտագործված գրականության ցանկ	120
Հավելվածներ	127

Նախաբան

Ապենախոսության թեմայի արդիականությունը: Մետաղների տաքացման և հալման համար էլեկտրական էներգիայի օգտագործման առաջին փորձերը վերաբերում են 19-րդ դարի սկզբին: Մետաղների տաքացման և հալման էլեկտրական եղանակներն ունեն նշանակալի առավելություն կրակային եղանակների համեմատ, քանի որ նվազում են էներգիայի կորուստները և արտադրության բացասական ազդեցությունը շրջակա միջավայրի վրա (այրված օրգանական վառելիքի արտանետումների բացառման և գերտաքացման իջեցման հաշվին), տեխնոլոգիական գործընթացն ավելի կառավարելի է, կարող է լինել ավտոմատացված և այլն:

Հայտնի են մետաղների էլեկտրական տաքացման տարբեր եղանակներ. տաքացում էլեկտրական դիմադրությունով՝ ուղղակի և անուղղակի գործողության, աղեղնային տաքացում՝ էլեկտրական աղեղում ջերմության անջատմամբ, նույնպես ուղղակի և անուղղակի գործողության, ինդուկցիոն տաքացում՝ մետաղում ինդուկցված փոփոխական հոսանքների անցումից ջերմության անջատմամբ և այլ եղանակներ:

Մետաղների էլեկտրատաքացման գործընթացում առավել լայն տարածում են ստացել ինդուկցիոն տաքացման եղանակները և տեղակայանքները, որոնք սկզբունքորեն ստորաբաժանվում են երկու դասի.

- բարձրահաճախական տիգելային տեղակայանքներ, որոնցում, ինչպես և անմիջապես հաղորդիչ տիգելում, ջերմությունն անջատվում է մետաղում մակաձված մրրկային հոսանքների թափանցումից,

- ցածրահաճախական խուղակային տեղակայանքներ, որոնցում ջերմությունն անջատվում է տաշտում գտնվող մետաղյա զանգվածում կարճ փակված գալարով անցնող հոսանքի օհմական տաքացումից:

Դրանց համապատասխան տարբերվում են նաև կառուցվածքները, սնուցման էլեկտրական սխեմաները, գործընթացի և տեղակայանքի կառավարումը և տեխնիկատնտեսական ցուցանիշները:

Վերջին երկու հարյուրամյակների ընթացքում մետաղների հալեցման ինդուկցիոն տեղակայանքներն անընդհատ կատարելագործվում են՝ ընդգրկելով հզորության լայն

տիրույթ՝ միավոր կիրվատտերից մինչև տասնյակ մեգավատտեր, իսկ սնման հաճախությունը՝ մինչև տասնյակ կիրոհերցեր, բարելավվում են տեխնոլոգիական և տնտեսական ցուցանիշները: Կտրուկ աճում է ցածր հզորության տեղակայանքների պահանջարկը, բարձրանում են դրանցում հալեցվող մետաղների անվանակարգի և որակի նկատմամբ պահանջները, խստացվում են բնապահպանական պահանջները շրջակա միջավայրում մարդածին բացասական ազդեցությունների նվազեցման նկատմամբ: Վերջինիս դեպքում նկատի են առնվում սնող էլեկտրական ցանցում բացասական ազդեցությունները՝ լարման կորի աղավաղումները և ռադիոտիրույթում (այդ թվում նաև բջջային հեռախոսակապի հաճախականային տիրույթում) բարձրահաճախական խանգարումները:

Նշված հարցերի լուծումը հատկապես արդիական է ցածր հզորության՝ մի քանի տասնյակ կիրվատտ, տեղակայանքների համար, ինչը բացատրվում է հետևյալով.

- ցածր հզորության տեղակայանքները վերջին ժամանակներս լայն տարածում են գտել, սակայն բավարար չափով կատարելագործված չեն,
- թեև ցածր հզորության տեղակայանքներն ունեն տեխնիկատնտեսական ցուցանիշների պարզ արտահայտված առանձնահատկություններ, սակայն դրանց վրա տարածվում են հզոր տեղակայանքներին բնորոշ մոտեցումներն ու տեխնիկական լուծումները, ինչը հիմնավորված չէ և հանգեցնում է բացասական արդյունքի,
- ավանդաբար առավելությունը տրվում է բարձրահաճախական տեղակայանքներին, ինչը հիմնավորված չէ հատկապես ցածր հզորության դեպքում,
- արդյունաբերական 50Հg հաճախության օգտագործման շնորհիվ ցածրահաճախական տեղակայանքներն ունեն սկզբունքային առավելություններ և միաժամանակ կառուցվածքային բնույթի էական թերություններ, որոնք դժվարեցնում են դրանց կատարելագործումը,
- ցածր հզորության տեղակայանքներն անհատական արտադրության և փոքր բիզնեսի օբյեկտներ են, որոնց տնտեսական բնութագրերն ունեն առավելագույն նշանակություն:

Չնայած վերոնշյալին՝ մինչ այժմ ցածր հզորության տեղակայանքներին բավարար ուշադրություն չի դարձվել:

Տվյալ աշխատանքում հետազոտման առարկա է ընդունված ցածր հզորության տեղակայանքները՝ մի քանի կիլովատտից մինչև մի քանի տասնյակ կիլովատտ հզորության, նախատեսված փոքր սերիական և անհատական արտադրության համար: Այդպիսի տեղակայանքները վերջին ժամանակներս բավականին լայն տարածում են գտել: Ցածր հզորության տեղակայանքների կառուցվածքը և էլեկտրական սխեմաները բավականին տարբերվում են հզոր տեղակայանքներից՝ ինչպես դրանց առաջադրվող տեխնիկական պահանջներով, այնպես էլ տեխնիկական լուծումներով: Բնականաբար արդիական են նաև դրանց կառուցվածքային և սխեմատեխնիկական լուծումների հարցերը, հաշվարկման և հետազոտման մեթոդների մշակումն ու հիմնավորումը:

Հեղազոտության նպատակը.

- Մշակել մետաղների հալեցման տեխնոլոգիական բարձր արդյունավետությամբ ցածր հզորության էլեկտրական տեղակայանքներ:
- Մշակել և հետազոտել բարձր տնտեսական և շահագործման ցուցանիշներով ցածր հզորության խուղակային տեղակայանք:
- Մշակել և հետազոտել հետազոտության ու հաշվարկման համապատասխան մեթոդներ:

Հեղազոտության խնդիրները: Նշված նպատակին հասնելու համար աշխատանքում առաջադրվել և լուծվել են հետևյալ խնդիրները.

- Մետաղների հալեցման ցածր հզորության էլեկտրահիդրոկցիոն տեղակայանքները *50Հց* հաճախությամբ արդյունաբերական ցանցից անմիջական սնման և ցածրահաճախական խուղակային տեղակայանքի սկզբունքով կառուցման նպատակահարմարության հիմնավորում:
- Ցածրահաճախական խուղակային տեղակայանքի կառուցվածքի մշակում՝ բացառելով խուղակային տեղակայանքին բնորոշ թերությունները:
- Ցածրահաճախական խուղակային տեղակայանքի մաթեմատիկական մոդելի մշակում և հետազոտում:
- Ցածր հզորության ցածրահաճախական խուղակային տեղակայանքի հաշվարկի մեթոդաբանության և ծրագրի մշակում, որն ապահովում է բարձր ճշգրտություն և համարժեքություն իրական գործընթացներին:

- Ցածր հզորության կատարելագործված ցածրահաճախական խուղակային տեղակայանքի փորձարարական նմուշի պատրաստում, դրա փորձարկում և հետազոտություն:

Աշխատանքի գիտական նորույթը.

1. Մշակված է մետաղների հալեցման ցածր հզորության տեղակայանքի ստեղծման հայեցակարգը, որի էությունն է՝ խուղակային տեսակի տեղակայանքներ, անմիջականորեն արդյունաբերական ցանցից էլեկտրասնում, ջերմության անջատման համար մետաղի ողջ ծավալի օգտագործում, արդյունքը՝ առավելագույն արտադրողականություն, հուսալիություն և բարձր ՕԳԳ:

2. Մշակված են խուղակային վառարանի կառուցվածքը (պաշտպանված է գյուտի արտոնագրով)՝ մետաղում ինդուկտորային տրանսֆորմատորի մագնիսալարի տեղադրմամբ, տաշտի չափսերը և հաշվարկի մեթոդիկան:

3. Առաջարկված է խուղակային տեղակայանքի ջերմաէլեկտրական գործընթացների դինամիկ մաթեմատիկական մոդել, որը հնարավորություն է տալիս ապահովել ընթացող գործընթացին համապատասխան հաշվարկը և ավտոմատ կառավարման համակարգի մշակումը:

4. Մշակված է առաջարկված խուղակային տեղակայանքի ջերմաէլեկտրական գործընթացների հաշվարկման մեթոդ համակարգչային *Matlab* ծրագրային փաթեթի կիրառմամբ:

Հեղազոտության օբյեկտները: Փորձարկումը կատարվել է *ՉկՎԿ* հզորության խուղակային տեղակայանքի փորձարարական նմուշի վրա, որտեղ ինդուկտորի մագնիսալարը գտնվում է մետաղում, իսկ հետազոտությունները կատարվել են մշակված խուղակային տեղակայանքի ջերմաէլեկտրական գործընթացների դինամիկ մաթեմատիկական մոդելի վրա:

Հեղազոտության մեթոդներն են.

- Մաթեմատիկական և ֆիզիկական մեթոդները, որոնք ընդունված են էլեկտրական և էլեկտրաջերմային գործընթացներում:
- Քայլային հաշվարկման մեթոդը, որը համարժեք է իրական գործընթացին:
- Տեղակայանքի փորձարարական նմուշի փորձարկման մեթոդը, որը

համապատասխանում է տեխնիկական պահանջներին:

Պաշտպանության առաջադրված դրույթները.

- Մետաղների հալեցման ցածր հզորության տեղակայանքի կատարելագործված կառուցվածքը:
- Ինդուկտորի մագնիսալարը մետաղում տեղադրված և բարձր արտադրողականությամբ խուղակային տեղակայանքի կառուցվածքը և հաշվարկման մեթոդը:
- Առաջարկված խուղակային տեղակայանքի ջերմաէլեկտրական գործընթացի դինամիկ մաթեմատիկական մոդելը:

Աշխատանքի կիրառական նշանակությունը:

1. Մշակված ցածրահաճախական խուղակային տեղակայանքի կատարելագործված կառուցվածքը, դրա սխեմատեխնիկական լուծումները, տեղակայանքի և հալման տեխնոլոգիական գործընթացի մշակված մաթեմատիկական մոդելը, հետազոտության և հաշվարկման մեթոդներն ապահովում են առաջարկվող տեղակայանքի բարձր արդյունավետություն գործող կառուցվածքների համեմատ:

2. Աշխատանքի արդյունքները հավաստում են մետաղների հալեցման ցածր հզորության էլեկտրահնդուկցիոն տեղակայանքների կատարման հնարավորությունն ու նպատակահարմարությունը ցածրահաճախական (50Հց) խուղակային տեղակայանքի սկզբունքով անմիջական արդյունաբերական ցանցից սնման դեպքում:

3. Առաջարկվող տեխնիկական լուծումներն իրականացված են տեղակայանքի փորձարարական նմուշի վրա: Մշակված մաթեմատիկական մոդելները, հետազոտման ու հաշվարկման մեթոդները երաշխավորվում են գործնականում օգտագործման համար:

4. Աշխատանքի արդյունքները ներդրված են «Ա/Ձ Է. Մանուկյան», «Մարգարյան եղբայրներ» ՍՊԸ և «Նիկոլ Դուման» ՍՊԸ կազմակերպություններում մետաղների հալեցման ինդուկցիոն տեղակայանքների մշակման աշխատանքներում: Աշխատանքի արդյունքների ներդրման ակտերը ներկայացված են հավելվածներում:

Հրապարակումները: Կատարված հետազոտությունների հիմնական դրույթներն ու արդյունքները զեկուցվել և քննարկվել են ՀԱՊՀ «Էլեկտրաէներգետիկա» ամբիոնի սեմինարներում (2015-2017թթ.), «Էլեկտրական մեքենաներ և ապարատներ» ամբիոնի

սեմինարում (2017թ.), և ՀԱՊՀ տարեկան գիտաժողովներում (2014, 2016թթ.):

Ատենախոսության հիմնական դրույթներն ու արդյունքները արտացոլված են 10 գիտական աշխատություններում, այդ թվում՝ ստացված է 2 գյուտի արտոնագիր:

Ատենախոսության ծավալը և կառուցվածքը: Ատենախոսությունը ներկայացված է 126 էջերի վրա, պարունակում է 38 նկար, 14 աղյուսակ, 100 անուն ընդգրկող օգտագործված գրականության ցանկ և 4 հավելված: Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից և եզրակացություններից:

Հապավումների ցանկ

ԲՀՏՏ	-	բարձրահաճախական տիգելային տեղակայանք
ՅՀԽՏ	-	ցածրահաճախական խուղակային տեղակայանք
ԿՓԳ	-	կարճ փակված գալար
ՀԹԽ	-	հոսանքի թափանցման խորություն
ԻՏ	-	ինդուկցիոն տրանսֆորմատոր
ՏԽՎ	-	տիպային խուղակային վառարան
ՕԳԳ	-	օգտակար գործողության գործակից

Նշանակումների ցանկ

Δ	-	հոսանքի թափանցման խորություն [մմ]
ω	-	անկյունային հաճախություն
μ	-	մագնիսական թափանցելիություն [Հն/մ]
Y	-	տեսակարար էլեկտրահաղորդականություն [1/Օհմ·մ]
ρ	-	տեսակարար էլեկտրական դիմադրություն [Օհմ·մմ ² /մ]
P_a	-	էլեկտրամագնիսական ակտիվ հզորություն [կՎտ]
H_0	-	մագնիսական դաշտի լարվածություն [Ա/մ]
η	-	ՕԳԳ
D_1	-	ինդուկտորի ներքին տրամագիծ [մ]
D_2	-	մետաղական գլանի տրամագիծ [մ]
V_B	-	տաշտում մետաղի ծավալ [մ ³]
V_k	-	խուղակում մետաղի ծավալ [մ ³]
K_a	-	ակտիվ ծավալի գործակից
G_0	-	տեսակարար արտադրողականություն [կգ/ժ]
T_0	-	հալման տեսակարար ժամանակ [ժ/կգ]
S_B	-	կարճ փակված գալարի կտրվածք [մմ ²]
R	-	կարճ փակված գալարի դիմադրություն [Օհմ]

K_0	-	ծավալային գործակից
g	-	մետաղի տեսակարար զանգված [գ/սմ ³]
G	-	մետաղի զանգված [կգ]
h_1	-	բովախառնուրդի (մետաղի) բարձրություն [մ]
W	-	հալման համար անհրաժեշտ էներգիա [կՎտ·ժ]
q_n	-	մետաղի հալման տեսակարար ջերմություն [կՎտ·ժ/կգ]
U	-	կարճ փակված գալարի կոնտուրում լարում [Վ]
M	-	հալման գործընթացի արտադրողականություն [կգ/ժ]
r_1	-	ինդուկտորի ակտիվ դիմադրություն [Օհմ]
x_1	-	ինդուկտորի ցրման ինդուկտիվ դիմադրություն [Օհմ]
r_m	-	մագնիսալարում կորուստների ակտիվ դիմադրություն [Օհմ]
x_m	-	մագնիսացման ինդուկտիվ դիմադրություն [Օհմ]
x_2	-	երկրորդային փաթույթի՝ մետաղի կարճ փակված գալարի, ցրման ինդուկտիվ դիմադրություն [Օհմ]
R	-	երկրորդային փաթույթի՝ մետաղի կարճ փակված գալարի, բեռի ակտիվ դիմադրություն [Օհմ]
U_1	-	ինդուկտորի (ցանցի) լարում [Վ]
I_1	-	ինդուկտորի հոսանք [Ա]
E_m	-	մագնիսացման էլշու [Վ]
I_0	-	մագնիսացման հոսանք (պարապ ընթացքի հոսանք) [Ա]
I_2	-	երկրորդային փաթույթի հոսանք [Ա]
W_1	-	ինդուկտորի գալարների քանակ
W_2	-	կարճ փակված կոնտուրի գալարների քանակ
B	-	տրված ինդուկցիան մագնիսալարում [Տլ]
f	-	ցանցի հաճախություն [Հց]
S	-	մագնիսալարի հատույթ [սմ ²]
l_1	-	գալարի միջին երկարություն [մ]
Q	-	ջերմային հոսք [Վտ]
λ	-	ջերմահաղորդականության գործակից [Վտ/մ °K]

- δ - պատի հաստություն [մ]
- S - մակերևույթի մակերես [մ²]
- C_I - մետաղի տեսակարար ջերմունակություն [Ջ/կգ °C]
- $(t_n - t_0)$ - տաքացման սկզբնական ջերմաստիճանի և հալման ջերմաստիճանի տարբերություն [°C]
- $\cos\varphi$ - հզորության գործակից

**ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՀԱԼԵՑՄԱՆ ԻՆԴՈՒԿՑԻՈՆ ԷԼԵԿՏՐԱՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔՆԵՐԻ
ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ԱԿՆԱՐԿ: ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ԽՆԴՐԻ ԱՌԱՋԱԴՐՈՒՄ**

1.1. Ինդուկցիոն տաքացումը և կիրառման բնագավառները

Մետաղների տաքացման և հալման համար էլեկտրական էներգիայի կիրառումը սկսվել է XIX դարում ժամանակակից էլեկտրատեխնիկայի հիմք հանդիսացող բացահայտումների արդյունքում [53, 86]: 1831թ. Ֆարադեյի կողմից բացահայտվեց էլեկտրամագնիսական ինդուկցիայի օրենքը: Ֆուկոն հետազոտեց այդ երևույթի մասնավոր դեպքը՝ հոսանքների համատարած թափանցումը մետաղական մարմիններում: Լենցը և Ջոուլը հաստատեցին, որ էլեկտրական հոսանքի անցումը հաղորդչով ուղեկցվում է ջերմության անջատումով: XIX դարի կեսերին Մաքսվելը բացահայտեց էլեկտրամագնիսական դաշտի հիմնական հավասարումները՝ կառուցելով ժամանակակից էլեկտրադինամիկայի համակարգը: XIX դարի 80-ականներին Թոմսոնը բացահայտեց մակերևութային էֆեկտի երևույթը, ըստ որի փոփոխական հոսանքն անցնում է հաղորդչի մակերևույթով: 1878թ. Յարլոչկովն առաջինը գործնականում կիրառեց տրանսֆորմատորը, որում օգտագործված է էլեկտրամագնիսական ինդուկցիայի օրենքը: Մեծ է հայտնի գիտնականների դերը էլեկտրատեխնիկական գիտության այս ճյուղի զարգացման գործում:

Մետաղների տաքացման և հալման էլեկտրական եղանակն ունի մի շարք առավելություններ հրային տաքացման եղանակների համեմատ, քանի որ այս դեպքում նվազում են էներգիայի կորուստները, շրջակա միջավայրի վրա բացասական ազդեցությունները՝ օրգանական վառելիքի այրման արդյունքում արտանետումների բացառման և գերտաքացման փոքրացման հաշվին, տեխնոլոգիական գործընթացն ավելի կառավարելի է և այլն [24]:

Մետաղների էլեկտրատաքացման գործընթացում առավել լայն տարածում են ստացել ինդուկցիոն տաքացման եղանակները և տեղակայանքները, որոնք սկզբունքորեն ստորաբաժանվում են երկու դասի՝

- ինդուկցիոն բարձրահաճախական տիգելային տեղակայանքներ (ԲՀՏՏ), որոնցում, ինչպես նաև անմիջապես հաղորդիչ տիգելում, ջերմությունն անջատվում է մետաղում մակաձված մրրկային հոսանքների թափանցումից [11, 12, 14, 60, 71, 73], ընդ որում տիգելը մետաղով տեղադրված է ինդուկտորի բարձրահաճախական դաշտում,

- ցածրահաճախական խուղակային տեղակայանքներ (ՑՀԽՏ), որոնցում ջերմությունն անջատվում է օհմական տաքացումից՝ տաշտում գտնվող մետաղյա զանգվածում կարճ փակված գալարով (ԿՓԳ) անցկացվող հոսանքի շնորհիվ [5, 31, 78, 86, 87], ընդ որում ԿՓԳ-ն ցածրահաճախական ինդուկտորային տրանսֆորմատորի (ԻՏ) երկրորդային փաթույթն է:

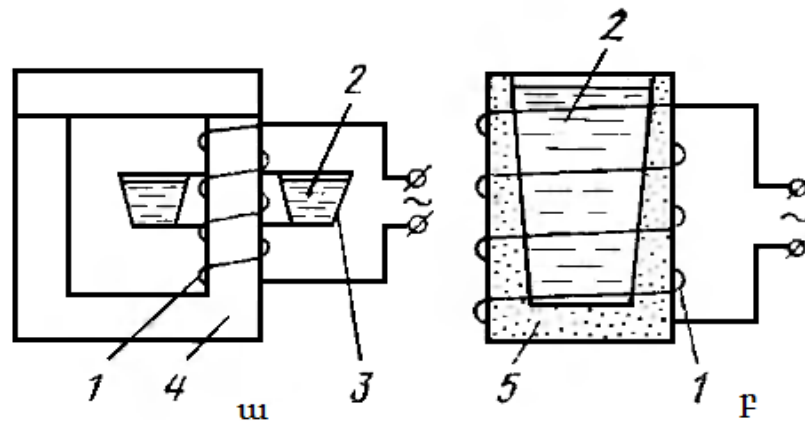
Այս դասակարգումը պայմանական է, քանի որ երբեմն հանդիպում են ինչպես ցածրահաճախական տիգելային, այնպես էլ բարձրահաճախական խուղակային տեղակայանքներ: Բոլոր նշվածների աշխատանքը հիմնված է մետաղում հզորության հաղորդման ինդուկցիոն սկզբունքի վրա [15, 55, 60, 71, 78]: Սակայն «տիգելային» կամ «խուղակային» սկզբունքային տարբերությունները դիտարկվում են հստակ և դրանք սկզբունքորեն տարբերվում են ընթացող գործընթացներով, կառուցվածքներով, սնման ու կառավարման էլեկտրական սխեմաներով (ինդուկցիոն տեղակայանքներն ընդգրկում են հզորության լայն տիրույթ՝ միավոր կիլովատտերից մինչև տասնյակ մեգավատտեր, և էլեկտրասնման հաճախությունը՝ մինչև տասնյակ կիլոհերցեր):

Մետաղների ինդուկցիոն հալման էլեկտրական վառարանների սխեմատիկ պատկերները ներկայացված են նկ. 1.1-ում:

Խուղակային վառարանը (նկ. 1.1ա) յուրատեսակ տրանսֆորմատոր է (սովորաբար 50Հց հաճախությամբ, որն անմիջապես սնվում է արդյունաբերական ցանցից և աշխատում կարճ միացման ռեժիմում): Առաջնային փաթույթն ինդուկտորն է, իսկ երկրորդային և միաժամանակ տրանսֆորմատորի բեռ ծառայում է հալված մետաղը, որը գտնվում է հրակայուն նյութից պատրաստված փակ օղակաձև խուղակում:

Տիգելային վառարանը (նկ. 1.1բ), ըստ գործողության սկզբունքի, նման է օդային տրանսֆորմատորի: Առաջնային փաթույթն ինդուկտորն է, երկրորդային փաթույթը և միաժամանակ բեռը՝ հալվող մետաղն է, որը տեղաբաշխված է տիգելում՝ ինդուկտորի

ներսում:



Նկ. 1.1. Մեքաղների ինդուկցիոն հալման էլեկտրական վառարանների սխեմատիկ պատկերները. խողակային վառարանի (ա), ինդուկցիոն տիգելային վառարանի (բ), 1 - ինդուկտոր, 2 - հալույթ, 3 - աղյուսապատված օղակաձև խողակ, 4 - մազնիսալար, 5 - հրակայուն տիգել

Բաց հորիզոնական խողակով առաջին փորձնական ինդուկցիոն խողակային վառարանները կառուցվել են Անգլիայում 1887թ. Ֆերանտի կողմից: Շվեդիայում 1900թ. Կելլինը մշակեց և պատրաստեց առաջին հալման բաց խողակով արդյունաբերական ինդուկցիոն խողակային էլեկտրավառարանը: 1916թ. Ուայթն առաջարկեց փակ խողակով ինդուկցիոն էլեկտրավառարանի կառուցվածքը, որն ամենատարածվածն է նաև ներկայումս:

Առաջին ինդուկցիոն տիգելային էլեկտրավառարանը պատրաստել է «Լորենց» ֆիրման 1913թ.: Այս տեսակի արդյունաբերական վառարան սկզբում թողարկել է «Այաքս» ֆիրման (ԱՄՆ): Ինդուկցիոն տիգելային վառարանների հետագա կատարելագործումը մեծամասամբ կախված էր ԲՀՏՏ-ի մշակման հաջողությունից:

Ներկայումս ինդուկցիոն տիգելային տեղակայանքների սնման աղբյուրներ են ծառայում բարձրահաճախական էլեկտրամեխանիկական գեներատորները և տիրիստորային կերպափոխիչները, որոնք արդյունաբերական ցանցի լարումը կերպափոխում են կարգավորվող բարձրահաճախական լարման: Այդպիսի ինդուկցիոն տիգելային տեղակայանքներն ընդգրկում են հզորության լայն տիրույթ՝ միավոր կիլովատտերից մինչև տասնյակ մեգավատտեր, և էլեկտրասնման հաճախությունը՝

մինչև տասնյակ կիլոհերցեր:

ԽՍՀՄ-ում այդպիսի վառարաններ սկսեցին պատրաստվել նախորդ դարի 30-ականների սկզբին Մոսկվայի էլեկտրագործարանում: Հետագայում ստեղծվեցին հզոր գիտական կենտրոններ (էլեկտրաթերմիկ կայանքների համամիութենական գիտահետազոտական ինստիտուտ, Վ.Պ. Վոլոգդինի անվան բարձր հաճախության հոսանքների համամիութենական գիտահետազոտական ինստիտուտ), որտեղ կատարվում են էլեկտրավառարանների և ինդուկցիոն տաքացման տեղակայանքների հետազոտում և մշակում:

Մետաղների հալեցման և տաքացման ինդուկցիոն տեղակայանքների ինտենսիվ հետազոտություն ու մշակումներ կատարվում են աշխարհի շատ երկրներում: Մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում ինդուկցիոն վառարանների նախագծման և շահագործման համաշխարհային հզոր ֆիրմաների փորձը, որոնցից են. Brown Boveri und Cie Aktiengesellschaft, Alphotronic GmbH, ABB Process Industries GmbH Giessereien Umformwerke, ABP Induction Systems GmbH և այլն:

Սույն աշխատանքում հետազոտման առարկա է ընդունված ցածր հզորության տեղակայանքները՝ մի քանի կիլովատտերից մինչև մի քանի տասնյակ կիլովատտ հզորության, նախատեսված փոքր սերիական և անհատական արտադրության համար: Այդպիսի տեղակայանքները վերջին ժամանակներս լայն տարածում են գտել: Ցածր հզորության տեղակայանքների կառուցվածքը և էլեկտրական սխեմաները տարբերվում են հզոր տեղակայանքներից ինչպես տեխնիկական պահանջներով, այնպես էլ տեխնիկական լուծումներով: Հետևաբար, արդիական է ցածր հզորության տեղակայանքների կառուցվածքային և սխեմատեխնիկական լուծումների հետազոտումը, որոշումը և հիմնավորումը, ինչն էլ տվյալ աշխատանքի նպատակն է:

Հետազոտված են ինդուկցիոն ԲՀՏՏ և ՑՀԽՏ տեսակի տեղակայանքների տեսական դրույթները, կառուցվածքներն ու բնութագրերը, կատարված է դրանց համեմատական վերլուծություն:

Ներկայացվածի հիման վրա կատարված է տվյալ աշխատանքի հետազոտման խնդրի առաջադրումը:

1.2. Մետաղների հալեցման ինդուկցիոն ԲՀՏՏ-ներ

ԲՀՏՏ-ների հոսանքի թափանցման խորությունը, ՕԳԳ-ն, հզորության

գործակիցը: էլեկտրաթերմիկ տեխնոլոգիաների շարքում առավել տարածվածն ինդուկցիոն տաքացումն է [12, 14, 28, 31, 48, 60, 62, 76, 77, 88]:

Տաքացման ինդուկցիոն մեթոդը հիմնված է ինդուկտորից ընդունիչին՝ մետաղին, էլեկտրաէներգիայի հաղորդման վրա: Ինդուկցիոն տաքացման տեղակայանքներում էլեկտրահաղորդամբ տաքացվող մարմնում ջերմությունն անջատվում է մրրկային հոսանքներով, որոնք ինդուկցվում են դրանում փոփոխական էլեկտրամագնիսական դաշտի մագնիսական հոսքի փոփոխման հետևանքով, և որն էլ անցնում է տաքացվող օբյեկտի միջով [72, 74, 76]: Փոփոխական մագնիսական դաշտն օբյեկտում առաջանում է փոփոխական հոսանքի աղբյուրից հատուկ ինդուկտորի միջոցով: Ինդուկտորը ներկայացնում է սոլենոիդ, որն ընդգրկում է տիգելում տեղադրված հալվող մետաղը: Ինդուկտորը, տիգելի ներսում տեղադրված մետաղի հետ, ըստ էության, ներկայացնում է առանց մագնիսալարի օդային տրանսֆորմատոր: Ընդունիչը՝ տիգելն է, դրանում տեղադրված հալման ենթակա մետաղով (մետաղական բովախառնուրդ): Ինդուկտոր թափանցող փոփոխական հոսանքը, ըստ էլեկտրամագնիսական ինդուկցիայի օրենքի, մետաղում և տիգելի պատերին (համարվում է, որ տիգելը պատրաստված է էլեկտրահաղորդիչ նյութից) մակածում է փոփոխական հոսանք: Մակածված հոսանքը, ըստ Ջոուլ-Լենցի օրենքի, մետաղում և տիգելի պատերում անջատում է ջերմային էներգիա, որով տաքացվում է մետաղը: Ինդուկցիոն տաքացումը լինում է ուղղակի և անհպակ: Այն թույլ է տալիս հասնելու բարձր ջերմաստիճանի, ինչը բավարար է մետաղների և համաձուլվածքների հալեցման համար:

Ինդուկցիոն տաքացման գործընթացը նկարագրվում է էլեկտրամագնիսական դաշտի հիմնական հավասարումներով և տեսականորեն ու գործնականորեն բավականին լավ է մշակված [54, 73, 78]: Հայտնի տեսական դրույթները և գործնական հաշվարկները ներկայացված են ստորև:

Ինչպես հայտնի է, հաղորդչում փոփոխական հոսանք թափանցելիս ինքնինդուկցիայի երևույթի հետևանքով առաջանում է հոսանքի անհավասարաչափ բաշխում հաղորդչի կտրվածքով և հոսանքի խտությունը դրա մակերևույթին բարձր է,

քան հաղորդչի խորքում: Այս երևույթը կոչում են մակերևութային էֆեկտ: Քանի որ ինքնինդուկցիայի էլշուն համեմատական է ժամանակի ընթացքում հոսանքի փոփոխման արագությանը, ապա որքան բարձր է հաճախությունը, այնքան ուժեղ է արտահայտվում մակերևութային էֆեկտը: Միաժամանակ, դրա առաջացման աստիճանն այնքան մեծ է, որքան մեծ է հաղորդչի շառավիղը: Որպես էլեկտրական հոսանքի հաղորդիչ ծառայում է տիգելում տեղադրված մետաղը (կամ տիգելի պատը, եթե այն պատրաստված է հոսանքահաղորդիչ նյութից) [84]:

Մակերևութային էֆեկտը և դրա քանակական ցուցանիշները որոշում են ինդուկցիոն տաքացման կարևոր ցուցանիշը՝ հոսանքի թափանցման խորությունը (δ-ն) տաքացվող մետաղում: Հաղորդչի մակերևութից դեպի դրա խորքը հոսանքի խտության փոքրացումը կատարվում է էքսպոնենտի օրենքով [78]:

$$\delta_x = \delta_0 e^{-x/\Delta} \quad (1.1)$$

որտեղ δ_x -ը մակերևութից X հեռավորության վրա հոսանքի խտությունն է, δ_0 -ն՝ հաղորդչի մակերևութին հոսանքի խտությունը, e -ն՝ բնական լոգարիթմի հիմքը, Δ -ն՝ երկարության չափողականության որոշակի մեծություն է, որը բնութագրում է մետաղում մագնիսական դաշտի մարման աստիճանը՝ դրա խորքը թափանցման միջոցով:

Նշված Δ մեծությանը կոչում են δ-ն: Ինչպես հետևում է (1.1) արտահայտությունից, հոսանքի Δ թափանցման խորությունն այն հեռավորությունն է հաղորդչի մակերևութից, որի վրա զանգվածային հաղորդչում էլեկտրական հոսանքի խտությունը փոքրանում է e անգամ՝ համեմատած մակերևութին հոսանքի խտության հետ:

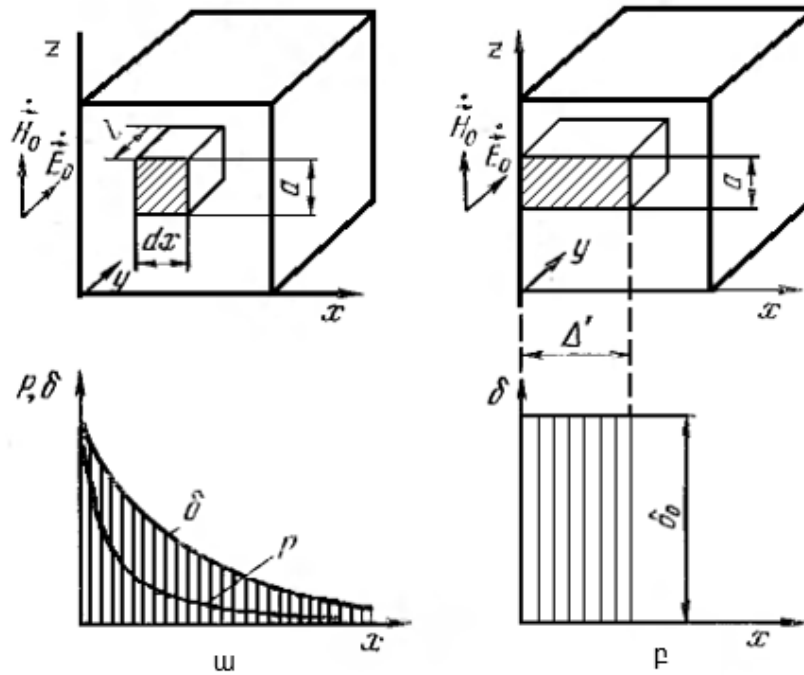
Համաձայն էլեկտրամագնիսական դաշտի տեսության՝ δ-ն արտահայտվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\Delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu Y}}, \quad (1.2)$$

որտեղ ω -ն պտտման էլեկտրամագնիսական դաշտի անկյունային հաճախությունն է, μ -ն և Y -ը՝ մետաղը (հաղորդիչը) բնութագրող մագնիսական թափանցելիությունը և էլեկտրահաղորդականությունը [9, 78]:

Նկ. 1.2-ում ցուցադրված են մետաղում հոսանքի խտության իրական էքսպոնենտային (ω) և պայմանական ընդունված հավասարաչափ (ρ) բաշխումները Δ ՝ շերտում:

Պայմանական հոսանքակիր շերտի Δ' հաստությունը որոշվում է այն պայմանից, որ մետաղում անջատվող P' հզորությունը՝ հաշվարկված Δ' շերտում հոսանքի խտության պայմանական հավասարաչափ բաշխման դեպքում, պետք է հավասար լինի իրական անջատվող P հզորությանը: [78]-ում կատարված հաշվարկների հիման վրա պայմանական հոսանքակիր շերտի Δ' հաստությունը պետք է ընտրվի հավասար հոսանքի թափանցման Δ խորությանը, որը հաշվարկվում է (1.2)-ով, այսինքն՝ $\Delta' = \Delta$:

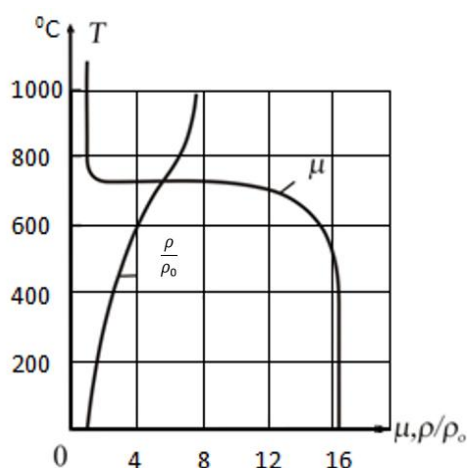


Նկ. 1.2. Մեղադրում հոսանքի խտության իրական էքսպոնենցիային (ω) և պայմանական ընդունված հավասարաչափ (ρ) բաշխումները Δ' շերտում

Ներկայացվածից հետևում է, որ զանգվածային հաղորդչի կտրվածքը՝ տվյալ դեպքում մետաղի տիգելում տեղադրված գլանաձև զանգվածը, փոփոխական հոսանքի դեպքում օգտագործվում է ոչ լրիվ: Ակտիվ $r(f)$ դիմադրության հարաբերությունը փոփոխական հոսանքի օհմական $r(0)$ դիմադրությանը հաստատուն մեծության հոսանքի դեպքում՝ $k=r(f)/r(0)$, կլինի այնքան բարձր, որքան բարձր է հոսանքի հաճախությունը, և որքան մեծ է գլանի տրամագիծը:

Պողպատի տաքացման և ջերմաստիճանի բարձրացման դեպքում դրա տեսակարար դիմադրությունը և մագնիսական թափանցելիությունը փոփոխվում են [26, 27, 29]: Պողպատի հարաբերական մագնիսական թափանցելիության և

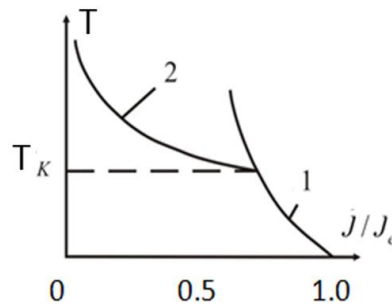
տեսակարար դիմադրության կախվածությունը ջերմաստիճանից ներկայացված է նկ. 1.3-ում: Ջերմաստիճանի մինչև $650 \dots 700^{\circ}\text{C}$ տիրույթում մագնիսական թափանցելիությունը թույլ է կախված ջերմաստիճանից, որից հետո, ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց արագ փոքրանում է մագնիսական փոխակերպումների կետում (Կյուրիի կետ), որը համապատասխանում է $750 \dots 770^{\circ}\text{C}$, հասնում է մոտավորապես հավասար վակուումի մագնիսական թափանցելիությանը՝ $\mu=1$: $15 \dots 800^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանային տիրույթում տեսակարար դիմադրությունն աճում է մոտ 5 անգամ: Այնուհետև դրա աճը դանդաղում է և $800 \dots 900^{\circ}\text{C}$ միջակայքում մնում է հավասար մոտ $10^6 \text{ Ohm}\cdot\text{մ}$: Մագնիսական թափանցելիության փոքրացման և տեսակարար դիմադրության մեծացման հետևանքով տաքացման գործընթացում ՀԹԽ-ն աճում է $8 \dots 10$ անգամ: Մագնիսական փոխակերպման կետից բարձր տաքացված պողպատում ՀԹԽ-ն կարող է որոշվել (1.2)-ով՝ ընդունելով $\rho = \rho_K = 10^6 \text{ Ohm}\cdot\text{մ}$ և $\mu = 1$ [75, 84]:



Նկ. 1.3. Միջին ածխացած պողպատի համեմատական մագնիսական թափանցելիության և տեսակարար դիմադրության կախվածությունը ջերմաստիճանից

Ջերմաստիճանից կախված հոսանքի խտության կախվածությունը բերված է նկ. 1.4-ում: Այն պատկերված է «կոտրված» գծի տեսքով՝ բաղկացած էքսպոնենտի երկու կտորներից, որոնցից առաջինը (1) համապատասխանում է պողպատին՝ տաքացված մագնիսական փոխակերպումների կետից բարձր վիճակին, իսկ երկրորդը (2)՝ քիչ տաքացված, մագնիսական հատկություններ կրողին:

ՀԹԽ-ն կարևոր պարամետր է, որով որոշվում է էլեկտրական հոսանքի անհրաժեշտ հաճախությունը, տեղակայանքի ՕԳԳ-ն և տաքացման տևողությունը:



Նկ. 1.4. Հոսանքի խտրության կախվածությունը ջերմաստիճանից.

T_K - պողպատի ջերմաստիճան, 1 - Կյուրիի կետից ցածր, 2 - Կյուրիի կետից բարձր

Հզորության իրական արժեքը, որն անջատվում է Δ հաստությամբ շերտի մակերևույթին, հոսանքի խտության իրական բաշխման դեպքում, համաձայն նկ. 1.1-ի, որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ [78].

$$P_{\Delta} = \int_0^{\Delta} \delta_0^2 e^{-2x/\Delta} a \rho dx = \delta_0^2 a \rho \frac{\Delta}{2} e^{-2x/\Delta} \Big|_0^{\Delta} = H_0^2 \frac{\rho}{\Delta} a l (1 - e^{-2x/\Delta}) = 0,865 H_0^2 \frac{\rho}{\Delta} a l = 0,865 P_a, \quad (1.3)$$

որտեղ P_a -ն մակերևույթով թափանցող և մետաղի զանգվածում անջատվող էլեկտրամագնիսական հզորությունն է, H_0 -ն՝ մագնիսական դաշտի լարվածությունը:

Հզորության բերված (1.3) բանաձևը նշանակում է, որ իրականում Δ հաստությամբ մետաղի մակերևույթային շերտում, որը հավասար է հոսանքի թափանցման խորությանը, անջատվում է մետաղ թափանցած լրիվ հզորության 86,5%-ը: (1.3)-ում ստացված 0,865 մեծությունը տաքացման տեսական ՕԳԳ-ն է: Մետաղի տաքացման ՕԳԳ-ն ունի հետևյալ բաղադրիչները.

