

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՄԱՐԻԱՄ ԱՇՈՏԻ ՍԱՂԱԹԵԼՅԱՆ

ՓՈՔՐ ՀԷԿ-ԵՐԻ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՈՒԺԻՄՆԵՐԻ ԲԱՐԵԼԱՎՈՒՄԸ

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒ ԹՅՈՒՆ

Ե.09.01- «ԷԼ ԵԿ տր ատե ին ի կ ա, ԷԼ ԵԿ տր ամ ե խան ի կ ա,
ԷԼ ԵԿ տր ատե ին ու ռ գ ի ան եր » մաս ն ագ ի տո լ թ յ ամ բ տե ին ի կ ալ ան
գ ի տո լ թ յ ու ն ն եր ի թ ե կ ն ա ծ ու ի գ ի տ ա կ ան ա ս տ ի ճ ան ի հ ա յ ց մ ան հ ամ ա ղ

Գ ի տ ա կ ան ղ ե կ ա վ ա ղ տ ՝ տ.գ.թ., դ ո ց ե ն տ
Ա ն տ ո ն Լ ն ո ն ի Մ ա յ ի լ յ ան

ԵՐԵՎԱՆ 2019

	ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ	4
Գ Լ ու ի խ	ՓՈՔՐ ՀԻԴՐՈԵՆԵՐԳԵՏԻԿԱՅԻ ՉԱՐԳԱՑՈՒՄԸ ԵՎ	
1.	ԲԱՐԵԼԱՎՎԱԾ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՈՒԺԻՄՆԵՐՈՎ	
	ՀԻԴՐՈԱԳՐԵԳԱՏԻ ՍՏԵՂԾՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆԸ	9
1.1.	Փոքր հիդրոէներգետիկա	9
1.2.	Փոքր հիդրոէլեկտրակայաններում կիրառվող ավանդական հիդրոագրեգատների կառուցվածքային	14

	լ ու ծ ու մ ն եր ի և ա շ խ ա ն տ ա ն ք ա յ ի ն ս կ զ ք ու ն ք ն եր ի վ եր լ ու ծ ու թ յ ու ն	
1.3.	Ս ի ն խր ո ն գ ե ն եր ա տ ո թ ի տ ա տ ա ն ո ղ ա կ ա ն պր ո ց ե ս , տ ա տ ա ն ու մ ն եր ի տ ե ս ա կ ն եր ը , դր ա ն ց ֆ ի զ ի կ ա կ ա ն բ ն ու յ թ ը և առ ա ջ ա ց մ ա ն պ ա տ ճ առ ն եր ը	28
1.4.	Խ ն դր ի դր վ ա ծ ք ը	31
1.5.	Ե գր ա կ ա ց ու թ յ ու ն	33
Գ Լ ու խ	Փ Ո Զ Ի Դ Դ Ո Ե Լ Ե Կ Տ Դ Ա Կ Ա Յ Ա Ն Ի Ս Ի Ն Խ Ր Ո Ն	
2.	Հ Ի Դ Դ Ո Ա Գ Դ Ե Գ Ա Տ Ի Ա Շ Խ Ա Տ Ա Ն Զ Ա Յ Ի Ն Ռ Ե Ժ Ի Մ Ի Հ Ե Տ Ա Ձ Ո Տ Ո Ւ Մ Ը Տ Ա Տ Ա Ն Ո Ղ Ա Կ Ա Ն Պ Դ Ո Ց Ե Ս Ի Ժ Ա Մ Ա Ն Ա Կ	34
2.1.	Ս ի ն խր ո ն գ ե ն եր ա տ ո թ ի տ ա տ ա ն ո ղ ա կ ա ն պր ո ց ե ս ի մ ա թ ե մ ա տ ի կ ա կ ա ն ձ և ա կ եր պ ու մ ը	34
2.2.	Ս ի ն խր ո ն հ ի դր ո ա գր ե գ ա տ ի տ ա տ ա ն ո ղ ա կ ա ն պր ո ց ե ս ի մ ա թ ե մ ա տ ի կ ա կ ա ն մ ո դ ե լ ը և դր ա լ ու ծ մ ա ն պր դ յ ու ն ք ն եր ը : Դ ե մ ա ֆ եր ա ց մ ա ն և ս ի ն խր ո ն կ ո շ տ ու թ յ ա ն գ ո թ ա կ ի ց ն եր	39
2.3.	Ե գր ա կ ա ց ու թ յ ու ն	46
Գ Լ ու խ	Դ Ե Մ Պ Ֆ Ե Ր Ա Յ Ի Ն Փ Ա Թ Ո Ւ Յ Թ Ն Ե Ր Ի Կ Ի Ր Ա Ռ Մ Ա Մ Բ Ս Ի Ն Խ Ր Ո Ն	
3.	Գ Ե Ն Ե Ր Ա Տ Ո Ր Ի Տ Ա Տ Ա Ն Ո Ղ Ա Կ Ա Ն Պ Դ Ո Ց Ե Ս Ի Մ Ա Ր Մ Ա Ն Հ Ե Տ Ա Ձ Ո Տ Ո Ւ Մ Ը	48
3.1.	Ս ի ն խր ո ն գ ե ն եր ա տ ո թ ի ա շ խ ա տ ա ն ք ա յ ի ն ռ ե ժ ի մ ն եր ի բ ար ե լ ա վ մ ա ն գ ո թ ը ն թ ա ց ու մ դ ե մ ա ֆ եր ա յ ի ն փ ա թ ու յ թ ն եր ի ն շ ա ն ա կ ու թ յ ա ն ու ս ու մ ն ա ս իր ու թ յ ու ն ը	48
3.2.	Դ ե մ ա ֆ եր ա յ ի ն փ ա թ ու յ թ ն եր ի տ ե ս ա կ ն եր ը : Տ ա տ ա ն ու մ ն եր ի մ ար ու մ ը	50
3.3.	Է լ ե կ տր ա կ ա ն հ ա մ ա կ ա ր գ եր ի կ ա յ ու թ յ ա ն վր ա դ ե մ ա ֆ եր ա յ ի ն փ ա թ ու յ թ ն եր ի ա գ դ ե ց ու թ յ ա ն հ ե տ ա գ ո տ ու մ ը	55
3.4.	Ե գր ա կ ա ց ու թ յ ու ն	59
Գ Լ ու խ	Փ Ո Զ Ի Դ Դ Ո Ե Լ Ե Կ Տ Դ Ա Կ Ա Յ Ա Ն Ն Ե Ր Ի Կ Ո Մ Պ Ա Կ Տ	
4	Հ Ի Դ Դ Ո Ա Գ Դ Ե Գ Ա Տ Ի Ն Ա Խ Ա Գ Ծ Ո Ւ Մ	60
4.1.	Բ ա ր ձ ը տ ե խ ն ի կ ա տ ն տ ե ս ա կ ա ն ց ու ց ա ն ի շ ո վ կ ո մ ա կ տ հ ի դր ո ա գր ե գ ա տ ի կ առ ու ց վ ա ծ ք ա յ ի ն լ ու ծ ու մ	60
4.2.	Ար տա ք ի ն դ ե մ ա ֆ եր ա յ ի ն հ ա մ ա կ ա ր գ ի ս տ ե դ ծ մ ա ն հ ն ա ր ա վ ո թ ու թ յ ու ն	67
4.3.	Ս ի ն խր ո ն գ ե ն եր ա տ ո թ ի ար տա ք ի ն դ ե մ ա ֆ եր ա յ ի ն հ ա մ ա կ ա ր գ	69
4.4.	Դ ե մ ա ֆ եր ա յ ի ն հ ա մ ա կ ա ր գ ի ա գ դ ե ց ու թ յ ու ն ը կ ո մ ա կ տ հ ի դր ո ա գր ե գ ա տ ի ա շ խ ա տ ա ն ք ի ռ ե ժ ի մ ն եր ի վր ա	71
4.5.	Փ Յ Է Կ հ ի դր ո ա գր ե գ ա տ ի բ ա ր ե լ ա վ վ ա ծ հ ա տ կ ու թ յ ու ն ն եր ո վ դ ե մ ա ֆ եր ա յ ի ն հ ա մ ա կ ա ր գ ի ն ա խ ա գ ծ ու մ	77
4.6.	Ս ի ն խր ո ն հ ի դր ո ա գր ե գ ա տ ի թ ո ղ ա ր կ ու մ ն ար տա ք ի ն դ ե մ ա ֆ եր ա յ ի ն հ ա մ ա կ ա ր գ ի օ գ ն ու թ յ ա մ բ	85
4.7.	Ե գր ա կ ա ց ու թ յ ու ն	87
Գ Լ ու խ	Ա Ր Տ Ա Զ Ի Ն Դ Ե Մ Պ Ֆ Ե Ր Ա Յ Ի Ն Հ Ա Մ Ա Կ Ա Ր Գ Ի	
5.	Ա Կ Տ Ո Մ Ա Տ Ա Ց Կ Ա Ճ Ն Ա Խ Ա Գ Ծ Մ Ա Ն Ծ Ր Ա Գ Ր Ա Յ Ի Ն Ա Պ Ա Յ Ո Վ Մ Ա Ն Մ Շ Ա Կ Ո Ւ Մ	89
5.1.	Ծր ա գր ա յ ի ն ա պ ա ի ո վ մ ա ն մ շ ա կ մ ա ն հ ա մ ա ր ը ն տր վ ա ծ	89

5.2.	Ծրագրային ապահովման մշակման ընթացքում կիրառված լուծումները	91
5.3.	Մշակված ծրագրային ապահովման մեջ կիրառված տվյալների բազա	95
5.4.	Ծրագրային ապահովման համար մշակված ունիվերսալ պատուհաններ	98
5.5.	Մշակված ծրագրային ապահովման նկարագրությունը	101
5.6.	Եզրակացություն	109
	ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ	110
	ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ	112
	Հավելված 1	118
	Հավելված 2	129
	Հավելված 3	134

ՆԵՐԱՃՈՒԹՅՈՒՆ

Թեմայի արդիականությունը:

Փոքր հիդրոէներգետիկայում կիրառվող սինխրոն հիդրոագրեգատները, որպես կանոն, ունենում են ավելի փոքր զանգվածագաբարիտային պարամետրեր: Հիդրոէներգետիկ համակարգում տարբեր անցումային պրոցեսների ժամանակ (ոչ սիմետրիկ ռեժիմներ, վթարային ռեժիմներ) տեղի է ունենում կայունություն փոփոխություն, ինչն արտահայտվում է սինխրոն

արագության նկատմամբ հիդրոագրեգատի պտտվող հանգույցների տատանումներով և որոշ հանգույցներում կորուստների մեծացմամբ: Առաջացող տատանումները դառնում են արտադրվող էլեկտրաէներգիայի որակի իջեցման պատճառ: Կայունության բարձրացման և տատանումների փոքրացման համար, ինչպես հայտնի է, սինխրոն գեներատորներում օգտագործվում են դեմպֆերային փաթույթներ: Տատանումները կախված են պտտվող զանգվածներից (իներցիայի մոմենտների) և առաջացող մոմենտներից, որոնք ձգտում են պահել համակարգը սինխրոն ռեժիմում:

Ներկայումս, աշխարհում արագ զարգացող փոքր հիդրոէլեկտրակայաններին ներկայացվում են շինմոնտաժային, տեխնիկական և տնտեսական, ինչպես նաև էկոլոգիական բնույթի պահանջներ: Փոքր հիդրոէլեկտրակայանի հիդրոագրեգատի երկրաչափական չափերի ճիշտ ընտրությունն ապահովում է ցածր զանգվածագաբարիտային պարամետրեր, հիդրոագրեգատի և ամբողջ համակարգի արժեք, շինմոնտաժային ծախսեր: Այդպիսի նվազագույնը զանգվածագաբարիտային պարամետրերով հիդրոագրեգատը կարելի է կոչել «կոմպակտ»: Կոմպակտ հիդրոագրեգատի բաղկացուցիչ հանգույցներն ապահովում են նաև համակարգի հարաբերական բարձր կայունությունը և, ըստ անհրաժեշտության, հնարավորություն են տալիս լուծել օպտիմիզացիայի խնդիրներ:

- Փոքր հիդրոէլեկտրակայանի հիդրոագրեգատի «կոմպակտությունը» հնարավորություն է տալիս ապահովել այնպիսի կառուցվածք և վերջինիս զանգվածագաբարիտային այնպիսի պարամետրեր, որոնք նաև հնարավորություն են տալիս ապահովել արտադրվող էլեկտրաէներգիայի որակը:

- Չնայած փոքր հիդրոէլեկտրակայանի այնպիսի առանձնահատկություններին ինչպիսիք են հիդրոագրեգատի զանգվածագաբարիտային պարամետրերը, տուրբինի և գեներատորի արագությունների օպտիմալ համաձայնեցումը, գեներատորի տատանումների առաջացումը, կայուն աշխատանքի ապահովումը, այնուամենայնիվ դրանց վրա հիմնականում տարածվում են հզոր հիդրոէլեկտրակայաններին բնորոշ մոտեցումներն ու

լուծումները, ինչը հանգեցնում է էներգետիկ, տնտեսական, շինմոնտաժային, ինչպես նաև էկոլոգիական գործոնների հետ կապված ոչ բավարարարող ունեւերի:

- Բարձր պտտման արագութեամբ գեներատորի օգտագործմամբ կոմպակտ հիդրոագրեգատի կիրառութեւնն ապահովում է փոքր հիդրոէլեկտրակայանների համեմատաբար բարձր արդյունավետութեւնը:

- Փոքր հզորութեան գոյութեւն ունեցող հիդրոագրեգատներն ունեն կառուցվածքային և էլեկտրաէներգետիկական բնույթի նշանակալի թերութեւններ, ինչն արտահայտվում է հիդրոագրեգատում տատանողական պրոցեսով, և հետևաբար, բերում է լրացուցիչ կորուստների մեծացմանը և համակարգի կայուն աշխատանքի նվազմանը:

Նշված հարցերը փոքր հիդրոէլեկտրակայանների տեղակայանքներում ուսումնասիրված և ներկայացված են այլ տեսանկյուններից, այդ պատճառով էլ փոքր հիդրոէլեկտրակայանների գեներատորների աշխատանքային ռեժիմների բարելավումը դեմաֆէրային համակարգի աշխատանքի արդյունավետութեան բարձրացման միջոցով արդիական խնդիր է:

Տվյալ աշխատանքում ուսումնասիրութեւնների տիրույթն ընդգրկում են փոքր հիդրոէլեկտրակայանների 1-ից 10 ՄՎտ ցածր հզորութեւնների հիդրոագրեգատները՝ նախատեսված ինչպես սերիական, այնպես էլ անհատական արտադրութեան համար:

Աշխատանքի նպատակը:

- Հիդրոագրեգատի համակարգի նվազագույն զանգվածագաբարիտային պարամետրերը և արժեքը, բարձր կայունութեւնն ու արդյունավետութեւնն ապահովող կոմպակտ հիդրոագրեգատի նախագծում:

- Սինխրոն հիդրոագրեգատի դեմաֆէրային համակարգի հետազոտում և նախագծում:

- Փոքր հիդրոէլեկտրակայանի սինխրոն գեներատորի աշխատանքային ռեժիմների բարելավում:

- Դեմպֆերային համակարգի կիրառմամբ բարելավված թողարկման գործընթացի և հանկարծակի վթարային ռեժիմների դեպքում արագույն անսահմանափակման ապահովում:

Աշխատանքում առաջադրված նպատակն իրագործելու համար լուծվել են հետևյալ խնդիրները.

- փոքր հզորության հիդրոագրեգատներում փոքր բևեռների թվով և զանգվածագաբարիտային պարամետրերով սինխրոն գեներատորի կիրառման նպատակահարմարության և էֆեկտիվության հիմնավորում,

- փոքր հիդրոէլեկտրակայանի կոմպակտ հիդրոագրեգատի կառուցվածքի և նախագծման սկզբունքի մշակում,

- փոքր հզորության հիդրոագրեգատի տատանողական պրոցեսի մաթեմատիկական մոդելի մշակում և հետազոտում,

- փոքր հզորության հիդրոագրեգատի արտաքին դեմպֆերային համակարգի մշակում և հետազոտում,

- արտաքին դեմպֆերային համակարգի հաշվարկային մեթոդիկայի և ծրագրային ապահովման մշակում,

- արտաքին դեմպֆերային համակարգի կիրառությունը փոքր հզորության հիդրոագրեգատի թողարկման և վթարային արգելակման համար:

Գիտական նորոգւթոն:

1. Մշակված է փոքր հիդրոէլեկտրակայանի կոմպակտ հիդրոագրեգատի կառուցվածքային լուծում, որն ապահովում է համեմատաբար բարձր տեխնիկատնտեսական պարամետրեր:

2. Մշակված է փոքր հզորության հիդրոագրեգատի արտաքին դեմպֆերային համակարգ, որը նպաստում է տատանումների նվազմանը, աշխատանքի կայունության մեծացմանը և սինխրոն գեներատորի աշխատանքի ռեժիմի բարելավմանը:

3. Մշակված է արտաքին դեմպֆերային համակարգի հաշվարկային մեթոդիկա:

4. Առաջարկված է արտաքին դեմպֆերային համակարգի էլեկտրական և մագնիսական պարամետրերի բարելավման մոտեցում, որը հնարավորություն է կտա ապահովել ամբողջ հիդրոագրեգատի անհրաժեշտ պարամետրերը՝ համաձայն տեխնիկական առաջադրանքին:

Պարտականության ներկայացվող հիմնական դրույթները:

1. Բարձր տեխնիկատնտեսական ցուցանիշներով փոքր հզորության հիդրոագրեգատի նախագծման մոտեցում:

2. Փոքր հզորության հիդրոագրեգատներում արտաքին դեմպֆերային համակարգի մշակում:

3. Արտաքին դեմպֆերային համակարգի՝ միավոր կոմպլեքս դիմադրության հասկացության վրա հիմնված, հաշվարկային մեթոդիկայի ստեղծում:

Աշխատանքի կիրառական նշանակությունը:

1. Փոքր հիդրոէլեկտրակայանների համար մշակված կոմպակտ հիդրոագրեգատը հնարավորություն է տալիս նվազեցնել զանգվածագաբարիտային պարամետրերը՝ ապահովելով բարձր տեխնիկատնտեսական ցուցանիշներ և համալիրի համեմատաբար բարձր օգտակար գործողության գործակից:

2. Փոքր հիդրոէլեկտրակայանի հիդրոագրեգատի նախագծված արտաքին դեմպֆերային համակարգը հնարավորություն է տալիս նվազեցնել սինխրոն գեներատորի, ինչպես նաև ամբողջ հիդրոագրեգատի տատանումները, բարձրացնել համակարգի աշխատանքի կայունությունը, բացի այդ, ապահովել հիդրոագրեգատի թողարկումն ու վթարային կանգառը:

3. Ստեղծված հաշվարկային մեթոդիկան և ծրագրային ապահովումը հնարավորություն են տալիս նախագծել արտաքին դեմպֆերային համակարգը տրված հիդրոագրեգատի համար, ստանալ համակարգի պարամետրերն ու բնութագրերը և նախագծել հիդրոագրեգատը՝ տատանումների նվազագույն ամպլիտուդով:

4. Արտաքին դեմպֆերային համակարգի հաշվարկված մեխանիկական բնութագրերը համեմատված են փորձնական տվյալների հետ, որոնք ստացվել են A51-4 ասինխրոն շարժիչի հիմքով ստեղծված փորձնական նմուշի վրա, որտեղ նորմալ կատարման կարճ միացված ռոտորը փոխարինված էր զանգվածային Ֆեռոմագնիսական ռոտորով:

Հրապարակումները: Ատենախոսության թեմայով հրապարակված են յոթ գիտական աշխատություններ, այդ թվում ստացված է գյուտի մեկ արտոնագիր:

Աշխատանքի**արդյունքների****վործահավանություն:**

Ատենախոսական աշխատանքի հիմնական դրույթները գեկուցվել և քննարկվել են «Էլեկտրական մեքենաներ և ապարատներ» ամբիոնի գիտական սեմինարներում (2014-2018 թթ.), ՀԱՊՀ տարեկան գիտաժողովներում (2014-2018 թթ.), Գերմանիայի կրթության և գիտական հետազոտությունների ֆեդերալ նախարարության կողմից ֆինանսավորվող «SYNERGIA – համակարգված և կայուն էներգաարդյունավետությունը Հայաստանում» ծրագրի սեմինարներում (2015-2016 թթ.), Վիլնյուսի Գեդեմինաս տեխնիկական համալսարանի կրտսեր գիտաշխատողների 21-րդ լիտվական կոնֆերանսի «Գիտությունը՝ Լիտվայի ապագան», Էլեկտրոնիկա և Էլեկտրատեխնիկա սեմինարում (2018 թ.):

Ատենախոսության կառուցվածքը և ծավալը: Ատենախոսությունը կազմված է ներածությունից, հինգ գլուխներից, եզրակացություններից և 3 հավելվածից: Աշխատանքը շարադրված է 117 էջի վրա, պարունակում է 32 նկար, 2 աղյուսակ և 101 անուն ընդգրկող գրականության ցանկ:

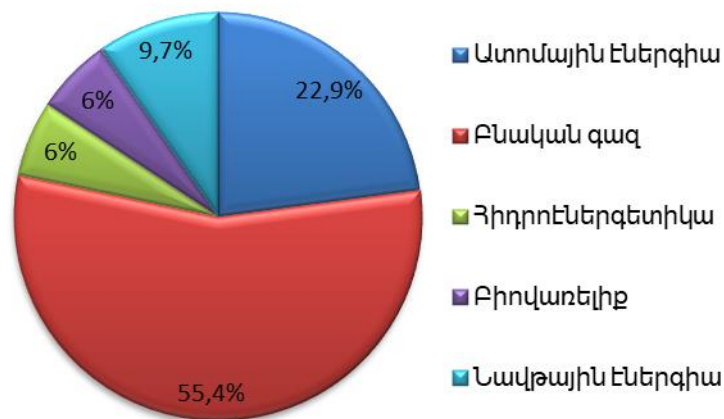
**1. ՓՈՔՐ ՀԻՂՐՈՒՆԵՐԳԵՏԻԿԱՅԻ ՉԱՐԳԱՅՈՒՄԸ ԵՎ ԲԱՐԵԼ ԱՎԿԱՃ
ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐՈՎ ՀԻՂՐՈԱԳՐԵԳԱՏԻ ՍՏԵՂՃՄԱՆ
ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

1.1. Փոքր հիդրոէներգետիկա

Վերջին ժամանակներում, ինչպես Հայաստանում այնպես էլ ամբողջ աշխարհում, արդիական է դառնում էներգիայի «ավանդական»

աղբյուրների՝ ինչպիսիք են նավթ, քարածուխ, բնական գազ, պաշարների սպառման հարցը: Ըստ Միջազգային էներգետիկական կազմակերպության տեսության, համաշխարհային էներգետիկայում ժամանակակից տեղեկացների պահպանման դեպքում, մինչև 2020 թ. ընկած ժամանակահատվածում, առաջնային էներգառեսուրսների գլոբալ սպառումը կարող է աճել 65%-ով: Վառելիքի հանածո տեսակների սպառման աճի ժամանակակից տեմպերով նավթի պաշարները կբավարարեն առավելագույնս 75 տարի, բնական գազինը՝ ոչ ավել քան 100 տարի, ածուխինը՝ 200 տարի [1, 2]:

Համաձայն 2015 թ.-ի հետազոտությունների՝ Հայաստանում արտադրված էլեկտրաէներգիայի զգալի քանակը բաժին է ընկնում բնական գազին: Առաջնային էներգիայի ընդհանուր ծավալից էներգիայի յուրաքանչյուր աղբյուրին բաժին ընկնող քանակը բերված է նկ. 1.1 դիագրամում [1, 2]:



Նկ. 1.1. Էներգիայի ընդհանուր ծավալի բաժնեմասերն ըստ առանձին աղբյուրների

Վերջին տասնամյակներում ամբողջ աշխարհում նաև արդիական է դառնում էկոլոգիական վիճակի վատթարացումը: Էներգիայի հանածո աղբյուրներից էլեկտրաէներգիայի արտադրման ներկայիս տեխնոլոգիաները հանդիսանում են էկոլոգիապես առավել վտանգավոր:

Ամբողջ աշխարհում աճում է հետաքրքրությունն էներգիայի այլ ընտրանքային աղբյուրների նկատմամբ, որոնք

հնարավորությունն են տալիս օգտագործել վերականգնվող և էկոլոգիապես մաքուր աղբյուրներ:

Էներգիայի չվերականգնվող աղբյուրներ հանդիսանում են նյութերի բնական պաշարները, որոնք կարող են օգտագործվել մարդու կողմից էլեկտրաէներգիայի արտադրման համար: Էներգիայի վերականգնվող աղբյուրները մշտապես գոյություն ունեցող կամ շրջակա միջավայրում պարբերաբար ի հայտ եկող էներգիայի հոսքերի վրա հիմնված աղբյուրներն են: Վերականգնվող էներգիան չի հանդիսանում մարդու նպատակաուղղված գործունեության արդյունք, որն էլ հանդիսանում է դրա առանձնահատկությունը [3-5]:

Էներգիայի չվերականգնվող աղբյուրները, ի տարբերություն և վերականգնվողների, բնության մեջ գտնվում են կապված վիճակում և կարող են ազատ արձակվել միայն մարդու նպատակաուղղված գործունեության արդյունքում: Էներգիայի չվերականգնվող աղբյուրների ռեսուրսները սահմանափակ են և հետզհետե սպառվում են:

Էներգիայի վերականգնվող աղբյուրները՝ քամու, երկրի ընդերքի, արևի էներգիաները, մակընթացության և հետհոսքի էներգիան, հիդրոէներգետիկան, չնայած որ անսահման չեն, այնուամենայնիվ ժամանակի ընթացքում չեն սպառվում: Էներգիայի վերականգնվող աղբյուրները հեռանկարային են նաև բնապահպանության տեսանկյունից [3-5]:

Էներգիայի վերականգնվող աղբյուրների մեջ անհրաժեշտ է ընդգծել հիդրոէներգետիկան: Էներգիայի աղբյուրի այս տեսակը առավելագույնս հավասարաչափ է բաշխված երկրի մակերևույթով, ինչն էլ կարևոր է մեծ տարածաշրջաններն էներգիայով ապահովման համար, քանի որ բերում է էլեկտրաէներգիայի փոխանցման և բաշխման ծախսերի նվազեցմանը: Էներգիայի այլ աղբյուրները, որպես կանոն, կապված են կոնկրետ տեղանքի հետ: Ծովի ալիքի և մակընթացության էներգիան կարող է օգտագործվել միայն ծովափնյա տարածքներում: Երկրի ընդերքի (գեոթերմալ) էներգետիկան կարող է զարգանալ հրաբխային ակտիվության տարածքներում: Արևային էներգետիկան նույնիսկ պահանջում է

այնպիսի տեղանքներ, որտեղ տարվա արևային օրերն ավելի շատ են, ինչը հիմնականում վերաբերում է անապատային չոր տեղանքներին:

Էներգիայի վերականգնվող տեսակները օգտագործվում են որպես էլեկտրաէներգիայի ստացման աղբյուրներ բավական երկար տարիներ: Հիդրոէներգետիկան ունի առավել քան 100 տարվա պատմություն: Էլեկտրակայանների կառուցման մեծ փորձ գոյություն ունի հիմնականում մեծ հիդրոէներգետիկայի համար: Դրա հետ մեկտեղ փոքր հիդրոէներգետիկայի ոլորտը յուրացված է ոչ լիարժեք, որի պատճառ հանդիսանում է փոքր էներգիայով օժտված ջրային հոսքերի հիման վրա էլեկտրաէներգիա արտադրելու համար նախատեսված սարքավորումների բացակայությունը կամ բարձր արժեքը:

Հիդրոէներգետիկայի զարգացումը սկսվել է ոչ մեծ հիդրոէլեկտրակայանների (ՀԵԿ) կառուցումից, որոնք ներկայումս կդասվեին փոքրի դասին: Հետագայում, ագրեգատների միավոր հզորության աճին զուգընթաց, նախագծողների ջանքերը կենտրոնացան մեծ ՀԵԿ-երի ստեղծման վրա, որոնք հնարավորություն են տալիս լուծել ամբողջական տարածաշրջանների և նույնիսկ երկրների էլեկտրաֆիկացման հարցը: Ստեղծվեցին բացառիկ տեխնոլոգիաներ հիդրոկառույցների, հիդրոտուրբինների և հիդրոգեներատորների նախագծման և կառուցման համար: Միաժամանակ կառուցվում էին միջին և փոքր հզորության հիդրոկայաններ՝ հիմնականում կիրառելով հզոր ՀԵԿ-երի կառուցման տեխնոլոգիաներ:

Ներկա ժամանակներում «մեծ» հիդրոէներգետիկայի կիրառությունը մոտենում է իր հնարավոր սահմանին: Աշխարհի շատ տարածաշրջաններում դժվար է գտնել հզոր ՀԵԿ-երի կառուցման հարմար վայր: Միաժամանակ փոքր հզորության ՀԵԿ-երի կառուցման պոտենցիալը սպառված չէ [3-6]:

Համաշխարհային հիդրոռեսուրսները գնահատվում են մոտավորապես 33000 *Schmđ* տարում [2], որից յուրացման համար հասանելի է 4...25 % (փոքր թիվը վերաբերում է փոքր էներգետիկային):

Մեծ և փոքր հիդրոէներգետիկաների միջև պայ մանական սահմանը որոշվում է ՀԷԿ-ի հզորությամբ: Տարբեր երկրների և կազմակերպությունների դասակարգումների համաձայն, 5-30 ՄՎտ հզորությամբ ՀԷԿ-երը համարվում են փոքր: Մեծ և փոքր հիդրոէներգետիկաների միջև սահմանի մեծ տարբերությունը (բարձր մակարդակը) հատկանշական է զարգացած էներգետիկա ունեցող երկրներին, ցածրը՝ զարգացող երկրներին: Օրինակ ԱՄՆ-ում ընդհուպ մինչև 30 ՄՎտ հզորությամբ ՀԷԿ-երը համարվում են փոքր, լատինամերիկյան երկրներում փոքրերի շարքին դասվում են մինչև 10 ՄՎտ հզորության ՀԷԿ-երը: Աղյուսակ 1.1-ում բերված է փոքր ՀԷԿ-երի դասակարգումն ըստ հզորության, ջրի հոսքի և հիդրոտուրբինի աշխատանքային անիվի տրամագծի [6-10]:

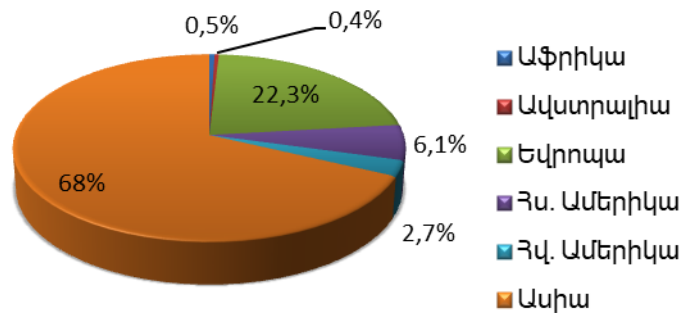
Աղյուսակ 1.1

Փոքր ՀԷԿ-երի դասակարգումն ըստ հզորության

ՀԷԿ-ի տեսակը	Հզորություն	Ջրի հոսք	Աշխատանքային անիվի տրամագիծ
Միկրո	<100 կՎտ	<0.4 մ ³ /վ	<0.3 մ
Մինի	100 ... 1000 կՎտ	0.4 ... 12.8 մ ³ /վ	0.3 ... 0.8 մ
Փոքր	1 ... 10 ՄՎտ	>12.8 մ ³ /վ	>0.8 մ

Փոքր հիդրոէլեկտրակայանները (ՓՀԷԿ) բաժանվում են կատեգորիաների (կարգերի): Փոքր ՀԷԿ-երը գտնվում են 1...10 ՄՎտ հզորության տիրույթներում, մինի ՀԷԿ-երն ունեն 100 կՎտ-ից մինչև 1 ՄՎտ հզորություն, 100 կՎտ-ից ցածր հզորություն ունեն մկրո ՀԷԿ-երը: ՓՀԷԿ տերմինը համարվում է ընդհանրացված [8]:

Եվրոպական փոքր հիդրոէներգետիկայի ասոցացիայի (ESHA) [2] տվյալների, 2010 թ. դրությամբ, աշխարհում գումարային հաստատված հզորությունը կազմում է 37 ԳՎտ, այդ թվում Եվրոմիությունում՝ 14 ԳՎտ: Եվրոմիության տարածքում կա 16800 ՓՀԷԿ, այդ թվում՝ Իտալիայում 21%, Ֆրանսիայում 17,5%, Իսպանիայում 15,5%, Գերմանիայում 14%, Ավստրիայում 9,4%: Նկ. 1.2-ում ներկայացված է ՓՀԷԿ հաստատված հզորությունն ըստ աշխարհի տարբեր տարածաշրջանների:



Նկ. 1.2. Աշխարհի տարածաշրջաններով ՓՅԵԿ հաստատված հզորությունների բաշխման գրաֆիկ

ՓՅԵԿ-ները դասակարգում են ըստ տարբեր պարամետրերի՝ ըստ ջրի ճնշման, ջրի ճնշման ստեղծման եղանակի, ըստ հիմնական կառուցվածքային հանգույցների սխեմաների, հիդրոտուրբինի աշխատանքային անիվի տրամագծի և այլն [3]: Ըստ ճնշման ՓՅԵԿ-ները բաժանվում են ցածր, միջին և բարձր ճնշման: Աղյուսակ 1.2-ում բերված է ՓՅԵԿ դասակարգումն ըստ ճնշումների [8]:

Աղյուսակ 1.2

ՓՅԵԿ դասակարգումն ըստ ճնշումների

ՓՅԵԿ տեսակը	ճնշում (մ)		
	ցածր	միջին	բարձր
Միկրո ՅԵԿ	15 և ցածր	15 ... 50	50 և բարձր
Միկրո ՅԵԿ	20 և ցածր	20 ... 100	100 և բարձր
Փոքր ՅԵԿ	25 և ցածր	25 ... 130	130 և բարձր

Հիդրոէներգետիկայում (ինչպես փոքր այնպես էլ մեծ) ջրի ճնշումը (ճնշման բարձրությունը) որոշում է ՅԵԿ-ի հիմնական կառուցվածքային առանձնահատկությունները, տուրբինի և գեներատորի ընտրությունը: Ինչպես երևում է աղյուսակ 1.2-ից, ցածր, միջին և բարձր ճնշման ՓՅԵԿ-ների միջև սահմանը հստակ չէ: Բարձր ճնշման ՓՅԵԿ-ներին բնորոշ է կայանի՝ բարձր լեռնային տարածքներում կիրառվող դերիվացիոն սխեման: Ցածր ճնշման ՓՅԵԿ-ները կառուցվում են հարթավայրային գետերի վրա: Միջին

հզորության ՓՅԷԿ-ները գրավում են միջանկյալ դիրք և կարող են կիրառվել ինչպես բարձր լեռնային, այնպես էլ հարթավայրային տարածքներում, հիմնականում ոչ էներգետիկական հիդրոկառույցների տեղակայման վայրերում, ինչը հնարավորություն է տալիս օգտագործել առկա անկումը: Այս ամենի հետ մեկտեղ հստակ վայրին ավելի քիչ կապված են միայն ցածր ճնշման ՓՅԷԿ-ները [11-16]:

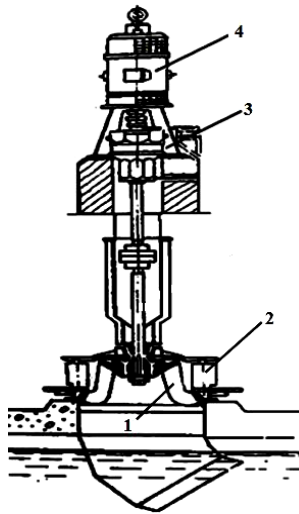
1.2. Փոքր հիդրոէլեկտրակայաններում կիրառվող ավանդական հիդրոագրեգատների կառուցվածքային և ուժումների և աշխատանքային սկզբունքների վերլուծություն

ՓՅԷԿ-ի հիդրոագրեգատի տեսակը որոշվում է ըստ անհրաժեշտ հզորության և ճնշման բարձրության: Ճնշման բարձրությունը որոշում է կիրառվող տուրբինի և ընդհանուր հիդրոագրեգատի տեսակը [15,16]:

Բարձր և միջին ճնշման ՓՅԷԿ-ներում օգտագործվում են ուղղահայաց լիսեռով հիդրոագրեգատներ: Հիդրոագրեգատի այս տեսակը տարբերվում է մեծ էներգետիկայի ուղղահայաց հիդրոագրեգատներից միայն իր չափերով: Հզոր հիդրոագրեգատներում օգտագործվում են տուրբինի օղակաձև կամ պարուրաձև խցիկներով և ուղղահայաց կամ թեք արտածող խողովակով տուրբիններ: Մինչև 15 Վ ճնշումների դեպքում օգտագործվում են բաց, անճնշում տուրբինի խցիկներ: Նկ. 1.3-ում ներկայացված է բաց տուրբինային խցիկով ուղղահայաց հիդրոագրեգատ [8]:

Ուղղահայաց հիդրոագրեգատների առավելությունը հանդիսանում է տուրբինի, լիսեռի և գեներատորի զանգվածներից ռադիալ բեռների բացակայությունը, ինչն էլ նախագծման ժամանակ բերում է հիդրոագրեգատի զանգվածի և գաբարիտային չափերի նվազմանը: Թերություններն են՝ կառուցվածքային բարդությունը և ՓՅԷԿ կայանի բարձր արժեքը, հիդրոհամակարգում շրջադարձերի մեծ քանակը և բարձր հիդրավլիկ դիմադրությունը: Հիդրոագրեգատի այս տեսակը կիրառվում է հիմնականում 10...15 Վ և

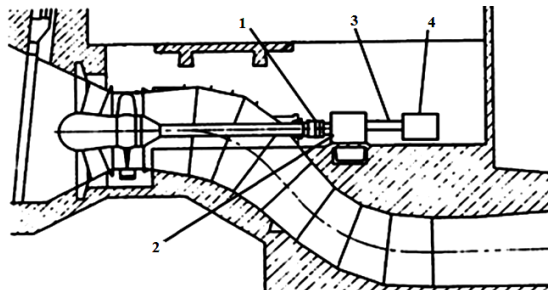
բարձր ճնշումների դեպքում ջրամբարներով մերձջրամբարային ՓՅԵԿ-ներում:



Նկ. 1.3. Ուղղահայաց հիդրոպրատ

1-տուրբինի աշխատանքային անիվ, 2-ուղղորդիչ ապարատ, 3-մուկ տիպի կատոր, 4-գեներատոր

Մինչև 10 Վ ճնշմամբ ցածր ճնշման ՓՅԵԿ-ներում արդյունավետ են հորիզոնական հիդրոպրեզատները: Նկ. 1.4-ում ներկայացված է S-ձև արտածող խողովակով հորիզոնական հիդրոպրեզատ [17]:



Նկ. 1.4, S-ձև արտածող խողովակով հիդրոպրեզատ

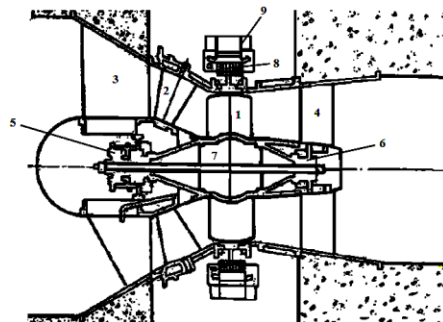
1-ցածր արագության լիսեռ, 2-մուկ տիպի կատոր, 3-բարձր արագության ռոտոր, 4-գեներատոր

S-ձև հորիզոնական պրեզատների հիմնական առանձնահատկությունը հանդիսանում է տուրբինային խցիկի բացակայությունը և հոսանուտային տրակտով (ճանապարհով) ջրի գրեթե ուղիղ շարժումը, ինչը հնարավորություն է տալիս պարզեցնել ՓՅԵԿ շենքի կոնստրուկցիան, նվազեցնել պրեզատների

միջև հեռավորությունը և կտրուկ կրճատել շինարարական աշխատանքների ծավալը: Նվազագույն շրջադարձերը և ջրի ուղիղ շարժը ապահովում են հիդրավլիկ կորուստների նվազումը և թողանցման հնարավորության ավելացումը: Բացի այդ մեծանում է տուրբինի օգտակար գործողության գործակիցը (ՕԳԳ), մասնավորապես ջրի մեծ ծախսերի դեպքում: Արդյունքում հորիզոնական հիդրոագրեգատները զարգացնում են 10...15% ավել հզորություն քան նույն չափի ուղղահայաց ագրեգատները [8, 17]:

S-ձև արտածող խողովակը հնարավորություն է տալիս տուրբինի հորիզոնական լիսեռը տեղավորել շինության ներսում, որում տեղակայված է գեներատորը: Հնարավոր են տուրբինի և գեներատորի լիսեռների միակցման ինչպես ուղիղ, այնպես էլ ատամնավոր մուլտիպլիկատորների կիրառմամբ լուծումներ:

Հիդրավլիկ կորուստների էլ ավելի քիչ մակարդակ ունի ուղիղ արտածող խողովակով ուղղահոս հիդրոագրեգատը, որը պատկերված է նկ. 1.5-ում [17, 18]:



Նկ. 1.5, Ուղղահոս հիդրոագրեգատ

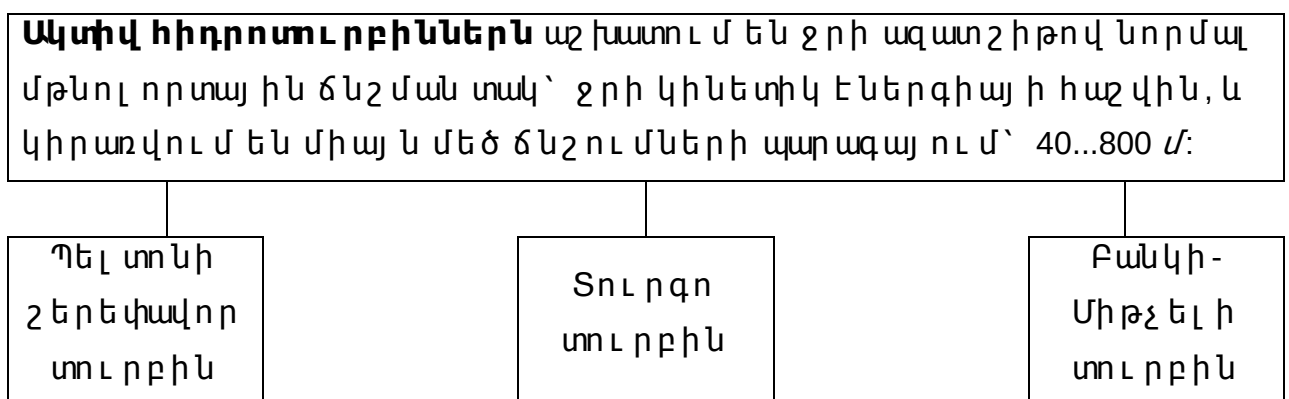
1-տուրբինի աշխատանքային անիվ, 2-ուղղորդիչ ապարատ, 3,4-հենարաններ, 5,6-առանցքակալներ, 7-լիսեռ, 8-գեներատորի ռոտոր, 9-գեներատորի ստատոր

Հիդրոագրեգատի տուրբինը տեղակայված է գեներատորի ռոտորի ներսի հատվածում, որը հենվում է տուրբինի թիերի ծայրերին: Հիդրոագրեգատի հարմարակազմվածքը առավելագույնս կոմպակտ է: Ուղղահոս տրակտի հիդրավլիկ դիմադրությունը նվազագույն է, այդ պատճառով հիդրոագրեգատն ունի շատ բարձր թողանցման

հնարավորություն: Ուղղահոս ագրեգատներով ՓՅԷԿ-ների կառուցումը չի պահանջում մեծ կապիտալ ծախսեր, քանի որ ՓՅԷԿ-ի շենքի կոնստրուկցիան առավելագույնս պարզ է: Հիդրոագրեգատի թերությունն հանդիսանում է գեներատորը ջրից պաշտպանելու անհրաժեշտությունը, մասնավորապես ավանդական, գրգռման փաթույթով գրգռվող սինխրոն գեներատորի կիրառման պարագայում: Այս դեպքում անհրաժեշտ է ջրից պաշտպանել գեներատորի ռոտորը: Մյուս թերությունն է գեներատորի և տուրբինի արագությունների համապատասխանեցման համար մուլտիպլիկատորի կիրառման բարդությունը:

Հիդրոտուրբինների տեսակները: ՓՅԷԿ-ներում կիրառվում են հիդրոտուրբինների բոլոր հնարավոր տեսակները: Բարձր ճնշման ՓՅԷԿ-ներում օգտագործվում են Պելտոնի (շերեփավոր) և թեք-շիթային տուրբիններ: Միջին ճնշման ՓՅԷԿ-ներում կիրառվում են շերեփավոր, շառավղաառանցքային (Ֆրենսիսի) և անկյունագծային տուրբիններ: Ցածր ճնշման ՓՅԷԿ-ներում՝ բոլոր տեսակի տուրբինները բացի շերեփավորներից, այդ թվում. անկյունագծային, շրջադաձաթիավոր (Կապլանի), պրոպելլերային, երկակի (Բանկի-Միթչելի) [10, 14]:

Ընդհանրապես, հիդրոտուրբինները բաժանվում են 2 տիպի՝ ակտիվ և ռեակտիվ:



Նկ. 1.6. Ակտիվ հիդրոտուրբինների տեսակները

1. Շերեփավոր հիդրոտուրբինը հանդիսանում է ակտիվ և օգտագործվում է բարձր ճնշումների առկայության դեպքում:

Դրանում առկա է հատուկ թիվը կտրվածքով 1-6 ծայրափողակ, որոնք ստեղծում են ջրի շիթեր, որոնք էլ հարվածում են աշխատանքային անիվի թիակներին: Աշխատանքային անիվը գտնվում է ոչ թե ջրի տակ, ինչպես առանցքային և շառավղաառանցքային տուրբիններում, այլ աշխատում է օդում: Բարձր արագության ազատ ջրային շիթը հարվածում է աշխատանքային անիվի թիակին, որն ունի կրկնակի շերտերի տեսք: Սա հիդրոտուրբինների առավելապես տարածված տեսակն է, որն օգտագործում է ջրի հոսքի կինետիկ էներգիան և կիրառվում է 200...1500 Վ ալելի դեպքում ճնշումների դեպքում [18, 19]:

2. Տուրբո տուրբինում ջրի շիթի կինետիկ էներգիան կերպափոխվում է աշխատանքի ի հաշիվ թիակին հարվածելու: Ջրի շիթը հարվածքով անիվի մի կողմին դուրս է գալիս հակառակ կողմ: Քանի որ Տուրբո տուրբինում օգտագործվում են ֆիքսված թիակներ, ապա հիդրոէլեկտրակայանը ևս պետք է աշխատի ջրի հոսքի ֆիքսված արագությամբ:

Հիդրոտուրբինի առավել կատարելագործված կոնստրուկցիան հնարավորություն է տալիս ՅԷԿ-ին աշխատել ջրի հոսքի ավելի բարձր արագությունների դեպքում քան համանման չափերով ՊԷԼ-ի շերտավոր տուրբինների կիրառման պարագայում: Դրա հետ մեկտեղ թիակների պատրաստումն ավելի էժան է: Փոքր էներգետիկայի համար արտադրողների մեծ մասը պատրաստում է թիակները նեյլոնից, ալյումինայից կամ չժանգոտվող պողպատից [20]:

Տուրբո տուրբինների կիրառմամբ փոքր հիդրոէլեկտրակայաններն ունեն մի շարք առավելություններ [20]. տուրբինի նվազագույն արժեք, բարձր ՕԳԳ, էկոլոգիական անվտանգություն՝ տուրբինը ոչ մի կերպ չի փոփոխում ջրի հատկություններն ու որակը, ջրի փոքր ծախսի հաշվին փոքր հզորության հիդրոէլեկտրակայանի աշխատանքի համար բավական է փոքր առվի առկայություն, բարձր տնտեսական էֆեկտ, արտադրվող էլեկտրաէներգիայի ցածր ինքնարժեք, ցանցին միացման ինչպես նաև որպես էլեկտրաէներգիայի ստացման ինքնավար աղբյուրի կիրառման հնարավորություն:

3. Բանկի-Միտչելի կամ լայնական հոսքով հիդրոտուրբինը դասվում է ակտիվ տուրբինների շարքին, քանի որ դրա աշխատանքի ժամանակ ճնշումը ռոտորի մեջ մնում է հաստատուն: Այսպիսի տուրբինը կարող է աշխատել նաև որպես ռեակտիվ հիդրոտուրբին: Լայնական հոսքով տուրբինի շահագործման ռեակտիվ սխեման կարող է իրականացվել միայն այն դեպքում, երբ ջրի ստորին բիեֆը գտնվում է բավական ցածր ռոտորի ստորին եզրից: Այս տուրբիններն աշխատում են 3...200 մ ճնշումների և 0.03...13 մ³/վ ջրի ծախսերի դեպքում և ունեն 5...3000 կՎտ հզորություն:

Լայնական հոսքով տուրբինի ցածր շահագործման ծախսերը համապատասխանում են դրանց կառուցվածքային համեմատական պարզության հետ: Տվյալ տուրբինի առավելագույն ՕԳԳ-ն կազմում է 80%, ինչը որոշակիորեն ցածր է Կապլանի, Ֆրենսիսի կամ Պելտոնի տուրբինների ՕԳԳ-ից: Սակայն, ի տարբերություն դրանց, լայնական հոսքով տուրբինն ունի հարթ ՕԳԳ կոր փոփոխական բեռի դեպքում: Երկտակ ռոտորի և տուրբինի խցիկի պարագայում լայնական հոսքով տուրբինը պահպանում է իր էֆեկտիվությունը 1/6-ից մինչև առավելագույն փոփոխվող բեռնավորման ժամանակ: Մասնավորապես, ոչ մեծ հունային ՅԷԿ-երում լայնական հոսքով տուրբինի ՕԳԳ հարթ կորը տալիս է էլկտրաէներգիայի միջին տարեկան արտադրման լավագույն ցուցանիշները, համեմատած այլ տուրբինների հետ: Դա առավել կարևոր է փոքր գետերի դեպքում, որոնց վրա էլ հիմնականում օգտագործվում է տուրբինի այս տեսակը, քանի որ մի քանի ամիսների ընթացքում ջրի ծախսը, որպես կանոն, լինում է ցածր: Նման գետերի վրա ընդհանուր էֆեկտիվությունը որոշում է սակավաջուր ժամանակաշրջաններում էլեկտրաէներգիայի արտադրմամբ: Այս պարագայում, եթե օգտագործվի տուրբին, որն ունի բարձր ՕԳԳ առավելագույն և ցածր ՕԳԳ մասնակի բեռնավորման ժամանակ, ապա դրա ընդհանուր միջին տարեկան էլեկտրաէներգիայի արտադրումը կլինի ցածր, քան հարթ ՕԳԳ կոր ունեցող տուրբինի կիրառման պարագայում:

Մասնակի բեռնավորումների պարագայում բարձր էֆեկտիվություն ունենալու շնորհիվ լայնակի հոսքով տուրբինը լավագույնս համապատասխանում է էլեկտրաէներգիայի ավտոմատ

արտադրմանը: Դրա պարզ կառուցվածքը դարձնում է սպասարկումն ավելի հեշտ քան այլ տուրբինների մոտ: Տուրբինի մեխանիկական մասը բավական պարզ է, ինչի շնորհիվ էլ դրա վերանորոգումը կարող է կատարվել տեղանքի մեխանիկների կողմից:

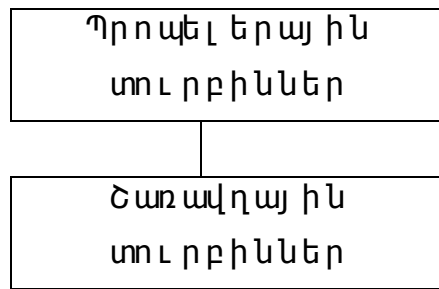
— Լայնական հատույթով տուրբինների ևս մեկ առավելությունն հանդիսանում է այն, որ դրանք հանդիսանում են ինքնամաքվող: Դա կանխարգելում է լայնական հոսքով տուրբինների էֆեկտիվության նվազումը, ինչը հաճախ տեղի է ունենում այլ տիպի տուրբինների մոտ, երբ դրանք լցվում են աղբով: Նշվածը հաշվի առնելով, չնայած նրան, որ այս տուրբինների ՕԳԳ-ն ավելի ցածր է, աշխատանքի ընթացքում այն ավելի վստահելի է համեմատած մյուս տուրբինների հետ [16, 18, 21, 22]:

4. Կապլանի առանցքային կամ պրոպելլերային տուրբինները, որոնք հաշվարկված են ջրի մեծ ծախսերի և ցածր ճնշումների համար, հանդիսանում են ռեակտիվ (նկ. 1.7): Տուրբինի պտտման առանցքը սովորաբար պատրաստում են հորիզոնական: Բոլոր առանցքային տուրբիններում աշխատանքային անիվի թիակները կարող են պտտվել ճնշման փոփոխությանը համապատասխան, ինչն առավել առժեքավոր է փոփոխական ճնշման պայմաններում: Հորիզոնական առանցքային տուրբինների հաշվարկային ընդգրկույթը կազմում է 3...15 մ: Ուղղահայաց առանցքային տուրբիններն օգտագործվում են 5...30 մ ճնշումների պարագայում: Ուղղորդիչ սարքավորման թիակները թեքվում են լիսեռին գուգահեռ առանցքների վրա: Տուրբինը հագեցած է առերիչ խցիկով, որին մոտենում է ջրատարը [23-29]:

Ռեակտիվ հիդրոտուրբիններն աշխատում են ջրի ճնշման էներգիայի հաշվին պահպանելով այն պրոտեսցիալ տեսքով և ընդգրկում են 1.5...2 մ ինչ և 350 մ ճնշման սահմանները:

Կապլանի
առանցքային
տուրբին

Ֆրենսիսի
շառավղաառանցքային
տուրբիններ



Նկ. 1.7. Ռեակտիվ հիդրոտուրբինների տեսակները

Պրոպել երային տուրբինը, մյուս տեսակի տուրբինների հետ համեմատած, ունի ամենամեծ արագագործություները, ինչը հնարավորություն է տալիս ջրի հոսքի ցածր արագությունների պարագայում ստանալ պտտման բարձր արագություն: Տուրբինի մեծ պտտությամբ, իրենց հերթին, հնարավորություն են տալիս կիրառել ավելի արագագործ, ինչը նշանակում է ավելի թեթև և էժան էլեկտրական գեներատորներ կամ նվազեցնել մոլտիպլիկատորների ծախսը [23-29]:

5. Շառավղաառանցքային Ֆրենսիսի տուրբիններում ջուրը մտնում է շառավղային և դուրս գալիս առանցքային ուղղությամբ՝ շարժվելով ռոտորի արտաքին հատվածից շառավղով դեպի տուրբինի կենտրոն: Անցնելով բարդ տարածային թեքված տեսք ունեցող թիակների միջով, ջուրն իրենց գիտնալիս տալիս է ռոտորին՝ ստիպելով այն պտտվել: Այս տուրբինները կիրառելի են մեծ ճնշումների՝ 12...300 մ, առկայություն պայմաններում [23-29]:

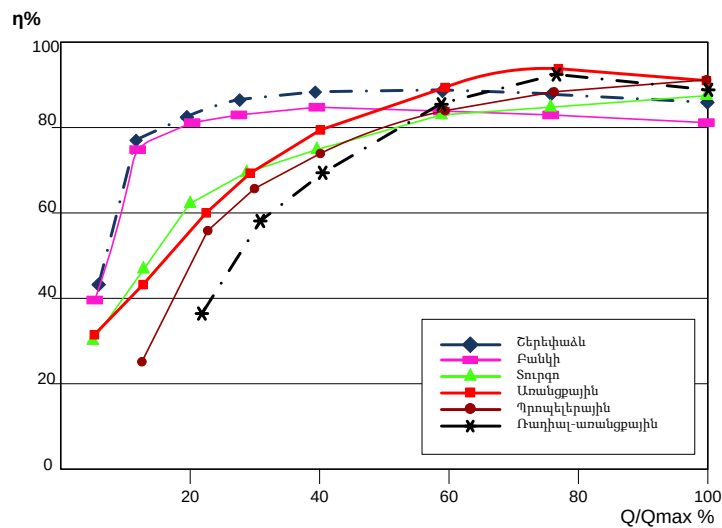
6. Անկյունազծային տուրբինն իրենից ներկայացնում է պրոպել երային տուրբին, որում թիակների առանցքները դասավորված են ոչ թե ռոտորի առանցքին ուղղահայաց, այլ 30, 45, 60 աստիճան անկյունների տակ: Թիակների նման դասավորությունը հնարավորություն է տալիս դարձնել ջրի շարժման հետագիծը պարուրած և խցիկով դեպի արտածող խողովակ ավելի սահուն, ինչը նվազեցնում է կորուստները: Անկյունազծային տուրբինները, ինչպես և պրոպել երայինները, ունեն ղեկավարման լայն դիապազոն և հարմարված են ջրի անկայուն ծախսերի և փոփոխական էլեկտրական բեռների պայմաններում աշխատելու համար [23-29]:

Տուրբինների գոյություն ունեցող տեսակներից յուրաքանչյուրին համապատասխանում են ջրի ճնշման և ծախսի

օպտիմալ արժեքներ, որոնց դեպքում ՅԷԿ-ը կարող է աշխատել հնարավոր առավելագույն էֆեկտիվությամբ: Տուրբինի էֆեկտիվությունը որոշվում է որպես լիսեռին տրվող հզորության և ջրի հոսքից վերցրած հզորության հարաբերություն՝

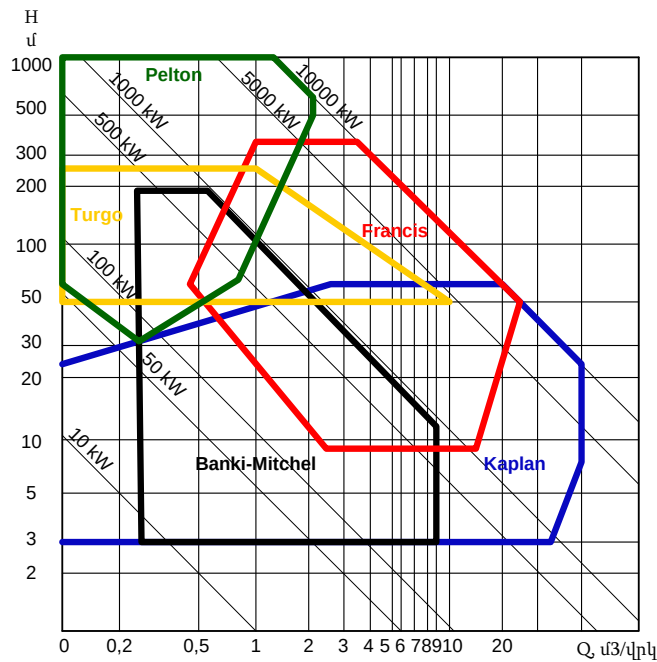
$$\eta = \frac{BH\omega_T}{\gamma QH_0} = \frac{P_T}{\gamma QH_0}, \quad (1.1)$$

որտեղ BH – պտտող մոմենտն է, ω_T , P_T – հզորությունը, γ – անկյունային արագությունը, n – շրի ծախսը, Q – ջրի ծախսը, H_0 – ջրի ճնշումը, ω : Տարբեր տուրբինների էֆեկտիվությունը փոխվում է ջրի ծախսի հետ մեկտեղ, ինչպես պատկերված է նկ. 1.8-ում: ՅԷԿ-ի ընդհանուր էֆեկտիվությունը կախված է հիդրոտուրբինի և էլեկտրական գեներատորի էֆեկտիվություններից: Ժամանակակից հիդրոտուրբիններում լրիվ ՕԳԳ-ն հավասար է 0.85...0.91, իսկ աշխատանքի բարենպաստ պայմաններում այն հասնում է 0.94...0.94 [23, 27, 28]:



Նկ. 1.8. Տարբեր տուրբինների էֆեկտիվությունների կախվածությունը ջրի նոմինալ ծախսից

Նկ. 1.9-ում բերված է ջրի ճնշումից, ծախսից և պահանջվող հզորություններից կախված հիդրոտուրբինի ընտրության նոմոգրամ [14, 28]:



Նկ. 1.9. Տուրբինների տեսակներն ըստ ջրի ծախսի և ճնշման

ՓԶԷԿ-ներում կարող են կիրառվել բոլոր տեսակի տուրբինները, այդ թվում նաև մասնակի ընկղմված ջրի մեջ (ջրային անիվներ), ինչպես նաև տուրբիններ, որոնց երկրաչափությունը փոխվում է թեքման անկյունից կախված:

Գեներատորների տեսակները: Փոքր հիդրոէներգետիկայում օգտագործվում են փոփոխական հոսանքի գեներատորների բոլոր ժամանակակից տեսակները: Հիմնական տարածում գտել են սինխրոն և ասինխրոն գեներատորները: Վերջին տասնամյակներում փոքր հիդրոէներգետիկայում լայն տարածում են գտել նաև հաստատուն մագնիսներով սինխրոն գեներատորները, երկակի սնման մեքենաները (ասինխրոնիզացված սինխրոն մեքենաները) և ինդուկտորային գեներատորները:

Ասինխրոն գեներատորները կարող են կիրառվել փոքր հիդրոէներգետիկայի հզորությունների գրեթե ողջ դիապազոնում: Միայն համեմատաբար մեծ հզորության պարագայում (1 ՄՎտ և ավել) առավել ապես օգտագործվում են սինխրոն գեներատորներ՝ ելնելով դրանց լավ էներգետիկական ցուցանիշներից: Ասինխրոն գեներատորների առավելություններն են՝ համեմատաբար ցածր արժեքը, քաշը և գաբարիտները, քան նույն հզորության սինխրոն գեներատորների մոտ [31-47]: Դրանք նպատակահարմար է օգտագործել ՓԶԷԿ կապիտալ ծախսերը նվազեցնելու նպատակով՝ եթե

շահագործման ծախսերի հանդեպ պահանջներն ավելի ցածր են: Ասիւնխրոն գեներատորի ևս մեկ առավել ությունն հանդիսանում է դրա ցածր զգայուն ությունը կարճ միացումների հանդեպ և արտաքին ազդեցություններից պաշտպանական բարձր մակարդակը: Կարճ միացումների նկատմամբ ցածր զգայուն ությունը պայմանավորված է կարճ միացումների ժամանակ ասիւնխրոն գեներատորի ապագրգումամբ: Պաշտպանության բարձր մակարդակը հեշտորեն ապահովվում է կառուցվածքային պարզության շնորհիվ [31, 38]:

Ասիւնխրոն գեներատորի թերությունը ռեակտիվ հզորության սպառումն է: Հզոր ցանցի հետ զուգահեռ աշխատանքի պարագայում այն սպառում է ցանցից ռեակտիվ էներգիա: Ասիւնխրոն գեներատորի ցածր հզորության ցանցի հետ կամ ինքնավար աշխատանքի դեպքում ռեակտիվ էներգիայի արտադրման համար օգտագործվում է կոնդենսատորային մարտկոց: Վերջինս վատացնում է գեներատորի զանգվածագաբարիտային և արժեքային ցուցանիշները, այդ պատճառով դրա օգտագործումն արդարեցված է կա՛մ հզոր ցանցի հետ աշխատանքի պարագայում, կա՛մ ակտիվ ինքնավար բեռով աշխատելու պարագայում: Ակտիվ բեռը պահանջում է համեմատաբար ցածր հզորության կոնդենսատորային մարտկոցի առկայություն: Ինդուկտիվ բեռի դեպքում կոնդենսատորային մարտկոցը պետք է ապահովի ռեակտիվ էներգիա և՛ գեներատորի, և՛ բեռի համար, ինչը պահանջում է ավելի մեծ ծավալով մարտկոցի կիրառություն:

Ասիւնխրոն գեներատորի այլ թերություններ հանդիսանում են. ինքնավար ռեժիմում կամ ցածր հզորության ցանցի հետ աշխատելու պարագայում լարման կարգավորման բարդությունը, քանի որ լարումը կարելի է կարգավորել միայն գեներատորի արտանցիչների վրա, սահքի առկայության պատճառով գեներատորի հաճախության և ռոտորի պտտման արագության միջև ոչ կոշտ կապը, ինչը դժվարեցնում է հաճախության կարգավորումը: Վերջին թերությունը էական չէ, երբ գեներատորն աշխատում է ուղղիչի կամ հաստատուն հոսանքի միջանկյալ օղակի համար [31-38]:

Հաստատուն մագնիսներով սիւնխրոն գեներատորները տարբերվում են ավանդական սիւնխրոն գեներատորներից

կառուցվածքային պարզությամբ, սակայն ռոտորի վրա գրգռման փաթույթի բացակայությունը բերում է լարման կարգավորման բարդությունների: Ավելի պարզ կառուցվածքը հեշտացնում է մեքենայի սպասարկումը և բարձրացնում է հուսալիությունը: Հաստատուն մագնիսներով գեներատորները, սակայն, գրեթե չեն ապահովում ելքային լարման կարգավորում և կայունացում: Հաստատուն մագնիսներից գրգռվող սինխրոն գեներատորների թերությունն հանդիսանում է նաև մագնիսների բարձր արժեքը և դրանց ամրակցման հետևանքով ռոտորի կոնստրուկցիայի բարդությունը [31, 32, 33, 34, 39]: Լրացուցիչ թերությունն հանդիսանում է մագնիսների օգտահանումը:

Հաստատուն մագնիսներով սինխրոն գեներատորները հիմնականում օգտագործվում են տուրբինի պտտման անկայուն արագությամբ հիդրոագրեգատներում, որոնք աշխատում են հաճախային կերպափոխիչներով: Արդյունաբերությունն առաջարկում է հաստատուն մագնիսներով գեներատորներ, որոնք ունեն մինչև մի քանի տասնյակ կիլովատտ հզորություն (հազվադեպ մինչև հարյուրավոր) և 200-300 *սմ/ր* և ավել պտտման հաճախություն: Արժեքային և զանգվածագաբարիտային ցուցանիշների վատացման պատճառով հաստատուն մագնիսներով ոչ մեծ հզորության ցածր արագության գեներատոր պատրաստել նույնպես բարդ է [31]:

Վերջին տարիներին հիդրոագրեգատներում իներենց կիրառությունն են գտնում ինդուկտորային գեներատորները: Ինդուկտորային գեներատորը հանդիսանում է սինխրոն գեներատորի տարատեսակ և ունի դրա բոլոր առավելությունները. գեներատորի հաճախության և պտտման արագության կոշտ կապը, ցանցի հետ զուգահեռ աշխատանքի պարագայում ռեակտիվ հզորության արտադրման հնարավորություն, ինքնավար ռեժիմում կամ հզոր ցանցի հետ զուգահեռ աշխատանքի ժամանակ գրգռման փաթույթի հոսանքի փոփոխման ճանապարհով ակտիվ հզորության կարգավորման հնարավորություն:

Ավանդական սինխրոն գեներատորից ինդուկտորային գեներատորի կառուցվածքային տարբերությունը կայանում է նրանում, որ գրգռման փաթույթը տեղադրված է ստատորի վրա, իսկ

ռոտորը հանդիսանում է անփաթույթ: Այդ պատճառով ինդուկտորային գեներատորի հիմնական առավելություններից մեկը հանդիսանում է պարզ և հուսալի կառուցվածքը: Ինդուկտորային գեներատորի անփաթույթ և ատամնավոր ռոտորը կառուցվածքային տեսանկյունից պարզ է նույնիսկ ասինխրոն գեներատորի ռոտորից: Գրգռման փաթույթը տեղադրված է ստատորի վրա՝ ստատորի եռաֆազ փաթույթի տեղակայման նույն փորակներում (այդ նպատակով որոշ փորակների չափերը մեծացվում են), ինչի հետևանքով ստատորի կառուցվածքը բարդանում է: Բացի այդ նաև բացակայում է գրգռման փաթույթի սնման համար նախատեսված կոնտակտային օղակների և խոզանակների անհրաժեշտությունը:

Ինդուկտորային գեներատորի կարևորագույն առավելությունն է հանդիսանում պտտման արագության մագնիսային ռեդուկցիան, ինչը հնարավորություն է տալիս համաձայնեցնել գեներատորի և տուրբինի պտտման արագություններն առանց մեխանիկական մուլտիպլիկատորների կիրառության [31, 40, 41, 42, 43, 44]: Գեներատորներն ընդգրկում են 75...250 կՎտ հզորության և 273...600 պտր արագությունների դիապազոնները:

Ակտիվ հզորության արտադրության համար սկզբունքորեն նոր հնարավորություն է հանդիսանում երկկողմանի սնման մեքենաների (ԵՍՄ) հիման վրա ստեղծված գեներատորյանին համալիրները (ԳՀ), որոնց մեջ մտնում է գեներատոր և հաճախային կերպափոխիչ (ՀԿ) [31]:

ԵՍՄ գեներատորը, շնորհիվ իր լայն հնարավորությունների և արագագործ կարգավորման հատկությունների, գրավում է հավասարազոր տեղ այլ ընտրանքային ԳՀ շարքում, իսկ ըստ որոշ չափանիշների ունի նշանակալի առավելություններ, մասնավորապես փոքր հզորության հիդրոագրեգատներում:

Գեներատորն իրենից ներկայացնում է ֆազային ռոտորով ասինխրոն մեքենա, որի ստատորը միացված է ցանցին, իսկ ռոտորը սնվում է կիսահաղորդչային ՀԿ-ից: Ասինխրոն մեքենայի ռոտորի շղթայով ՀԿ լարումը գրեթե ուղիղ համեմատական է սահքի հաճախությանը: Փոփոխելով ռոտորի սնման հաճախությունը կարելի է կարգավորել գեներատորի լիսեռի անկյունային արագությունը,

ինչը լայն ընդգրկույթում կարող է ապահովել ԳՀ սինխրոն աշխատանքը ցանցի հետ: Դա հնարավորություն է տալ իսկարգավորել ցանցին տրվող հզորությունը և ապահովել արտադրվող էլեկտրաէներգիայի որակը:

ՀԿ կառուցում են ակտիվ հզորությունը երկու ուղղությամբ փոխանցելու հնարավորություն տվող ուժային սխեմայով: ՀԿ հաստատված հզորությունն ուղիղ համեմատական է սահքի առավելագույն թույլատրելի հաճախությանը և հնարավորություն է տալ իսկարգավորել հզորությունը գեներատորի էլեկտրամագնիսական մոմենտի փոփոխման ճանապարհով: Այսպիսով հնարավորություն է ստեղծվում տասնյակ անգամներ նվազեցնել անցումային պրոցեսների ժամանակը՝ համեմատած ներկայումս օգտագործվող, ցանցի հետ զուգահեռ աշխատող սինխրոն գեներատորների հիմքով ստեղծված ԳՀ-ների հետ:

Երկկողմանի սնման մեքենաների հիմքով ՓՅԵԿ-ների հիմնական առավելությունն է հանդիսանում այն, որ այստեղ գեներատորի ղեկավարումն իրականանում է կերպափոխված էլեկտրական էներգիայի միայն մի մասի հաշվին [31, 44]:

Սինխրոն գեներատորներն օգտագործվում են փոքր հիդրոէներգետիկայի համար հատկանշական նվազագույն և առավելագույն հզորությունների պարագայում: Շուկայում ներկայացված են ՓՅԵԿ-ների համար նախատեսված 50...5000 կՎտ հզորության, հորիզոնական կամ ուղղահայաց լիսեռով և 75...750 պորտարագույն սինխրոն գեներատորներ:

Սինխրոն գեներատորների թերությունն հանդիսանում է դրանց կառուցվածքային բարդությունը՝ համեմատած այլ տիպի գեներատորների հետ, ինչը հիմնականում կապված է ռոտորի վրա գրգռման փաթույթի առկայության և դրա սնման համար կոնտակտային օղակների և խոզանակների օգտագործման հետ: Արդյունքում սինխրոն գեներատորներն ունենում են ավելի մեծ քաշ, գաբարիտներ և արժեք քան մյուս տիպի գեներատորները: Վերջին ժամանակներում, փոքր էներգետիկայի գրեթե ողջ ընդգրկույթում, իրենց տեղն են գտնում առանց խոզանակների գրգռմամբ սինխրոն գեներատորները: Սակայն խոզանակների

բացակայ ու թյուր ունենալ ամբողջովին չի բացառում սինխրոն գեներատորների կառուցվածքային բարդությունը:

Սինխրոն գեներատորներ առավել ապես օգտագործվում են ՓՅԵԿ-ների 1 ՄՎտ-ի բարձր հզորությունների առկայության դեպքում [31, 32-37]: ՓՅԵԿ ագրեգատի համեմատաբար մեծ հզորությունների պարագայում արդյունաբերությունը չի առաջարկում բազմաբևեռ դանդաղ ընթաց գեներատորներ, այդ պատճառով փոքր հզորության ՓՅԵԿ-ներում կիրառվում են համաարդյունաբերական սինխրոն գեներատորներ 500 *պար* և ավել պտտման արագությամբ: Գեներատորի և տուրբինի պտտման արագությունների համաձայնեցման համար օգտագործվում են մոլիտիպլիկատորներ [8, 31-37, 45-50]: Դա հնարավորություն է տալիս օգտագործել փոքր զանգվածագրեգորիտային պարամետրերով ավելի արագ ընթաց գեներատորներ:

Սինխրոն գեներատորների առավելությունն հանդիսանում են ռեակտիվ հզորության արտադրման հնարավորությունը, ինքնավար աշխատանքի ընթացում լարման կարգավորման պարզություն, գեներատորի հաճախության և պտտման արագության կոշտ կապը, բարձր ՕԳԳ-ն:

1.3. Սինխրոն գեներատորի տատանողական պրոցես, տատանումների տեսակները, դրանց ֆիզիկական բնույթը և առաջացման պատճառները

Ամեն հաստատված սինխրոն ռեժիմին զուգահեռ աշխատանքի ժամանակ համապատասխանում է ռոտորի որոշակի անկյունային դիրք մագնիսական դաշտի նկատմամբ: Ռոտորի այդ դիրքն ընդունված է բնութագրել θ անկյամբ, որը համապատասխանում է ψ_{fm} և ψ_{Um} հոսքակցումների միջև անկյանը [33, 34]:

Տատանողական պրոցեսի ժամանակ սինխրոն մեքենայի ռոտորը պտտվում է անհավասարաչափ և դրա արագությունը որոշակի հաճախությամբ տատանվում է միջին արժեքի շուրջ:

Եթե սինխրոն մեքենան աշխատում է զուգահեռ հզոր ցանցի հետ, որի հոսանքի f_1 հաճախությունը կարելի է համարել հաստատուն, ապա ռոտորի Ω անկյունային արագության տատանումները տեղի են ունենում սինխրոն անկյունային արագության նկատմամբ.

$$\Omega_c = \omega_1 / p = 2\pi f_1 / p \quad (2.1)$$

Միաժամանակ, Ω -ի տատանումների հետ տեղի են ունենում բեռի անկյան տատանումներ: $\Omega > \Omega_c$ ժամանակ ռոտորն առաջ է անցնում, $\dot{E}$ և $\dot{U}$ վեկտորների միջև բեռի θ անկյունը գեներատորային ռեժիմում մեծանում է, իսկ $\Omega < \Omega_c$ դեպքում՝ փոքրանում:

θ անկյան տատանումները կապված են հզորության և խարսխի հոսանքի տատանումների հետ: Ինչքան մեծ է Ω -ի և θ -ի տատանման ամպլիտուդը, այնքան նաև մեծ են P և I տատանումները: Եթե ցանցի հաճախությունը փոքր է, առաջ են գալիս նաև U լարման տատանումներ:

Երբ $\Omega \neq \Omega_c$ ռոտորը ստատորի մագնիսական դաշտի նկատմամբ պտտվում է որոշակի սահքով, ինչի պատճառով սինխրոն մեքենայի տատանումների ժամանակ առաջ է գալիս նաև s սահքի տատանում: Միջարք դեպքերում առաջ են գալիս բավական ուժեղ տատանողական պրոցեսներ, որոնք զգալիորեն խաղտում են սինխրոն մեքենայի և ամբողջ էներգահամակարգի նորմալ աշխատանքը: Տատանումների ժամանակ սինխրոն մեքենաներում տեղի են ունենում բարդ անցումային պրոցեսներ:

Ընդհանուր առմամբ սինխրոն մեքենաների տատանումները լինում են ազատ և ստիպողական [33, 34, 56]:

Ազատ տատանումներ առաջ են գալիս սինխրոն մեքենայի աշխատանքի ռեժիմի ցանկացած հանկարծակի կամ կտրուկ փոփոխության ժամանակ (բեռի ավելացում կամ նվազում, սեղմակների վրա լարման անկում, գրգռման հոսանքի փոփոխություն) և բնութագրական են սինխրոն մեքենաների համար, քանի որ ցանցի կամ այլ սինխրոն մեքենաների հետ զուգահեռ աշխատանքի ժամանակ իրենցից ներկայացնում են տատանողական համակարգ: Տատանումներ առաջանում են, օրինակ, առաջնային շարժիչի պտտող մոմենտի հանկարծակի մեծացման ժամանակ: Այդ

պարագայում գեներատորի բեռի անկյունը մեծանում է θ_1 -ից θ_2 և այդ անցումը տեղի է ունենում տատանումներով, որտեղ բեռի անկյան տատանումների սկզբնական ամպլիտուդ՝ $\Delta\theta_{m0} = \theta_2 - \theta_1$ [33, 34]:

Ազատ տատանումներ առաջ են գալիս բազմաթիվ համակարգերում: Դրանց բնույթը շատ ֆիզիկական օբյեկտների համար նույնն է և բնութագրվում է համանման դիֆերենցիալ հավասարումներով:

Սինխրոն մեքենայի ռոտորի տատանումները մեխանիկական են: Նման տատանումներ առաջ են գալիս մեխանիկական համակարգերում, որտեղ գործում են առածգական և իներցիոն ուժեր, որոնք դուրս են բերում համակարգը հավասարակշռության դիրքից ցանկացած խանգարման դեպքում: Առածգական ուժերը, որոնք ձգտում են տատանվող համակարգը վերադարձնել հավասարակշռության դիրք, կախված են հավասարակշռության դիրքից համակարգի շեղման մեծություներից և, պարզագույն դեպքում, համեմատական են այդ շեղմանը: Հավասարակշռության դիրքում այդ ուժերը հավասար են զրոյի: Իներցիոն ուժերը ձգտում են հակադրել համակարգի շարժման արագության փոփոխությանը և համեմատական են մեխանիկական զանգվածների արագացմանը: Երբ առածգական ուժի ազդեցության տակ համակարգը մոտենում է հավասարակշռության դիրքին, իներցիայի հետևանքով այն անցնում է այդ դիրքը: Ընդ որում առածգական ուժը ստանում է հակադարձ ուղղություն, համակարգը կրկին սկսում է մոտենալ հավասարակշռության դիրքին, սակայն իներցիայի ազդեցությամբ անցնում է այն և այդպես շարունակ: Տատանումների ժամանակ առածգական և իներցիոն ուժերն անընդհատ փոփոխվում են արժեքով և նշանով: Դրա արդյունքում, տատանումների ժամանակ տեղի է ունենում պրտենցիալ էներգիայի, որը կապված է առածգական ուժերի հետ կերպափոխում կինետիկ էներգիայի, որը կապված է իներցիոն ուժերի հետ, և հակառակը: Տատանումների ժամանակ սովորաբար գործում է նաև հանգստացնող կամ դեմաֆերացնող ուժ, որն առաջ է բերում տատանումների մարում: Եթե այդ ուժը հավասար է զրոյի, ապա տատանումները հանդիսանում են չմարող, այսինքն տեղի են ունենում հաստատուն ամպլիտուդով [33, 34]:

Սինխրոն մեքենայի ազատ տատանումների f_0 հաճախությունը սովորաբար կազմում է 0.5...2 3g [33, 34]:

Սինխրոն մեքենայի հանգստացնող մոմենտը, որն առաջանում է ռոտորի և օդի շփման հետևանքով և առանցքակալներում, ունի աննշան մեծություն և այն կարելի է անտեսել:

Սինխրոն մեքենայի տատանումների հանգստացումը տեղի է ունենում, հիմնականում, մոմենտի հաշվին, որն առաջ է գալիս այն բանի հաշվին, որ տատանումների ժամանակ ռոտորը շարժվում է մեկ արագ մեկ դանդաղ ստատորի մագնիսական դաշտից և, այդ պատճառով, գրգռման և դեմաֆերային փաթույթներում ինդուկցվում են հոսանքներ: Այդ դեմաֆերային մոմենտն իր բնույթով հանդիսանում է սինխրոն մեքենայի ասինխրոն մոմենտ և ձգտում է վերականգնել պտտման սինխրոն արագությունը՝ հանգստացնելով տատանումները, քանի որ $\Omega > \Omega_c$ և $s < 0$ դեպքում այն հանդիսանում է արգելակող, իսկ $\Omega < \Omega_c$ և $s > 0$, ազդում է ռոտորի պտտման ուղղությամբ և հանդիսանում է արագացնող:

Գրգռման փաթույթն առաջացնում է համեմատաբար փոքր հանգստացնող մոմենտ, մասնավորապես, երբ θ անկյունը փոքր է (նորմալ բեռների տիրույթ) կամ մոտ է զրոյի (պարապընթացք): Դա բացատրվում է նրանով, որ $\theta = 0$ դեպքում խարսխի հակազդեցության հոսքը հանդիսանում է մաքուր երկայնական և այդ հոսքի նկատմամբ ռոտորի չնչին տեղափոխություններն առաջ են բերում միայն ռոտորի հոսքակցման չնչին փոփոխություններ, ինչի հետևանքով այդ փաթույթում ինդուկցվող հոսանքները փոքր են:

Տատանումների հանգստացման արդյունավետ մեթոդ հանդիսանում է լրիվ դեմաֆերային փաթույթի կիրառությունը, որը ստեղծում է մեծ հանգստացնող մոմենտ: Այդ փաթույթի հիմնական նշանակությունը հանդիսանում է տատանումների հանգստացումը (դեմաֆերացումը), որտեղից էլ բխում է դրանում [33, 34, 47- 53]:

Սինխրոն մեքենայի **ասինխրոնական տատանումներն** առաջ են գալիս, երբ լիսեռի վրա մեխանիկական մոմենտը հաստատուն չէ և պարունակում է բաբախող բաղադրիչներ: Դա տեղի ունի այն ժամանակ, երբ սինխրոն մեքենաները միացված են միացային

մեքենաների (օրինակ դիզելային առաջնային շարժիչ՝ գեներատորի, և մխոցային կոմպենսատոր՝ շարժիչների համար):

Ստիպողական տատանումներն առավել ուժեղ, անցանկալի և վտանգավոր են հատկապես այն ժամանակ, երբ դրանց f_B հաճախությունը մոտ է ազատ տատանումների f_0 հաճախությանը, ինչի հետևանքով առաջանում են ռեզոնանսային երևույթներ, ինչպես նաև այն պարագայում, երբ ընդհանուր ցանցին միացված են հավասար կամ պատիկ հաճախություններով մի քանի սինխրոն մեքենաներ:

Ստիպողական տատանումների նվազեցման համար դիզել գեներատորները, հաճախ նաև մխոցային կոմպենսատորների շարժիչները համալրվում են թափանիվներով: Թափանիվը երբեմն միակցվում է անմիջապես սինխրոն մեքենայի ռոտորային անիվի հետ, կամ մեքենայի ռոտորը կատարվում է մեծ թափքի մոմենտով (մեծ տրամագիծ և զանգված): Տատանումների նվազման համար դիզել գեներատորներն ունենում են նաև դեմաֆերային փաթույթներ [33-35]:

1.4. Խնդրի դրվածքը

Փոքր հիդրոէլեկտրակայանի գեներատորի աշխատանքային ռեժիմների բարելավման համար անհրաժեշտ է ուսումնասիրել և նվազեցնել դրանորմալ աշխատանքային գործընթացը վատթարացնող երևույթների ազդեցությունը: Հիդրոհամակարգի էլեկտրամեխանիկական անցումային երևույթների ազդեցությունը նվազեցնում են համակարգի արդյունավտությունը, հանգեցնում վերջինիս կայուն ու հուսալի աշխատանքի խանգարմանը: Հիդրոագրեգատի համակարգի կայունությունը կարելի է մեծացնել դրանում առաջացող անցանկալի անցումային երևույթների ազդեցության նվազեցման ճանապարհով: Առաջացող անցումային երևույթների հիմնական պատճառներից է հանդիսանում ՓՋԷԿ հիդրոագրեգատի բաղկացուցիչ մաս կազմող սինխրոն գեներատորի տատանողական պրոցեսը:

Փոքր հիդրոէլեկտրակայանի կառուցվածքային մասերի և աշխատանքի հետազոտությունն ըստ գոյություն ունեցող

աշխատությունների ցույց տվեց, որ դրանք ուսումնասիրված են այլ տեսանկյուններից և շատ ժամանակ փոքր հիդրոէլեկտրակայանների համար կիրառելի են մեծ ու հզոր ՅԷԿ-երի տեխնիկական լուծումները, ինչն անընդունելի է, մասնավորապես լեռնային տեղանքներում դրանց կառուցման պարագայում: Ներկայումս գոյություն չունեն նորագույն լուծումներ, որոնք հնարավորություն կտան նվազեցնել ՓՅԷԿ համապատասխան հանգույցների չափերը՝ առանց աշխատանքի կայունության վատթարեցման: Կիրառվող գեներատորներում, որպես աշխատանքի արդյունք, լիսեռի առաջացող տատանումները հանգեցնում են նաև արտադրվող էլեկտրաէներգիայի որակի վատացմանը:

Վերոնշյալը հիմք է հանդիսանում պնդել, որ փոքր հիդրոէլեկտրակայանի գեներատորի աշխատանքային ռեժիմի բարելավման համար ՓՅԷԿ համակարգի կառուցվածքային լուծումների, դրա բաղկացուցիչ մասերի ու վերջիններիս աշխատանքի ուսումնասիրությունը նպատակահարմար է իրականացնել նոր տեսանկյունից:

Փոքր հիդրոէլեկտրակայանի գեներատորի աշխատանքի ռեժիմի բարելավման համար ընտրված են հետևյալ ուղղությունները:

1. ՓՅԷԿ հիդրոագրեգատում կիրառվող սինխրոն գեներատորի տատանողական պրոցեսի ուսումնասիրություն:
2. Սինխրոն գեներատորի տատանողական պրոցեսի մաթեմատիկական մոդելի ստեղծում, դեմպֆերացման և սինխրոն կոշտության գործակիցների դուրս բերման միջոցով տատանումների մարման գործընթացի ուսումնասիրություն:
3. Սինխրոն գեներատորում դեմպֆերային փաթույթների կիրառման ուսումնասիրություն:
4. Փոքր զանգվածաքարի տային և տեխնիկատնտեսական ցուցանիշներով հիդրոագրեգատի ստեղծման մոտեցման մշակում:
5. ՓՅԷԿ հիդրոագրեգատի արտաքին դեմպֆերային համակարգի նախագծում:

6. ՓՅԷԿ հիդրոագրեգատի արտաքին դեմաֆերային համակարգի նախագծման հաշվարկային մեթոդիկայի ստեղծում:
7. ՓՅԷԿ հիդրոագրեգատի արտաքին դեմաֆերային համակարգի ավտոմատացված նախագծման հաշվարկային ծրագրի ստեղծում:

1.5.Եզրակացություն

Փոքր գաբարիտային չափերով սինխրոն հիդրոագրեգատի կիրառման պարագայում մոլլտիպլիկատորի կիրառությունն առանցքային է դրա անհրաժեշտ զանգվածագաբարիտային պարամետրերի ապահովման համար, ինչի հետ մեկտեղ, շահագործման տեսանկյունից, ցանկալի է կիրառել հորիզոնական առանցքով հիդրոագրեգատներ: Այսպիսով հիդրոագրեգատը ստացվում է ավելի կոմպակտ, ինչն էլ լուծում է տնտեսական և շինմոնտաժային խնդիրները՝ նման հիդրոագրեգատը հեշտ է տեղադրել լեռնային և դժվար հասանելի վայրերում: Տ-ձև արտածող խողովակով հորիզոնական հիդրոագրեգատի օգտագործման պարագայում մեծանում է հիդրոտուրբինի ՕԳԳ-ն, մասնավորապես ջրի մեծ ծախսերի դեպքում, ինչի հետևանքով նման հիդրոագրեգատները զարգացնում են ավելի մեծ հզորություն: Հիդրոտուրբինի և գեներատորների արագությունների համաձայնեցման հնարավորությունը թույլ է տալիս բարձրացնել հիդրոագրեգատի ՕԳԳ-ն: Հետազոտված աշխատություններում փոքր հիզորության հիդրոագրեգատի և դրա մաս կազմող սինխրոն գեներատորի աշխատանքի ռեժիմների բարելավման հարցերը լիարժեք ուսումնասիրված չեն:

2. ՓՈՔՐ ՀԻՂՐՈՒԼ ԵԿՏՐԱԿԱՅԱՆԻ ՍԻՆԽՐՈՆ ՀԻՂՐՈԱԳՐԵԳՍՏԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՏԱՏԱՆՈՂԱԿԱՆ ՊՐՈՑԵՍԻ ԺԱՄԱՆԱԿ

2.1. Սինխրոն գեներատորի տատանողական արոցեսի մաթեմատիկական ձևակերպումը

Տատանումների ժամանակ ռոտորի շարժման մաթեմատիկական նկարագրության համար, դրա անհրաժեշտ մեծություններն արտահայտվում են ռոտորի θ_0 սկզբնական անկյան և $\Delta\theta$ անկյան փոփոխությամբ [33, 34, 48, 49, 52, 53, 54]:

1. Գրգռման էլեկտրաշարժ ուժի (ԷԼՇՈՒ) $\dot{E}_f$, որը տեղաշարժվում է ռոտորի ω արագությամբ, և $\omega_c = 2\pi f_c$ սինխրոն արագությամբ տեղաշարժվող $\dot{U} = -\dot{U}_c$ և արման միջև θ անկյունը համընկնում է ռոտորի երկայնական առանցքի (կամ $\dot{\psi}_{fm}$ հոսքակցման) և արդյունարար դաշտի առանցքի (կամ $\dot{\psi}_{Um}$ հոսքակցման) միջև անկյան հետ՝ $\theta = \theta_0 + \Delta\theta$: θ անկյունը կարող է նկարագրվել նաև ինչպես հակադարձ մագնիսական բևեռների, S_U և N_f , միջև անկյուն, որոնք իրենցից համապատասխանաբար ներկայացնում են արդյունարար դաշտը՝ $\dot{\psi}_{Um}$, և գրգռման դաշտը՝ $\dot{\psi}_{fm}$:

2. Ռոտորի էլեկտրական անկյունային արագությունը (կամ միաբարբերանի մոդելի անկյունային արագությունը) ստացվում է սինխրոն անկյունային ω_c արագությունից և ևրացուցիչ անկյունային արագությունից, որը պայմանավորված է սկզբնական θ_0 անկյան շեղմամբ՝

$$\omega = \omega_c + \frac{d\theta}{dt} = \omega_c + \frac{d\Delta\theta}{dt}: \quad (2.1)$$

Անկյունային արագությունը՝

$$\Omega = \frac{\omega}{p} = \Omega_c + \frac{d\Delta\theta}{pdt}: \quad (2.2)$$

3. Ռոտորի սահքն արդյունարար դաշտի նկատմամբ՝

$$s = \frac{\Omega_c - \Omega}{\Omega_c} = -\frac{d\Delta\theta}{\omega_c dt}; \quad (2.3)$$