- ջերմային ՕԳԳ՝ մետաղի ջերմաստիճանի բարձրացման վրա ծախսվող էներգիայի հարաբերությունը ինդուկտորից տրվող լրիվ էներգիային,
- էլեկտրական ՕԳԳ՝ մետաղին տրված էներգիայի հարաբերությունն է ինդուկտորի լրիվ էներգիային,
- լրիվ ՕԳԳ՝ ջերմային և էլեկտրական ՕԳԳ-ների արտադրյալն է:

Էլեկտրական ՕԳԳ-ն կախված է տաքացվող մետաղի ֆիզիկական հատկություններից, երկրաչափական չափսերից և ինդուկտորի նյութից:

Ինդուկտորի ՕԳԳ-ն ունի հետևյալ արտահայտությունը [72, 74].

$$\eta_{II} = \frac{1}{1 + \frac{D_1 \rho_1 \Delta_2}{D_2 \rho_2 \Delta_1}} = \frac{1}{1 + \frac{D_1}{D_2} \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2 \mu}}}, \quad (1.4)$$

որտեղ համապատասխանաբար նշանակված են. D_1, D_2 -ը՝ ինդուկտորի ներքին և մետաղական գլանի տրամագծերը, ρ_1, ρ_2 -ը՝ ինդուկտորի հաղորդալարի և տաքացվող մետաղի տեսակարար դիմադրությունները, Δ_1, Δ_2 -ը՝ ինդուկտորի հաղորդալարի նյութում և տաքացվող մետաղում ՀԹԽ-ները, μ -ն՝ մետաղի հարաբերական մագնիսական թափանցելիությունը:

Ինդուկտորի ՕԳԳ-ի սահմանային արժեքը որոշվում է հետևյալ կերպ [78].

$$\eta_{\text{пред}} = \frac{1}{1 + \frac{\Pi_1}{\Pi_2} \cdot \frac{1}{K_{3,u}} \sqrt{\frac{\rho_1 \mu_1}{\rho_2 \mu_2}}}, \quad (1.5)$$

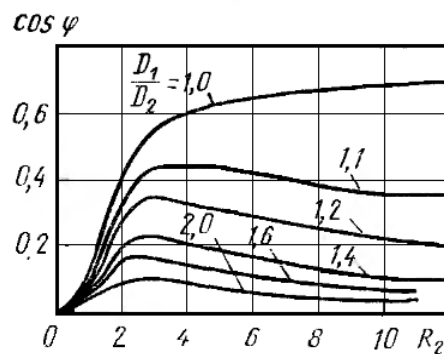
որտեղ համապատասխանաբար նշանակված են. Π_1, Π_2 -ը՝ ինդուկտորի և տիգելում տեղադրված տաքացվող մետաղի պարամետրերը (տիգելի ներքին տրամագիծը), ρ_1, ρ_2 -ը՝ տիգելի նյութի և տաքացվող մետաղի տեսակարար դիմադրությունները, μ_1, μ_2 -ը՝ տիգելի նյութի և տաքացվող մետաղի հարաբերական մագնիսական թափանցելիությունները, $K_{3,u}$ -ն՝ միջգալարային մեկուսացման հաստությունը և ինդուկտորի կոճի փաթույթի խտությունը հաշվի առնող ինդուկտորի լցման գործակիցը:

Բերված (1.5) արտահայտությունից հետևում է, որ սահմանային ՕԳԳ-ի մեծացման նպատակով հարմար է ինդուկտորը պատրաստել ոչ մագնիսական նյութից՝ ($\mu_I = 1, 0$) նվազագույն տեսակարար դիմադրությամբ: Ինդուկցիոն տեղակայանքի ՕԳԳ-ն ամբողջությամբ կախված է նաև սնման բարձրահաճախական աղբյուրի ՕԳԳ-ից:

Սովորաբար ինդուկցիոն տիգելային վառարանների համար [12, 14] էլեկտրական ՕԳԳ-ն գտնվում է 0,6 ... 0,8 միջակայքում, ընդ որում վերին սահմանը վերաբերում է սև մետաղների հալեցման մեծ տարողությամբ վառարաններին, ներքինը՝ գունավոր մետաղների հալեցման փոքր տարողությամբ վառարաններին: Ջերմային ՕԳԳ-ն՝ $\eta_{\text{ջերմ}} = 0,8 \dots 0,85$: Այսպիսով, ինդուկցիոն տիգելային վառարանների ընդհանուր ՕԳԳ-ն գտնվում է 0,48 ... 0,68 սահմաններում:

«Ինդուկտոր-բեռ» համակարգի հզորության գործակիցը կախված է ինդուկտորի և մետաղի միջև օդային բացակի մեծությունից, տաքացվող մետաղի էլեկտրաֆիզիկական հատկություններից, հոսանքի հաճախությունից և ինդուկտորի երկրաչափական չափսերից:

Նկ. 1.5-ում բերված է «ինդուկտոր-բեռ» համակարգի հզորության գործակցի կախվածությունը տաքացվող մետաղի գլանի R_2 հարաբերական շառավղից՝ ինդուկտորի և բեռի տրամագծերի D_1/D_2 հարաբերության տարբեր արժեքների դեպքում (որպես բացակի չափսեր) [78]:



Նկ. 1.5. «Ինդուկտոր-բեռ» համակարգի հզորության գործակցի կախվածությունը բացակի մեծությունից

Ինդուկցիոն տիգելային վառարանների հզորության գործակիցը ցածր է և կազմում է 0,08 ... 0,25: Որոշ դեպքերում այն բարձրացնելու համար օգտագործում են կոմպենսացնող կոնդենսատորներ, որոնց ունակությունները պետք է հաշվի առնել օպտիմալացման հաշվարկում: Հաճախության բարձրացմանը զուգընթաց ռեակտիվ հզորության կոմպենսացման հզորությունը և, հետևաբար, կոնդենսատորների ունակությունները փոքրանում են [14, 71]:

Հայման գործընթացի կարգավորումը: Գրեթե ողջ կլանված էներգիան անջատվում է մետաղի շերտում, որի հաստությունը հավասար է ՀԹԽ-ին: Ինչպես արդեն նշվել է, էլեկտրամագնիսական դաշտում գտնվող նյութում ՀԹԽ-ն հակադարձ համեմատական է հոսանքի հաճախությանը: Էներգիայի անջատումը կախված է այդ հաճախությունից, տիգելի և ինդուկտորի տրամագծերի հարաբերակցությունից, չափսերից ու տեսակարար դիմադրությունից, մետաղի մագնիսական

թափանցելիությունից: Վառարանի ամենաբարձր ՕԳԳ-ն և տաքացման նվազագույն ժամանակը տեղի ունեն հաճախության և նշված պարամետրերի որոշակի հարաբերակցության դեպքում:

Հալման և դրա կառավարման տեխնոլոգիական ռեժիմն ապահովվում է էլեկտրասնման աղբյուրով՝ հաճախության կերպափոխչով [10, 13, 46, 47, 51, 59, 83]: Կերպափոխչի ելքային լարումը, հզորությունը, ինչպես նաև ինվերտորի կոմուտացման կայունությունը, որոնք որոշվում են տիրիստորի փակման համար առաջադրված ժամանակով, խիստ կախված են բեռի պարամետրերից:

Բեռում (մետաղի զանգվածում) անջատված հզորության կարգավորումն իրականացվում է կամ ինվերտորի մուտքում հաստատուն լարման կարգավորմամբ կամ էլ ինդուկտորում հոսանքի հաճախության կարգավորմամբ:

Իրականում հալեցման գործընթացում էլեկտրական պարամետրերը փոփոխվում են և շեղվում են օպտիմալից: Գործնականում $50\%g$ հաճախությունն օգտագործվում է մեծ տարողությամբ տիգելային վառարաններում:

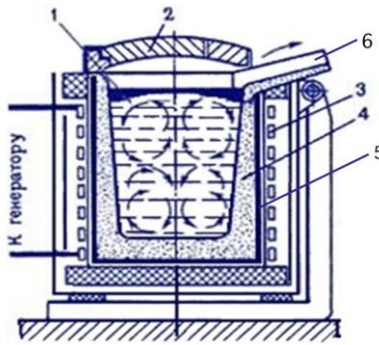
Վառարանի տարողության փոքրացումով անհրաժեշտ հաճախությունն աճում է՝ տիգելային վառարաններում հասնելով մի քանի տասնյակ կիլոհերցերի:

Ինդուկտորին բերված բեռի ակտիվ և ռեակտիվ դիմադրությունները (ինդուկտոր-տիգել-մետաղ) զգալի փոփոխվում են տաքացման գործընթացում, ինչպես նաև կախված են տիգելի բեռնման աստիճանից: Համապատասխանաբար փոփոխվում են $\angle\theta$ -ն, հզորությունը, հզորության գործակիցը ($\cos\varphi$) և ՕԳԳ-ն:

Ինդուկցիոն բարձրահաճախական տիգելային տեղակայանքի կառուցվածքը:

Համաձայն նկ. 1.1բ-ում բերված սխեմատիկ պատկերի՝ մետաղների հալեցման ինդուկցիոն տիգելային վառարանը ներկայացնում է հալման գլանաձև տիգել՝ պատրաստված հրակայուն նյութից և տեղադրված ինդուկտորի խոռոչում, որի հաղորդալարը միացված է փոփոխական հոսանքի աղբյուրին: Հալման ենթակա մետաղական բովախառնուրդը բեռնված է տիգելում: Տիգելային վառարանի կառուցվածքը պատկերված է նկ. 1.6-ում:

ՍԿՏ տեսակի ինդուկցիոն տեղակայանքի տիգելային վառարանի ընդհանուր տեսքը բերված է նկ. 1.7-ում [17, 98]:



Նկ. 1.6. Տիգելային վառարանի սկզբունքային կառուցվածքը.

- 1- բովախառնուրդ (հալույթ), 2 - կափարիչ, 3 - ինդուկտոր, 4 - հալման տիգել, 5 - ջերմամեկուսացում, 6 - դարձարկման ծորան

Տիգելը պատրաստվում է հրակայուն նյութերից՝ էլեկտրաանհաղորդ (շամոտ) կամ էլեկտրահաղորդող (պողպատ, գրաֆիտ կամ գրաֆիտ-շամոտ): Տիգելը պետք է ունենա պատի հնարավոր նվազագույն հաստություն՝ բարձր էլեկտրական ՕԳԳ ստանալու համար, բարձր ջերմաստիճանի և ծագած մեխանիկական ուժերի պայմաններում պետք է լինի մեխանիկապես ամուր:



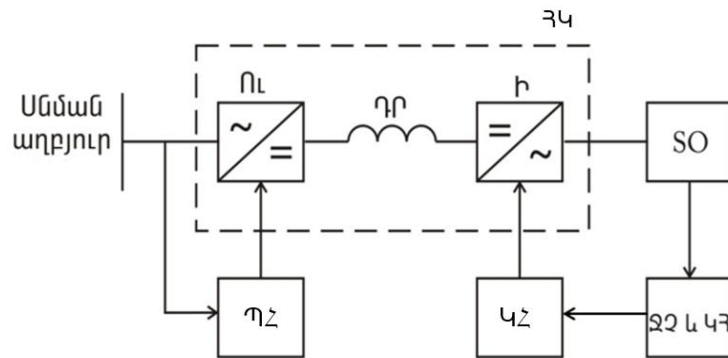
Նկ. 1.7. ՄՍՏ տեսակի ինդուկցիոն տեղակայանքի տիգելային վառարանի ընդհանուր տեսքը

Էլեկտրաանհաղորդ տիգելով ինդուկցիոն վառարաններում բեռը (մետաղի բովախառնուրդը) տաքացվում է մետաղում ինդուկտված հոսանքներով, իսկ տիգելը համարժեք է օդային բացակի: Էլեկտրահաղորդող տիգելով ինդուկցիոն վառարաններում, եթե տիգելի պատի հաստությունը կրկնակի անգամ գերազանցում է տիգելի նյութում ՀԹԽ-ն, ապա ինդուկտված հոսանքները կենտրոնանում են հիմնականում տիգելի պատին, որտեղ էլ անջատվում է ջերմությունը, բեռը տաքանում

է միայն ջերմահաղորդման ճանապարհով: Տիգելի պատի փոքր հաստության դեպքում էլեկտրամագնիսական դաշտը թափանցում է բեռի մեջ, և էներգիան անջատվում է ինչպես տիգելի պատերին, այնպես էլ հենց բեռում: Տիգելն ունի արտաքին ջերմամեկուսացում, որը նախատեսված է ջերմային կորուստների նվազեցման համար:

Ինդուկտորը նախատեսված է էլեկտրամագնիսական դաշտ ստեղծելու համար և մակաձում է հոսանք մետաղի բովախառնուրդում (հաղորդիչ տիգելի դեպքում՝ նաև տիգելի պատին): Ինդուկտորում հոսանքները փոքր տարողությամբ վառարաններում հասնում են մի քանի հարյուր և հազար Ամպեր մեծության՝ հոսանքի միջին խտության մինչև 20 Ա/մ^2 դեպքում: Ինդուկտորում էլեկտրական կորուստները հասնում են վառարանի օգտակար հզորության $20 \dots 30\%$ -ին: Առկա է նաև տիգելում հալվող մետաղի ջերմության կորուստ՝ դրա պատի միջով դեպի շրջակա միջավայր, ինչը տվյալ դեպքում տաքացնում է ինդուկտորը: Նշված ջերմային կորուստներն անհրաժեշտ է հեռացնել ինդուկտորից՝ դրա տաքացումից խուսափելու համար: Ինդուկտորի հովացման համար օգտագործվում է հաղորդիչների ջրային սառեցում: Դրա համար ինդուկտորի փաթույթը պատրաստվում է պղնձե սնամեջ հաղորդիչից, որով բաց է թողնվում սառեցնող ջուրը՝ ապահովելով ջերմության հեռացումը:

Ինդուկցիոն ԲՀՏՏ-ի կառուցվածքային սխեման բերված է նկ. 1.8-ում:

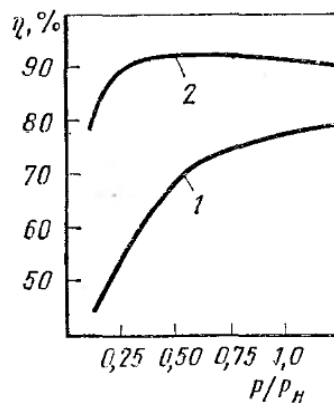


Նկ. 1.8. Ինդուկցիոն բարձրահաճախական տեղակայանքի կառուցվածքային սխեման.
 ՀԿ - հաճախականային կերպավորիչ, ՈԼ - ուղղիչ, ԴՐ - դրոսել, Ի - ինվերտոր, ՊՀ - պաշտպանության հանգույց, ԿՀ - կառավարման համակարգ, ՋԶ և ԿՀ - ջերմաստիճանի չափման և կարգավորման համակարգ, SO - տաքացման օբյեկտ

Տեղակայանքը բաղկացած է տիգելից, որում տեղադրված է հալեցվող մետաղի բովախառնուրդը, ինդուկտորից, որն ընդգրկում է տիգելը, էլեկտրասնման աղբյուրից, որի մուտքը միացված է արդյունաբերական ցանցին, ելքը՝ ինդուկտորին:

Էլեկտրասնման աղբյուրը հաճախության տիրիստորային կամ տրանզիստորային կերպափոխիչ է, որով ցանցի 50Հg հաճախությամբ լարումը կերպափոխվում է բարձրահաճախական կարգավորվող լարման ինդուկտորի սնման համար [13, 46, 57, 59, 68, 75]:

Կերպափոխիչը պատրաստվում է միջանկյալ հաստատուն հոսանքի օղակով և բաղկացած է ուղղիչից, ինդուկտիվ ֆիլտրից և ինվերտորից: Բարձրահաճախական ինվերտորները սովորաբար իրագործվում են տիրիստորների վրա ռեզոնանսային ինվերտորի սխեմայով [12, 14, 28, 48, 60, 62, 73, 79]: Վերջին ժամանակներս լայն տարածում են գտել IGBT տրանզիստորների վրա կառուցված ինվերտորները: Ուղղիչը եռաֆազ է, ինվերտորը՝ միաֆազ: Հնարավոր է, որ մուտքում միացված լինի աղմկաճնշիչ ֆիլտր: Որպես բարձրահաճախական էլեկտրասնման աղբյուր կարող է օգտագործվել նաև հաճախության էլեկտրամեքենայական կերպափոխիչ [56, 61]: Սակայն ներկայումս դրանց օգտագործումը նկատելիորեն սահմանափակ է հաճախության կարգավորման անհնարինության կամ սահմանափակության, ինչպես նաև ցածր ՕԳԳ-ի պատճառով (նկ. 1.9) [78]:



Նկ. 1.9. Հաճախության մեքենայական (1) և ստատիկ (2) կերպափոխիչների ՕԳԳ-ները

Ինդուկցիոն ԲՀՏՏ-ների բնութագրերը: Ցածր և միջին հզորության բարձրահաճախական ինդուկցիոն վառարանների հիմնական բնութագրերը բերված են աղ. 1.1 - 1.3-ում [25, 41, 44, 60, 69]: Ինդուկցիոն տիգելային վառարաններն

իրագործվում են ինդուկտորում հոսանքի տարբեր հաճախությունների համար. ցածր՝ արդյունաբերական $50 < g$, միջին՝ $0,5 \dots 10 < g$ և բարձր՝ $\geq 440 < g$ [45]: Վառարանի տարողությունը և հզորությունը փոքրացնելիս էլեկտրասնման հաճախությունը բարձրանում է:

Հայտնի են տիրիստորային և տրանզիստորային կերպափոխիչների տարբեր տեսակներ բարձրահաճախական ինդուկցիոն վառարանների սնման, սև և գունավոր մետաղների հալեցման համար [17, 20, 58, 96, 97, 98]:

Աղյուսակ 1.1

ИПК մակնիշի միջին հզորության բարձրահաճախական ինդուկցիոն վառարանների հիմնական բնութագրերը սև և գունավոր մետաղների հալեցման դեպքում

Անվանումը	Մակնիշը	Տարողությունը, տ	Հզորությունը, կՎտ	Արտադրողականությունը, տ/ժ	Էլեկտրաէներգիայի ծախսը, կՎտժ/տ
Սև մետաղների հալում (պողպատ)	ИПК-СТ-0,1	0,1	100	0,11 – 0,18	900 – 775
	ИПК-СТ-0,15	0,15	100	0,10 – 0,20	900 – 775
	ИПК-СТ-0,2	0,25	160	0,19 – 0,37	820 – 640
Գունավոր մետաղների հալում (պղինձ)	ИПК-МЕ-0,18	0,18	100	0,17	560
	ИПК-МЕ-0,30	0,30	160	0,30	540
	ИПК-МЕ-0,60	0,60	250	0,48	520
Ալյումինի հալում	ИПК-АЛ-0,05	0,05	50	0,07	670
	ИПК-АЛ-0,08	0,08	50	0,07	670
	ИПК-АЛ-0,15	0,15	100	0,15	665

Բարձրահաճախական ինդուկցիոն տեղակայանքի առավելություններն են.

1. Բարձր տեսակարար հզորության հետևանքով բարձր արտադրողականությունը:

2. Տիգելից հալվող մետաղի լրիվ հալույթի դատարկման հնարավորությունը և արագ անցումը հալվող մետաղի մի տեսակից՝ մյուսին:

3. Տիգելում հալույթի ինտենսիվ էլեկտրադինամիկ շրջանառությունը, ինչն ապահովում է մանր բովախառնուրդի արագ հալում, տիգելի ողջ ծավալով ջերմաստիճանի հավասարեցում և միասեռ բազմաբաղադրիչ հալույթի ստացում:

4. Բարձր ՕԳԳ-ն՝ հրային և էլեկտրաաղեղնային վառարանների համեմատ:

Բարձրհաճախական ինդուլցիոն տեղակայանքի թերություններն են.

1. Ինդուկտորում հոսանքի բարձր հաճախությունը, ինչը հատկապես բնորոշ է ցածր հզորության տեղակայանքներին: Տիգելի ծավալի և հզորության փոքրացման միջոցով հոսանքի հաճախությունը պետք է բարձրանա՝ ընդհուպ մինչև տասնյակ և հարյուրավոր կՀց:

2. Տեղակայանքում ԲՀԿ-ի օգտագործման անհրաժեշտությունը, ինչը զգալիորեն բարձրացնում է տեղակայանքի գինը և զանգվածաչափսային ցուցանիշները:

3. ԲՀՏՏ-ները կրիտիկական են գերբեռնման և սնող ցանցի լարման տատանումների նկատմամբ, ինչի հետևանքով սահմանափակվում է ինվերտորային կերպափոխիչների կոմուտացման կայունությունը:

Աղյուսակ 1.2

ՄՍՏ մակնիշի միջին հզորության տիրույթային կերպափոխիչով բարձրահաճախական ինդուլցիոն վառարանների հիմնական բնութագրերը սև և գունավոր մեքաղների հալեցման դեպքում

Մակնիշը	Տիգելի տարողությունը, տ	Կերպափոխիչի հզորությունը, կՎտ	Հաճախությունը, կՀց	Ջրի ծախսը, մ ³ /ժ	Էլեկտրաէներգիայի ծախսը, կՎտժ/տ
ՄՍՏ-0,06	0,06	100	2,4	3,9	1100
ՄՍՏ-0,16	0,16	160	2,4	5,1	885
ՄՍՏ-0,25	0,25	320	1,0	7,8	780
ՄՍՏ-0,4	0,4	320	1,0	10,0	690
ՄՍՏ-1,0	1,0	500	1,0	11,0	620

4. Բարձր հաճախության օգտագործման հետ կապված անհրաժեշտ է ապահովել ինդուկտորի փաթույթի մեկուսացման ուժեղացում, ինդուկտորից մետաղական առարկաների հեռացում, սարքավորման հանգույցների իրանների մեկուսացման ուժեղացում՝ դրանցում մրրկային հոսանքների թափանցումից և գերտաքացումից խուսափելու համար, ցածր տեսակարար դիմադրությամբ մետաղի հալման դեպքում ՕԳԳ-ն ցածր է:

5. Սնող էլեկտրական ցանց և շրջակա միջավայր թափանցած բարձրահաճախական աղավաղումներն ավելին են, քան խուղակային տեղակայանքներում [19]:

6. Էներգիայի համեմատաբար մեծ կորուստները խուղակային տեղակայանքների համեմատ, ցածր ՕԳԳ-ն:

Աղյուսակ 1.3

ИПП մակնիշի ցածր հզորության տրանզիստորային կերպափոխիչով բարձրահաճախական ինդուկցիոն վառարանների հիմնական բնութագրերը սև և գունավոր մետաղների հալեցման դեպքում

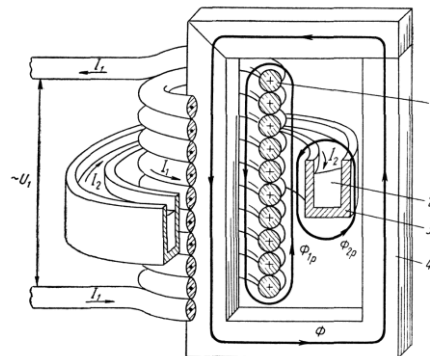
Մակնիշը	Վառարանի տարողությունն ըստ ողպատի/ թուջի, կգ	Վառարանի տարողությունն ըստ պղնձի/ թանկարժեք մետաղների, կգ	Կերպափոխիչի հզորությունը, կՎտ	Ջրի ծախսը, մ ³ /ժ	Տեղակայանքի զանգվածը, կգ
ИПП-25	4/8	10/20	25	0,06	~ 163
ИПП-40	10/14	20/30	40	0,06	~ 212
ИПП-60	18/22	40/50	60	0,06	~ 286
ИПП-80	30	60/80	80	0,09	~ 393
ИПП-100	50	80/100	100	0,11	~ 456
ИПП-120	70	100/150	120	0,14	~ 485
ИПП-160	90	120/170	160	0,16	~ 760

1.3. Մետաղների հալեցման ցածրահաճախական խուղակային տեղակայանք

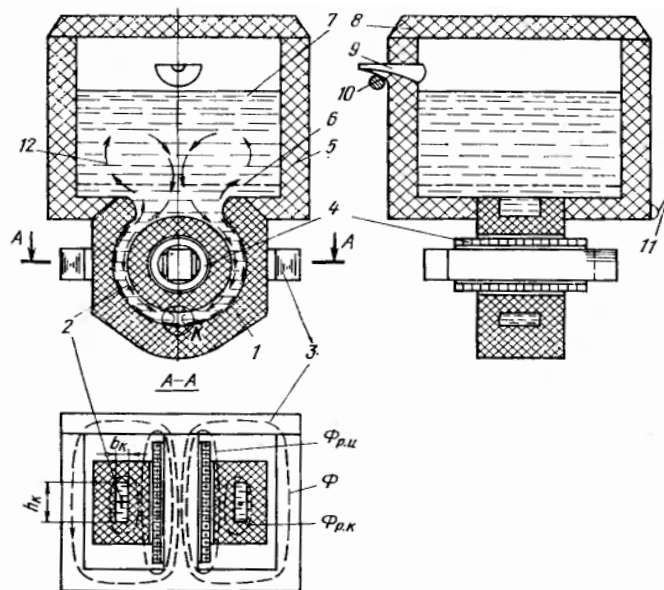
Ինդուկցիոն խուղակային տեղակայանքն իր մեջ ընդգրկում է տրանսֆորմատոր, որը սովորաբար անմիջապես սնվում է արդյունաբերական 50Հց հաճախությամբ ցանցից և աշխատում կարճ միացման ռեժիմում: Առաջնային փաթույթը մագնիսալարն ընդգրկող ինդուկտոր-սուլենոիդն է [90, 100]: Տրանսֆորմատորի երկրորդային փաթույթ է ծառայում հալված մետաղի զանգվածը, որը գտնվում է վառարանի խուղակում: Խուղակային վառարանի տեղակայանքի սխեման բերված է նկ. 1.1ա և նկ. 1.10-ում:

Նոր տեսակի վառարաններն ունեն ուղղահայաց փակ օղակաձև խուղակ, որն անցնում է հրակայուն զանգվածով, այսպես կոչված, տակաքարով (նկ. 1.11, նկ. 1.12) [1, 50, 78]: «Ինդուկտոր-մագնիսալար» համակարգը կոչում են «վառարանային տրանսֆորմատոր»: Վառարանային տրանսֆորմատորից և խուղակով տակաքարից

կազմված համակարգը կոչում են «ինդուկցիոն միավոր»: Խտուղակային վառարանը կարող է ունենալ մի քանի ինդուկցիոն միավոր: Իր հերթին յուրաքանչյուր ինդուկցիոն միավոր կարող է պարունակել մի քանի հալման խտուղակ:



Նկ. 1.10. Ինդուկցիոն խտուղակային վառարանի տեղակայանքի կառուցվածքային սխեման.
 1 – ինդուկտոր, 2 – մետաղ, 3 – խտուղակ, 4 – մագնիսալար, Φ – հիմնական մագնիսական հոսք,
 Φ_{1p}, Φ_{2p} – ցրման մագնիսական հոսք, U_1, I_1 – ինդուկտորի շղթայում լարումը և հոսանքը,
 I_2 – մետաղում հոսանքի թափանցելիությունը



Նկ. 1.11. Մետաղների հալեցման ինդուկցիոն խտուղակային վառարան.
 1 - տակաքար, 2 - հալման խտուղակ, 3 - մագնիսալար, 4 - ինդուկտոր, 5 - վառարանի տաշտ,
 6, 7 - հալվող մետաղի օգտակար զանգվածի մակարդակը՝ համապատասխանաբար մինչև հալույթը և հալույթից հետո, 8 - կափարիչ, 9 - դափարկման ծորան, 10 - վառարանի պարաման առանցք, 11 - վառարանի թեքման մեխանիզմի ճոպան, 12 - հալույթի շարժման ուղղությունը՝ պայմանավորված խտուղակում էլեկտրամագնիսական ուժերով, K - մետաղի առավելագույն ջերմաստիճանի գոլիին

Հիմնական մագնիսական հոսքը խուղակի մետաղում ինդուկցում է էլշու, որով առաջանում է հոսանք և որով էլ տաքանում է մետաղը: Օղակաձև խուղակում անջատվող ջերմությունը հաղորդվում է մետաղի մնացած զանգվածով, որը գտնվում է տաշտում հաղորդիչ խուղակի վրա: Այդ ջերմության ազդեցության տակ տաշտում գտնող մետաղը հալվում է: Այս դեպքում առաջացած էլեկտրադինամիկ ուժերն առաջ են բերում խուղակի և տաշտի մետաղի անընդհատ փոխանակում, ինչն ապահովում է բովախառնուրդի հալումը, խառնումը, հալույթի ապագազացումը և քիմիական կազմության հավասարեցումը:



Նկ. 1.12. Խուղակային ինդուկցիոն վառարանի ընդհանուր տեսքը

Այսպիսի վառարաններին բնորոշ հատկությունը երկու գոտու առկայությունն է՝ էներգիայի անջատման (ինդուկցիոն միավոր) և հալման (վառարանի տաշտ): Ինդուկցիոն միավորը տրանսֆորմատոր է, որի երկրորդային փաթույթը մետաղն է: Ի տարբերություն ԲՀՏՏ-ների, որտեղ մետաղի տաքացումը կատարվում է մետաղում ինդուկտված բարձրահաճախական մրրկային հոսանքներով, խուղակային վառարաններում տեղի ունի մետաղի օհմական տաքացում՝ արդյունաբերական հաճախությամբ կերպափոխված հոսանքներով: Խուղակային վառարաններում ջերմային էներգիան անջատվում է խուղակի հեղուկ մետաղում և հաղորդվում վառարանի տաշտին ջերմահաղորդականությամբ՝ փոքր ծավալի հաշվին, ինչպես խուղակի մետաղում ինդուկցված էլեկտրամագնիսական ուժերի, այնպես էլ խուղակում և վառարանի տաշտում մետաղի խտության տարբերության արդյունքում: Տեղի ունի նաև ջերմության

հաղորդում կոնվեկցիայի հաշվին:

Ինդուկցիոն խուղակային վառարաններն ունեն տարբեր կառուցվածքային կատարումներ: Վառարանը հավաքա-եռակցված կառուցվածք է, որտեղ եռակցման շրջանակում ամրացված է եռակցված տաշտը: Տաշտի խոռոչը (կամ շերտը) աղյուսապատված է հրակայուն և ջերմամեկուսիչ նյութերով և պաշտպանված է մետաղական կափարիչով, որն ունի պատուհան՝ հավված մետաղը նայելու: Աղյուսապատված տաշտը պարունակում է հավվող մետաղի գրեթե ողջ զանգվածը [34, 70, 72]:

Խուղակային վառարանների ինդուկտորները կառուցվում են պղնձե խողովակով, որն ունի ջրային հովացում, իսկ խուղակային մասի տակաքարը հովացվում է օդափոխիչով:

ԲՀՏՏ-ի համեմատ խուղակային տեղակայանքի հիմնական առավելությունն այն է, որ վերջինս սնվում է անմիջապես արդյունաբերական ցանցից 50Հg հաճախությամբ (կամ միջանկյալ տրանսֆորմատորի միջոցով) և բացակայում է բարձր հաճախության հատուկ աղբյուրի օգտագործման անհրաժեշտությունը: Բացի այդ, ի տարբերություն տիգելային տեղակայանքների, որոնցում ՕԳԳ-ն սահմանափակված է հոսանքի հաճախությամբ և մետաղում հոսանքի թափանցման խորությամբ, խուղակային տեղակայանքներում, որտեղ օգտագործվում է մետաղի օհմական տաքացման սկզբունքը, ՕԳԳ-ն սահմանափակված չէ:

Ինդուկցիոն խուղակային վառարանների տարողությունը ըստ զանգվածի հասնում է մինչև 250տ :

Ինդուկցիոն խուղակային վառարանները ներկայումս կատարվում են փոփոխվող ինդուկցիոն միավորով՝ 200 -ից 1000կՎԱ հզորությամբ: Խուղակային վառարանների տեսակարար հզորությունը 200կՎտ/տ կարգի է: Էլեկտրաէներգիայի ծախսը թուջի հալման դեպքում կազմում է $500 \dots 600\text{կՎտժ/տ}$:

Մինչև 300կՎտ հզորության ինդուկցիոն միավորները կարող են սնվել 380Վ լարման անհատական միաֆազ էլեկտրավառարանային ավտոտրանսֆորմատորով՝ երկրորդային լարման ձեռքով կամ ավտոմատ կարգավորումով $0 \dots 500\text{Վ}$ սահմաններում՝ կախված վառարանի արտադրողականությունից: Էլեկտրական ռեժիմի պարամետրերը պահպանելու համար կարգավորումը կարող է իրականացվել ըստ

պահանջվող ջերմաստիճանի որոշակի մակարդակում: Լարման կարգավորումը կատարվում է լարման աստիճանների հաջորդական փոխանջատմամբ:

Ինդուկցիոն խուղակային վառարանների հզորության գործակիցը համեմատաբար բարձր է (0,4 ... 0,8) [78], և ռեակտիվ հզորության կոմպենսացման համար պահանջվում է համեմատաբար ոչ մեծ կոնդենսատորային մարտկոց: Սնող տրանսֆորմատորի աստիճանների փոխանջատումների դեպքում կոնդենսատորի և համապատասխան կոմուտացնող ու կարգավորող սարքավորումների փոխանջատում չի պահանջվում:

Ինդուկցիոն խուղակային վառարանի առանձնահատկություններից է բարձր էլեկտրական ՕԳԳ-ն (90 ... 95%), որը կախված չէ հալույթի քանակից: Տիգելային վառարանների համեմատ այստեղ կոնդենսատորային մարտկոցների պահանջարկը քիչ է, տաշտի ներսում առկա է հալույթի բավարար շրջանառություն:

Խուղակային ինդուկցիոն վառարանների աշխատանքի պարտադիր պահանջ է նախորդ հալույթից մնացորդի պահպանումը վառարանում (սովորաբար վառարանի լրիվ տարողության 25 ... 30% չափով) սկզբնական ԿՓԳ-ի հաղորդականության պահպանման նպատակով:

Ինդուկցիոն խուղակային վառարանները նախատեսված են անընդհատ աշխատանքի համար՝ հազվադեպ անցումներով մետաղի մի տեսակից մյուսին: Ինդուկցիոն խուղակային վառարանները հիմնականում կիրառում են ալյումինի և դրա համահալվածքների հալման, ինչպես նաև պղնձի և դրա մի քանի համահալվածքների համար: Վառարանի մյուս տեսակները նախատեսված են որպես հարիչներ հեղուկ թուջը, գունավոր մետաղները և համահալվածքները ձուլակաղապարներում լցնելուց առաջ պահելու և գերտաքացնելու համար:

Աղեղնային և ինդուկցիոն տիգելային վառարանների համեմատ խուղակային վառարանները և հարիչները ըստ կապիտալ ներդրումների էժան են և, բացի այդ, պահանջում են էլեկտրական էներգիայի քիչ ծախս թուջի հալման և գերտաքացման համար:

Աղ.1.4-ում բերված են ՈԸ, ՈԸԿ, ՈՊԿ տեսակի ինդուկցիոն խուղակային վառարանների հիմնական բնութագրերը ցինկի և դրա հիմքով համաձուլվածքների

հավման և պահման համար [91, 92, 95]:

ԲՀՏ ինդուկցիոն տեղակայանքների համեմատ ՑՀԽՏ-ների առավելություններն են.

1. Արդյունաբերական 50Հg հաճախության օգտագործումը և հաճախության կերպափոխիչների բացառումը:

2. Փակ մագնիսալար օգտագործելու հետևանքով բարձր ՕԳԳ-ի ապահովումը:

3. Բարձրահաճախական խանգարումների ցածր մակարդակը (ներթափանցող սնող ցանց և շրջակա միջավայր, այդ թվում՝ նաև հաճախականային ռադիոտիրոյթ):

Աղյուսակ 1.4

ՄԼ, ՄԼԿ, ՄՊԿ մակնիշների ՑՀԽ վառարանների հիմնական բնութագրերը

Մակնիշը	ՄԼ-20	ՄԼ-21	ՄԼԿ-40c-1	ՄԼԿ-40	ՄՊԿ-1Մ-1	ՄՊԿ-6Մ
Տարողունակությունը, տ	20	25	40	40	1,3	10,3
Հզորությունը, կՎտ	220	540	700	1390	250	316 x 4
Ֆազերի քանակը	3	3	3	2	1	1
հզորության գործակիցն առանց կոմպենսացման	0,6	0,65	0,63	0,63	0,7	0,32

ՑՀԽՏ-ների թերություններն են.

1. Խուղակի և տակաքարի աղյուսաշարվածքի (ներպատվածքի) աշխատանքային ծանր պայմանները, ինչը հանգեցնում է աղյուսաշարվածքի ծառայության ժամկետի կտրուկ կրճատմանը, խուղակային վառարանների օգտագործումը պողպատի հավման համար սահմանափակվում է դրա ոչ բավարար կայունության պատճառով:

2. Խուղակում նստվածքների պարբերական մաքրման անհրաժեշտությունը, հատկապես համաձուլվածքների հավման ժամանակ, որոնք պարունակում են ցինկ, անագ և կապար:

3. Վառարանում հավված վիճակում համեմատաբար մեծ քանակությամբ մետաղը մշտապես պահելու անհրաժեշտությունը և խուղակի աղտոտման բացառման անհրաժեշտությունը: Խուղակային վառարանի աշխատանքը պահանջում է ապահովել հոսանքի մշտական փակ երկրորդային շղթա: Ամբողջ մետաղի դատարկումը հանգեցնում է աղյուսապատված խուղակների կտրուկ սառեցմանը և դրա ճարճքմանը:

Մետաղի սառեցումը խուղակում նույնպես չի թույլատրվում:

4. Վառարանային տրանսֆորմատորի աշխատանքի ծանր պայմանները՝ տաքացվող գոտում դրա տեղադրվելու հետևանքով, և դրա տաքացումը հալման խուղակի աղյուսաշարվածքի միջոցով:

5. Օգտագործման սահմանափակ ասպարեզը հիմնականում գունավոր մետաղների և դրանց համաձուլվածքների հալման, ինչպես նաև հալվող մետաղների՝ որպես հարիչների և բաժանող տեղակայանքի, համար:

1.4. Մետաղների հալեցման ԲՀՏՏ և ՑՀԽՏ համեմատությունը

Մետաղների հալեցման ԲՀՏ և ՑՀԽ տեղակայանքների համեմատական միջինացված բնութագրերը, որոնք որոշված են 1.2 և 1.3 ենթաբաժիններում կատարված ակնարկի և վերլուծության հիման վրա, բերված են աղյ. 1.5-ում:

Վերլուծելով ներկայացված տվյալները կարելի է եզրակացնել.

1. Արդյունաբերությունում օգտագործվող տեղակայանքների մեծ մասը, ինչպես տիգելային, այնպես էլ խուղակային, բարձր հզորության են՝ մի քանի տասնյակ տոննա տարողությամբ, մի քանի մեգավատտ էլեկտրական հզորությամբ:

2. ԲՀՏՏ-ների էլեկտրասնման հաճախությունը հասնում է մի քանի տասնյակ կիլոհերցերի, ընդ որում, տեղակայանքի հզորությունը փոքրացնելիս հաճախությունը բարձրանում է: Դա կապված է տիգելի տրամագծի և համապատասխանաբար տիգելում տեղադրված հալվող բովախառնուրդի տրամագծի փոքրացման հետ: Այս տեղակայանքները սնվում են հաճախության կերպափոխիչից, որտեղ կատարվում է հաճախության և լարման կարգավորում:

ՑՀԽՏ-ների էլեկտրասնման հաճախությունը 50Հg է և դրանք միանում են արդյունաբերական ցանցին լարման կարգավորիչի միջոցով:

3. ԲՀՏՏ-ների հզորության գործակիցը որոշվում է տիրիստորային ուղղիչի՝ ըստ ցանցի 50Հg հաճախության առաջին հարմոնիկի, հաճախության կերպափոխիչով սպառվող մուտքային հոսանքի փուլով: Հոսանքի փուլը որոշվում է կերպափոխիչի լարման կարգավորման խորությամբ: $\cos\varphi$ -ն կարող է ընդունել ցածր արժեքներ:

ՑՀԽՏ-ների հզորության գործակիցը որոշվում է ինդուկտորի փաթույթի ցրման

ինդուկտիվությամբ և մետաղի ԿՓԳ-ի ինդուկտիվությամբ՝ մետաղի գալարի տրված ակտիվ դիմադրության դեպքում: Մետաղի ԿՓԳ-ի խուղակը մագնիսալարից հեռացված է՝ հաշվի առնելով «ինդուկցիոն միավորի» կառուցվածքը, ինչի հետևանքով ԿՓԳ-ի ցրման ինդուկտիվությունը բարձրացված է, և համապատասխանաբար հզորության գործակիցը 1-ից փոքր է՝ մետաղի ԿՓԳ-ի ակտիվ բեռի դեպքում: Հզորության գործակիցը կախված է մետաղների տեսակից՝ դրանց տեսակարար ակտիվ դիմադրությունների տարբերության հետևանքով:

4. Ցանցից սպառված էլեկտրաէներգիան ծախսվում է մետաղի հալման, ջերմային և էլեկտրական կորուստների ծածկման վրա: Հալման էներգիայի բաղադրիչը, մետաղի տրված հավասար քանակի դեպքում, ԲՀՏՏ-ներում և ՑՀԽՏ-ներում նույնն է և որոշվում է մետաղի քանակով ու դրա հալման տեսակարար ջերմությամբ: Սակայն էներգիայի կորուստների բաղադրիչները տարբեր են:

ԲՀՏՏ-ներում ջերմային կորուստները բարձր են ինդուկտորի արտաքին մեծ մակերևույթի և տիգելում մետաղի արտաքին մակերևույթի բարձր ջերմաստիճանի հետևանքով, քանի որ հալումը կատարվում է բովախառնուրդի ողջ ծավալով, այն դեպքում, երբ խուղակային վառարանում տաքացման և հալման գործընթացները կատարվում են ներքևից՝ վերև: Ինդուկտորում ավելի բարձր են նաև էլեկտրական կորուստները, քան խուղակային վառարաններում՝ ինդուկտորի հաղորդչում մակերևույթային էֆեկտի առկայության պատճառով բարձր հաճախության և հաղորդչի ներքին ակտիվ դիմադրության մեծացման դեպքում: Տիգելային վառարանի ինդուկտորում հոսանքի խտությունն ավելի բարձր է, քան խուղակայինում, և հասնում է 20Ա/մմ²:

ԲՀՏՏ-ներում էլեկտրաէներգիայի տեսակարար ծախսը վերը շարադրվածի հետևանքով ավելի բարձր է, քան ՑՀԽՏ-ներում:

5. Ինդուկցիոն տաքացման ԲՀՏ վառարանների ջերմային ՕԳԳ-ն սահմանափակված է 0,685 արժեքով, ինչպես դա արդեն ցույց է տրվել (ենթաբաժին 1.2): Ցանցից ստացված այդպիսի ՕԳԳ-ով էլեկտրաէներգիան տրվում է բովախառնուրդին տաքացման և հալման համար: Մնացած մասը (31,5%) անջատվում է կորուստների տեսքով: ԲՀՏՏ-ների ՕԳԳ-ն իջնում է նաև հաճախության կերպափոխում կորուստների հետևանքով:

Այսպիսով, ԲՀՏՏ-ները՝ ըստ ՕԳԳ-ի, բավականին զիջում են օհմական տաքացման ՑՀԽՏ-ներին:

Աղյուսակ 1.5

Մեքաղների հալեցման ԲՀՏՏ-ների և ՑՀԽՏ-ների համեմատական բնութագրերը

Պարամետրերը		ԲՀՏՏ		ՑՀԽՏ
Սնման աղբյուրը		Բարձրահաճախական կերպափոխիչ		50Հց արդյունաբերական ցանցը
Էլեկտրասնման հաճախությունը		0,5 ... 50կՀց	66կՀց	50Հց
Տարողությունը		0,1 ... 2,5դ	12կգ	1 ... 250դ
Հզորությունը, կՎտ		100 ... 2400	7	մինչև 4400
Ֆազերի քանակը		3		1
Հզորության գործակիցը <i>cos φ</i>	պողպատ	Ցանցի լարման 50Հց հաճախությամբ կերպափոխիչի մուտքում հզորության գործակիցը որոշվում է կարգավորման խորությամբ		0,6 ... 0,8
	պղինձ			0,4 ... 0,5
	ալյումին			0,3 ... 0,4
	լատուն			0,7 ... 0,8
	ցինկ			0,5 ... 0,6
Էլեկտրաէներգիայի տեսակարար ծախսը կՎտժ/դ	պողպատ	500 ... 600		400 ... 500
	պղինձ	310 ... 340		270 ... 330
	ալյումին	450 ... 520		350 ... 500
	լատուն	200 ... 250		200 ... 240
	ցինկ	120 ... 130		90 ... 120
ՕԳԳ	պողպատ	0,48 ... 0,68		0,8 ... 0,86
	պղինձ			0,6 ... 0,72
	ալյումին			0,6 ... 0,85
	լատուն			0,75 ... 0,9
	ցինկ			0,8 ... 0,9
Գերբեռնման ընդունակությունը		Սահմանափակված է հաճախության կերպափոխիչի ինվերտորի կոմուտացման կայունության սահմանափակման հետևանքով		Ֆունկցիոնալ սահմանափակումները բացակայում են
Ինդուկտորի հովացումը		Ջրային ստիպողական		Ջրային ստիպողական

6. ԲՀՏՏ-ները կրիտիկական են գերբեռնման և սնող ցանցի լարման տատանումների նկատմամբ, ինչի հետևանքով սահմանափակվում է ինվերտորային կերպափոխիչների կոմուտացման կայունությունը:

7. Ինչպես ԲՀՏՏ-ները, այնպես էլ ՑՀԽՏ-ներն անհրաժեշտաբար պահանջում են ինդուկտորի ջրային հովացում:

Այստեղ առկա է որոշակի հակասություն. ջերմությունը ստանալու և այն բեռին

հաղորդելու համար նախատեսված տեղակայանքներում ջերմությունն անջատվում և արտանետվում է արտաքին միջավայր:

8. Ըստ լարման և դաշտի ԲՀՏՏ-ների կողմից ստեղծվող ռադիոխանգարումների մակարդակը բավականին բարձր է, քան ՅՀԽՏ-ներում՝ բարձրահաճախական կոմուտացնող կերպափոխիչների կիրառման և բարձրահաճախական հոսանք ցանցից սպառելու պատճառով:

1.5. Խնդրի առաջադրում

Սույն աշխատանքի նպատակի՝ մետաղների հալեցման բարձր տեխնոլոգիական արդյունավետությամբ ցածր հզորության էլեկտրական տեղակայանքների ստեղծման հայեցակարգի մշակման, բարձր տնտեսական և շահագործման ցուցանիշերով կատարելագործված ցածր հզորության խուղակային տեղակայանքի, դրա հետազոտության ու հաշվարկման համապատասխան մեթոդների մշակման ու հետազոտության իրագործման համար 1.2-1.4 ենթաբաժիններում դիտարկված և վերլուծված հզոր ԲՀՏՏ-ները և ՅՀԽՏ-ները կարող են դիտարկվել որպես նմանակ վերոհիշյալ ցածր հզորության տեղակայանքների համար:

Առաջադրված նպատակին հասնելու համար խիստ արդիական է նշված հզոր տեղակայանք-նմանակների, ինչպես նաև հայտնի ցածր հզորության ինդուկցիոն վառարանների կառուցվածքի օգտագործումը:

Ուստի անհրաժեշտ է հաշվի առնել հետևյալ հանգամանքները.

1. Ցածր հզորության տեղակայանքները նախատեսված են անհատական փոքրածավալ արտադրության և օգտագործման համար, որտեղ առաջնային պահանջներ են կառուցվածքի պարզությունը, բարձր տեխնիկատնտեսական ցուցանիշները՝ էլեկտրաէներգիայի փոքր ծախսը, բարձր ՕԳԳ-ն, ցածր կապիտալը և շահագործման ծախսերը:

2. Գոյություն ունեցող ցածր հզորության ԲՀՏ և ՅՀԽ տեղակայանքները իրագործվում են միևնույն տեխնիկական լուծումներով, որոնք օգտագործվում են հզոր տեղակայանքներում: Որպես արդյունք՝ խորանում են դրանց թերությունները: Օրինակ,

- ԲՀՏ տեղակայանքներում հաճախությունը պետք է լինի բարձրացված ընդհուպ մինչև հարյուրավոր կիլոհերցեր և անհրաժեշտություն է առաջանում լուծելու այդպիսի

հաճախությունների գեներացման և օգտագործման հետ կապված հարցերը:

- ՅՀԽ տեղակայանքներում առաջանում են «ինդուկցիոն միավորի» կարգավորման և շահագործման լրացուցիչ դժվարություններ:

- Հզոր տեղակայանքների նման ցածր հզորության տեղակայանքներում էլեկտրաէներգիայի տեսակարար ծախսը, հոսանքի ռեակտիվ բաղադրիչը և տեսակարար կորուստները մեծանում են:

Տեխնիկական լուծումների կրկնօրինակման այսպիսի մոտեցումը չի կարող համարվել բավարար: Ցածր և միջին հզորության տեղակայանքներում նշված թերությունների վերացման անհրաժեշտությունը դառնում է առավել արդիական՝ այդ տեղակայանքների լայն տարածման և աշխատանքային այլ պայմանների առկայության պատճառով:

Հաշվի առնելով հզոր ԲՀՏՏ-ի և ՅՀԽՏ-ի՝ 1.2-1.4 ենթաբաժիններում ներկայացված առանձնահատկություններն ու համեմատական բնութագրերը, սույն աշխատանքում առաջարկվող և հետազոտվող ցածր հզորության տեղակայանքի իրագործման սկզբունք է ընդունվել ՅՀԽՏ-ի տարբերակը:

Այդ սկզբունքի հիմնական առավելություններն են.

- արդյունաբերական 50<g հաճախության հոսանքի օգտագործումը՝ առանց հաճախականային կերպափոխիչի, ինչը բացառում է սնման հատուկ աղբյուրների՝ ԲՀԿ-ների ստեղծման անհրաժեշտությունը և ապահովում տեղակայանքի բավականին ցածր արժեք՝ հաշվի առնելով, որ կերպափոխիչի արժեքը համաչափելի է ինդուկցիոն վառարանի արժեքին, ինչպես նաև բացառվում են բարձր հաճախության օգտագործման հետ կապված խնդիրները, այդ թվում՝ ռադիոխանգարումների սկզբունքային նվազեցումը (ընդհուպ մինչև բացառումը),

- լարման կարգավորիչի բացարձակ կոմուտացման կայունությունը, քանի որ դրանում իրականացվում է տիրիստորների բնական կոմուտացում,

- բարձր, տեսականորեն չսահմանափակված ՕԳԳ-ն:

Ներկայումս արդիական պահանջ է ՅՀԽ տեղակայանքների առավելությունների օգտագործումը և թերությունների բացառումը, որոնց կարելի է հասնել հետևյալ քայլերի կատարմամբ.

1. Հիմնավորել, որ մետաղների հալեցման ցածր ու միջին հզորության էլեկտրաինդուկցիոն տեղակայանքները նպատակահարմար է կառուցել ՑՀԽՏ-ների սկզբունքով սնելով անմիջականորեն 50Հg հաճախության արդյունաբերական ցանցից:

2. Մշակել ՑՀԽ տեղակայանքի կառուցվածքը՝ բացառելով գոյություն ունեցող խուղակային տեղակայանքների թերությունները [2]:

3. Մշակել և հետազոտել ՑՀԽ տեղակայանքի մաթեմատիկական մոդելը՝ առաջադրված պահանջների ապահովման նպատակով:

4. Մշակել ցածր հզորությանը ՑՀԽ տեղակայանքի հաշվարկման բարձր ճշգրտությունը և համարժեքությունն ապահովող մեթոդիկա և ծրագիր:

5. Ստեղծել ցածր հզորության կատարելագործված ՑՀԽ տեղակայանքի փորձարարական նմուշ, փորձարկել և հետազոտել այն:

Եզրակացություններ առաջին գլխի վերաբերյալ

1. ԲՀՏՏ-ների հիմնական տարբերիչ հատկությունը մետաղի տաքացման համար բարձր հաճախության հոսանքների օգտագործումն է՝ մինչև մի քանի տասնյակ կիլոհերցի կարգի:

2. ՑՀԽՏ-ների հիմնական տարբերիչ հատկությունը մետաղի օհմական տաքացման սկզբունքի օգտագործումն է 50Հց արդյունաբերական հաճախությամբ հոսանքներով:

3. Նշված տարբերությունները համապատասխան առավելություններ և թերություններ են առաջացնում, որոնք դիտարկված են 1.2 և 1.3 ենթաբաժիններում, և որոնք էլ որոշում են ԲՀՏՏ-ների կամ ՑՀԽՏ-ների արդյունավետության աստիճանը:

4. Ըստ հիմնական էներգետիկ պարամետրերի՝ սարքավորման կազմի, կայունացման հզորության, հզորության գործակցի, ՕԳԳ-ի և էլեկտրաէներգիայի տեսակարար ծախսի, ՑՀԽՏ-ներն ունեն առավելություններ ԲՀՏՏ-ների համեմատ:

ԳԼՈՒԽ 2

ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՀԱԼԵՑՄԱՆ ՑԱԾԻ ՀՁՈՐՈՒԹՅԱՆ ՑՀԽՏ-Ի ՄՇԱԿՈՒՄԸ

2.1. Առաջարկվող ցածրահաճախական խուղակային տեղակայանքի նկարագրությունը

Հայտնի ՑՀԽՏ-ներն ունեն սկզբունքային թերություն՝ խուղակի առկայությունը, որում կատարվում է մետաղի հալումը: Մետաղի (բովախառնուրդի) հիմնական զանգվածը գտնվում է տաշտում և չի մասնակցում հալման ակտիվ գործընթացին: Խուղակը հաղորդակից է տաշտին, հալվող մետաղը խուղակից բնական ճանապարհով թափանցում է տաշտ և ջերմափոխանակման հետևանքով ջերմությունը հաղորդվում է մետաղի բովախառնուրդին, իսկ բովախառնուրդն աստիճանաբար տեղափոխվում է խուղակ և հալվում այնտեղ: Այսպիսի ջերմադինամիկ գործընթացը հանգեցնում է ՕԳԳ-ի նվազեցմանը, հալման համար անհրաժեշտ ժամանակի երկարաձգմանը, համապատասխանաբար՝ տեղակայանքի արտադրողականության նվազմանը:

Խուղակային տեղակայանքների թերությունները (տե՛ս 1.3, 1.4 ենթաբաժինները) այդպիսի կառուցվածքի և ջերմային գործընթացի հետևանք են:

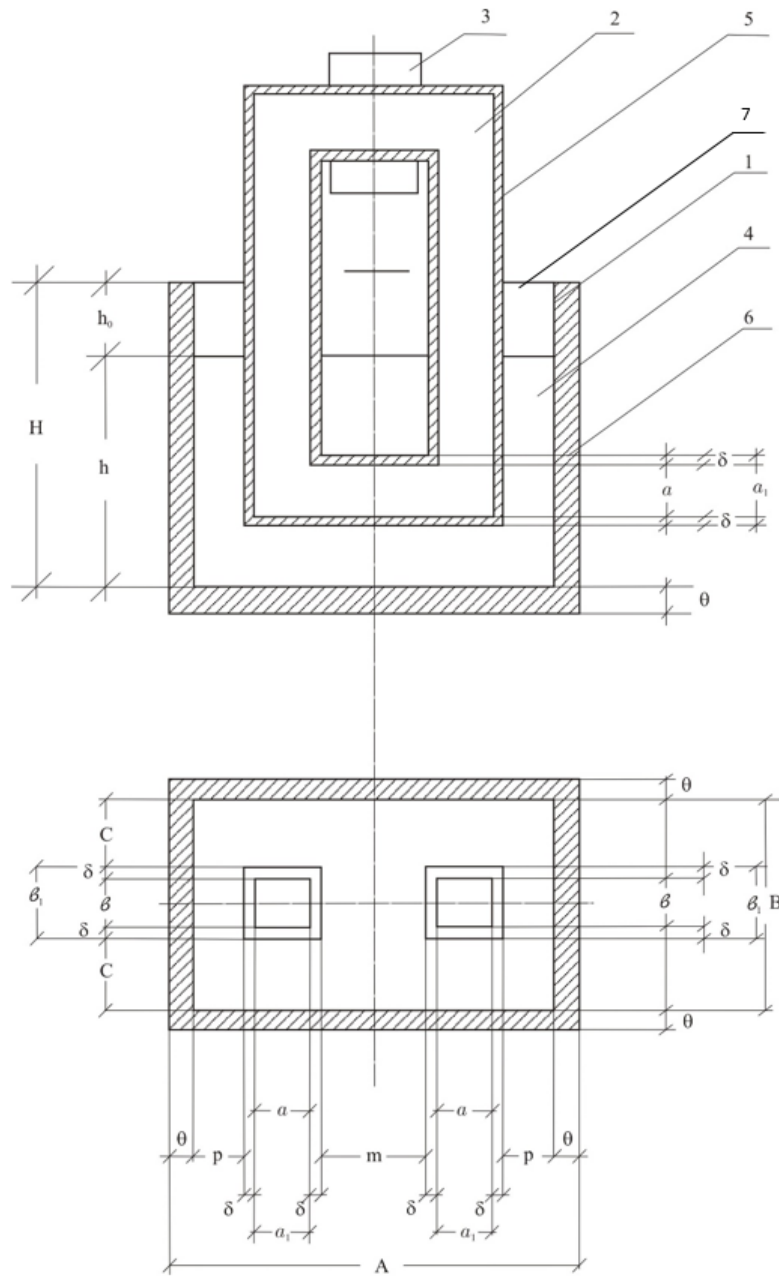
Առաջարկված և իրականացված են գյուտի արտոնագրին համապատասխան [2] ՑՀԽՏ-ի կառուցվածքը և դրա հաշվարկման մեթոդները [23], որոնք բացառում են հայտնի խուղակային տեղակայանքների թերությունները: Պատրաստված և փորձարկված է փորձնական նմուշ, արդյունքները շարադրված են ենթաբաժին 2.2-ում: Առաջարկված կառուցվածքի օրինակով ներկայացվում է մետաղների հալեցման համար ցածր հզորության ՑՀԽ տեղակայանքի ստեղծման նոր հայեցակարգը [2, 23]:

Նկ. 2.1-ում բերված է առաջարկվող խուղակային վառարանի ընդհանուր տեսքը:

Ինչպես հետևում է նկ. 2.1-ից, խուղակային վառարանն ունի հալման տաշտ, որում գտնվում է հալվող մետաղի բովախառնուրդը: ԻՏ-ի մագնիսալարը ներառված է բովախառնուրդում, իսկ դրա ինդուկտորը տեղաբաշխված է լծի կամ տրանսֆորմատորի միջուկի վրա՝ բովախառնուրդի վերևում, և միացված է արդյունաբերական 50$Հg$ հաճախությամբ սնման աղբյուրին:

Առաջարկվող խուղակային տեղակայանքի տարբերությունը հայտնիներից այն է,

որ տաշտում մետաղի ողջ զանգվածն ընդգրկում է ԻՏ-ի ներառված մագնիսալարը, և այդպիսով մետաղը վերածվում է տաշտում երկրորդային ԿՓԳ-ի, որտեղ կատարվում են ջերմանջատումը և, միաժամանակ, մետաղի ողջ զանգվածի հալումը:



Նկ. 2.1. Առաջարկվող խողակային վառարանի ընդհանուր տեսքը.

- 1 - հալման տաշտ, 2 - ինդուկտորի մագնիսալար, 3 - առաջնային կոճ, 4 - բովախառնուրդ,
- 5 - մագնիսալարի ջերմամեկուսացում, 6 - տաշտի ջերմամեկուսացում,
- 7 - ջերմամեկուսացված կափարիչ

Այսպիսի կառուցվածքը թույլ է տալիս բարձրացնել տեղակայանքի ՕԳԳ-ն և արտադրողականությունը, ինչպես նաև ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ինդուկտորը հեռացնել տաքացվող գոտուց և համապատասխանաբար բարձրացնել փաթույթների ու տեղակայանքի հուսալիությունը [3, 4, 5]:

Ստորև կատարված է առաջարկվող խուղակային վառարանի (նկ. 2.1) և գործող կառուցվածքով խուղակային վառարանի (նկ. 1.11) արտադրողականությունների համադրում: Տվյալ դեպքում արտադրողականությունը որոշվում է մետաղի այն ծավալով, որտեղ հալման համար անջատվում է ջերմային հզորությունը:

Խուղակային վառարանի նկ. 1.11 կառուցվածքում ջերմային հզորությունն անջատվում է հալման տաշտի տակ տեղադրված օղակաձև խուղակում: Առաջարկվող խուղակային վառարանում (նկ. 2.1) ջերմային հզորությունն անջատվում է մետաղի ողջ ծավալում, ինչը վերածվում է ԿՓԳ-ի:

Հետևաբար, գործող և առաջարկվող խուղակային վառարանների հնարավոր արտադրողականությունների հարաբերակցությունը որոշվում է այն ծավալների հարաբերությամբ, որտեղ անջատվում են ջերմային հզորությունները, այսինքն գործող խուղակային վառարանում՝ ըստ օղակաձև խուղակի ծավալի, առաջարկվող խուղակային վառարանում՝ ըստ վառարանի ողջ ծավալի: Որոշենք այդ ծավալները և համապատասխան արտադրողականությունները:

Համարենք, որ դիտարկվող երկու կառուցվածքների համար մետաղի ծավալները միևնույնն են և հավասար գործող խուղակային վառարանում տեղադրվածին: Որոշենք այդ ծավալը հարաբերական միավորներով, ընդունելով տաշտում մետաղի բարձրությունը (նկ. 1.11) հավասար 1 միավորի:

Տաշտում մետաղի ծավալը կլինի՝

$$V_B = hAB = 1 \times 1,65 \times 1,65 = 2,713,$$

որտեղ h -ը բարձրությունն է, A -ն՝ լայնությունը, B -ն՝ մետաղի ծավալի խորությունը:

Օղակաձև խուղակում մետաղի ծավալը կլինի՝

$$V_k = \pi dab = 3,14 \times 1 \times 0,353 \times 0,118 = 0,131,$$

որտեղ d -ն օղակաձև խուղակի տրամագիծն է, a -ն՝ խուղակի լայնությունը, b -ն՝ խուղակի բարձրությունը:

Տաշտում մետաղի ընդհանուր ծավալը՝

$$V = V_B + V_k = 2,713 + 0,131 = 2,844:$$

Հայտնի խուղակային վառարանի հարաբերական արտադրողականությունը, որը հավասար է օղակաձև խուղակում մետաղի ծավալին, կլինի՝

$$M_{\text{H}} = 0,131:$$

Առաջարկվող խուղակային վառարանի հարաբերական արտադրողականությունը, որը հավասար է տաշտում մետաղի ընդհանուր ծավալին, կլինի՝

$$M_{\text{П}} = 2,844:$$

Այսպիսով, առաջարկվող խուղակային վառարանի օգտագործման դեպքում կարելի է հասնել արտադրողականության բարձրացման կամ համապատասխանաբար տաքացման և հալման ժամանակի կրճատման հետևյալ պատիկությամբ՝

$$K_K = M_{\text{H}} / M_{\text{П}} = 2,844 / 0,131 = 21,7:$$

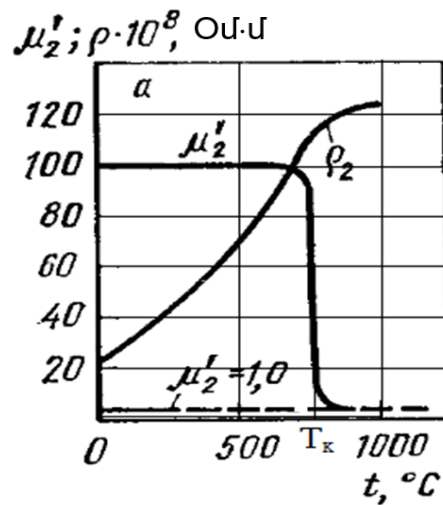
Բնական է, որ այս դեպքում ցանցից սպառվող հզորությունը կհամապատասխանի արտադրողականությանը:

Ջերմության կորստի փոքրացման և ՕԳԳ-ի բարձրացման նպատակով տաշտը մեկուսացվում է արտաքին միջավայրից:

Անհրաժեշտ է առանձին դիտարկել ինդուկտորային տրանսֆորմատորի մագնիսալարի ջերմամեկուսացման հարցը: Դա պայմանավորված է նրանով, որ խուղակային վառարանի առաջարկվող կառուցվածքում մագնիսալարը ներառված է հալվող մետաղում և էլեկտրատեխնիկական պողպատից պատրաստված մագնիսալարը ենթակա է հալվող մետաղի անմիջական ջերմային ազդեցությանը: Էլեկտրատեխնիկական պողպատի մագնիսական թափանցելիության կախվածությունը ջերմաստիճանից բերված է նկ. 2.2-ում:

Ինչպես հետևում է նկ. 2.2-ից, ջերմաստիճանի փոփոխման դեպքում θ -ից մինչև մագնիսական փոխակերպման ջերմաստիճանը (փուլային անցման ջերմաստիճան)՝ Կյուրիի կետը, որը պողպատի դեպքում հավասար է $T_K = 768^\circ\text{C}$, մագնիսական թափանցելիությունը գործնականում անփոփոխ է, Կյուրիի կետին հասնելիս՝ թռիչքաձև ընկնում է մինչև վակուումի մագնիսական թափանցելիությանը հավասար մեծության՝ $\mu = 1$, և մագնիսալարը կորցնում է իր մագնիսական հատկությունները [78]: Դա

նշանակում է, որ մագնիսալարի ջերմաստիճանը հալման գործընթացում պետք է լինի Կյուրիի կետից ոչ բարձր՝ $T_K = 768^{\circ}C$: Այս պահանջը կարող է կատարվել, եթե ապահովվի ներքոնշյալ երկու պայմաններից որևէ մեկը:



Նկ. 2.2. Պողպատի մագնիսական թափանցելիության կախվածությունը ջերմաստիճանից

1. Մետաղների հալեցման ժամանակ, որոնց հալման ջերմաստիճանը ցածր է $768^{\circ}C$ -ից, մագնիսալարը կարող է օգտագործվել առանց ջերմամեկուսացման՝ հալույթում անմիջական ներառումով:

2. Մետաղների հալեցման ժամանակ, որոնց հալման ջերմաստիճանը բարձր է $768^{\circ}C$ -ից, մագնիսալարը կարող է օգտագործվել ջերմամեկուսացումով և հովացումով, ինչն ապահովում է մագնիսալարի ջերմաստիճանը $768^{\circ}C$ -ից ոչ բարձր:

Աղյ. 2.1-ում բերված են մի քանի մետաղների հալեցման ջերմաստիճանները:

Աղյուսակ 2.1

Մետաղների հալեցման ջերմաստիճանները

Մետաղը	Հալման ջերմաստիճանը, $^{\circ}C$	Մետաղը	Հալման ջերմաստիճանը, $^{\circ}C$
Ալյումին	660,4	Կապար	327,4
Թուջ	1350 ... 1400	Արծաթ	961,9
Պղինձ	1084,5	Պողպատ	1300 ... 1500
Անագ	231,9	Ցինկ	419,5

Ներմուծենք հետևյալ հասկացությունները [5, 23, 49].

1. Վառարանի ակտիվ ծավալի գործակից՝ Ka , ջերմության անջատման մետաղի ծավալի (Va) հարաբերությունն է տաշտում գտնվող մետաղի ողջ ծավալին (V_M), այսինքն՝ $Ka = Va/V_M$:

2. Վառարանի տեսակարար արտադրողականություն Go [կգ/րոպե], վառարանի $V_{M_{սսվ}}$ անվանական բեռի դեպքում մեկ րոպեում հալվող մետաղի քանակն է:

3. Հալման տեսակարար ժամանակ՝ $To = G_M/T_M$, որտեղ G_M -ը հալվող մետաղի քանակն է, T_M -ը՝ մետաղի նշված քանակի հալման ժամանակը:

Այսպիսով, առաջարկվող խուղակային վառարանում մագնիսալարը կարող է օգտագործվել առանց ջերմամեկուսացման՝ անագի, կապարի, ցինկի և ալյումինի հալման դեպքերում:

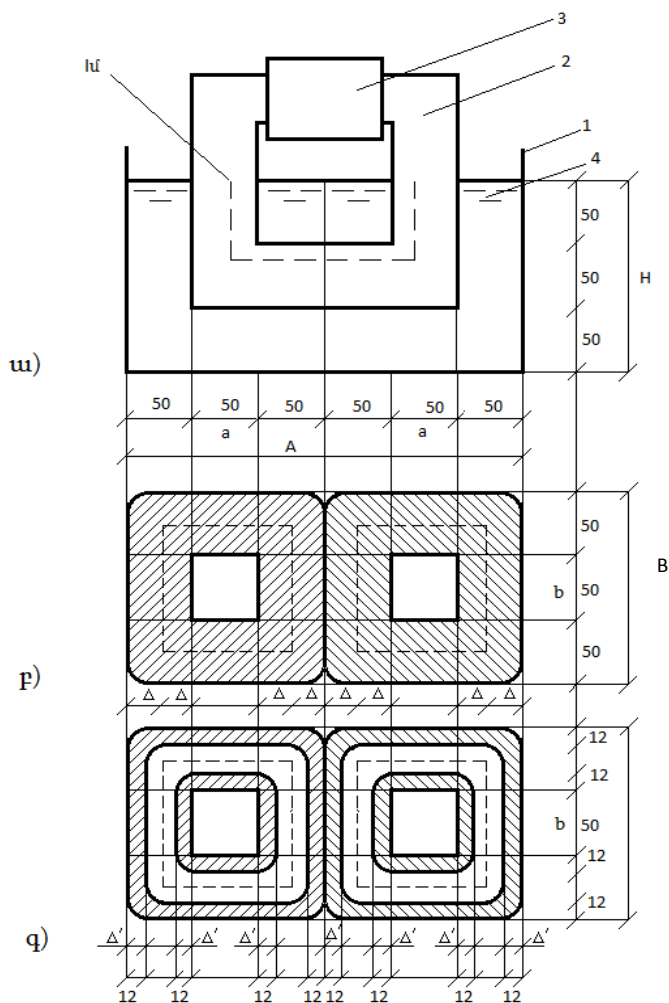
Այլ հավասար պայմանների դեպքում որքան մեծ է վառարանի Ka ակտիվ ծավալի գործակիցն, այնքան բարձր է Go տեսակարար արտադրողականությունը և փոքր է To հալման տեսակարար ժամանակը, բարձր է նաև ՕԳԳ-ն: Ka գործակիցը կարևոր պարամետր է և բնութագրում է մետաղի օհմական տաքացման ժամանակ ջերմանջատման արդյունավետությունը, որն էլ իր հերթին որոշվում է խուղակային վառարանի կառուցվածքով, դասավորությամբ և չափսերով:

Վառարանի ակտիվ ծավալի Ka գործակիցը որոշվում է հոսանքի թափանցման ժամանակ մետաղի ԿՓԳ-ի կտրվածքի օգտագործման աստիճանով, որն էլ իր հերթին որոշվում է ԿՓԳ-ի կտրվածքում հոսանքի թափանցման խորությամբ: Չնայած ցածր հաճախությանը ($50 < g$), ՀԹԽ-ն որոշող մակերևութային էֆեկտը բավականին ուժեղ է արտահայտված՝ հաշվի առնելով մետաղի ԿՓԳ-ի մեծ կտրվածքը:

Ակտիվ ծավալի գործակիցն ուղղակիորեն կախված է ԿՓԳ-ի կտրվածքից: Արդյունաբերական $50 < g$ հաճախության դեպքում ՀԹԽ-ն բավականին մեծ է, սակայն ԿՓԳ-ի մեծ կտրվածքների դեպքում, ինչպես դա կարող է լինել խուղակային վառարանի առաջարկվող կառուցվածքում, այն համաչափելի է ԿՓԳ-ի կտրվածքին: Համապատասխանաբար՝ ակտիվ ծավալի գործակիցը փոքրանում է ԿՓԳ-ի կտրվածքի մեծացմանը զուգընթաց: Այսպիսով, առավելագույն տեսակարար արտադրողականության և բարձր ՕԳԳ-ի հասնելու համար անհրաժեշտ է որոշել խուղակային վառարանի

եզրածևը և չափսերը, հետևաբար, նաև դրա անվանական տարողությունը:

Դիտարկենք այս դրույթը խուղակային վառարանի տիպային օրինակով որոշակի երկրաչափական չափսերով (նկ. 2.3) մի քանի մետաղների հալեցման դեպքում:



Նկ. 2.3. ՏեսՎ-ի ընդհանուր տեսքը, կտրվածքը (ա) և ՀԹԽ-ի պրոյեկցիաներն անագի (բ) ու ալյումինի (գ) հալման դեպքում

Կառուցվածքի ընդունված երկրաչափական չափսերի պայմանները հետևյալն են.

1) Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի մագնիսալարի կտրվածքը քառակուսային է՝ կողմերի 50x50 մմ չափսերով:

2) Մագնիսալարի հեռացվածությունը տաշտի պատերից, հատակից և մետաղի վերին մակարդակից հավասար է մագնիսալարի կտրվածքի կողմին՝ 50մմ: Այս դեպքում ԿՓԳ-ի կտրվածքը հորիզոնական և ուղղահայաց պրոյեկցիայներում կազմում է 50x50մմ:

Նշված պայմաններով որոշվում է խուղակային վառարանի առաջարկվող կառուցվածքը՝ տաշտի, մագնիսալարի և բեռի բարձրության չափերին համապատասխան:

Որպես հավվող մետաղ (համեմատական ցուցանիշների որոշման նպատակով) ընդունված են անագը, ցինկը, ալյումինը և պղինձը: Անագի, ցինկի և ալյումինի հալման ժամանակ մագնիսալարի ջերմամեկուսացում չի պահանջվում, քանի որ դրանց հալման ջերմաստիճանը Կյուրիի կետից ցածր է (աղ. 2.1): Պղինձի հալման ժամանակ ջերմամեկուսացումն անհրաժեշտ է, սակայն սույն մոտավոր հաշվարկում ջերմամեկուսացման հաստությունը հաշվի չի առնված:

Հոսանքի տարբեր հաճախությունների դեպքում նշված մետաղներում (1.2)-ով որոշված ՀԹԽ-ները բերված են աղ. 2.2-ում: Տեսակարար դիմադրության և համապատասխան թափանցման խորության նշանակությունները որոշված են 20°C նորմալ ջերմաստիճանի պայմանում: Տաքացման ժամանակ ջերմաստիճանի բարձրացման հաշվարկը և ջերմաստիճանի փոփոխումը հաշվի են առնված հաջորդող հաշվարկում:

Ցածր հզորության խուղակային վառարաններում օգտագործվում է $50 < g$ հաճախությամբ հոսանք: Աղ. 2.2-ում համեմատության համար ՀԹԽ-ները որոշված են նաև բարձր հաճախությունների՝ $1000, 8000, 15000 < g$ դեպքերում: Նկ. 2.3-ում հորիզոնական պրոյեկցիայում (բ, գ) ՀԹԽ-ները ցույց են տրված ԿՓԳ-ի կտրվածքում գծանշված մակերևույթի տեսքով: Նկ. 2.3բ-ում անագի հալման դեպքում թափանցման խորությունն ընդունվում է $\Delta = 25 \text{ մմ}$, նկ. 2.3գ-ում ալյումինի դեպքում՝ $\Delta' = 12 \text{ մմ}$ (աղ. 2.2):

Անագի հալման դեպքում (նկ. 2.3բ) ՀԹԽ-ն ($\Delta = 25 \text{ մմ}$) ԿՓԳ-ի ներքին և արտաքին կողմերով փակվում է, համապատասխանաբար՝ հոսանքը թափանցում է մետաղի ԿՓԳ-ի ողջ կտրվածքով, և գալարի ողջ կտրվածքում ջերմություն է անջատվում: Ալյումինի հալման (նկ. 2.3գ) և հոսանքի թափանցման փոքր խորության դեպքում ($\Delta' = 12 \text{ մմ}$) հոսանքը թափանցում է փոքր խորությամբ և հարվում է ԿՓԳ-ի ներքին ու արտաքին կողմերին: Այստեղ հոսանքը թափանցում է մետաղի ԿՓԳ-ի ոչ լրիվ կտրվածքով և ջերմությունն անջատվում է միայն կտրվածքի մի մասում (գծանշված է): Համապատասխանաբար՝ ակտիվ ծավալի գործակիցները տարբեր են. անագի հալման դեպքում Ka (անագ)=1, ալյումինի դեպքում՝ Ka (ալյումին)<1:

ՀթԽ-ները (մմ) տարբեր մետաղներում և տարբեր հաճախությունների դեպքում

Մետաղը	Տեսակարար դիմադրությունը, $Ohm.m^2/m$	Հոսանքի հաճախությունը, Հց				
		50	1000	8000	10000	15000
Անագ	0,12	24,64	5,51	1,95	1,74	1,42
Ցինկ	0,059	17,30	3,86	1,36	1,22	0,99
Ալյումին	0,028	11,90	2,66	0,94	0,84	0,67
Պղինձ	0,0175	9,41	2,04	0,73	0,66	0,53

Կատարված է նաև գնահատում և որոշված են ՏԽՎ-ի պարամետրերը (նկ. 2.3) տարբեր մետաղների հալեցման դեպքում: Գնահատումը կատարված է համարելով, որ տաշտում մետաղի ջերմաստիճանը հավասար է հալման ջերմաստիճանին, ինչն էլ բնութագրում է տաքացման և հալման գործընթացի եզրափակիչ փուլը: ԿՓԳ-ի կտրվածքը կլինի՝

$$S_g = 3a^3 - aa = 8a^2 \text{ [մմ}^2\text{]}: \quad (2.1)$$

ԿՓԳ-ի ակտիվ (հաղորդիչ) մասի կտրվածքը որոշվում է հոսանքի թափանցման խորությամբ (կտրվածքի գծանշված մասը, որտեղ անջատվում է ջերմությունը) և ընդհանուր դեպքում արտահայտվում է հետևյալ կերպ.

$$S_a = 4(3a - \Delta)\Delta + 4(a + \Delta)\Delta = 16a\Delta \text{ [մմ}^2\text{]}: \quad (2.2)$$

Տաշտում մետաղի ծավալը կլինի.

$$V_m = ABH - l_m a^2 = 300 \times 150 \times 150 - 300 \times 50^2 = 6000 \text{ սմ}^3, \quad (2.3)$$

որտեղ $l_m = 600 \text{ մմ}$ մետաղում մագնիսալարի ներառված մասի երկարությունն է:

Վառարանի տարողությունն արտահայտված հալվող մետաղի զանգվածով կլինի.

$$G = V_m g \text{ [կգ]}, \quad (2.4)$$

որտեղ g -ն հալվող մետաղի տեսակարար զանգվածն է:

Հալման $\rho(t)$ ջերմաստիճանի դեպքում ԿՓԳ-ի դիմադրությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝ [94]

$$R = \rho(t)l_m / Sa = \rho(20^\circ C)[1 + \alpha(1 - 20^\circ C)]l_m / Sa \text{ [Ohմ]}, \quad (2.5)$$

որտեղ $\rho(t)$ -ն [Օհմ.մմ²/մ] հալման tn ջերմաստիճանի դեպքում հալվող մետաղի տեսակարար դիմադրությունն է, $\rho(20^\circ\text{C})$ -ն՝ 20°C [Օհմ.մմ²/մ]-ի դեպքում հալվող մետաղի տեսակարար դիմադրությունը (աղյ. 2.2), α -ն [1/⁰K 10³] դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցն է, $l_m=0,6$ մ-ը՝ մետաղում մագնիսալարի տեղակայված մասի երկարությունը, S_a -ն [մմ²] մետաղի ԿՓԳ-ի կտրվածքը (2.2):

Վառարանի K_a ակտիվ ծավալի գործակիցը որոշվում է որպես ԿՓԳ-ի ակտիվ մասի կտրվածքի հարաբերություն տվյալ տեսակի մետաղի համար գալարի լրիվ կտրվածքին: Ընդհանուր դեպքում (նկ. 2.3գ) ունենք՝

$$K_a = S_a/S_g = 16a\Delta/8a^2 = 2\Delta/a: \quad (2.6)$$

Հալման ժամանակ տաքացման հզորությունը կլինի.

$$P = (U_g)^2/R \times 10^3, \quad (2.7)$$

որտեղ U_g -ն մետաղի ԿՓԳ-ի լարումն է տրված ՏԽՎ-ի համար (նկ. 2.3):

ԿՓԳ-ի լարումը (ըստ երկրորդային փաթույթի) որոշվում է ինդուկտորային տրանսֆորմատորի կառուցվածքով և պարամետրերով՝ կայունացման հզորությամբ, լարումով, հոսանքով, հոսանքի խտությամբ և ինդուկտորի գալարների թվով: Այս պարամետրերը որոշվում են հաշվարկով (գլուխ 4): Սույն գնահատող հաշվարկում ԿՓԳ-ի U_g լարումն ընդունված է հավասար $0,1$ Վ:

Տաշտում մետաղի ողջ ծավալի հալման ժամանակը բովախառնուրդի ջերմաստիճանի հալման աստիճանին հասնելուց հետո, կլինի.

$$T_m = G q_n/P, \quad (2.8)$$

որտեղ q_n -ը հալման տեսակարար ջերմությունն է [կՎր.ժ/կգ], անագի համար՝ $0,0165$, ցինկի համար՝ $0,0314$, ալյումինի համար՝ $0,11$, պղնձի համար՝ $0,0596$:

Բերված (1.3), (2.1) - (2.8) բանաձևերով կատարված հաշվարկման արդյունքները բերված են աղյ. 2.3-ում:

Վերլուծելով շարադրվածը՝ կարելի է եզրակացնել.