4. Ռոտորի արագացումը՝

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{d^2\Delta\theta}{pd t^2}; \quad (2.4)$$

5. $\theta = \theta_0 + \Delta\theta$ անկյան դեպքում ռոտորի վրա ազդող սինխրոն էլեկտրամագնիսական մոմենտը՝

$$M_s = M_0 + \Delta M = M_0 + m_c \Delta\theta, \quad (2.5)$$

որտեղ $M_0 = f(\theta_0)$ իրենից ներկայացնում է $\theta = \theta_0$ դեպքում մոմենտն ըստ անկյունային բևեռագրի, $m_c = \left(\frac{\partial M}{\partial \theta} \right)_{\theta=\theta_0}$ տեսակարար

սինխրոնիզացիոն մոմենտն է $\theta = \theta_0$ դեպքում:

Անբացահայտ բևեռներով մեքենայում՝

$$M_0 = \frac{mUE_f}{X_1\Omega_c} \sin\theta_0, \quad (2.6)$$

$$m_c = \frac{mUE_f}{X_1\Omega_c} \cos\theta_0: \quad (2.7)$$

6. Դեմաֆերային և գրգռման փաթույթների հոսանքների և արդյունաբերողի դաշտի փոխազդեցությամբ սինխրոն էլեկտրամագնիսական մոմենտը՝

$$M_a = m_a s = -D \frac{d\Delta\theta}{dt}, \quad (2.8)$$

որտեղ $m_a = mU^2 / \Omega_c R_2'$; $D = m_a / \omega_c$ դեմաֆերացման գործակիցն է, որը հակադարձ համեմատական է ռոտորի կոնտուրների R_2' դիմադրությանը [33, 34]:

Ասինխրոն էլեկտրամագնիսական մոմենտը համարվում է դրական, երբ այն ուղղված է ռոտորի պտտման ուղղությամբ:

Արտաքին ΔM_s մոմենտի հանկարծակի փոփոխությունից հետո ռոտորի շարժման հավասարումը դրափոքր տատանումների ժամանակ՝

$$M_s - M_s + M_a = J \frac{d\Omega}{dt}: \quad (2.9)$$

Արտահայտելով պտույտի մոմենտները $\Delta\theta$ անկյամբ և դրա $d\Delta\theta/dt$ և $d^2\Delta\theta/dt^2$ ածանցյալներով կստացվի հաստատուն գործակիցներով

երկրորդ կարգի անհամասեռ դիֆերենցիալ հավասարում, որից կարելի է գտնել $\Delta\theta$ անկյունը [33, 34]

$$\frac{d^2\Delta\theta}{dt^2} + \frac{Dp}{J} \cdot \frac{d\Delta\theta}{dt} + \frac{m_c p}{J} \Delta\theta = \frac{p}{J} \Delta M_s : \quad (2.10)$$

(2.10) հավասարման լուծումը ներկայացվում է երկու հավասարումների լուծումների գումարով. համասեռ հավասարման ընդհանուր լուծման՝

$$\frac{d^2\Delta\theta}{dt^2} + \frac{Dp}{J} \cdot \frac{d\Delta\theta}{dt} + \frac{m_c p}{J} \Delta\theta = 0, \quad (2.11)$$

և հաստատված ռեժիմում ($t = \infty$) (2.10) հավասարման մասնակի լուծման գումարով:

Համասեռ հավասարման ընդհանուր լուծումը ներկայացվում է

$$\theta = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t} \quad (2.12)$$

տեսքով, որտեղ C_1, C_2 սկզբնական պայմաններից որոշվող հաստատուններ են, r_1, r_2 ՝ բնութագրական հավասարման արմատներն են

$$r^2 + \frac{Dp}{J} r + \frac{m_c p}{J} = 0, \quad (2.13)$$

որոնք հավասար են

$$r_{1,2} = -\frac{Dp}{2J} \pm \sqrt{\left(\frac{Dp}{2J}\right)^2 - \frac{m_c p}{J}} : \quad (2.14)$$

Տատանումների փոքր դեմաֆերացման ժամանակ, երբ $\left(\frac{Dp}{2J}\right)^2 \gg \frac{m_c p}{J}$,

ասինխրոն մոմենտը շատ անգամ փոքր է ասինխրոնից, հավասարման արմատները հանդիսանում են կցորդված կոմպլեքս թվեր՝ $r_{1,2} = -\beta_D \pm j\omega_0$, որոնց իրական $\beta_D = Dp/2J$ մասն իրենից ներկայացնում է

տատանումների մարման գործակիցը, իսկ $\omega_0 = \sqrt{\frac{m_c p}{J}}$ գործակիցը՝

մագնիսական դաշտում ռոտորի ազատ տատանումների անկյունային հաճախությունը: Համասեռ հավասարման ընդհանուր լուծումը նման արմատների դեպքում կլինի՝

$$\theta = C_0 e^{-\beta_D t} \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (2.15)$$

որտեղ՝ C_0, φ_0 որոշման ենթակա հաստատուններ են [33, 34]:

Հաստատված ռեժիմի համար (2.10) մասնակի լուծումը, երբ $d\Delta\theta/dt=0$ և $d^2\Delta\theta/dt^2=0$, իրենից ներկայացնում է անկյան հաստատված մեծացում՝

$$\theta_{(t=\infty)} = \theta_{\infty} = \frac{\Delta M_{\epsilon}}{m_c}: \quad (2.16)$$

(2.10) անհամասեռ հավասարման լրիվ լուծումը որոշվում է ըստ վերը նշված երկու լուծումների՝

$$\theta = C_0 e^{-\beta_D t} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \theta_{\infty}: \quad (2.17)$$

C_0 և φ_0 հաստատուններն այս հավասարման մեջ որոշվում են սկզբնական պայմաններից [33, 34]:

1. երբ $t=0, \omega=\omega_0, s=0$ և, հետևաբար $d\alpha/dt=0$: Փոքր դեմաֆերացման դեպքում՝ $\beta_D \ll \omega_0$ և

$$\left(\frac{d\Delta\theta}{dt} \right)_{t=0} \approx \left[-C_0 \omega_0 e^{-\beta_D t} \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \right]_{t=0} = 0, \quad (2.18)$$

որտեղից $\varphi_0=0$:

2. $t=0, \theta=\theta_0$ և $\alpha=0$ դեպքում: Հաշվի առնելով, որ $\varphi_0=0$, ստացվում է

$$\theta = C_0 \cos \varphi_0 + \theta_{\infty} = C_0 + \theta_{\infty} = 0, \text{ որտեղից } C_0 = -\theta_{\infty}:$$

Ազատ տատանումների ժամանակ θ անկյան շեղումների համար ստացվում է հետևյալ վերջնական հավասարումը՝

$$\theta = \theta_{\infty} (1 - e^{-\beta_D t} \cos \omega_0 t): \quad (2.19)$$

$\Delta\theta$ -ի հավասարումից երևում է, որ ռոտորը տատանվում է արդյունաբար դաշտում իր հաստատված $\theta = \theta_0 + \theta_{\infty}$ դիրքի շուրջ: Փոքր դեմաֆերացման ժամանակ ազատ տատանումները տեղի են ունենում անկյունային հաճախությամբ, որը հավասար է

$$\omega = \frac{2\pi}{T_0} = \sqrt{\frac{m_c p}{J}}: \quad (2.20)$$

Իներցիայի մոմենտի մեծացման և տեսակարար սինխրոնիզացնող մոմենտի փոքրացման հետ մեկտեղ այդ տատանումների հաճախությունը նվազում է: Հզոր սինխրոն մեքենաներում տատանումների T_0 պարբերությունը կազմում է մինչև մի քանի վարկյան: Տատանումների ամենամեծ հաճախությունը նկատվում է պարապընթացքի ժամանակ, երբ $\theta = \theta_0$ և $m_c = m_{cmax}$: Բեռի մեծացման հետ

հաճախությունը նվազում է և ստատիկ կայունության սահմանին մոտենալու պարագայում, երբ $\theta_0 \rightarrow \theta_{max}$, $m_c \rightarrow 0$, հաճախությունը ձգտում է զրոյի [33, 34]:

Պրոցեսի սկզբում անկյան տատանումների ամպլիտուդը հավասար է $\theta_\infty = \Delta M_\infty / m_c$, ինչից հետո մարման $\beta_D = Dp / 2J$ հաստատունին և մարման ժամանակի հաստատունին գուգընթաց այն աստիճանաբար փոքրանում է,

$$T_D = \frac{1}{\beta_D} = \frac{2J}{Dp}: \quad (2.21)$$

T_D ժամանակ անց այն նվազում է e անգամ, $2T_D$ ժամանակ անց՝ e^2 անգամ և այլն:

θ անկյան տատանումներն ուղեկցվում են $\Delta M = m_c \theta_\infty$ նախնական ամպլիտուդով մոմենտի և $\Delta P_0 = \Omega_c \Delta M_0 = \Omega_c m_c \theta_\infty$ նախնական ամպլիտուդով ակտիվ հզորության տատանումներով: Ռոտորի դիրքի փոփոխությունն ուղեկցվում է հոսանքի գործող արժեքի և ֆազի տատանումներով: Հոսանքի գործող արժեքը՝

$$I = \frac{\sqrt{E^2 f + U^2 - 2UE_f \cos \theta}}{X_1}, \quad (2.22)$$

հոսանքի գործող արժեքի աճը՝

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta I = \left(\frac{\partial I}{\partial \theta} \right)_{\theta=\theta_0} \\ \Delta \theta = \left(\frac{\partial I}{\partial \theta} \right)_{\theta=\theta_0} \\ \theta = \frac{E_f U \sin \theta_0}{X_1 \sqrt{E_f^2 + U^2 - 2UE_f \cos \theta_0}} \end{array} \right. \quad (2.23)$$

գործող հոսանքի տատանումների սկզբնական ամպլիտուդը՝

$$\Delta I_0 = \left(\frac{\partial I}{\partial \theta} \right)_{\theta=\theta_0} \theta_\infty: \quad (2.24)$$

Դեմաֆերացման մեծ գործակիցների ժամանակ, երբ $\left(\frac{Dp}{2J} \right)^2 > \frac{m_c p}{J}$, բնութագրիչ հավասարման արմատները ստացվում են իրական և

$\theta_{\infty} = \theta_0 + \theta_{\infty}$ անկյան դեպքում նոր ռեժիմը հաստատվում է ապերիոդիկ [33, 34]:

Այն դեպքում, երբ սինխրոն գեներատորը գործարկվում է միտցային շարժիչի օգնությամբ, արտաքին մոմենտը, բացի հիմնական բաղկացուցիչից, նաև ներառում է մի քանի հարմոնիկ բաղկացուցիչներ՝

$$M_{\varepsilon} = M_{\varepsilon 0} + \sum_{\nu=1}^{\infty} M_{\varepsilon \nu} \cos \omega_{\nu} t, \quad (2.25)$$

որտեղ $M_{\varepsilon \nu}$ արտաքին մոմենտի ν -րդ բաղկացուցիչի ամպլիտուդն է, ω_{ν} ՝ դրանական նային հաճախությունը:

Էներգիայի լրացուցիչ կորուստների նվազեցման և համակարգի ՕԳԳ-ի մեծացման համար հիմնական խնդիր հանդիսանում է հիդրոագրեգատի առաջացող տատանումների նվազեցումը: ՓՅԵԿ-ների համակարգում ստիպողական տատանումները շատ փոքր են, քանի որ այստեղ բացակայում է պարբերաբար կրկնվող արտաքին ուժը, քանի որ ջուրն ունի որոշակի դեմաֆերային հատկություններ: Նման տատանումներ կարող են դիտվել ճնշումային խողովակներում և դառնալ հիդրավլիկ հարվածների պատճառ, ինչն էլ կանխարգելվում է հատուկ պաշտպանական սարքերի կիրառմամբ [33, 34, 52, 53]:

2.2. Սինխրոն հիդրոագրեգատի տատանողական պրոցեսի մաթեմատիկական մոդելը և դրալ ու ծման արդյունքները: Դեմաֆերացման և սինխրոն կոշտության գործակիցներ

Սինխրոն մեքենաների տատանումների ժամանակ տեղի են ունենում բարդ անցումային պրոցեսներ, որոնք կարող են դիտարկվել Պարկ-Գորևի հարթության մեջ կազմված մաթեմատիկական մոդելի օգնությամբ, որտեղ վերջին արտահայտությունը բնութագրում է սինխրոն գեներատորով հիդրոագրեգատի պտտվող մասերի մեխանիկական շարժումը՝ Նյուտոնի երկրորդ օրենքին համաձայն [51-63]:

Ինչպես նշվել է, հիդրոհամակարգում, արտաքին պարբերաբար փոփոխվող մոմենտի բացակայությամբ պայմանավորված ուսումնասիրվում են միայն սինխրոն գեներատորի ազատ

տատանումները, որոնք առաջ են գալիս իներցիոն համակարգերում, ինչպիսին հիդրոագրեգատն է, իներցիոն և առաձգական ուժերի ցանկացած խանգարման դեպքում: Այս պարագայում բևեռային ծայրապանակներում տեղի ունեն չնչին կորուստներ:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_f = i_f R_f + \frac{d\psi_f}{dt}, \\ 0 = i_{\partial d} R_{\partial d} + \frac{d\psi_{\partial d}}{dt}, \\ 0 = i_{\partial q} R_{\partial q} + \frac{d\psi_{\partial q}}{dt}, \\ u_d = \frac{d\psi_d}{dt} + (1-s)\omega_c \psi_q + i_d R, \\ u_q = \frac{d\psi_q}{dt} + (1-s)\omega_c \psi_d + i_q R, \\ J \frac{d\Omega}{dt} = M_s - M_m, \end{array} \right. \quad (2.26)$$

որտեղ u_f , i_f , R_f , ψ_f համապատասխանաբար գրգռման փաթույթի լարումը, հոսանքը, ակտիվ դիմադրությունը և հոսքակցումն են; $i_{\partial d}$, $i_{\partial q}$ դեմաֆերային փաթույթի հոսանքներն են d և q առանցքներով; $R_{\partial d}$, $R_{\partial q}$ դեմաֆերային փաթույթի ակտիվ դիմադրություններն են d և q առանցքներով, $\psi_{\partial d}$, $\psi_{\partial q}$ դեմաֆերային փաթույթի հոսքակցումներն են d և q առանցքներով; u_d , u_q , i_d , i_q , ψ_d , ψ_q համապատասխանաբար d և q առանցքներով լարումները, հոսանքները և հոսքակցումներն են; R ստատորի փաթույթի ակտիվ դիմադրությունն է; J հիդրոագրեգատի պտտվող մասերի իներցիայի մոմենտն է; Ω պտտման անկյունային արագությունն է; M_s էլեկտրամագնիսական մոմենտ; M_T տուրբինի լիսեռի վրայի մոմենտն է; $s = \frac{(\omega_c - \omega_p)}{\omega_c}$ սահքն է; ω_c պտտման սինխրոն հաճախությունը; ω_p գեներատորի ռոտորի պտտման հաճախությունն է:

Լագրանժի հավասարումների համաձայն ցանցից միացված, դեմաֆերային փաթույթով սինխրոն մեքենաների էլեկտրամագնիսական մոմենտը, Պարկ-Գորևի հավասարումների հիման վրա, կլինի՝

$$M_s = M_c(\theta) + M_a(\dot{\theta}), \quad (2.27)$$

որտեղ M_c սինխրոն մոմենտն է, որը պայմանավորված է գրգռման հիմնական հոսքի և խարսխի հակազդեցության հոսքի փոխազդեցությամբ և d, q առանցքներով մագնիսական հաղորդականությունների տարբերությամբ; M_a ասինխրոն մոմենտ, որը պայմանավորված է ստատորի պտտվող դաշտի և դեմաֆերային փաթույթի փոխազդեցությամբ:

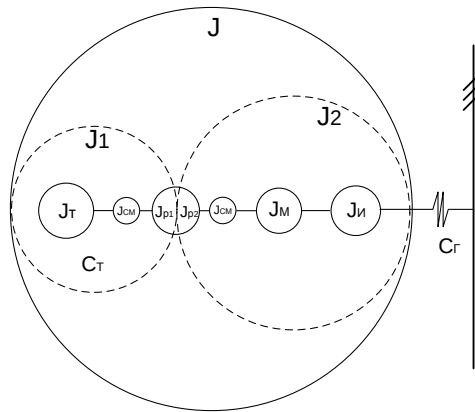
Սինխրոն մեքենայի դեմաֆերային փաթույթը, որն ապահովում է տատանումների ամպլիտուդի փոքրացումը, իրենից ներկայացնում է բևեռային ծայրապանակների փորակներում տեղադրված և ծայրերից կարճ փակված օղակներով կամ կիսաօղակներով ամրակցված ձողեր, ստեղծում է ասինխրոն մոմենտ, ձգտում է նվազեցնել ինդուկտորի պտտման արագությունը դրամեծացման պարագայում միջին սինխրոն պտտման արագության շուրջ և հակառակը: Միաժամանակ դեմաֆերային փաթույթն ազդում է էլեկտրական համակարգի կայունության բարձրացման վրա [15, 33, 34, 52, 53, 59]: Հիդրոագրեգատի համակարգում կայունության մեծացման և տատանումների մեխանիկական դեմաֆեր կարող է հանդիսանալ թափանիվը, որը զանգվածների պտտական էներգիայի հաշվին կուտակում է էներգիա, հնարավորություն է տալիս նվազեցնել անցումային պրոցեսի ժամանակը, կարգավորել տուրբինի աշխատանքային անիվի արագության բարձրացումը:

Մեկ հաստատված ռեժիմից մյուսին անցման ժամանակ, ամբողջ համակարգի շարժման հավասարումը հաշվի է առնում բոլոր փոփոխվող մոմենտները՝ տուրբինի մոմենտը, սինխրոն և ասինխրոն մոմենտները և իներցիայի մոմենտը, որը պայմանավորված է հիդրոագրեգատի բոլոր պտտվող մասերի զանգվածով և դրա կոշտությամբ: Այդ հավասարումները բնութագրում են հիդրոագրեգատի և էներգահամակարգի միջև կապը: Նման համակարգում, բացի Պարկ-Գորնի հավասարումներից անհրաժեշտ է ունենալ հիդրոագրեգատի ամբողջ պտտվող մասի պտտական սխեման:

Հիդրոագրեգատի մաթեմատիկական մոդելի կազմման համար այն ներկայացվում է պտտական սխեմայի միջոցով, որը բաղկացած է միմյանց առաձգական կապերով միակցված մի շարք սկավառակներից

[52, 53, 60, 64]: Ընդհանուր դեպքում այն կարելի է ներկայացնել n զանգվածային պտտական սխեմաների միջոցով, որոնք Լագրանժի հավասարումներում տեղադրելուց հետո ստացվում է երկրորդ կարգի ու հատդիֆերենցիալ հավասարում: Միազանգված, երկզանգված և եռազանգված սխեմաների համար հաշվարկի ճշտությունը գրեթե մնում է նույնը: Հաշվողական տեխնիկայի օգնությամբ այս հավասարումները լուծելիս սովորաբար կիրառում են Գորների մեթոդը, Վյետի բանաձևերը և Լապլասի վերափոխումները:

Նկ. 2.1-ում բերված է ՓՅԵԿ հիդրոագրեգատի պտտական սխեման [52]:



Նկ. 2.1. ՓՅԵԿ հիդրոագրեգատի պտտական սխեման

որտեղ $J_T, J_{CM}, J_{P1}, J_{P2}, J_M, J_H$ համապատասխանաբար տուրբինի, կցորդիչների, մուլտիպլիկատորի, թափանիվի և ինդուկտորի ու գրգռիչի իներցիայի մոմենտներն են; C_T տուրբինի լիսեռի կոշտությունն է, C_G լիսեռի սինխրոն կոշտությունն է, որն ապահովում է հիդրոագրեգատի կապն էներգահամակարգի հետ:

Տրված համակարգի համար կինետիկ ու պոտենցիալ էներգիաները որոշվում են՝

$$T = \frac{1}{2} \left(J_T \dot{\theta}_T^2 + J_{CM} \dot{\theta}_{CM}^2 + J_{P1} \dot{\theta}_{P1}^2 + (J_{P2} \dot{\theta}_{P2}^2 + J_{CM} \dot{\theta}_{CM}^2 + J_M \dot{\theta}_M^2 + J_H \dot{\theta}_H^2) k_p \right), \quad (2.28)$$

$$V = \frac{1}{2} [C_T (\theta_{CM} - \theta_T)^2 + C_T (\theta_{P1} - \theta_{CM})^2 + C_G (\theta_{CM} - \theta_{P2})^2 + C_G (\theta_M - \theta_{CM})^2 + C_G (\theta_G - \theta_M)^2 + C_G \theta_G^2], \quad (2.29)$$

որտեղ $\theta_T, \theta_{CM}, \theta_{P1}, \theta_{P2}, \theta_M, \theta_G$ համապատասխանաբար թափային զանգվածների շեղման անկյուններն են (տուրբինային, կցորդիչների, մուլտիպլիկատորի, թափանիվի և գեներատորի):

Բոլոր պտտական սխեմաների համար, ինդուկտորի տատանումների մարումը դիտարկվող համակարգում որոշվում է α դեմաֆերային գործակցով, իսկ ազատ տատանումներն ունեն β անկյունային հաճախությոն $T = 2\pi / \beta$ պարբերությամբ: Միազանգված, երկզանգված և եռազանգված սխեմաներով ցածր հաճախության ազատ տատանումների պարամետրերը մոտեն իրար:

Միազանգված փոխարինման սխեմայի համար, ըստ նկ. 2.1-ի, J իներցիայի մոմենտները, C կոշտությոնները և θ թափային գանգվածների շեղման անկյունները հավասար են՝

$$\begin{cases} J = J_m + J_{cm} + J_{p1} + (J_{p2} + J_{cm} + J_m + J_u)k_p, \\ C = C_z \\ \theta = \theta_z \end{cases} \quad (2.30)$$

որտեղ $k_p = (\omega_r / \omega_T)^2$ ռեդուկցիայի գործակիցն է, ω_r և ω_T համապատասխանաբար գեներատորի ու տուրբինի լիսեռների պտտման անկյունային արագությոններն են:

ՓԶԵԿ-ի հիդրոագրեգատում մուլտիպլիկատորի օգնությամբ բարձրացվում է տուրբինի պտտման արագությոնը, որն էլ հաղորդվում է գեներատորին: Դա հնարավորությոնն է տալիս կիրառել մեծ պտտման արագությամբ գեներատոր և նվազեցնել գեներատորի գաբարիտներն ու արժեքը [65]:

Դիտարկվող սխեմայի համար կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաները համապատասխանաբար հավասար են՝

$$\begin{cases} T = \frac{1}{2} J \dot{\theta}^2, \\ V = \frac{1}{2} C \theta^2, \end{cases} \quad (2.31)$$

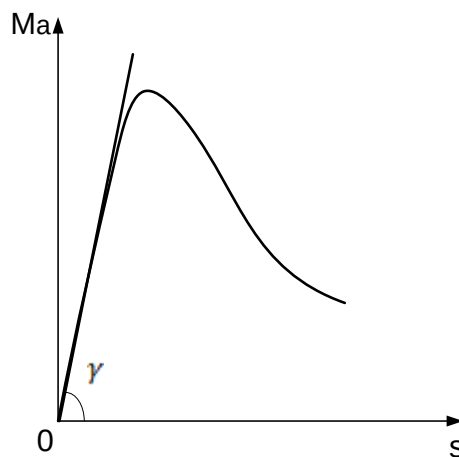
Տեղադրելով կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաների արտահայտությոնները Լագրանժի հավասարման մեջ՝ կստանանք երկրորդ կարգի հետևյալ դիֆերենցիալ հավասարումը՝

$$J_m \Delta \ddot{\theta} + D_m \Delta \dot{\theta} + C_m \Delta \theta = 0, \quad (2.32)$$

որտեղ J_m, D_m, C_m համապատասխանաբար իներցիայի մոմենտը, դեմաֆերացման գործակիցը և սինխրոն կոշտությոններն են՝ բերված տուրբինի պտտող նոմինալ մոմենտին:

Լապլասի ուղիղ և հակադարձ ձևափոխությունների օգնությամբ լուծվում է (2.32) դիֆերենցիալ հավասարումը և որոշվում են դեմաֆերային գործակիցը՝ $\alpha = \frac{D_m}{2J_m}$, և ազատ տատանումների շրջանային արագությունը՝ $\beta = \sqrt{\omega_c^2 - \alpha^2}$, որտեղ $\omega_c^2 \equiv \frac{C_m}{J_m}$ հանդիսանում է առանց դեմաֆերացման համակարգի անկյունային հիաճախությունը:

Դեմաֆերային α գործակիցը կախված է D_m դեմաֆերացման գործակցից, որն իրենից ներկայացնում է սինխրոն գեներատորի ասինխրոն մոմենտի բնութագրի կայուն աշխատանքի հատվածին տարված շոշափողի անկյան տանգենսը, ինչպես ներկայացված է նկ. 2.2-ում՝ $D_m = tg\gamma = \left(\frac{\partial M_a}{\partial \theta} \right)_0$: Ինչքան մեծ է γ անկյունը (դեմաֆերացման D_m գործակիցը), այնքան ավելի մեծ են հիդրոագրեգատի (գեներատորի) դեմաֆերային հատկությունները և այդքան կոշտ են համակարգի բնութագրերը [52-54]:



Նկ. 2.2. Սինխրոն գեներատորի ասինխրոն մոմենտի կախվածությունը սահքից

Նշվածից հետևում է, որ դեմաֆերային գործակիցը պայմանավորված է սինխրոն գեներատորի ասինխրոն մոմենտով, և ինչքան մեծ է դեմաֆերային գործակիցը, այնքան ավելի շատ է նվազում ռոտորի տատանումների ամպլիտուդը: Այդ ասինխրոն մոմենտը ստեղծվում է սինխրոն գեներատորի դեմաֆերային

փաթեղյա թի կողմից և տատանումն ուղական պրոցեսի ժամանակ ազդում է ինդուկտորի պտտման արագության փոփոխության հակառակ ուղղությամբ: Համակարգի դեմաֆերային հատկությունների և կոշտության ավելի մեծ ճշտությամբ գնահատման համար կարելի է օգտվել Կլոսի բանաձևից [52, 35, 36]՝

$$\frac{M_a}{M_{kp}} \approx \frac{2}{\frac{s}{s_{kp}} + \frac{s_{kp}}{s}}, \quad (2.33)$$

որտեղ M_{kp} և s_{kp} համապատասխանաբար մեքենայի կրիտիկական մոմենտը և սահքն են:

Կրիտիկական սահքը և առավելագույն մոմենտը որոշվում են ըստ հետևյալ արտահայտությունների՝

$$s_{kp} \cong \pm \frac{c_1 r_2'}{x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2}'}, \quad (2.34)$$

$$M_{kp} \cong \frac{m_1 p U_c^2}{2 \omega_c c_1 (x_{\sigma 1} + x_{\sigma 2}')}, \quad (2.35)$$

որտեղ c_1 T-ձև փոխարինման սխեմայից Դ-ձև փոխարինման սխեմայի անցման գործակիցն է; r_2' դեմաֆերային փաթեղյա ձևի ալտիվ դիմադրությունն է՝ բերված ստատորի փաթեղյա թի; $x_{\sigma 1}$ ստատորի փաթեղյա թի ինդուկտիվ դիմադրությունն է; $x_{\sigma 2}'$ ընդունված հաշվարկային մեթոդիկաներում համապատասխան բանաձևերով որոշվող դեմաֆերային փաթեղյա թի ինդուկտիվ դիմադրությունն է [52-54]:

Այսպիսով, որոշվում է “0” կետում ասինխրոն մոմենտի կայուն հատվածին տարված շոշափողի անկյունը հետևյալ տեսքով [52]՝

$$D_m = \operatorname{tg} \gamma = \left(\frac{\partial M_a}{\partial s} \right)_0 = \frac{2}{s_{kp}}, \quad (2.36)$$

Որոշելով ասինխրոն բնութագրի կորին տարված շոշափողը և γ անկյունը որոշվում է դեմաֆերացման գործակիցը և, հետևաբար, սինխրոն գեներատորի դեմաֆերային հատկությունները: Սինխրոն գեներատորի և ամբողջ հիդրոագրեգատի դեմաֆերային հատկությունները կարելի է բարելավել մեծացնելով γ անկյունը,

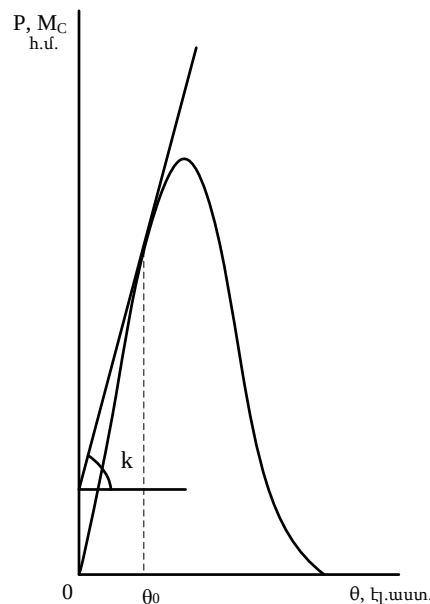
և, որպես հետևանք, նվազեցնել ռոտորի տատանումները և մեծացնել համակարգի կայունությանը [52]:

Սինխրոն հիդրոագրեգատի կոշտության գործակիցը կամ սինխրոն կոշտությանը որոշվում է՝

$$C = (U_c E_{q0} / x_d) \cos \theta_0 + ((x_d - x_q) U_c^2 / x_d x_q) \cos 2\theta_0, \quad (2.37)$$

որտեղ x_d երկայնական առանցքով սինխրոն ինդուկտիվ դիմադրությանն է; x_q լայնական առանցքով սինխրոն ինդուկտիվ դիմադրությանն է; U_c ցանցի լարումն է; E_{q0} գեներատորի լայնական առանցքով գրգռման $E_{L\delta NF}$ -ն:

Համաձայն (2.37), սինխրոն կոշտությանն իրենից ներկայացնում է, ըստ անկյունային բնութագրի, θ_0 կոորդինատի համար սինխրոնիզացնող մոմենտի մեծությանը (նկ. 2.3) [52-54]:



Նկ. 2.3. Սինխրոն գեներատորի անկյունային բնութագիրը

Կոշտության գործակիցը պայմանավորված է մեքենայի սինխրոն մոմենտով: Ինչքան մեծ է կոշտությանը, անքան ավելի կայուն է համակարգը: Այսպիսով, որոշվում է θ_0 կետում անկյունային բնութագրին տարված շոշափողի անկյունը հետևյալ կերպ՝

$$C = \operatorname{tg} k = (\partial M_c / \partial \theta)_0, \quad (2.38)$$

որտեղ M_c սինխրոն գեներատորի սինխրոնիզացնող մոմենտն է, k –ն անկյունային բնութագրին տարված շոշափողի անկյունն է [66]:

2.3.Եզրակացություն

Օգտագործելով սինխրոն գեներատորի ասինխրոն մոմենտի մոտարկված արտահայտությունը ստացված է արտահայտություն դեմաֆերացման գործակցի համար: Սինխրոն գեներատորի ինդուկտորի տատանումների մեծության որոշումն ու նվազեցումը հնարավորություն է տալիս բարձրացնել հիդրոագրեգատի աշխատանքի կայունությունը և արտադրվող էլեկտրաէներգիայի որակը՝ անհամաչափ բեռների դեպքում բարձր հարմունիկների ճնշման հաշվին: Համակարգի աշխատանքն այնքան կայուն է որքան մեծ է սինխրոն գեներատորի կոշտության գործակիցը, որը պայմանավորված է մեքենայի սինխրոն մոմենտով: Դեմաֆերացման և սինխրոն կոշտության գործակիցների մեծացումը նվազեցնում է անցումային պրոցեսի ժամանակը և տատանումների ամպլիտուդը, այդպիսով նպաստելով կայուն աշխատանքի հաստատմանը:

3. ԴԵՄՖԵՐԱՅԻՆ ՓԱԹՈՒՅԹԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ ՍԻՆԻՐՈՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐԻ ՏԱՏԱՆՈՂԱԿԱՆ ՊՈՑԵՍԻ ՄԱՐՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒ ՄԸ

3.1. Սինիրոն գեներատորի աշխատանքային ռեժիմների բարելավման գործընթացում դեմաֆերային փաթույթների նշանակությունը և ուսումնասիրությունը

Սինիրոն մեքենայի դեմաֆերային փաթույթը կատարում է մի շարք գործառնություններ: Գեներատորներում այն ծառայում է ոչ սիմետրիկ կարճ միացումներից ռոտորի փաթույթում առաջացած դինամիկ գերլարումները նվազեցնելու համար, հակառակ սինիրոն դաշտի մարման համար, ԷԼԾՈՒ-ի կորի տեսքի բարելավման և առանձին ֆազերում ոչ սիմետրիկ բեռի դեպքում լարման սիմետրիկության համար, տատանումների մարման և դինամիկ կայունության բարձրացման համար [67]:

Բացահայտ բնեռներով սինիրոն մեքենաները համալրվում են դեմաֆերային փաթույթներով հետևյալ նպատակների համար՝

1. Սինիրոն շարժիչների, կոմպենսատորների և կերպափոխիչների թողարկման մոմենտի բարձրացում:
2. Տատանումների կանխարգելում:
3. Տատանումների մարում, որոնք առաջանում են կարճ միացումների կամ փոխանջատումների պատճառով առաջացած ցնցումներից: Միևնույն էլ եկտրակայանում գեներատորների հարաբերական տատանումների առաջացման պատճառներից մեկը կարող է հանդիսանալ դրանց գրգռիչների լարումների մեծացման տարբեր արագությունը: Դեմաֆերային փաթույթներն արագացնում են նշված ցանկացած պատճառով առաջացած տատանումների մարումը:
4. Ոչ սիմետրիկ բեռի լարման կորի տեսքի աղավաղումների կանխարգելում՝ բարձր հարմոնիկների ճնշում: Առանց դեմաֆերային փաթույթների հիդրոագրեգատները միաֆազ կարճ միացումների ժամանակ կարող են ստեղծել վտանգավոր գերլարումներ, որոնք առաջանում են գծի ունակության ու մեքենայի ինդուկտիվության և բարձր հարմոնիկ

հաճախությունների պարագայում գծի ռեզոնանսի հետևանքով: Դեմաֆերային փաթույթ չունեցող որոշ գեներատորներ համալրվել են դրանցով լարման հարմոնիկների՝ մինչև անվտանգ արժեքները նվազեցման նպատակով:

5. Ոչ սիմետրիկ բեռի դեպքում ելուստների վրա \$ազային լարումների ասիմետրիկության նվազեցում, այսինքն հակադարձ հաջորդականության լարման նվազեցում: Դեմաֆերային փաթույթները նվազեցնում են հակադարձ հաջորդականության ինդուկտիվ դիմադրությունը: Ինչքան փոքր է հակադարձ հաջորդականության լրիվ դիմադրությունը, այնքան ցածր է հակադարձ հաջորդականության լարումը:
6. Խարսխում հաստատված հակադարձ հոսանքներով ինդուկցվող մրրկային հոսանքների հետևանքով միաֆազ գեներատորների բևեռների մակերեսի և \$ազային հավասարիչների գերտաքացման կանխարգելում: Ցածր դիմադրությամբ դեմաֆերային փաթույթների հոսքակցումները գրեթե հաստատուն են, հետևաբար, դեմաֆերային փաթույթներն էկրանավորում են բևեռները հոսքի փոփոխություններից:
7. Գեներատորում, ոչ սիմետրիկ կարճ միացումների ժամանակ արգելակման մոմենտի ստեղծում և այդպիսով ավելցուկային մոմենտի նվազեցում:
8. Գեներատորների սինխրոնիզացման ժամանակ լրացուցիչ մոմենտի ստեղծում, մասնավորապես, երբ սինխրոնիզացումը կատարվում է ավտոմատ: Դեմաֆերային փաթույթներն առավել օգտակար են, երբ սինխրոնիզացումը կատարվում է \$ազերի կամ պտման արագությունների մեծ անհամապատասխանությամբ: Դրանք նաև պարզեցնում են կրկին սինխրոնիզմ մտնելու ընթացքը՝ կարճ միացման հետևանքով դրանից դուրս գալու պարագայում:
9. Փոխանջատիչների կոնտակտների վրա լարման վերականգնման արագության նվազում:
10. Խարսխի շխթայում հոսանքի ցատկերի ժամանակ գրգռման փաթույթի մեկուսացման մեխանիկական լարվածությունների նվազեցում, հատկապես այն դեպքերում, երբ խարսխի

հոսանքներն ազդում են բոլոր բևեռների վրա ոչ այնպես, ինչպես դալ ինում է ներքին կարծ միացումների ժամանակ:

Դեմաֆերայի և փաթույթի ազդեցությունը սինխրոն մեքենայի հաստատումների վրա: Դեմաֆերայի և փաթույթներն ազդում են սինխրոն մեքենայի հետևյալ գերանցումային հաստատումների վրա՝ $x_d'', x_q'', x_2, r_2, T_d''$ և T_d'' , ինչպես նաև անցումային T_d' ժամանակի հաստատումնի և x_d' դիմադրության վրա:

Գերանցումային ինդուկտիվ դիմադրությունները երկու առանցքներով, դեմաֆերայի և փաթույթի առկայության դեպքում ստացվում են ավելի փոքր, քան դրա բացակայության դեպքում: Լրիվ դեմաֆերայի և փաթույթը փոքրացնում է x_q'' գերանցումային ինդուկտիվ դիմադրությունը և այնպես առանցքով ավելի շատ քան ոչ և լրիվ դեմաֆերայի և փաթույթը: Բացի այդ, փաթույթը տալիս է x_q'' ավելի մոտ արժեք երկայնական առանցքով x_d'' գերանցումային ինդուկտիվ դիմադրության արժեքին, քան դա անում է ոչ և լրիվ դեմաֆերայի և փաթույթը:

Չակադարձ հաջորդականության x_2 ինդուկտիվ դիմադրությունը, որն ունի միջին արժեք x_d'' և x_q'' միջև, դեմաֆերայի և փաթույթի առկայության պարագայում նվազում է:

Չակադարձ հաջորդականության r_a ակտիվ դիմադրությունը, կախված դեմաֆերայի և փաթույթի ակտիվ դիմադրությունից, կարող է լինել մեծ կամ փոքր:

T_d'' և T_q'' ժամանակի գերանցումային հաստատումները կախված են դեմաֆերայի և փաթույթի ակտիվ դիմադրությունից և ինդուկտիվությունից [67, 68]:

3.2. Դեմաֆերայի և փաթույթների տեսակները: Տառանումների մարումը

Չիդրոգեներատորի բնութագրերի որոշման ժամանակ առաջանում է էլեկտրական համակարգի կայունության բարձրացման և տառանումների նվազեցման համար դեմաֆերայի և փաթույթների

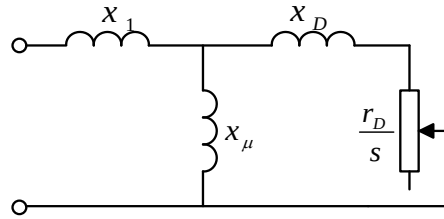
կիրառությունն նպատակահարմարությունն հարցը: Կայունություն վրա դեմաֆերային փաթույթի ազդեցությունը բազմանշանակ է, քանի որ որոշ առումներով այն դրական ազդեցություն ունի, որոշներով էլ՝ բացասական: Դեմաֆերային փաթույթի առկայությունն ժամանակ, կարճ միացումներից գրգռման և դեմաֆերային փաթույթներում առաջացող ազատ հոսանքներն ավելի շատ են կոմպենսացնում խարսխի հակազդեցությունը, քան դրա բացակայության ժամանակ: Այդ պատճառով դեմաֆերային փաթույթով մեքենայի x_d'' գերանցումային ինդուկտիվ դիմադրությունը ստացվում է փոքր x_d' անցումային ինդուկտիվ դիմադրությունից երկայնական առանցքով: Լայնական հատույթով x_q'' գերհաղորդիչ ինդուկտիվ դիմադրությունը բավականաչափ փոքր է x_q սինխրոն դիմադրությունից: Այդ հանգամանքը, ինչպես հայտնի է, բերում է կարճ միացման հոսանքի մեծացմանը՝ դրա արագ մարող բաղադրիչի առաջացման հաշվին: Դեմաֆերային փաթույթում առաջացող հոսանքները, գրգռման փաթույթի հոսանքների հետ միասին, ստեղծում են մագնիսական հոսք, որը ռոտորի պտտման ժամանակ հատում է ստատորի փաթույթը և առաջացնում է դրանում ԷԼԾՈՒ-ի ոչ միայն երկայնական, այլև լայնական բաղադրիչ: Դեմաֆերային փաթույթի հոսանքների հետ կապված մեքենայի ԷԼԾՈՒ-ի փոփոխությունները արագ մարում են, սակայն դրանք որոշակի ազդեցություն են ունենում մեքենայի հզորության բնութագրի վրա: Կարճ միացման ժամանակ, դեմաֆերային փաթույթի ազդեցության տակ, սինխրոն հիդրոգեներատորի ռոտորն արագանում է, սակայն նույն չափով մեծանում է նաև արգելակման մոմենտը, քանի որ կարճ միացման ժամանակ դեմաֆերային փաթույթում առաջանում են հակադարձ հոսանքներ: Կարճ միացման ժամանակ դեմաֆերային փաթույթում առաջացող հոսանքները գեներատորի կայունության մեծացման մեջ նշանակալի դեր չեն խաղում: Դեմաֆերային փաթույթի հոսանքներն առաջանում են ոչ միայն աշխատանքի ռեժիմի հանկարծակի փոփոխության ժամանակ, այլև մեքենայի ռոտորի պտտման հաճախության ցանկացած փոփոխության պարագայում [69]:

Դեմաֆերայի փաթույթը կազմված է ձողերից, որոնք տեղադրված են բևեռային ծայրապանակների փորակներում և կարճ են փակված ծայրերից: Լրիվ դեմաֆերայի փաթույթում ձողերի ծայրերը փակվում են օղակներով, որոնք միացնում են բոլոր բևեռների ձողերը: Ոչ լրիվ դեմաֆերայի փաթույթում ձողերը փակվում են կամարներով, որոնցից յուրաքանչյուրը փակում է միայն մեկ բևեռի ձողերը: Երկրորդ դեպքում յուրաքանչյուր բևեռի դեմաֆերայի փաթույթն իրենից նեկայացնում է անկախ շղթա: Սինխրոն մեքենայի լրիվ դեմաֆերայի փաթույթը համանման է կարճ միացված ռոտորով ասինխրոն մեքենային, բացառությամբ նրա, որ դեմաֆերայի փաթույթներում ձողերն ըստ շրջանագծի, տեղակայված են անհավասարաչափ, քանի որ փաթույթների միջև ձողեր չկան: Այն ստեղծում է տատանումների ժամանակ ռոտորի շարժման հակառակ ուղղությամբ ուղղված ասինխրոն մոմենտ:

Դեմաֆերայի փաթույթները կարելի է դասակարգել ըստ իրենց ակտիվ դիմադրության մեծության: Փոքր դիմադրությամբ դեմաֆերայի փաթույթները ստեղծում են առավել ագույն մոմենտ փոքր սահքերի ժամանակ, իսկ մեծ դիմադրությամբ փաթույթները՝ մեծ սահքերի:

Եթե անտենսվի երկայնական և լայնական առանցքներով դեմաֆերայի փաթույթի ասիմետրիկությունը և նաև գրգռման փաթույթի ազդեցությունը, ապա որոշակի գրոյից տարբեր հարաբերական արագությամբ պտտվող սինխրոն մեքենան ամբողջությամբ համանման է s սահքով աշխատող ասինխրոն մեքենայի:

Դեմաֆերայի փաթույթին կապված հոսանքն ու հզորությունը նման պայմաններում որոշվում են ասինխրոն մեքենայի փոխարինման սխեմայի օգնությամբ (նկ. 3.1), որտեղ x_1 և x_D ստատորի և դեմաֆերայի փաթույթի ցրման ինդուկտիվ դիմադրություններն են, r_D դեմաֆերայի փաթույթի ակտիվ դիմադրությունն է, x_μ մագնիսացնող ճյուղի դիմադրությունն է [69]:



Նկ. 3.1., Ասինխրոն մեքենայի փոխարինման սխեման

Հարաբերական հզորության փոքր արժեքների դեպքում, որոնք առկա են սինխրոն գեներատորների տատանումների ժամանակ, դեմաֆերային մոմենտն ու հզորությունը համեմատական են հարաբերական արագությանը:

Դեմաֆերային փաթույթի ասիմետրիկությունը և գրգռման փաթույթի ազդեցությունը հանգեցնում են երկայնական և լայնական առանցքներով մեքենայի փոխարինման սխեմայի տարբեր պարամետրերի: Այդ պայմաններում α դեմաֆերային գործակիցը նույնիսկ հարաբերական արագության փոքր արժեքների դեպքում անկայուն է և կախված է տվյալ պահին ռոտորի հարաբերական դիրքը բնութագրող θ անկյունից:

$$\alpha = \alpha_d \sin^2 \theta + \alpha_q \cos^2 \theta, \quad (3.1)$$

որտեղ α_d և α_q համապատասխանաբար ռոտորի երկայնական և լայնական առանցքների փաթույթներով որոշվող բաղադրիչներ են: Վերջիններիս արժեքը կախված է գեներատորի կառուցվածքից:

Եթե հաշվի առնել դեմաֆերային գործակցի մեծության՝ անկյունից կախված պարբերական տատանումները և ընդունել, որ դրա համար առկա է որոշակի միջին արժեք, ապա կարելի է ասել, որ սինխրոն գեներատորն ասինխրոն ռեժիմում որոշակի հարաբերական արագությամբ զարգացնում է ինչպես սինխրոն հզորություն, այնպես էլ որոշակի միջին ասինխրոն մոմենտ: Այդ հանգամանքը բավական նշանակալի է մեքենայի սինխրոնիզացման և կայունության խախտման դեպքում՝ դրա նորմալ աշխատանքի վերականգնման համար:

Դեմաֆերային փաթույթի էֆեկտիվությունը, որպես տատանումների հանգստացուցիչ, պայմանավորված է դրա ակտիվ

դիմադրություն ամբ, քանի որ տատանումների ժամանակ դեմաֆերային փաթույթում առաջացող հոսանքների հաճախությունը փոքր է: Ակտիվ հզորության փոքրացման հետ α դեմաֆերային գործակիցն աճում է: Այդ տեսանկյունից նպատակահարմար է կիրառել փոքր դիմադրություն ամբ դեմաֆերային փաթույթներ: Դեմաֆերային փաթույթների կիրառման հարցի մյուս կողմը հանդիսանում է դրանց ազդեցությունը գեներատորի հակադարձ հաջորդականության ինդուկտիվ դիմադրության վրա: Այդ դիմադրությունը նշանակալիորեն ազդում է դինամիկ կայունության վրա ոչ սիմետրիկ կարճ միացումների ժամանակ, երկֆազ կարճ միացումների դեպքում, երբ գեներատորի հակադարձ հաջորդականության դիմադրությունը նշանակալի չափով որոշում է վթարային ռեժիմում, ուղիղ հաջորդականության կոմպլեքս սխեմայում շունտավորող դիմադրությունը:

Եթե գեներատորի ելքում առաջանում է ֆազերի հակադարձ հերթականությամբ լարում, ապա ստատորի փաթույթում առաջանում են հակադարձ հաջորդականության հոսանքներ, որոնք ստեղծում են ոտորի պտտման հակառակ ուղղությամբ պտտվող մագնիսական դաշտ: Այդ հոսքը դեմաֆերային, ինչպես նաև գրգռման փաթույթներում ստեղծում է կրկնակի հաճախության հոսանքներ, որոնք իրենց հերթին ստեղծում են ռոտորի ազդեցության հոսք, որը գրեթե անբողջովին ոչնչացնում է օդային բացակում հակադարձ հաջորդականության հոսքը: Դրա շնորհիվ, դեմաֆերային փաթույթի առկայության դեպքում, հակադարձ հաջորդականության ինդուկտիվ դիմադրությունը փոքր է և մոտենում է ստատորի ցրման ինդուկտիվ դիմադրությանը: Այս մոտավորությամբ դեմաֆերային փաթույթով մեքենան նման է ռոտորի բազմաֆազ փաթույթով ասինխրոն շարժիչի, որն ունի ոչ մեծ ցրում:

Այն դեպքում, երբ դեմաֆերային փաթույթը կամ դրան համարժեք շղթան բացակայում են, միայն գրգռման փաթույթի կողմից ստեղծվող կոմպենսացնող հոսքը կտրուկ փոքրանում է և օդային բացակում հակադարձ հաջորդականության արդյունարար հոսքը, դրա հետ մեկտեղ նաև հակադարձ հաջորդականության ինդուկտիվ դիմադրությունը ստացվում են համեմատաբար մեծ:

Դեմպֆերայ ին փաթույթների բացակայության դեպքում հիդրոգեներատորների հակադարձ հաջորդականության ինդուկտիվ դիմադրությունը միջինում հավասար է 50...60 %, դրանց առկայության պարագայում այն նվազում է մինչև 20...30 %: Այդ հանգամանքը հանդիսանում է փոքր դիմադրությամբ պղնձյա դեմպֆերայ ին փաթույթների էական թերություն [69]:

Մեծ դիմադրությամբ դեմպֆերայ ին փաթույթները նույնպես նվազեցնում են հակադարձ հաջորդականության ինդուկտիվ դիմադրությունը, սակայն մեծացնում են հակառակ հաջորդականության ակտիվ դիմադրությունը:

Հակադարձ հաջորդականության հոսանքների հետ կապված են գեներատորի ակտիվ հզորության որոշակի կորուստներ, որոնք ստացվում են ռոտորի և ստատորի փաթույթների, ինչպես նաև արդյատում կորուստներից: Պղնձյա դեմպֆերայ ին փաթույթներում այդ կորուստները մեծ չեն, սակայն մեծ դիմադրությամբ դեմպֆերայ ին փաթույթներում կորուստներն այնքան մեծ են լինում, որ հակադարձ հաջորդականության դիմադրությունն արդեն չի կարելի դիտարկել որպես մաքուր ինդուկտիվ դիմադրություն, քանի որ համարժեք ակտիվ դիմադրությունը կարող է ստացվել նույն կարգի, ինչ ինդուկտիվը:

Մեծ դիմադրությամբ դեմպֆերայ ին փաթույթների այս հատկությունը կայունության ապահովման համար հանդիսանում է դրական, քանի որ հակադարձ հաջորդականության ակտիվ դիմադրության կորուստները ասիմետրիկ կարճ միացումների ժամանակ նվազեցնում են հզորության անկումը և գեներատորի արագացումը [69]:

3.3.Էլ եկտրական համակարգերի կայունության վրա դեմպֆերայ ին փաթույթների ազդեցության հետազոտումը

Դեմպֆերայ ին փաթույթների ազդեցությունն էլեկտրական համակարգերի կայունության վրա հիմնականում արտահայտվում է նրանում, որ դրանք

1. ստեղծում են ուղիղ հաջորդականության դեմաֆերացնող (ասինխրոն) մոմենտ,
2. ոչ սիմետրիկ կարճ միացումների ժամանակ ստեղծում են հակադարձ հաջորդականության արգելակող մոմենտ,
3. ոչ սիմետրիկ կարճ միացումների ժամանակ, փոփոխելով հակադարձ հաջորդականության լրիվ դիմադրությունը, ազդում են մեքենայի ուղիղ հաջորդականության էլեկտրական հզորության վրա,
4. ստատորի հոսանքի ապերիոդիկ բաղադրիչից ստեղծում են հոսանքներ, որոնք չնայած փոքր արժեքներին, երբեմն հաշվի են առնվում:

Ուղիղ հաջորդականության ասինխրոն դեմաֆերացնող մոմենտ առաջանում է դեմաֆերային փաթույթի հոսանքների և օդային բացակի ուղիղ հաջորդականության մագնիսական հոսքի փոխազդեցության արդյունքում: Բացի թողարկման և սինխրոնիզմից դուրս գալու ռեժիմների, ռոտորի սահքը ուղիղ հաջորդականության դաշտի նկատմամբ շատ փոքր է և տատանվում է ըստ մեծության: Ուղիղ հաջորդականության ասինխրոն մոմենտը փոքրացնում է ռոտորի տատանումների ամպլիտուդը, որոնք առաջանում են ցնցումից հետո և չեն հանում մեքենան սինխրոնիզմից, հետզհետե դրանք հասցնելով զրոյի: Փոքր դիմադրությամբ դեմաֆերային փաթույթները նշանակալիորեն մեծացնում են ուղիղ հաջորդականության ասինխրոն մոմենտը: Այդ մոմենտը գոյություն ունի ինչպես կարճ միացումների ժամանակ, այնպես էլ դրանց անջատումից հետո: Սակայն կարճ միացման անջատումից հետո այն ավելի մեծ է, քան դրա ժամանակ, քանի որ կարճ միացման անջատումից հետո լարումը և ուղիղ հաջորդականության հոսքը ունեն մեծ արժեքներ:

Ասինխրոն մոմենտը, կլանելով առաջին տատանումից հետո սինխրոնիզմի մեջ մնացած մեքենայի տատանումների էներգիան, կարող է կանխել դրա սինխրոնիզմից դուրս գալը երկրորդ կամ հաջորդիվ որևիցե տատանման ժամանակ, որոնք հնարավոր են գրգռման փաթույթի հոսքակցման նվազման հետևանքով: Սակայն դեմաֆերացումը բավականաչափ մեծ չէ առաջին տատանման մեջ

փոխանցվող հզորությունը տեսանելիորեն մեծացնելու համար: Փոխանցվող հզորության սահմանի հաշվարկի ժամանակ դրա ազդեցությունը գրեթե միշտ անտեսում են:

Հակադարձ հաջորդականության արգելակող մոմենտը ստեղծվում է դեմաֆերային փաթույթի հոսանքերի և օդային բացակի հակառակ ուղղությամբ պտտվող հակադարձ հաջորդականության մագնիսական դաշտի փոխազդեցության արդյունքում: Նման դաշտ առաջանում է բազմաֆազ մեքենաներում ոչ սիմետրիկ կարճ միացումների ժամանակ: Ռոտորի սահքը հակադարձ հաջորդականության դաշտի նկատմամբ հավասար է (2-s), որտեղ s-ը ուղիղ հաջորդականության սահքն է: Քանի որ s-ը փոքր է (բացառությամբ թողարկման և սինխրոնիզմից ընկնելու ռեժիմների), ապա հակադարձ հաջորդականության սահքը շատ մոտ է 2-ի: Այն երբևէ չի փոխում ո՛չ իր նշանը, ո՛չ մոմենտի նշանը: Վերջինս միշտ արգելակում է ռոտորը և այդ պահանջով կոչվում է արգելակող մոմենտ: Հետևապես, դրա ազդեցությունը համարժեք է առաջնային շարժիչի մեխանիկական մոմենտի նվազմանը: Գեներատորի մոտ, որը ցանցում կարճ միացման ժամանակ ձգտում է մեծացնել պտտման արագությունը, հակադարձ հաջորդականության մոմենտը նվազեցնում է ավելցուկային մոմենտի մեծությունը: Մյուս կողմից, շարժիչի մոտ, որի պտտման արագությունը կարճ միացման ժամանակ նվազում է, հակադարձ հաջորդականության մոմենտը մեծացնում է ավելցուկային մոմենտի բացարձակ մեծությունը (բացասական կամ արգելակող մոմենտի): Այդ պահանջով պարզ է, որ նշված արգելակող ազդեցությունը դրական ազդեցություն ունի շարժիչային ռեժիմում աշխատող գեներատորի համար: Արգելակող ազդեցությունը տևում է միայն այնքան ժամանակ, քանի դեռ համակարգում առկա է ոչ սիմետրիկ կարճ միացում: Առավելագույն արգելակող մոմենտ առաջանում է մեծ դիմադրությամբ դեմաֆերային փաթույթների դեպքում: Փոքր դիմադրությամբ դեմաֆերային փաթույթների դեպքում այն շատ փոքր է: Այսպիսով, դրա էֆեկտը սահմանափակվում է մեծ դիմադրությամբ դեմաֆերային փաթույթներով գեներատորներով:

Շատ հարաբերակցություններով, հակադարձ հաջորդականություն արգելակումը համանաման է ակտիվ դիմադրություն ամբ հողակցմանը, որը նվազեցնում է հողով կարճ միացման ժամանակ գեներատորի ավելցուկային մոմենտը: Այժմ արագագործ ռելեական պաշտպանության կիրառման դեպքում, դինամիկ կայունության բարձրացման այս երկու մեթոդներն ունեն համեմատաբար փոքր դեր, քան առաջ, երբ կիրառվում էր համեմատաբար դանդաղ պաշտպանություն: Ինչքան մեծ է անջատման արագությունը, այնքան ավելի փոքր դեր է խաղում կարճ միացմամբ առաջացած ցնցումը՝ համեմատած գծի հետագաշեղմամբ առաջացող ցնցման հետ:

Հակադարձ հաջորդականություն լրիվ դիմադրություն: Ինչպես արդեն նշվել է, դեմպֆերային փաթույթը նվազեցնում է մեքենայի հակադարձ հաջորդականության ինդուկտիվ դիմադրությունը և կարող է մեծացնել կամ փոքրացնել դրա հակադարձ հաջորդականության ակտիվ դիմադրությունը: Որպես կանոն, դեմպֆերային փաթույթը, մասնավորապես փոքր դիմադրությամբ, նվազեցնում է հակադարձ հաջորդականության լրիվ դիմադրությունը: Համակարգում որևիցե մեքենայի հակադարձ հաջորդականության լրիվ դիմադրության փոքրացումը բերում է կարճ միացման կետի նկատմամբ ցանցի հակադարձ հաջորդականության լրիվ դիմադրության նվազմանը, և, հետևապես, փոքրացնում է կարճ միացման շունտի լրիվ դիմադրությունը բոլոր տեսակի կարճ միացումների դեպքում, բացառությամբ եռաֆազի: Դրա ազդեցությունը միջֆազային կարճ միացումների ժամանակ արտահայտվում է ուժեղ, քան այլ տեսակի վնասվածքների ժամանակ, և ավելի ուժեղ դեմպֆերային փաթույթով համալրված մեքենայի մոտակայքում վնասվածքների դեպքում: Սովորաբար, որպես առավել ծանր ընդունվում է հիմնական էկվիվալենտ գեներատորի մոտակայքում տեղի ունեցած կարճ միացումը, որը հանդիսանում է համակարգի կայունության չափանիշ: Կարճ միացման շունտի լրիվ դիմադրության փոքրացումը թուլացնում է կարճ միացման ժամանակ մեքենաների միջև կապը, մեծացնելով, ինչպես նշվել է, այդ կապի ինդուկտիվ դիմադրությունը, և, հետևապես, փոքրացնում է հզորության և անկյան կախվածության

մեջ սինուսոիդալ անդամի ամպլիտուդը, իսկ երկու մեքենաներով համակարգի դեպքում՝ նվազեցնելով հզորության ամբողջ անկյունային բնութագրի ամպլիտուդը:

Այսպիսով, ոչ սիմետրիկ կարճ միացման ժամանակ, գեներատորի դեմաֆերային փաթույթն ազդում է երկու հակադարձ ուղղություններով. 1) ապահովում է արգելակող մոմենտի առաջացումը, ինչը հանդիսանում է դրական կայունության տեսանկյունից, 2) նվազեցնում է հակադարձ հաջորդականության լրիվ դիմադրությունը, ինչը նվազեցնում է կայունությունը: Դեմաֆերային փաթույթի ակտիվ դիմադրությունից է կախված, թե ննշված երկու գործոններից որը կգերակշռի: Փոքր ակտիվ դիմադրությամբ դեմաֆերային փաթույթների դեպքում սովորաբար գերակայում է հակադարձ հաջորդականության լրիվ դիմադրության նվազման ազդեցությունը, իսկ մեծ ակտիվ դիմադրությամբ դեմաֆերային փաթույթների դեպքում՝ արգելակող մոմենտի ազդեցությունը: Դա հետևանք է այն բանի, որ դեմաֆերային փաթույթի ակտիվ դիմադրության մեծացումը մեծացնում է ինչպես հակադարձ հաջորդականության լրիվ դիմադրությունը, այնպես էլ արգելակող մոմենտը: Ինչքան արագ է անջատվում կարճ միացումը, այնքան փոքր դերակատարում ունեն այս երկու գործոնները: Այդ պատճառով մեծ ակտիվ դիմադրությամբ դեմաֆերային փաթույթների կիրառությունը գեներատորի կայունության մեծացման համար չունի նույն դերը, ինչ ունեն նախկինում, երբ հիմնականում կիրառվում էին դանդաղագործ պաշտպանական համակարգեր [62, 67, 70]:

3.4.Եզրակացություն

Դեմաֆերային փաթույթները, որոնցով համալրվում են սինխրոն գեներատորները, ունեն մի շարք նշանակություններ, որոնցից տվյալ աշխատանքում ուսումնասիրվել է հիդրոագրեգատի համակարգում տատանումների հանգստացումը և կայունության

մեծացումը: Տատանումների հանգստացման վրա դեմաֆերային փաթույթների ազդեցությունը գնահատվում է սինխրոն գեներատորի տատանողական պրոցեսը նկարագրող դիֆերենցիալ հավասարումների լուծմամբ: Էլեկտրական համակարգերի կայունության վրա դեմաֆերային համակարգերի ազդեցությունը հիմնականում արտահայտվում է նրանով, որ դրանք ստեղծում են ուղիղ հաջորդականության դեմաֆերացնող (ասինխրոն) մոմենտ, ոչ սիմետրիկ կարճ միացումների ժամանակ հակադարձ հաջորդականության արգելակող մոմենտ, ոչ սիմետրիկ կարճ միացումների ժամանակ ազդում են մեքենայից ստացվող ուղիղ հաջորդականության էլեկտրական հզորության վրա: Դեմաֆերային փաթույթները հանդիսանում են տատանումների հանգստացման հիմնական միջոցը, սակայն կատարելագործված չեն: Որպես մեքենայի աշխատանքի արդյունք՝ դրանք կարող են գերբեռնվել և ժամանակի ընթացքում շարքից դուրս գալ:

4. ՓՈՔՐ ՀԻՂՐՈՒԼ ԵԿՏՐԱԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ԿՈՄՊԼԵԿՏ ՀԻՂՐՈՒԱԳՐԵԳՍԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ

4.1. Բարձր տեխնիկականության ցուցանիշով կոմպակտ հիդրոագրեգատի կառուցվածքային լուծում

Տուրբինի հզորություննից և ջրի ծախսից կախված սինխրոն հիդրոգեներատորի պտտման հաճախությունը տատանվում է 50...600 *պր* սահմաններում: Պտտման մեծ հաճախությունները վերաբերում են ոչ մեծ հզորության տուրբիններով բարձր ճնշման ՀԵԿ-երին, ցածր հաճախությունները՝ մեծ տուրբիններով ցածր ճնշման ՀԵԿ-երին: Սովորաբար սինխրոն հիդրոգեներատորների ռոտորը լինում է բացահայտ բևեռներով: Սինխրոն գեներատորի պարամետրերը որոշվում են դրա գլխավոր չափերով, որոնք կախված են հզորություննից, պտտման արագություննից և մագնիսական համակարգի և էլեկտրական մասի համար ընտրված բեռնվածքներից: Սինխրոն գեներատորի գլխավոր չափեր հանդիսանում են ստատորի ներքին տրամագիծը՝ D , և դրա երկարությունը՝ l : Մագնիսական համակարգի բեռնվածքը հիմնականում որոշվում է օդային բացակում մագնիսական ինդուկցիայի B_δ արժեքով, իսկ էլեկտրական մասի բեռնվածքը՝ գծային բեռնվածքի A արժեքով: Սինխրոն մեքենայի պարամետրերի միջև կապը ցույց է տալիս Առնոլդի C_A մեքենայական հաստատունը: Այս կապի որոշման համար որոշվում է մեքենայի հաշվարկային հզորությունը՝ $P' = mEI \cdot 10^{-3}$, որտեղ m – ֆազերի թիվն է, E – խարսխի ԷԼՇՈՒ-ն, I – խարսխի հոսանքը [33, 34, 71, 72]:

Խարսխի (ստատորի) ԷԼՇՈՒ-ն որոշվում է $E = 4k_B f k_0 w \Phi \cdot 10^{-3}$ հայտնի բանաձևով, որտեղ k_B գործակից է, որը հիմնականում կախված է դաշտի կորի տեսքից (սինուսոիդալ դաշտի դեպքում $k_B = 1.11$), $f = \frac{pn}{60}$ – հաճախությունն է, p – զույգ բևեռների թիվը, k_0 – փաթաթման գործակիցը ԷԼՇՈՒ-ի կորի առաջին հարմոնիկի համար, w – ֆազի հաջորդաբար միացված գալարների թիվը, Φ – դաշտի իրական կորով որոշվող մագնիսական հոսքը $\Phi = \alpha_\delta \tau l_\delta B_\delta$, որտեղ α_δ – բևեռային

վրածածկի հաշվարկային գործակիցն է, որը հավասար է բևեռային աղեղի հաշվարկային երկարության և բևեռային բաժանիչի կամ օդային բացակում ինդուկցիայի միջին արժեքի և դրա առավելագույն արժեքի հարաբերությանը՝ $\alpha_\delta = \frac{b_\delta}{\tau} = \frac{B_{cp}}{B_\delta}$, $\tau = \frac{\pi D}{2p}$: l_δ – խարսխի հաշվարկային երկարությունն է, B_δ – օդային բացակում ինդուկցիայի առավելագույն արժեքը [71, 72]:

Գծային բեռնվածքը՝

$$A = \frac{2mwl}{\pi D}, \quad (4.1)$$

Հաշվի առնելով բերված հարաբերակցությունները, ստացվում է Առնոլդի մեքենայական հաստատունը, որի հակադարձ մեծությունն իրենից ներկայացնում է օգտագործման գործակիցը՝

$$\frac{D^2 l_\delta n}{P'} = \frac{6.1 \cdot 10^{11}}{\alpha_\delta k_B k_0 A B_\delta} = C_A: \quad (4.2)$$

P' հաշվարկային հզորությունը որոշվում է տրված P_H անվանական հզորությամբ՝

$$P' = m E_r I_H = m U_H I_H \cdot 10^{-3} = \frac{k_E P_H}{\eta_H \cos \varphi_H}, \quad (4.3)$$

k_E գործակիցը կախված է տրված $\cos \varphi_H$ անվանական հզորության գործակցից: Եթե P_H տրված է վոլտամպերներով, ապա $P' = k_E P_H$:

Մեքենայական հաստատունը կարող է հանդիսանալ նախնական տվյալ՝ էլեկտրական մեքենայի գլխավոր չափերը որոշելու համար: Այն հնարավորությունն է տալիս հաստատել մի շարք կարևոր կախվածություններ:

$D^2 l_\delta$ արտահայտությունը որոշում է ռոտորի ծավալը: Տրված պտտման արագության պարագայում դրանից կախված է նաև ստատորի ծավալը: Հետևապես, $D^2 l_\delta / P'$ մեծությունը մոտավորապես որոշում է մեքենայի միավոր հզորությանը բաժին հասնող ծավալը: Այդ ծավալն անփոփոխ A և B_δ համար հակառակ համեմատական է պտտման արագությանը, այսինքն մեքենայի չափերը և զանգվածը նվազում են n -ի մեծացմանը զուգահեռ [71, 72]:

Մեքենայ ական հաստատունի արտահայտությունը կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ՝

$$C_A = \frac{D^2 l_\delta}{\frac{P'}{n}} = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{D^2 l_\delta}{M'}, \quad (4.4)$$

որտեղ $M' = \frac{P'}{\omega} = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P'}{n}$, իսկ α_δ , k_B , k_o գործակիցները նորմալ մեքենաների համար մնում են գրեթե անփոփոխ:

Մեքենայի չափերը կախված են A և B_δ էլեկտրամագնիսական բեռնվածքներից: Ինչքան մեծ են էլեկտրամագնիսական բեռնվածքները, այնքան փոքր են գեներատորի չափերը: A և B_δ անթույլատրելի արժեքների դեպքում կարող է առաջանալ մեքենայի մասերի անթույլատրելի տաքացում, աշխատանքային բնութագրերի վատացում, պատրաստման մեջ բարդություններ: Քանի որ A և B_δ մեծությունների միջև հարաբերությունից կախված են մեքենայի աշխատանքային բնութագրերը, ապա անրաժեշտ է այդ հարաբերակցություններն ընտրել որոշակի սահմաններում: Էլեկտրամագնիսական բեռնվածքները հիմնականում ընտրվում են կախված τ -ից և D -ից: A և B_δ մեծությունները ընտրվում են մեքենայի հզորությունից և պտտման արագությունից կախված, կամ, որ ավելի ճշգրիտ է, τ բևեռային բաժանարարով և v_p շրջանային արագությունից կախված: Ինչքան τ և v_p մեծ են, այնքան ավելի մեծ կարող են լինել A և B_δ [71, 72]:

Մեքենայի հաշվարկային հզորությունը համեմատական է ԷԼԾՈՒ-ի և հոսանքի արտադրյալին. $P' \equiv EI$ [71, 72]:

Տրված հաճախության և պտտման արագության դեպքում E ԷԼԾՈՒ-ն համեմատական է խարսխի փաթույթի w գալարների թվին և Φ հոսքին, որն այդ փաթույթում ստեղծում է ԷԼԾՈՒ. $E \equiv w\Phi$:

Արտահայտելով Φ -ն BS_c -ի օգնությամբ, որտեղ B -ն մագնիսական համակարգի պոլպատե մասի S_c կտրվածքում ինդուկցիան է, կստացվի $E \equiv wBS_c$:

Հոսանքը՝ $I = \Delta s_n$, հետևապես կարելի է գրել

$$P' \equiv wBS_c \Delta S_n \quad (4.5)$$

Եթե բոլոր գալարների պոնտի ընդհանուր կտրվածքը նշանակենք $S_M = wS_n$, ապա կստացվի $P' \equiv w \Delta S_c S_M$:

S_c և S_M մակերեսները համեմատական են l գծային չափի քառակուսուն, հետևաբար $\Delta S_c S_M = l^2 l^2$:

Այստեղից B և Δ հաստատուն արժեքների դեպքում կստացվի $P' \equiv l^4$ կամ $l = P'^{\frac{1}{4}}$:

Ակտիվ նյութերի (պոնտի և պոդպատի) զանգվածները համեմատական են իրենց ծավալին, այսինքն գծային չափերի խորանարդին, $G \equiv l^3$, հետևապես $G \equiv P'^{\frac{3}{4}}$:

Հետևապես մեենայի գծային չափերի մեծացման դեպքում դրա զգանգվածն աճում է ավելի դանդաղ քան հզորությունը [71, 72]:

Կարելի է համարել, որ ակտիվ նյութերի C արժեքը և դրանցում ΣP կորուստները ինդուկցիայի և հոսանքի խտության տրված արժեքների դեպքում համեմատական են զանգվածին՝

$$C \equiv \Sigma P \equiv G \equiv l^3 \equiv P'^{\frac{3}{4}}: \quad (4.6)$$

Եթե մեքենայի զանգվածը, արժեքը և դրա կորուստները բերվեն միավոր հզորությանը, ապա կստացվի

$$\frac{G}{P'} \equiv \frac{C}{P'} \equiv \frac{\Sigma P}{P'} \equiv \frac{P'^{\frac{3}{4}}}{P'} \equiv \frac{1}{\sqrt[4]{P'}}: \quad (4.7)$$

Հիդրոգեներատորների համար գլխավոր չափերի ընտրությունը կատարվում է հաշվի առնելով հիդրոագրեգատի նվազագույն տրված GD^2 թափքի մոմենտի ապահովումը: Հիդրոագրեգատի թափքի մոմենտն ընդունված է մեծացնել հիդրոգեներատորի ռոտորի հաշվին՝ հիմնականում դրա տրամագծի մեծացմամբ: Հիդրոգեներատորների համար, որոնք ունեն մոտ 4 ՄՎտ հզորություն, կարելի է մոտավորապես ընդունել

$$(GD^2)_{\text{min}} = 800 \frac{P_H}{n_H^2}, \quad (4.8)$$

որտեղ $(GD^2)_{\text{min}}$ – նվազագույն թույլատրելի թափքի մոմենտն է, տմ^2 , P_H – անվանական հզորությունը, կՎԱ , n_H – պտտման անվանական արագությունը, պտր : Յետևապես, տրված հզորության հիդրոագրեգատի համար D և l_δ մեծությունները պետք է որոշվեն հաշվի առնելով նվազագույնից ոչ փոքր GD^2 ստացումը:

Ավելի հզոր հիդրոագեներատորների համար անհրաժեշտ թափքի մոմենտը կարելի է որոշել ժամանակի մեխանիկական հաստատունի արտահայտությունից՝

$$T_{\text{mex}} = \frac{27.4 \cdot GD^2 \left(\frac{n_H}{100} \right)^2}{P_H}, \quad (4.9)$$

որի արժեքը հիդրոագեներատորների համար կազմում է 6.5...7.8 վրկ [71, 72]:

Մեքենայի նախագծման ժամանակ GD^2 թափքի մոմենտը որոշվում է ավելի ճշգրիտ և եթե այն ստացվում է տրված անհրաժեշտ թույլատրելի արժեքից փոքր, ապա մեծացնում են ռոտորի զանգվածը՝ դրա օղագոտու չափերի մեծացման ճանապարհով:

Սինխրոն գեներատորի անհրաժեշտ թափքի մոմենտի արժեքը հնարավորություն է տալիս ապահովել կայուն աշխատանք, նվազեցնել անցումային պրոցեսի T_{mex} ժամանակը և իներցիոն T_j հաստատունը, որը կարելի է որոշել հետևյալ արտահայտությամբ [65, 70, 71, 72]՝

$$T_j = J \cdot n^2 / p^2 \cdot P_H = n^2 \cdot GD^2 / 4p^2 \cdot P_H : \quad (4.10)$$

Գլխավոր չափերի ընտրությունը պետք է իրականացվի նվազագույն թույլատրելի արժեքից ոչ փոքր GD^2 ստացման հաշվառքով:

Վերը շարադրվածից հետևում է, որ արագաշարժ գեներատորի օգտագործմամբ կարելի է նվազեցնել դրա մասագաբարիտային պարամետրերը, և, հետևապես նվազեցնել տնտեսական ծախսերը և ՓՅԷԿ ետզման ժամկետները: Բարձր արագության հիդրոտուրբինների օգտագործման սահմանափակում հանդիսանում է դրանց կալիտացիան. հիդրոտուրբինի հոսքային հատվածում բարձր արագության հատվածներում գոլորշու արաջակների առաջացումը, որը

հետագայում բերում է դրա խցանմանը և հիդրոտուրբինի մետաղի հետագա քայքայմանը: Այդ պատճառով ճնշման մեծացման հետ արագագործության օպտիմալ գործակիցը նվազում է [8]:

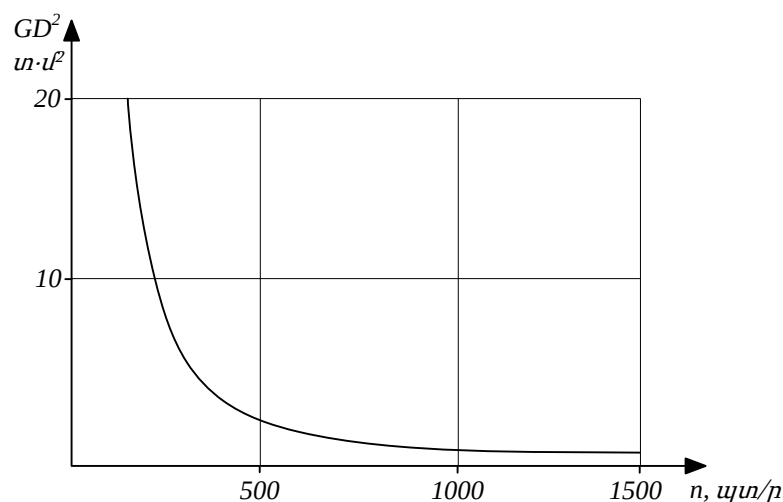
Սերիական արտադրության հորիզոնական հիդրոագրեգատներն ունեն 250, 500, 750, 1000, 1500 *սյուր* պտտման հաճախություններ: Մեծ պտտման հաճախությունները բնութագրական են միայն ոչ մեծ հզորության հիդրոտուրբինների համար և բարձր ճնշումների դեպքում: Ցածր ճնշման տուրբիններն ունեն 125...300 *սյուր* պտտման հաճախություն: Նման դեպքերում հիդրոտուրբինի և հիդրոգեներատորի միջև տեղադրվում է մոլլտիլիկատոր (բարձրացնող փոխանցում): Այն կարող է լինել գլանաձև կամ մոլորականման՝ հորիզոնական լիսեռով հիդրոագրեգատի համար և կոնական՝ հորիզոնական հիդրոտուրբինով և ուղղահայաց հիդրոգեներատորով հիդրոագրեգատի համար: Բացի հիդրոգեներատորի չափերի և արժեքի կրճատումից մոլլտիլիկատորի տեղադրումը հնարավորություն է տալիս ընտրել հիդրոտուրբինի պտտման օպտիմալ հաճախություն՝ ռացիոնալ փոխանցման հարաբերության ընտրության միջոցով: Նման դեպքերում, հիդրոտուրբինի հզորության հաշվարկի ժամանակ անհրաժեշտ է հաշվի առնել մոլլտիլիկատորի կորուստները [8]:

Փոքր զանգվածագաբարիտային պարամետրերով հիդրոգեներատորի օգտագործումը, այնուամենայնիվ, կբերի գեներատորի և հիդրոագրեգատի թափքի մոմենտի նվազմանը: Նման պարագայում առաջ է գալիս սինխրոն գեներատորի անկայուն աշխատանք: Հիդրոգեներատորի զանգվածագաբարիտային պարամետրերի նվազման պարագայում նվազում է աշխատանքի կայունությունը և մեծանում է անցումային պրոցեսների հնարավոր բացասական ազդեցությունը հիդրոագրեգատի վրա: Այս ամենը հաշվի առնելով կարելի է ասել, որ միայն ներքին դեմպֆերային փաթույթի օգտագործումը որպես տատանումների հանգստացուցիչ բավական չէ, քանի որ փոքրգաբարիտային գեներատորի կիրառման պարագայում տեղի է ունենում հիդրոագրեգատի տատանումների ամպլիտուդի հնարավոր մեծացում: Բացի այդ, տուրբինի պտտման արագության հանկարծակի փոփոխման հետևանքով հիդրոագրեգատը կարող է արագանալ, ինչն էլ

իր հերթին կարող է դառնալ համակարգի շարքից դուրս գալ ու պատճառ:

Պատվող մասերի ինտեգրիայի մեծացման համար հիդրոագրեգատի մեջ տեղադրվում է թափանիվ, որը հնարավորություն է տալիս ստանալ հիդրոագրեգատի նվազագույն թույլատրելի թափքի մոմենտը, ինչպես նաև մեծացնել հիդրոագրեգատի կայունությունը: Թափանիվը, որի գործառնությունը կայանում է էներգիայի կուտակումը ի հաշիվ պտտվող զանգվածների մեծացման, հնարավորություն է տալիս մեծացնել հիդրոագրեգատի կանգառի ժամանակը, թափառքի հասնել ու ժամանակը, ինչպես նաև ապահովում է հիդրոագրեգատի անհրաժեշտ թափքի մոմենտը: Թափանիվի օգնությամբ հիդրոագրեգատի արագացումը, ինչպես նաև հիդրոհամակարգի անցումային ճնշումը կարող են ղեկավարվել: Հիդրոագրեգատում, թափանիվի առկայության պարագայում, թափքի մոմենտը հավասար կլինի թափանիվի և գեներատորի թափքի մոմենտների գումարին: Թափանիվը հանդիսանում է նաև մեխանիկական դեմպֆեր, որը հանգստացնում է հիդրոագրեգատի տատանումները [66, 74]:

Սերիական արտադրվող գեներատորների վերլուծության արդյունքում դուրս է բերվել գեներատորի թափքի մոմենտի կախվածությունը դրա պտտման արագությունից արտահայտող կորը (նկ. 4.1) [75, 76]:



Նկ. 4.1. Հիդրոգեներատորի թափքի մոմենտի կախվածությունը դրա պտտման արագությունից

Ներկայացված կախվածությունը հանդիսանում է գեներատորի թափքի մոմենտի և պտտման արագության միջև կախվածության միջինացված կոր և կարող է կիրառվել պրակտիկ հաշվարկների ժամանակ, հիդրոագրեգատի համակարգի սինխրոն գեներատորը ավելի բարձր արագությամբ գեներատորով փոխարինելու պարագայում: Կորի օգնությամբ կարելի է ստանալ նախնական տվյալներ թափանվի և հետագայում նաև մոլլտիալիկատորի հաշվարկի համար: Մոլլտիալիկատորի պարամետրերի որոշումը հնարավորություն է տալիս որոշել անհրաժեշտ տուրբինի պարամետրերը:

Թափանվի թափքի մոմենտը որոշվում է պտտման բարձր արագությամբ և ցածր արագությամբ գեներատորների թափքի մոմենտների տարբերությամբ՝

$$(GD^2)_M = (GD^2)_{\text{շեն2}} - (GD^2)_{\text{շեն1}}, \quad (4.11)$$

որտեղ $(GD^2)_{\text{շեն2}}$ ցածր արագությամբ գեներատորի թափքի մոմենտն է, որն ապահովում է հիդրոագրեգատի անհրաժեշտ թափքի մոմենտը, $(GD^2)_{\text{շեն1}}$ բարձր արագությամբ գեներատորի թափքի մոմենտն է, որը թափանվի հետ համատեղ ապահովում է հիդրոագրեգատի անհրաժեշտ թափքի մոմենտը, նվազագույն գաբարիտային չափերը:

Հաշվի առնելով ստացված թափքի մոմենտը, ինչպես նաև ելնելով կառուցվածքային նկատառումներից, կարելի է որոշել թափանվի, որն իրենից ներկայացնում է հոծ գլան, երկարությունն ու տրամագիծը: Այսպիսով՝

$$(GD^2)_M = \pi \rho l D^4 / 4, \quad (4.12)$$

որտեղ ρ նյութի (պողպատի) խտությունն է, l թափանվի երկարությունն է, որն ընտրվում է ըստ հիդրոագրեգատի կառուցվածքի, D թափանվի տրամագիծն է:

Համաձայն (4.12)-ի, թափանվի տրամագիծը կլինի՝

$$D = \sqrt[4]{4(GD^2)_M / \pi \rho l}: \quad (4.13)$$

Այսպիսով կարելի է ասել, որ փոքր գաբարիտային հիդրոագրեգատը, որն ունի համեմատաբար մեծ պտտման արագություն, բաղկացած է հիդրոտուրբինից, մոլլտիալիկատորից,

թափանցիկ և սինխրոն գեներատորից և ապահովում է հիդրոագրեգատի և ամբողջ համակարգի նվազագույն չափերը և արժեքը, ինչն առավել արժեքավոր է լեռնային և դժվար հասանելի հատվածներում ՓՅԿ կառուցման և տեղակայման համար: Անվանենք նման հիդրոագրեգատը **«կոմպակտ»** [66]:

4.2.Արտաքին դեմաֆերային համակարգի ստեղծման հնարավորություն

ՓՅԿ-ների զարգացումը հնարավորություն է տալիս էլեկտրաէներգիա մատակարարել հեռու, լեռնային, դժվար հասանելի բնակավայրեր, որտեղ էլեկտրամատակարարման գծերի անցկացումը և կառուցումը գրեթե անհնար է և տնտեսապես ոչ նպատակահարմար: Ելնելով էլեկտրաէներգետիկական և շինմոնտաժային նկատառումներից, նպատակահարմար է կիրառել բարձր արագության հզոր, կոմպակտ հիդրոագրեգատներ՝ փոքր գաբարիտային չափերով և քաշով, որոնք նաև ունեն ցածր արժեք: Նման հիդրոագրեգատները, ինչպես արդեն նշվել է, բաղկացած են հիդրոտուրբինից, մոլլի տիպի կատորից, թափանցիկ և փոքր գաբարիտային հիդրոգեներատորից: **Կոմպակտ** հիդրոագրեգատն ունի համեմատաբար մեծ պտտման արագություն, ինչի հետ կապված նվազում են դրա զանգվածագաբարիտային պարամետրերը: Հիդրոտուրբինի օպտիմալ պտտման արագության ընտրության և վերջինիս ու գեներատորի պտտման արագությունների համաձայնեցման համար օգտագործվում է մոլլի տիպի կատոր: Եթե կիրառվի ավելի մեծ պտտման արագությամբ արդեն իսկ գոյություն ունեցող գեներատոր (նորը նախագծելու փոխարեն), ապա մոլլի տիպի կատորի ընտրությունը կոմպակտ հիդրոագրեգատի նախագծման հարցում հանդիսանում է որոշիչ, քանի որ դրա ճիշտ ընտրությունից է կախված հիդրոտուրբինի և գեներատորի էֆեկտիվ տեխնիկատնտեսական համաձայնեցումը, ինչպես նաև հիդրոագրեգատի հնարավոր առավելագույն էֆեկտիվության ստացումը:

Հիդրոգեներատորի գլխավոր չափերի փոքրացման դեպքում նվազում է աշխատանքի կայունությունը և մեծանում է

անցումային պրոցեսների հնարավոր բացասական ազդեցությունը հիդրոագրեգատի վրա, հետևաբար, առաջանում է նվազագույն թափքի մոմենտի ապահովման հարցը, որի բացակայությունն էլ հենց բերում է համակարգի անկայունության: Անհրաժեշտ թափքի մոմենտ ապահովելու նպատակով հիդրոագրեգատում տեղադրվում է թափանիվ, որը հանդիսանում է մեխանիկական դեմպֆեր և էներգիայի իներցիոն կուտակիչ: Պահեստավորված կինետիկ $W = J(\pi n)^2 / 2$ էներգիան որոշվում է անկյունային արագության քառակուսով և պտտման առանցքի նկատմամբ թափանվի J իներցիայի մոմենտով: Եթե սկավառակային թափանիվն ունի r տրամագիծ և m զանգված, ապա

$$J = mr^2 / 2, \quad (4.14)$$

$$W = \frac{1}{2} mr^2 n^2: \quad (4.15)$$

Համապատասխան միավոր էներգիան՝ միավոր ծավալի կամ զանգվածի համար, կազմում է՝

$$W_{y0} = W / m = \frac{1}{2} r^2 n^2, \quad (4.16)$$

n – ի արժեքը r – ի տրված արժեքի համար սահմանափակվում է նյութի թույլատրելի ճեղքող լարվածության հետ կապված գծային շրջանային արագությամբ: Հայտնի է, որ թափանվային կուտակիչի սկավառակային կամ գլանային ռոտորի լարվածությունը կախված է գծային շրջանային արագության քառակուսուց: Միավոր էներգիան կախված չէ օղակի չափերից և որոշվում է նյութի պարամետրերից [74, 77]:

Հիդրոագրեգատի համակարգի աշխատանքի կայունությունը ապահովվում է դրա տատանումների ամպլիտուդի փոքրացման ճանապարհով: Տատանումների հիմնական հանգստացուցիչը հանդիսանում է սինխրոն գեներատորի դեմպֆերային փաթույթը (ներքին դեմպֆերային համակարգը) [77], որը նպաստում է տատանումների ամպլիտուդի նվազմանը և համակարգի կայունության բարձրացմանը աշխատանքի ռեժիմի փոփոխման ժամանակ:

4.3. Սինխրոն գեներատորի արտաքին դեմպֆերային համակարգ

Սինխրոն գեներատորի աշխատանքային ռեժիմի բարելավման համար նախագծված (մշակված) Է ՓՅԵԿ հիդրոագրեգատի արտաքին դեմաֆերային համակարգ, որը տատանողական պրոցեսի ժամանակ ստեղծում է ռոտորի շարժման ուղղությամբ հակառակ ուղղված ասինխրոն մոմենտ և աշխատում է զուգահեռ գեներատորի ներքին դեմաֆերային համակարգի հետ[77]:

Արտաքին դեմաֆերային համակարգը կարող է տեղադրվել երեք եղանակով.