1. Նկ. 2.3-ում պատկերված ՏԽՎ-ն որոշվում է հիմնական a չափով: Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի մագնիսալարի կտրվածքը քառակուսային է՝ կողմերի $a \times a$ մմ չափերով: Մագնիսալարի հեռացումը տաշտի պատերից, հատակից և մետաղի վերին մակարդակից հավասար է հիմնական a չափին: Այս դեպքում ԿՓԳ-ի

կտրվածքը և հորիզոնական, և ուղղահայաց պրոյեկցիաներում հավասար է $a \times a$ մմ:

Աղյուսակ 2.3

ՏեսՎ-ի պարամետրերը տարբեր մեխանիզմների հալեցման դեպքում

Պարամետրի անվանումը	Հավիող մետաղը			
	Անագ	Ցինկ	Ալյումին	Պղինձ
Վառարանի հիմնական չափը a մմ	50	50	50	50
Տաշտում մետաղի ծավալը V_M սմ ³	6000	6000	6000	6000
Մետաղի տեսակարար զանգվածը՝ g , գ/սմ ³	7,29	7,13	2,7	8,96
Վառարանի տարողունակությունը՝ G , կգ	43,7	42,8	16,2	53,8
20°C ջերմաստիճանի դեպքում տեսակարար դիմադրությունը՝ $Ohm.մմ^2/մ$	0,12	0,059	0,028	0,0175
Հալման ջերմաստիճանը՝ t_n , °C	231,9	419,5	660,6	1084,5
20°C ջերմաստիճանի դեպքում ՀԹԽ-ն՝ Δo , մմ	24,6	17,3	11,9	9,41
Հալման ջերմաստիճանի դեպքում ՀԹԽ-ն՝ Δn , մմ	33,4	27,6	22,3	21,4
ԿՓԳ-ի կտրվածքը՝ S_6 , մմ ²	20000	20000	20000	20000
ԿՓԳ-ի ակտիվ կտրվածքը՝ S_a , մմ ²	20000	20000	17840	17120
Մետաղի ԿՓԳ-ի դիմադրությունը՝ R , $Ohm \cdot 10^{-6}$	4,8	4,1	3,3	3,1
Վառարանի ակտիվ ծավալի գործակիցը՝ Ka	1	1	0,892	0,856
Հալման տեսակարար ջերմությունը՝ qn , կՎտ.ժ/կգ	0,0165	0,0314	0,11	0,0596
Հալման հզորությունը՝ P , կՎտ	2,08	2,44	3,03	3,22
Հալման ժամանակը՝ T_M , ժամ	0,347	0,55	0,59	0,996
րոպե	21	33	35	60
Տեսակարար արտադրողականություն՝ Go , կգ/ր	2,08	1,3	0,46	0,9

2. Հիմնական a չափի դեպքում առավել նպատակահարմար է հոսանքի թափանցման կրկնապատկված խորությունը՝ $a = 2\Delta$, երբ հոսանքը թափանցում է մետաղի ԿՓԳ-ի ողջ կտրվածքով և օհմական տաքացման ժամանակ ջերմությունն անջատվում է դրա ողջ կտրվածքով: Այս դեպքում ստացվում են ակտիվ ծավալի գործակից, տեսակարար արտադրողականության և ՕԳԳ-ի ամենամեծ արժեքները, ինչպես նաև տաքացման նվազագույն ժամանակը:

3. ՀԹԽ-ն ստացիոնար ռեժիմում հալման ջերմաստիճանին հասնելիս անագի, ցինկի, ալյումինի և պղնձի հալման դեպքում համաչափելի է հիմնական չափին՝ $a = 50մմ$: Ընդունված է այս մետաղների հալումը կատարել նշված ցածր հզորության խուղակային վառարաններում:

4. Խուղակային վառարանի չափսերի մեծացումը և եզրաձևի փոփոխումը՝ տիպային կառուցվածքի համեմատ, որի եզրաձևը և չափսերը բերված են նկ. 2.3-ում, հանգեցնում է ակտիվ ծավալի գործակցի, տեսակարար արտադրողականության, ՕԳԳ-ի և տաքացման ժամանակի վատացմանը, և հետևաբար՝ նպատակահարմար չէ:

5. Անագի, ցինկի, ալյումինի և պղնձի հալման դեպքում առավել տարածված տեխնոլոգիական պրակտիկայում անհրաժեշտ է ընդունել ցածր հզորության խուղակային վառարանի տիպային կառուցվածքը, որի եզրաձևը և չափսերը բերված են նկ. 2.3-ում:

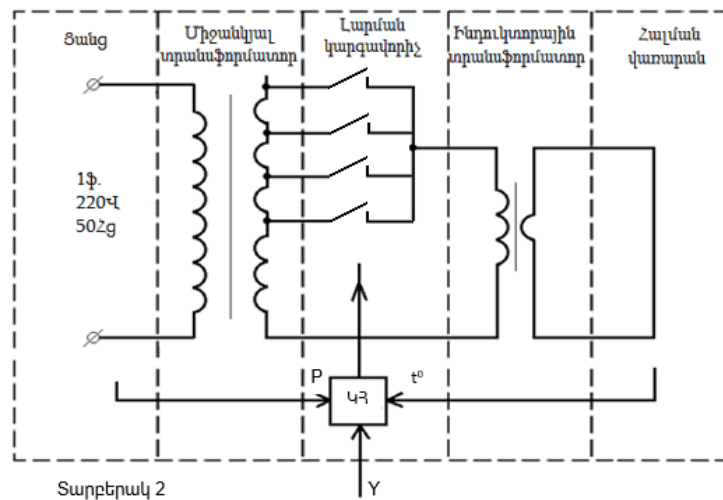
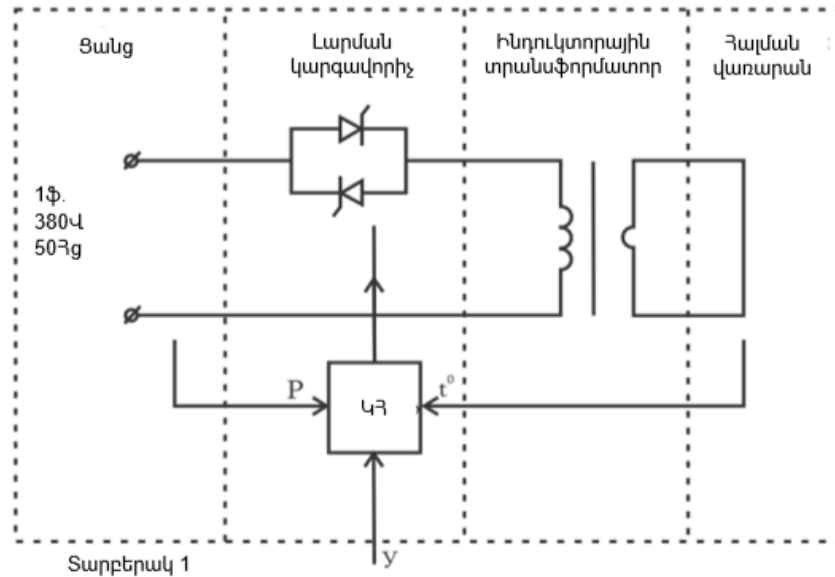
6. Խուղակային վառարանի արտադրողականությունը որոշվում է ինդուկտորային տրանսֆորմատորի հզորությամբ և մետաղի ԿՓԳ-ի կոնտուրում էլեկտրական լարումով: Այդ լարման առավել նպատակահարմար մեծությունը $0,14$ -ի կարգի է: Այս դեպքում ինդուկտորային տրանսֆորմատորի կայունացման հզորությունը կազմում է $2 \dots 3կՎտ$, արտադրողականությունը՝ $1 \dots 2կգ/րոպե$, հաշվելով ժամանակը բովախառնուրդի հալման ջերմաստիճանից մինչև դրա լրիվ հալումը: Դրանից ելնելով՝ պետք է հաշվարկվեն ինդուկտորի լարումը և փաթույթների պարամետրերը: Նշված պահանջներն ապահովելու համար հնարավոր է, որ պահանջվի օգտագործել միջանկյալ տրանսֆորմատոր և անհրաժեշտաբար հովացնել ինդուկտորային տրանսֆորմատորը:

Խուղակային տեղակայանքը կարող է իրականացվել հետևյալ երկու տարբերակներով (նկ. 2.4)՝

- տարբերակ 1. «արդյունաբերական ցանց - միջանկյալ տրանսֆորմատոր - լարման տիրիստորային կարգավորիչ ֆազային կառավարումով - ինդուկտորային տրանսֆորմատոր - հալման վառարան» (ինդուկտորի սնման հաճախությունը՝ $50Հց$) [7, 8, 32],

- տարբերակ 2. «արդյունաբերական ցանց - միջանկյալ տրանսֆորմատոր - լարման կարգավորիչ՝ միջանկյալ տրանսֆորմատորի ճյուղավորումների հպակային փոխարկիչի տեսքով - ինդուկտորային տրանսֆորմատոր - հալման վառարան»

(ինդուկտորի սնման հաճախությունը՝ $50 < g$):



Նկ. 2.4. ՅՀԽՏ-ի կառուցվածքային սխեմաները

Հալման գործընթացի կառավարումը կատարվում է լարման կարգավորմամբ, որը կիրառվում է ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ինդուկտորին ավտոմատ կերպով [33] կամ ըստ սպառվող հզորության, օրինակ, հաստատուն հզորության ռեժիմում՝ $p = const$ (կարգավորիչի մուտքին ազդեցությունը p խողովակով), կամ տաշտում եղած ջերմաստիճանով (ազդեցությունը t խողովակով), կամ ձեռքով (ազդեցությունը y խողովակով):

Ֆազային կառավարումով լարման տիրիստորային կարգավորիչը, որն օգտագործված է տարբերակ 1-ում և բավականաչափ մանրամասն հետազոտված է [16,

48, 50]-ում, կիրառվում է ինչպես տիգելային, այնպես էլ խուղակային ավանդական հալման տեղակայանքներում:

Մշակված է ՑՀԽ տեղակայանքի առաջարկվող կառուցվածքի մաթեմատիկական մոդելը: Այն կազմված է 2 ենթամոդելներից՝ էլեկտրական և ջերմային գործընթացների: Այս երկու մոդելները միավորվում են ընդհանուր հաշվողական ալգորիթմով, որը հետազոտված է գլուխ 3-ում:

2.2. ՑՀԽՏ-ի էլեկտրական գործընթացների մաթեմատիկական մոդելը

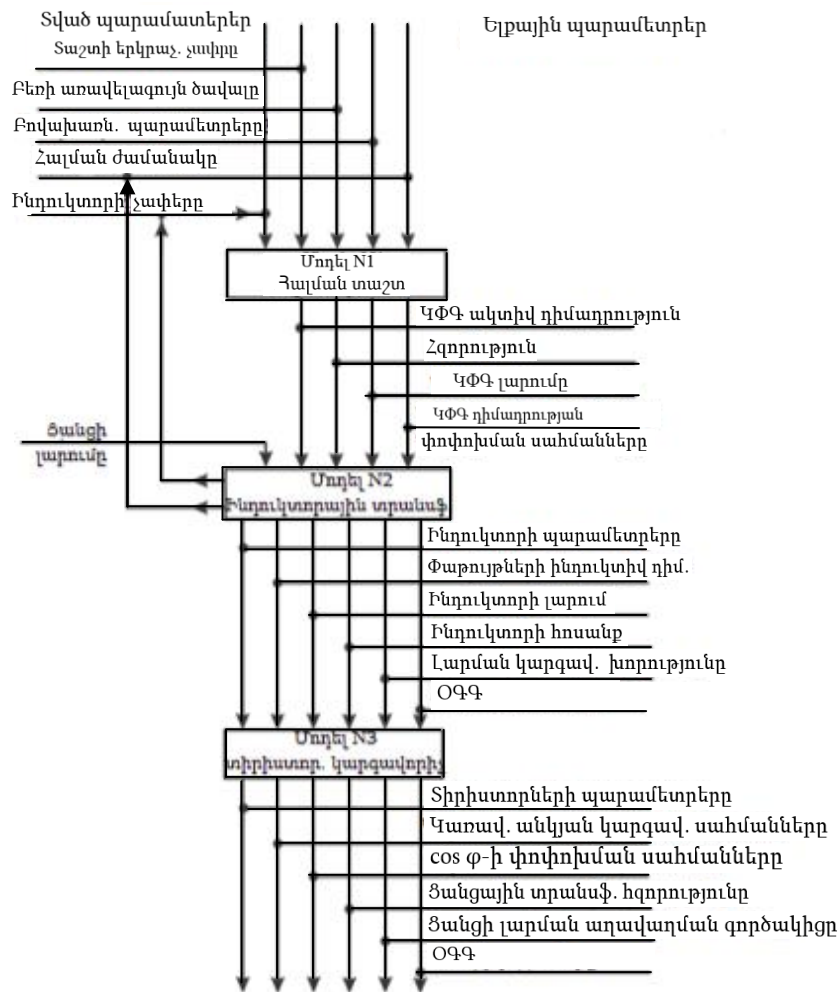
Մաթեմատիկական մոդելը նկարագրում է տեղակայանքի բաղկացուցիչ մասերը՝ հալման տաշտը, ինդուկտորային տրանսֆորմատորը և էլեկտրասնման սարքերը (լարման տիրիստորային կարգավորիչ), ինչպես նաև դրանց կապերը: Մոդելն արտացոլում է հետևյալ պարամետրերի ֆունկցիոնալ կապը. տաշտի երկրաչափական չափսերը, բովախառնուրդի զանգվածը և բնութագրերը (մասնիկների չափսերը, մասնիկների մակերևույթի վիճակը, մետաղի տեսակարար էլեկտրական դիմադրությունը), բովախառնուրդի և հալույթի դինամիկ օհմական դիմադրությունը (տաքացման և հալման գործընթացում դիմադրության փոփոխությունը), էլեկտրական հզորությունը, ինդուկտորային տրանսֆորմատորի պարամետրերը, լարումը միջանկյալ տրանսֆորմատորի ելքում, ցանցային սնող տրանսֆորմատորի պարամետրերը, հալման տևողությունը, ՕԳԳ-ն, տիրիստորային կարգավորիչի կամ լայնակի մոդուլարարի կառավարման անկյունը, կարգավորիչի կարգավորման խորությունը:

Ներմուծվում են հետևյալ հասկացությունները.

- բովախառնուրդի և հալույթի դինամիկ օհմական բնութագրեր,
- օգտակար գործողության ինտեգրալային գործակից (ըստ ծախսված էներգիայի և ոչ թե ըստ հզորության),
- դրվածքային հզորության գործակից (ցանցային տրանսֆորմատորի լրիվ հզորության հարաբերությունը տեղակայանքի հզորությանը):

Տեղակայանքի մաթեմատիկական մոդելի կառուցվածքային սխեման բերված է նկ. 2.5-ում: Դիտարկվող մոդելը կազմված է դրա բաղկացուցիչ մաս կազմող երեք մոդելներից. մոդել 1՝ հալման տաշտ, մոդել 2՝ ինդուկտորային տրանսֆորմատոր, մոդել

3՝ լարման տիրիստորային կարգավորիչ (նկ. 2.4-ում N1 կառուցվածքային սխեմայի տարբերակում):



Նկ. 2.5. Խտղակային տեղակայանքի մաթեմատիկական մոդելի կառուցվածքային սխեման

Տեղակայանքի տրված պարամետրերը մուտքային են մոդել 1-ի համար և որոշում են տեղակայանքի մնացած բոլոր պարամետրերը: Մոդել 1-ի ելքային պարամետրերը մուտքային են մոդել 2-ի համար, մոդել 2-ի ելքային պարամետրերը մուտքային են մոդել 3-ի համար, իսկ ինդուկտորային տրանսֆորմատորի մոդելից տարված են ճշգրտող հետադարձ կապեր մոդելի 1-ի մուտքին՝ ըստ տրվող երկրաչափական չափսերի և հալման ժամանակի, ինչը որոշում է տեղակայանքի հզորությունը:

Հաշվարկը կատարվում է ըստ էլեկտրական մեծությունների առաջին հարմոնիկի գործող արժեքների՝ կառուցվածքային պարամետրերի որոշման, ինչպես նաև ջերմային գործընթացների մոդելում դրանց օգտագործման նպատակով:

Մոդել N1՝ հալման փաշտ

Տաշտի և ինդուկտորի մագնիսալարի տրված երկրաչափական չափսերի, բովախառնուրդի բեռնման տրված ծավալի և արտադրողականության (հալման ժամանակի) դեպքում մյուս բոլոր պարամետրերը որոշվում են մետաղի ԿՓԳ-ի ակտիվ դիմադրությամբ, որպես ինդուկտորային տրանսֆորմատորի երկրորդային փաթույթ:

Մետաղի ԿՓԳ-ի ակտիվ դիմադրությունը որոշվում է ըստ նկ. 2.6-ում բերված խուղակային վառարանի հաշվարկային պրոյեկցիաների [23]:

Մետաղի ԿՓԳ-ն բաղկացած է հետևյալ զուգահեռ միացված տեղամասերից՝

- 2 մագնիսաձողային տեղամաս՝ սահմանափակված 1-2-7-4 և 2-7-10-3 գծերով (նկ. 2.6) R_c դիմադրությունով,
- 2 վերին անկյունային տեղամաս՝ սահմանափակված 4-6-12-11 և 8-10-16-15 գծերով R_{y1} դիմադրությունով,
- 2 ներքին անկյունային տեղամաս՝ սահմանափակված 6-12-13 և 8-15-14 գծերով R_{y2} դիմադրությունով,
- մեկ հատակային տեղամաս՝ սահմանափակված 6-8-14-13 գծերով R_δ դիմադրությունով:

Ընդունելով, որ մետաղը մանրացված վիճակում է և $15^{\circ}C$ -ի դեպքում ԿՓԳ-ի յուրաքանչյուր R_{xi} տեղամասի դիմադրությունը որոշվում է հայտնի արտահայտությամբ՝ հաշվի առնելով մետաղում $\angle\theta$ -ն.

$$R_{xi} = \rho K_a \frac{l}{S}, \quad (2.9)$$

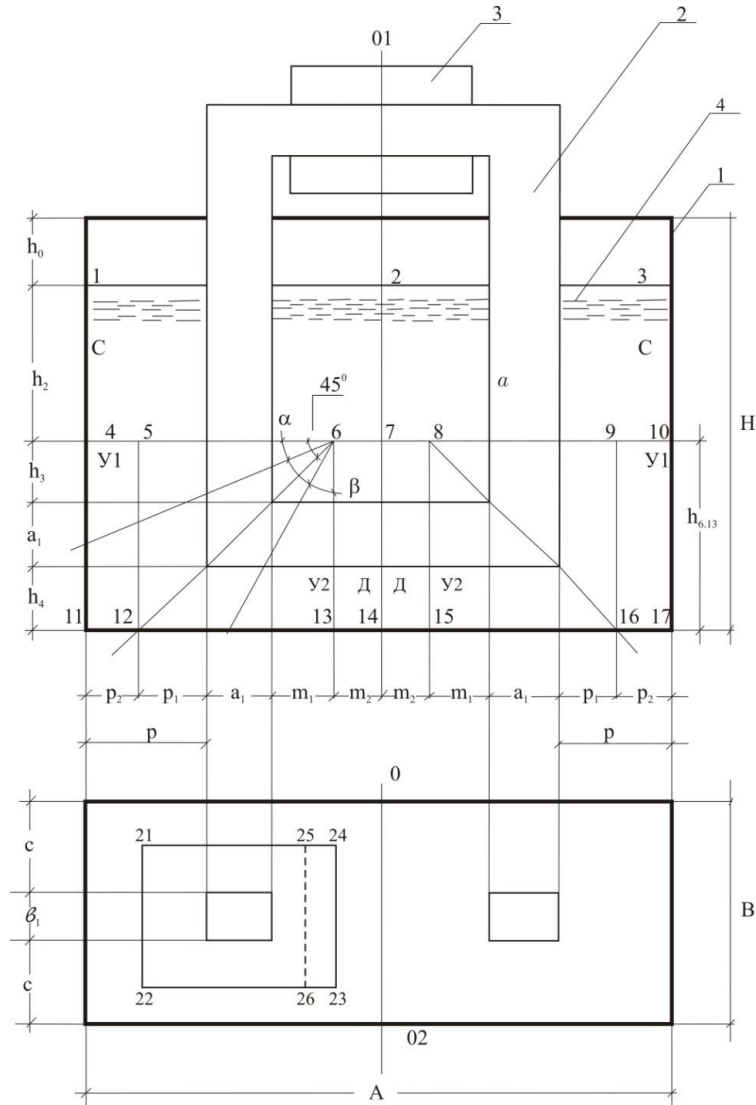
որտեղ ρ -ն $15^{\circ}C$ ջերմաստիճանում մետաղի տեսակարար դիմադրությունն է, l -ը՝ տրված տեղամասում գալարի միջին երկարությունը, S -ը՝ տրված տեղամասում գալարի կտրվածքը, K_a -ն՝ վառարանի ակտիվ ծավալի գործակիցը, որը նաև հավասար է կտրվածքի մասի հարաբերությանը (ուր թափանցում է հոսանքը) ԿՓԳ-ի ողջ կտրվածքին:

Կտրվածքի փոքրացումը, ուր թափանցում է հոսանքը, ինչպես նաև վառարանի ակտիվ ծավալի փոքրացումը, պայմանավորված են մակերևութային էֆեկտի հետևանքով $\angle\theta$ -ի փոքրացմամբ: Դա մեծամասամբ արտահայտվում է հաղորդչի մեծ կտրվածքների դեպքում:

Մագնիսաձողային տեղամասի դիմադրությունը հավասար է՝

$$R_c = \rho \left[\frac{2a_1 + (p_1 + p_2) + (m_1 + m_2)}{ch_1} + \frac{b_1 + c}{(p_1 + p_2)h_1} + \frac{b_1 + c}{(m_1 + m_2)h_1} \right], \quad (2.10)$$

որտեղ տառային նշանակումները նկ. 2.6-ում միևնույն գծային չափսերն են, a_1, b_1 -ը՝ մագնիսալարի ճողի չափսերն են ջերմամեկուսիչ շերտի հաշվառմամբ:



Նկ. 2.6. Խողակային վառարանի հաշվարկային պրոյեկցիաները.

- 1 – հալման տաշտ, 2 – ինդուկտորի մագնիսալար, 3 – ինդուկտորի առաջնային կոճ,
4 – բովախառնուրդ

Վերին անկյունային տեղամասի դիմադրությունը որոշվում է ըստ տարրական կտրվածքի (α անկյան) անկյունային դիրքի ինտեգրումով, հաշվի առնելով, որ յուրաքանչյուր տարրական կտրվածքի փոփոխության տիրույթը և մակերեսը կտրվածքի անկյունային դիրքի հետ գտնվում են հետևյալ կապի մեջ՝

$$R_{Y1} = R_{25-21} + R_{21-22} + R_{22-26} + R_{25-26} = \rho \left[\frac{F_1(a_1, p_1, p_2, m_1)}{F_2(a_1, p_1, p_2, m_1)} + \frac{b_1 + c}{(p_1 + p_2)(h_3 + a_1 + h_4)} + \frac{F_1(a_1, p_1, p_2, m_1)}{F_2(a_1, p_1, p_2, m_1)} + \frac{b_1 + c}{m_1(h_3 + a_1 + h_4)} \right], \quad (2.11)$$

որտեղ՝

$$F_1(a_1, p_1, p_2, m_1) = \int_0^{45^\circ} \frac{2a_1 + (p_1 + p_2) + m_1}{2 \cos \alpha} d\alpha,$$

$$F_2(a_1, p_1, p_2, m_1) = \int_0^{45^\circ} \frac{c(a_1 + p_1 + p_2 + m_1)}{2} \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha} d\alpha.$$

Ներքին անկյունային տեղամասի դիմադրությունը որոշվում է համանման կերպ՝ ըստ β անկյունային դիրքի ինտեգրմամբ՝

$$R_{Y2} = \rho \left[2 \frac{F_1(a_1, p_1, m_1)}{F_2(a_1, p_1, m_1)} + \frac{b_1 + c}{p_1(h_3 + a_1 + h_4)} + \frac{b_1 + c}{m_1(h_3 + a_1 + h_4)} \right], \quad (2.12)$$

Հատակային տեղամասի դիմադրությունը հավասար է

$$R_g = \rho \left[\frac{b_1 + c}{h_3 m} + \frac{2a_1 + h_3 + h_4}{cm} + \frac{b_1 + c}{h_4 m} \right]. \quad (2.13)$$

Մետաղի ԿՓԳ-ի հաղորդականությունը հավասար է նշված զուգահեռ միացված տեղամասերի հաղորդականությունների գումարին՝

$$\frac{1}{R_x} = 2 \left(\frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_{Y1}} + \frac{1}{R_{Y2}} + \frac{1}{R_g} \right) = 2 \left(\frac{R_{Y1} R_{Y2} R_g + R_C R_{Y2} R_g + R_C R_{Y1} R_g + R_C R_{Y1} R_{Y2}}{R_C R_{Y1} R_{Y2} R_g} \right),$$

որտեղից որոշվում է մետաղի ԿՓԳ-ի ընդհանուր R_x ակտիվ դիմադրությունը՝

$$R_x = K_a \frac{R_C R_{Y1} R_{Y2} R_g}{2(R_{Y1} R_{Y2} R_g + R_C R_{Y2} R_g + R_C R_{Y1} R_g + R_C R_{Y1} R_{Y2})}: \quad (2.14)$$

Բերված (2.14) արտահայտությունից հետևում է, որ ԿՓԳ-ի դիմադրությունն արտահայտվում է տաշտի չափսերով, ինդուկտորի տրված երկրաչափական չափսերով, տաշտում լցված մետաղի բարձրությամբ և սառը վիճակում (15°C) մետաղի տեսակարար դիմադրությամբ:

Սակայն մետաղի դինամիկական տեսակարար դիմադրությունը և, համապատասխանաբար, ԿՓԳ-ի լրիվ դիմադրությունը տաքացման և հալման գործընթացում կտրուկ փոփոխվում են հետևյալ պատճառներով.

1. Տաքացման գործընթացում մետաղի ջերմաստիճանի բարձրացումը

հանգեցնում է դրա տեսակարար դիմադրության կտրուկ մեծացմանը:

2. Տաքացման համար տաշտում լցված բովախառնուրդը սովորաբար ներկայացնում է մետաղի տարբեր չափսերի կտորների ջարդոն: Բովախառնուրդի ակտիվ դիմադրությունը որոշվում է մետաղի կտորների չափսերով և դրանց հպման մակերևույթի վիճակով: Բովախառնուրդի դիմադրությունն ավելի մեծ է, քան միաձույլ մետաղի դիմադրությունը՝ մետաղի ցանկացած ձևի կտորներով հոսանքի ավելի երկար ճանապարհ անցնելու և հպման դիմադրության առկայության պատճառով:

Հալման ընթացքում բովախառնուրդն աստիճանաբար անցնում է միաձույլ վիճակի, փոքրանում են հավող մակերևույթների դիմադրությունները և հոսանքի անցման ճանապարհը: Համապատասխանաբար՝ հալման գործընթացում բովախառնուրդի դիմադրությունն աստիճանաբար նվազում է և լրիվ հալվելիս դառնում է հավասար միաձույլ մետաղի դիմադրությանը [99]:

Վերը նշված փոփոխություններով հանդերձ դինամիկական տեսակարար և լրիվ դիմադրությունները ներկայացված են ստորև:

Հալման տաշտում տեղակայված մետաղի հալման տեխնոլոգիական գործընթացը բաղկացած է հետևյալ երկու փուլերից (մետաղի տաքացման և հալման գործընթացում ջերմաստիճանի և դիմադրության փոփոխման գրաֆիկները բերված են նկ. 2.7-ում):

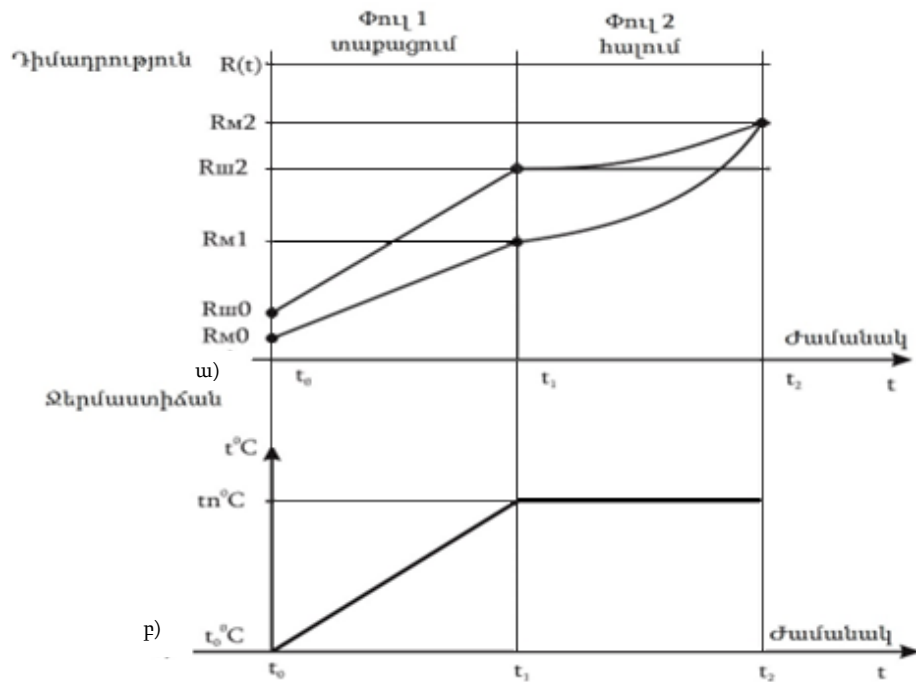
Փուլ 1: Մետաղի տաքացում:

Տաքացման գործընթացում տաշտում տեղակայված մետաղի բովախառնուրդի ջերմաստիճանը բարձրանում է սառը վիճակի t_0 ջերմաստիճանից մինչև մետաղի հալման t_n ջերմաստիճանը: Համապատասխանաբար՝ առաջին փուլը տևում է t_0 -ից մինչև t_1 ժամանակամիջոցը (նկ. 2.7բ):

Ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց մեծանում է մետաղի էլեկտրական դիմադրությունը՝

$$R_t = R_0[1 + \alpha(t - t_0)], \quad (2.15)$$

որտեղ R_0, R_t -ն մետաղի ԿՓԳ-ի դիմադրությունն է համապատասխանաբար՝ t_0 սկզբնական և t ընթացիկ ջերմաստիճանների դեպքում, α -ն՝ դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցը:



Նկ. 2.7. Մետաղի տաքացման և հալման գործընթացում ջերմաստիճանի (ա) և դիմադրության (բ) կախվածությունները

Եթե պայմանականորեն համարվի, որ տաշտում միաձույլ մետաղ է, ապա առաջին փուլի սկզբում և վերջում մետաղի ԿՓԳ-ի դիմադրությունները համապատասխանաբար կլինեն՝

$$R_{m0}, R_{m1} = R_{m0}[1 + \alpha(t_n - t_0)], \quad (2.16)$$

որտեղ R_{m0}, R_{m1} -ը մետաղի ԿՓԳ-ի դիմադրությունն է համապատասխանաբար՝ t_0 սկզբնական ջերմաստիճանի և t_n հալման ջերմաստիճանի դեպքում (նկ. 2.7ա):

Երբ մետաղը միաձույլ չէ և ծավալը լցված է ջարդոնով, այսինքն՝ բովախառնուրդով, որի ծավալը գերազանցում է միաձույլ մետաղի ծավալին, ապա մետաղի ԿՓԳ-ի դիմադրություններն առաջին փուլի սկզբում և վերջում համապատասխանաբար կլինեն՝

$$R_{w0}, R_{w1} = R_{w0}[1 + \alpha(t_n - t_0)], \quad (2.17)$$

որտեղ R_{w0}, R_{w1} -ը մետաղի բովախառնուրդի ԿՓԳ-ի դիմադրություններն են համապատասխանաբար t_0 սկզբնական և t_n հալման ջերմաստիճանների դեպքում (նկ. 2.7ա):

Մետաղի կամայական ձևի կտորներով հոսանքի անցման ճանապարհի մեծ երկարության և հպակային դիմադրության առկայության պատճառով բովախառնուրդի

դիմադրությունն ավելի բարձր է, քան միաձույլ մետաղի դիմադրությունը: Դիմադրության նշված մեծացումը որոշվում է K_0 ծավալային գործակցով, որը ներկայացնում է էլեկտրական դիմադրության պատիկությունն այն դեպքում, երբ մետաղը միաձույլ չէ և ծավալը լցված է ջարդոնով (բովախառնուրդով), որի ծավալը գերազանցում է միաձույլ մետաղի ծավալին:

$$R_w = K_0 R_m : \quad (2.18)$$

K_0 ծավալային գործակիցն արտահայտվում է բովախառնուրդի հարաբերական ծավալի միջոցով՝ ընդունելով, որ որքան մեծ ծավալ է զբաղեցնում բովախառնուրդը մետաղի տրված ծավալի դեպքում, այսինքն, որքան մեծ են բովախառնուրդում մետաղի կտորները, այնքան մեծ են տեսակարար և լրիվ դիմադրությունները:

Բովախառնուրդի K_w հարաբերական ծավալը ներկայացնում է նույն զանգվածի բովախառնուրդի V_w ծավալի հարաբերությունը միաձույլ մետաղի V_m ծավալին՝

$$K_w = \frac{V_w}{V_m}, \quad (2.19)$$

Մետաղի ծավալը կլինի՝

$$V_m = \frac{G}{g}, \quad (2.20)$$

որտեղ G -ն մետաղի զանգվածն է, g -ն՝ դրա տեսակարար զանգվածը:

Տաշտում տեղակայված բովախառնուրդի V_w կամ մետաղի V_m ծավալները կարելի է արտահայտել տաշտի չափսերի և տաշտում բովախառնուրդի (մետաղի) բարձրության միջոցով, հանելով մագնիսալարի ներառված մասի ծավալը (նկ. 2.4).

$$V = ABh_1 - a_1 b_1 [2(h_1 - h_4) + m], \quad (2.21)$$

որտեղ՝

$$h_1 = h_2 + h_3 + a_1 + h_4, \quad m = 2(m_1 + m_2):$$

Այստեղից կարելի է արտածել բովախառնուրդի (մետաղի) բարձրությունը՝ h_1 չափը, որն անհրաժեշտ է հետագա հաշվարկի համար.

$$h_1 = \frac{\frac{V}{a_1 b_1} + m - 2h_4}{\frac{AB}{a_1 b_1} - 2} : \quad (2.22)$$

Այսպիսով, բովախառնուրդի ծավալը կարող է որոշվել տաշտում լցման h_l բարձրությունը չափելով (նկ. 2.1): Մետաղի ծավալը կարող է որոշվել իր զանգվածով՝ (2.21)-ին կամ (2.20)-ին համանման կերպ:

Ծավալային K_0 գործակցի կախվածությունը բովախառնուրդի k_w հարաբերական ծավալից պետք է որոշվի փորձնականորեն՝ վառարանի տրված չափսերի համար, արտահայտվի վերլուծականորեն և ներառվի հաշվարկում՝ ելակետային տվյալների բանկում օգտագործելու համար՝

$$K_0 = F(K_w): \quad (2.23)$$

Տաքացման առաջին փուլում բովախառնուրդի դիմադրությունն աճում է գծայնորեն՝ համապատասխան (2.15)-ի (նկ. 2.7բ): Ընդ որում, բովախառնուրդի ծավալը չի փոփոխվում, քանի որ առաջին փուլում ընթացիկ ջերմաստիճանը դեռ չի հասել հալման ջերմաստիճանին և հալում տեղի չի ունեցել:

Փուլ 2: Մետաղի հալումը:

Բովախառնուրդին ջերմային էներգիա հաղորդելիս հալման t_n ջերմաստիճանին հասնելիս սկսվում է դրա աստիճանական հալման գործընթացը՝ ընդհուպ մինչև լրիվ հալումը: Երկրորդ փուլը, մինչև բովախառնուրդի լրիվ հալումը, տևում է t_1 -ից մինչև t_2 ժամանակամիջոցը (նկ. 2.7): Երկրորդ փուլի ընթացքում հալույթի ջերմաստիճանը չի փոփոխվում: Սակայն երկրորդ փուլում հալույթի ընթացիկ էլեկտրական դիմադրությունը փոփոխվում է հետևյալ պատճառներով.

1. Հալված մետաղի տեսակարար էլեկտրական դիմադրությունը մինչև հալման ջերմաստիճանին հասնելը մոտավորապես 1,5 ... 2 անգամ մեծ է, քան պինդ վիճակում մետաղի տեսակարար դիմադրությունը (դիտարկվող դեպքում՝ t_1 ժամանակի պահին) [97]: Ջերմաստիճանից կախված պղնձի դիմադրության փոփոխման մոտավոր տեսքը ագրեգատային վիճակի փոփոխման դեպքում բերված է նկ. 2.8-ում: Դիմադրության թռիչքը համապատասխանում է պղնձի հալման ջերմաստիճանին՝ $1083^{\circ}C$: Տաքացման փուլում դիմադրությունը մեծանում է գծային-աճող բնույթով:

2. Հալման ժամանակ տեղի է ունենում բովախառնուրդի ծավալի աստիճանական նվազում՝ բովախառնուրդի հալման հետևանքով: Այս դեպքում մետաղի միաձուլման հետևանքով փոքրանում են բովախառնուրդի կտորների համանման մակերևույթների

դիմադրությունները և դրանում հոսանքի անցման ճանապարհը: Արդյունքում հալման գործընթացում բովախառնուրդի դիմադրությունն աստիճանաբար նվազում է և դրա լրիվ հալման ժամանակ դառնում հավասար միաձույլ մետաղի դիմադրությանը:

Երկրորդ փուլում դիմադրության փոփոխման դինամիկան ցույց է տրված նկ. 2.7-ում կախվածության աջ մասում:

Հալման գործընթացում ներկայացված երկու գործոնները՝ մետաղի դիմադրության մեծացումը պինդ վիճակից հեղուկ վիճակի անցնելիս (փուլ 2. կետ 1) և դիմադրության փոքրացումը հալման ու բովախառնուրդի ծավալի փոքրացման հետևանքով (փուլ 2. կետ 2)՝ հակառակ կերպ են ներգործում դիմադրության փոփոխության վրա: Երկու գործոններն էլ տարափային բնույթի են: Արդյունաբար գործընթացը նույնպես կունենա տարափային բնույթ և հալման երկրորդ փուլում դիմադրության փոփոխությունը կարտահայտվի միասնական ֆունկցիայով: Հալման ժամանակ բովախառնուրդի դիմադրության փոփոխության տարափանման գործընթացը կարող է նկարագրվել աստիճանային բազմանդամով՝ մոտավորապես այնպես, ինչպես նկարագրվում է կիսահաղորդչային դիոդի բացման տարափանման գործընթացը՝ դրա վոլտ-ամպերային բնութագիրը [82, 85].

$$R(t) = R_{m1}(a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + \dots + a_nt^n), \quad (2.24)$$

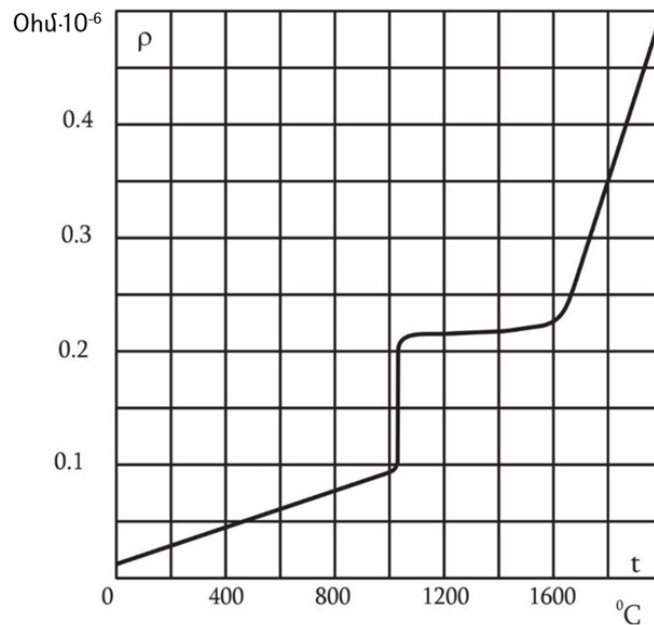
որտեղ $R(t)$ -ն մետաղի ԿՓԳ-ի դիմադրությունն է t ժամանակի պահին հալման փուլում, $t_1 < t < t_2$, R_{m1} -ը՝ ԿՓԳ-ի դիմադրությունը տաքացման փուլի վերջում t_1 ժամանակի պահին, երբ հալման ջերմաստիճանը հասել է t_n -ի, $a_1, a_2, a_3 \dots a_n$ -ը՝ աստիճանային բազմանդամի գործակիցները:

Մետաղի ԿՓԳ-ի R_{m2} դիմադրությունը ժամանակի t_2 պահին, երբ տաշտում ողջ մետաղը հալված է, հավասար է միաձույլ մետաղի R_{m1} դիմադրությանը տաքացման փուլի վերջում ժամանակի t_1 պահին, երբ հալման ջերմաստիճանը հասցված է t_n -ի, բազմապատկած դիմադրության մեծացման $t_{\mathcal{K}}$ գործակցով մետաղի հեղուկ վիճակի անցնելիս (նկ. 2.8) [79]:

Բովախառնուրդի սկզբնական R_{m1} դիմադրության կետի դիրքը, երբ սկսվում է հալման փուլը t_1 ժամանակի պահին, փոփոխվում է՝ կախված հետևյալից.

1. *Բովախառնուրդի վիճակից.* բովախառնուրդի ծավալի պատիկությունը համե-

մատական է միաձույլ մետաղի ծավալին, այսինքն՝ բովախառնուրդի հարաբերական k_{uu} ծավալին, համապատասխանաբար ծավալային K_0 գործակցին և բովախառնուրդի դիմադրության R_{u0} սկզբնական մեծությանը, որով որոշվում է R_{u1} կետի դիրքը՝



Նկ. 2.8. Պղնձի դիմադրության փոփոխությունը ագրեգատային վիճակի փոփոխության դեպքում

$$R_{m2} = K_{\text{жс}} R_{m1} : \quad (2.25)$$

2. Մետաղի ձևից՝ դրա հալման t_1 ջերմաստիճանից, համապատասխանաբար, բովախառնուրդի սկզբնական R_{u1} դիմադրության կետից՝ ըստ (2.15)-ի, երբ ավարտվում է տաքացման փուլը և ժամանակի t_1 պահին սկսվում է հալման փուլը:

Այն դեպքում, երբ լրիվ հալված մետաղի R_{m2} դիմադրության կետի դիրքը, ամրակայված է, ապա հալման փուլի սկզբում դիմադրությունից անցումը հալման փուլի վերջում դիմադրությանը կարող է տեղի ունենալ վերընթաց կորով, ինչպես այն պատկերված է նկ. 2.7-ում: Հակառակ դեպքում դիմադրության առավելագույն նշանակությունը կարող է գրանցվել ինչպես հալման փուլի սկզբում ժամանակի t_1 պահին, այնպես էլ դրա վերջում ժամանակի t_2 պահին: Վերջին դեպքում աստիճանային բազմանդամի գործակիցները (2.24)-ում կունենան բացասական արժեքներ:

Աստիճանային բազմանդամի անդամների քանակը և դրանց մեծությունները որոշվում են արտարկմամբ, ելնելով հետևյալ պայմանից՝

$$R(t) = R_{\text{ս}}(a_1 t_2 + a_2 t_2^2 + a_3 t_2^3 + \dots): \quad (2.26)$$

Բերված (2.15) և (2.28) արտահայտությունները, հաշվի առած (2.26)-ը, ներդրվում են տվյալների բանկում և օգտագործվում հաշվարկի ժամանակ:

Մոտավոր հաշվարկներ կատարելիս ԿՓԳ-ի դիմադրության փոփոխությունը կարող է ընդունվել գծային: Այդ դեպքում $a_2, a_3 \dots a_n$ գործակիցների արժեքները պետք է ընդունել հավասար զրոյի:

Մետաղի տաքացման և հալման համար անհրաժեշտ W էներգիան որոշվում է որպես մետաղի զանգվածի տաքացման համար դրա ջերմաստիճանը մինչև հալման ջերմաստիճանին հասցնելու համար անհրաժեշտ էներգիայի և մետաղի զանգվածի փուլային վիճակից մինչև հեղուկ վիճակի փոփոխվելիս դրա ողջ զանգվածի հալման համար անհրաժեշտ էներգիաների գումար.

$$W = W_H + W_{II} = q_H G(t - t_0) + q_{II} G, \quad (2.27)$$

որտեղ W_H -ը G զանգվածով մետաղը սկզբնական $t_0 = 15^\circ C$ ջերմաստիճանից մինչև հալման t ջերմաստիճանը տաքացման համար անհրաժեշտ էներգիան է, պղնձի համար՝ $t=1083^\circ C$, q_H -ը՝ մետաղի տեսակարար ջերմունակությունը, W_{II} -ը՝ G զանգվածով մետաղի հալման համար անհրաժեշտ էներգիան, q_{II} -ը՝ մետաղի հալման տեսակարար ջերմությունը [35, 39]:

Տաքացման և հալման ողջ գործընթացի T ժամանակը որոշվում է՝ կախված հալման ռեժիմից:

Հաստատուն լարման ռեժիմում (1) T ժամանակը որոշվում է հետևյալ ինտեգրալ հավասարման լուծումով՝

$$W = \int_0^T P(t) dt = \int_0^T \frac{U^2}{R(t)} dt, \quad (2.28)$$

որտեղ $P(t)$ -ն հզորության կարգավորման ֆունկցիան է՝ ըստ ժամանակի տրանսֆորմատորի մուտքում հաստատուն լարում ապահովելու պայմանից, U -ն՝ ԿՓԳ-ի կոնտուրում լարումը, $R(t)$ -ն՝ մետաղի ԿՓԳ-ի դիմադրության փոփոխման ֆունկցիան (նկ. 2.8):

Հաստատուն հզորության ռեժիմում (2) T ժամանակը որոշվում է՝ լուծելով հավասարումը.

$$T = \frac{W}{P}, \quad (2.29)$$

որտեղ $P = const$ -ը տրանսֆորմատորի մուտքում ակտիվ հզորությունն է, որը պահվում է հաստատուն լարման կարգավորման արդյունքում:

Ներկայացված (2.28) և (2.29) արտահայտություններում W -ն տրված կամ չափված էներգիան է, որն անհրաժեշտ է տրված քանակի մետաղի տաքացման և հալման համար:

Գործընթացի արտադրողականությունը որոշվում է հետևյալ կերպ.

$$M = \frac{G}{T}, \quad (2.30)$$

որտեղ G -ն տաշտում տեղաբաշխված մետաղի քանակն է, T -ն՝ տաքացման և հալման գործընթացի ժամանակը:

Հալման գործընթացն իրականացնելու համար տեղակայանքի ցանցից ստացված էներգիան պետք է գերազանցի մետաղի տաքացման և հալման համար անհրաժեշտ (2.27) էներգիային ջերմային կորուստների չափով, որոնք ցրվում են շրջակա միջավայր տաշտի պատերով, և հաղորդվում ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ներառված մագնիսալարին: Այդ ջերմային կորուստները հաշվարկված են կետ 2.3-ում: Դրանցով որոշվում է տեղակայանքի ջերմային ՕԳԳ-ն և այն հաշվի է առնվում հաշվարկման մեթոդիկայում (գլուխ3):

Գործնականում հաճախ կախված հալվող մետաղի բովախառնուրդի վիճակից (հատիկների չափից, ձևից և մակերեսի վիճակից) տեղի է ունենում խուղակային վառարանի դժվար գործարկում կամ ընդհանրապես այն չի գործարկվում: Այդ երևույթի դեմ պայքարելու համար կա երկու միջոց՝ առաջինը բարձրացնել գալարի լարման մեծությունը և երկրորդ՝ օգտագործել մագնիսալարի վրա կարճ փակված գալար, որը կգտնվի հալվող մետաղի գոտում: Առաջին միջոցը դժվար է իրականացնել, քանի որ առաջնային տրանսֆորմատորի գալարների քանակը ընտրվում է հաշվի առնելով մագնիսալարի թյուլատրելի ինդուկցիայի մեծությունը: Մեծ պահուստով թյուլատրելի ինդուկցիայի ընտրումը ցանկալի չէ, քանի որ մեծանում է խուղակավոր

վառարանի երկրաչափական չափերը և քաշը: Նպատակահարմար է մագնիսալարի վրա կարճ փակված գալարի օգտագործումը, որը կարելի է պատրաստել չժանգոտվող պողպատից (կարճ փակված գալարի նյութը չպետք է լիկվացիայի ենթարկվի հալվող մետաղում), դրա չափսերը ելնելով նկ. 2.3 – ից, քառակուսի օղակ է, որի ներսի չափսերն են 60x60x30, իսկ արտաքին չափսերն են՝ 80x80x30: Այդ կարճ փակված գալարի օհմական դիմադրությունը հավասար է՝

$$R = \rho(t)l_y/S_q = 0,0007 \text{ Ohմ},$$

որտեղ $\rho(t)$ – ն չժանգոտվող պողպատի տեսակարար դիմադրությունն է, ընդունում ենք հավասար մոտ $0,80 \text{ Ohմ.մմ}^2/\text{մ}$, l_y -ն՝ կարճ փակված գալարի միջին երկարությունն է՝ $l_y = 0,28 \text{ մ}$, S_q – ը՝ կարճ փակված գալարի հատույթն է՝ $S_q = 30 \times 10 = 300 \text{ մմ}^2$: Հետևաբար, այդ գալարում անջատված հզորությունը (ԿՓԳ-ի U_e լարումն ընդունված է հավասար մոտավորապես 0.78 Վ) կլինի հավասար՝ $P = (U_e)^2/R \times 10^3 = 870 \text{ Վտ}$:

Այս հզորությունը բավական է վառարանի գործարկման համար:

Մոդել N2 – ինդուկտորային տրանսֆորմատոր

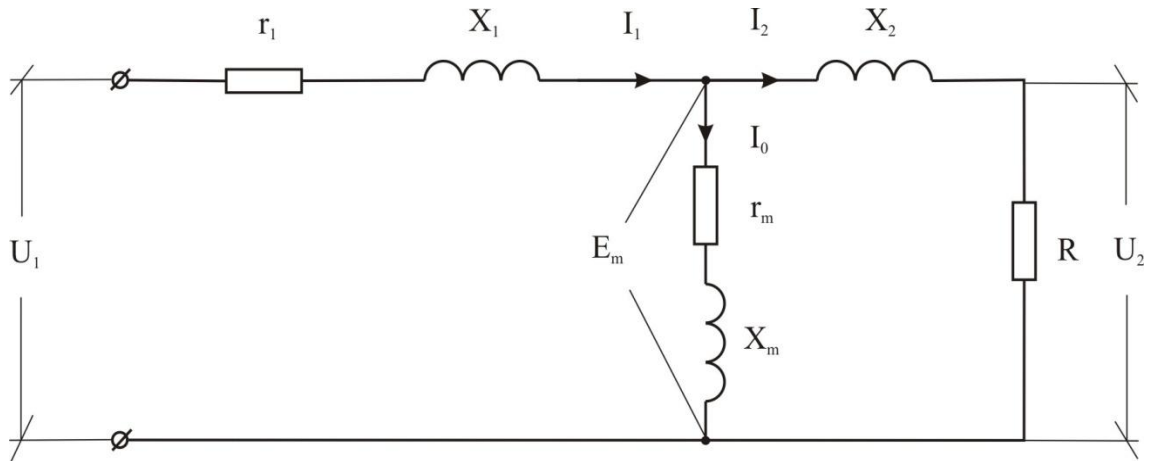
Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի փոխարինման սխեման բերված է նկ. 2.9-ում: Երկրորդային փաթույթի՝ ԿՓԳ-ի ակտիվ դիմադրության բացառիկ փոքրության դեպքում փաթույթների ինդուկտիվ դիմադրությունը ձեռք է բերում համեմատաբար շոշափելի մեծություն, և այն չի կարող անտեսվել:

Նախքան տրանսֆորմատորի հաշվարկը ինդուկտորի ակտիվ դիմադրությունը ճշգրիտ որոշել հնարավոր չէ, քանի որ առկա են հետևյալ պայմանների որոշիչ ազդեցությունները՝ հոսանքի ընդունված խտությունը, հովացման պայմանները, և առաջնային հոսանքը, որոնք ճշգրիտ որոշվում են միայն նախագծումից և փորձարկումից հետո:

Տրանսֆորմատորի ցրման և փաթույթների ինդուկտիվ դիմադրությունների ճշգրիտ հաշվարկը նշանակալի բարդ է, ինչը հատկապես վերաբերում է երկրորդային փաթույթին, որը մեկ ԿՓԳ է [8, 43, 49]:

Հաշվի առնելով ներկայացվածը՝ նախագծվող ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ինդուկտիվ դիմադրությունը որոշվում է վերահաշվարկման մեթոդով՝ նման կառուցվածքի և մոտ հզորությամբ հայտնի ինդուկտորային տրանսֆորմատորին

համեմատական, որն ընդունվում է որպես **բազային**, և որի կառուցվածքային պարամետրերը հասցված են մինչև պահանջվող մակարդակը:



Նկ. 2.9. Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի փոխարինման սխեման.

r_1 ՝ ինդուկտորի ակտիվ դիմադրություն, x_1 ՝ ինդուկտորի ցրման ինդուկտիվ դիմադրություն, r_m ՝ մագնիսալարում կորուստների ակտիվ դիմադրություն, x_m ՝ մագնիսացման ինդուկտիվ դիմադրություն, x_2 ՝ երկրորդային փաթույթի (մեկադղի ԿՓԳ-ի) ցրման ինդուկտիվ դիմադրություն, R ՝ երկրորդային փաթույթի (մեկադղի ԿՓԳ-ի) բեռի ակտիվ դիմադրություն, U_1 ՝ ինդուկտորի (ցանցի) լարում, I_1 ՝ ինդուկտորի հոսանք, E_m ՝ մագնիսացման էլշու, I_0 ՝ մագնիսացման (պարապ ընթացքի) հոսանք, U_2 ՝ երկրորդային փաթույթի (ԿՓԳ-ի) լարում, I_2 ՝ երկրորդային փաթույթի (ԿՓԳ-ի) հոսանք

Վերահաշվարկման պարամետրերը հետագայում կարող են ընդունվել որպես անփոփոխ (այսուհետ բազային տրանսֆորմատորի պարամետրերը նշանակված են «0» ներքին ցուցիչով):

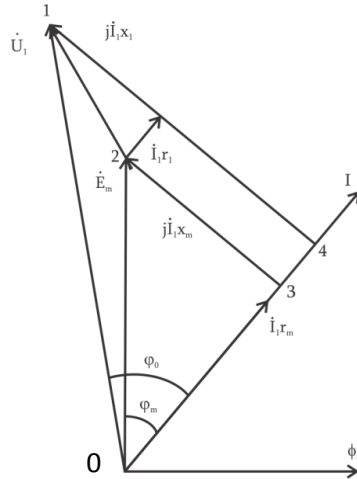
Բազային տրանսֆորմատորը միացվում է ցանցին պարապ ընթացքի ռեժիմում:

Պարապ ընթացքն առկա է տաշտը բովախառնուրդով չբեռնված ժամանակ, քանի որ տրանսֆորմատորի մագնիսալարի շուրջը չի ձևավորվում ԿՓԳ: Նկ. 2.10-ում բերված է ինդուկտորային տրանսֆորմատորի վեկտորային դիագրամը պարապ ընթացքի ռեժիմում (այստեղ և այսուհետ վեկտորային դիագրամների վրա վեկտորների համեմատական չափերը պահպանված չեն տեսանելիության համար):

Բազային տրանսֆորմատորի պարապ ընթացքի ռեժիմում ցանցից սպառված և վատտմետրով չափված ակտիվ հզորությունը կլինի՝

$$P_0 = U_{10} I_{10} \cos \varphi_0 = I_{10}^2 (r_{10} + r_{mo}), \quad (2.31)$$

որտեղ U_I -ը ինդուկտորի (ցանցի) լարումն է, I_I -ը՝ անմիջապես ամպերմետրով չափված ինդուկտորի հոսանքը, r_{10} -ը՝ բազային տրանսֆորմատորի ինդուկտորի ակտիվ դիմադրությունը՝ չափված անմիջապես օհմմետրով:



Նկ. 2.10. Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի վեկտորային դիագրամը պարապ ընթացքի ռեժիմում

Մագնիսալարում կորուստների ակտիվ դիմադրությունը որոշվում է հետևյալ կերպ.

$$r_{mo} = \frac{P_0}{I_{10}^2} - r_{10} : \quad (2.32)$$

Նկ. 2.10 վեկտորային դիագրամի 0-1-4 եռանկյունուց կարելի է ստանալ՝

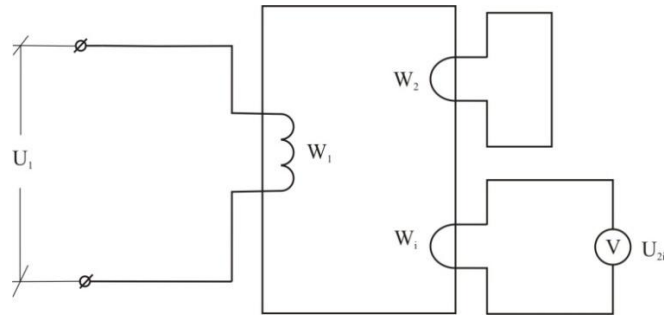
$$U_{10}^2 = [I_{10}(x_{10} + x_{mo})]^2 + [I_{10}(r_{10} + r_{mo})]^2, \quad (2.33)$$

իսկ 0-2-3 եռանկյունուց՝

$$E_{m0}^2 = U_{20i} \left(\frac{W_1}{W_i} \right) = (I_{10} x_{mo})^2 + (I_{10} r_{mo})^2 : \quad (2.34)$$

Մագնիսացման E_{m0} էլշու-ն, որը միշտ փոքր է ըստ մեծության և անորոշելի, որոշվում է հետևյալ կերպ: Տրանսֆորմատորի մագնիսալարի վրա ինդուկտորին անմիջապես մոտ փաթաթվում է միաշերտ չափիչ փաթույթը (նկ. 2.11): Այդ փաթույթի չափված լարումը տրանսֆորմատորի պարապ ընթացքի ռեժիմում կարող է ընդունվել որպես մագնիսացման հարաբերական E_{m0} էլշու: Այստեղ U_{20i} -ն չափիչ փաթույթի վրա չափված լարումն է, W_I -ն՝ ինդուկտորի գալարների հայտնի քանակը, W_i -ն՝ չափիչ

փաթույթի գալարների քանակը:

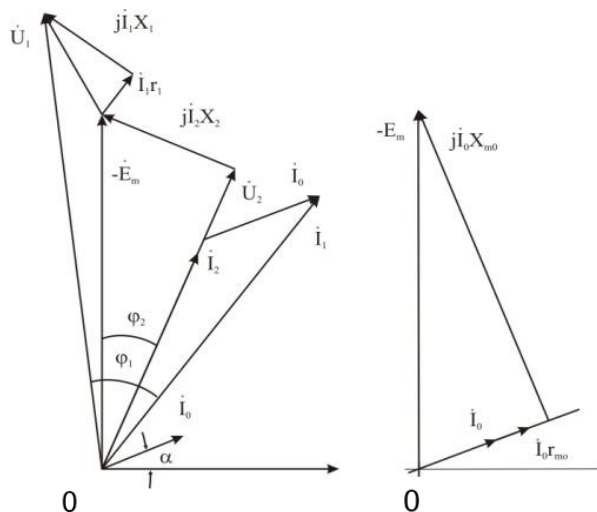


Նկ. 2.11. Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի վրա չափիչ փաթույթի տեղաբաշխումը

Բազային տրանսֆորմատորի x_{10} և x_{m0} ինդուկտիվ դիմադրությունները որոշվում են (2.33) և (2.34) հավասարումների համակարգը լուծելով (վերլուծական հաշվարկներն այստեղ չեն բերված):

Բազային տրանսֆորմատորի երկրորդային փաթույթի (ԿՓԳ-ի) x_{20} ցրման ինդուկտիվ դիմադրությունը որոշվում է բազային տրանսֆորմատորի բեռնավորված վիճակում չափման արդյունքներով, երբ տաշտում առկա է բովախառնուրդը և ձևավորվել է ԿՓԳ-ը: Բեռնավորված վիճակում ինդուկտորային տրանսֆորմատորի վեկտորային դիագրամը բերված է նկ. 2.12-ում:

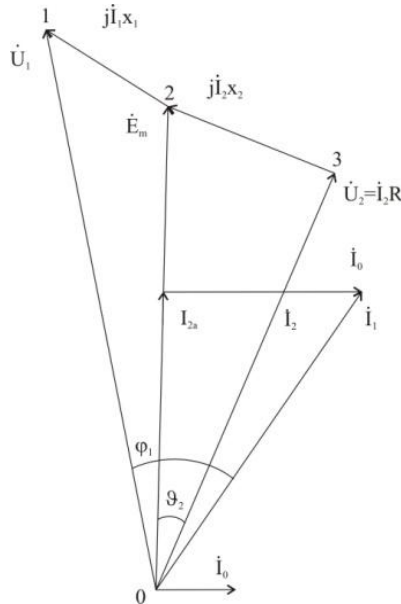
Բեռնավորված վիճակում ինդուկտորային տրանսֆորմատորի վեկտորային դիագրամը կարելի է ներկայացնել պարզեցված տեսքով՝ համարելով, որ բազմագալար ինդուկտորի ակտիվ դիմադրությունը բավականին փոքր է դրա ցրման ինդուկտիվ դիմադրությունից, իսկ պարապ ընթացքի մագնիսացման հոսանքը բավականին փոքր է ինդուկտորի մուտքային հոսանքից:



Նկ. 2.12. Բեռնավորված ինդուկտորային տրանսֆորմատորի վեկտորային դիագրամը

Բեռնավորված վիճակում ինդուկտորային տրանսֆորմատորի պարզեցված վեկտորային դիագրամը, հաշվի առած նշված ընդունելությունները, բերված է նկ. 2.13-ում:

Միաժամանակ կարելի է ընդունել, որ լարման անկման վեկտորները x_{10} դիմադրության վրա առաջնային հոսանքից և x_{20} դիմադրության վրա երկրորդային հոսանքից համընկնում են փուլով և գտնվում նույն ուղղի վրա (նկ. 2.13):



Նկ. 2.13 Բեռնավորված ինդուկտորային տրանսֆորմատորի պարզեցված վեկտորային դիագրամը

Նկ. 2.13 վեկտորային դիագրամի 0-1-3 եռանկյունուց կարելի է որոշել.

$$U_{10}^2 = (I_{10}x_{10} + I_{20}x_{20})^2 + (I_{20}R_0)^2, \quad (2.35)$$

որտեղ U_{10} -ն ինդուկտորի մուտքում չափված լարումն է, I_{10} -ն՝ ինդուկտորի մուտքային հոսանքը, I_{20} -ն՝ երկրորդային փաթույթի (ԿՓԳ-ի) հոսանքը, որը չի հսկվում, x_{20} -ն՝ երկրորդային փաթույթի ցրման ինդուկտիվ դիմադրությունը, R_0 -ն՝ ԿՓԳ-ի ակտիվ դիմադրությունը:

Նկ. 2.13 վեկտորային դիագրամի 0-2-3 եռանկյունուց ունենք՝

$$E_{mon}^2 = U_{20i} \left(\frac{W_1}{W_2} \right) = (I_{20}x_{20})^2 + (I_{20}R_0)^2, \quad (2.36)$$

որտեղ E_{mon} -ը մագնիսացման էլշուն է, U_{20i} -ն՝ չափիչ փաթույթի լարումը:

Երկրորդային փաթույթի x_{20} ցրման ինդուկտիվ դիմադրությունը որոշվում է (2.35) և (2.36) հավասարումների համակարգը լուծելով (վերլուծական հաշվարկներն այստեղ

չեն բերված):

Բազային տրանսֆորմատորի երկրորդային փաթույթի իրական պարամետրերը որոշվում են հետագայում՝ վերահաշված անմիջապես վերահաշվարկման գործակցով, արտահայտված տրանսֆորմացման գործակցով [40, 43]:

$$\begin{aligned}
 I'_{20} &= \left(\frac{W_1}{W_2} \right) I_2 = W_1 I_{20}, \\
 X'_{20} &= \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^2 X_2 = \left(\frac{1}{W_1} \right)^2 X_{20}, \\
 R'_0 &= \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^2 R_0 = \left(\frac{1}{W_1} \right)^2 R_0 :
 \end{aligned}
 \tag{2.37}$$

Այստեղ I'_{20} -ը երկրորդային կոնտուրի (ԿՓԳ-ի) իրական հոսանքն է, x'_{20} -ը՝ երկրորդային կոնտուրի իրական ինդուկտիվ դիմադրությունը, R'_0 -ն՝ ԿՓԳ-ի իրական ակտիվ դիմադրությունը, W_1 -ը՝ ինդուկտորի գալարների քանակը, $W_2=1$ -ը՝ կարճ փակված կոնտուրի գալարների քանակը:

Ստացված (2.36) և (2.37) արտահայտություններում երկրորդային կոնտուրի (ԿՓԳ-ի) պարամետրերը բերված են ինդուկտորին:

Բերված (2.36) և (2.37) արտահայտություններում, ինչպես նաև նկ. 2.12 և նկ. 2.13 վեկտորային դիագրամներում ԿՓԳ-ի իրական ակտիվ դիմադրությունը որոշվում է ըստ (2.14)-ի հաշվարկի:

Նախագծվող տրանսֆորմատորի պարամետրերը որոշվում են հետևյալ կերպ:

ԿՓԳ-ի դինամիկ ակտիվ դիմադրությունը՝ հալման գործընթացում բովախառնուրդի սառը վիճակից մինչև դրա լրիվ հալումը, ինչպես վերը նշվեց, փոխվում է R_1 -ից մինչև R_2 : Դիմադրության այս արժեքները եզրային են և, սովորաբար R_1 -ը նվազագույնն է, R_2 -ը՝ առավելագույնը: Դրանք որոշվում են (2.15)-ով կամ նկ. 2.6-ով: Գործընթացի ընթացքում դիմադրության միջանկյալ արժեքները սովորաբար գտնվում են R_1 և R_2 մեծությունների միջև: Տրանսֆորմատորի ինդուկտիվ դիմադրությունները որոշվում են բազային տրանսֆորմատորի ինդուկտիվ դիմադրության հաշված արժեքներից, վերահաշվարկման գործակցի միջոցով, հետևյալ կերպ՝

$$\begin{aligned}
X_1 &= X_{10} \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{U_1}{U_{10}}, \\
X_m &= X_{m0} \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{U_1}{U_{10}}, \\
X_2 &= X_{20} \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{U_1}{U_{10}} :
\end{aligned}
\tag{2.38}$$

Այստեղ «0» ցուցիչով պարամետրերը վերաբերում են բազային տրանսֆորմատորին, իսկ առանց ցուցիչիները՝ նախագծվող տրանսֆորմատորին, P_0 -ն բազային տրանսֆորմատորի ակտիվ հզորությունն է, P -ն՝ նախագծվող տրանսֆորմատորի ակտիվ հզորությունը, U_{10} -ը՝ բազային տրանսֆորմատորի ինդուկտորի անվանական լարումը, U_1 -ը՝ նախագծվող տրանսֆորմատորի ինդուկտորի անվանական լարումը:

Հաշվարկը կատարվում է ԿՓԳ-ի դիմադրության երկու R_1, R_2 արժեքների համար ինդուկտորային տրանսֆորմատորի փաթույթներում լարման և հոսանքի որոշումով (դրանցից յուրաքանչյուրն առավելագույնն է կամ նվազագույնը) մաթեմատիկական մոդելի վերևում բերված բանաձևերով:

Հաստատուն $P=const$ հզորությամբ հալման տրված ռեժիմի ապահովման համար ԿՓԳ-ի դիմադրության R_1 -ից մինչև R_2 -ը փոփոխման պայմաններում երկրորդային փաթույթի (ԿՓԳ-ի) լարումը պետք է կարգավորվի համապատասխանաբար U_{21} -ից մինչև U_{22} (լարման նշանակման մեջ այստեղ և այսուհետ առաջին ցուցիչը փաթույթի համարն է, երկրորդը՝ ռեժիմի համարը, հալման գործընթացի սկիզբը կամ վերջը):

$$U_{21} = \sqrt{PR_1}, \quad U_{22} = \sqrt{PR_2}, \tag{2.39}$$

որտեղ P -ն հաստատուն է:

Երկրորդային փաթույթում լարման կարգավորման խորությունը կլինի՝

$$K_P = \frac{U_{22}}{U_{21}} : \tag{2.40}$$

Համապատասխանաբար՝ լարումը պետք է կարգավորվի ինդուկտորում U_{11} -ից մինչև U_{12} :

Բավարար աստիճանի մոտեցմամբ կարելի է համարել, որ տրանսֆորմատորի ինդուկտորում լարման կարգավորման խորությունը պետք է լինի նույնը՝ առավելագույն լարումն ընդունելով հավասար ցանցի անվանական լարմանը (կարգավորումը

կատարվում է ստորև): Այստեղից՝ ինդուկտորի վրա նվազագույն լարումը հավասար է՝

$$U_{11} = \frac{U_{12}}{K_P} = \frac{U_C}{K_P}, \quad U_{12} = U_C: \quad (2.41)$$

Ինդուկտորի գալարների քանակը որոշվում է՝ ելնելով տրված ինդուկցիայից և մագնիսալարի ընդունված կտրվածքից [43]՝

$$W_1 = \frac{U \cdot 10^6}{4.44 \cdot B \cdot f \cdot S}, \quad (2.42)$$

որտեղ U_1 -ը ինդուկտորի (ցանցի) առավելագույն լարումն է, B -ն՝ տրված ինդուկցիան մագնիսալարում, որը վերցվում է բազային տրանսֆորմատորում ինդուկցիայի մեծությանը մոտ, f -ը՝ ցանցի հաճախությունը, S -ը՝ մագնիսալարի կտրվածքը:

Նախագծվող տրանսֆորմատորի ինդուկտորի կտրվածքը վերահաշվարկվում է բազային տրանսֆորմատորի ինդուկտորի հաղորդալարի հայտնի S_0 կտրվածքից և համեմատական դրանց հզորություններին, ինչը համարժեք է հոսանքի խտությունն ու փաթույթների գերտաքացումը հավասար պահելուն.

$$S_1 = S_0 \frac{P}{P_0}: \quad (2.43)$$

Ինդուկտորի հաղորդալարի d_1 տրամագիծը ստացվում է կտրվածքին համապատասխան և վերցվում մոտակա անվանակարգը:

Ինդուկտորի ակտիվ դիմադրությունը կլինի՝

$$r_1 = \rho W \frac{\ell_1}{S_1}, \quad (2.44)$$

որտեղ l_1 -ը գալարի միջին երկարությունն է:

Հետագայում՝ ըստ գերտաքացման և կորուստների պայմանների, փորձարկման ընթացքում ճշգրտվում են հոսանքի խտության, հաղորդալարի կտրվածքի ու տրամագծի մեծությունները, ինչպես նաև համապատասխան կոճի չափսերը: Եթե այդ չափսերը կառուցվածքային տեսակետից չեն բավարարում, ապա անհրաժեշտ է մագնիսալարի չափսերը ճշգրտել, ընտրել հաղորդալարի այլ տրամագիծ և կատարել վերահաշվարկ, նույնիսկ բազմակի անգամ այն կրկնել ու մոտենալ կառուցվածքային տեսակետից բավարարող չափսերին:

Ինդուկտորում I_1 առավելագույն հոսանքը որոշվում է (2.36) քառակուսային

հավասարումը լուծելով (նկ. 2.13), որը տրված է նախագծվող տրանսֆորմատորի համար (առանց «0» ցուցիչով պարամետրի) հալման գործընթացի սկզբում, ընդունելով ԿՓԳ-ի R_I դիմադրությունը նվազագույնը և համապատասխանեցնելով երկրորդային կոնտուրի պարամետրերը ինդուկտորին՝ համաձայն (2.38)-ի.

$$U_1^2 = \left[I_1 x_1 + \left(\frac{1}{W_1} I'_{21} \right) (W_1^2 \cdot X'_{20}) \right]^2 + \left[\left(\frac{1}{W_1} I'_{21} \right) (W_1^2 \cdot R'_1) \right]^2, \quad (2.45)$$

որտեղ U_1, I_1 -ը ինդուկտորում լարումն ու հոսանքն են, I_2 -ը՝ ԿՓԳ-ում իրական հոսանքը, X_{20} -ը՝ երկրորդային փաթույթի իրական ինդուկտիվ դիմադրությունը՝ ըստ (2.37)-ի և (2.38)-ի, R'_1 -ը՝ ԿՓԳ-ի իրական դիմադրությունը՝ ըստ (2.14)-ի և (2.15)-ի:

Ինդուկտորի կորուստները և ՕԳԳ-ն որոշվում են հետևյալ կերպ:

Երկրորդային փաթույթի (ԿՓԳ-ի) ակտիվ դիմադրության վրա անջատված հզորությունն ամբողջովին օգտագործվում է տաքացման և հալեցման վրա և այդ պատճառով, ըստ էության, համարվում է օգտակար:

Ինդուկտորի ակտիվ դիմադրությունում ΔP_I կորուստները կլինեն՝

$$\Delta P_I = I_1^2 R_1, \quad (2.46)$$

որտեղ r_I -ը ինդուկտորի ակտիվ դիմադրություն է՝ ըստ (2.39)-ի:

Մագնիսալարի պողպատում անջատված ընդհանուր հզորությունը (պողպատում ընդհանուր կորուստները) որոշվում է հետևյալ կերպ՝

$$\Delta P_{c\sigma} = \Delta P_o \cdot G \cdot B_m^2, \quad (2.47)$$

որտեղ ΔP_o -ն մագնիսալարի պողպատում տեսակարար կորուստներն են, G -ն՝ մագնիսալարի զանգվածը, B_m -ը՝ մագնիսալարում առավելագույն ինդուկցիան:

Բովախառնուրդում ներառված մագնիսալարի մասի պողպատում կորուստներն օգտակար են, քանի որ դրանք տաքացնում են բովախառնուրդը: Բովախառնուրդի չներառված մասում անջատված հզորության կորուստները համարվում են կորած: Դրանք որոշվում են ներառման խորությամբ (նկ. 2.4)՝

$$\Delta P_C = \frac{h_H}{h_0} \cdot \Delta P_{c\sigma}, \quad (2.48)$$

որտեղ $h_0 = 2(h_5 + h_2 + h_3 + 2a_1 + m)$ -ը մագնիսալարի ընդհանուր երկարությունն է, $h_H = 2(h_5 + a_1/2 + m + a_1)$ -ը՝ բովախառնուրդում մագնիսալարի չբեռնված մասի

երկարությունը:

Տրանսֆորմատորի ՕԳԳ-ն կորոշվի հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$\eta_T = \frac{P}{P + \Delta P_1 + \Delta P_c} : \quad (2.49)$$

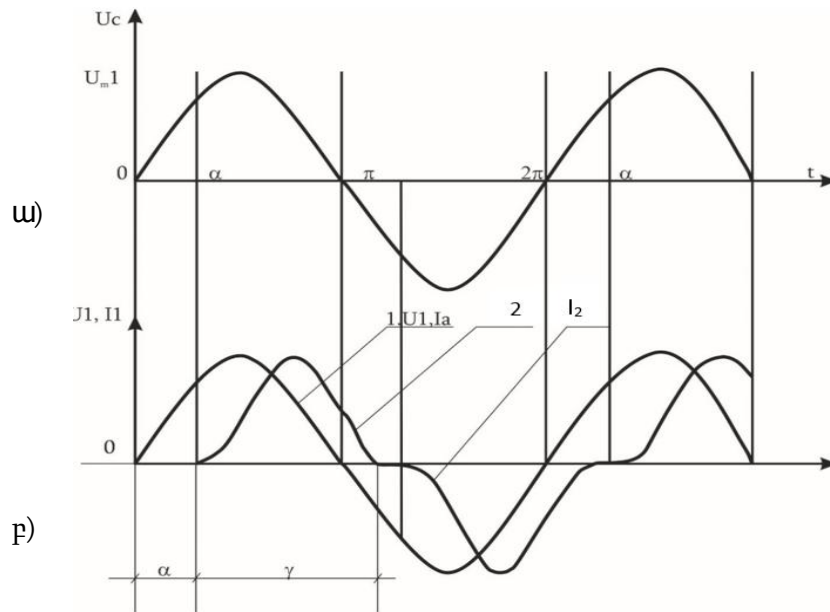
Հարկ է նշել, որ ՕԳԳ-ն այս կերպ որոշվում է սինուսոիդային տեսքի սնման լարման դեպքում, օրինակ, լարման կարգավորման ժամանակ ինդուկտորի ճյուղավորումների հաջորդական փոխարկումներով: Փուլային կառավարմամբ լարման տիրիստորային կարգավորիչից տրանսֆորմատորի սնման դեպքում, երբ լարման կորի տեսքը ոչ սինուսոիդային է (կետ 2.2.3), կորուստներն ինչպես ինդուկտորում (2.46), այնպես էլ մագնիսալարի պողպատում (2.48) պետք է որոշվեն յուրաքանչյուր հարմոնիկի համար և գումարվեն: Սակայն ջերմային կորուստների հետ համեմատ էլեկտրական կորուստների փոքրության պատճառով այդպիսի ճշգրտումը կարելի է անտեսել, միայն փորձնական տվյալների հիման վրա փոքր-ինչ մեծացնելով կորուստների հաշվարկային մեծությունը:

Մոդել N 3 – լարման տիրիստորային կարգավորիչ

Հաստատուն հզորության ռեժիմում ($P=const$) հալման գործընթացի կառավարումը կատարվում է ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ինդուկտորին կիրառվող լարման կարգավորմամբ [38, 63, 89]: Լարումը կարգավորվում է տիրիստորային կարգավորիչի (նկ. 2.4) փուլային կառավարմամբ՝ ըստ սպառվող ակտիվ հզորության, կամ՝ ըստ հոսանքի ակտիվ բաղադրիչի, կամ՝ ձեռքով (ազդեցությունը Y խողովակով): Հնարավոր է կարգավորում՝ ըստ տաշտի ջերմաստիճանի (ազդեցությունը t խողովակով):

Հաստատուն լարման ռեժիմում ($U=const$) հալման դեպքում ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ինդուկտորն անմիջականորեն միացվում է ցանցին և լարման կարգավորում չի իրականացվում:

Նկ. 2.14-ում բերված են լարման դիագրամները մուտքում (U_C , նկ. 2.14ա) և ելքում (U_I , նկ. 2.14բ): Ակտիվ բեռի դեպքում բեռի I_a հոսանքի տեսքը կրկնում է ելքային լարման տեսքին (կոր 1), ինդուկտիվության առկայության ժամանակ բեռի I_2 հոսանքը «մեղմանում է» ըստ տեսքի և առաջ է ընկնում ըստ փուլի (կոր 2) [18, 30, 86]:



Նկ. 2.14. Տիրիստորային կարգավորիչի լարման և հոսանքի դիագրամները

Ակտիվ բեռի դեպքում կարգավորիչի ելքում լարման գործող արժեքը կլինի [63, 68]՝

$$U_1 = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (\sqrt{2} U_{m1} \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = U_{m1} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}, \quad (2.50)$$

որտեղ U_{1m} -ը կառավարման $\alpha=0$ անկյան դեպքում կարգավորիչի ելքում առավելագույն լարումն է, α -ն՝ կառավարման անկյունը:

Ակտիվ-ինդուկտիվ բեռի դեպքում կարգավորիչի ելքում լարման գործող արժեքը կլինի [63, 68]՝

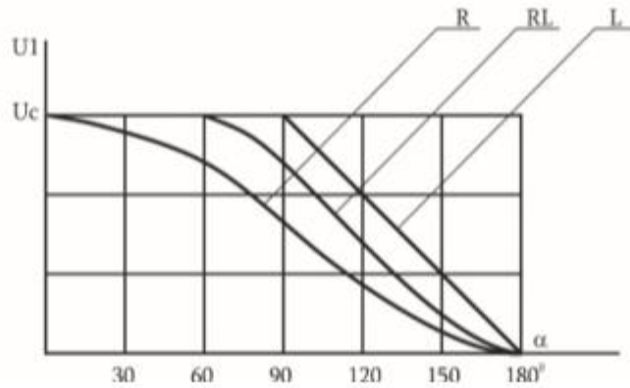
$$U_1 = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} (\sqrt{2} U_{m1} \sin \omega t)^2 d(\omega t)}, \quad (2.51)$$

որտեղ γ -ը տիրիստորով հոսանքի անցման միջակայքն է, $\gamma > \pi - \alpha$:

Կարգավորիչի ելքում U_l լարման կախումը կառավարման α անկյունից ակտիվ (R), ակտիվ-ինդուկտիվ (RL) և ինդուկտիվ (L) բեռների դեպքում [53, 65, 66] բերված է նկ. 2.15-ում:

Հալման գործընթացում և հաստատուն հզորության ռեժիմում $P=const$ ինդուկտորային տրանսֆորմատորի լարումը, ինչպես արդեն ցույց է տրվել, պետք է փոփոխվի ԿՓԳ-ի դիմադրության փոփոխմանը համապատասխան R_l ցածր արժեքից մինչև R_2 բարձր արժեքը, ընդ որում, ապահովելով հզորության անփոփոխությունը: Դրան

համապատասխան՝ կարգավորիչի ելքում լարումը պետք է փոփոխվի U_{I1} -ից մինչև U_{I2} :



Նկ. 2.15. Կարգավորիչի ելքում լարման կախվածությունը կառավարման անկյունից

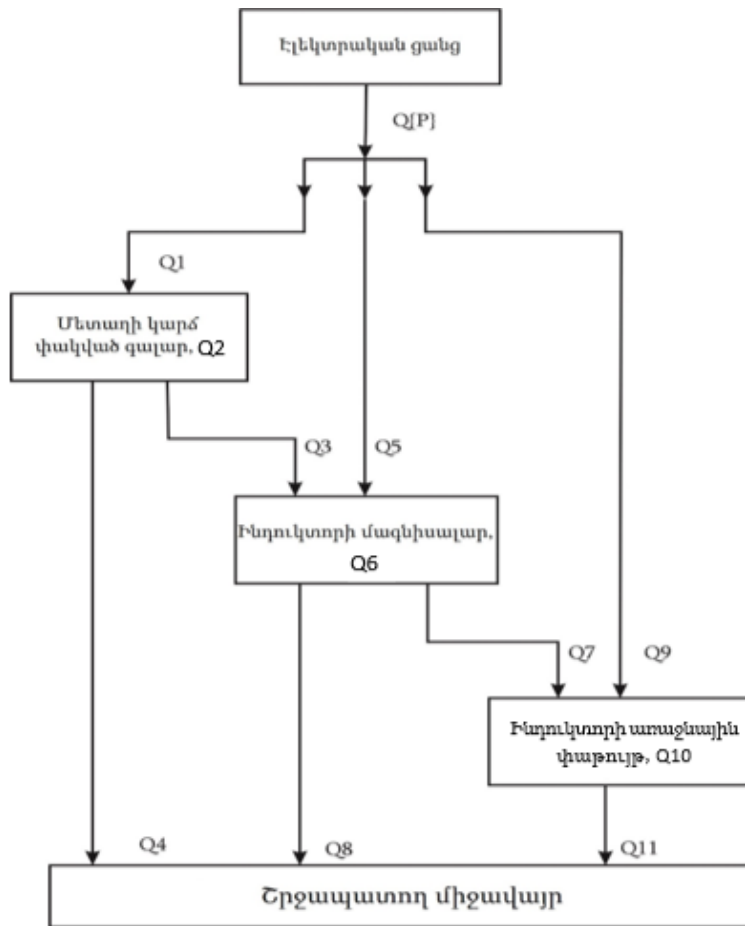
Կառավարման անկյունը, որի դեպքում ապահովվում է նվազագույն լարում կարգավորիչի ելքում, որոշվում է (2.50)-ով կամ (2.51)-ով:

Կարգավորիչի ելքում առավելագույն U_{I2} լարման դեպքում, երբ կարգավորիչը լրիվ բաց է, կառավարման անկյունը զրո է ($\alpha=0$) և լարումն ու հոսանքը սինուսոիդային են: Այդ ռեժիմում ուժի մեջ են վերը բերված բոլոր արտահայտությունները, ցանցի լարման և սպառվող հոսանքի կորերի տեսքի աղավաղումները բացակայում են, դրանք սինուսոիդային են: Կարգավորիչի ելքում նվազագույն U_{I1} լարման դեպքում դրա տիրիստորների բացումը կատարվում է կառավարման համակարգի α անկյան շեղմամբ (Նկ. 2.14) [48]: Այս դեպքում գործընթացը ոչ սինուսոիդային է, տեղի ունեն ցանցի լարման և սպառվող հոսանքի կորերի տեսքերի աղավաղումներ:

2.3. ՑՀԽՏ-ի ջերմային գործընթացների մաթեմատիկական մոդելը

Խուղակային տեղակայանքը ջերմային տեսանկյունից ներկայացնում է ջերմանջատման և ջերմակլանման տարրերը միմյանց կապող համակարգ, որը բաղկացած է ինդուկտորից, մետաղի ԿՓԳ-ի տեսքով ԻՏ-ի երկրորդային փաթույթից (տեղադրված է հալման տաշտում), ինդուկտորի մագնիսալարից, ինչպես նաև էլեկտրաէներգիայի աղբյուր հանդիսացող էլեկտրական ցանցից: Ջերմային կորուստների էներգիան փոխանցվում է շրջակա միջավայրին [36, 37, 93]:

ՑՀԽ տեղակայանքի ջերմային սխեման բերված է Նկ. 2.16-ում:



Նկ. 2.16. ՅՀԽՏ-ի ջերմային սխեմա

Ջերմային սխեմայում ցույց են տրված տարրերի կապերը, որոնցով ցուցադրված են տարրերի միջև ջերմային հոսքերի (ջերմային հզորությունների) տեղաշարժման ուղղությունները: Այդ հոսքերը կարող են կերպավորվել ջերմային էներգիայի հոսքերի (ջերմության քանակ)՝ ժամանակի ընթացքում հոսքերի թափանցման մեծության բազմապատկմամբ [64]:

Մետաղի տաքացման և հալման ջերմաֆիզիկական գործընթացը բնութագրվում է հետևյալ ջերմային մեծություններով և դրանց միջև եղած կապերով [21, 22]:

Ցանցից սպառված P էլեկտրական հզորությունը համարժեք է Q ջերմային հոսքին, որը ներկայացնում է սխեմայի տարրերում անջատվող ջերմային հոսքերի (հզորությունների) գումար.