1. Հիդրոագրեգատի լիսեռի (կամ կցորդիչի) վրա տեղադրվում է նորմալ կատարման ասինխրոն մեքենայի ստատոր: Դրա համար ռոտոր է հանդիսանում հիդրոագրեգատի լիսեռը, որը հանդիսանում է զանգվածային գլան: Այդպիսով ստացվում է զանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենա, որից ստացված ասինխրոն մոմենտը ձգտում է ստաբիլիզացնել պտտման սինխրոն արագությունը և նվազեցնել տատանումների ամպլիտուդը:
2. Արտաքին դեմաֆերային համակարգի տեղադրման երկրորդ եղանակում որպես զանգվածային ռոտոր կիրառվում է հիդրոագրեգատի թափանիվը, եթե վերջինս առկա է: Տվյալ դեպքում, կառուցվածքային ու շինմոնտաժային նկատառումներից ելնելով, կարելի է թափանվի վրա տեղադրել աղեղային ստատոր:
3. Արտաքին դեմաֆերային համակարգի տեղադրման երրորդ եղանակի ֆիզիկական էությունը ոչնչով չի տարբերվում նախորդ երկու եղանակներից: Տարբերությունը կայանում է նրանում, որ այս դեպքում չեն կիրառվում հիդրոագրեգատի բաղկացուցիչ մասերը: Հիդրոագրեգատում տեղադրվում է նորմալ կատարման ասինխրոն մեքենա, որն ապահովում է անհրաժեշտ թափի մոմենտը և դեմաֆերացնող հատկությունները:

Բոլոր երեք դեպքերում արտաքին դեմաֆերային համակարգն իրենից ներկայացնում է ասինխրոն մեքենա (զանգվածային ռոտորով՝ առաջին երկու դեպքերում, և նորմալ կատարման՝ երրորդում) և աշխատում է զուգահեռ ներքին դեմաֆերային

փաթույթի հետ, որն իր բնույթով նույնպես հանդիսանում է ասինխրոն մեքենա: Սինխրոն գեներատորի ինդուկտորի տատանողական պրոցեսի ժամանակ արտաքին դեմաֆերային համակարգը ստեղծում է ասինխրոն մոմենտ, որն ունի ռոտորի շարժմանը հակառակ ուղղություն: Այսպիսով, տատանումների ընթացքում արտաքին դեմաֆերային համակարգի կողմից ստեղծված ասինխրոն մոմենտը ձգտում է ստաբիլիզացնել պտտման սինխրոն արագությունը և նվազեցնել տատանումների ամպլիտուդը: Արտաքին դեմաֆերային համակարգի առկայության դեպքում նվազում է ներքին դեմաֆերային փաթույթի վրայի բեռը, որը բերում է այնպիսի հարցերի բարելավման, ինչպիսիք են սինխրոն գեներատորի մագնիսական հոսքի կորի տեսքի աղավաղումը, արտադրվող էլեկտրաէներգիայի որակի լավացում, սինխրոն գեներատորը կարող է աշխատել համեմատաբար երկար գերբեռնումների ժամանակ իսկ դեմաֆերային փաթույթն այդ ժամանակ չի վնասվի:

Ելնելով հիդրոագրեգատի կառուցվածքից, նպատակահարմար է կիրառել արտաքին դեմաֆերային համակարգի տեղադրման առաջին երկու եղանակը, քանի որ այդ պարագայում հիդրոագրեգատի չափերը չեն մեծանա, բայցի այդ չեն պահանջվի լրացուցիչ ծախսեր [77, 78]:

4.4. Դեմաֆերային համակարգի ազդեցությունը կոմպակտ հիդրոագրեգատի աշխատանքի ռեժիմների վրա

Դեմաֆերային փաթույթն ունի դրական ազդեցությունն հզոր ցանցի հետ աշխատող սինխրոն գեներատորի տարբեր աշխատանքային ռեժիմների վրա: Չնայած դրան երկար ժամանակ դեմաֆերային փաթույթները չէին կիրառվում սինխրոն հիդրոգեներատորներում, ինչը կապված էր լրացուցիչ ծախսերի և կառուցվածքային բնույթի բարդությունների հետ [70]: Հիդրոէներգետիկայի զարգացման և ոչ սիմետրիկ ռեժիմների լայն ուսումնասիրության ընթացքում, անցումային ռեժիմներում գերլարումների, կայունության հարցերի, ասինխրոն ռեժիմների և ինքնասինխրոնիզացման պրոցեսների ուսումնասիրության արդյունքում դեմաֆերային

փաթույթները, որոնք ապահովում են սինխրոն գեներատորի ապահով աշխատանքը, ստացան իրենց իրական նշանակությունը:

Հիդրոագրեգատի կայունության վրա դեմաֆերային փաթույթի ազդեցությունն ուսումնասիրելու ժամանակ անհրաժեշտ է առանձին ուսումնասիրել ստատիկ ռեժիմի խախտման ժամանակ փաթույթի ազդեցությունը: Դեմաֆերային փաթույթի ազդեցությունը կախված է ստատիկ ռեժիմի խախտման բնույթից: Գեներատորի հանկարծակի եռաֆազ կարճ միացման և աշխատանքի ռեժիմի այլ ստատիկ խաղտումների ժամանակ ժամանակի առաջին պահին դեմաֆերային փաթույթի ազդեցությունը որոշվում է էլեկտրամագնիսական մոմենտի փոփոխության ազդեցությամբ, որն ազդում է ռոտորի հարաբերական շարժման վրա: Ոչ սիմետրիկ կարճ միացումների ժամանակ ռոտորի շարժման վրա ժամանակի առաջին պահին լրացուցիչ արգելակող մոմենտի հետ ազդում են նաև դեմաֆերային մոմենտները [74]:

Համակարգի կայունության հատկանիշ է հանդիսանում հզորությունների ու մոմենտների այնպիսի փոփոխությունը, որը ստիպում է համակարգը կրկին վերադառնալ ելքային դիրք [69]: Էներգահամակարգի հաղորդաձողին միացված սինխրոն գեներատորի կայունության գնահատման համար կիրառվում է Նյուտոնի երկրորդ օրենքը պտտվող մարմնի համար.

$$\frac{GD^2}{4} \cdot \frac{d\Omega}{dt} = M_s - M_T, \quad (4.17)$$

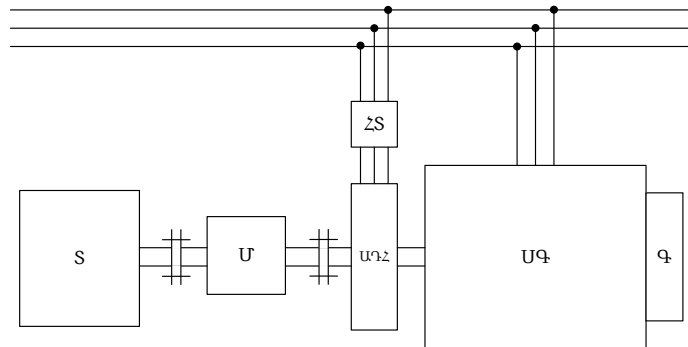
որտեղ Ω պտտման անկյունային արագությունն է, M_s էլեկտրամագնիսական մոմենտն է, M_T տուրբինի լիսեռի մոմենտն է, GD^2 պտտվող մասերի թափքի մոմենտն է [53]:

Սինխրոն գեներատորի աշխատանքի ռեժիմի ցանկացած հանկարծակի կամ կտրուկ փոփոխության հետևանքով առաջանում են գեներատորի ռոտորի ազատ տատանումներ: Այդ պարագայում ռոտորը պտտվում է անհավասարաչափ և դրա արագությունը փոփոխվում է որոշակի հաճախությամբ միջին արժեքի շուրջ: Այսպիսով խախտվում է հիդրոագրեգատի աշխատանքի կայունությունը: Սինխրոն գեներատորներում տատանումների հանգստացումը

կատարվում է դեմաֆերային փաթույթի կողմից ստեղծված դեմաֆերային մոմենտի օգնությամբ [33, 52]:

Կոմպակտ հիդրոագրեգատի կիրառումը փոքրացնում է համալիրի գաբարիտային չափերը, ինչը առավել ապես շահավետ է լեռնային տարածքներում ՓՅԵԿ-երի կառուցման պարագայում: Սինխրոն գեներատորի անհրաժեշտ թափքի մոմենտը հնարավորություն է տալիս բարձրացնել ՓՅԵԿ կայուն աշխատանքը [66]:

Կոմպակտ հիդրոագրեգատում (նկ. 4.2) թափանիվը կարելի է օգտագործել նաև որպես արտաքին դեմաֆերային համակարգ (ԱԴՀ)՝ դրա վրա տեղադրելով ասինխրոն մեքենայի ստատոր: Համաձայնեցնող տրանսֆորմատորը (ՀՏ) կարող է օգտագործվել այն պարագայում, երբ նախագծված ԱԴՀ-ի լարումը տարբերվում է սինխրոն գեներատորի լարումից [66, 77, 79]:



Նկ. 4.2. ՓՅԵԿ հիդրոագրեգատի սկզբունքային սխեմա

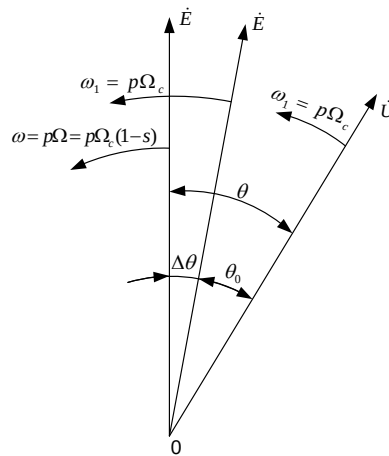
S – տուրբին, U – մոլլ տիպի կատոր, ԱԴՀ – արտաքին դեմաֆերային համակարգ, ՍԳ – սինխրոն գեներատոր, Գ – գրգռիչ, ՀՏ – համաձայնեցնող տրանսֆորմատոր

Կոմպակտ հիդրոագրեգատում արտաքին դեմաֆերային փաթույթի առկայության շնորհիվ, որն աշխատում է զուգահեռ դեմաֆերային փաթույթի հետ, դեմաֆերացնող մոմենտը ստացվում է ավելի մեծ [77]: Կայունության վրա ամբողջ հիդրոագրեգատի դեմաֆերային մոմենտի ազդեցության գնահատման համար անհրաժեշտ է կազմել սինխրոն գեներատորի մոմենտների հավասարումը դրա տատանումների ժամանակ:

Ինչպես հայտնի է, Էլեկտրամագնիսական մոմենտը, առանց ստատորի ակտիվ դիմադրությունը հաշվի առնելու, արտահայտվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$M_s = \frac{mEU}{\Omega_c x_d} \sin\theta + \frac{mU^2}{2\Omega_c} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta, \quad (4.18)$$

որտեղ m ֆազերի թիվն է, E ԷԼՇՈՒ-ն, U լարումը, Ω_c պտտման սինխրոն արագությունը, θ բեռի անկյունն է, x_d և x_q սինխրոն գեներատորի երկայնական և լայնական առանցքներով սինխրոն ինդուկտիվ դիմադրություններն են:



Նկ. 4.3. Գեներատորի լարման և ԷԼՇՈՒ-ի վեկտորները տատանումների ժամանակ

Եթե տատանումները (նկ. 4.3) տեղի են ունենում հավասարակշռության դիրքին համապատասխանող $\theta = \theta_0$ անկյան արժեքի շուրջ, երբ Էլեկտրամագնիսական մոմենտը $M_s = M_0$ հավասարակշռվում է արտաքին պտտող մոմենտով, ապա տատանումների ժամանակ $\theta = \theta_0 + \Delta\theta$, որտեղ $\Delta\theta = f(t)$ իրենից ներկայացնում է մեքենայի տատանումների ժամանակ անկյան շեղման մեծությունը:

Հայտնի է [33]

$$M_s = M_0 + \Delta M = M_0 + M_{c.m.} \Delta\theta, \quad (4.19)$$

որտեղ Էլեկտրամագնիսական մոմենտը, համաձայն (4.18)-ի, երբ $\theta = \theta_0$ հավասար է՝

$$M_0 = \frac{mEU}{\Omega_c x_d} \sin \theta_0 + \frac{mU^2}{2\Omega_c} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta_0 : \quad (4.20)$$

Սինխրոնիզացնող հզորության գործակիցը՝

$$M_{c,M} = \frac{mEU}{\Omega_c x_d} \cos \theta_0 + \frac{mU^2}{2\Omega_c} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta_0 : \quad (4.21)$$

Քանի որ M_0 -ն հավասարակշռվում է լիսենի արտաքին M_T մոմենտով, ապա բավական է հաշվի առնել միայն (4.19) արտահայտության երկրորդ անդամը, որն իրենից ներկայացնում է M_c սինխրոնիզացնող մոմենտը՝

$$M_c = -M_{c,M} \Delta \theta : \quad (4.22)$$

$M_{c,M}$ մեծությունը իրական է ռոտորի (θ անկյան) փոքր տատանումների դեպքում, երբ մեքենայի փաթույթներում էլեկտրամագնիսական անցումային պրոցեսները կարելի է անտեսել : Իներցիոն պտտող մոմենտը հավասար է՝

$$M_H = -\frac{J}{p} \frac{d^2 \Delta \theta}{dt^2}, \quad (4.23)$$

որտեղ p -ն գույգ բևեռների թիվն է :

Սինխրոն գեներատորի $M_{y,z}$ դեմաֆերային մոմենտը փոքր s սահքերի դեպքում, ինչպես և ցանկացած ասինխրոն մոմենտ, համեմատական է սահքին : Այդ մոմենտը ստեղծվում է դեմաֆերային և գրգռման փաթույթներում ինդուկցվող հոսանքների և արդյունարար մագնիսական դաշտի փոխադեցությունից [33, 34, 79] :

$\Delta \theta$ մեծությունը փոփոխվում է սահքի փոփոխման հետևանքով, և, այդ պարագայում $\Delta \theta = p\Omega_c(1-s)dt - p\Omega_c d$, որտեղ առաջին անդամն իրենից ներկայացնում է dt ժամանակահատվածում $\Delta \theta$ -ի վեկտորի թեքման անկյունը, իսկ երկրորդը՝ լարման վեկտորի թեքման անկյունը այդ նույն ժամանակահատվածում :

$$M_{y,z} = m_{c1} s = -\frac{m_{c1}}{p\Omega_c} \frac{d\Delta \theta}{dt} = -D_{m,z} \frac{d\Delta \theta}{dt}, \quad (4.24)$$

որտեղ m_{c1} – ը մոմենտի միավոր ունեցող համեմատականության գործակից է, $D_{m,z}$ – ն գեներատորի դեմաֆերացման գործակիցն է, որը հավասար է “0” կետում ասինխրոն մոմենտի ածանցյալին : Կլոսի

բանաձևի կիրառմամբ, համաձայն (2.36), դեմաֆերացման գործակիցը՝

$$D_{m,z} = \frac{2}{s_{kpz}} \quad [52]: \quad s_{kpz} \quad \text{կրիտիկական սահքը որոշվում է դեմաֆերային}$$

փաթույթի առկայության դեպքում՝ սինխրոն գեներատորի պարամետրերով [70]:

Կոմպակտ հիդրոագրեգատում դեմաֆերային մոմենտն ունի նաև երկրորդ բաղկացուցիչը՝ ԱԴՀ մոմենտը (զանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենայի մոմենտը): Կոմպակտ հիդրոագրեգատի դեմաֆերային մոմենտը հավասար է՝

$$M_y = M_{y,z} + M_{y,g}, \quad (4.25)$$

որտեղ $M_{y,g} = m_{c2}s$ իրենից ներկայացնում է ԱԴՀ դեմաֆերային մոմենտը, որտեղ m_{c2} – ը մոմենտի միավոր ունեցող համեմատականության գործակից է:

Համանման (4.24) արտահայտությանը, ԱԴՀ համար կարելի է գրել՝

$$M_{y,g} = -D_{m,g} \frac{d\Delta\theta}{dt}, \quad (4.26)$$

որտեղ $D_{m,g}$ – ը հիդրոագրեգատի ԱԴՀ դեմաֆերացման գործակիցն է: Օգտագործելով Կլոսի բանաձևը զանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենայի համար [79], և ածանցելով այն կստանանք՝

$$D_{m,g} = \frac{2}{s_{kp6}} + 2 \frac{R_1}{R_2}, \quad (4.27)$$

որտեղ $s_{kp6} = \frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + X_\kappa^2}}$ կրիտիկական սահքն է, $R_1 = \sigma r_1$; $R_2 = \sigma_2 r'_{20}$;

$X_\kappa = \sigma(x_1 + \sigma x'_{20})$, r_1 և x_1 համապատասխանաբար ստատորի փաթույթի ակտիվ և ռեակտիվ դիմադրության ունեներն են, r'_{20} և x'_{20} $s=1$ -ի դեպքում ռոտորի բերված ակտիվ և ինդուկտիվ դիմադրության ունեներն են, σ -ն շտկման գործակիցն է:

Անհրաժեշտ է նշել, որ ԱԴՀ էլեկտրական պարամետրերը խիստ կախված են ռոտորի նյութի վերամագնիսացման հաճախության ունից: Այս պարամետրերի որոշման համար կարելի է օգտվել զանգվածային մագնիսալարի կոմպլեկս մագնիսական դիմադրության հասկացության ունից [80]:

Հաշվի առնելով, որ ներքին ու արտաքին դեմաֆերային համակարգերը կապված են էլեկտրական և մեխանիկական կապով, կոմպակտ հիդրոագրեգատի սինխրոն գեներատորի մոմենտների հավասարումը, համաձայն (4.20), (4.22), (4.23) և (4.25) արտահայտու թյ ու ներքի կլիսի՝

$$\frac{J}{p} \frac{d^2 \Delta \theta}{dt^2} + (D_{m,z} + D_{m,s}) \frac{d \Delta \theta}{dt} + M_{c,M} \Delta \theta = 0, \quad (4.28)$$

որի ընդհանուր լուծումը ներկայացվում է

$$\Delta \theta = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t}, \quad (4.29)$$

որտեղ C_1 և C_2 ինտեգրման հաստատուններն են, որոնք որոշվում են սկզբնական պայմաններից (առաջին պայման՝ $t=0, \Omega=\Omega_c, s=0$ և երկրորդ պայման՝ $t=0, \theta=\theta_0, \Delta\theta=0$): λ_1 և λ_2 բնութագրական հավասարման արմատներն են:

Բնութագրական հավասարումը և իր համապատասխան արմատներն ունեն հետևյալ տեսքը՝

$$\frac{J}{p} \lambda^2 + (D_{m,z} + D_{m,s}) \lambda + M_{c,M} = 0, \quad (4.30)$$

$$\lambda_{1,2} = -\frac{p(D_{m,z} + D_{m,s})}{2J} \pm \sqrt{\frac{p^2(D_{m,z} + D_{m,s})^2}{4J^2} - \frac{pM_{c,M}}{J}}: \quad (4.31)$$

Առանց ԱԴՀ սինխրոն հիդրոագրեգատի դեպքում (4.31) արտահայտության արմատի տակի առաջին անդամը սովորաբար ստացվում է նշանակալիորեն ավելի փոքր երկրորդից, և, այդ պատճառով, քառակուսի արմատն իրենից ներկայացնում է կեղծ թիվ: Դրանում է կայանում պարբերական տատանողական պրոցեսի առաջացման պայմանը: Արտաքին դեմաֆերային համակարգը հնարավորություն է տալիս ստանալ կոմպակտ հիդրոագրեգատի դեմաֆերացման գերծակցի համեմատաբար մեծ արժեք, և, համապատասխանաբար, իրական արմատ: Իրական արմատի դեպքում $\Delta\theta$ փոփոխությունը կլիսի ապերիոդիկ, ինչը բերում է տատանողական պրոցեսի ժամանակի կրճատման:

Տատանումների մարման ժամանակի հաստատունը հավասար է՝

$$T_k = \frac{2J}{p(D_{m,z} + D_{m,s})}, \quad (4.32)$$

իսկ ազատ տատանումների անկյունային հաճախությունը՝

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \sqrt{\frac{pM_{c.m.}}{J}}: \quad (4.33)$$

Համաձայն (4.32) արտահայտության, տատանումները մարում են այնքան արագ ինչքան մեծ է կոմպակտ հիդրոագրեգատի դեմաֆերացման գործակիցը: ԱԴՀ առկայությունը բերում է տատանումների մարման ժամանակի հաստատունի և $\Delta\theta$ անկյան շեղման նվազման [79]:

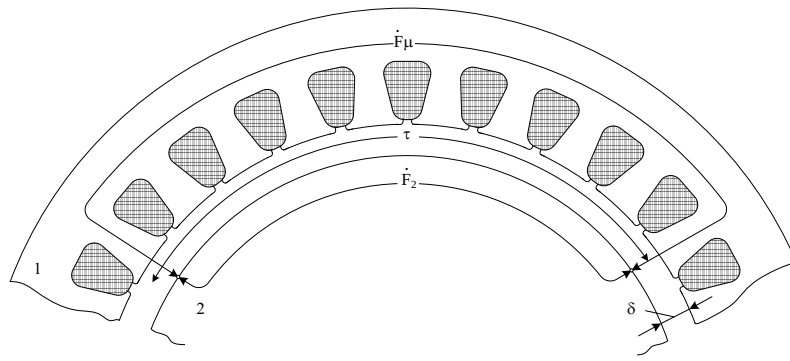
4.5. ՓԶԵԿ հիդրոագրեգատի բարելավված համկություններով դեմաֆերային համակարգի նախագծում

Սինխրոն գեներատորի աշխատանքային ռեժիմների բարելավման համար նախագծված է ՓԶԵԿ հիդրոագրեգատի ԱԴՀ [77, 81], որն աշխատում է գուգահեռ ներքին դեմաֆերային փաթույթի հետ՝ տատանողական պրոցեսի ժամանակ ստեղծելով ռոտորի շարժմանը հակառակ ուղղված ասինխրոն մոմենտ [66]:

ԱԴՀ նախագծման հաշվարկային մեթոդիկան բերված է Հավելված 1-ում:

Հաշվի առնելով ՓԶԵԿ կառուցվածքային առանձնահատկությունները, նպատակահարմար է կիրառել ԱԴՀ-ն թափանցիկ վրատեղադրման եղանակը, քանի որ այդ պարագայում հիդրոագրեգատի գաբարիտային չափերը չեն մեծանում և տեղի կունենա միայն արժեքի չնչին ավելացում [66, 77]:

Չանգվածային ռոտորով (թափանցիկ) ԱԴՀ նախագծման հիմքում տրվում են դրագլխավոր չափերը՝ առանցքային երկարությունը՝ l , և ռոտորի տրամագիծը՝ D : Այս չափերի հարաբերակցությունը որոշում է նյութերի ծախսի քանակը, թափքի մոմենտի մեծությունը և ԱԴՀ հաշվարկային հզորությունը: Ռոտորի տրամագիծը, երկարությունը և պտման արագությունը հնարավորություն են տալիս նախապես որոշել էլեկտրամագնիսական բեռնվածքները (գծային բեռնվածքը և օդային բացակի մագնիսական ինդուկցիան) և հաշվարկել մագնիսական շղթան (նկ. 4.4), եռաֆազ փաթույթը և ստատորի պարամետրերը [71, 72]:



Նկ. 4.4. Արտաքին դեմաֆերային համակարգի մագնիսական շղթան

Չանգվածային ռոտորի պարամետրերի հաշվարկը, աշխատանքային տարբեր ռեժիմների ժամանակ, կարող է իրականացվել զանգվածային մագնիսալարի կոմպլեքս մագնիսական դիմադրության հասկացության կիրառմամբ փոխարինման սխեմաների հիման վրա:

Մագնիսալարի Z կոմպլեքս մագնիսական դիմադրությունն իրենից ներկայացնում է տվյալ մագնիսալարի վրա ազդող մագնիսաշարժ ուժի $\dot{F}$ ամպլիտուդի կոմպլեքս արժեքի և մագնիսալարով անցնող մագնիսական հոսքի $\dot{\Phi}$ ամպլիտուդի նոմինալ արժեքի հարաբերությունը [80, 82]՝

$$Z = \frac{\dot{F}}{\dot{\Phi}} = R + jX, \quad (4.34)$$

որտեղ R -ն իրենով որոշում է մրրկային հոսանքներով պայմանավորված կորուստների ռեակտիվ հզորությունը, իսկ X -ը՝ ակտիվ հզորությունը:

Z -ի մեծությունը կարող է որոշվել՝

$$Z = \dot{A} \frac{l_m}{u} \sqrt{\frac{f}{\rho \mu_e}}, \quad (4.35)$$

որտեղ $\dot{A} = 1,13 + j1,85$, l_m մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությամբ մագնիսական շղթայի տեղամասի երկարությունն է, u դրա լայնական հատույթի մակերեսն է, f վերամագնիսացման հաճախությունն է, ρ մագնիսալարի նյութի տեսակարար էլեկտրական դիմադրությունն է, μ_e մագնիսալարի մագնիսական թափանցելիության արժեքն է, որը համապատասխանում է

մագնիսալ արի տեղամասի մակերեսին մագնիսական դաշտի H_e Լ արվածությունը:

Արտահայտություն (4.35)-ը հաշվի է առնում մագնիսական թափանցելիության փոփոխականությունը, մրրկային հոսանքներով և հիստերեզիսով պայմանավորված կորուստները և կարող է կիրառվել գրեթե բոլոր օգտագործվող Φ եռոմագնիսական նյութերի համար: Այս արտահայտությունները ճշմարիտ են $u \gg \Delta_m$, որտեղ Δ_m -ն

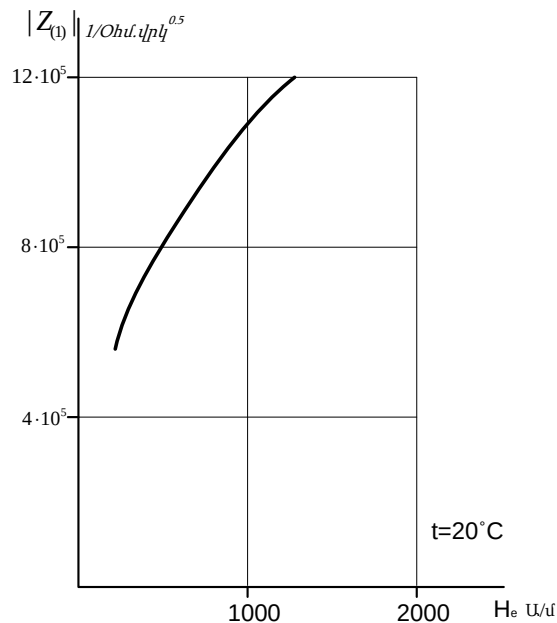
Էլեկտրամագնիսական ալիքի թափանցման խորությունն է՝ $\Delta_m = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu_e \omega}}$:

Թափանցման խորությունը որոշում է մակերևութային շերտի հաստությունը, որում անջատվում է ամբողջ էներգիայի 95%: Δ_m խորության վրա Էլեկտրամագնիսական ալիքը գրեթե ամբողջությամբ մարում է: Կոմպլեքս մագնիսական դիմադրության բաղադրիչների հարաբերությունը գրեթե հաստատուն է և հավասար $R/X \cong 0.60$ [80-84]:

Գործնական հաշվարկների համար մտցված է միավոր կոմպլեքս մագնիսական դիմադրություն հասկացությունը: Դա մագնիսալ արի դիմադրությունն է, երբ $\frac{l_m}{u} = 1$, $f = 1$: Մագնիսալ արի տեղամասի $Z_{(1)}$ միավոր կոմպլեքս մագնիսական դիմադրությունը հանդիսանում է Φ ունկցիայի մեծություններից, որոնք որոշում են այն նյութի Էլեկտրական և մագնիսական հատկությունները, որից պատրաստված է մագնիսալ արը: Հետևապես, հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում, երբ կարելի է համարել $\rho = \text{const}$, $Z_{(1)}$ մեծությունը կախված է միայն մակերեսի վրամագնիսական դաշտի H_e Լ արվածությունից:

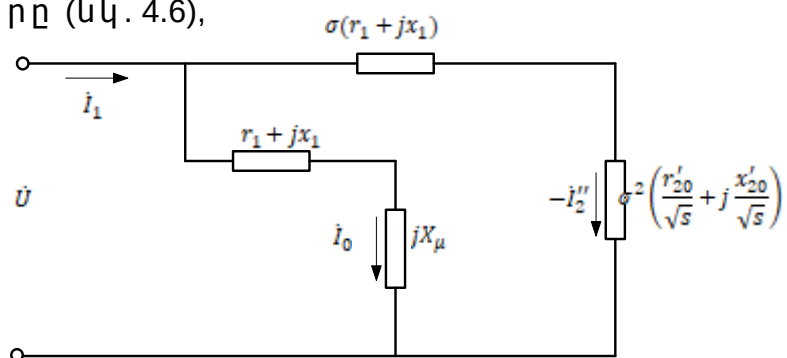
Չնայած Φ եռոմագնիսական նյութերի հատկությունների բազմազանությանը, դրանցից շատերի համար կառուցված $Z_{(1)} = f(H_e)$ կախվածությունները համեմատաբար քիչ են տարբերվում միմյանցից: Այդ պատճառով շատ դեպքերում, գործնական հաշվարկների ժամանակ հնարավոր է դառնում օգտվել որոշակի ունիվերսալ $Z_{(1)} = f(H_e)$ կորից, որն առավել հաճախ կիրառվող Φ եռոմագնիսական նյութերի համար հանդիսանում է միջին (նկ. 4.5), որտեղ մագնիսացման կորի ապրոկսիմացման գործակիցն ընդունված

Ե՝ $u_f = 7$, ինչը գործնական հաշվարկների ժամանակ տալիս է $Z_{(1)}$ -ի բավականաչափ ճշգրիտ արժեք:



Նկ. 4.5. Չանգվածային մագնիսալարի միավոր կոմպլեքս մագնիսական դիմադրության ու նիվերսալ կախվածությունը մակերեսի վրա մագնիսական դաշտի լարվածությունից

ԱԴՀ փոխարինման սխեմայի կառուցման համար անհրաժեշտ է իմանալ սնող լարման f_0 հիմնական հաճախության դեպքում չանգվածային ռոտորի բերված պարամետրերը՝ r'_{20}, x'_{20} համապատասխանաբար ռոտորի բերված ակտիվ և ինդուկտիվ դիմադրությունները (նկ. 4.6),



Նկ. 4.6. Չանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենայի ճշգրտված ԴՆ փոխարինման սխեմա

որտեղ $\dot{U}$ և արու մն է, $\dot{I}_1$ ստատորի հոսանքը, $\dot{I}_0$ մագնիսացնող ճյուղի հոսանքը, $-\dot{I}'_2$ գլխավոր ճյուղի հոսանքը, r_1 ստատորի ակտիվ դիմադրությունը, x_1 ստատորի ռեակտիվ դիմադրությունը, r'_{20} ռոտորի բերված ակտիվ դիմադրությունն է $s=1$ դեպքում, x'_{20} ռոտորի բերված ռեակտիվ դիմադրությունն է $s=1$ դեպքում, σ ճշգրտման գործակիցն է:

Նկ. 4.6-ում պատկերված փոխարինման սխեմայում σ ճշգրտման գործակիցը փոխում է գլխավոր և մագնիսացնող ճյուղերի հիմնական պարամետրերը և համապատասխան հոսանքներն ըստ մեծության և ֆազային անկյունների, սակայն կախված չէ սահքից՝

$$\sigma = \sqrt{\left(1 + \frac{x_1}{x_\mu}\right)^2 + \left(\frac{r_1}{x_\mu}\right)^2} : \quad (4.36)$$

x_μ արժեքը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով [80]՝

$$x_\mu = 2mf \frac{\mu_0 D l}{k_\mu k_\delta \delta} \left(\frac{w_1 k_{o1}}{P} \right)^2 : \quad (4.37)$$

ճշգրտված փոխարինման սխեմայում x_μ էլեկտրական դիմադրությունը համապատասխանում է մեքենայի խարսխի միջուկի և օդային բացակի մագնիսական դիմադրությանը, իսկ I_μ -ն իրենով որոշում է F_μ ՄՇՈՒ-ն, որն անհրաժեշտ է փոխինդուկցիայի մագնիսական հոսքը ստատորի մագնիսալարով և օդային բացակով անցկացնելու համար: Նշված հանգամանքը զանգվածային ռոտորով ԱԴՀ փոփոխված փոխարինման սխեման տարբերում է սովորական ասինխրոն մեքենայի փոխարինման սխեմայից, որում I_μ -ն որոշում է մեքենայի ամբողջ մագնիսական շղթայով մագնիսական հոսքի անցման համար անհրաժեշտ ՄՇՈՒ-ն:

ԱԴՀ զանգվածային ռոտորի պարամետրերի հաշվարկն անհրաժեշտ է իրականացնել հետևյալ հաջորդականությամբ՝ հաշվի առնելով, որ էլեկտրական և մագնիսական դիմադրությունների միջև գոյություն ունի հետևյալ կապը՝ $\frac{x}{r} = \frac{R}{X}$ [81]:

$$a = \frac{x'_{20}}{r'_{20}} = 0.6, \quad (4.38)$$

$$b = \frac{r_1}{x_1}, \quad (4.39)$$

$$h = \sqrt{\frac{1+a^2}{1+b^2}}, \quad (4.40)$$

$$q = \frac{a \pm b}{\sqrt{(1+a^2)(1+b^2)}}, \quad (4.41)$$

$$M_{kp} = \pm \frac{0.5U^2 m}{\sigma x_1 n_1} \cdot \frac{1}{a \pm b + \sqrt{(1+a^2)(1+b^2)}}, \quad (4.42)$$

$$I'_{2kp} = \frac{U}{\sqrt{2}x_1} \cdot \sqrt{\frac{h}{a \pm b + \sqrt{(1+a^2)(1+b^2)}}}, \quad (4.43)$$

$$F_{2kp} = 2.7 \frac{w_1 k_{01}}{p} I'_{2kp}, \quad (4.44)$$

$$H_{ekp} = \frac{F_{2kp}}{\sqrt{2}k_h \tau}, \quad (4.45)$$

որտեղ k_h – ը բևեռային բաժանմունքի երկայնքով մագնիսական ինդուկցիայի բաշխման անհավասարաչափ բնույթը հաշվի առնող գործակից է՝ $k_h = 0.63$ [80]:

Համաձայն նկ. 4.5-ի որոշվում է $Z_{(1)20}$ մեծությունը 20°C ջերմաստիճանի դեպքում: Մագնիսական դիմադրության արժեքը ռոտորի ջերմաստիճանի դեպքում հավասար է՝

$$Z_{(1)t^0} = \frac{Z_{(1)20}}{\sqrt{1 + \alpha_{20}(t - 20)}}, \quad (4.46)$$

որտեղ $\alpha_{20} = 0.005$ պողպատի դիմադրության ջերմային գործակիցն է:

Տրված ջերմաստիճանի դեպքում կոմպլեքս մագնիսական դիմադրությունից էլ եկտրականի անցումը կարելի է իրականացնել հետևյալ բանաձևով՝

$$z'_{20} = j \frac{\pi \sqrt{f_0}}{Z_{(1)t^0}} \cdot \frac{m(w_1 U_{01})^2}{k_\Lambda p} = r'_{20} + jx'_{20}, \quad (4.47)$$

որտեղ k_Λ -ը ճակատային էֆեկտի գործակիցն է [81]:

ԱԴՀ մեխանիկական բնութագրերի որոշման համար կարելի է օգտագործել հաստատուն պարամետրերով ասինխրոն մեքենաների հարաբերական բնութագրերը (Կլոսի բանաձև), որը տվյալ դեպքում կարող է ներկայացվել հետևյալ տեսքով՝

$$M_{\sigma} = M_{kp} \frac{2(1+q)}{\sqrt{\frac{s}{s'_{kp}}} + \sqrt{\frac{s'_{kp}}{s}} + 2q}, \quad (4.48)$$

որտեղ $s_{kp} = \left(\frac{\sigma \cdot r'_{20}}{x_1} h \right)^2$ կրիտիկական սահքն է:

Անհրաժեշտ է նշել, որ զանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենայի կրիտիկական սահքը չի հանդիսանում հաստատուն մեծություն: Այն որոշվում է զանգվածային ռոտորի հագեցման աստիճանով և, վերջին հաշվով, կախված է s սահքից:

Սահքի այն արժեքը, որում r'_{20} պարամետրը համապատասխանում է երկրորդային հոսանքի կրիտիկական I'_{2kp} արժեքին, հանդիսանում է իրական կրիտիկական սահք: Իրական կրիտիկական սահքը տվյալ մեքենայի համար սեղմակների վրա տրված լարման և կայուն ջերմաստիճանի դեպքում հանդիսանում է հաստատուն մեծություն, քանի որ I'_{2kp} մեծությունն այդ պայմաններում նույնպես հաստատուն է: Երկրորդային I'_{20} հոսանքի ցանկացած այլ արժեքի համար փոխվում է r'_{20} պարամետրը և, հետևապես, նաև կրիտիկական սահքի մեծությունը: Դրա հետ կապված, երկրորդային հոսանքի $I'_2 \neq I'_{2kp}$ ցանկացած արժեքին համապատասխանող կրիտիկական սահքը հանդիսանում է s'_{kp} կրիտիկական սահքի ընթացիկ արժեք, ընդ որում $s'_{kp} = f(s)$:

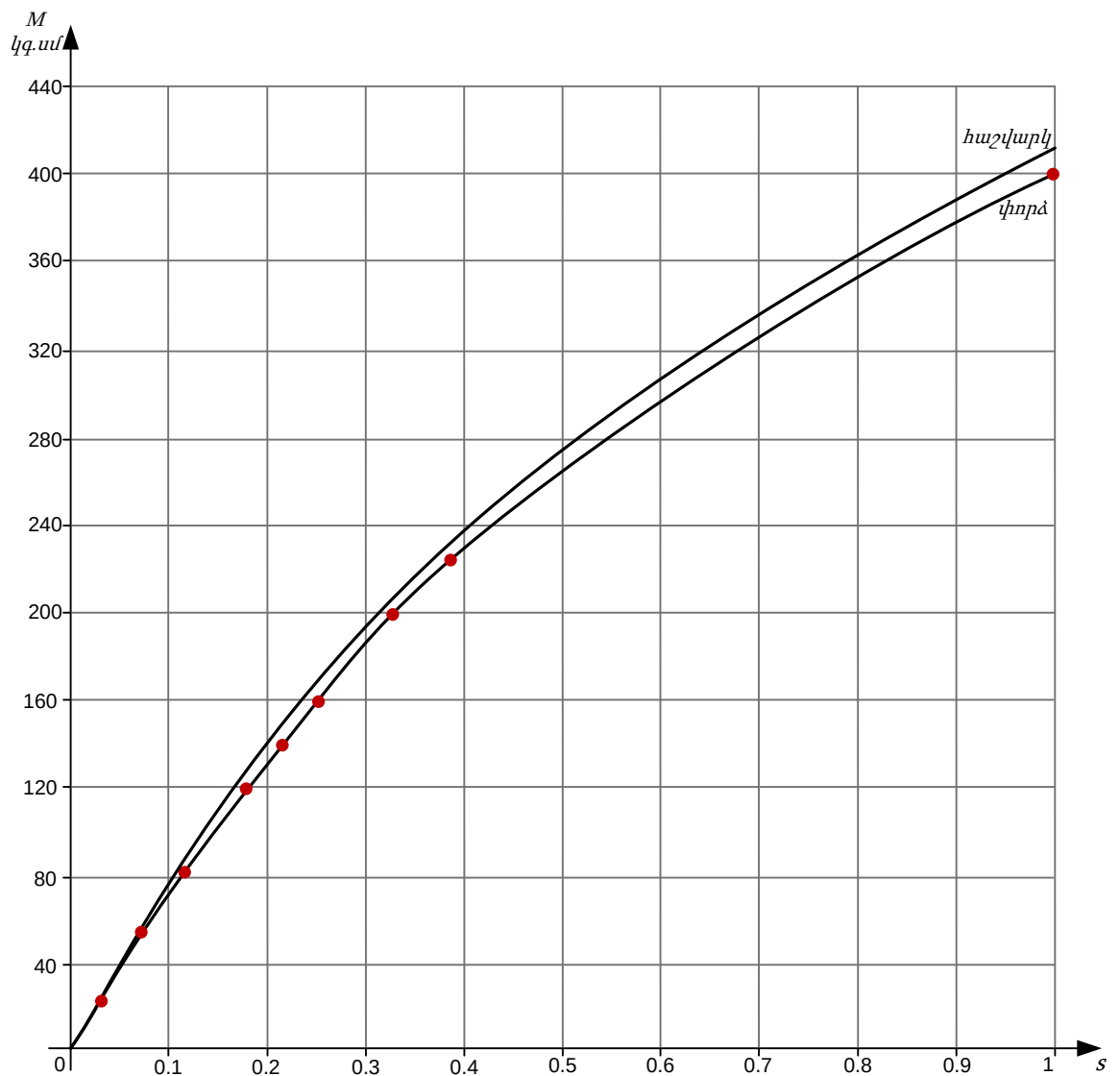
Այսպիսով զանգվածային ռոտորի հագեցման հաշվառքի դեպքում նման ասինխրոն մեքենայի իրական հարաբերական բնութագրերն առանց հագեցման հաշվառքի ստացված բնութագրերից կտարբերվեն միայն նրանով, որ s սահքի ամեն արժեքին կհամապատասխանի ընթացիկ s'_{kp} սահքի որոշակի արժեք:

Այս պիստով, (4.48) արտահայտու թյամբ մոմենտի որոշման համար $\frac{s}{s_{kp}}$

փոխարեն անհրաժեշտ է տեղադրել $\frac{s}{s'_{kp}}$ արժեքը: Ընթացիք կրիտիկական s'_{kp} սահմանի արժեքը s սահման կապող կախվածությունն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\frac{s}{s_{kp}} = \frac{s}{s'_{kp}} \left(\frac{\frac{1}{(s/s'_{kp})} + 2q \frac{1}{\sqrt{s/s'_{kp}}} + 1}{2(1+q)} \right)^{\frac{u-1}{2u}} : \quad (4.49)$$

Մշակված մեթոդիկայի հիման վրա հաշվարկվել են ԱԴՀ մեխանիկական բնութագրերը և համեմատվել փորձնական տվյալների հետ, որոնք ստացվել են A51-4 ասինխրոն շարժիչով ստացված փորձնական օրինակի վրա, որտեղ նորմալ կարճ միացված ռոտորը փոխարինվել է զանգվածային ֆեռոմագնիսական ռոտորով, որի համար $u = 7$: Ստացված մեխանիկական բնութագրերը ներկայացված են նկ. 4.7-ում, որտեղ առավելագույն տարամիտումը կազմում է 6% [81, 82, 83, 84]:



Նկ. 4.7. ԱԴՀ մեխանիկական բնույթագիրը

Այսպիսով, հիդրոագրեգատի տատանողական պրոցեսի ժամանակ կարելի է որոշել արտաքին դեմաֆերային համակարգի կողմից ստեղծված անհրաժեշտ մոմենտը, և, այդպիսով նվազեցնել ՓՋԷԿ հիդրոագրեգատի տատանումների ամպլիտուդը: Արտաքին դեմաֆերային համակարգը հնարավորություն է տալիս սինխրոն գեներատորին աշխատել համեմատաբար երկար գերբեռնումների ժամանակ, քանի որ նվազեցնում է ներքին դեմաֆերային փաթույթի բեռը: Բացի տատանումների մարումից, ԱԴՀ կարող է կիրառվել նաև որպես լիսեռաշրջադարձային մեքենա՝ ապահովելով սինխրոն հիդրոագրեգատի սահուն ու անվտանգ թողարկումը, քանի որ

ապահովվում է բարձր թողարկման մոմենտ և թողարկման ամբողջ ընթացքում սահուն գործընթաց:

4.6.Սինխրոն հիդրոագրեգատի թողարկումը և վթարային արգել ակումը արտաքին դեմաֆերային համակարգի օգնությամբ

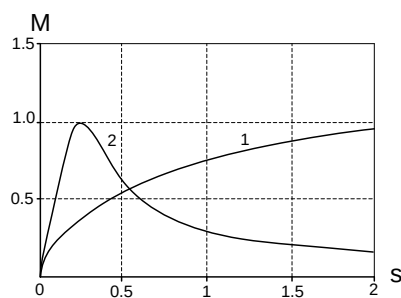
Սինխրոն մեքենաների թողարկումն անմիջապես ցանցին միացմամբ անհնար է, քանի որ ռոտորը՝ իր նշանակալի իներցիայի պատճառով, չի կարող անմիջապես շարժի դրվել ստատորի պտտվող մագնիսական դաշտի կողմից, որի պտտման հաճախությունը հաստատվում է վարկենապես: Արդյունքում ստատորի և ռոտորի միջև կայուն մագնիսական կապ չի առաջանում: Սինխրոն մեքենայի թողարկման համար կիրառվում են հատուկ մեթոդներ, որոնց էությունը կայանում է ռոտորը մինչև սինխրոն կամ դրան մոտ պտտման հաճախության նախապես հասցնելը, որի դեպքում ստատորի և ռոտորի միջև հաստատվում է կայուն մագնիսական կապ (սինխրոնիզացիա) [33]:

Ասինխրոն թողարկման ժամանակ, սինխրոն մեքենան իր խարսխի փաթույթում ցանցին միացնելուց հետո առաջացող ասինխրոն մոմենտի հաշվին թափառնում է մինչև սինխրոն արագությանը մոտ արագության, ինչից հետո գրգռման փաթույթին լարում մատուցելով ստեղծվում է սինխրոնիզացնող պտտող մոմենտ և ինդուկտորը մտնում է սինխրոնիզմի մեջ [33]:

Ռոտորի կարճ միացված կոնտուրներում ինդուկցված հոսանքների և պտտվող դաշտի փոխազդեցության արդյունքում ռոտորի վրա ազդում է ասինխրոն էլեկտրամագնիսական մոմենտ, որի մի մասը ձևավորվում է դեմաֆերային փաթույթում ինդուկցվող հոսանքների հաշվին: Այդ պատճառով դեմաֆերային փաթույթի պարամետրերը (դրա ակտիվ և ինդուկտիվ դիմադրությունները, որոնք կախված են ձողերի թվից, չափերից և նյութից) ընտրվում են նախագծման ժամանակ՝ ելնելով թողարկման պայմաններից այնպես, որպեսզի թողարկման բոլոր փուլերում ապահովվի բավականաչափ ասինխրոն մոմենտ:

Սինխրոն մեքենայի դեմաֆերային փաթույթի վրա իր ազդեցությունն ունի արտաքին մոմենտը, որը պետք է հաղթահարվի թողարկման ժամանակ: Բոլոր դեպքերում դեմաֆերային փաթույթի չափերը պետք է այնպիսին լինեն, որ դրա շերտաձևի թողարկման ավարտին չգերազանցի 250°C : Բավականաչափ մեծ ասինխրոն մոմենտ ապահովելու համար սինխրոն մեքենաները համալրվում են երկայնական-լայնական դեմաֆերային փաթույթներով:

Չանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենայի տեսքով ԱԴՀ-ն ունի լավ թողարկման հատկություններ, ապահովում է մեծ թողարկման մոմենտն միաժամանակ, փոքր սահքերի դեպքում կոշտ մեխանիկական կապ աշխատանքային ռեժիմում: Սակավաթեք մեխանիկական բնութագիրը հնարավորություն է տալիս զանգվածային ռոտորով ԱԴՀ-ին կայուն աշխատել պտտման արագության փոփոխման լայն դիապազոնում, ինչը պայմանավորված է կրիտիկական սահքի մեծ արժեքով (նկ. 4.8) [81]:



Նկ. 4.8. Ասինխրոն մեքենաների մեխանիկական բնութագրերի համեմատում

- 1- զանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենա,
- 2- ավանդական ասինխրոն մեքենա

Չանգվածային մագնիսալարի պարամետրերի փոփոխման ճանապարհով, մասնավորապես կիրառելով պղնձի և երկաթի (Fe-Cu) համաձուլվածք, կարելի է փոքրացնել ԱԴՀ կրիտիկական սահքը, մեծացնելով այդ պարագայում թողարկման մոմենտը: Թողարկման մոմենտի մեծ արժեքն ապահովում է սինխրոն հիդրոագրեգատի սահուն և անվտանգ թողարկումը $s_{\text{кр}}=1$ դեպքում:

ԱԴՀ-ն կարևոր դերակատարում ունի հանկարծակի վթարային ռեժիմների ժամանակ հիդրոագրեգատի արգելակումն համար, երբ տեղի է ունենում արտաքին պտտող մոմենտի մեծացում ջրի ճնշման

մեծացման դեպքում, քանի որ վթարային փականները գործում են ոչ անմիջապես և մինչև ջրի մուտքը ճնշումային խողովակ կսահմանափակվի ղեկավարման փականների օգնությամբ, հիդրոագրեգատը հասցնում է արագանալ, ինչն էլ բերում է համակարգի վնասմանը: Արտաքին դեմաֆերային համակարգի և ղեկավարման համակարգի օգնությամբ կարելի է ստեղծել հակադարձ մոմենտ և այդպիսով ապահովել հիդրոագրեգատի անվտանգ արգելակումը:

4.7. Եզրակացություն

Այսպիսով, հիդրոագրեգատի տատանողական պրոցեսի ժամանակ կարելի է որոշել ԱԴՀ-ի կողմից ստեղծված անհրաժեշտ մոմենտը, և, այդպիսով նվազեցնել ՓՅԵԿ հիդրոագրեգատի տատանումների ամպլիտուդը: ԱԴՀ-ը հնարավորություն է տալիս սինխրոն գեներատորին աշխատել համեմատաբար երկար գերբեռնումների ժամանակ, քանի որ նվազեցնում է ներքին դեմաֆերային փաթույթի բեռնվածության աստիճանը և բարելավում դրա ջերմային վիճակը: Բացի տատանումների մարումից, ԱԴՀ կարող է կիրառվել նաև որպես լիսենաշրջադարձային մեքենա՝ ապահովելով սինխրոն հիդրոագրեգատի սահուն և անվտանգ թողարկումը, քանի որ ապահովվում է բարձր թողարկման մոմենտ և թողարկման ամբողջ ընթացքում սահուն գործընթաց:

ԱԴՀ ունեցող կոմպակտ հիդրոագրեգատի կիրառումը մեծացնում է ՓՅԵԿ-ի աշխատանքի կայունությունը: Սինխրոն հիդրոագրեգատի ռոտորի տատանումները նախ և առաջ կախված են կոմպակտ հիդրոագրեգատի դեմաֆերացման գործակիցների (D_{m2}, D_{m6}) մեծությունից: Դեմաֆերացման գործակիցների մեծությունները կարելի է որոշել դեմաֆերային փաթույթ ունեցող սինխրոն գեներատորի պարամետրերի և մշակված ԱԴՀ-ի փոխարինման սխեմայի պարամետրերի օգնությամբ: ԱԴՀ-ի դեմաֆերացման գործակիցը որոշվում է դրա կրիտիկական սահքի արժեքով: Այն կարող է նպաստել համեմատաբար մեծ դեմաֆերացման գործակցի արժեք ստանալուն, ինչը, որպես հետևանք, բերում է բեռի անկյան շեղման և տատանումների ոչ պարբերական փոփոխմանը: Մշակված ԱԴՀ-ը, որն

աշխատում է զուգահեռ ներքև դեմաֆերային փաթույթի հետ, փոքրացնում է հիդրոագրեգատի տատանումների պարբերությունը՝ հանգստացնելով դրանք: Այն բարելավում է սինխրոն գեներատորի աշխատանքի ռեժիմը, նվազեցնում է ներքին դեմաֆերային փաթույթի բեռը շարունակական աշխատանքի ժամանակ, թույլ է տալիս գեներատորին աշխատել համեմատաբար երկարատև գերբեռնումների դեպքում: ԱԴՀ-ի օգնությամբ կարելի է ապահովել սինխրոն հիդրոագրեգատի սահուն և անվտանգ թողարկումը, ինչպես նաև արգելակումը վթարների ժամանակ:

5. ԱՐՏԱՔԻՆ ԴԵՄՈՆՏԵՐԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՆԱԽԱԳՏՄԱՆ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ԱՊԱՐԱՏԱՆ ՄՇԱԿՈՒՄ

5.1. Ծրագրային ապահովման մշակման համար ընտրված ծրագրավորման լեզուն

ԱԴՀ նախագծման և համապատասխան պարամետրերի ստացման համար ընտրվել և օգտագործվել է .Net միջավայրում աշխատող C# ծրագրավորման լեզուն [85-90]: .Net միջավայրի և C# ծրագրավորման լեզվի կիրառումը տալիս է հետևյալ առավելությունները՝

1. Աշխատանքային ռեսուրսների խնայողություն: Սահնարավոր է, քանի որ առկա են պատրաստի բազմաթիվ դասեր և ֆունկցիաներ:

2. Մշակված ծրագրային ապահովումը հնարավոր է կիրառել ոչ միայն Windows օպերացիոն համակարգում, այլ նաև Mac OS, Unix, Linux:

3. Անվտանգ կոդ, որի շնորհիվ նվազագույնին են հասցվում ծրագրային սխալները:

4. JIT կոմպիլյատոր (Just-in Time), որը կատարում է օպտիմալացում՝ կախված հաշվողական մեքենայի պարամետրերից:

ԱԴՀ ավտոմատացված նախագծման համար ստեղծված ծրագրային ապահովումն ունի լայն հնարավորություններ ընդլայնվելու և կիրառվելու ընդհանրապես էլեկտրական մեքենաների նախագծման համար և կոչվել է էլեկտրական մեքենաների նախագծման ինտերակտիվ ծրագրային ապահովում (ԷՄԻՃԱ): Այն ունի կենտրոնացված տվյալների բազա, որը համարվել է ԱԴՀ նախագծման համար անհրաժեշտ բոլոր աղյուսակներով և կորերով: Որպես տվյալների բազայի ղեկավարման համակարգ ընտրվել է MS SQL Server բազան [91, 92]: Ծրագրային ապահովման և տվյալների բազայի հետ կապը հաստատվում է կիրառելով Entity Framework, Linq to Entity տեխնոլոգիաները [93]:

ԷՄԻՃԱ-ը նախատեսված է այնպես, որ հետագայում հնարավոր լինի ավելացնել կամ փոփոխել էլեկտրական մեքենայի հաշվարկային բանաձևերը: Բացի այդ, ԷՄԻՃԱ-ը հնարավորություն է տալիս հաշվարկել օպտիմալ էլեկտրական մեքենա՝ նպատակային և սահմանափակող ֆունկցիաների դինամիկ կառուցման

հնարավորություն, այսինքն՝ օգտատերը չունենալով ծրագրավորման գիտելիքներ, կարող է միջամտել ծրագրային ապահովման հաշվարկային գործընթացին, կառուցել նպատակային և սահմանափակող ֆունկցիաներ: Այս մոտեցումներն իրականացնելու համար կիրառվել է «արտացոլում» (reflection) տեխնոլոգիան [85-93]:

ԷՄԻՃԱ-ը հնարավորություն ունի տվյալները փոխանցել MS Word տեքստային խմբագրիչի մեջ: Բացի այդ, ԷՄԻՃԱ-ը հնարավորություն ունի աշխատելու AutoCAD գրաֆիկական դիզայների հետ, որպեսզի հնարավոր լինի նախագծված համակարգի ավտոմատ արտապատկերումը: Նախագծվող ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ մեքենայի անցումային պրոցեսների հետազոտության համար ԷՄԻՃԱ-ի տվյալները փոխանցվում են MatLab, MatLab Simulink ծրագրավորման միջավայր՝ այնտեղից տվյալներ ստանալով: Այս խնդիրները լուծելու համար կիրառվում է OLE տեխնոլոգիան (Object Linking and Embedding օբյեկտների՝ այլ օբյեկտների կամ փաստաթղթերի մեջ, կապի և ներդրման տեխնոլոգիա) [94]:

Մշակված ծրագրային ապահովման մեջ Help&Manual ծրագրային ապահովման միջոցով հնարավոր է ստեղծել օգնության պատուհան, որը հնարավորություն կտա ծրագրի օգտատիրոջը կողմնորոշվել ինչպես ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ մեքենաների նախագծման, այնպես էլ ԷՄԻՃԱ-ից օգտվելու հարցերում: Հաշվի առնելով, որ տվյալների արտապատկերման և ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ մեքենայի հաշվարկի համար կարող է պահանջվել մեծ մեքենայական ժամանակ, ԷՄԻՃԱ-ում իրականացվել է բազմահոսք ծրագրավորում: Բազմահոսք ծրագրավորումը թույլ է տալիս ծրագրի օգտատիրոջն իրականացնել այլ գործողություններ մինչդեռ ԷՄԻՃԱ-ը զբաղված է խնդրի լուծմամբ կամ տվյալների արտապատկերմամբ [85-94]:

Վերլուծելով գոյություն ունեցող ծրագրային ապահովումները կարելի է ձևակերպել հետևյալ դրույթները՝ մշակված ծրագրային ապահովման համար.

1. ինտերակտիվության կազմարկերպման գործընթացի ճկունություն,
2. հաշվարկային բանաձևերի արտապատկերում,
3. օգնության պատուհանից օգտվելու հնարավորություն,

4. հաշվարկային բանաձևերում մասնակցող ցանկացած պարամետրերի մասին ինֆորմացիայի ստացում,
5. հետագայում ծրագիրը զարգացնելու, ընդլայնելու հնարավորություն,
6. հաշվարկային բանաձևերում ընդգրկված կորերի և աղյուսակների փոփոխություն,
7. հաշվարկած համակարգի նախագծի պահպանում կոշտ սկավառակի վրա,
8. հաշվետվություններ կայացում:

5.2. Ծրագրային ապահովման մշակման ընթացքում կիրառված լուծումները

Օբյեկտ-կողմնորոշված ծրագրավորում: Microsoft.Net C#

հանդիսանում է օբյեկտ-կողմնորոշված ծրագրավորման լեզու (ՕԿԾ): ՕԿԾ-ի հիմքում ընկած է օբյեկտ հասկացությունը, որը կարելի է համարել մի «սև արկղ», որին ուղարկվում են հաղորդագրություններ և որը կարող է այդ հաղորդագրություններին արձագանքել՝ օգտագործելով իր տվյալները: Օբյեկտի տվյալները ծածկված (փակված) են մնացած ծրագրային կոդի համար, ինչը կոչվում է ինկապսուլյացիա, որը ծրագրավորման լեզվի մեխանիզմ է և սահմանափակում է օբյեկտի բաղկացուցիչների (մեթոդների և հատկությունների) հասանելիությունը, դարձնում է դրանք գաղտնի և հասանելի միայն օբյեկտի ներսում [95, 96]:

Ինկապսուլյացիայի առկայությունը բավարար է լեզուն օբյեկտային անվանելու համար, սակայն ՕԿԾ առավելությունները զգալու համար անհրաժեշտ է, որ լեզուն ապահովի նաև ժառանգականություն և պոլիմորֆիզմ:

ՕԿԾ-ում դաս հասկացության առաջացումը պայմանավորված է նման վարքագծով բազմաթիվ օբյեկտներ ունենալու ցանկությամբ: Այստեղ դասը տվյալների աբստրակտ տիպ է, որը ստեղծվում է ծրագրավորողի կողմից: Այս տեսանկյունից դիտելիս՝ օբյեկտները այդ աբստրակտ տիպի արժեքներն են, իսկ դասի

սահմանումը տալիս է դրանց տվյալների ներքին կառուցվածքը և այդ տվյալների հետ կատարվելիք գործողությունները: Եթե մի քանի դաս ունեն համանման վարքագիծ, ապա տրամաբանական է ծրագրային կոդ չկրկնելու ցանկությունը՝ ինչը իրականացվում է ժառանգման միջոցով: Ժառանգման սկզբունքը կայանում է նրանում, որ կարիք չկա սահմանել մի քանի միանման դաս, երբ ուղղակի կարելի է խմբավորել այդ դասերի ընդհանուր մասերը մի՝ ծնող դասի մեջ, և այնուհետև, ժառանգել մնացածը այդ դասից՝ դրանց սահմանման մեջ նշելով միայն ծնողի նկատմամբ տարբերությունները [95, 96]:

Տարբեր դասերի օբյեկտների համատեղ օգտագործման անհրաժեշտությունը բերում է պոլիմորֆիզմ գաղափարի ներդրմանը: Սա հնարավորություն է տալիս տարբեր դասերի օբյեկտները գրանցել նույն տիպի փոփոխականների մեջ: Այս պայմաններում, հաղորդագրություն ուղարկող օբյեկտը իրականում կարող է ինֆորմացիա չունենալ ընդունողի դասի մասին, այսինքն՝ նույն տիպի փոփոխականներին (որոնք պարունակում են տարբեր դասերի օբյեկտներ) ուղարկված հաղորդագրությունը կառաջացնի տարբեր ռեակցիաներ:

Մեծ կարևորություն ունի դասերի հիերարխիայի ճիշտ կառուցումը: ՕԿՄ մոտեցումներով ստեղծված մեծ համակարգերի հայտնի խնդիրներից մեկը, այսպես կոչված, բազային դասի փխրունության խնդիրն է: Խնդիրը կայանում է նրանում, որ նախագծման հետագա փուլերում, երբ դասերի հիերարխիան արդեն կառուցված է և դրա հիմքի վրա արդեն գրվել է բավականին մեծ քանակությամբ ծրագրային կոդ, բազային դասի մեջ փոփոխություն մտցնելը դառնում է գրեթե անհնար: Քանի որ բազային դասը նախագծողին հայտնի չէ, նախագծած դասի ժառանգներում անհնար է իմանալ, թե այդ դասի պահվածքի փոփոխությունը ինչի է կարող հանգեցնել [95, 96]:

Նախագծման ձևանմուշներ: Որպեսզի դասերի հիերարխիան կառուցվի ճկուն և հետագա փոփոխությունները չազդեն ծրագրային ապահովման աշխատունակության վրա կիրառվել են նախագծման ձևանմուշներ (design pattern) [97]: Որպես կանոն օբյեկտ-

կողմնորշված նախագծման ձևանմուշները ցույց են տալիս դասերի և օբյեկտների փոխաբերությունները՝ առանց նշելու նախագծին մասնակցող դասերի կամ օբյեկտների վերջավոր թիվը: ՕԿԾ-ի մեջ կիրառությունն չունեն այն ձևանմուշները, որոնք ունեն փոփոխական վիճակներ: Ծրագրային ապահովումը մշակելիս կիրառվել են մի շարք նախագծման ձևանմուշներ, որոնք ներկայացված են ստորև:

MVC նախագծման ձևանմուշը, Model-view-controller (MVC՝ մոդել-տեսք-ղեկավարող), մի քանի նախագծման նմուշների օգտագործման սխեմա է, որը բաժանված է երեք առանձին կոմպոնենտների՝ մոդելի, տեսքի (պատուհաներ, ծրագրային ապահովման տեսքը) և ղեկավարողի (օգտատիրոջ փոխազդեցությունը): Բաժանման հետևանքով որևիցե կոմպոնենտի փոփոխությունն ունենում է մինիմալ ազդեցություն մնացած կոմպոնենտների վրա [95-97]:

Այս ձևանմուշն ունի երկու տարբերակ՝

1. Պասիվ մոդել, որը չի կարողանում փոխազդել տեսքի կամ ղեկավարողի հետ և նրանց կողմից օգտագործվում է որպես արտապատկերման համար տվյալների աղբյուր: Մոդելի բոլոր փոփոխությունները վերահսկվում է ղեկավարողի կողմից և նա է պատասխանատու տեսքի արտապատկերման համար, եթե դրան հրաժեշտությունը կա: Այսպիսի մոդելն օգտագործվում է հիմնականում համակարգված ծրագրավորման մեջ, քանի որ այս դեպքում մոդելը հանդիսանում է ուղակի համակարգված տվյալների սկզբնաղբյուր:

2. Ակտիվ մոդել՝ մոդելը իրազեկում է տեսքին այն մասին, որ կատարվել է փոփոխություն, իսկ այն տեսքերը, որոնք հետաքրքրված են հաղորդագրություններ ստանալու մոդելից, գրանցվում են այդ հաղորդագրությունները ստանալու համար: Այս մոտեցումը թույլ է տալիս պահպանել մոդելի անկախությունը ինչպես ղեկավարողից, այնպես էլ տեսքից [95-97]:

MVC ձևանմուշի դասական տարբերակն ընդունված է համարել ակտիվ մոդելով տարբերակը: ՕԿԾ-ի և նախագծման ձևանմուշների զարգացման հետ մեկտեղ մշակվել են տարբեր տեսակի MVC ձևանմուշներ:

MVC-ի հիմնական ուղվածությունն է անջատել մոդելի տրամաբանությունը տեսքից: Այսպիսի բաժանումը մեծացնում է կրկնակի օգտագործման հնարավորությունը: Առավել արդյունավետ է այս ձևանմուշի օգտագործումը այն դեպքերում, երբ օգտատիրոջն անհրաժեշտ է դիտարկել նույն տվյալները տարբեր տեսանկյունից: Մասնավորապես այս ձևանմուշը կարող է կատարել հետևյալ խնդիրները.

1. Մոդելին կարելի է միացնել մի քանի տեսքեր, օրինակ՝ մոդելի որոշակի տվյալներ հնարավոր է արտապատկերել աղյուսակի, կորիև այլ տեսքերով:

2. Առանց տեսքի տրամաբանության փոփոխության կարելի է օգտատերի գործողությունները (մկնիկի սեղմում, տվյալների ներմուծում) այլ կերպ մշակել՝ փոփոխելով միայն դեկլարող մասը:

3. Այս ձևանմուշի շնորհիվ մոդելի տրամաբանությունը մշակելիս կարելի է անկախլիներ տեսքից:

Դեկորատոր ձևանմուշ: Օբյեկտին լրացուցիչ \$ֆունկցիոնալություն ավելացնելու անհրաժեշտության առաջացման պարագայում նոր \$ֆունկցիոնալություն կարելի է ավելացնել ժառանգականության միջոցով, սակայն այս դեպքում ժառանգ դասի բոլոր օբյեկտներն ունենալու են այդ \$ֆունկցիոնալությունը, հետևաբար, այս մոտեցումը ճկուն չէ: Ավելի ճկուն լուծում կհամարվի, եթե օբյեկտը ներդրվի մեկ այլ օբյեկտի մեջ, որը կոչվում է դեկորատոր: Դեկորատորը հետևում է դեկորացվող օբյեկտի ինտերֆեյսին և վերահասցեավորում հարցումները իր ներքին օբյեկտին: Այսպիսով, դեկորատորները կարող են ներդրել մեկը մյուսի մեջ և դրանով ապահովել ցանկացած քանակությամբ լրացուցիչ \$ֆունկցիոնալություն [95-97]:

Singleton միայնակ ձևանմուշը նախատեսված է ունիկալ օբյեկտների ստեղծման համար, որոնք գոյատևում են միայն մեկ օրինակով: Օրինակ՝ տվյալների բազայի կրկնօրինակը պետք է լինի մեկ օրինակից, մեկ օրինակից ավել լինելու դեպքում կարող է բերել միշտաբխնդիրների՝ հաշվողական մեքենայի ռեսուրսների անիմաստ ծախսի, ոչ տրամաբանական արդյունքների [95-97]:

Միայնակ ձևանմուշի ճարտարապետությունը հիմնված է գլոբալ փոփոխականի օգտագործման գաղափարի վրա, որն ունի հետևյալ կարևոր հատկությունները՝

1. այդպիսի փոփոխականը միշտ հասանելի է: Գլոբալ փոփոխականի կյանքի տևողությունն է համարվում ծրագրի թողարկման պահից մինչև նրա ավարտը,

2. տրամադրում է գլոբալ հասանելիությունն՝ այդպիսի փոփոխականը հասանելի է ծրագրային կոդի ցանկացած տեղից:

Որոշակի տիպի գլոբալ փոփոխականի անմիջական օգտագործումն անհնար է, քանի որ գոյություն ունի օբյեկտի միայնակության ապահովման խնդիրը: Այդ խնդիրը լուծելու համար միայնակ ձևանմուշը միայնակ օբյեկտի ստեղծման վերահսկումն ընձեռնում է հենց այդ դասին: Այդ օբյեկտի հասանելիությունն ապահովվում է ստատիկ փոփոխականի միջոցով: Յուրահատկությունն ապահովելու համար դասի կոնստրուկտորը և վերագրման օպերատորը հայտարարվում են փակ [95-97]:

Գործարանային մեթոդ և արստրակտ գործարան ձևանմուշներ:
Գործարանային մեթոդ ձևանմուշը հանդիսանում է արտադրող ձևանմուշ, որն իր ենթադասերին ապահովում է ինտերֆեյս՝ որոշակի դասի օբյեկտ ստեղծելու համար (նկ. 5.2): Ստեղծման պահին ժառանգ դասերը կարող են որոշել, թե ինչպիսի դասի օբյեկտ պետք է ստեղծվի [95-97]:

Աբստրակտ գործարան ձևանմուշը թույլատրում է փոփոխել համակարգի պահվածքը՝ փոփոխելով ստեղծվող օբյեկտները: Այս ձևանմուշը հնարավորություն է տալիս ստեղծել փոխկապակցված օբյեկտների մի ամբողջ խումբ: Այն իրականացվում է արստրակտ դասի ստեղծմամբ, որն իրենից ներկայացնում է կոմպոնենտների ստեղծման համար ինտերֆեյս [95-97]:

5.3. Մշակված ծրագրային ապահովման մեջ կիրառված տվյալների բազա

Մշակված ծրագրային ապահովումն իրենից ներկայացնում է «Client-Server» համակարգ:

Սերվերային մասում գտնվում է Microsoft SQL Server ռելացիոն տվյալների բազաների կառավարման համակարգը, որտեղ պահվում են էլեկտրական մեքենայի հաշվարկի համար անհրաժեշտ աղյուսակներն ու կորերը [91, 92]:

Հարցումների օգտագործվող հիմնական լեզուն Transact-SQL է, որը ստեղծվել է համատեղ՝ Microsoft-ի և Sybase-ի կողմից:

Տվյալների մուտքն ապահովելու համար Microsoft SQL Server-ն ապահովում է Open Database Connectivity (ODBC)՝ ծրագրերի փոխգործակցման ինտերֆեյս ռելացիոն տվյալների բազաների կառավարման համակարգի հետ (ՌՏԲԿՀ):

SQL Server-ն ապահովում է տվյալների բազաների հայելիացում և կլաստերացիա: SQL սերվերի կլաստերը նույն կառուցվածք ունեցող սերվերների հավաքածու է: Այդպիսի սխեման օգնում է աշխատանքի ծանրաբեռնվածությունը բաշխել մի քանի սերվերների միջև: Բոլոր սերվերներն ունեն միևնույն վիրտուալ անունը և

տվյալները աշխատանքի փուլի ընթացքում բաշխվում են կլաստերի IP հասցեների օգնությամբ:

Մի սերվերի կլաստերի խափանման կամ անսարքության դեպքում հնարավոր է ծանրաբեռնման ավտոմատ փոխանցում ուրիշ սերվեր [91, 92]:

SQL սերվերն ապահովում է հավելյալ տվյալների կրկնապատկում 3 սցենարներով.

1. Նկար. ստեղծվում է տվյալների բազաների «նկարը», որը սերվերն ուղարկում է ստացողներին:

2. Փոփոխումների պատմություն. տվյալների բազաների բոլոր փոփոխություններն անընդհատ փոխանցվում են օգտագործողներին:

3. Ուրիշ սերվերների հետ համաժամացում (սինխրոնիզացիա). մի քանի սերվերների տվյալների բազաները համաժամացվում են միմյանց հետ: Բոլոր տվյալների բազաների փոփոխությունները յուրաքանչյուր սերվերում կատարվում են միմյանցից անկախ, իսկ համաժամացման ժամանակ բոլոր տվյալները համեմատվում են: Այդպիսի կրկնապատկման տեսակն ապահովում է տվյալների բազաների միջև տարածայնությունների լուծման հնարավորությունը:

SQL Server-ում ներդրված է .NET Framework-ի ապահովում, ինչի շնորհիվ տվյալների բազաների պահպանելու ընթացակարգերը կարող են գրվել .NET պլատֆորմի ցանկացած լեզվով՝ օգտագործելով գրադարանների ամբողջ հավաքածուն, որն առկա է .NET Framework-ի համար, ինչպես նաև Common Type System-ը (Microsoft .NET Framework-ում տվյալների տեսակների դիմելու համակարգ): Սակայն ուրիշ պրոցեսների հետ համեմատած .NET Framework-ը, լինելով բազիսային համակարգ SQL Server-ի համար, հատկացնում է հավելյալ հիշողություն և, Windows-ի միջոցները օգտագործելու փոխարեն, օգտագործում է SQL Server-ի կառավարման միջոցները: Դա բարձրացնում է արտադրողականությունը՝ համեմատած Windows-ի ընդհանուր ալգորիթմների հետ, քանի որ ռեսուրսների բաշխման ալգորիթմները հատուկ կարգավորված են SQL Server-ի կառուցվածքներում օգտագործվելու համար [91, 92]:

Microsoft SQL Server-ը նույնպես իր մեջ ներառում է Common Language Runtime (CLR) Microsoft .NET, որը թույլ է տալիս իրականացնել պահպանվող ընթացակարգերը և տարբեր ծրագրային ֆունկցիաներ՝ ստեղծված .NET (օրինակ, VB.NET կամ C#) լեզուների պատճռով վրա:

Entity Framework-ը դա տվյալների օբյեկտ-կոդմնորշված տեխնոլոգիա է, որը հանդիսանում է ORM (object-relational mapping՝ օբյեկտ-ռելեացիոն արտապատկերում) լուծում [93]:

Entity Framework-ի նպատակն է հնարավորություն ընձեռնել օբյեկտային մոդելին փոխադրելու ռելեացիոն բազայի հետ: Օրինակ՝ տողերի և սյուների հավաքածուի հետ աշխատելու փոխարեն կարելի է հիմնվել խիստ տիպավորված օբյեկտների հավաքածուի վրա:

Ծրագրային ապահովումն ունի հնարավորություն MS Word տեքստային խմբագրիչում հաշվարկած մեքենայի հաշվետվությունն ստեղծելու: Այս լուծումը իրականացվել է կիրառելով OLE (Object Linking and Embedding) տեխնոլոգիան, որը Microsoft ընկերության կողմից մշակված տեխնոլոգիա է և թույլ է տալիս կապել կամ ներդնել օբյեկտներ մեկ այլ օբյեկտների մեջ: Այսպիսով, OLE-ն թույլ է տալիս փոխանցել որոշակի տվյալներ մեկ այլ ծրագրին: OLE-ի հիմնական առավելությունն է (բացի ֆայլի փոքր ծավալից) ստեղծել գլխավոր ֆայլ՝ ֆունկցիաների ցուցակ, որին և դիմում է ծրագիրը [98]:

InstallShield-ը համակարգ է ծրագրային ապահովումների տեղադրման փաթեթներ ստեղծելու համար՝ Windows և Linux օպերացիոն համակարգերում: Մեծամասամբ ծրագրային ապահովումներ վաճառվում և տարածվում են արխիվացված տեսքով: Ծրագրային ապահովման նորմալ աշխատանքի համար անհրաժեշտ է այն ապաարխիվացնել, իսկ ծրագրային ապահովման անխափան աշխատանքի համար՝ անհրաժեշտ բոլոր կոմպոնենտները պետք է ճիշտ տեղադրվեն համակարգչի վրա, հաշվի առնելով համակարգչի առանձնահատկությունները և օգտատիրոջ կարգավորումները: Ծրագրային ապահովման տեղադրման ժամանակ իրականացվում են տրված պահանջներին համապատասխանությամբ տարբեր տեսակի

թեստեր, իսկ համակարգիչը \$այլ երի և տվյալների պահպանման համար կարգավորվում է այնպես, որ ծրագրային ապահովումը անխափան աշխատի: Ծրագրային ապահովման տեղադրումը համակարգչում, որպես կանոն, ներառում է անհրաժեշտ \$այլ երի իրենց տեղերում տեղադրումը և կարգավորող \$այլ երի ստեղծումը [98]:

Մշակված ծրագրային ապահովման համար տեղադրման փաթեթը, ստեղծված InstallShield ծրագրի միջոցով, ապահովում է համակարգչում Microsoft Framework 4.0, և SQL Server սերվերային համակարգչի վրա տեղադրված լինելը: Տեղադրման ընթացքում օպերացիոն համակարգի մեջ գրանցվում է մշակված ծրագիրը, որի շնորհիվ բացվում են .emac ընդլայնումով \$այլ երը: Բացի այդ տեղադրման փաթեթը սերվերային համակարգչի վրա ստեղծում է մի թղթապանակ, որը հասանելի է լոկալ ցանցում: Այդ թղթապանակի օգնությամբ իրականացվելու են ծրագրային ապահովման թարմացումները [91-93, 98]:

Մշակված ծրագրային ապահովման սահուն և անխափան աշխատանքի համար կիրառված են նաև մի քանի հետևյալ գրադարանները՝ մշակված կողմնակի կազմակերպությունների կողմից:

Մշակված ծրագրային ապահովման մեջ կիրառվել է Developer Express-ի կողմից մշակված պատուհան, որը օգտատիրոջը տեղեկացնում է ծրագրային ապահովման որոշակի գործողություն և կատարելու մասին [99]:

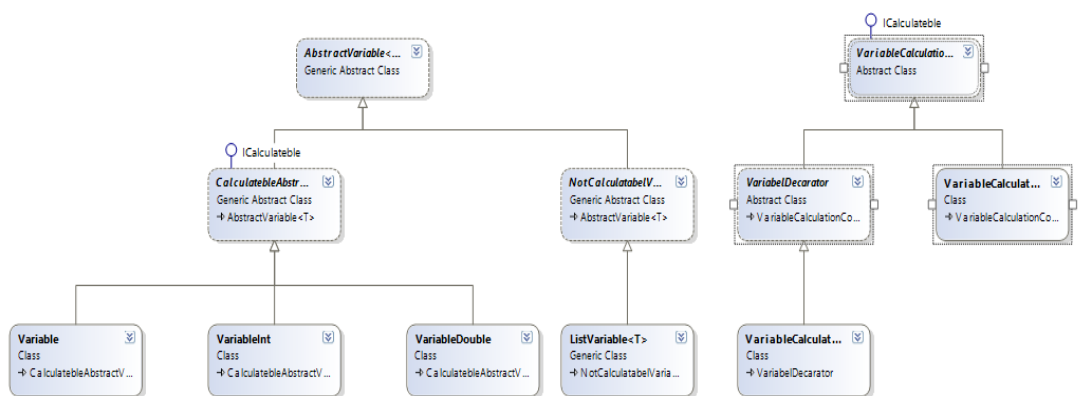
Ծրագրային ապահովման մեջ կիրառված մաթեմատիկական պատկերները ստեղծվել են Mimetex գրադարանի օգնությամբ, որը թույլ է տալիս ստեղծել պատկերներ մաթեմատիկական բանաձևերով՝ LaTeX նախադասություններից ստանալով բանաձևի նկարը [100]:

Ծրագրային ապահովումն ունի հնարավորություն արտապատկերելու օգնության պատուհան, որտեղ կարող են ներկայացվել տեղեկություններ ԱԴՀ և ծրագրային ապահովման օգտագործման մասին:

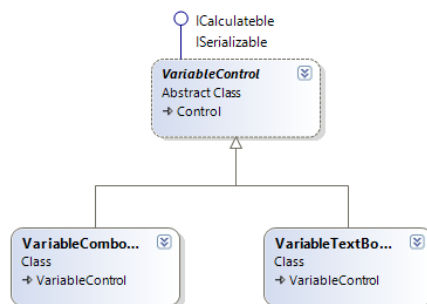
5.4. Ծրագրային ապահովման համար մշակված ունիվերսալ պատուհաններ

Մշակված ծրագրային ապահովման համար ստեղծված են 3 տեսակի ունիվերսալ պատուհաններ:

1. Էլեկտրական մեքենաների պարամետրերի արտապատկերման պատուհան: Այս պատուհանը ստեղծվել է կիրառելով MVC նախագծման ձևանմուշը [95-97], որի մոդելային մասն իրենից ներկայացնում է դեկորատոր ձևանմուշ: Նկ. 5.1-ում բերված է մոդելային մասի դասերի հիերարխիան, իսկ նկ. 5.2-ում՝ տեսքի մասի դասերի հիերարխիան:



Նկ. 5.1. Մոդելային մասի դասերի հիերարխիա



Նկ. 5.2. Տեսքի դասերի հիերարխիան

Ինչպես երևում է նկ. 5.2-ից մոդելն ունի 2 հատ տեսք. առաջինը նախատեսված է թափվող ցուցակից ֆիքսված արժեքների ընտրելու համար (նկ. 5.3 ա), իսկ երկրորդ՝ կամայական արժեք ներմուծելու համար (նկ. 5.3 բ):

$\delta_{ст}$ Толщина стали
 $\delta_{ст} = 0.00035 \text{ м}$
☒ Постоянная величина

0.00035
0.00035
0.0003
0.00027

K_3

$$K_3 = \frac{d_{из}^2 \cdot u_{п} \cdot n_{эл}}{S_{п}} = 0,000865 \cdot 0,000865 \cdot \frac{52 \cdot 2}{8E-05} = 0.97$$
☐ Постоянная величина

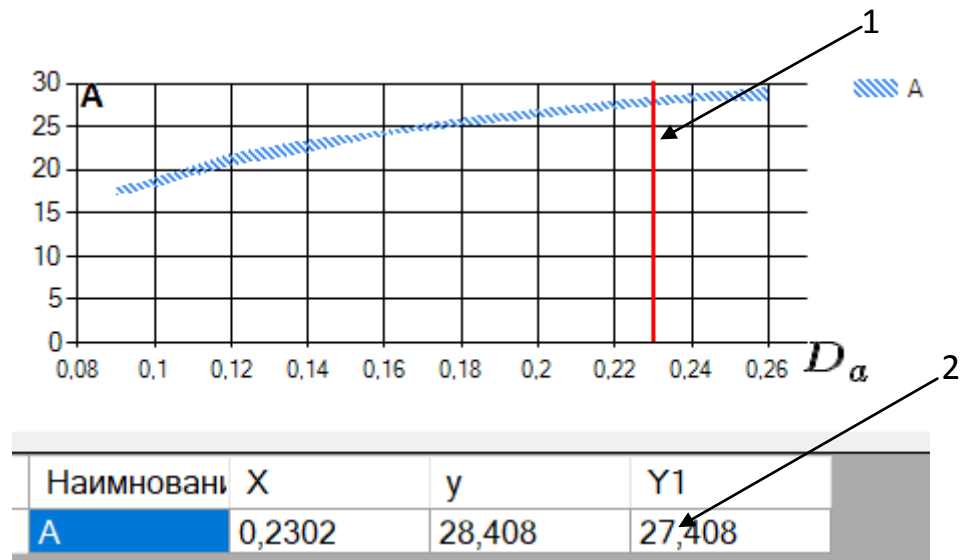
ա)

բ)

Նկ. 5.3. Փոփոխականների արտապատկերման պատուհան

Երբ որևէ պարամետրի թույլատրելի արժեքները չեն համապատասխանում նշված միջակայքին, արտապատկերող պատուհանը գուևավորվում է կարմիր գույնով և դուրս է բերվում համապատասխան հաղորդագրություև (նկ. 5.3): Հաշվարկային գործընթացին միջամտելու համար, պետք է նշել «постоянная величина» պատուհանը և ներմուծել այն անհրաժեշտ արժեքը, որը պետք է որոշվի ներմուծվող պարամետրի թույլատրելի արժեքների սահմանում: Հնարավոր է նաև փոփոխել ցանկացած պարամետրի սահմանային արժեքը: Այսպիսի ինտերակտիվություևը ճկուև է, քանի որ ցանկացած պահի հնարավոր է միջամտել յուրաքանչյուր պարամետրի հաշվարկային գործընթացին: Այս պատուհանը բազմաֆուևկցիոևալ է: Վերջինիս միջոցով կարելի է կանչել օգնություև պատուհան, ինչպես նաև պատուհան, որտեղ ներկայացված են հաշվարկային բանաձևերում առկա պարամետրերի որոշման բանաձևերը:

2. Գրաֆիկական տվյալների արտապատկերման պատուհանի միջոցով արտապատկերվում են մեքենայի հաշվարկի համար անհրաժեշտ կորերը (նկ. 5.4), որը նույնպես իրականցված է MVC ձևանմուշի օգնությամբ [95-97]: Կորից արժեքներ կարելի է վերցնել տեղաշարժելով 1 գծանիշը, կամ փոփոխելով 2 թվային արժեքը:



Նկ. 5.4. Գրաֆիկական տվյալների արտապատկերման պատուհան

3. Լրացուցիչ ինֆորմացիա պարունակող պատուհանի (Նկ. 5.5) 1 տեղամասում արտապատկերում է Լրացուցիչ ինֆորմացիա, որը կախված է 2 տեղամասում արտապատկերվող մեքենայի պարամետրերից: Այդ Լրացուցիչ ինֆորմացիան կարող է լինել կոր, աղյուսակ կամ տեքստային ինֆորմացիա: Լրացուցիչ ինֆորմացիայում բերված որևիցե արժեք ընտրելու դեպքում, ծրագիրն ավտոմատ փոփոխում է 2 պատուհանում պատկերված մեքենայի պարամետրերը:

h м	0.056	0.063	0.071	0.08	0.09	0.1	0.112	0.132
Da м	0.089	0.1	0.116	0.131	0.149	0.168	0.191	0.225

1

3

D_a Наружный диаметр статора
D_a = 0.089 м
☐ Постоянная величина 0.089

h Высота оси вращения
h = 0 м
☐ Постоянная величина 0

2

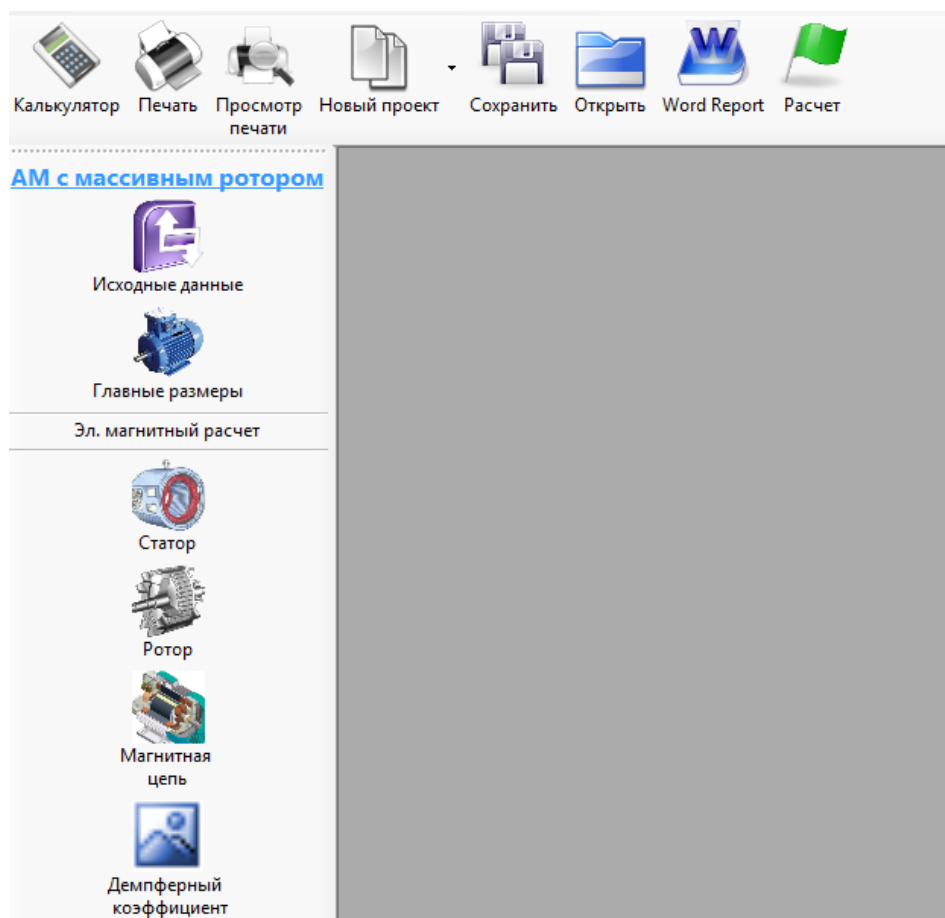
Նկ. 5.5. Լրացուցիչ ինֆորմացիա պարունակող պատուհան

5.5. Մշակված ծրագրային ապահովման նկարագրությունը

ԱԴՀ ավտոմատացված նախագծման համար մշակված ծրագրային ապահովումը թույլ է տալիս հաշվարկել գանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենայի գրեթե բոլոր պարամետրերը ինչպես

ինտերակտիվ, այնպես էլ ավտոմատ ռեժիմներում: Ինտերակտիվ ռեժիմում հաշվարկը կատարելիս ծրագրային ապահովումը պահանջում է մարդու միջամտություն, իսկ ավտոմատ ռեժիմի դեպքում ծրագրային ապահովումը, ըստ նախնական ներմուծված տվյալների, կատարում է ամբողջ հաշվարկը: Բոլոր հաշվարկային բանաձևերը բերված են ըստ միջազգային համակարգի (ՄՅ): Ավտոմատ ռեժիմում հաշվարկ կատարելիս ծրագրային ապահովումն ինքնուրույն (առանց մարդու միջամտության) որոշում է կայացնում՝ վերցնելով արժեքներ աղյուսակներից կամ կորերից: ԷՄԻՃԱ-ի ընդհանուր տեսքը բերված է նկ. 5.6-ում: Այն բաղկացած է գործիքների վահանակից, գլխավոր մենյուից և հաշվարկային բանաձևերի արտապատկերման պատուհանից [101]:

Համակարգի նախագծումը սկսվում է նոր նախագծի ընտրությամբ և նախնական տվյալների մուտքագրմամբ: Նախնական տվյալները մուտքագրելուց հետո յուրաքանչյուր բաժնի հաշվարկը տեսնելու համար պետք է սեղմել այդ բաժնին համապատասխանող կոճակը:



Նկ. 5.6. Ծրագրային ապահովման ընդհանուր տեսքը

Ինչպես երևում է Նկ. 5.6-ից գործիքների վահանակում տեղ են գտել windows-ի ստանդարտ հաշվիչը, տպելու կոճակը, ինչի շնորհիվ հնարավոր է հաշվարկային գործընթացի վերջում տպել հաշվետվությունը, որը նաև հնարավոր է դիտել նախքան տպելը՝ համապատասխան կոճակի օգնությամբ: Ստեղծված նախագիծը կարելի է պահպանել և այնուհետև բացել արդեն իսկ պահպանված նախագիծը: Ծրագրի հաշվարկային գործընթացի ավարտից հետո կարող է ստեղծել հաշվարկված մեքենայի հաշվետվություն Word տեքստային խմբագրիչի օգնությամբ, որտեղ քայլ առ քայլ արտապատկերվում են բոլոր այն բանաձևերը, որոնք մասնակցել են զանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենայի (ԱԴՀ) հաշվարկին:

Մշակված ծրագրային ապահովումն համար ստեղծված կենտրոնացված տվյալների բազայում պահվում են ոչ միայն էլեկտրական մեքենայի հաշվարկի համար անհրաժեշտ կորերն ու աղյուսակները, այլ նաև բոլոր մեծությունները և դրանց չափման միավորները: Տվյալների բազայում պահվում են էլեկտրական մեքենայի հաշվարկային բանաձևերը և չափման միավորները՝ նկարների տեսքով, և էլեկտրական մեքենայի հաշվարկային մեծությունների նկարագրությունը: Այս մոտեցումը հնարավորություն է տալիս ծրագրային ապահովումը դարձնել ավելի ճկուն, ինչի շնորհիվ հնարավոր է ծրագրի կոդում առանց որևէ միջամտություն անելու, ավելացնել կամ փոփոխել հաշվարկային բանաձևերի կամ չափման միավորների արտապատկերման տեսքը և նկարագրությունը: Բացի այդ այս մոտեցումը հնարավորություն է տալիս տվյալների բազայում ունենալ նախագծված կամ արդեն իսկ գոյություն ունեցող էլեկտրական մեքենաների բոլոր մեծությունները, որոնք հնարավորություն կընձեռեն ծրագրային ապահովումն օգտագործել ոչ միայն համակարգի նախագծման, այլ նաև արատորոշման և վերանորոգման փուլում: Բոլոր մեծությունները և չափման միավորները կարելի է ներմուծել ռուսերեն, հայերեն և անգլերեն լեզուներով: Ծրագրային ապահովման կողմից էլեկտրական մեքենայի որևէ

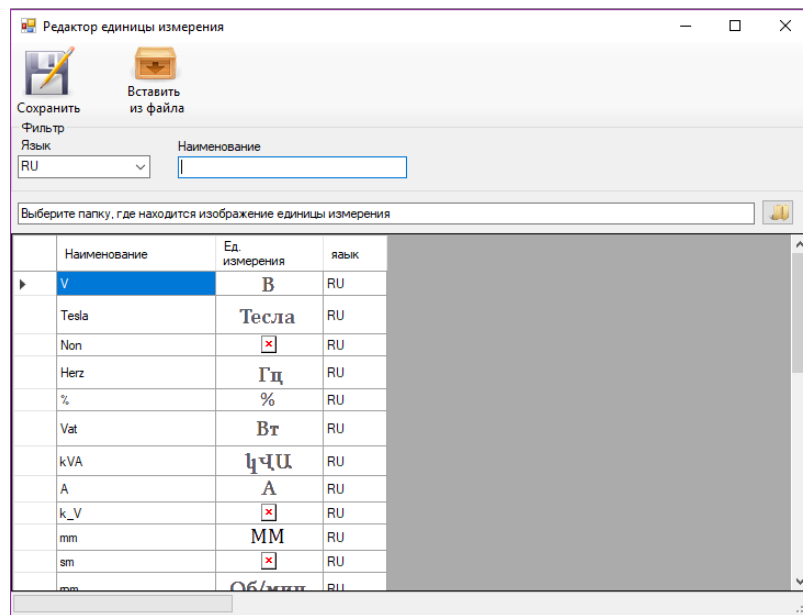
1. Անհատական, որի ժամանակ 3-ում ընտրված բանաձևի կամ մեծությունն նշանակման վրա, մկնիկի կրկնակի սեղմամբ բացվում է ֆայլերի ընտրման պատուհան, որի միջոցով օգտատերը ընտրում է անհրաժեշտ նկարը:



Նկ . 5.7. Փոփոխականների խմբագրման պատուհան

Համապատասխան փոփոխությունները ներմուծվում և պահպանվում են 6 և 7 կոճակների օգնությամբ:

Հաիման միավորների խմբագրման պատուհանում, որը բերված է Նկ . 5.8-ում, զտիչը հնարավորություն է տալիս հեշտությամբ գտնել անհրաժեշտ չաիման միավոր պարունակող տողը: Այստեղ «наименование» սյունը ևս ստեղծվում է ավտոմատ կերպով և փոփոխման ենթակա է:



Նկ . 5.8. Տվյալների բազայում չաիման միավորների ներմուծման պատուհան

Ծրագրային ապահովումը հնարավորություն է տալիս այս կամ այն փոփոխականի համար ընտրել անհրաժեշտ նվազագույն կամ առավելագույն սահմանը: Արժեքների առավելագույն և նվազագույն սահմանների օգնությամբ հնարավոր է.