- Մետաղի ԿՓԳ-ում օհմական տաքացման հետևանքով անջատվում է $Q1$ ջերմային հզորություն, որի մեծ մասը ($Q2$), ծախսվում է ջերմաստիճանի բարձրացման և մետաղի հալման վրա, մի մասը ($Q3$) հաղորդվում է բեռնված մագնիսալարին, մի

մասն էլ ($Q4$) տաշտի պատերով հաղորդվում է շրջակա միջավայրին՝ որպես կորուստ:

- Ներառված մագնիսալարում կիրառված էլեկտրական լարման ազդեցության տակ մագնիսալարի պողպատում անջատվում է կորուստների հզորություն՝ ջերմային հզորության տեսքով ($Q5$): Այդ անջատված $Q3$ հզորությունը տաշտում տաքացված մետաղից մագնիսալարին փոխանցվող հզորության հետ միասին կազմում է մագնիսալարում գումարային ջերմային հզորությունը ($Q3+Q5$), որի մի մասը ($Q6$) ծախսվում է մագնիսալարի տաքացման և դրա ջերմաստիճանի բարձրացման վրա, մի մասը ($Q7$) հաղորդվում է ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ինդուկտորին, մի մասն էլ ($Q8$) տաշտի պատերով հաղորդվում է շրջակա միջավայրին՝ որպես կորուստ:

- Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ինդուկտորում էլեկտրական հոսանքի ազդեցության տակ անջատվում է հզորության կորուստ՝ ջերմային հզորության տեսքով ($Q9$): Այդ անջատված հզորությունը $Q7$ հզորության հետ միասին, որը հաղորդվում է փաթույթին տաքացված մագնիսալարից, կազմում է գումարային ջերմային հզորությունը փաթույթում ($Q7+Q9$), որի մի մասը ($Q10$), ծախսվում է փաթույթի տաքացման և դրա ջերմաստիճանի բարձրացման վրա, մի մասն էլ ($Q11$) տաշտի պատերով հաղորդվում է շրջակա միջավայրին՝ որպես կորուստ:

Ջերմային գործընթացների մաթեմատիկական մոդելը նկարագրում է տարրերում ջերմանջատումը և ջերմության փոխանցումները տարրերի միջև:

Ջերմային հոսքերի (հզորությունների) տրված բաղադրիչների հաշվեկշիռը արտահայտվում է հավասարումների հետևյալ համակարգով՝

$$\begin{aligned} Q &= Q1 + Q5 + Q9, \\ Q1 &= Q2 + Q3 + Q4, \\ Q3 + Q5 &= Q6 + Q7 + Q8, \\ Q7 + Q9 &= Q10 + Q11: \end{aligned} \tag{2.52}$$

Տեղակայանքի տարրեր թափանցող ջերմային գործընթացների մաթեմատիկական նկարագրությունը հետևյալն է:

Ջերմային հզորության անջատում տարրերում.

1. Մետաղի ԿՓԳ-ը:

ԿՓԳ-ի կոնտուրում ինդուկտված U լարման ազդեցության տակ մետաղի զանգվածով հոսում է էլեկտրական հոսանք և անջատվում է Q_i ջերմային հզորություն՝

$$Q1 = \frac{U^2}{R(t)}, \quad (2.53)$$

որտեղ U -ն լարումն է ԿՓԳ-ի կոնտուրում, $R_2(t)$ -ը՝ մետաղի ԿՓԳ-ի զանգվածի դինամիկ ակտիվ դիմադրությունը (նկ. 2.8):

2. Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի մագնիսալարը:

Մագնիսացման կոնտուրի U_0 լարման ազդեցության տակ մագնիսալարի պողպատում անջատվում է Q_5 ջերմային հզորությունը, որը ներկայացնում է կորուստները պողպատում՝

$$Q5 = \Delta P_c G B^2 = \Delta P_c G \left(\frac{U_0}{4.44 w f S} \right), \quad (2.54)$$

որտեղ ΔP -ն տեսակարար կորուստներն են մագնիսալարի պողպատում, G -ն՝ մետաղի զանգվածը, B -ն՝ ինդուկցիան մագնիսալարում, U_0 -ն՝ լարումը մագնիսացման կոնտուրում, w -ն՝ ինդուկտորի գալարների քանակը, f -ը՝ էլեկտրական հոսանքի հաճախությունը, S_M -ը՝ մագնիսալարի կտրվածքը:

3. Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ինդուկտորը:

Ինդուկտորով անցնող I_1 հոսանքից փաթույթի $R_1(t)$ ակտիվ դիմադրությունում անջատվում է ակտիվ ջերմային հզորություն, որին համապատասխանում են Q_9 կորուստները փաթույթի պղնձում՝

$$Q9 = I_1^2 R_1(t) = \frac{U_1^2}{R_1^2(t)}, \quad (2.55)$$

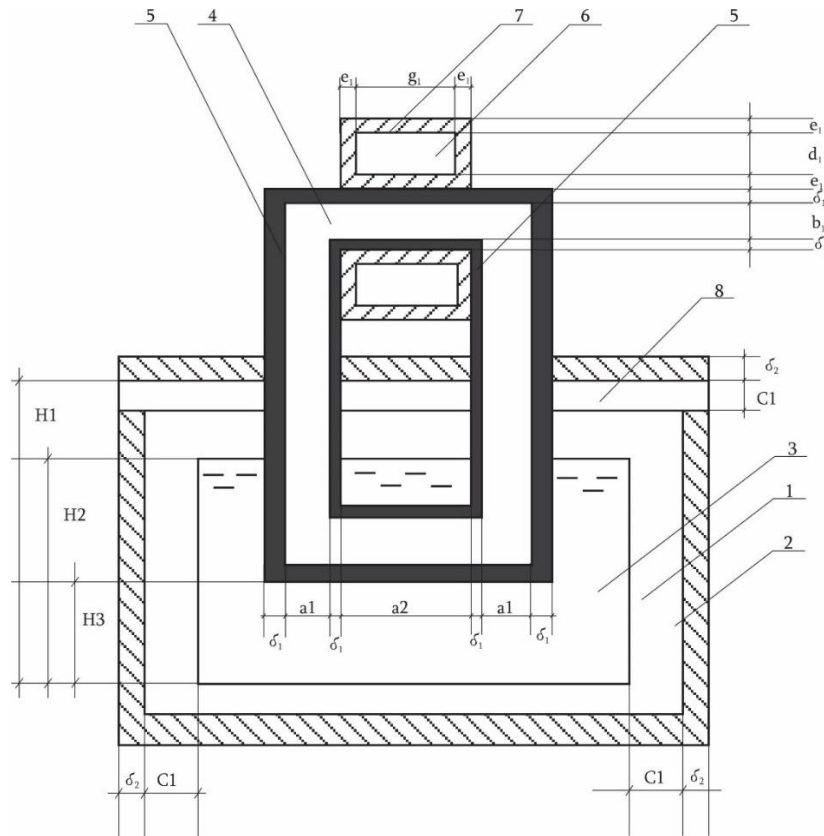
որտեղ U_1 -ը ինդուկտորին առաջադրված լարումն է, $R_1(t)$ -ն՝ ինդուկտորի դինամիկական ակտիվ դիմադրությունը:

Տարրերի միջև ջերմային հզորության հոսքերը: Տարրերի միջև ջերմային հզորության հոսքերը լինում են պատերով ջերմահաղորդման հետևանքով՝ շրջակա միջավայրում առաջացնելով ջերմաստիճանների տարբեր հոսքեր [92]:

Նկ. 2.17-ում բերված է խուղակային վառարանի կառուցվածքի ընդհանուր տեսքը:

Ջերմահաղորդումը միաշերտ հարթ պատով դեպի շրջակա միջավայր տեղի ունի մագնիսալարի մետաղի զանգվածից (Q_3), մագնիսալարից (Q_8) և ինդուկտորից (Q_{11}) հզորությունների հաղորդման դեպքում: Երկշերտ հարթ պատի միջով

ջերմահաղորդումը դեպի շրջակա միջավայր տեղի ունի ինդուկտորի մագնիսալարից (Q_7) և մետաղի զանգվածից (Q_4) հզորությունների հաղորդման դեպքում:



Նկ. 2.17. Խողովակալի շրջակայքի կառուցվածքի ընդհանուր տեսքը.

- 1 - հալման տաշտի պատ, 2 - տաշտի ջերմամեկուսացում, 3 - բովախառնուրդ (մետաղ),
 4 - ինդուկտորի մագնիսալար, 5 - ինդուկտորի ջերմամեկուսացում, 6 - ինդուկտոր,
 7 - ինդուկտորի էլեկտրական մեկուսացում, 8 - տաշտի կափարիչի ջճրմամեկուսացում

Բազմաշերտ պատի միջով ջերմահաղորդման գործընթացն ընդհանուր դեպքում նկարագրվում է հետևյալ կերպ:

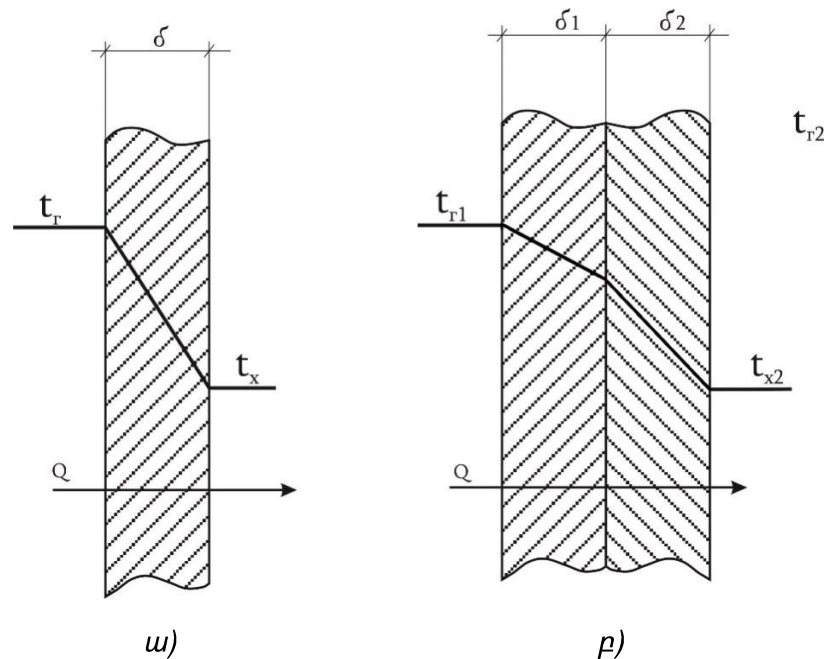
Նկ. 2.18-ում բերված է հարթ պատի միջով ջերմահաղորդման սխեման:

Ջերմության քանակը, որը հաղորդվում է ջերմահաղորդականությամբ մի միջավայրից մյուսը պատի միջով, համաձայն Ֆուրյեի օրենքի, որոշվում է հետևյալ կերպ՝

$$w = \lambda \frac{t_2 - t_x}{\delta} S \tau, \quad (2.56)$$

որտեղ W -ն հաղորդվող ջերմության (ջերմային էներգիայի) քանակն է, λ -ն՝ պատի ջերմահաղորդականության գործակիցը (պատի նյութի ֆիզիկական պարամետր է, որով բնութագրվում է ջերմության հաղորդման ունակությունը), t_2 -ն՝ պատի առավել

տաքացած մակերևույթի ջերմաստիճանը, t_x -ը՝ պատի քիչ տաքացված մակերևույթի ջերմաստիճանը, δ -ն՝ պատի հաստությունը, S -ը՝ պատի մակերևույթի մակերեսը, τ -ն՝ ժամանակը:



Նկ. 2.18. Հարթ միաշերտ (ա) և երկշերտ (բ) պատերով ջերմահաղորդման սխեման

Եթե (2.56) արտահայտության երկու մասերը բաժանվի τ -ի վրա, ապա ստացվում է պատի միջով հաղորդված Q ջերմային հոսքի (որը համաչափ է էլեկտրական հզորությանը) մեծությունը՝

$$Q = \lambda \frac{t_r - t_x}{\delta} S = \frac{t_r - t_x}{\frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\delta}{S}} = \frac{t_r - t_x}{R_t}, \quad (2.57)$$

որտեղ $R_t = (1/\lambda)(\delta/S)$ -ը պատի ջերմային դիմադրությունն է:

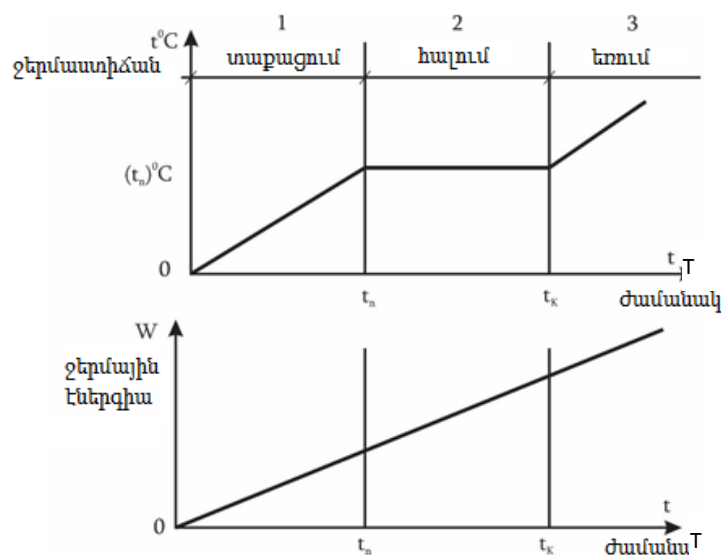
Ջերմային հզորության (2.57) արտահայտությունը նմանակն է էլեկտրական շղթաների համար Օհմի օրենքի $I = U/R$ բանաձևի, եթե Q ջերմային հոսքը փոխարինվի I էլեկտրական հոսանքով, $(t_r - t_x)$ ջերմաստիճանների տարբերությունը՝ U էլեկտրական լարմամբ (պոտենցիալների տարբերությամբ), R_t ջերմային դիմադրությունը՝ R էլեկտրական դիմադրությամբ, ջերմահաղորդականության λ գործակիցը՝ տեսակարար էլեկտրական հաղորդականությամբ, իսկ $1/\lambda$ տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունը՝ նյութի ρ էլեկտրական դիմադրությամբ:

Բազմաշերտ պատը կարող է ներկայացվել տարբեր ջերմահաղորդման միջավայրերի հաջորդական դիմադրությունների տեսքով: Այդ դեպքում ջերմային հոսքը երկշերտ պատի միջով արտահայտվում է հետևյալ կերպ (նկ. 2.17բ)՝

$$Q = \frac{t_{r1} - t_{x2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} \cdot S, \quad (2.58)$$

որտեղ t_{r1} -ն պատի առավել տաքացված մակերևույթի ջերմաստիճանն է, t_{x2} -ը՝ պատի քիչ տաքացված շերտի ջերմաստիճանը, λ_1, λ_2 -ը՝ առաջին և երկրորդ պատերի նյութի ջերմահաղորդման գործակիցները, δ -ն՝ համաատասխանաբար առաջին և երկրորդ պատերի հաստությունները, S -ը՝ պատի մակերևույթի մակերեսը:

Մետաղի տաքացումը և հալումը: Մարմնին ջերմային էներգիա հաղորդելիս տեղի ունի դրա ջերմային և ագրեգատային վիճակների փոփոխություն, որն արտահայտվում է «ջերմաստիճան-էներգիա-վիճակ-ժամանակ» ֆունկցիայով և որի մոտավոր տեսքը բերված է նկ. 2.19-ում:



Նկ. 2.19. Մարմնի պարամետրերի կախվածությունը ջերմաստիճանից

Մետաղը տաքացնելիս և ջերմային W էներգիա հաղորդելիս դրա ագրեգատային վիճակը հաջորդաբար փոփոխվում է հետևյալ կերպ:

Առաջին փուլում տեղի ունի մետաղի ջերմաստիճանի բարձրացում սկզբնական t_0 ջերմաստիճանից մինչև t_n հալման ջերմաստիճանը: Այդ դեպքում մետաղը գտնվում է

պինդ վիճակում: Առաջին փուլում մետաղին հաղորդվում է հետևյալ քանակի ջերմային էներգիա՝

$$W_1 = C_1 G_M (t_n - t_0), \quad (2.59)$$

որտեղ C_1 -ը մետաղի տեսակարար ջերմունակությունն է, G_M -ը՝ մետաղի զանգվածը, $(t_n - t_0)$ -ն՝ տաքացման սկզբնական և հալման ջերմաստիճանների տարբերությունը:

Առաջին փուլի տևողությունն ըստ ժամանակի:

1. առաջին փուլի ողջ ընթացքում հաստատուն ջերմային հզորության ժամանակը կազմում է՝

$$T_1 = W_1 / Q_1, \quad (2.60)$$

որտեղ Q_1 -ն առաջին փուլում գործող ջերմային հզորությունն է:

2. առաջին փուլի ընթացքում փոփոխական ջերմային հզորության դեպքում՝

$$T_1 = \sum_{i=1}^{i_1} T_{1i} = \sum_{i=1}^{i_1} \frac{W_{1i}}{Q_{1i}}, \quad (2.61)$$

որտեղ W_{1i}, Q_{1i} -ը համապատասխանաբար ջերմային էներգիայի քանակը և ջերմային հզորությունն են (ջերմային հոսք), որոնք առաջին փուլում ազդում են մետաղի վրա ժամանակի միավոր հատվածում T_{1i} տևողությամբ, i_1 -ը՝ առաջին փուլում ժամանակի միավոր հատվածների քանակը:

Երկրորդ փուլում տեղի ունի մետաղի զանգվածի աստիճանական հալում: Այս դեպքում հալվող մետաղի ջերմաստիճանը մնում է անփոփոխ և հավասար հալման t_n ջերմաստիճանին: Ժամանակի T_1 -ից մինչև T_2 միջակայքում մետաղի ողջ զանգվածը հալվում է: Երկրորդ փուլում մետաղին հաղորդվում է հետևյալ քանակի ջերմային էներգիա՝

$$W_2 = C_2 G_M, \quad (2.62)$$

որտեղ C_2 -ը մետաղի հալման տեսակարար ջերմությունն է, G_M -ը՝ մետաղի զանգվածը:

Երկրորդ փուլի տևողությունն ըստ ժամանակի:

1. Հաստատուն ջերմային հզորության դեպքում երկրորդ փուլի ընթացքում իրավացի է հետևյալ առնչությունը՝

$$T_2 - T_1 = W_2 / Q_2, \quad (2.63)$$

որտեղ Q_2 -ը երկրորդ փուլում գործող ջերմային հզորությունն է (ջերմային հոսքը):

2. Փոփոխական ջերմային հզորության մեծության դեպքում երկրորդ փուլի ընթացքում ունենք.

$$T_2 - T_1 = \sum_{i=1}^{i_2} T_{2i} = \sum_{i=1}^{i_2} \frac{W_{2i}}{Q_{2i}}, \quad (2.64)$$

որտեղ W_{2i}, Q_{2i} -ը համապատասխանաբար ջերմային էներգիայի քանակը և ջերմային հզորությունն են (ջերմային հոսքը), որոնք ազդում են մետաղի վրա ժամանակի միավոր հատվածում T_{2i} տևողությամբ երկրորդ փուլում, i_2 -ը՝ երկրորդ փուլում ժամանակի միավոր հատվածների քանակը:

Բերված (2.52) ... (2.64) արտահայտությունները ներկայացնում են ՑՀԽ տեղակայանքի ջերմային գործընթացների մոդելը:

Հարկ է նշել, որ առաջարկված խուղակային վառարանի գործողության սկզբունքն իր զարգացումն ունի ու այն կիրառելի է նաև հաղորդիչ հեղուկների տաքացման [3, 4] համար, քանի որ դրա կառուցվածքը թույլ է տալիս բարձրացնել էլեկտրաանվտանգությունն ի շնորհիվ, որ հեղուկը չի հպվում էլեկտրահաղորդիչին:

Եզրակացություններ երկրորդ գլխի վերաբերյալ

1. Ներկայացված է խուղակային վառարանի սկզբունքորեն նոր կառուցվածքային մոդել, որը ծառայում է ցածր հզորությամբ մետաղների հալեցման համար:
2. Մշակված է խուղակային վառարանի «տիպային կառուցվածքը», որն ապահովում է լավագույն տեխնոլոգիական և էներգետիկական ցուցանիշներ:
3. Մշակված է առաջարկվող խուղակային վառարանի էլեկտրական գործընթացների մաթեմատիկական մոդելը, որն արտացոլում է կապը տեղակայանքի երկրաչափական չափսերի, բովախառնուրդի զանգվածի և դրա բնութագրերի, էլեկտրական պարամետրերի և տեխնոլոգիական բնութագրերի միջև:
4. Մշակվել է առաջարկվող խուղակային տեղակայանքի ջերմաէլեկտրական գործընթացների դինամիկական մաթեմատիկական մոդելը, որը կապ է հաստատում ջերմություն առաքող և ջերմակլանող տարրերի ջերմային հոսքերի միջև:
5. Տիպային կառուցվածքի համեմատ խուղակային վառարանի չափսերի մեծացումը և եզրաձևի փոփոխումը հանգեցնում է դրա ցուցանիշների՝ ակտիվ ծավալի գործակցի, տեսակարար արտադրողականության, ՕԳԳ-ի և տաքացման ժամանակի վատացմանը, քանի որ այդ չափսերի մեծացումը չի բերում ՀԹԽ-ի մեծացմանը:

ԳԼՈՒԽ 3
ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՀԱԼԵՑՄԱՆ ՑՀԽՏ-Ի ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ
ՄԵԹՈԴԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

3.1. ՑՀԽՏ-ի աշխատանքի ռեժիմները

Գլուխ 2-ում ներկայացված էլեկտրական և ջերմային գործընթացների մաթեմատիկական մոդելները միավորված են ՑՀԽՏ-ի միասնական մաթեմատիկական մոդելում, որի հիման վրա մշակված է դրա հաշվարկման հետևյալ մեթոդիկան:

Հալումը կարող է իրականացվել հետևյալ ռեժիմներում:

1. **Հաստատուն հզորության ռեժիմ:** Այս ռեժիմում տրանսֆորմատորի մուտքում լարումը կարգավորվում է տաքացման և ԿՓԳ-ի դիմադրության փոփոխման ընթացքում այնպես, որպեսզի մետաղի զանգվածում անջատված հզորությունը լինի հաստատուն: Լարման կարգավորումը կատարվում է ավտոմատ կարգով տիրիստորային կարգավորիչի կամ տրանսֆորմատորի միջոցով՝ ճյուղավորումների փոխանջատումով հետադարձ կապի շղթայով (նկ. 2.4)՝ ըստ սպառվող ակտիվ հզորության, կամ բովախառնուրդի ջերմաստիճանով, կամ ձեռքով կարգավորումով (նկ. 2.4.-ում Վ կանալը):

Հաստատուն հզորության ռեժիմը պահպանելիս լարումը պետք է լինի առավելագույնը՝ մետաղի ամենամեծ դիմադրության դեպքում: Վերջինս լինում է հալման գործընթացի վերջում, իսկ նվազագույնը՝ տաքացման գործընթացի սկզբում (նկ. 2.7):

Հաստատուն հզորության ռեժիմն ապահովում է խուղակային տեղակայանքի առավելագույն արտադրողականություն, քանի որ այդ ռեժիմում օգտագործվում է ինդուկտորային տրանսֆորմատորի լրիվ տեղակայված հզորությունը:

2. **Հաստատուն լարման ռեժիմ:** Այս ռեժիմում տրանսֆորմատորի մուտքում լարումը չի կարգավորվում և համապատասխանում է ցանցի լարմանը: Գործնականում լարումն անփոփոխ է նաև ԿՓԳ-ի կոնտուրում: Մետաղի զանգվածում անջատված հզորությունը որոշվում է ԿՓԳ-ի դիմադրության R_1 -ից R_2 ընթացիկ արժեքներով:

Հաստատուն լարման ռեժիմի իրականացումը տարբերվում է սխեմայի պարզությամբ և ավտոմատ կարգավորման բացակայությամբ, չնայած հաստատուն

հզորության ռեժիմի համեմատ գործընթացի արտադրողականությունը ցածր է, քանի որ ինդուկտորային տրանսֆորմատորի տեղակայված հզորությունն օգտագործվում է ոչ լրիվ այն դեպքում, երբ ԿՓԳ-ի դիմադրությունը մեծ է, այսինքն՝ տաքացման և հալման ավարտի փուլում:

Հաշվարկը կատարվում է Δt քայլով: Համարվում է, որ հաշվարկի Δt միջակայքում պարամետրերը չեն փոփոխվում: Հաշվարկման հաջորդ միջակայքի համար հաշվարկված վերջավոր արժեքներն ընդունվում են որպես սկզբնական:

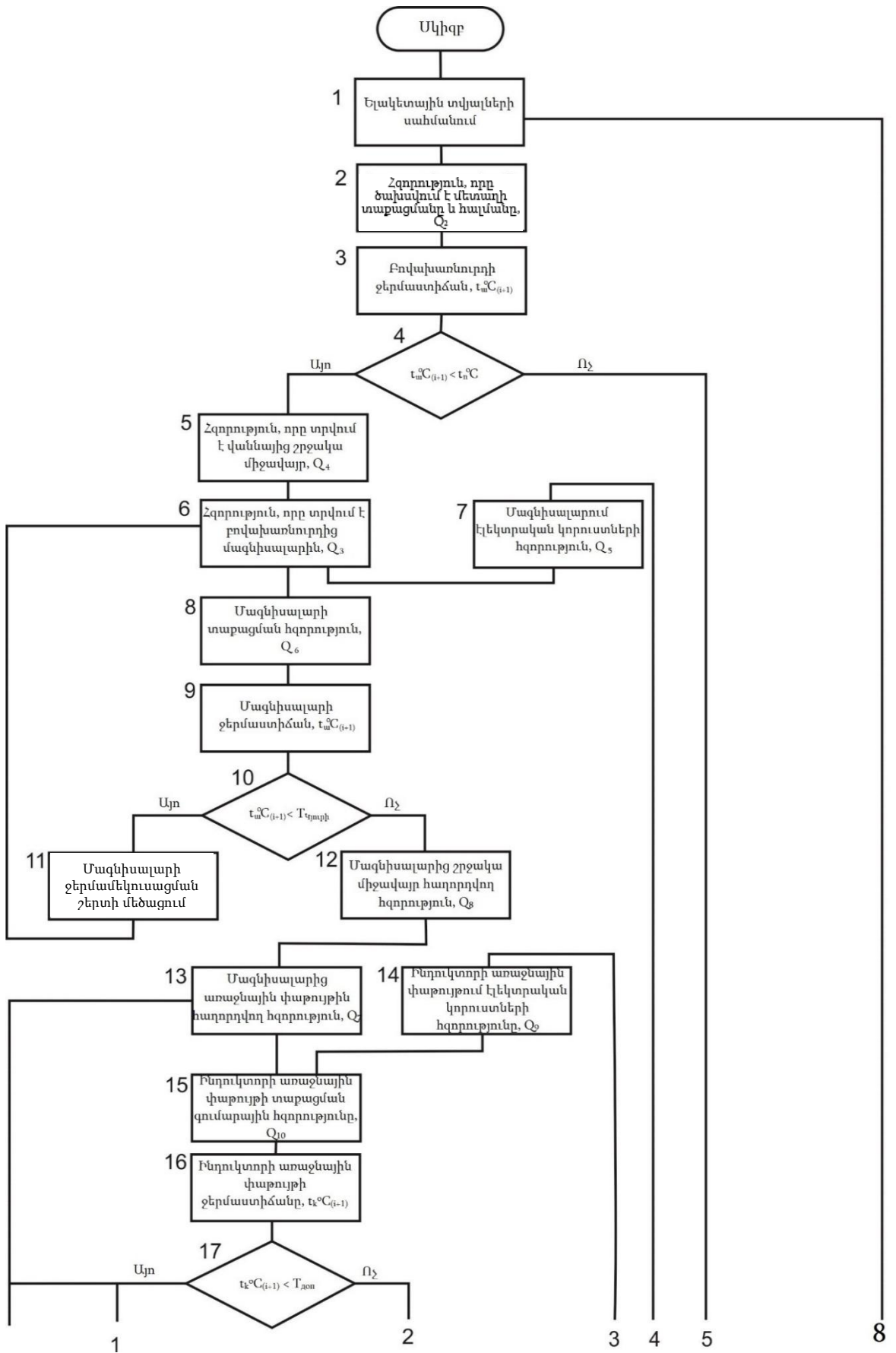
Ստորև ներկայացվող հաշվարկման մեթոդիկան մշակված է հաստատուն հզորության ռեժիմի ընդհանուր դեպքի համար: Հաստատուն լարման ռեժիմը կարող է ստացվել լարման կարգավորման հանգույցները բացառելով, իսկ լարման մեծությունը տրվում է ելակետային տվյալների կազմում: Հաստատուն լարման ռեժիմը, ըստ էության, հաստատուն հզորության ռեժիմի մասնավոր դեպք է և այդ պատճառով սույն աշխատանքում հետագայում չի դիտարկվում:

Մեթոդիկան նախատեսում է գործողությունների հետևյալ հաջորդականությունը՝

- հալման տաշտի և ինդուկտորային տրանսֆորմատորի բազային կառուցվածքի ընտրություն,
- էլեկտրական և ջերմային մեծությունների որոշում,
- տրված պարամետրերի համախմբում և դրանց անհրաժեշտության որոշում,
- տրված պարամետրերի (ջերմային գործընթացի T_0 տևողություն, գործընթացի M արտադրողականություն, տեղակայանքի η ՕԳԳ) առաջադրում:

3.2. ՑՀԽՏ-ի հաշվարկի մեթոդիկան

ՑՀԽՏ-ի հաշվարկման կառուցվածքային սխեման (ալգորիթմը) բերված է նկ. 3.1.-ում: Այն համապատասխանում է նկ. 2.6 կառուցվածքային և նկ. 2.16 ջերմային սխեմաներին: Դիտարկենք կառուցվածքային սխեման և դրա աշխատանքն ըստ առանձին կառուցամասերի:



Նկ. 3.1. ՑՀԽ տեղակայանքի հաշվարկման կառուցվածքային սխեման (ալգորիթմը)

Տրված ելակետային տվյալներով հաշվարկը կատարվում է քայլերով՝ սկսած սառը վիճակում մետաղի պարամետրերից: Հաշվարկման յուրաքանչյուր քայլում իրական գործընթացին համապատասխան հաշվարկվում են էլեկտրական բոլոր պարամետրերը՝ լարումը, հոսանքը, հզորությունը տեղակայանքի բոլոր բաղադրիչներում, էներգիան, որը ծախսվել է գործընթացի սկզբում, և բոլոր ջերմային պարամետրերը՝ անջատված ջերմային հզորությունները, բաղադրիչների միջև հզորությունների փոխադարձ հոսքերը, բովախառնուրդի, մագնիսալարի և ինդուկտորի ջերմաստիճանները [42, 52, 67, 80, 81]:

Հաշվարկման յուրաքանչյուր քայլում կատարվում է կրիտիկական պարամետրերի համադրում առաջադրվածների հետ և ընդունվում համապատասխան լուծումներ: Վերջիններս հետևյալն են.

1) եթե մագնիսալարի ջերմաստիճանը հասել է մագնիսական փոխակերպման ջերմաստիճանին (Կյուրիի կետ), ապա մեծացվում է ջերմամեկուսիչ շերտի հաստությունը և հաշվարկը կրկնվում է,

2) եթե ինդուկտորի ջերմաստիճանը հասել է թույլատրելի մեծության, ապա նախատեսվում է փաթույթների ջրային հարկադրական սառեցում և հաշվարկը կրկնվում է,

3) եթե առաջին և երկրորդ պայմանները չեն ապահովվում, ապա կառուցվածքի ելակետային տվյալները վերանայվում են,

4) եթե հալվել է մետաղի լրիվ քանակությունը, ապա հաշվարկը դադարեցվում է և հաշվարկվում է ծախսված էներգիան, գործընթացի տևողությունը, արտադրողականությունը և ՕԳԳ-ն, ինչպես նաև լարման կարգավորիչի կարգավորման ֆունկցիան:

Հաշվարկման բերված մեթոդիկան և ալգորիթմը կարող են օգտագործվել՝

- ավտոմատ ռեժիմում վերլուծական հաշվարկների և հետազոտությունների համար,

- երկխոսության կիսաավտոմատ ռեժիմում վերլուծական հաշվարկների և հետազոտությունների համար,

- հալման գործընթացի ավտոմատ կառավարման համակարգի մշակման գործընթացում:

Կառուցամաս N1: Ելակետային տվյալների առաջադրանքը:

Առաջադրվում են հետևյալ տվյալները.

- հալման տաշտի կառուցվածքը և երկրաչափական չափսերը (նկ. 2.3),
- ինդուկտորի մագնիսալարի կառուցվածքը և երկրաչափական չափսերը (նկ.2.4),
- ինդուկտորի մագնիսալարի նյութը, հագեցման հաշվարկային B ինդուկցիան,

պողպատում տեսակարար ΔP_C կորուստները և G_M զանգվածը,

- մետաղի տեսակը, դրա տեսակարար g զանգվածը, մագնիսական փոխակերպման T_K ջերմաստիճանը (Կյուրիի կետը), հալման t_n ջերմաստիճանը, տեսակարար C_1 ջերմունակությունը, հալման տեսակարար C_2 ջերմությունը, դիմադրության մեծացման $K_{\mathcal{K}}$ գործակիցը հեղուկ վիճակին անցնելիս,

- մետաղի G զանգվածը, որը բեռնված է տաշտում բովախառնուրդի տեսքով և նախատեսված է հալման համար,

- բովախառնուրդի պարամետրերը՝ արտահայտված դրա ծավալային K_0 գործակցով և բեռի h_l բարձրությամբ (նկ. 2.6),

- ջերմամեկուսիչ շերտերի հաստությունները՝ տաշտի պատերի (δ_e), ինդուկտորի մագնիսալարի (δ_M) և ինդուկտորի պատյանի մեկուսացման (δ_K),

- գործածվող նյութերի ջերմահաղորդականության գործակիցները՝ տաշտի պատերի (λ_B), ինդուկտորի մագնիսալարի (λ_M) և ինդուկտորի (λ_K),

- ինդուկտորային տրանսֆորմատորի մուտքում U_l անվանական լարումը,

- մետաղի զանգվածում անջատված $P=const$ անվանական հզորությունը,

- ինդուկտորում հոսանքի Δ խտությունը,

- ինդուկտորի մեկուսացման t_{don} թույլատրելի ջերմաստիճանը,

- տեղակայանքի η_0 օգտակար գործողության գործակիցը,

- հաշվարկման Δt քայլը (ժամանակի միջակայքը),

- հաշվարկային ջերմաստիճանի Δt թույլատրելի շեղումը,

- պարամետրերի փոփոխման քայլերը՝ ջերմամեկուսիչ շերտի $\Delta \delta$ հաստությունը,

անվանական ΔP հզորությունը:

Կառուցամաս N2: Հզորության որոշումը, որը ծախսվում է մետաղի տաքացման և հալման վրա՝ Q_2 :

Ստորև փակագծերում ցույց են տրված այն արտահայտությունների համարները, որոնք պետք է օգտագործվեն հաշվարկներում:

Ջերմային Q_2 հզորությունը (ջերմային հոսքը), որն անմիջականորեն ծախսվում է մետաղի տաքացման վրա առաջին փուլում և հալման վրա երկրորդ փուլում, ընդունվում է որպես անվանական՝ $Q_2=P=const$ (2.52), (2.59), (2.62) արտահայտություններում:

Q_2 հզորությունը տարբերվում է ԿՓԳ-ում անջատված հզորությունից կորուստների չափով, որը փոխանցվում է շրջակա միջավայրին (Q_4) և ինդուկտորի ներառված մագնիսալարին (Q_3):

Կառուցամաս N3: Բովախառնուրդի ջերմաստիճանի որոշումը՝ $t_{III}(i+1)$:

Տաքացման փուլում բովախառնուրդի ջերմաստիճանն աստիճանաբար աճում է: Բովախառնուրդի ջերմաստիճանը հաշվարկային միջակայքի վերջում որոշվում է ջերմային էներգիայի այն W քանակով, որը տրվում է մետաղին Δt հաշվարկային միջակայքում: Հաշվարկային միջակայքում ջերմային էներգիան որոշվում է որպես $W = P\Delta t$: Բովախառնուրդի ջերմաստիճանը $t^{\circ}C (i+1)$ որոշվում է (2.59)-ով:

Կառուցամաս N4: Բովախառնուրդի ընթացիկ ջերմաստիճանի համադրումը մետաղի հալման ջերմաստիճանի հետ:

Եթե բովախառնուրդի ջերմաստիճանը ցածր է հալման ջերմաստիճանից, ապա հետևում է, որ տաքացման և բովախառնուրդի ջերմաստիճանի բարձրացման գործընթացը շարունակվում է: Այս դեպքում հետագա ջերմային հաշվարկը կատարվում է ըստ տաքացման գործընթացին հատուկ կառուցամասերի (կառուցամասեր NN 5...21):

Եթե բովախառնուրդի ջերմաստիճանը հասել է հալման ջերմաստիճանին, ապա հետևում է, որ բովախառնուրդի ջերմաստիճանն այլևս չի բարձրանա, և սկսվում է բովախառնուրդի հալման գործընթացը: Այս դեպքում հետագա հաշվարկը կատարվում է N32 կառուցամասում, որը հատուկ է հալման գործընթացին:

Կառուցամաս N5: Հալման տաշտից շրջակա միջավայր հաղորդվող Q_4 հզորության որոշումը:

Ջերմային հզորությունը (ջերմային հոսքը) փոխանցվում է հալման տաշտից շրջակա միջավայրին ջերմահաղորդականության միջոցով, իսկ բովախառնուրդի միջավայրից շրջակա միջավայրին՝ երկշերտ պատի միջոցով, որը բաղկացած է տաշտի

պատից և ջերմամեկուսիչ շերտից: Հաղորդված հզորությունը որոշվում է (2.58)-ով, տեղադրելով համապատասխան պարամետրերը:

Կառուցամաս N6: Բովախառնուրդից ինդուկտորի մագնիսալարին հաղորդված Q_3 հզորության որոշումը:

Ջերմային հզորությունը (ջերմային հոսքը) տաքացված բովախառնուրդից փոխանցվում է ինդուկտորի մագնիսալարին ջերմահաղորդականության միջոցով, բովախառնուրդի միջավայրից մագնիսալարի միջավայրին՝ մագնիսալարի ջերմամեկուսիչ շերտի պատի միջոցով: Հաղորդված ջերմային հոսքը որոշվում է (2.57)-ով, տեղադրելով համապատասխան պարամետրերը:

Կառուցամաս N7: Մագնիսալարում էլեկտրական կորուստների Q_5 հզորության որոշումը:

Բովախառնուրդում տեղադրված մագնիսալարի մասի պողպատում կորուստները օգտակար են, քանի որ տաքացնում են բովախառնուրդը: Այս հզորությունը կախված է առաջադրված լարումից և մագնիսալարի պարամետրերից ու որոշվում է (2.47)-ով, տեղադրելով համապատասխան պարամետրերը:

Կառուցամաս N8: Մագնիսալարի տաքացման գումարային Q_6 հզորության որոշումը:

Ջերմային հզորությունը, որը ծախսվում է մագնիսալարի տաքացման համար, ներկայացնում է մագնիսալարի պողպատում Q_5 էլեկտրական կորուստների հզորության և Q_3 հզորության գումար: Վերջինս փոխանցվում է մագնիսալարին տաքացված բովախառնուրդից: Գումարային հզորությունը որոշվում է (2.52)-ով:

Կառուցամաս N9: Մագնիսալարի ջերմաստիճանի որոշումը՝ $t_M(i + 1)$:

Մագնիսալարի ջերմաստիճանը հաշվարկային միջակայքի վերջում որոշվում է այն W ջերմային էներգիայի ազդեցությամբ, որն անջատվում է մագնիսալարի տաքացման գումարային հզորությունից հաշվարկային Δt միջակայքում: Հաշվարկային միջակայքում ջերմային էներգիան որոշվում է $W=Q_6\Delta t$ արտահայտությամբ: Մագնիսալարի $t_M(i + 1)$ ջերմաստիճանը որոշվում է (2.59)-ով:

Կառուցամաս N10: Մագնիսալարի ընթացիկ t_M ջերմաստիճանի համադրումը դրա մետաղի մագնիսական փոխակերպման (Կյուրիի կետ) T_K ջերմաստիճանի հետ:

Եթե մագնիսալարի ընթացիկ ջերմաստիճանը ցածր է Կյուրիի կետից, ապա հետևում է, որ մագնիսալարի ջերմամեկուսացումը ընթացիկ ջերմային պարամետրերի դեպքում ժամանակի տվյալ պահին ապահովում է մագնիսալարի տրված մագնիսական բնութագրերը: Այս դեպքում հետագա հաշվարկը շարունակվում է:

Եթե մագնիսալարի ընթացիկ ջերմաստիճանը բարձր է Կյուրիի կետից, ապա հետևում է, որ մագնիսալարի ջերմամեկուսացումը ընթացիկ ջերմային պարամետրերի դեպքում ժամանակի տվյալ պահին չի ապահովում մագնիսալարի տրված մագնիսական բնութագրերը: Այս դեպքում մագնիսալարի ջերմամեկուսիչ շերտը պետք է մեծացվի մեկ քայլով՝ $\Delta\delta_M$: Եթե այդ գործընթացը շարունակվում է պարբերաբար, և ջերմամեկուսիչ շերտի հաստությունը գերազանցում է կառուցվածքային տեսանկյունից ընդունելի չափը, կամ մագնիսալարի ջերմաստիճանը չի իջնում Կյուրիի կետից ցածր, ապա անհրաժեշտ է՝

1. մեծացնել տաշտի և մագնիսալարի ելակետային կառուցվածքային չափսերը և նախատեսել մագնիսալարի օդային կամ ջրային հարկադրական հովացում, կամ՝

2. բացառել տրված կառուցվածքում տրված տեսակի մետաղի հալման հնարավորությունը՝ դրա հալման բարձր ջերմաստիճանի պատճառով:

Կառուցամաս N11: Մագնիսալարի ջերմամեկուսիչ շերտի մեծացումը՝ $\delta_M(i+1) = \delta_M(i) + \Delta\delta_M$:

Նշված փոփոխությունները՝ որպես նոր ելակետային տվյալներ կատարելուց հետո կատարվում է վերահաշվարկ:

Կառուցամաս N12: Մագնիսալարից շրջակա միջավայր հաղորդվող Q_8 հզորության որոշումը:

Մագնիսալարի բովախառնուրդում չներառված մասում էլեկտրական կորուստների անջատված հզորությունը կորչում է, քանի որ չի ծախսվում բովախառնուրդի տաքացման համար: Այն որոշվում է մագնիսալարի ներառման խորությամբ (նկ.2.4) և (2.48) արտահայտությամբ:

Ջերմային հզորությունը (ջերմային հոսքը) ջերմահաղորդականության միջոցով մագնիսալարից հաղորդվում է շրջակա միջավայրին, իսկ մագնիսալարի միջավայրից՝ շրջակա միջավայրին քառաշերտ պատի միջոցով և «մագնիսալարի

ջերմամեկուսացում - մագնիսալարի և տաշտի պատի միջև օդային բացակ - տաշտի պատ - տաշտի արտաքին ջերմամեկուսիչ շերտ» սխեմայով: Հաղորդվող հզորությունը որոշվում է (2.58)-ով, տեղադրելով համապատասխան չափսերը և միջավայրի ջերմահաղորդականության գործակիցը:

Կառուցամաս N13: Մագնիսալարից ինդուկտորին հաղորդվող Q_7 հզորության որոշումը:

Ջերմային հզորությունը (ջերմային հոսքը) ջերմահաղորդականության միջոցով հաղորդվում է տաքացված մագնիսալարից ինդուկտորին և մագնիսալարի միջավայրից՝ ինդուկտորի միջավայրին, պատյանի մեկուսացման շերտից պատի միջոցով: Հաղորդվող հզորությունը որոշվում է (2.57)-ով, տեղադրելով համապատասխան պարամետրերը:

Կառուցամաս N14: Ինդուկտորում էլեկտրական կորուստների Q_9 հզորության որոշումը:

Ինդուկտորի պղնձում էլեկտրական կորուստները որոշվում են հոսանքի նշանակությամբ և ինդուկտորի հաղորդչի ակտիվ դիմադրությամբ: Այդ հզորությունը կախված է փաթույթ թափանցած հոսանքից և փաթույթի դիմադրությունից, հաշվարկվում է (2.46)-ով, տեղադրելով համապատասխան պարամետրերը:

Կառուցամաս N15: Ինդուկտորի տաքացման Q_{10} գումարային հզորության որոշումը:

Ինդուկտորի տաքացման համար ծախսվող ջերմային հզորությունը ներկայացնում է ինդուկտորի պղնձում Q_9 էլեկտրական կորուստների հզորության և տաքացված մագնիսալարից ինդուկտորին տրվող Q_7 հզորության գումար: Գումարային հզորությունը հաշվարկվում է (2.52)-ով:

Կառուցամաս N16: Ինդուկտորի $t_K(i+1)$ ջերմաստիճանի որոշումը:

Ինդուկտորի ջերմաստիճանը հաշվարկային միջակայքի վերջում որոշվում է W ջերմային էներգիայի ազդեցությամբ, որն անջատվում է Δt հաշվարկային միջակայքում մագնիսալարի տաքացման գումարային հզորությունից: Հաշվարկային միջակայքում ջերմային էներգիան որոշվում է որպես $W = Q_{10}\Delta t$: Փաթույթի $t_K(i+1)$ ջերմաստիճանը հաշվարկվում է (2.59)-ով:

Կառուցամաս N17: Ինդուկտորի t_K ջերմաստիճանի համադրումը փաթույթի թույլատրելի $T_{\text{доп}}$ ջերմաստիճանի հետ:

Փաթույթի թույլատրելի ջերմաստիճանը որոշվում է փաթույթի էլեկտրական մեկուսացման դասով և առաջադրվում է ելակետային տվյալների կազմում:

Եթե ինդուկտորի ընթացիկ ջերմաստիճանը ցածր է թույլատրելիից, ապա հաշվարկը շարունակվում է:

Եթե մագնիսալարի ընթացիկ ջերմաստիճանը բարձր է թույլատրելիից, ապա հետևում է, որ ինդուկտորի պատյանային մեկուսացումը ոչ բավարար աստիճանով է ջերմամեկուսացնում փաթույթը տաքացված մագնիսալարից: Այդ դեպքում փաթույթի պատյանային մեկուսացման շերտը պետք է մեծացվի մեկ քայլով՝ $\Delta\delta_K$: Եթե այս գործընթացը շարունակվում է պարբերաբար, և ջերմամեկուսիչ շերտի հաստությունը գերազանցում է կառուցվածքային ընդունված չափը, կամ մագնիսալարի ջերմաստիճանը չի իջնում թույլատրելիից ներքև, ապա անհրաժեշտ է մեծացնել տաշտի և մագնիսալարի ելակետային կառուցվածքային չափսերը, նախատեսել ինդուկտորի ստիպողական օդային կամ ջրային հովացում կամ փաթույթն իրագործել պղնձե հաղորդչի տեսքով առանց մեկուսացման: Սառեցնող հեղուկի անցկացման համար հնարավոր է նաև հաղորդիչն ընտրել սնամեջ:

Կառուցամաս N18: Ինդուկտորի պատյանային մեկուսացման շերտի մեծացումը՝ $\delta_K(i+1) = \delta_K(i) + \Delta\delta_K$:

Նշված փոփոխությունը՝ որպես նոր ելակետային տվյալ մտցնելուց հետո, հաշվարկը կատարվում է կրկին:

Կառուցամաս N19: Ինդուկտորից շրջակա միջավայր հաղորդվող Q_{11} հզորության որոշումը:

Ջերմային հզորությունը (ջերմային հոսքը) ինդուկտորից փոխանցվում է շրջակա միջավայրին ջերմահաղորդականության միջոցով, իսկ փաթույթի միջավայրից շրջակա միջավայրին՝ պատյանային մեկուսացման պատի միջոցով: Հաղորդվող հզորությունը հաշվարկվում է (2.57)-ով, տեղադրելով համապատասխան պարամետրերը:

Կառուցամաս N20: Ինդուկտորի գումարային Q հզորության որոշումը:

Ինդուկտորի ջերմային հզորությունը ներկայացնում է մետաղի ԿՓԳ-ում

անջատված հզորության, ինդուկտորում էլեկտրական կորուստների Q_0 հզորության և մագնիսալարում էլեկտրական կորուստների Q_5 հզորության գումար: Գումարային հզորությունը հաշվարկվում է (2.52)-ով:

Կառուցամաս N21: Մետաղի ԿՓԳ-ի $R(t)$ ակտիվ դիմադրության որոշումը:

Մետաղի ԿՓԳ-ի $R(t)$ ակտիվ դիմադրության ընթացիկ արժեքը կախված է մետաղի տեսակից և դրա ρ_0 տեսակարար էլեկտրական դիմադրությունից, տաշտի երկրաչափական չափսերից, որտեղ տեղադրված է մետաղի բովախառնուրդը, բովախառնուրդի ծավալային K_0 գործակցից, բովախառնուրդի t_w ջերմաստիճանից և $K_{\mathcal{K}}$ գործակցով արտահայտված մետաղի ագրեգատային վիճակից: Մետաղի ԿՓԳ-ի $R(t)$ ակտիվ դիմադրությունը յուրաքանչյուր հաշվարկային միջակայքում հաշվարկվում է (2.9) ... (2.23)-ով:

Կառուցամաս N22: Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի և ինդուկտորի պարամետրերի որոշումը:

Նշված պարամետրերը՝ փաթույթի ակտիվ և ինդուկտիվ դիմադրությունները, ինդուկցիան, գալարների քանակը, ինդուկտորի հաղորդալարի կտրվածքը, հաշվարկվում են (2.31)...(2.44) արտահայտություններով:

Կառուցամաս N23: Մետաղի ԿՓԳ-ի U_2 լարման որոշումը:

Մետաղի ԿՓԳ-ի U_2 լարումը կախված է անվանական P հզորության և մետաղի ԿՓԳ-ի $R(t)$ ակտիվ դիմադրության տրված մեծություններից, հաշվարկվում է (2.39) արտահայտությամբ:

Կառուցամաս N24: Մետաղի ԿՓԳ-ում I_2 հոսանքի որոշումը:

Մետաղի ԿՓԳ-ում հոսանքը հաշվարկվում է հետևյալ կերպ՝ $I_2 = U_2 / R(t)$:

Կառուցամաս N25: Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի մագնիսացման կոնտուրում E լարման որոշումը (նկ. 2.9):

Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի մագնիսացման կոնտուրում E լարումը (էլշու) կախված է ինդուկտորին առաջարկված լարումից, հաշվարկվում է (2.36) արտահայտությամբ:

Մագնիսացման կոնտուրի լարման մեծությունից կախված է ինդուկտորի մագնիսալարում կորուստների մեծությունը: Բլոկ-սխեմայում այս կախվածությունը

արտահայտված է հետադարձ կապով տվյալ բլոկ N25-ի ելքից բլոկ N7-ի մուտքը՝ որպես մագնիսալարում կորուստների հաշվարկի ելակետային մեծություն:

Կառուցամաս N26: Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ինդուկտորի I_1 հոսանքի որոշումը:

Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ինդուկտորի մուտքային I_1 հոսանքը կախված է U_1 լարումից, մագնիսացման կոնտուրի E լարումից, ինդուկտորային տրանսֆորմատորի և ինդուկտորի պարամետրերից, հաշվարկվում է (2.34), (2.36), (2.37) արտահայտություններով:

Ինդուկտորի հոսանքի մեծությունից կախված է ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ինդուկտորում էլեկտրական կորուստների մեծությունը:

Բլոկ-սխեմայում այս կախվածությունն արտահայտված է տրված բլոկ N24-ի ելքից բլոկ N14-ի մուտքին հետադարձ կապով՝ որպես ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ինդուկտորում կորուստների հաշվարկի ելակետային մեծություններ:

Կառուցամաս N27: Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ինդուկտորի մուտքում U_1 լարման որոշումը:

Ինդուկտորային տրանսֆորմատորի ինդուկտորի մուտքում U_1 լարումը կախված է անցնող I_1 , I_2 հոսանքներից, ինդուկտորային տրանսֆորմատորի և ինդուկտորի պարամետրերից, հաշվարկվում է (2.35) արտահայտությամբ:

Կառուցամաս N28: Մետաղի ԿՓԳ-ի լարման կարգավորման K_p խորության որոշումը:

Լարման կարգավորման խորությունը որոշվում է որպես հալման ռեժիմի վերջում ԿՓԳ-ի առավելագույն դիմադրության դեպքում լարման առավելագույն մեծության հարաբերությունը տաքացման ռեժիմի սկզբում մետաղի ԿՓԳ-ի նվազագույն դիմադրության դեպքում նվազագույն լարմանը, որը որոշում է մետաղում անջատված հզորության հաստատունությունը: Կարգավորման խորությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$K_p = U_{\text{Макс}} / U_{\text{Мин}} = U_{\text{НОМ}} / U_{(0)}; \quad (3.1)$$

Լարման կարգավորումն ապահովվում է լարման տիրիստորային կարգավորիչով՝ կառավարման α անկյան փոփոխման միջոցով:

Կառուցամաս N29: Կառավարման α անկյան որոշումը:

Կառավարման α անկյունը ժամանակի յուրաքանչյուր հաշվարկային պահին հաշվարկվում է (3.1), (2.51) արտահայտություններով:

Կառուցամաս N30: Տաքացման վրա ծախսված W_i էներգիայի որոշումը:

Սառը վիճակից բովախառնուրդի տաքացման վրա մինչև հալման ջերմաստիճան ծախսված W_i էներգիան նշված ջերմաստիճանային տիրույթում բոլոր հաշվարկային միջակայքերում անջատված էներգիաների գումարն է, որոշվում է (2.59) արտահայտությամբ:

Կառուցամաս N31: Տաքացման ժամանակի որոշումը մինչև հալման T_i ջերմաստիճան:

Բովախառնուրդի տաքացման ժամանակը, դրա սառը վիճակից մինչև հալման ջերմաստիճանը, որոշվում է նշված ջերմաստիճանային տիրույթում որպես ժամանակի բոլոր հաշվարկային միջակայքերի գումար, որոշվում է (2.60) արտահայտությամբ:

Կառուցամաս N32: Հաշվարկման միջակայքում հալվող մետաղի G_i քանակի որոշումը:

Հաշվարկման միջակայքում հալվող մետաղի G_i քանակը որոշվում է հաշվարկման միջակայքում անջատված W_{2i} էներգիայով և մետաղի հալման տեսակարար ջերմությամբ: Այն որոշվում է (2.62) արտահայտությամբ:

Կառուցամաս N33: Հալման անցած ժամանակի ընթացքում հալված մետաղի G_n քանակի որոշումը:

Հաշվարկման միջակայքում հալված մետաղի G_n քանակը որոշվում է որպես հալման անցած ժամանակի ընթացքում հաշվարկման միջակայքում հալված մետաղի քանակների գումար և որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$G_n = \sum_{i=1}^{i=n} G_i, \quad (3.2)$$

որտեղ n -ը հալման անցած ժամանակի ընթացքում հաշվարկային միջակայքերի քանակն է:

Կառուցամաս N34: Հալման անցած ժամանակի ընթացքում հալված մետաղի G_n քանակի համադրումը տաշտում տեղադրված մետաղի G քանակի հետ:

Եթե մետաղը հալվել է ոչ լրիվ, ապա հաշվարկը շարունակվում է, ինչը կառուցվածքային սխեմայում պատկերված է հաշվարկը շարունակելու հետադարձ կապով (N32 կառուցամասի մուտքը):

Կառուցամաս N35: Հալման վրա ծախսված W_2 էներգիայի որոշումը:

Մետաղի լրիվ հալման համար ծախսվող W_2 էներգիան նշված ջերմաստիճանային տիրույթում հալման անցած ժամանակի ընթացքում բոլոր հաշվարկային միջակայքերում անջատված էներգիաների գումարն է և որոշվում է (2.62)-ով:

Կառուցամաս N36: Մետաղի հալման T_2 ժամանակի որոշումը:

Մետաղի լրիվ հալման ժամանակը որոշվում է որպես հալման ընթացքում ժամանակի բոլոր հաշվարկային միջակայքերի գումար: Այլ կերպ ասած՝ որոշվում է որպես գործընթացի T_6 լրիվ ժամանակի և սառը վիճակից ջերմաստիճանը մինչև հալման T_1 ջերմաստիճանին հասցնելու համար տաքացման վրա ծախսված ժամանակի տարբերություն և որոշվում է (2.63), (2.64) արտահայտություններով:

Կառուցամաս N37: Մետաղի տաքացման և հալման վրա ծախսված W_6 լրիվ էներգիայի որոշումը:

Ջերմային գործընթացի լրիվ էներգիան որոշվում է որպես տաքացման և հալման վրա ծախսված էներգիաների գումար՝

$$W_6 = W_1 + W_2: \quad (3.3)$$

Կառուցամաս N38: Ջերմային գործընթացի T_6 լրիվ ժամանակի որոշումը:

Ջերմային գործընթացի լրիվ ժամանակը որոշվում է որպես տաքացման և հալման վրա ծախսված ժամանակային տևողությունների գումար՝

$$T_6 = T_1 + T_2: \quad (3.4)$$

Կառուցամաս N39: Գործընթացի M արտադրողականության որոշումը:

Գործընթացի արտադրողականությունը որոշվում է հետևյալ պայմանական դիսկրետ մեծությամբ՝

$$M = G_n/T_6: \quad (3.5)$$

Կառուցամաս N40: Տեղակայանքի η ՕԳԳ-ի որոշումը:

Տեղակայանքի ՕԳԳ-ն ներկայացնում է մետաղի տաքացման և հալման վրա օգտակար ծախսված W_6 էներգիայի հարաբերությունը ցանցից ստացված և ինդուկտո-

որով փոխանցվող W գումարային էներգիային, որը կարող է որոշվել երկու կերպ՝

$$\eta = \frac{W_{\sigma}}{W} = \frac{W_{\sigma}}{\sum_{i=1}^{i=n} Q_i \Delta t} = \frac{W_{\sigma}}{\sum_{i=1}^{i=n} P \Delta t}, \quad (3.6)$$

որտեղ Q_i -ն յուրաքանչյուր հաշվարկային միջակայքում ինդուկտորով փոխանցվող հզորությունն է՝ հաշվարկված N20 կառուցամասում, P -ն՝ տրված անվանական հզորությունը, n -ը՝ հաշվարկի քայլերի քանակը:

Կառուցամաս N41: η ՕԳԳ-ի համադրումը տրված η_{σ} -ի հետ:

Եթե ՕԳԳ-ի ստացված մեծությունը ցածր է թույլատրելիից, ապա գործնականում ՕԳԳ-ն բարձրացնելու իրական հնարավորությունը տաշտի պատերով շրջակա միջավայրին փոխանցվող ջերմային էներգիայի կորուստների փոքրացումն է: Դրա համար տաշտի ջերմամեկուսացման δ_{σ} շերտը պետք է մեծացվի մեկ $\Delta\delta_{\sigma}$ քայլով (N42 կառուցամաս) և կատարվի վերահաշվարկ:

Կառուցամաս N42: Մագնիսալարի ջերմամեկուսիչ շերտի մեծացումը՝ $\delta_{\sigma}(i+1) = \delta_{\sigma}(i) + \Delta\delta_{\sigma}$:

Նշված փոփոխությունը՝ որպես ելակետային տվյալ կատարելուց հետո, հաշվարկը կատարվում է կրկին:

Եթե այդ գործընթացը շարունակվում է պարբերաբար և ջերմամեկուսիչ շերտի հաստությունը գերազանցում է կառուցվածքային ընդունված չափը, կամ ՕԳԳ-ի մեծությունը չի հասնում թույլատրելի արժեքին, ապա անհրաժեշտ է՝

1. մեծացնել տաշտի և մագնիսալարի ելակետային կառուցվածքային չափսերը, փոքրացնել հոսանքի խտությունն ինդուկտորի փաթույթում, կամ՝

2. բացառելով ՕԳԳ-ի ավելի բարձր արժեքների ստացման հնարավորությունը տրված կառուցվածքում՝ վերանայել ՕԳԳ-ի տրված մեծության նվազեցման հնարավորությունը:

3. Եթե ՕԳԳ-ի ստացված մեծությունը բարձր է թույլատրելիից (N41 կառուցամաս), ապա հաշվարկն ավարտվում է:

Կառուցամաս N43: Ստացված արդյունքների արխիվացումը.

- լարման կարգավորիչի կառավարման $\alpha(t)$ անկյունը՝ ժամանակային կամ ջերմաստիճանային ֆունկցիայի տեսքով,

- ջերմային գործընթացի տևողությունը, T_6 ,
- գործընթացի արտադրողականությունը, M ,
- տեղակայանքի ՕԳԳ-ն, η :

Հաշվարկման ներկայացված մեթոդիկան և ալգորիթմը կարող են օգտագործվել՝

- ավտոմատ ռեժիմում վերլուծական հաշվարկների և հետազոտությունների համար,

- երկխոսության կիսաավտոմատ ռեժիմում վերլուծական հաշվարկների և հետազոտությունների համար,

- հալման գործընթացի ավտոմատ կառավարման համակարգի մշակման գործընթացում:

Նկարագրված կառուցվածքային սխեմայի հիման վրա կազմված է ինդուկցիոն խուղակային տեղակայանքի հաշվարկման համակարգչային ծրագիր, որը բերված է հավելված 1-ում:

Նշված ծրագրով հաշվարկված է *ՊՕՇ-40* անագ-կապար համաձուլվածքի ինդուկցիոն խուղակային տեղակայանքի փորձարարական նմուշում տաքացման և հալման գործընթացը (գլուխ 4):

Ինդուկցիոն խուղակային տեղակայանքի փորձարարական նմուշում տաքացման ու հալման իրական գործընթացի և վերոնշյալ ծրագրով գործընթացի հաշվարկի համադրման արդյունքները բերված են կետ 4.2-ում:

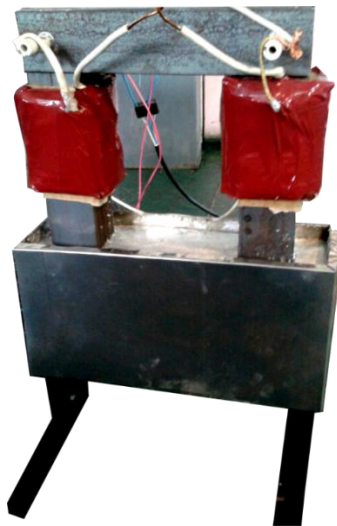
Եզրակացություններ երրորդ գլխի վերաբերյալ

1. Միավորված է առաջարկված խուղակային վառարանի էլեկտրական և ջերմային գործընթացների մաթեմատիկական մոդելները մի միասնական մոդելով, որը կապ է հաստատում տեխնոլոգիական բնութագրերի և էլեկտրական ու ջերմային գործընթացների միջև:
2. Էլեկտրական և ջերմային գործընթացների միասնական մոդելի հիման վրա մշակվել է ՅՀԽՏ-ի կառուցվածքային սխեման, որը նկարագրում է իրական էլեկտրական և ջերմային գործընթացները:
3. Մշակված մաթեմատիկական մոդելի հիման վրա առաջարկվել են խուղակային տեղակայանքի հաշվարկման մեթոդաբանությունը և ալգորիթմը, որոնք կարող են օգտագործվել ավտոմատ կամ երկխոսության կիսաավտոմատ ռեժիմներում:
4. Մշակված ՅՀԽՏ-ի կառուցվածքային սխեմայի հիման վրա կազմվել է խուղակային վառարանի համակարգչային ծրագիր MATLAB ծրագրով:
5. Մշակված մաթեմատիկական մոդելը և վերլուծական հաշվարկները կարելի է օգտագործել ինչպես հետազոտությունների, այնպես էլ ավտոմատ կառավարման համակարգի մշակման համար:

ԳԼՈՒԽ 4
ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՀԱԼԵՑՄԱՆ ՑԱԾՐԱՀԱՃԱԽԱԿԱՆ ԽՈՒՂԱԿԱՅԻՆ
ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔԻ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՆՄՈՒՇԻ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄԸ

4.1. Փորձարկման պայմանները

Փորձարկումները կատարվել են ՑՀԽ տեղակայանքի առաջարկվող կառուցվածքի վրա (նկ. 4.1) և որի երկրաչափական չափսերը մոտեցված են նմուշի կառուցվածքի չափսերին (նկ. 2.3) և (նկ. 4.2): Վառարանի փորձարկման տեսքը բերված է նկ. 4.3-ում, իսկ փորձարկման էլեկտրական սխեման՝ նկ. 4.4-ում [6]:



Նկ. 4.1. Առաջարկվող ՑՀԽ տեղակայանքի ընդհանուր տեսքը

Հավվող մետաղն անագի և կապարի համաձուլվածք է, որի զանգվածը՝ $G_s=24կգ$: Բաղադրիչների և հալույթի պարամետրերն են.

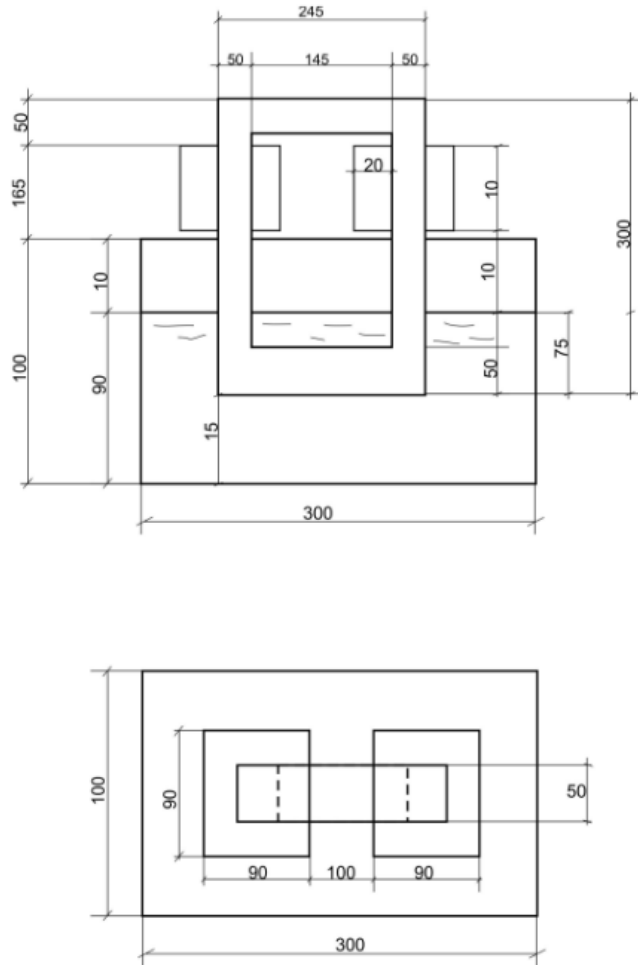
Անագ. պարունակությունը՝ 40%, զանգվածը՝ $G_u=9,6կգ$, հալման ջերմաստիճանը՝ $t_{n^u}=231,9^{\circ}C$, տեսակարար ջերմունակությունը և հալման տեսակարար ջերմությունը՝

$$\lambda_u = 230 \text{ Ջ/կգ}^{\circ}C = 639 \cdot 10^{-7} \text{ կՎտ} \cdot \text{ժ/կգ}^{\circ}C, \theta_u = 60.9 \text{ ԿՋ/կգ} = 0.017 \text{ կՎտ} \cdot \text{ժ/կգ}:$$

Կապար. պարունակությունը՝ 60%, զանգվածը՝ $G_y=14,4կգ$, հալման ջերմաստիճանը՝ $t_{n^y}=327,4^{\circ}C$, տեսակարար ջերմունակությունը և հալման տեսակարար ջերմությունը՝

$$\lambda_y=146 \text{ Ջ/կգ}^{\circ}C = 405,6 \cdot 10^{-7} \text{ կՎտ} \cdot \text{ժ/կգ}^{\circ}C, \theta_y = 25կՋ/կգ = 0,007 \text{ կՎտ} \cdot \text{ժ/կգ}:$$

Համաձուլվածք. տեսակը՝ ՈՕՑ-40 (Sn-40%, Pb-60%), հալման ջերմաստիճանը՝
 $t_{n\sigma} = 238^{\circ}\text{C}$ [97]:



Նկ. 4.2. Փորձարկվող ՅՀԽ տեղակայանքի կառուցվածքը և չափսերը

Բովախառնուրդը ելակետային սառը վիճակում միաձուլ է:

Համաձուլվածքի հալման տեսակարար ջերմունակությունը և ջերմությունը [21, 22, 52] որոշվում են հետևյալ արտահայտությամբ.

$$C_s = \sum n C_s', \quad (4.1)$$

որտեղ n -ը համաձուլվածքի բաղադրիչների տոկոսային պարունակությունն է, C_s -ը՝ համաձուլվածքի բաղադրիչների տեսակարար պարամետրերը:

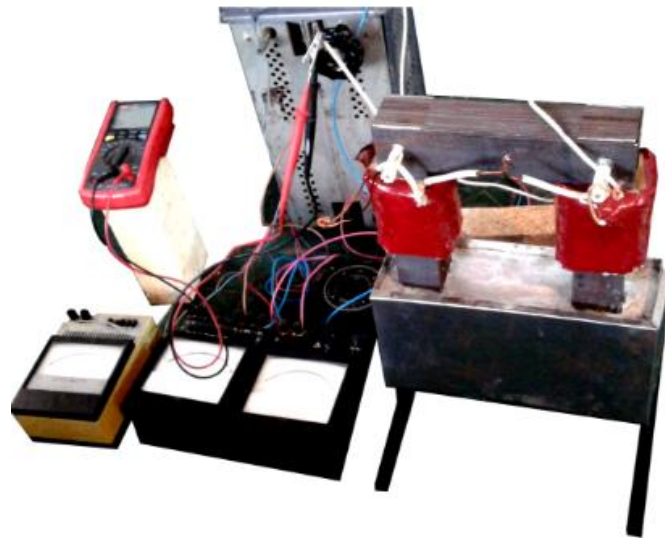
Բերված (4.1) արտահայտությանը համապատասխան ունենք.

համաձուլվածքի տեսակարար ջերմունակությունը՝

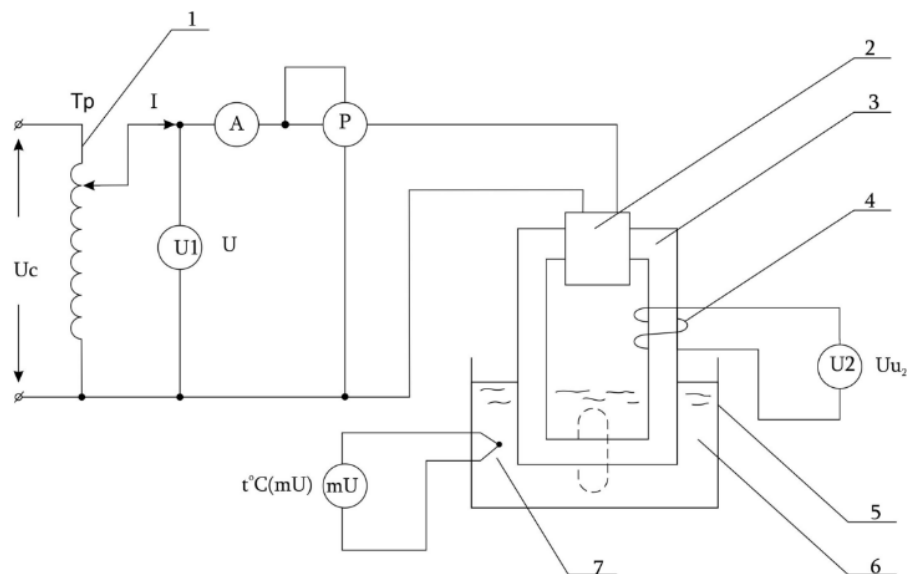
$$\lambda_{\sigma} = 0.4 \times 639 \times 10^{-7} \text{ կՎտ. ժ/կգ}^{\circ}\text{C} + 0.6 \times 405.6 \times 10^{-7} \text{ կՎտ. ժ/կգ}^{\circ}\text{C} = 499 \times 10^{-7} \text{ կՎտ. ժ/կգ}^{\circ}\text{C},$$

համաձուլվածքի հալման տեսակարար ջերմությունը՝

$$\theta_{\sigma} = 0.4 \times 0.017 \text{ կՎտ.ժ/կգ} + 0.6 \times 0.007 \text{ կՎտ.ժ/կգ} = 0.011 \text{ կՎտ.ժ/կգ};$$



Նկ. 4.3. Վառարանի փորձարկումը չափիչ սարքավորումներով



Նկ. 4.4. Փորձարկվող ՅՀԽ տեղակայանքի էլեկտրական սխեման.

1- լաբորատոր ավտոտրանսֆորմատոր է (ՊԱԿ), 2- ինդուկտորը, 3- ինդուկտորի մագնիսալարը, 4- չափիչ փաթույթը, 5- տաշտը, 6- բովախառնուրդը, 7- ջերմազույգը

Համաձուլվածքի տաքացման էներգիան շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանից՝ $t_x=22^\circ\text{C}$, մինչև հալման սկզբի ջերմաստիճանը՝ $t_{n\sigma}=238^\circ\text{C}$.

$$W_H = G_{\sigma} \lambda_{\sigma} (t_{n\sigma} - t_x) = 24 \text{ կգ} \times 499 \times 10^{-7} \text{ կՎտ.ժ/կգ}^\circ\text{C} (238^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C}) = 0.206 \text{ կՎտ.ժ};$$

Համաձուլվածքի հալման էներգիան հալման ջերմաստիճանի դեպքում՝ $t_{n\sigma}=238^\circ\text{C}$.

$$W_n = G_\sigma \theta_\sigma = 24 \text{ կգ} \times 0.011 \text{ կ} \cdot \text{Ջ} / \text{կգ} = 0.264 \text{ կ} \cdot \text{Ջ} / \text{կգ}:$$

Հալույթի տաքացման գումարային էներգիան շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանից՝ $t_x=22^\circ\text{C}$, մինչև հալման սկզբի ջերմաստիճանը՝ $t_{no}=238^\circ\text{C}$ և համաձուլվածքի հալման էներգիան հալման ջերմաստիճանի դեպքում՝ $t_{no}=238^\circ\text{C}$.

$$W_\sigma = W_H + W_n = 0.206 \text{ կ} \cdot \text{Ջ} + 0.264 \text{ կ} \cdot \text{Ջ} = 0.523 \text{ կ} \cdot \text{Ջ}:$$

Ինդուկտորը կատարվում է 3 մ^2 կտրվածքով հաղորդալարով, գալարների քանակը 2×240 է, մագնիսալարի կտրվածքը՝ 50×50 , մագնիսալարի վրա փաթաթված է լրացուցիչ չափիչ փաթույթ, որի գալարների քանակը 10 է:

4.2. Հալման հիմնական ռեժիմի որոշման փորձարկումներ

Նախնական փորձարկումները կատարվել են տաքացման և հալման առավել շահավետ ռեժիմի որոշման նպատակով՝ այն ընտրելով որպես հիմնական [6]: Դրա համար կատարվել են փորձարկումներ հետևյալ ռեժիմներում միատեսակ սկզբնական 134վ լարման և $0,683\text{կՎտ}$ հզորության դեպքում:

Ռեժիմ N1՝ հաստատուն հզորության՝ $P = const$, և կարգավորվող լարման դեպքում:

Ռեժիմ N2՝ անփոփոխ լարման՝ $U = const$, և չկարգավորվող հզորության դեպքում:

Փորձի արդյունքները բերված են աղյ. 4.1-ում, աղյ. 4.2-ում և նկ. 4.5-ում:

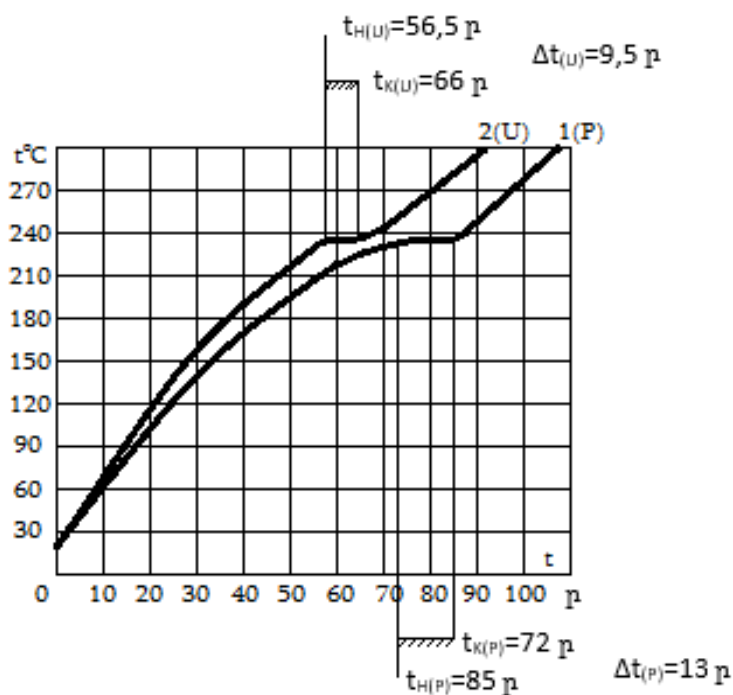
Բովախառնուրդի տաքացումը՝ մինչև հալման ջերմաստիճանը, կատարվում է նկ. 4.5-ի բնութագրերի աճող ճյուղերով: Բնութագրի հորիզոնական տեղամասում, երբ բովախառնուրդի ջերմաստիճանն անփոփոխ է, կատարվում է մետաղի հալումը: Երբ մետաղն ամբողջությամբ հալվել է, հեղուկ մետաղի ջերմաստիճանը դարձյալ աճում է: Տաքացման և հալման դիտարկվող ռեժիմը համապատասխանում է բնութագրի սկզբնական աճող և հորիզոնական տեղամասերին.

- ռեժիմ N1-ում տաքացման և հալման տևողությունը հաստատուն հզորության և կարգավորվող լարման դեպքում կազմում է 85ր , իսկ անմիջական հալման տևողությունը՝ 13ր (նկ. 4.5, բնութագիր 1),

- ռեժիմ N2-ում տաքացման և հալման տևողությունն անփոփոխ լարման և չկարգավորվող հզորության դեպքում կազմում է 66ր , իսկ անմիջական հալման տևողությունը՝ $9,5 \text{ր}$ (նկ. 4.5, բնութագիր 2):

Տաքացման և հալման բնութագրերը հաստատարի հզորության և կարգավորվող լարման դեպքում

Ժամանակը, ժամ:ր	Ընթացիկ ժամանակը, ր	Լարումը, Վ	Չափիչ փաթույթի լարումը, Վ	Հզորությունը, կՎտ	Ինդուկտորի հոսանքը, Ա	Բովախառնուրդի ջերմաստիճանը, °C
11:00	0	134	5,0	0,683	9	20
11:10	10	133	5,0	0,683	8,7	64
11:20	20	129	4,8	0,683	8,4	106
11:30	30	124,5	4,7	0,683	8,25	140
11:40	40	124	4,65	0,683	8,1	169
11:50	50	122,5	4,55	0,683	7,9	190
12:00	60	121	4,5	0,683	6,7	216
12:10	70	120	4,5	0,683	7,5	236
12,15	75	118	4,4	0,683	7,2	238
12:20	80	117,5	4,3	0,683	7,05	238
12:30	90	114	4,25	0,683	6,8	247
12:40	100	113	4,2	0,683	6,6	260



Նկ. 4.5. Տաքացման և հալման բնութագրերը N1 և N2 ռեժիմներում

Ինչպես հետևում է փորձի արդյունքներից, տաքացման և հալման N2 ռեժիմն անփոփոխ լարման և չկարգավորվող հզորության դեպքում ապահովում է ավելի բարձր արտադրողականություն և, համապատասխանաբար, տաքացման և հալման կարճ տևողություն: Բացի այդ, այս դեպքում չի պահանջվում լարման կարգավորում

մուտքում, ինչը կարևոր առավելություն է:

Աղյուսակ 4.2

Տաքացման և հալման բնութագրերն անփոփոխ լարման և չկարգավորվող հզորության դեպքում

Ժամանակը, ժամ:ր	Ընթացիկ ժամանակը, ր	Լարումը, Վ	Չափիչ փաթույթի լարումը, Վ	Հզորությունը, կՎտ	Ինդուկտորի հոսանքը, Ա	Բովախառնուրդի ջերմաստիճանը, °C
12:05	0	134	5,0	0,683	9	25
12:15	10	133	4,95	0,720	8,85	71
12:25	20	134	5,0	0,765	8,7	116
12:35	30	134	5,0	0,799	8,7	157
12:45	40	134	5,0	0,816	8,6	192
12:55	50	134	5,0	0,855	8,5	224
12:58	53	135	5,0	0,855	8,5	232
13:00	55	135	5,0	0,870	8,5	238
13:02	57	135	5,0	0,863	8,7	238
13:03	58	135	5,0	0,900	8,5	238
13:05	60	134,5	5,0	0,878	8,4	238
13:13	68	135	5,0	0,990	8,25	239
13:15	70	135	5,0	1,020	8,2	242
13:20	75	135	5,0	1,050	8,1	255
13:30	80	135	5,0	1,125	8,0	270
13:40	90	135	5,0	1,195	7,9	295

Համաձայն ներկայացվածի՝ ռեժիմն անփոփոխ լարման և չկարգավորվող հզորության դեպքում ընդունված է որպես հիմնական:

4.3. Փորձարկումներ՝ չկարգավորվող լարման ցանցից սնման դեպքում

Ընդունված $U=const$ հիմնական ռեժիմում իրականացվել է մետաղի տաքացում և հալում ինդուկտորը 220Վ չկարգավորվող լարման ցանցին անմիջական միացման դեպքում: Փորձի արդյունքները բերված են աղյ. 4.3-ում, աղյ. 4.4-ում և նկ. 4.6-ում:

Փորձի արդյունքներին համապատասխան (աղյ. 4.3) բովախառնուրդի տաքացումը մինչև հալման ջերմաստիճան կազմում է 19ր, բովախառնուրդի ողջ զանգվածի հալումը, երբ մետաղի ջերմաստիճանը մնում է անփոփոխ՝ հալման 238°C ջերմաստիճանի մակարդակին, տևում է 4ր, տաքացման և հալման ամբողջ գործընթացը տևում է 23ր: Այնուհետև փորձը շարունակվում է ստուգիչ կարգով, երբ հալված մետաղի ջերմաստիճանն աճում է, սակայն գործընթացի այս տեղամասն ընդգրկված չէ մետաղի հալման գործընթացում, ուստի և չի դիտարկվում:

Չափված մեծությունների հիման վրա, որոնք տրված են աղյ. 4.3-ում, հաշվարկված են մետաղի ԿՓԳ-ի լարումն ու հոսանքը, յուրաքանչյուր միջակայքում ծախսված էլեկտրական էներգիան, տաքացման ու հալման լրիվ էներգիան, ինչպես նաև հզորության գործակիցը գործընթացի յուրաքանչյուր միջակայքում: Նշված հաշվարկները կատարված են հետևյալ արտահայտությունների հիման վրա:

Մետաղի ԿՓԳ-ի լարումը.