1. կազմել սահմանափակող ֆունկցիաները,

2. եթե որևէ արժեք դուրս է եկել սահմաններից, ծրագիրը տեղեկացնում է այդ մասին, սահմանների սպիտակ դաշտը ներկելով կարմիր գույնով:

ԱԴՅ նախագծու մը մշակված ծրագրային ապահովման օգնությամբ, ինչպես վերը նշվեց, սկսվում է նախնական տվյալների մուտքագրմամբ:

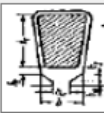
Որպես նախնական տվյալներ, հաշվարկի համար ներմուծվում են հետևյալ պարամետրերը.

1. ստատորի փորակի տեսակը,
2. ֆազային անվանական լարումը,
3. սնող ցանցի հաճախությունը,
4. ստատորի մագնիսական դաշտի պոտման արագությունը,
5. ֆազերի թիվը,
6. փաթույթի փաթաթման գործակիցը,
7. մեկ բևեռին և ֆազին բաժին ընկնող փորակների թիվը,
8. դաշտի ձևի գործակիցը,
9. փաթույթում շերտերի թիվը,
10. ռոտորի արտաքին տրամագիծը,
11. ռոտորի երկարությունը,
12. օդային բացակի մեծությունը,
13. զանգվածային ռոտորի լրիվ դիմադրության ռեակտիվ և ակտիվ բաղադրիչների միջև հարաբերությունը,
14. ֆեռոմագնիսական նյութը բնութագրող գործակիցը:

Բացի վերը նշված պարամետրերից, որպես մուտքային արժեքներ, տրվում են նաև կատարումը՝ ըստ շրջապատող միջավայրի ազդեցությունից պաշտպանվելու եղանակի,

ստատորի շերտերի փաթաթման տեսակը, կառուցվածքային կատարումը, կլիմայական կատարման կարգը, ստատորի շերտերի փաթաթման եղանակը, ճակատային հատվածների մեկուսացման առկայությունը, փաթաթումը և մամլակցումը և հաշվարկի համար ամփրած եշտորոշ գործակիցներ (նկ. 5.9) [101]:

Паз статора



Трапецеидальный полузакрытый

U Номинальное фазное напряжение
U = 220 В
☒ Постоянная величина 220

f₁ Частота питающего напряжение
f₁ = 50 Гц
☒ Постоянная величина 50

n₁ Скорость вращения магнитного поля статора
n₁ = 1500 Об/мин
☒ Постоянная величина 1500

m Число фаз
m = 3
☒ Постоянная величина 3

K_{оδ1}
K_{оδ1} = 0.96

Նկ. 5.9. Չանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենայի

հաշվարկային մոլ տքային պարամետրերի ներմուծման պատուհան

Բոլոր տվյալները մոլ տքագրելուց հետո անհրաժեշտ է սեղմել հաշվարկային կոճակը: Կախված խնդրի պայմաններից, նախնական հաշվարկային տվյալները կարող են փոփոխվել:

Չանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենայի գլխավոր չափերն են D_2 ռոտորի արտաքին տրամագիծը, l_2 ռոտորի երկարությունը, որոնք հանդիսանում են հիդրոագրեգատի բաղկացուցիչ մաս կազմող թափանցի երկրաչափական չափերը: Գլխավոր չափերից են կախված մեքենայի տեխնիկա-տնտեսական ցուցանիշները և մեքենայի հուսալիությունը: Այդ պատճառով գլխավոր չափերի որոշումը հանդիսանում է էլեկտրական մեքենայի նախագծման հիմնական փուլը:

Քանի որ կոմպակտ հիդրոագրեգատում, ինչպես արդեն նշվել է, հայտնի են թափանցի չափերը, հետևապես, հայտնի են զանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենայի գլխավոր չափերը: Այս պարագայում մեքենայի հաշվարկն անհրաժեշտ է սկսել ստատորի ներքին տրամագիծը որոշելուց: Ընտրվում են էլեկտրամագնիսական բեռնվածքները, որոնք պայմանավորված են մեքենայի գլխավոր չափերով:

ԱԴՀ գլխավոր չափերի հաշվարկի պատուհանից մի հատված ներկայացված է նկ. 5.10-ով:

FormGenericElMachine

1. Расчет главных размеров асинхронного двигателя

p

$$p = \frac{60 \cdot f_1}{n_1} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2$$

☐ Постоянная величина 2

Da

$$D_a = \frac{D}{k_D} = \frac{0,152}{0,66} = 0,23 \text{ м}$$

☐ Постоянная величина 0.23

Kd Отношение внутреннего диаметра статора к наружному диаметру статора

$$K_d = 0,66 \text{ м}$$

☐ Постоянная величина 0.66

D

$$D \approx D_2 + 2\delta = 0,151 + 2 \cdot 0,00045 = 0,152 \text{ м}$$

☐ Постоянная величина 0.152

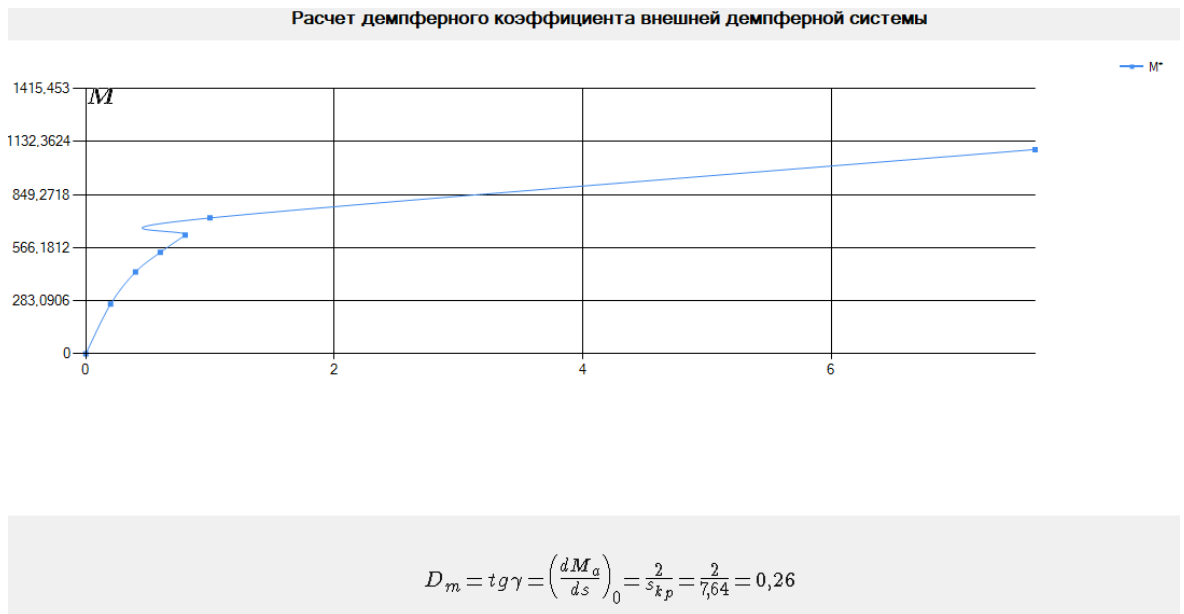
τ Полусное деление

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} = \frac{3,14159265358979 \cdot 0,152}{2 \cdot 2} = 0,119 \text{ м}$$

Նկ. 5.10. Գլխավոր չափերի պատուհան

Մշակված ծրագրային ապահովման մեջ զանգվածային ռոտորի պարամետրերի հաշվարկից հետո որոշվում են զանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենայի բնութագրերը, մասնավորապես մեքենայի Մմոմոնտի կախվածությունը s սահմանից:

Նկ. 5.11-ով բերված է արտաքին դեմաֆերային համակարգի մեխանիկական բնութագիրը, որի օգնությամբ որոշելվում է համակարգի դեմաֆերացման գործակիցը [101]:



Նկ. 5.11. ԱԴՀ մեխանիկական բևույթագիրը և դեմպֆերացման գործակիցը

Այսպիսով, մշակված ծրագրային ապահովման օգնությամբ, կիրառելով միավոր կոմպլեքս մագնիսական դիմադրողական հասկացողությունը զանգվածային մագնիսալարի համար նախագծման թե՛ ավտոմատ, թե՛ ինտերակտիվ ռեժիմներով կատարվում է զանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենայի նախագծում, ինչպիսին հանդիսանում է ՓՅԷԿ հիդրոագրեգատի ԱԴՀ-ն: Նախագծման արդյունքում կառուցվում է ԱԴՀ մեխանիկական բևույթագիրը և հաշվարկվում է դրա դեմպֆերացման գործակիցը՝ որպես Օ կետում ասինխրոն մոմենտի ածանցյալ: Ստացված արդյունքները հնարավորություն են տալիս հստակ գնահատել ԱԴՀ դեմպֆերային հատկությունները, համակարգի դեմպֆերացման գործակցի մեծացման չափը և ապահովել վերջինիս կայուն աշխատանքը՝ ելնելով առաջադրված պահանջներից [101]:

Հավելվածներ 2-ում և 3-ում համապատասխանաբար բերված են ԱԴՀ նախագծման հաշվարկային օրինակը և ԷՄԻՃԱ ծրագրային կոդը:

5.6. Եզրակացություն

Մշակված ծրագրային ապահովումը հնարավորություն է տալիս նախագծել սինխրոն հիդրոագրեգատի ԱԴՀ, որը լավագույնս կնվազեցնի սինխրոն գեներատորի տատանումների ամպլիտուդը, կբարելավի դրա աշխատանքային ռեժիմները՝ հնարավորություն տալով նվազեցնել ՓՅԷԿ-ի կառուցման տնտեսական ծախսերը և ետգնման ժամկետները: Մշակված ծրագրային ապահովման մեջ կիրառված մի շարք լուծումները դարձնում են այն ճկուն, ինչն էլ հնարավորություն է տալիս համապատասխան փոփոխություններ իրականացնել ու պարագայում ընդլայնել այն՝ համալրելով այլ տիպի էլեկտրական մեքենաների նախագծման լուծումներով:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒ ԹՅՈՒՆ

1. Փոքր հիդրոէլեկտրակայանի էներգետիկ հանգույցի և դրանում կիրառվող սինխրոն գեներատորի աշխատանքային ռեժիմներին և աշխատանքի կայունության բարձրացմանը նվիրված հայտնի աշխատության ունենրի վերլուծության արդյունքում հիմնավորվել են փոքր հիդրոէլեկտրակայանի սինխրոն գեներատորի աշխատանքային ռեժիմների բարելավման հիմնական ուղղությունները:

2. Փոքր հիդրոէլեկտրակայանի սինխրոն գեներատորի աշխատանքային ռեժիմների բարելավման սկզբունքների վերլուծության միջոցով և աշխատանքի կայունությանը բարձրացնելու անհրաժեշտության հիմնից ելնելով բացահայտվել են սինխրոն գեներատորի աշխատանքի արդյունավետության վրա ազդող գործոնները:

3. Մշակվել է փոքր հիդրոէլեկտրակայանի սինխրոն գեներատորի տատանողական պրոցեսի մաթեմատիկական մոդել, որը հնարավորություն է տալիս որոշել սինխրոն հիդրոագրեգատի դեմաֆերացման ու սինխրոն կոշտության գործակիցները և դրանց անհրաժեշտ մեծության ապահովմամբ նվազեցնել անցումային պրոցեսի ժամանակը և տատանումների ամպլիտուդը:

4. Մշակվել է բարձր տեխնիկատնտեսական ցուցանիշներով կոմպակտ հիդրոագրեգատի կառուցվածքային լուծում, որի կիրառությանը փոքրացնում է համալիրի գաբարիտային չափերը, ինչն առավել արդյունավետ է լեռնային հատվածներում փոքր հիդրոէլեկտրակայանի կառուցման պարագայում: Կոմպակտ հիդրոագրեգատի նախագծման բերված մոտեցումը հնարավորություն է տալիս ընտրել հիդրոտուրբինի պտտման օպտիմալ արագությունը՝ ապահովելով համակարգի առավելագույն օգտակար գործողության գործակիցը:

5. Մշակվել և նախագծվել է սինխրոն հիդրոագրեգատի արտաքին դեմաֆերային համակարգ, որը հանդիսանալով զանգվածային ռոտորով ասինխրոն մեքենա համանման է սինխրոն գեներատորի ներքին դեմաֆերային փաթույթին, ապահովում է հիդրոագրեգատի

մեծ դեմաֆեռացման գործակից և տատանումների փոքր ամպլիտուդ, ինչպես նաև հիդրոագրեգատի համակարգի կայուն աշխատանք:

6. Մշակվել է արտաքին դեմաֆեռային համակարգի նախագծման հաշվարկային մեթոդիկա, ստացված հաշվարկային արդյունքները համեմատվել են փորձնական տվյալների հետ, որը գտնվում է ինժեներական հաշվարկների ճշտության ներքին թույլատրելի տիրույթում:

7. Ստեղծված հաշվարկային մեթոդիկայի հիման վրա մշակվել է արտաքին դեմաֆեռային համակարգի ավտոմատացված նախագծման ծրագրային ապահովում .Net միջավայրում աշխատող C# ծրագրավորման լեզվով, որը հնարավորություն է տալիս նախագծել արտաքին դեմաֆեռային համակարգը՝ հիմքում ունենալով կոմպակտ հիդրոագրեգատի բաղկացուցիչ մաս կազմող թափանցիկ երկրաչափական չափերը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. IEA Energy Statistics, Share of total primary energy supply in 2015 in Armenia. URL: <http://www.oiea.org/statistics/>
2. The European Small Hydropower Association (ESHA). Small Hydropower in Europe. - электронный ресурс. URL: <http://www.esha.be/about/about-small-hydropower/in-europe.html>
3. Карелин В.Я, Влошаник В.В. Сооружения и оборудование малых гидроэлектростанций. –М.: Энергоатомиздат, 1986 .- 256 с.
4. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии, учебное пособие / Б.В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 187 с.
5. Виссарионов В.И., Золотов Л.А. Экологические аспекты возобновляемых источников энергии. - М: Издательство МЭИ, 1996 .- 156 с.
6. Гидроэнергетика.-электронный ресурс. URL: www.krugosvet.ru
7. Малая гидроэнергетика.– межотраслевое научно-техническое объединение “ИНСЭТ”, Санкт-Петербург, электронный ресурс. URL: www.inset.ru/r/predm.htm
8. Михайлов Л.П., Фельдман Б.Н., Марканова Т.К. Малая гидроэнергетика. – М: Энергоатомиздат, 1989.-184 с.
9. Авилов В.Д., Серкова Л.Е. Малая гидроэнергетика и энергетическая стратегия Сибирского региона // Научный журнал “Национальные приоритеты России”.- 2009.-N 1(1).
10. Фирма МАГИ-Э. Гидроэнергетика. - электронный ресурс. URL: <http://www.magi.ru/>
11. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шандарова Е.Б. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций.- Томск.: Издательство, 2001.-104 с.
12. Карелин В.Я, Влошаник В.В. Сооружения и оборудование малых гидроэлектростанций. –М.: Энергоатомиздат, 1986.- 256 с.
13. Брызгалов В.И, Гордон Л.А. Гидроэлектростанции: Учеб. Пособие.- Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002.-541 с.
14. Гидроэлектростанции. Ассортимент оборудования. - электронный ресурс. URL: <http://www.solarhome.ru/ru/hydro/inset.htm>
15. Helena Ramos, A. Betâmio de Almeida M. Manuela Portela H. Pires de Almeida Guidelines for Design of Small Hydropower Plants.-2000.-190 p.
16. Орахелашвили Б.М. Выбор гидротурбин для ГЭС и разработка схемы гидроагрегата. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006-134 с.
17. Костин К.Ф. Вертикальные гидрогенераторы для сельских ГЭС. –М.: Госэнергоиздата, 1955.-128 с.
18. Кривченко Г.И. Гидравлические машины, М.: Энергоатомиздат, 1983.- 320 с.
19. Ковшовые гидротурбины. - электронный ресурс. URL:

20. Турбина Турго для малых и мини ГЭС. - электронный ресурс. URL: http://elektrogenerator.net/smallhydropower/turgo_turbines.html
21. Mockmore C.A., Merryfield F. The Banki Water Turbine, Bulletin Series No. 25, Oregon State College, 1949.-36 p.
22. Турбина Банки. - электронный ресурс. URL: <https://mash-xxl.info/info/342320/>
23. Кривченко Г.И. Автоматическое регулирование гидротурбин, М.: Энергия, 1964.-286 с.
24. Кривченко Г.И, Аршеиевский Н.Н., Квятковская Е.В., Клабуков В.М. Гидромеханические электронные процессы в гидроэнергетических установках, М.: Энергия, 1975.-367 с.
25. Грановский С.А., Малышев В.М., Орго В.М, Смоляров Л.Г. Конструкция и расчет гидротурбин. Изд. 2-е, доп. и перераб. Л.: Машиностроение, 1974.-408 с.
26. Ковалев Н.Н. Гидротурбины, 2-е издание.– Л.: Машиностроение, 1971.-583 с.
27. Соколов Д.Я. Гидравлические турбины для малых ГЭС. М.-Л.Ж: Госэнергоиздат, 1951.-125 с.
28. Сагателян М.А., Казарян Г. Х. Вопросы преобразования энергии водных ресурсов горных рек // Вестник НПУА.-Ереван, 2018.-Часть 3.-С. 720-729.
29. Справочник конструктора гидротурбин / Под ред. Н.Н. Ковалева, Л.: Машиностроение, 1971.-189 с.
30. Справочник по гидротурбинам / Под ред. Н.Н. Ковалева, Л.: Машиностроение, 1984.-195 с.
31. Mariam Saghatelyan, Marija Meišutovič-Akhtarieva Analysis of Electromechanical Power Transformers Applied in Small Hydroenergetics, Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania ISSN 2029-2341 / eISSN 2029-2252, 2018 Volume 10, Article ID: mla.2018.3160, p. 1–4 <https://doi.org/10.3846/mla.2018.3160>
32. S. Mishra, S.K. Singal, D.K. Khatod A review on small hydropower electromechanical equipment.- International Journal of Energy Research.-2012; P. 553–571
33. Вольдек А.И. Электрические машины: Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений.-3-е изд., перераб.-Л.: Энергия, 1978.-832 с.
34. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: Учебник для вузов.-М.: Энергия, 1980.-928 с.
35. Juha Pyrhonen, Tapani Jokinen, Valeria Hrabovcova Design of rotating electrical machines.-2008.-512 p.
36. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины. – М.: Издательский центр «Академия», 2010.-328 с.
37. Важнов А. И. Электрические машины. –Л.: Энергия, 1969.- 768 с.
38. Китаев В.Е., Корхов Ю.М., Свирин В.К. Электрические машины переменного тока. часть. II Учебное пособие для техникумов.–М.: Высшая школа, 1978 .-184 с.
39. Small hydropower plants. Catalogues. Asynchronous generators. - URL:

<http://www.tes.cz/en/>

40. Зечихин Б.С. Индукторные генераторы повышенной частоты: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию. – М.: Издательство МАИ, 1968.- 47 с.
41. Жежерин Р.П. Индукторные генераторы. - М: Госэнергоиздат., 1961 г.-319 с.
42. Альпер Н.Я., Терзян А.А. Индукторные генераторы. – М.:Энергия., 1970.-192 с.
43. Equipment. Inductor Machines. - URL: <http://www.electrotermosvar.ru>
44. Products. Catalog Products. Inductor Generators. - URL: <http://www.ao-electromash.ru/>
45. Шакарян Ю.Г. Асинхронизированные синхронные машины. М.: Энергоагоиздат, 1984.-192 с.
46. Small hydropower plants. Catalogues. Synchronous generators. - URL: <http://www.tes.cz/en/>
47. Петров Г.Н. Электрические машины, Часть 2. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. - 416 с.
48. Костенко М. П., Пиотровский Л.М. Электрические машины часть. 2. Машины переменного тока. – Л.: Энергия, 1973.-648 с.
49. Копылов И.П. Электрические машины. – М.:Высшая школа, 2000.-607 с.
50. Абрамов А.И, Иванов-Смоленский А.В. Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов. - М: Высшая школа, 2001.-389 с.
51. Домбровский В.В., Еремеев А.С., Иванов Н.П., Ипатов П.М., Каплан М.Я., Пинский Г.Б. Проектирование гидрогенераторов, Часть 1.-М.-Л.: Энергия, 1965.-256 с.
52. Маилян А.Л., Сагателян М.А. Математическая модель колебательного процесса гидроагрегата малой гидроэлектростанции // Вестник НПУА.- Ереван, 2017.-Часть 2.-С.695-702.
53. Мелешкин Г.А., Меркурьев Г.В. Устойчивость энергосистем: Монография. Книга 1.- СПб.: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2006. – 369 с.
54. Сыромятников И.А. Режимы работы синхронных генераторов. –М.-Л.: Госэнергоиздат, 1952 .–150 с.
55. Рюденберг Р. Переходные процессы в электроэнергетических системах. М.; ИЛ, 1955. –714 с.
56. Горев А.А. Переходные процессы синхронной машины.– М.-Л.: Госэнергоиздат. 1950 . –550 с.
57. Лайбль Т. Теория синхронной машины при переходных процессах. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 250 с.
58. Конкордия Ч. Синхронные машины. Переходные и установившиеся процессы. – М.-Л.: ГЭИ, 1959. – 215 с.
59. Кимбарк Е. Синхронные машины и устойчивость электрических систем.–М.-Л.: ГЭИ, 1960. –120 с.
60. Лурье И.А. Крутильные колебания в дизельных установках, М.-Л.: Военмориздат, 1940.-248 с.

61. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. –М.: Наука, 1968. – 720 с.
62. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Основы математического анализа. - М.: Наука, 1982. - 616 с.
63. Сивокобыленко В.Ф. Математическое моделирование в электротехнике и энергетике, Донецк: РВА ДонНТУ, 2005.-306 с.
64. Меркурьев Г.В., Шагрин Ю.М. Устойчивость электрических систем Книга 2 .- СПб.: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2007. – 337 с.
65. Дергачёв П.А., Кирюхин В.П., Кулаев Ю.В., Курбатов П.А, Малоканов О.Н. Анализ двухступенчатого магнитного мультипликатора. // Электротехника, № 5, 2012.-41 с.
66. Сагателян М.А. Предпосылки разработки компактного гидроагрегата для малых гидроэлектростанций // Вестник Инж. Академии Армении.-Ереван, 2018.-Т.15, №2.- С. 240-244.
67. Голбберг О.Д. Проектирование электрических машин.-М.: Высшая школа, 1984.-431 с.
68. Рихтер Р. Электрические машины, Том 2, Синхронные машины и однофазные преобразователи.-М.-Л.: Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР, 1936.-687 с.
69. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / Под ред. Л.А. Жукова.-М., Энергия, 1979.-456 с.
70. Данилевич Я.В., Кулик Ю.А. Теория и расчет демпферных обмоток синхронных машин: М.-Л., 1962.- 192 с.
71. Сергеев П.С., Виноградов Н.В., Горяинов Ф.А. Проектирование электрических машин. Изд. 3-е, переработ. и доп. М.: Энергия, 1969.-632 с.
72. Копылов И.П. Проектирование электрических машин: Учеб. пособие для вузов.-М.: Энергия, 2015.-496 с.
73. Копылов И.П. Электромеханические преобразователи энергии.-М: Энергия, 1973.-400 с.
74. Бут Д.А. Накопители энергии: Учеб. Пособие.-М.: Энергоатомиздат, 1991.-400 с.
75. Փոքր հիդրոէլեկտրակայանների զարգացման սխեման, Զաղվածք Հայաստանի Հանրապետության կառավարության նիստի առձանագրումը 2009, N3
76. Копылов И.П., Клокова Б.К. Справочник по электрическим машинам, Т. 1 .- М.: Энергоатомиздат, 1988.-456 с.
77. Արտոնագիր № 3068 А Հիդրոագրեգատ / Մ. Սաղաթելյան, Ա. Մայիլյան.-2016
78. Սաղաթելյան Մ.Ա. Սինքրոն հիդրոագրեգատի արտաքին դեմաֆերային համակարգի նախագծման ընդհանրացված մոտեցում // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու. – Երևան, 2019.-Մաս 2. – էջ 380-388:
79. Маилян А.Л., Сагателян М.А. Влияние демпферной системы на устойчивость режимов работы компактного гидроагрегата // Вестник НПУА, Электротехника,

- Энергетика.-Ереван, 2018 .-№2.- С. 39-46.
80. Куцевалов В.М. Вопросы теории и расчета асинхронных машин с массивным ротором: М.-Л.: Энергия, 1966.- 304 с.
 81. Маилян А.Л., Сагателян М.А. Разработка демпферной системы с улучшенными свойствами для гидроагрегата малой гидроэлектростанции // Изв. НАН РА и НПУА. Серия "Техн. науки".-2018.-Т. LXXI, №4.-С. 432-441.
 82. Нейман Л.Р. Поверхностный эффект в ферромагнитных телах.-М.: Госэнергоиздат, 1949.- 208 с.
 83. Арешян Г.Л. Метод учета краевого эффекта, Сб. научных трудов Ереванского политехнического института, вып. 5, 1954.-С. 24-28.
 84. Маилян А.Л., Никян Н.Г. Исследование асинхронного двигателя с массивным ротором // Труды научно-технической конференции ЕОВНИИЭМ. Часть 1.- Ереван, 1984.-С. 35-42.
 85. Троелсен Э. Язык программирования С# 5.0 и платформа .NET 4.5, 6-е изд. : Пер. с англ. -М. : ООО "И.Д. Вильямс", 2013. - 1312 с.
 86. Раттц М., Джозеф С. LINQ: язык интегрированных запросов в С# 2008 для профессионалов. : Пер. с англ. - М. : ООО "И.Д. Вильямс", 2008. - 560 с.
 87. Шилдт Г. С# 4.0: полное руководство. : Пер. с англ. - М. : ООО "И.Д. Вильямс", 2011. - 1056 с.
 88. Зиборов В.В. Visual С# на примерах .- СПб.: БХВ-Петербург, 2011 .- 432 с.
 89. Фролов А.В., Фролов Г.В. Визуальное проектирование приложений С# .- М.:КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003 .- 512 с.
 90. Гросс К. С# 2008, Пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009 .- 576 с.
 91. Петкович Д. Microsoft SQL Server 2008. руководство для начинающих: Пер. с англ.-СПб.:БХВ-Петербург, 2009.-752 с.
 92. Фиайли К. SQL: Пер. с. англ. – Эл. изд. – Саратов: Профобразование, 2017 .- 452 с.
 93. Lerman J. Programming Entity Framework, 2nd Edition: O'Reilly, 2010.-912p.
 94. Смоленцев Н.К. Создание Windows_приложений с использованием математических процедур MATLAB. – М.: ДМК_Пресс, 2008. – 456 с.
 95. Роберт А., Майкл У., Бобби Дж., Келли А. Объективно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений, 3-е изд.: Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2008 .- 720 с.
 96. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. Примеры объективно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования .- СПб.: Питер, 2011 .- 368 с.
 97. Фримен Э., Сьерра К., Бейтс Б. Паттерны проектирования .- СПб.: Питер, 2011 .- 656 с.
 98. Петцольд Ч. Программирование с использованием Microsoft Windows Forms. Мастер-класс / Пер. с англ. – М.: Русская редакция .- 432 с.
 99. Development Express .- URL: <https://documentation.devexpress.com/WindowsForms/7874/WinForms-Controls>
 100. Mimetex .- URL: <http://www.forkosh.com/mimetex.html>
 101. Сагателян М.А. Разработка программного обеспечения автоматизированного проектирования внешней демпферной системы // Вестник НПУА,

Электротехника, Энергетика.-Ереван, 2019 .-№1.- С. 21-29.

**Սինթրոն հիդրոագրեգատի արտաքին դեմաֆերայի համակարգի
նախագծման հաշվարկային մեթոդիկա**

1. Նախագծման նախնական տվյալներ

Նոմինալ ֆազային լարում՝ U_n :

Հաճախություն՝ f_1 :

Ստատորի մագնիսական դաշտի պոտման արագություն՝ n_1 :

Ֆազերի թիվ՝ m :

Ռոտորի արտաքին տրամագիծ՝ D_2 :

Ռոտորի երկարություն՝ l_2 :

Օդային բացակի մեծություն՝ δ :

Մեկ բևեռին և ֆազին բաժին ընկնող փորակների թիվ՝ q :

Փաթաթման գործակից՝ k_o :

Դաշտի կորի ձևի գործակից՝ k_B :

Փաթույթի շերտերի թիվ՝ n_{cl} :

Բևեռային վրածածկի գործակից՝ $\alpha_\delta = 2/\pi \approx 0.64$:

Դաշտի դուրս մղման գործակից՝ k_r :

Պղնձի տեսակարար դիմադրություն՝ ρ :

Դեմաֆերացման գործակից՝ ρ_{o1} , որոշվում է կախված q_1 -ից [71]:

Ընդունում ենք $\rho_{o1} = 1$:

Վակուումի բացարձակ մագնիսական թափանցելիություն՝
 $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$:

Չանգվածային ռոտորի լրիվ դիմադրության ռեակտիվ և ակտիվ
բաղադրիչների հարաբերությունը՝ $a = 0.6$:

Բևեռային բաժանարարի երկայնքեվ մագնիսական ինդուկցիայի
բաշխման անհավասարաչափ բոլոր թը հաշվի առնող գործակից՝ k_n :

Պողպատի դիմադրության գործակից՝ $\alpha_{20} = 0.005$:

Ֆեռոմագնիսական նյութը բնութագրող գործակից՝ $\chi = 7$:

2. Չանգվածային ռոտորով ապինիտոն մեքենայի գլխավոր

չափերի հաշվարկ:

Մեքենայի բևեռների թիվը՝

$$p = \frac{60 f_1}{n_1}:$$

Ստատորի ներքին և արտաքին տրամագծերի հարաբերությունը [72]՝

$$k_d = 0.64 \dots 0.68:$$

Ստատորի արտաքին տրամագիծը՝

$$D_a = \frac{D}{k_D}:$$

Ստատորի ներքին տրամագիծը՝

$$D \approx D_2 + 2\delta:$$

Ստատորի միջուկի կառուցվածքային երկարություն՝

$$l_1 = l_2:$$

Մագնիսալարի երկարությունը՝

$$l_\delta = l_1 = l_{cm2} = l_{cm1},$$

$$l_{cm2} = l_2:$$

Բևեռային քայլ՝

$$\tau = \frac{\pi D}{2p}:$$

Ստատորի փաթույթի էԼԾՈԼ-ի և անվանական լարման հարաբերությունը՝ k_E , ընտրվում է ըստ D_a և $2p$, [72],

Մեքենայի հաշվարկային հզորությունը՝

$$P' = l_\delta k_E \Omega k_o AB_\delta:$$

Մեքենայի գծային բեռնվածքը՝ A , և մեքենայի օդային բացակի ինդուկցիայի՝ B_δ , նախնական արժեքներն ընտրվում են ըստ D_a արժեքի [72]:

Լիսենշի սինխրոն անկյունային արագությունը՝

$$\Omega = 2\pi \frac{n_1}{60}:$$

Օդային բացակի հաշվարկային երկարության և բևեռային քայլի հարաբերության գործակից՝

$$\lambda = \frac{l_\delta}{\tau}:$$

3. 2անգվածային ռոտորով ապինիտոն մեքենայի ստատորի հաշվարկ:

Ստատորի փորակների թիվ՝

$$Z_1 = 2pmq_1:$$

Ստատորի ատամնային բաժանմունք՝

$$t_1 = \pi D / 2pmq:$$

Մագնիսական հոսքի արժեքը՝

$$\Phi = \alpha_\delta \tau l_\delta B_\delta:$$

Ստատորի մեկ ֆազին բաժին ընկնող գալ արևերի թիվը՝

$$w_1 = \frac{k_E U_{1HOM}}{4.44 k_o f_1 \Phi}:$$

Փորակում է ֆեկտիվ հաղորդալարերի թիվը՝

$$U_n = \frac{w_1 2a_1 m}{Z_1}:$$

U_n – ն կլորացվում է մինչև մոտակաամբողջ թիվը, ինչից հետո

ճշգրտվում է w_1 -ի արժեքը:

$$a_1 U'_n = U_n:$$

Ստատորի փաթույթի անվանական հոսանքը՝

$$I_{1HOM} = \frac{a_1 \pi D A}{U_n Z_1}:$$

Գծային բեռնվածքի ճշգրտված արժեքը՝

$$A = \frac{2 I_{1HOM} w_1 m}{\pi D}:$$

Օդային բացակում ինդուկցիայի ճշգրտված արժեքը՝

$$B_\delta = \frac{p \Phi}{D l_\delta}:$$

D_a արժեքից կախված ընտրվում է (AJ) մեծությունը [72]:

Ստատորի փաթույթում հոսանքի խտությունը՝

$$\Delta = \frac{(AJ)}{A}:$$

Էֆեկտիվ հաղորդալարի կտրվածքի նախնական արժեքը՝

$$q_{\phi} = \frac{I_{\text{НОМ}}}{a_1 \Delta} :$$

Ել Եմենտար հաղորդալ արերի թիվը՝ n_{ϕ} :

Ել Եմենտար հաղորդալ արի կտրվածքը՝

$$q_{\phi} = \frac{q'_{\phi}}{2} :$$

Եֆեկտիվ հաղորդալ արի կտրվածքը՝

$$q_{\phi} = q_{\phi} \cdot n_{\phi} :$$

Ընտրվում է հաղորդալ ար [72]:

Չմեկուսացված հաղորդալ արի տրամագիծը՝ d_{ϕ} ,

Մեկուսացված հաղորդալ արի տրամագծի միջին արժեքը՝ d_{ϕ} :

Ստատորի փաթույթի հոսանքի խտությունը՝

$$\Delta = \frac{I_{\text{НОМ}}}{a_1 q_{\phi} n_{\phi}} :$$

Ինդուկցիան ստատորի առամուկ՝ B_{Z1} ընտրվում է ըստ [72]:

Ինդուկցիան ստատորի լուծում՝ B_a ընտրվում է ըստ [72]:

Առամիջակի՝

$$b_{Z1} = \frac{B_{\delta 1} l_{\delta}}{B_{Z1} l_{cm1} k_c} :$$

Ստատորի լուծի բարձրությունը՝

$$h_a = \frac{\Phi}{2 B_a l_{cm1} k_c} :$$

Փորակի բարձրությունը՝

$$h_n = \frac{D_a - D}{2} - h_a :$$

Փորակի շլիցի բարձրությունը՝ $h_u = 0.5 \dots 1$ մմ:

Փորակի չափերը՝

$$b_1 = \frac{\pi(D + 2h_n)}{2} - b_{z1},$$

$$b_2 = \frac{\pi(D + 2h_u - b_u) - Z_1 b_Z}{Z_1 - \pi},$$

Երբ $\beta = 45^\circ$

$$h_1 = h_n - \left(h_u + \frac{b_2 - b_u}{2} \right),$$

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_n,$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_n,$$

$$h'_1 = h_1 - \Delta h_n,$$

$\Delta b_n, \Delta h_n, k_c$ ընտրվում են ըստ [72]:

Փորակում միակողմանի մեկուսացման հատուկ թյուղ՝ b_{u3} :

Փորակի լայնական հատուկ թիմակերեսը շտամպում՝

$$S_n = \frac{b_1 + b_2}{2} \cdot h_1,$$

$$S_{np} = 0.4b_1 + 0.2b_2,$$

$$S_{u3} = b_{u3} (2h_n + b_1 + b_2),$$

$$S'_n = \frac{b'_1 + b'_2}{2} h'_1 - S_{u3} - S_{np}:$$

Փորակի լցման գործակիցը՝

$$k_3 = \frac{d_{u3}^2 U_n n_{\text{շլ}}}{S'_n}:$$

4. Զանգվածային ռոտորով ափսիսոն մեքենայի աջխառնքային ռեժիմի պարամետրերի հաշվարկ:

Կոճի միջին լայնությունը՝

$$b_{km} = \frac{\pi(D + h_{n1})}{2p}:$$

Ստատորի ճակատային մասերի երկարությունը՝

$$l_{\text{A1}} = k_{\text{A1}} b_{km} + 2B:$$

Ստատորի ճակատային մասերի բարձրությունը՝

$$l_{B1} = k_{B1} b_{km} + B:$$

որտեղ k_{A1}, k_{B1}, B , ըստ [72]:

Ստատորի փաթույթի կիսագալարի միջին երկարությունը՝

$$l_{cp} = l_1 + l_{\text{A1}}:$$

Ֆազի մեկ գուգահեռ ճյուղի հաղորդալարերի երկարությունը՝

$$L_1 = 2w_1 l_{cp1}:$$

Ստատորի փաթեռն թի ակտիվ դիմադրությունը՝

$$r_1 = k_r \rho \frac{L_1}{q_{\phi} a} :$$

Ստատորի փաթեռն թի ակտիվ դիմադրությունը հարաբերական միավորներով՝

$$\bar{r}_1 = \frac{I_{1H} r_1}{U_{1H}} :$$

Փաթեռն թի քայլի հաշվարկային կարճեցումը՝

$$\beta = \frac{y}{\tau} :$$

Փորակային ցրման գործակիցը՝

$$\lambda_{n1} = \frac{h_3}{3b_2} k_{\beta} + \left(\frac{h_2}{b_2} + \frac{3h_3}{b_2 + 2b_u} + \frac{h_u}{b_u} \right) k'_{\beta},$$

$$h_3 = h_{\kappa} = \frac{b_2 - b_u}{2\sqrt{3}},$$

$$h_1'' = h_1 - 2.1 - 0.5,$$

$$h_2 = h_n - h_3 - h_u - h_1'',$$

$$k'_{\beta} = \frac{1+3\beta}{4}, \text{ եթե } \left(\frac{2}{3} \leq \beta \leq 1 \right),$$

$$k'_{\beta} = \frac{6\beta-1}{4}, \text{ եթե } \left(\frac{1}{3} \leq \beta \leq \frac{2}{3} \right),$$

$$k_{\beta} = \frac{1}{4} + \frac{3}{4} k'_{\beta} :$$

Դիֆերենցիալ ցրման գործակիցը՝

$$\lambda_{\delta 1} = 0.9 \frac{t_1 (q_1 k_o)^2 \rho_{\delta 1} k_{u1}}{\delta k_{\delta}} \sigma_{\delta 1},$$

$\sigma_{\delta 1}$ -ն ընտրվում է ըստ q_1 -ի [71]

$$k_u = 1 - \frac{0.033 b_u^2}{t_1 \delta},$$

$$k_{\delta} = \frac{t_1 + 10\delta}{b_1 + 10\delta} :$$

Ճակատային մասերի ցրման գործակիցը՝

$$\lambda_{n1} = 0.34 \frac{q_1}{l'_\delta} (l_{n1} - 0.64 \beta \tau),$$

$$l_\delta = l'_\delta = l_1:$$

Յրման հաղորդականությունը ներքին գումարային գործակիցը՝

$$\Sigma \lambda = \lambda_n + \lambda_o + \lambda_{n1}:$$

Ստատորի փաթույթի ֆազի ինդուկտիվ դիմադրությունը՝

$$x_1 = 0.158 \frac{f_1}{100} \left(\frac{w_1}{100} \right)^2 \frac{l_\delta}{pq_1} \Sigma \lambda:$$

Ստատորի փաթույթի ֆազի ինդուկտիվ դիմադրությունը հարաբերական միավորներով՝

$$\bar{x}_1 = \frac{I_{1H}}{U_{1H}} x_1:$$

5. Զանգվածային ռոտորով ափսքրո մեքենայի մագնիսական համակարգի հաշվարկ

Օդային բացակի ՄՇՈԼ-ն՝

$$F_\delta = \frac{2}{\mu_0} B_\delta k_\delta \delta:$$

Ստատորի ատամնային մասի ՄՇՈԼ-ն՝

$$F_{Z1} = 2h_{Z1}H_{Z1},$$

$$h_{Z1} = h_n:$$

H_{Z1} -ն ընտրվում է ըստ B_{Z1} -ի [71]:

Ստատորի լուծի ՄՇՈԼ-ն՝

$$F_c = \xi H_c l_c,$$

H_c -ն ընտրվում է ըստ B_a -ի [71],

Գործակից՝ ξ [71],

$$l_c = L_a = \frac{\pi(D - 2h_a)}{2p},$$

$$h_a = \frac{D_a - D}{2} - h_n,$$

Մագնիսական շղթայի հագեցման գործակիցը՝

$$k_\mu = \frac{F_\delta + F_{Z1} + F_{c1}}{F_\delta}:$$

Մագնիսացնող հոսանքը՝

$$I_{\mu} = \frac{F_y}{0.9 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot k_o} :$$

Մագնիսացնող հոսանքը հարաբերական միավորներով՝

$$I_{\mu^*} = \frac{I_{\mu}}{I_{1H}} :$$

6. Չանգվածային ռոտորով ասինքրոն մեքենայի ռոտորի հաշվարկ

Մագնիսացնող ճյուղի ինդուկտիվ դիմադրությունը՝

$$x_{\mu} = 2mf \frac{\mu_0 D l}{k_{\mu} k_{\delta} \delta} \left(\frac{w_1 k_0}{p} \right)^2 :$$

Ստատորի շղթայի ցրման գործակիցը՝

$$\sigma = \sqrt{\left(1 + \frac{x_1}{x_{\mu}} \right)^2 + \left(\frac{r_1}{x_{\mu}} \right)^2} :$$

Չանգվածային ռոտորով ասինքրոն մեքենայի հաշվարկային կրճատնշանակու մներ՝

$$b = \frac{r_1}{x_1},$$

$$h = \sqrt{\frac{1+a^2}{1+b^2}},$$

$$q = \frac{a \pm b}{\sqrt{(1+a^2)(1+b^2)}} :$$

Ֆազային անկյան տանգենսի կրիտիկական արժեքը՝

$$\operatorname{tg} \varphi_{2kp} = -\frac{a+h}{1 \pm bh} :$$

Ռոտորի մագնիսական դիմադրության կրիտիկական արժեքը՝

$$Z'_{2kp} = x_1 \frac{\sqrt{1+b^2}}{\sigma} :$$

Մոմենտի կրիտիկական արժեքը՝

$$M_{kp} = \pm \frac{0.5U^2}{\sigma x_1} \cdot \frac{1}{a \pm b + \sqrt{(1+a^2)(1+b^2)}} \cdot \frac{m97.5}{n_1} :$$

Ռոտորի հոսանքի կրիտիկական արժեքը՝

$$I'_{2kp} = \frac{U}{\sqrt{2}x_1} \cdot \sqrt{\frac{h}{a \pm b + \sqrt{(1+a^2)(1+b^2)}}} :$$

Ռոտորի ՄՇՈւ-ի կրիտիկական արժեքը՝

$$F_{2kp} = 2.7 \frac{w_1 k_{01}}{p} I'_{2kp} :$$

Ռոտորի մակերևույթին մագնիսական և արվածույթյան գործող արժեքը՝

$$H_{exp} = \frac{F_{2kp}}{\sqrt{2}k_\mu \tau} :$$

Ռոտորի միավոր մագնիսական դիմադրությունը 20°C ջերմաստիճանի դեպքում՝

$Z_{(1)20^0}$ որոշվում է կախված H_{exp} -ից, [80]:

Ռոտորի միավոր մագնիսական դիմադրությունը $t^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի դեպքում՝

$$Z_{(1)t^0} = \frac{Z_{(1)20}}{\sqrt{1 + \alpha_{20}(t - 20)}} :$$

Մեքենայի հարաբերական երկարությունը՝

$$\Lambda = \frac{l}{\tau} :$$

Չանգվածային ռոտորի հատվածի ուղղագծի բերման գործակիցը՝

k_Λ , կախված Λ -ից [80]:

Ռոտորի կոմպլեքս էլեկտրական դիմադրությունը՝

$$Z_{20}^* = j \frac{\pi \sqrt{f_1}}{Z_{(1)}} \cdot \frac{m(w_1 U_{01})^2}{k_\Lambda p} :$$

$$Z_{20}^* = r_{20}^* + jx_{20}^* ,$$

որտեղից ստացվում են r_{20}^* և x_{20}^* :

Կրիտիկական սահքի գործող արժեքը՝

$$s_{kp} = \left(\frac{\sigma \cdot r_{20}^*}{X_1} h \right)^2 :$$

Ընթացիկ s'_{kp} կրիտիկական սահքի և s_{kp} -ի կախվածությունը՝

$$\frac{s}{s_{\kappa p}} = \frac{s}{s'_{\kappa p}} \left(\frac{\frac{1}{(s/s'_{\kappa p})} + 2q \frac{1}{\sqrt{s/s'_{\kappa p}}} + 1}{2(1+q)} \right)^{\frac{u_l - 1}{2u_l}} :$$

$$\frac{s}{s_{\kappa p}} = f\left(\frac{s}{s'_{\kappa p}}\right):$$

2անգվածայի ռոտորով ասինխրոն մեքենայի բնութագրերը՝

$$M = M_{\kappa p} \frac{2(1+q)}{\sqrt{\frac{s}{s'_{\kappa p}}} + \sqrt{\frac{s'_{\kappa p}}{s}} + 2q},$$

$$tg\varphi_2 = tg\varphi_{2\kappa p} \cdot \frac{1+bh}{a+h} \cdot \frac{a+h\sqrt{\frac{s}{s'_{\kappa p}}}}{1\pm bh\sqrt{\frac{s}{s'_{\kappa p}}}},$$

$$I'_2 = I'_{2\kappa p} \sqrt{\frac{2(1+q)}{\frac{s'_{\kappa p}}{s} + 2q\sqrt{\frac{s'_{\kappa p}}{s}} + 1}},$$

$$\dot{I}_2'' = \frac{\dot{I}_2'}{\sigma},$$

$$\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}}{(r_1 + jX_1) + jX_\mu} \text{ եթե } x_\mu \cong const,$$