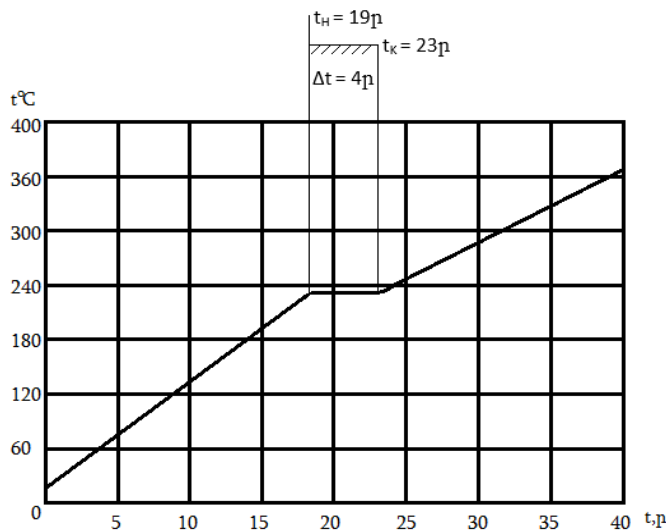
$$U_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{изм}}}{W_{\text{изм}}}, \quad (4.2)$$

որտեղ $U_{\text{изм}}$ -ը չափիչ փաթույթի լարումն է, $W_{\text{изм}}=10$ -ը՝ չափիչ փաթույթի գալարների քանակը:

Աղյուսակ 4.3

Տաքացման և հալման բնութագիրը՝ ցանցի անփոփոխ 220Վ լարման և չկարգավորվող հզորության դեպքում (չափված մեծություններ)

Ժամանակը, ժամ:ր	Ընթացիկ ժամանակը, ր	Ինդուկտորի լարումը, Վ	Չափիչ փաթույթի լարումը, Վ	Ինդուկտորի հոսանքը, Ա	Հզորությունը, կՎտ	Մետաղի ջերմաստիճանը, °C
11:45	0	220	8,2	14,85	1,740	22
11:50	5	220	8,2	14,85	1,800	68
11:55	10	220	8,2	14,4	2,070	141
12:00	15	220	8,2	14,2	2,190	194
12:03	18	220	8,2	13,8	2,250	232
12:04	19	220	8,2	13,5	2,250	238
12:05	20	220	8,2	13,4	2,280	238
12:06	21	220	8,2	13,3	2,340	238
12:07	22	220	8,2	13,1	2,400	238
12:08	23	220	8,2	12,9	2,430	238
12:09	24	220	8,15	12,7	2,430	243
12:10	25	220	8,1	12,5	2,490	249
12:15	30	220	8,05	11,85	2,595	287
12:20	35	220	7,9	12,0	2,610	325
12:25	40	220	7,5	11,8	2,625	365



Նկ. 4.6. Տաքացման և հալման բնութագրերը՝ ինդուկտորի 220Վ չկարգավորվող լարման և ցանցին անմիջական միացման դեպքում

Աղյուսակ 4.4

Տաքացման և հալման բնութագիրը՝ ցանցի անփոփոխ լարման 220Վ լարման և չկարգավորվող հզորության դեպքում (հաշվարկային մեծություններ)

Ժամանակը, ժամ:ր	Ընթացիկ ժամանակը, ր	Մետաղի ԿՓԳ լարումը, Վ	Մետաղի ԿՓԳ հոսանքը*, Ա	Ժամանակի միջակայքում ծախսված էներգիան		Հզորության գործակիցը, <i>cos φ</i>
				Վտ.ր	կՎտ.ժ	
11:45	0	0,82	1409	0	0	0,53
11:50	5	0,82	1458	9000	0,15	0,55
11:55	10	0,82	1677	10350	0,172	0,65
12:00	15	0,82	1774	10950	0,182	0,7
12:03	18	0,82	1823	6750	0,112	0,74
12:04	19	0,82	1823	2250	0,037	0,76
12:05	20	0,82	1847	2280	0,038	0,77
12:06	21	0,82	1895	2340	0,039	0,8
12:07	22	0,82	1944	2400	0,04	0,83
12:08	23	0,82	1968	2430	0,041	0,86
Ընդամենը				48750	0,812	
12:09	24	0,815	-	-	-	-
12:10	25	0,81	-	-	-	-
12:15	30	0,805	-	-	-	-
12:20	35	0,79	-	-	-	-
12:25	40	0,75	-	-	-	-

* մոտավոր մեծություն
Մետաղի ԿՓԳ-ի հոսանքը.

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{P_{\eta}}{U_{\text{КЗ}}}, \quad (4.3)$$

որտեղ P -ն ակտիվ հզորությունն է, $\eta=0,664$ -ը՝ գործընթացի ՕԳԳ-ն, որը հաշվարկված է ստորև՝ համարելով, որ հաշվարկի յուրաքանչյուր միջակայքում ՕԳԳ-ն անփոփոխ է և հավասար նշված մեծությանը: Նշված ընդունելության հաշվառմամբ ԿՓԳ-ի հոսանքը հաշվարկված է մոտավոր կարգով:

Տաքացման և հալման միջակայքում ծախսված էլեկտրական էներգիան.

$$W_i = P \Delta t_i, \quad (4.4)$$

որտեղ Δt_i -ն միջակայքի տևողությունն է:

Տաքացման և հալման ամբողջ գործընթացում ծախսված էլեկտրական էներգիան.

$$W_\sigma = \sum_{i=1}^n W_i, \quad (4.5)$$

որտեղ n -ը չափման միջակայքերի քանակն է:

Հզորության գործակիցը.

$$\cos \varphi = \frac{P}{U_i I_i}, \quad (4.6)$$

որտեղ $U_i I_i$ -ն համապատասխանաբար ինդուկտորի լարումն ու հոսանքն են.

Չափման արդյունքների հիման վրա որոշվում են արտադրողականության, էլեկտրաէներգիայի տեսակարար ծախսի և ՕԳԳ-ի հետևյալ իրական մեծությունները.

- տաքացման և հալման գործընթացի արտադրողականությունը.

$$M = \frac{G_\sigma}{T} = \frac{24}{23} = 1.04 = 62.6, \quad (4.7)$$

որտեղ $G_\sigma=24$ կգ-ը հալվող մետաղի քանակն է, $T=23$ ր-ն՝ տաքացման և հալման ամբողջ գործընթացի տևողությունը,

- էլեկտրաէներգիայի տեսակարար ծախսը.

$$W_o = \frac{W}{G_\sigma} = \frac{0.812}{24} = 0.0338: \quad (4.8)$$

Տաքացման և հալման գործընթացի ՕԳԳ-ն որոշվում է որպես համաձուլվածքի տաքացման համար տեսականորեն անհրաժեշտ գումարային էներգիայի (շրջակա միջավայրի $t_x=22^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանից մինչև հալման սկզբի ջերմաստիճանը $t_{n\sigma}=238^\circ\text{C}$ և համաձուլվածքի հալման $t_{n\sigma}=238^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում անհրաժեշտ էներգիաների, որը որոշված է վերևում՝ $W_\sigma=W_H+W_n=0,523$ կՎտ.ժ), մետաղի տաքացման և հալման

համար իրական ծախսված W էներգիայի հարաբերություն, որի մեծությունը բերված է աղյ. 4.4-ում:

$$\eta = \frac{W_{\sigma}}{W} = \frac{0.523}{0.812} = 0.664 = 66.4\% : \quad (4.9)$$

ՕԳԳ-ի ստացված մեծությունն իրականում կարելի է բարձրացնել հետևյալի հաշվին: Փորձարկվող նմուշում ինդուկտորը զբաղեցնում է մագնիսալարի մակերեսի պատուհանի ընդամենը 18%-ը: Հաղորդչի կտրվածքի մեծացումը և, համապատասխանաբար, ինդուկտորի ակտիվ դիմադրության փոքրացումը մագնիսալարի պատուհանի մեծացման հաշվին, մոտավորապես մինչև 50% պատուհանի մակերեսի չափով, թույլ է տալիս ինդուկտորում կորուստների իջեցման հաշվին ՕԳԳ-ն բարձրացնել մինչև 70% և ավելի:

4.4. Իրական հալման և հաշվարկի արդյունքների համադրումը

Ինչպես նշվել է կետ 3.2-ում, կատարվել է ինդուկցիոն խուղակային տեղակայանքի փորձարարական նմուշում ՍՕՇ-40 անագ-կապար հալույթի տաքացման և հալման գործընթացի համակարգչային հաշվարկ:

Ինդուկցիոն խուղակային տեղակայանքի փորձարարական նմուշում տաքացման ու հալման իրական գործընթացի և վերոնշյալ ծրագրով գործընթացի հաշվարկի համադրման արդյունքները բերված են աղյ. 4.5-ում:

Աղյուսակ 4.5

Ինդուկցիոն խուղակային տեղակայանքի փորձարարական նմուշում տաքացման ու հալման իրական գործընթացի և վերոնշյալ ծրագրով գործընթացի հաշվարկի արդյունքների համադրում

Պարամետր	Իրական փորձի արդյունքները	Ծրագրային հաշվարկի արդյունքները
Տաքացման գործընթացի տևողությունը, T_H, p	19	21
Հալման գործընթացի տևողությունը, T_h, p	4	4,6
Տաքացման գործընթացի ընդհանուր տևողությունը, T_{Σ}, p	23	25,6
Արտադրողականությունը, $M, կգ / \text{ժ}$	62,6	56,5
ՕԳԳ, $\eta, \%$	66,4	64,2
Էլեկտրաէներգիայի տեսակարար ծախսը $W_{\sigma}, կՎկր. \text{ժ} / կգ$	0,0338	0,034

Ինչպես հետևում է աղ. 4.5-ի տվյալներից, վերոնշյալ ծրագրով կատարված հաշվարկը բավականաչափ համընկնում է փորձնականի հետ:

Մշակված խուղակային տեղակայանքի փորձարարական նմուշի բնութագրերը, որոնք ստացված են փորձի արդյունքում (աղ. 4.4) և հաշվարկված են վերևում, համադրվում են պարամետրերով մոտ *ИПК-АЛ-0,05* տեսակի ԲՀՏ տեղակայանքի հետ այլումինի հալման ռեժիմում (աղ. 1.1): Համադրման արդյունքները բերված են աղ. 4.6-ում:

Ինչպես հետևում է համեմատության արդյունքներից, առաջարկվող կառուցվածքով մշակված խուղակային տեղակայանքի տեխնիկատնտեսական ցուցանիշները գերազանցում են ԲՀՏՏ-ի ցուցանիշներին (հաշվի առած մետաղների և դրանց հալման տեսակարար ջերմության տարբերությունները):

Աղյուսակ 4.6

Մշակված ՅՀԽՏ-ի և ԲՀՏՏ-ի պարամետրերի համեմատական բնութագրերը

Պարամետր	Մշակված ՅՀԽ վառարան	ԲՀՏ տեղակայանք, տեսակը՝ <i>ИПК-АЛ-0,05</i>
Մետաղի տեսակը	Համաձուլվածք՝ П0С-40 (անագ 40%, կապար 60%)	Այլումին
Հալման տեսակարար ջերմությունը, q_n , կՎտ.ժ/կգ	0,011	0,11
Վառարանի տարողությունը, G , կգ	24	50
Արտադրողականությունը, M , կգ/ժ	62,6	70
Էլեկտրաէներգիայի տեսակարար ծախսը, W_0 , կՎտ.ժ/կգ	0,0338	0,670
Հզորության գործակիցը, $\cos\varphi$	0,53 ... 0,86	0,08 ... 0,25

Եզրակացություններ չորրորդ գլխի վերաբերյալ

Կատարված հետազոտությունների արդյունքներով կարելի է եզրակացնել.

1. Կատարվել է առաջարկված խուղակային վառարանի փորձարարական նմուշի փորձարկում, որի երկրաչափական չափսերը մոտեցվել են «տիպային կառուցվածքին»:
2. Փորձի արդյունքներով հաստատվել է, որ տաքացման և հալեցման ռեժիմներում, երբ անփոփոխ է սնման լարումը և հզորությունը, ապահովվում է բարձր արտադրողականություն և տաքացման ու հալեցման փոքր ժամանակ: Այդ N2 ռեժիմն էլ ընդունվել է որպես հիմնական:
3. Կատարվել է անագ-կապար համաձուլվածքի՝ ՈՕՇ-40-ի իրական տաքացում և հալեցում և որոշվել են տեխնոլոգիական բնութագրերը: Փորձարարական նմուշի վերլուծական հաշվարկների և իրական տեխնոլոգիական բնութագրերը բավարար չափով համընկնում են:
4. ՑՀԽՏ-ի աշխատանքի վերլուծական արդյունքների հավաստիությունը համապատասխանում է հետազոտման փորձնական արդյունքներին:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Մետաղների հալեցման ցածր հզորության տեղակայանքներին ներկայացվում են հատուկ բարձր պահանջներ՝ ըստ տեխնիկատնտեսական, հուսալիության, բնապահպանության և կառուցվածքի պարզության: Սակայն դրանց համար բացակայում են տեղակայանքի տեսակի ընտրության, էլեկտրասնման հաճախության և տեխնիկական լուծումների հիմնավորումները: Ցածր հզորության տեղակայանքները կատարվում են բարձր հզորության տեղակայանքների համար ընդունված սխեմատեխնիկական լուծումներով, ինչը խորացնում է դրանց թերությունները:

2. Մշակված և հիմնավորված է մետաղների հալեցման ցածր հզորության տեղակայանքների ստեղծման հայեցակարգը, որի էությունն է. խուղակավոր տեսակի տեղակայանքներ՝ էլեկտրասնման հաճախությունը 50Հg անմիջական արդյունաբերական ցանցից սնուցմամբ, մետաղի լրիվ ծավալի օգտագործումը ջերմության անջատման համար, արդյունքը՝ առավելագույն արտադրողականությունը, հուսալիությունը, բարձր ՕԳԳ-ն և կառուցվածքի պարզությունը:

3. Մշակված է խուղակային վառարանի կառուցվածքը՝ մետաղում ներառված ինդուկտորի մագնիսալարով, որն ապահովում է բարձր տեխնիկատնտեսական ցուցանիշներ: Կառուցվածքը պաշտպանված է գյուտի արտոնագրով:

4. Որոշված են ՏԽՎ-ի պարամետրերը՝ կախված հալվող մետաղի տեսակից, որն ապահովում է լավագույն տեխնիկատնտեսական ցուցանիշներ:

5. Մշակված է առաջարկված խուղակային վառարանի ջերմաէլեկտրական գործընթացների դինամիկ մաթեմատիկական մոդել և հաշվարկման մեթոդիկա:

6. Մշակված և պատրաստված է առաջարկվող ՑՀԽՏ-ի փորձարարական նմուշ: Փորձարկման արդյունքները հաստատում են հայտնի և մոտ պարամետրերով ցածր հզորության տեղակայանքների համեմատ տեխնիկատնտեսական ցուցանիշների գերազանցության ապահովումը և մոդելի ու իրականում ընթացող գործընթացների համարժեքությունը: Մշակումն առաջարկվում է ճարտարագիտական պրակտիկայի համար:

Օգտագործված գրականության ցանկ

1. Արտոնագիր № 2119A2, F27D 11/06. Ինդուկցիոն խուղակային վառարան / **Ժ.Դ. Դավիդյան, Պ.Ս. Մանուկյան, Ն.Ն. Պետրոսյան**/ - 25.07.2008 (Հայտը ներկայացված է 08.10.2007թ.):
2. Արտոնագիր № 2533A, F27D 11/06. Խուղակավոր վառարան / **Ժ.Դ. Դավիդյան, Պ.Ս. Մանուկյան, Ա.Ս. Հարությունյան**/ - 27.06.2011 (Հայտը ներկայացված է 24.02.2011թ.):
3. Արտոնագիր № 2545A, F24H 1/00. Հեղուկի ինդուկցիոն էլեկտրատաքացուցիչ /**Ժ.Դ. Դավիդյան, Պ.Ս. Մանուկյան, Ա.Ս. Հարությունյան**/ - 25.08.2011 (Հայտը ներկայացված է 28.04.2011թ.):
4. **Ժ.Դ. Դավիդյան, Պ.Ս. Մանուկյան, Ա.Ս. Հարությունյան**. Հեղուկների ինդուկցիոն էլեկտրատաքացուցիչ // ՀՊՃՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու. - Երևան, 2012. - Մաս 1. - էջ 421-425:
5. **Հարությունյան Ա.Ս.** Խուղակավոր վառարան // ՀՃԱ Լրաբեր. գիտատեխնիկական հոդվածների ժողովածու. - Երևան, 2012, Հատ. 9 № 1. - էջ 57-59:
6. **Հարությունյան Ա.Ս.** Մետաղների հալեցման ցածր հաճախային խուղակային տեղակայանքի փորձարարական նմուշի փորձարկումը // ՀՃԱ Լրաբեր. Գիտատեխնիկական հոդվածների ժողովածու. - Երևան, 2017, Հատ. 14, № 4. - էջ 557-561:
7. **Бальян Р.Х., Сиверс М.А.** Тиристорные генераторы и инверторы. – Л.: Энергоиздат, 1982. - 223с.
8. **Бас А.А., Миловзоров В.П., Мусолин А.К.** Источники вторичного электропитания с бестрансформаторным входом. – М.: Радио и связь, 1987. – 160с.
9. **Беллман Р., Кук К.** Дифференциально-разностные уравнения. – М.: Мир, 1967. – 548с.
10. **Беркович Е.И., Иоффе Ю.С.** и др. Тиристорные преобразователи повышенной частоты для электротехнологических установок. - Л.: Энергоатомиздат, 1983. - 206с.
11. **Болотов А.В., Шепель Т.А.** Электротехнологические установки. - М.: Высшая школа, 1988. - 366с.

12. **Брокмайер К.** Индукционные плавильные печи / Пер. с нем.; Под ред. Шевцова М.А. и Столова М.Я. - М.: Энергия, 1972. - 304с.
13. **Булатов О.Г.** и др. Тиристорно-конденсаторные преобразователи. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 200с.
14. **Вайнберг А.М.** Индукционные плавильные печи. - М.: Энергия, 1972. - 303с.
15. **Васильев А.С., Гуревич С.Г., Иоффе Ю.С.** Источники питания электротермических установок. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 248с.
16. **Воронин П.А.** Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение. – М.: Изд. дом "Додека-XXI", 2001. – 384с.
17. **Гитгарц Д.А., Иоффе Ю.С.** Новые источники питания и автоматика индукционных установок для нагрева и плавки. - М.: Энергия, 1972. - 105с.
18. **Горбачев Г.Н., Чаплыгин Е.Е.** Промышленная электроника. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 320с.
19. **ГОСТ 32144-2013.** Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии.
20. **Готтлиб И.М.** Источник питания, инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы / Пер. с англ.; Под. ред. А.Л. Ларина, С.А. Луженского. - М.: Постмаркет, 2000. - 552с.
21. **Губинский В.И., Тимошпольский В.И., Ольшанский В.М. и др.** Metallургические печи. Теория и расчеты: учеб. для студентов металлург. и теплотехн. специальностей [вузов]: в 2 т. Т. 1 / под. общ. ред. В.И. Тимошпольского, В.И. Губинского. - Минск: Белорусская наука, 2007. - 596с.
22. **Губинский В.И., Тимошпольский В.И., Ольшанский В.М. и др.** Metallургические печи. Теория и расчеты: учеб. для студентов металлург. и теплотехн. специальностей [вузов]: в 2 т. Т. 2 / под. общ. ред. В.И. Тимошпольского, В.И. Губинского. - Минск: Белорусская наука, 2007. - 832с.
23. **Давидян Ж.Д., Манукян П.С., Арутюнян А.М.** Расчет новой экономичной канальной печи для электрической плавки металлов // Вестник серия электротехника, энергетика. – Ереван, 2012, вып. 15, №2. – С. 42-50.
24. **Давидян Ж.Д.,** Электрическая сеть - как природная экосистема // Вестник МАНЭБ. - Ереван, 2008. - Вып 2, № 4, том 13. - С. 153-155.
25. **Диомидовский Д.А.** Metallургические печи цветной металлургии. - М.: Metallургия, 1970. - 702с.
26. **Дружинин В.В.** Магнитные свойства электротехнической стали. – М.: Энергия, 1974. -

239с.

27. **Дубинин Г.Н.** Конструкционные проводниковые и магнитные материалы. – М.: Машиностроение, 1973. – 296с.
28. **Евтюкова И.П., Кацевич Л.С., Некрасова Н.М., Свенчанский А.Д.** Электротехнологические промышленные установки / Под.ред. А.Д. Свенчанского. - М.: Энергоиздат, 1982. - 400с.
29. **Егоров А.В., Моржин А.Ф.** Электрические печи (для производства сталей). - М.: Metallurgy, 1975. - 352с.
30. **Забродин Ю.С.** Промышленная электроника. - М: Высшая школа, 1982. - 496с.
31. **Иванова Л.И., Грובהва Л.С., Сокунов Б.А.** Индукционные канальные печи: Учебное пособие. - Екатеринбург: Изд. УГТУ - УПИ, 2002. - 105с.
32. Источники вторичного электропитания / **В.А. Головацкий, Г.Н. Гулякович, Ю.И. Конев** и др.: Под ред. **Ю.И. Конева**. – М.: Радио и связь, 1990. – 277с.
33. Источники вторичного электропитания / **С.С. Букреев, В.А. Головацкий, Г.Н. Гулякович** и др.: Под ред. **Ю.И. Конева**. – М.: Радио и связь, 1983. – 280с.
34. **Кайбичева М.Н.** Футеровка электропечей. - М.: Metallurgy, 1975. - 280с.
35. **Карелов С.В., Матюхин В.И., Матюхин О.В. и др.** Конструирование и расчет индукционных плавильных печей: учебное пособие. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 162с.
36. **Кацевич Л.С.** Теория теплопередачи и тепловые расчеты электрических цепей: Учебник. - М.: Энергия. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. - 304с.
37. **Кобахидзе В.В.** Тепловая работа и конструкции печей цветной металлургии. - М.: МИСИС, 1994. - 356с.
38. **Константинов В.Г.** Многофазные преобразователи транзисторах. – М.: Энергия, 1972. – 96с.
39. **Корн Г., Корн Т.** Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1977. – 832с.
40. **Костенко М.П., Пиотровский Л.М.** Электрические машины. Часть 1. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1958. - 464с.
41. **Крапунин В.В.** Печи цветных и редких металлов. - М.: Metallurgy, 1980. - 392с.
42. **Красовский А.А.** Универсальные алгоритмы оптимального управления непрерывными процессами. – М.: Наука, 1977. – 271с.
43. **Лейтес Л.В.** Электромагнитные расчеты трансформаторов и реакторов. - М.: Энергия, 1981. - 362с.

44. **Липницкий А.М.** Плавка чугуна и сплавов цветных металлов. - Л.: Машиностроение, 1973. - 192с.
45. **Лузгин В.И., Петров А.Ю., Фаерман Л.И.** Индукционные печи средней частоты нового поколения // *Металлургия машиностроения*, 2002 № 1.- С. 4-13.
46. **Малешин В.И.** Транзисторная преобразовательная техника. - М.: Техносфера, 2005. - 632с.
47. **Манукян П.С.** Малоэлементный тиристорный резонансный инвертор с закрытым входом и обратными диодами // *Вестник ИАА: Сборник научно-технических статей*. - Ереван, 2009. - Т. 6, № 2. - С. 359-363.
48. **Манукян П.С.** Разработка и исследование высокоэффективных тиристорных установок для плавки и термообработки металлов. Диссертация на соискание степени кандидата технических наук, ГИУА, Ереван 2010. - 150с.
49. **Манукян П.С., Арутюнян А.М.** Математическая модель электрических процессов низкочастотной канальной установки // *ՀԱՊԿ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու*. - Երևան, 2017. - Մաս 2. - էջ 718-725:
50. **Манукян П.С., Мартиросян Г.А., Арутюнян А.М.** Горизонтальная эксцентричная канальная печь // *Вестник ИАА: Сборник научно-технических статей*. - Ереван, 2011. - том 8, № 2. - С. 293-298.
51. **Манукян П.С., Хостибян Г.Н., Саргсян С.Дж., Арутюнян А.М.** Оптимизация параметров тиристорных инверторов на повышенных частотах // *ՀՊԵՀ Լրաբեր*. - Եր.: Բարևաբարձի, 2009. - Հատոր I, № 1. - էջ 258-263:
52. **Мастрюков Б.С.** Теория, конструкции и расчеты металлургических печей. - М.: *Металлургия*, 1978. - Т.2. - 278с.
53. **Моин В.С.** Стабилизированные транзисторные преобразователи. – М.: *Энергоатомиздат*, 1986. – 376с.
54. **Нейман Л.Р., Калантаров П.Л.** Теоретические основы электротехники. - М.-Л.: *Госэнергоиздат*, 1951. - 464с.
55. **Некросово Н.М., Кацевич Л.С., Евтюкова И.П.** Промышленные электро-термические установки. - М.-Л.: *Госэнергоиздат*, 1961. - 416с.
56. **Петросян Н.Н., Давидян Ж.Д., Манукян П.С.** Агрегат для плавки металлов на резонансном инверторе с закрытым входом // *Вестник ГИУА: Сб. Научн. и метод. ст. часть 1*. - Ереван: 2008. – С. 469-472.
57. **Петросян Н.Н., Давидян Ж.Д., Манукян П.С.** Анализ резонансного инвертора с закрытым входом для индукционного нагрева // *Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН*. -

- Ереван: 2008. - Т. 61, № 1. - С.78-87.
58. **Петросян Н.Н., Манукян П.С.** Анализ электромагнитных процессов в транзисторном резонансном инверторе с закрытым входом для высокочастотного индукционного нагрева // Вестник ГИУА. Сер. Моделирование, оптимизация, управление. - Ереван: 2007. - Вып. 10, т. 1. - С. 85-92.
 59. **Петросян Н.Н., Манукян П.С., Арутюнян А.М.** Высокоэффективные источники питания для плавки и обработки металлов // Практическая силовая электроника. - М.: 2011, № 41. - С. 29-37.
 60. **Платонов В.П., Акименкс А.Д., Багуцкая С.М.** и др. Индукционные печи для плавки чугуна. - М.: Машиностроение, 1976. - 176с.
 61. **Поляков В.Д., Чаколья Э.** Высокочастотный генератор для индукционного нагрева // Электротехника. - 2000. - № 12. - С. 31-35.
 62. **Простяков А.А.** Индукционные нагревательные установки. - М.: Энергия, 1970. - 120с.
 63. **Рама Р.С.** Основы силовой электроники / Пер. с англ.; под ред. В.В. Масалова. - М.: Техносфера, 2006. - 288с.
 64. Расчет нагревательных и термических печей: Справочник / под ред. **В.М. Тымчак и В.Л. Гусовской.** – Москва: Металлургия, 1983. – 481с.
 65. **Розанов Ю.К.** Основы силовой электроники. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 296с.
 66. **Розанов Ю.К.** Полупроводниковые преобразователи со звеном повышенной частоты. – М.: Энергоиздат, 1987. – 183с.
 67. **Ройтенберг Я.Н.** Автоматическое управление. – М.: Наука, 1978. – 552с.
 68. **Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М.** Основы преобразовательной техники. - М.: Высшая школа, 1980. - 424с.
 69. **Самохвалов Г.В., Ченыш Г.И.** Электрические печи черной металлургии. - М.: Металлургия, 1984. - 232с.
 70. **Сасса В.С.** Футеровка индукционных печей. - М.: Металлургия, 1989. - 232с.
 71. **Свенчанский А.Д.** Электрические промышленные печи. - М.: Энергия, 1975. - 382с.
 72. **Слухоцкий А.Е.** Индукторы. - М.-Л.: Машиностроение, 1965. - 99с.
 73. **Слухоцкий А.Е., Немков В.С., Павлов Н.А., Бамунэр А.В.** Установки индукционного нагрева: Учебное пособие для вузов; Под ред. А.Е. Слухоцкого. - Л.: Энергоиздат, Ленинградское отд-ние, 1981. - 328с.
 74. **Слухоцкий А.Е., Рыскин С.Е.** Индукторы для индукционного нагрева. - Л.: Энергия, 1974. - 264с.
 75. Справочник по преобразовательной технике / Под ред. **И.М. Чиженко** - Киев: Техніка,

1978. - 447с.
76. **Гир Л.Л., Фомин Н.И.** Современные методы индукционной плавки (Библиотека электротермиста, вып. 59). - М.: Энергия, 1975. - 110с.
 77. **Фарбман С.А., Колобнев И.Ф.** Индукционные печи для плавки металлов и сплавов. Изд. доп. и перераб. - М.: Металлургия, 1968. - 496с.
 78. **Фомин Н.И., Затуловский Л.М.** Электрические печи и установки индукционного нагрева. - М.: Металлургия, 1979. - 247с.
 79. **Цыганов В.А.** Плавка цветных металлов в индукционных печах. - М.: Металлургия, 1974. - 248с.
 80. **Цыпкин Я.З.** Основы теории автоматических систем. - М.: Наука, 1977. - 560с.
 81. **Цыпкин Я.З.** Релейные автоматические системы. - М.: Наука, 1974. - 576с.
 82. **Цыпкин Я.З.** Теория линейных импульсных систем. - М.: Физматгиз, 1963. - 968с.
 83. **Чиженко И.М., Руденко В.С., Сенько В.И.** Основы преобразовательной техники. - М.: Высшая школа, 1974. - 430с.
 84. **Шамов А.Н.** Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок. - Л.: Машиностроение, 1974. - 280с.
 85. Электронная техника в автоматике: Сборник статей / Под ред. **Ю.И. Конева.** - М.: Радио и связь, 1982. - Вып. 13. - 304с.
 86. Электрооборудование и автоматика электротермических установок: Справочник / **А.П. Альтгаузен, И.М. Бершицкий, М.Д. Бершицкий** и др.; Под ред. **А.П. Альтгаузена** и др. - Москва: Энергия, 1978. - 303с.
 87. Электротермическое оборудование: Справочник / Под общей ред. **А.П. Альтгаузена.** - М.: Энергия, 1980. - 416с.
 88. Электротехнические установки и их источники питания: Уч. Пос. для вузов по спец. "Промышленная электроника" / Сост. **В.И. Бар.** - Тольятти: ТГУ, 2002. - 98с.
 89. **Kassakian J.G., Schlecht M.F., Verghese G.C.** Principles of Power Electronics Massachusetts Institute of Technology. - Addison-Wesley Publishing Company, 1992. - 738p.
 90. <http://furnace.inductory.ru/#PPALM> ООО "Индукторы", Россия, г. Миасс.
 91. <http://mash-xxl.info/info/699702/> Отн. Параметров канальных установок.
 92. http://metallischeckiy-portal.ru/articles/cvetmet/cinkovie_splavi/pechi_dla_plavki_cinka_i_ego_splavov Типы и параметры канальных установок.
 93. http://www.baurum.ru/_library/?cat=enginworks&id=1531 Краткие сведения о теплопередаче.

94. www.fxyz.ru
95. www.kupc.ru/files/material/Ch_metodichka_1.doc Отн. значений $\cos\varphi$ канальных установок.
96. www.nkup-petra.ru
97. www.ru.wikipedia.org/wiki/припой
98. www.ruscastings.ru/168/5620/4069/7867
99. www.Siblek.ru Изменение удельного сопротивления металлов при плавлении.
100. www.tdinduktor.ru/index.php

ՑՀԽՏ-ի հաշվարկման ծրագիրը MatLab համակարգով

```

%                               hashvarc
clc;
clear;
a=300; b=100; c=100;           %Vannai chaper@ 300*150*100
a1=50; b1=50; c1=300;        %Magnisalari chaper@
50*50*300
B=1.5;                         %Magnisalari indukcian
delPc=1.05;                    %Poxpatum tesakarar korust@
delPc=1.03 wat
Gm=15.6;                       %Magnisalari zangvac@ Gm=15.6
kg
Sn=40; Pb=60;                 %Metaghi tesak@ POC-40
g=9.31;                       %Metaghi tesakarar zangvac@
Tk=763;                       %Magnisakan poxakerman
jermastijan@ 763 C
tn=238;                       %halman jermastijan@ tn=238 C
C1=499e-7;                    %Metaghi tesakara
jermunakutiun@ lamda=C1=499e-7
C2=0.011;                     %Metaghi halman tesakarar
jermunakutiun@ C2=teta=0.011
K=2.2;                        %dimadrutin mecacman
gorcakic@
G=24;                         %Metaghi zangvac@
K0=1;                         %Cavalain gorcakic
h1=90;                        %Beri barcrutiun@
deltB=20;                     %Vannai pateri hastutiun@
deltM=0;                      %Induktori magnisalar
deltK=0;                      %Induktori patian
lambdat=500;                 %Induktori magnisalari
jermahaghordakanutian gorcakic
lambdaB=500;                %Induktori vannai pateri
jermahaghordakanutian gorcakic
lambdaK=381;                %Induktori
jermahaghordakanutian gorcakic
lambdaM=220;                %Induktori mutqi larum
delta=4.3;                  %Induktorum hosanqi xtutiun@

```

```

tgon=120; %Induktori mecusacman
tuilatreli jermastijan@
ghetta0=0.7; %teghakaianqi O.G.G-n
deltat=10; %hashvarki qail@ (second)
delt_t=3; %hashvarkain jermastijani
tuiltreli sheghum@
delt1=2; %Jermamekusich cherti
popoxman qajl@
Cpgh=381; Gpgh=2.068; %pghndzi
deltat=10; %jermastijani qail@

t_hal=238;OGG=0; n=0; t=0; ti=0;
t1=24; t0=22; R0=0.0006; U=0.021;
Gn=0;Gmm=0; Q1=0; Q2=0; Q3=0; Q4=0;
Q5=0; Q6=0; Q7=0; Q8=0; Q9=0; W2n=0;
Delta1=2/1000; Delta2=20/1000;
Lamda1=52; Lamda2=0.05;
P0=U^2/R0;
while (OGG<ghetta0)
% Block-2
if (t<t_hal)
W1=C1*Gm*(t1-t0);
Q2=W1/deltat;
else
W2=C2*Gm;
Q2=W2/deltat;
end; % Block-3
Rt=R0*(235+t)/(235+22);
P=U^2/Rt;
t1=(W1+C1*Gm*t0)/(C1*Gm);
W1=P*deltat;
% Block-4
Q4=0;
if (t1<t)
S=102000; % Block-5
Lamda1=500;
Lamda2=840;
Q4=S*(t1-t0)/(Delta1/Lamda1-Delta2/Lamda2);
end; % Block-6
n=0;
while (ti<Tk) % Block-10

```

```

t1=24; t0=22; Delta=25; S=102000;
Q3=lambdaM* ((t1-t0)/Delta)*S;
% Block-7
GM=15.6; B=1.5; deltaPc=1.03; deltaP0=1.03;
Q5=deltaPc*GM*B*B;
% Block-8
Q6=Q3+Q5;
% Block-9
CS=500;
ti=(Q6*10)/CS*GM;
deltM=deltM+2;
n=n+1; % Block-10
end % Block-12
Q8=S*(t1-t0)/(Delta1/Lamda1-Delta2/Lamda2);
% Block-13
delta=3; S=225;
Q7=S*lambdaM*(t1-t0)/delta;
% Block-14
I1=14.85; r1=0.41;
deltaP1=I1*r1;
Q9=deltaP1;
%-----Block-15
Lamda_pghindz=381;
Q10=S*Lamda_pghindz*(t1-t0)/delta;
%-----Block-16
ti=(Q10*deltat)/Cpgh*Gpgh+t0;
%-----Block-17,18
if(ti<120)
    delta1=delta1+2;
end;
%-----Block-19
t1=24; t0=22; delta=20; S=47200;
Q10=S*Lamda_pghindz*(t1-t0)/delta;
%-----Block-20
Q1=Q2+Q3+Q4;
Q=Q1+Q2+Q5+Q9;
%-----Block-21
R0=0.0006;
Rt=R0*(235+t1)/(235+t0);
t1=24; t0=22;
Rt=R0*(235+t1)/(235+t0);

```

```

%-----Block-22
rm=3012; deltaP=1.03;
P=deltaP*Gm;
r1_0=0.41;r2_0=0.006;
I1_0=14.85; I2_0=1409; U1_0=220; R0=0.0006;
%-----Block-23
I2=1409; R2=0.0006;
U2=I2*R2;
%-----Block-24
U2=0.82;
I2=U2/Rt;
%-----Block-25,Block-26
Emon=(I2_0*r2_0)^2+(I2_0^2*R0)^2;
%-----Block-27
U1=220;
%-----Block-30
W1=C1*Gm*(tn-t0);
%-----Block-31
T1=10;
%-----Block-32
while (Gn<Gm)
for i=1:n
W2=Q2*deltat;
Gm=Q2*deltat/C2;
%-----Block-33
Gn=0;
Gn=Gn+Gm;
end
%-----Block-34
end
%-----Block-35
for i=1:n
W2n=W2n+W2(i);
end
%-----Block-36
T1=n*deltat; T2=n*deltat;
%-----Block-37
W=W1+W2;
%-----Block-38
T6=T1+T2;
%-----Block-39

```

```
M=Gm/T6;  
%-----Block-40  
suma=sum(W2);  
OGG=W/suma;  
if (OGG<ghetta0)  
    Deltat= deltat+0.001;  
end;  
  
end;
```

Հավելված 2

ՀԱՍՏԱՏՈՒՄ ԵՄ

Ա/Ձ Է. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

“ 06 “ 06 2017թ.

ՆԵՐԴՐՄԱՆ ԱԿՏ

Ա.Մ. Հարությունյանի “ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՀԱԼԵՑՄԱՆ ԿԱՏԱՐԵԼԱԳՈՐԾՎԱԾ ԻՆԴՈՒԿՑԻՈՆ ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ” ատենախոսական աշխատանքի գործնական կիրառման արդյունքների վերաբերյալ

Այս ակտով հաստատում ենք, որ Ա.Մ. Հարությունյանի ատենախոսական աշխատանքի արդյունքները օգտագործվել է 2,5 կՎտ խուղակային վառարանի փորձարարական նմուշի վրա:

Ա. Հարությունյանի կողմից առաջարկված նոր խուղակային վառարանը թույլ է տվել բարելավել մեր աշխատանքային պայմանները, որի արդյունքում բարձրացել է էլեկտրահաղորդիչ դետալների, լարերի, ծայրապանակների տաք անագապատման արտադրողականությունը:

Նոր խուղակային վառարանի ներդրումը ամսական կխնայի մոտ 100000 դրամ, ի հաշիվ էլեկտրաէներգիայի խնայողության և արտադրողականության բարձրացման:

Արտադրության տեխնոլոգ

Ս.Ջ. Սարգսյան

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «Никол-Думан»

К. Геворгян _____

« 25 » июля 2017

АКТ

О практическом использовании результатов диссертационной работы АРУТЮНЯН А.М.
**«РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ
ПЛАВКИ МЕТАЛЛОВ»**

Настоящим актом подтверждаем, что результаты диссертационной работы Арутюнян А.М. использованы в экспериментальном образце канальной печи мощностью 2,5кВт. Изготовленного ООО «Никол-Думан» в соответствии с разработанными Арутюнян А.М. схемами силовой части и системы управления.

Предложенные Арутюнян Анной схематические решения позволили значительно улучшить производительность труда, уменьшить коммутационные перенапряжения и улучшить качество потребляемой электроэнергии.

Экономический эффект внедрения нового преобразовательного блока составляет около 120 тыс. руб. В год, которое получается за счет улучшения потребляемой энергии и перемешивания сплавов во время плавки металлов.

Главный специалист ООО «Никол-Думан»

В. Варданян

Հավելված 4

ՀԱՍՏԱՏՈՒՄ ԵՄ
ՍՊԸ “ԱՄՈՒՐ ԵՐԿԱԹ”

Տնօրեն՝

Ա. Մարգարյան

" 10 " 07 2017թ.

ՆԵՐԴՐՄԱՆ ԱԿՏ

Ա.Մ. Հարությունյանի “ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՀԱԼԵՑՄԱՆ ԿԱՏԱՐԵԼԱԳՈՐԾՎԱԾ ԻՆԴՈՒԿՑԻՈՆ ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ” ատենախոսական աշխատանքի գործնական կիրառման արդյունքների վերաբերյալ

Այս ակտով հաստատում ենք, որ Ա.Մ. Հարությունյանի ատենախոսական աշխատանքի արդյունքները օգտագործվել է 2,5 կվտ խուղակային վառարանի փորձարարական նմուշի վրա:

Ա. Հարությունյանի կողմից առաջարկված նոր խուղակային վառարանը թույլ է տվել բարելավել մեր աշխատանքային պայմանները, որի արդյունքում բարձրացել է էլեկտրահաղորդիչ դետալների, լարերի, ծայրապանակների տաք անագապատման արտադրողականությունը:

Նոր խուղակային վառարանի ներդրումը ամսական կխնայի մոտ 100000 դրամ, ի հաշիվ էլեկտրաէներգիայի խնայողության և արտադրողականության բարձրացման:

Արտադրության տեխնոլոգ

Վ. Վարդանյան