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}_2'' + \dot{I}_0,$$

$$Re(-\dot{I}_2'') = \frac{I_2'}{\sqrt{1+tg\varphi_2^2}},$$

$$Im(-\dot{I}_2'') = \frac{I_2' tg\varphi_2}{\sqrt{1+tg\varphi_2^2}},$$

$$Z'_2 = Z'_{2\kappa p} \sqrt{\frac{s'_{\kappa p}}{s}},$$

$$Cos\varphi_1 = Re(\dot{I}_1)/|\dot{I}_1|:$$

ԱՅՀ հաշվարկային և փորձնական արդյունքների համեմատություն**Ստատորի պարամետրերի ընդհանուր**

$$r_1 = k_r \rho \frac{L_1}{q_{\phi} a} = \frac{1}{46} \cdot \frac{111,2}{2 \cdot 0,724} = 1,67 \quad \text{Օհմ}$$

$$\bar{r}_1 = \frac{I_{1H} r_1}{U_{1H}} = \frac{9,4 \cdot 1,67}{220} = 0,0713$$

$$x_1 = 0,158 \frac{f_1}{100} \left(\frac{w_1}{100} \right)^2 \frac{l_{\delta}}{pq_1} \sum \lambda = 0,158 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{192}{100} \right)^2 \frac{0,09}{2 \cdot 3} \cdot 5,788 = 2,52 \quad \text{Օհմ}$$

$$\bar{x}_1 = \frac{I_{1H}}{U_{1H}} x_1 = \frac{9,4 \cdot 2,52}{220} = 0,1077$$

Չանգվածային ռոտորի պարամետրերի հաշվարկ

$$a = \frac{R}{X} = 0,6$$

$$b = \frac{r_1}{x_1} = \frac{1,67}{2,52} = 0,655$$

$$h = \sqrt{\frac{1+a^2}{1+b^2}} = \sqrt{\frac{1+0,6^2}{1+0,655^2}} = 0,977$$

$$q = \frac{a \pm b}{\sqrt{(1+a^2)(1+b^2)}} = \frac{0,6+0,655}{\sqrt{(1+0,6^2)(1+0,655^2)}} = 0,904$$

$$x_{\mu} = 2mf \frac{\mu_0 D l}{k_{\mu} k_{\delta} \delta} \left(\frac{w_1 k_{01}}{p} \right)^2 = 2 \cdot 3 \cdot 50 \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,152 \cdot 0,09}{1,38 \cdot 1,18 \cdot 0,00045} \left(\frac{192 \cdot 0,96}{2} \right)^2 = 59,6 \quad \text{Օհմ}$$

$$\sigma = \sqrt{\left(1 + \frac{x_1}{x_{\mu}} \right)^2 + \left(\frac{r_1}{x_{\mu}} \right)^2} = \sqrt{\left(1 + \frac{2,52}{59,6} \right)^2 + \left(\frac{1,67}{59,6} \right)^2} = 1,042$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{2\kappa p} = -\frac{a+h}{1 \pm bh} = -\frac{0,6+0,977}{1+0,655 \cdot 0,977} = -0,961$$

$$Z'_{2\kappa p} = x_1 \frac{\sqrt{1+b^2}}{\sigma} = 2,52 \cdot \frac{\sqrt{1+0,655^2}}{1,042} = 2,83 \quad \text{Օհմ}$$

$$M_{\kappa p} = \pm \frac{0.5U^2}{\sigma x_1} \cdot \frac{1}{a \pm b + \sqrt{(1+a^2)(1+b^2)}} \cdot \frac{m97.5}{n_1} =$$

$$= \frac{0.5220^2}{1.042 \cdot 2.52} \cdot \frac{1}{0.6 + 0.655 + \sqrt{(1+0.6^2)(1+0.655^2)}} \cdot \frac{3 \cdot 97.5}{1500} = 687$$

կգ·սմ

$$I'_{2\kappa p} = \frac{U}{\sqrt{2}x_1} \cdot \sqrt{\frac{h}{a + b + \sqrt{(1+a^2)(1+b^2)}}} =$$

$$= \frac{220}{\sqrt{2} \cdot 2.52} \cdot \sqrt{\frac{0.977}{0.6 + 0.655 + \sqrt{(1+0.6^2)(1+0.655^2)}}} = 38.3$$

Ա

$$F_{2\kappa p} = 2.7 \frac{w_1 k_{01}}{p} I'_{2\kappa p} = 2.7 \cdot \frac{192 \cdot 0.96}{2} \cdot 38.3 = 9500$$

Ա

$$H_{\kappa p} = \frac{F_{2\kappa p}}{\sqrt{2}k_n \tau} = \frac{9500}{\sqrt{2} \cdot 0.63 \cdot 11.94} = 892$$

Վսմ

$$H_{\kappa p} \text{ արժեքից կախված որոշվում է } |Z_{(1)20^0}| = 10.3 \cdot 10^5$$

$$\frac{1}{\text{Օհմ} \cdot \text{վրկ}^{0.5}}$$

$$Z_{(1)0^0} = \frac{Z_{(1)20}}{\sqrt{1 + \alpha_{20}(t - 20)}} = \frac{10.3 \cdot 10^5}{\sqrt{1 + 0.005(130 - 20)}} = 8.27 \cdot 10^5$$

$$\frac{1}{\text{Օհմ} \cdot \text{վրկ}^{0.5}}$$

$$Z_{(1)130^0} = (4.26 + 7.1j) \cdot 10^5$$

$$\frac{1}{\text{Օհմ} \cdot \text{վրկ}^{0.5}}$$

$$\Lambda = \frac{l}{\tau} = \frac{0.09}{0.1194} = 0.754$$

$$\Lambda \text{ արժեքից կախված որոշվում է } k_{\Lambda} = 0.175$$

$$Z_{20}^* = j \frac{\pi \sqrt{f_1}}{Z_{(1)}} \cdot \frac{m(w_1 U_{01})^2}{k_{\Lambda} p} = j \frac{\pi \sqrt{50}}{(4.26 + 7.1j) \cdot 10^5} \cdot \frac{3 \cdot (192 \cdot 220)^2}{0.175 \cdot 2} = 6.7 + 4.02j$$

$$Z_{20}^* = r_{20}^* + jx_{20}^* = 6.7 + 4.02j$$

$$s_{\kappa p} = \left(\frac{\sigma \cdot r_{20}^*}{x_1} h \right)^2 = \left(\frac{1.042 \cdot 6.7}{2.52} \cdot 0.977 \right)^2 = 7.64$$

ԱՌ բնութագրերի հաշվարկ

Ձանգվածային ռոտորի հագեցումը հաշվի է առնվում հետևյալ տրանսցենդենտար տախայտուլայն օգնությամբ

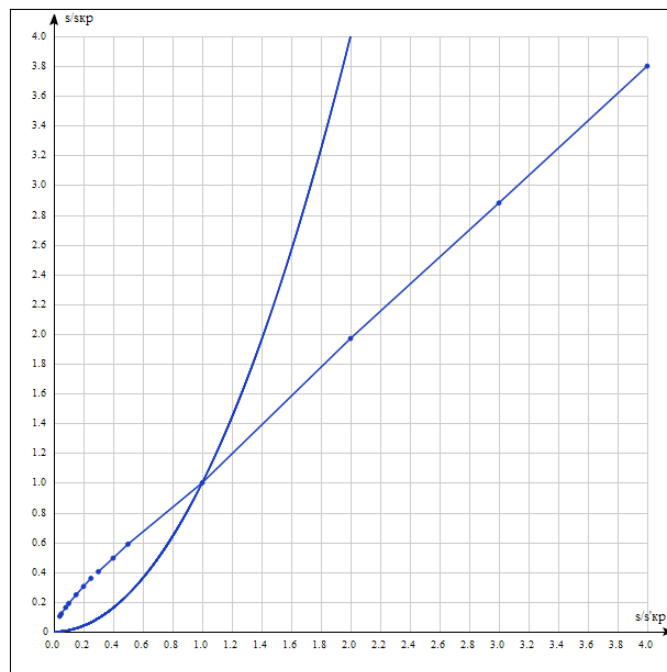
$$\frac{s}{s_{kp}} = \frac{s}{s'_{kp}} \left(\frac{\frac{1}{(s/s'_{kp})} + 2q \frac{1}{\sqrt{s/s'_{kp}}} + 1}{2(1+q)} \right)^{\frac{u-1}{2u}} :$$

որտեղ χ ֆեռմազնիսական Նյութոնի թագրող գործակիցը՝ $\chi=7$:

Աղյուսակ 3.2.1

$$\frac{s}{s_{kp}} = f\left(\frac{s}{s'_{kp}}\right) \text{ կախվածություն հաշվարկային արժեքների}$$

$\frac{s}{s'_{kp}}$	4	3	2	1	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,08
$\frac{s}{s_{kp}}$	3,8	2,88	1,947	1	0,588	0,494	0,403	0,3584	0,3035	0,248	0,1888	0,1625
$\frac{s}{s'_{kp}}$	0,05	0,04	0,03	0,02	0,015	0,01	0,0075	0,005	0,003	0,002	0,001	0,0005
$\frac{s}{s_{kp}}$	0,1193	0,1035	0,0865	0,0669	0,0561	0,0437	0,0361	0,0288	0,02375	0,01675	0,01119	0,00743



Նկ. 3.2.1. ԱՌՀ ռոտորի հագեցումը հաշվի առնող

$$\frac{s}{s_{kp}} = f\left(\frac{s}{s'_{kp}}\right) \text{ կախվածություն ունի}$$

ԱԴՅ մեխանիկական բնույթի հաշվարկային արդյունքներ:

$$M = M_{\kappa p} \frac{2(1+q)}{\sqrt{\frac{s}{s_{\kappa p}}} + \sqrt{\frac{s_{\kappa p}}{s}} + 2q} = \frac{687 \cdot 2 \cdot (1+0.904)}{\sqrt{\frac{s}{s_{\kappa p}}} + \sqrt{\frac{s_{\kappa p}}{s}} + 1.808} = \frac{2605}{\sqrt{\frac{s}{s_{\kappa p}}} + \sqrt{\frac{s_{\kappa p}}{s}} + 1.808}$$

Աղյուսակ 3.2.2

ԱԴՅ մեխանիկական բնույթի հաշվարկային արդյունքները

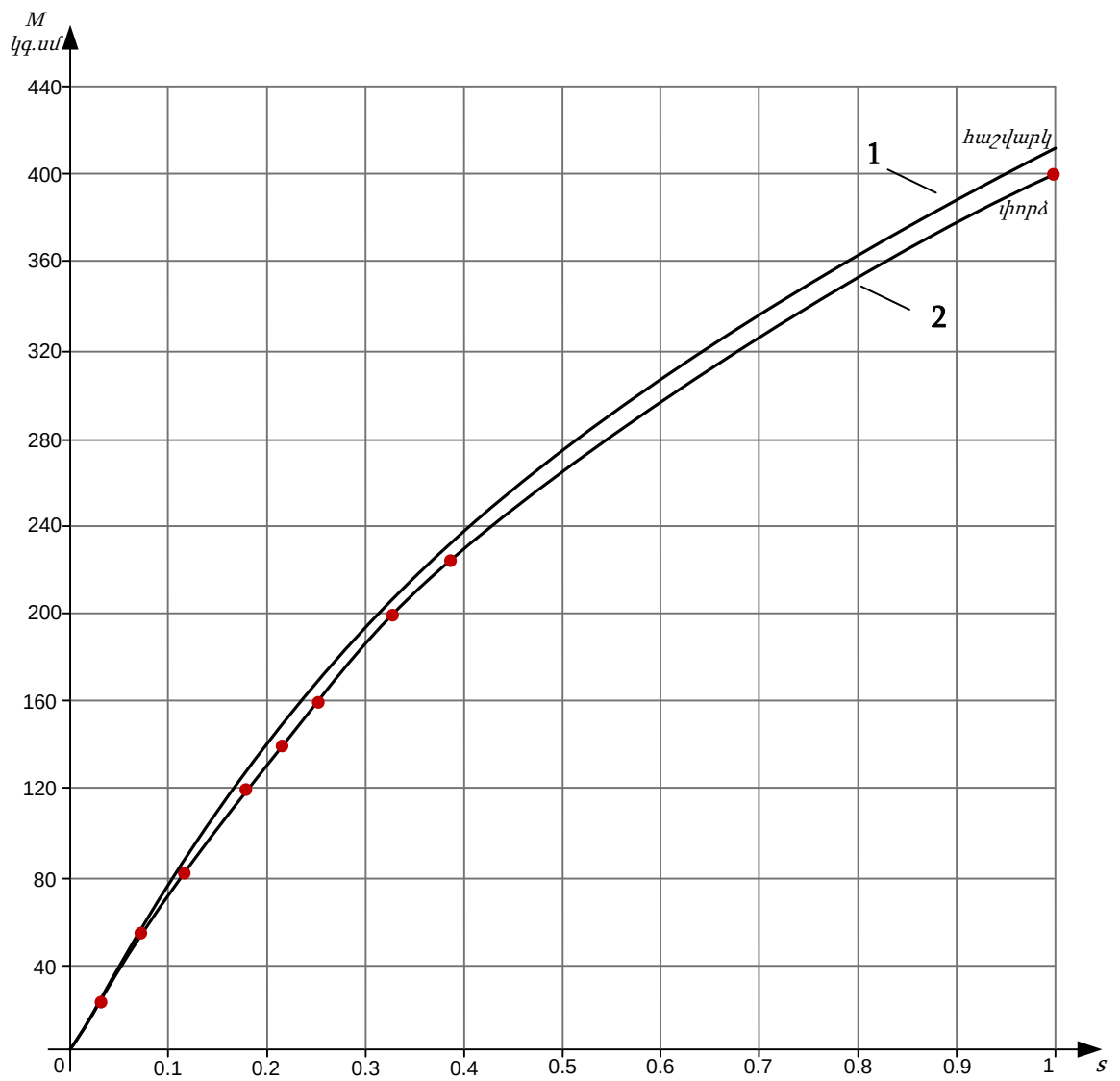
s	$\frac{s}{s_{\kappa p}}$	$\frac{s}{s'_{\kappa p}}$	$\frac{s'_{\kappa p}}{s}$	$\sqrt{\frac{s}{s_{\kappa p}}}$	$\sqrt{\frac{s'_{\kappa p}}{s}}$	M <i>կգ·սմ</i>
1	0,131	0,05775	17,32	0,2403	4,16	419
0,8	0,1048	0,0408	24,5	0,202	4,9948	373
0,6	0,0786	0,0255	39,25	0,1597	6,264	316
0,4	0,0524	0,01375	72,75	0,1173	8,529	249
0,2	0,0262	0,00425	236	0,06519	15,39	145,9
0,1	0,01048	0,001	1000	0,0316	31,62	77,7

ԱԴՅ մեխանիկական բնույթի փորձնական արդյունքներ:

Աղյուսակ 3.2.3

ԱԴՅ մեխանիկական բնույթի փորձնական արդյունքները

s	M <i>կգ·սմ</i>	U_1 <i>Վ</i>	I_1 <i>Ա</i>
1	395	380	17.8
0.3945	220	380.9	11.5
0.33	195	380.68	10.2
0.251	160	380.92	8.9
0.2173	140	380.52	8.277
0.18	120	380.92	7.626
0.1153	83.5	381.08	6.2
0.0743	55	380.08	5.2
0.033	23	380.8	4.227
0.0167	0	380.8	3.653



Նկ . 3.2.2. ԱԴՅ մեխանիկական բնույթագիրը ստացված հաշվարկային (1) և փորձնական (2) արդյունքների հիման վրա

ԱՂՔ ավտոմատացված նախագծման ծրագիր

```

using System;
using ElMachine.GlobalClasses;
using VariableModel;
namespace ElMachine.Parametr.Asinxron
{
    [Serializable()]
    public class HollowRotor : ShorCircuitRotor
    {
        KucevalovFigure1Point5 _figureKucevalov1Point5;
        KucevalovFigure1Point15 _figureKucevalov1Point15;
        public const string Id = "Asinx_Hollow_Rotor_";
        private const int V = 2;
        /// <summary>
        /// Сокращенное обозначение при расчете асинхронной машины с массивным ротором
        /// </summary>
        public Variable B { get; private set; }
        /// <summary>
        /// Сокращенное обозначение при расчете асинхронной машины с массивным ротором
        /// </summary>
        public Variable H { get; private set; }
        /// <summary>
        /// Сокращенное обозначение при расчете асинхронной машины с массивным ротором
        /// </summary>
        public Variable Q { get; private set; }
        /// <summary>
        /// Сокращенное обозначение при расчете асинхронной машины с массивным ротором
        /// </summary>
        public Variable Q_Negative { get; private set; }
        /// <summary>
        /// Критическое значение тангенса фазового угла
        /// </summary>
        public Variable TANG_fi2_kr { get; private set; }
        /// <summary>
        /// Критическое значение магнитного сопротивления ротора
        /// </summary>
        public Variable Z2_kr_shtrix { get; private set; }
        /// <summary>
        /// Критическое значение момента
        /// </summary>
        public Variable M_KR { get; private set; }
        /// <summary>
        /// Критическое значение момента
        /// </summary>
        public Variable M_KR_Negative { get; private set; }
        /// <summary>
        /// Критическое значение тока ротора
        /// </summary>
        public Variable I2_KR_shtrix { get; private set; }
        /// <summary>
        /// Критическое значение МДС ротора
        /// </summary>
        public Variable F2_KR { get; private set; }
        /// <summary>
        /// Действующее значение магнитной напряженности на поверхности ротора
        /// </summary>
        public Variable HE_KR { get; private set; }
        /// <summary>

```

```

    /// Единичное комплексное магнитное сопротивление массивного ротора
    /// </summary>
    public Variable Z1_T_degree { get; private set; }
    /// <summary>
    /// Единичное комплексное магнитное сопротивление при t=20°C
    /// </summary>
    public Variable Z1_20_degree { get; private set; }
    /// <summary>
    /// Относительная длина массивного ротора
    /// </summary>
    public Variable Lambda { get; private set; }
    /// <summary>
    /// Коэффициент приведения участка массивного ротора к прямолинейному участку
    /// </summary>
    public Variable K_Lambda { get; private set; }
    /// <summary>
    /// Комплексное электрическое сопротивление ротора
    /// </summary>
    public ComplexVariable Z20_Shtrix { get; private set; }
    /// <summary>
    /// Единичное комплексное магнитное сопротивление массивного ротора
    /// </summary>
    public ComplexVariable Z1_Complex { get; private set; }
    /// <summary>
    /// Действующее значение критического скольжения
    /// </summary>
    public Variable S_KR { get; private set; }
    /// <summary>
    /// Приведенное активное сопротивление ротора при s=1
    /// </summary>
    public Variable R2Star { get; private set; }
    /// <summary>
    /// Зависимость тангенса фазового угла от скольжения
    /// </summary>
    public Variable TANG_fi2 { get; private set; }
    /// <summary>
    ///
    /// </summary>
    public Variable Z2_Shtrix { get; private set; }
    /// <summary>
    ///
    /// </summary>
    public Variable R { get; private set; }
    /// <summary>
    ///
    /// </summary>
    public Variable X { get; private set; }
    public HollowRotor(AsinxronMachineEntryParametr entryParametr, Variable z1, Variable
perPolCount, Variable l1,
        Variable w1, Variable airGapDelta, Variable h, Variable dA, Variable cosFi,
Variable d, Variable i1,
        AsinxronStatorWinding statorWinding, Variable bDelta, Variable fMagnetic,
Variable kDelta) : base(
        entryParametr, z1, perPolCount, l1, w1, airGapDelta, h, dA, cosFi, d, i1,
statorWinding, bDelta, fMagnetic,
        kDelta)
    {
        _d2 = (entryParametr.Rotor as
HollowAsynchMachineRotorEntryParametr).RotorExtDiameter;
        _figureKucevalov1Point15 = new KucevalovFigure1Point15();
        _figureKucevalov1Point5 = new KucevalovFigure1Point5();
    }
    public void InitializeAdditionalParametr(Variable r1, Variable x1, Variable a,
Variable Sigma, Variable U, Variable m,

```

```

        Variable n1, Variable kob1, Variable k_nom, Variable Tau, Variable w1, Variable
p, Variable alfa_20, Variable l, Variable f1
    {
        B = new Variable(typeof(double), Id + "b", UnitEnum.Non, false, Calc_B, r1, x1);
        H = new Variable(typeof(double), Id + "h", UnitEnum.Non, false, Calc_H, a, B);
        Q = new Variable(typeof(double), Id + "q", UnitEnum.Non, false, Calc_Q, a, B);
        Q_Negative = new Variable(typeof(double), Id + "q", UnitEnum.Non, false,
Calc_QNegative, a, B);
        TANG_fi2_kr = new Variable(typeof(double), Id + "tang_fi2_kr", UnitEnum.Non,
false, Calc_TANG_fi2_kr, a, B, H);
        Z2_kr_shtrix = new Variable(typeof(double), Id + "z2_kr_shtrix", UnitEnum.Non,
false, Calc_Z2_kr_shtrix, x1, a, B, Sigma);
        M_KR = new Variable(typeof(double), Id + "M_kr", UnitEnum.Non, false, Calc_M_KR,
U, m, a, B, x1, n1, Sigma);
        M_KR_Negative = new Variable(typeof(double), Id + "M_kr", UnitEnum.Non, false,
Calc_M_KR_Negative, U, m, a, B, x1, n1, Sigma);
        I2_KR_shtrix = new Variable(typeof(double), Id + "I2_kr_shtrix", UnitEnum.Non,
false, Calc_I2_KR_shtrix, U, x1, a, B, H);
        F2_KR = new Variable(typeof(double), Id + "F2_kr", UnitEnum.Non, false,
Calc_F2_KR, w1, kob1, p, I2_KR_shtrix);
        HE_KR = new Variable(typeof(double), Id + "He_kr", UnitEnum.Non, false,
Calc_HE_KR, F2_KR, k_nom, Tau);
        Z1_20_degree = new Variable(typeof(double), Id + "z1_20_degree", UnitEnum.Non,
false, _figureKucevalov1Point5.Get_Z1_20_degree, HE_KR);
        Variable t = new Variable(typeof(double), Id + "t", UnitEnum.Non, true, null,
null);
        t.Value = 130;
        Z1_T_degree = new Variable(typeof(double), Id + "z1_t_degree", UnitEnum.Non,
false, Calc_Z1_T_degree, Z1_20_degree, alfa_20, t);
        Lambda = new Variable(typeof(double), Id + "Lambda", UnitEnum.Non, false,
Calc_Lambda, l, Tau);
        K_Lambda = new Variable(typeof(double), Id + "K_Lambda", UnitEnum.Non, false,
_figureKucevalov1Point15.Get_K_Lambda, Lambda);
        R = new Variable(typeof(double), Id + "R2", UnitEnum.Non, false, Calc_R,
Z1_T_degree, a);
        X = new Variable(typeof(double), Id + "X2", UnitEnum.Non, false, Calc_X, R, a);
        Z1_Complex = new ComplexVariable(Id + "z1_Complex", UnitEnum.Non, false,
Calc_Z1_Complex<Complex>, R, X);
        Z20_Shtrix = new ComplexVariable(Id + "z20_shtrix", UnitEnum.Non, false,
Calc_Z20_Shtrix<Complex>, f1, Z1_Complex, m, w1, kob1, K_Lambda, p, R, X);
        R2Star = new Variable(typeof(double), Id + "R2Star", UnitEnum.Non, false,
Calc_R2_Star, Z20_Shtrix.Re);
        S_KR = new Variable(typeof(double), Id + "s_kr", UnitEnum.Non, false, Calc_S_KR,
Sigma, R2Star, x1, H);
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] Z1_T_degree, vars[1] a</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_R(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result = "";
        return Math.Sqrt((Math.Pow(vars[0].Value, 2) / (1 + Math.Pow(vars[1].Value,
2)))) / 100000;
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] R, vars[1] a</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_X(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result = "";
        return vars[0] / vars[1];
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] Z20_Shtrix.Real</param>

```

```

/// <returns></returns>
public double Calc_R2_Star(out string result, params Variable[] vars)
{
    result = String.Format("{0}", vars[0].Value);
    return vars[0].Value;
}
/// <param name="result"></param>
/// <param name="vars">vars[0] r1, vars[1] X1</param>
/// <returns></returns>
public double Calc_B(out string result, params Variable[] vars)
{
    result = String.Format("\\frac{{{0}}}{{{1}}}", vars[0].Value, vars[1].Value);
    return vars[0] / vars[1];
}
/// <param name="result"></param>
/// <param name="vars">vars[0] a, vars[1] b</param>
/// <returns></returns>
public double Calc_H(out string result, params Variable[] vars)
{
    result = String.Format("sqrt{{{\\frac{{{1+{0}^2}}}{{{1+{1}^2}}}}}", vars[0].Value,
vars[1].Value);
    return Math.Sqrt((1 + Math.Pow(vars[0].Value, 2)) / (1 + Math.Pow(vars[1].Value,
2)));
}
/// <param name="result"></param>
/// <param name="vars">vars[0] a, vars[1] b</param>
/// <returns></returns>
public double Calc_Q(out string result, params Variable[] vars)
{
    result = String.Format("\\frac{{{0}+{1}}}{{sqrt{{{(1+{0}^2)}\\cdot(1+{1}^2)}}}}",
vars[0].Value, vars[1].Value);
    return (vars[0] + vars[1]) / Math.Sqrt((1 + Math.Pow(vars[0].Value, 2)) * (1 +
Math.Pow(vars[0].Value, 2)));
}
/// <param name="result"></param>
/// <param name="vars">vars[0] a, vars[1] b</param>
/// <returns></returns>
public double Calc_QNegative(out string result, params Variable[] vars)
{
    result = String.Format("\\frac{{{0}-{1}}}{{sqrt{{{(1+{0}^2)}\\cdot(1+{1}^2)}}}}",
vars[0].Value, vars[1].Value);
    return (vars[0] - vars[1]) / Math.Sqrt((1 + Math.Pow(vars[0].Value, 2)) * (1 +
Math.Pow(vars[0].Value, 2)));
}
/// <param name="result"></param>
/// <param name="vars">vars[0] a, vars[1] b, vars[2] h</param>
/// <returns></returns>
public double Calc_TANG_fi2_kr(out string result, params Variable[] vars)
{
    result = String.Format("-\\frac{{{0}+{2}}}{{{1+{1}}\\cdot{2}}}", vars[0].Value,
vars[1].Value, vars[2].Value);
    return (vars[0] + vars[2]) / (1 + (vars[1] * vars[2]));
}
/// <param name="result"></param>
/// <param name="vars">vars[0] x1, vars[1] b, vars[2] Sigma</param>
/// <returns></returns>
public double Calc_Z2_kr_shtrix(out string result, params Variable[] vars)
{
    result = String.Format("{0}\\cdot\\frac{{sqrt{{{1+{1}^2}}}}{{{2}}}",
vars[0].Value, vars[1].Value, vars[2].Value);
    return vars[0] * (Math.Sqrt(1 + Math.Pow(vars[1].Value, 2))) / vars[2];
}
/// <param name="result"></param>

```

```

    /// <param name="vars">vars[0] U, vars[1] m, vars[2] a, vars[3] B, vars[4] X1,
vars[5] n1, vars[6] Sigma</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_M_KR(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result =
String.Format("\\frac{{{0.5}\\cdot{0}^2}}{{{6}\\cdot{4}}}}\\cdot\\frac{{{1}}{{{2}+{3}+\\sqrt{
{(1+{2}^2)\\cdot(1+{3}^2)}}}}\\cdot\\frac{{{2}\\cdot97.5}}{{{5}}}}", vars[0].Value,
        vars[1].Value, vars[2].Value, vars[3].Value, vars[4].Value, vars[5].Value,
vars[6].Value);
        return ((0.5 * Math.Pow(vars[0].Value, 2)) / (vars[6] * vars[4])) * (1 /
(vars[2] + vars[3] + Math.Sqrt((1 + Math.Pow(vars[2].Value, 2)) * (1 +
Math.Pow(vars[3].Value, 2))))) *
        ((vars[1] * 97.5) / vars[5]));
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] U, vars[1] m, vars[2] a, vars[3] B, vars[4] X1,
vars[5] n1, vars[6] Sigma</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_M_KR_Negative(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result =
String.Format("\\frac{{{0.5}\\cdot{0}^2}}{{{6}\\cdot{4}}}}\\cdot\\frac{{{1}}{{{2}+{3}+\\sqrt{
{(1+{2}^2)\\cdot(1+{3}^2)}}}}\\cdot\\frac{{{2}\\cdot97.5}}{{{5}}}}", vars[0].Value,
        vars[1].Value, vars[2].Value, vars[3].Value, vars[4].Value, vars[5].Value,
vars[6].Value);
        return (- (0.5 * Math.Pow(vars[0].Value, 2)) / (vars[6] * vars[4])) * (1 /
(vars[2] - vars[3] + Math.Sqrt((1 + Math.Pow(vars[2].Value, 2)) * (1 +
Math.Pow(vars[3].Value, 2))))) *
        ((vars[1] * 97.5) / vars[5]);
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] U, vars[1] X1, vars[2] a, vars[3] B, vars[4]
H</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_I2_KR_shtrix(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result =
String.Format("\\frac{{{0}}{{sqrt{{{2}}}}\\cdot{1}}}{\\cdot\\frac{{{4}}{{{2}+{3}+\\sqrt{{{(1+
{2}^2)(1+{3}^2)}}}}}}", vars[0].Value, vars[1].Value, vars[2].Value, vars[3].Value,
        vars[4].Value);
        return (vars[0] / Math.Sqrt(2)) * (Math.Sqrt(vars[4] / (vars[2] + vars[3] +
Math.Sqrt((1 + Math.Pow(vars[2].Value, 2)) * (1 + Math.Pow(vars[3].Value, 2))))) *
        vars[1]);
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] w1, vars[1] kob1, vars[2] p, vars[3]
I2_KR_shtrix</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_F2_KR(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result = String.Format("2.7\\cdot\\frac{{{0}{1}}{{{2}}}}\\cdot{3}",
vars[0].Value, vars[1].Value, vars[2].Value, vars[3].Value);
        return 2.7 * ((vars[0] * vars[1]) / vars[2]) * vars[3];
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] F2_KR, vars[1] k_nom, vars[2] Tau</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_HE_KR(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result = String.Format("\\frac{{{0}}{{sqrt{{{2}}}}\\cdot{1}\\cdot{2}}}",
vars[0].Value, vars[1].Value, vars[2].Value);
        return vars[0] / (Math.Sqrt(2) * vars[1] * vars[2]);
    }
    /// <param name="result"></param>

```

```

    /// <param name="vars">vars[0] z1_20_degree, vars[1] alfa_20, vars[2] t</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_Z1_T_degree(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result = String.Format("\\frac{{{0}}}{{{\\sqrt{{1+{1}\\cdot{{2}-20}}}}}}",
vars[0].Value, vars[1].Value, vars[2].Value);
        return vars[0] / Math.Sqrt(1 + vars[1] * (vars[2] - 20));
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] 1, vars[1] Tau</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_Lambda(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result = String.Format("\\frac{{{0}}}{{{1}}}", vars[0].Value, vars[1].Value);
        return vars[0] / vars[1];
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] r, vars[1] x</param>
    /// <returns></returns>
    public Complex Calc_Z1_Complex<T>(out string result, params AbstractVariable[] vars)
    {
        Variable r = vars[0] as Variable;
        Variable x = vars[1] as Variable;
        result = "";

        return new Complex(r.Value, x.Value);
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] f1, vars[1] Z1_T_degree, vars[2] m, vars[3] w1,
vars[4] kob, vars[5] k_lambda, vars[6] p vars[7] R vars[8] X</param>
    /// <returns></returns>
    public Complex Calc_Z20_Shtrix<T>(out string result, params AbstractVariable[] vars)
    {
        Variable f1 = vars[0] as Variable;
        ComplexVariable z1_T_degree = vars[1] as ComplexVariable;
        Variable m = vars[2] as Variable;
        Variable w1 = vars[3] as Variable;
        Variable kOb = vars[4] as Variable;
        Variable k_lambda = vars[5] as Variable;
        Variable p = vars[6] as Variable;
        Variable R = vars[7] as Variable;
        Variable X = vars[8] as Variable;
        result =
String.Format("J\\frac{{3.14\\cdot\\sqrt{{{0}}}}}{{{2}}}}\\cdot\\frac{{{2}\\cdot{{3}}\\cdot{{4}}
)^2}}{{6\\cdot{{5}}}}", f1.Value, z1_T_degree.Value, m.Value, w1.Value, kOb.Value,
k_lambda.Value, p.Value);
        double constValue = Math.PI * Math.Sqrt(f1.Value) * (m * Math.Pow(w1.Value *
kOb.Value, 2)) / (k_lambda * p * (R * R + X * X) * 100000);

        return constValue * new Complex(X.Value, R.Value);
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] Sigma, vars[1] r20_shtrix, vars[2] x1, vars[3]
H</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_S_KR(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result = String.Format("\\left( \\frac{{{0}\\cdot{{1}}}}{{{2}}}}\\cdot{{3}}
\\right)^2", vars[0].Value, vars[1].Value, vars[2].Value, vars[3].Value);
        return Math.Pow(((vars[0] * vars[1]) / vars[2]) * vars[3], 2);
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars"> vars[0] Z2_kr_shtrix, vars[1] s_div_skr_shrix</param>
    /// <returns></returns>

```



```

        public double Calc_Z2_Shtrix(out string result, params Variable[] vars)
        {
            result = String.Format("{0}\\cdot\\sqrt(\\frac{{{1}}}{{{1}}})", vars[0].Value,
vars[1].Value);
            return vars[0] * Math.Sqrt(1 / vars[1]);
        }
    }

    [Serializable()]
    public class HollowCharacteristic : ICalculateble, ICharacteristic
    {
        private const string VariableName = "HollowCharacter_";
        public Variable Example { get; private set; }
        public Variable M_Mechanical { get; private set; }
        public Variable TANG_fi2 { get; private set; }
        public Variable Z2_Shtrix { get; private set; }
        public Variable Cos_fi { get; private set; }
        /// <summary>
        /// Зависимость тока ротора от скольжения
        /// </summary>
        public Variable I2_shtrix { get; private set; }
        /// <summary>
        /// Зависимость тока ротора от скольжения
        /// </summary>
        public Variable I2_2shtrix { get; private set; }
        /// <summary>
        /// Вещественная составляющая тока
        /// </summary>
        public Variable Re_I2_2shtrix { get; private set; }
        /// <summary>
        /// Мнимая составляющая тока
        /// </summary>
        public Variable Im_I2_2shtrix { get; private set; }
        /// <summary>
        ///
        /// </summary>
        public ComplexVariable I2_2shtrix_Complex { get; private set; }
        /// <summary>
        ///
        /// </summary>
        public ComplexVariable I1_Complex { get; private set; }
        /// <summary>
        ///
        /// </summary>
        public ComplexVariable I0_Complex { get; private set; }
        public ComplexVariable ComplexExample { get; private set; }
        public Variable S { get; private set; }
        private Variable _sDivSkrShtrix;
        private Variable _sDivSkr;
        private double[] _sDivSkrCharacteristicValues;
        private double[] _sDivSkrShtrixCharactereisticValue;
        public HollowCharacteristic(AsinchronMachine machine, Variable s)
        {
            HollowRotor hollow = machine.Rotor as HollowRotor;
            HollowAsyncMachineStatorWinding statorWinding = machine.Stator.StatorWinding as
HollowAsyncMachineStatorWinding;
            HollowAsyncMachineRotorEntryParametr rotorEntry = machine.EntryParametr.Rotor
as HollowAsyncMachineRotorEntryParametr;
            S = s;
            _sDivSkr = new Variable(typeof(double), VariableName + "SDivSkrShtrix",
UnitEnum.Non, false, Calc_S_DivSkr, S, hollow.S_KR);
            _sDivSkrShtrix = new Variable(typeof(double), VariableName + "SDivSkrShtrix",
UnitEnum.Non, false, Calc_S_DivSkrShtrix, _sDivSkr);

```

```

        Example = new Variable(typeof(double), VariableName + "exampleName",
UnitEnum.Non, false, Calc_Example, hollow.M_KR);
        M_Mechanical = new Variable(typeof(double), VariableName + "M_mechanical",
UnitEnum.Non, false, Calc_M_Mechanical, hollow.M_KR, hollow.Q, _sDivSkrShtrix);
        TANG_fi2 = new Variable(typeof(double), VariableName + "tang_fi2", UnitEnum.Non,
false, Calc_TANG_fi2, hollow.TANG_fi2_kr, rotorEntry.a, hollow.H, hollow.B, _sDivSkrShtrix);
        I2_shtrix = new Variable(typeof(double), VariableName + "i2_shtrix",
UnitEnum.Non, false, Calc_I2_shtrix, hollow.I2_KR_shtrix, hollow.Q, _sDivSkrShtrix);
        I2_2shtrix = new Variable(typeof(double), VariableName + "i2_2shtrix",
UnitEnum.Non, false, Calc_I2_2shtrix, I2_shtrix, statorWinding.Sigma);
        Re_I2_2shtrix = new Variable(typeof(double), VariableName + "Re_i2_2shtrix",
UnitEnum.Non, false, Calc_Re_I2_2shtrix, I2_2shtrix, TANG_fi2);
        Im_I2_2shtrix = new Variable(typeof(double), VariableName + "Im_i2_2shtrix",
UnitEnum.Non, false, Calc_Im_I2_2shtrix, I2_2shtrix, TANG_fi2);
        I2_2shtrix_Complex = new ComplexVariable(VariableName + "i2_2shtrix_complex",
UnitEnum.Non, false, Calc_I2_2shtrix_Complex<Complex>, Re_I2_2shtrix, Im_I2_2shtrix);
        Z2_Shtrix = new Variable(typeof(double), VariableName + "z2_hhtrix",
UnitEnum.Non, false, Calc_Z2_Shtrix, hollow.Z2_kr_shtrix, _sDivSkrShtrix);
        I0_Complex = new ComplexVariable(VariableName + "i0_complex", UnitEnum.Non,
false, Calc_I0_Complex<Complex>, machine.EntryParametr.VoltageOfPhase,
statorWinding.WindingActiveResistance.R,
        statorWinding.WindingReactiveResistance.X, (machine as
HollowRotorAsynchronMachine).XMyu);
        I1_Complex = new ComplexVariable(VariableName + "i1_complex", UnitEnum.Non,
false, Calc_I1_Complex<Complex>, I2_2shtrix_Complex, I0_Complex);
        Cos_fi = new Variable(typeof(double), VariableName + "cos_fi", UnitEnum.Non,
false, Calc_Cos_fi, I1_Complex.Re, I1_Complex.Module);
        ComplexExample = new ComplexVariable(VariableName + "complexExampleName",
UnitEnum.Non, false, Calc_ComplexExample<Complex>, null);
    }
    public void Init(double[] sDivSkrCharacteristicValues, double[]
sDivSkrShtrixCharactereisticValue)
    {
        _sDivSkrShtrixCharactereisticValue = sDivSkrShtrixCharactereisticValue;
        _sDivSkrCharacteristicValues = sDivSkrCharacteristicValues;
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars"> vars[0] U, vars[1] r1, vars[2] x1, vars[3] Xmyum, vars[4]
I0_complex</param>
    /// <returns></returns>
    public Complex Calc_I0_Complex<T>(out string result, params AbstractVariable[] vars)
    {
        Variable U = vars[0] as Variable;
        Variable r1 = vars[1] as Variable;
        Variable x1 = vars[2] as Variable;
        Variable XMyu = vars[3] as Variable;
        result = String.Format("\\frac{{{0}}}{{{1}+J\\cdot{2}+J\\cdot{3}}}", U.Value,
r1.Value, x1.Value, XMyu.Value);
        return U.Value / new Complex(r1.Value, x1 + XMyu);
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] I2_shtrix, vars[1] Sigma</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_I2_2shtrix(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result = String.Format("\\frac{{{0}}}{{{1}}}", vars[0].Value, vars[1].Value);
        return vars[0] / vars[1];
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] I2_2shtrix, vars[1] TANG_fi2</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_Im_I2_2shtrix(out string result, params Variable[] vars)
    {

```

```

        result = String.Format("\\frac{{{0}}\\cdot{1}}{{sqrt(1+{1}^2)}}", vars[0].Value,
vars[1].Value);
        return vars[0] * vars[1] / Math.Sqrt(1 + Math.Pow(vars[1].Value, 2));
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] I2_2shtrix, vars[1] TANG_fi2</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_Re_I2_2shtrix(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result = String.Format("\\frac{{{0}}}{sqrt(1+{1}^2)}}", vars[0].Value,
vars[1].Value);
        return vars[0] / Math.Sqrt(1 + Math.Pow(vars[1].Value, 2));
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] Re_I2_2shtrix, vars[1] Im_I2_2shtrix</param>
    /// <returns></returns>
    public Complex Calc_I2_2shtrix_Complex<T>(out string result, params
AbstractVariable[] vars)
    {
        Variable Re_I2_2shtrix = vars[0] as Variable;
        Variable Im_I2_2shtrix = vars[1] as Variable;
        result = String.Format("{0}+{1}", Re_I2_2shtrix.Value, Im_I2_2shtrix.Value);
        return new Complex(Re_I2_2shtrix.Value, Im_I2_2shtrix.Value);
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars"> vars[0] I2_2shtrix, vars[1] I0_Complex</param>
    /// <returns></returns>
    public Complex Calc_I1_Complex<T>(out string result, params AbstractVariable[] vars)
    {
        ComplexVariable i2_2shtrix_Complex = vars[0] as ComplexVariable;
        ComplexVariable i0_Complex = vars[1] as ComplexVariable;
        result = String.Format("({1})-({0})", i2_2shtrix_Complex, I0_Complex);
        return i0_Complex - i2_2shtrix_Complex;
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars"></param>
    /// <returns></returns>
    public new double Calc_Example(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result = "";
        return 0;
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] M_KR, vars[1] Q, vars[2] s_div_skr_shrix</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_M_Mechanical(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result =
String.Format("{0}\\cdot\\frac{{2\\cdot(1+{1})}}{{sqrt{2}+sqrt(\\frac{{1}}{{2}})}+(2\\cdot{
1})}}", vars[0].Value, vars[1].Value, vars[2].Value);
        return vars[0] * ((2 * (1 + vars[1])) / (Math.Sqrt(vars[2].Value) + Math.Sqrt(1
/ vars[2]) + 2 * vars[1]));
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] TANG_fi2_kr, vars[1] a, vars[2] H, vars[3] B, vars[4]
s_div_skr_shrix</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_TANG_fi2(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result =
String.Format("{0}\\cdot\\frac{{1+{3}\\cdot{2}}}{1+{2}}\\cdot\\frac{{1+{2}\\cdot(\\sqr
t{4})}}{1+{3}\\cdot{2}\\cdot(\\sqrt{4})}}", vars[0].Value, vars[1].Value, vars[2].Value,
vars[3].Value, vars[4].Value);

```

```

        return vars[0] * ((1 + vars[3] * vars[2]) / (vars[1] + vars[2])) * ((vars[1] +
vars[2] * Math.Sqrt(vars[4].Value)) / (1 + vars[3] * vars[2] * Math.Sqrt(vars[4].Value)));
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] I2_KR_shtrix, vars[1] Q, vars[2]
s_div_skr_shrix</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_I2_shtrix(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result =
String.Format("{0}\\cdot\\sqrt{\\frac{{2*(1+{2})}}{{(\\frac{{1}}{{{2}}})+(2\\cdot{1}\\cdot\\frac{{1}}{{{2}}})+1}}}", vars[0].Value, vars[1].Value, vars[2].Value);
        return vars[0] * Math.Sqrt((2 * (1 + vars[2])) / ((1 / vars[2]) + (2 * vars[1] *
Math.Sqrt(1 / vars[2])) + 1));
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars"> vars[0] Z2_kr_shtrix, vars[1] s_div_skr_shrix</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_Z2_Shtrix(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result = String.Format("{0}\\cdot\\sqrt{\\frac{{1}}{{{1}}}}", vars[0].Value,
vars[1].Value);
        return vars[0] * Math.Sqrt(1 / vars[1]);
    }
    /// <summary>
    ///
    /// </summary>
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars"> vars[0] Re_I1, vars[1] Module_I1</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_Cos_fi(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result = String.Format("\\frac{{{0}}}{{{1}}}", vars[0].Value, vars[1].Value);
        return vars[0]/vars[1];
    }
    /// <summary>
    ///
    /// </summary>
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] f1, vars[1] Z1_T_degree, vars[2] m, vars[3] w1,
vars[4] kob, vars[5] k_lambda, vars[6] p</param>
    /// <returns></returns>
    public Complex Calc_ComplexExample<T>(out string result, params AbstractVariable[]
vars)
    {
        result = "";
        return 0;
        Variable f1 = vars[0] as Variable;
        ComplexVariable z1_T_degree = vars[1] as ComplexVariable;
        Variable m = vars[2] as Variable;
        Variable w1 = vars[3] as Variable;
        Variable kOb = vars[4] as Variable;
        Variable k_lambda = vars[5] as Variable;
        Variable p = vars[6] as Variable;
        result =
String.Format("J\\frac{{3.14\\cdot\\sqrt{{{0}}}}{{{2}}}}\\cdot\\frac{{2\\cdot{3}\\cdot{4}}
)^2}}{{{6}\\cdot{5}}}", f1.Value, z1_T_degree.Value, m.Value, w1.Value, kOb.Value,
k_lambda.Value, p.Value);
        double constValue = Math.PI * Math.Sqrt(f1.Value) * (m * Math.Pow(w1.Value *
kOb.Value, 2)) / (k_lambda * p);
        return new Complex(0, constValue) / z1_T_degree.Value;
    }
    /// <param name="result"></param>

```

```

        /// <param name="vars">vars[0] F_Delta, vars[1] F_Z1 vars[2] Fa (Yarmo) vars[3]
2p</param>
        /// <returns></returns>
        public new double Calc_S_DivSkrShtrix(out string result, params Variable[] vars)
        {
            result = "";
            return
Mathematics.FindeFromArrayUsingLineryAproximaton(_sDivSkrCharacteristicValues,
_sDivSkrShtrixCharacteristicValue, vars[0].Value);
        }
        /// <param name="result"></param>
        /// <param name="vars">vars[0] F_Delta, vars[1] F_Z1 vars[2] Fa (Yarmo) vars[3]
2p</param>
        /// <returns></returns>
        public new double Calc_S_DivSkr(out string result, params Variable[] vars)
        {
            result = "";
            return (vars[0].Value / vars[1].Value);
        }
        public void StartCalculate()
        {
            Example.StartCalculate();
            _sDivSkr.StartCalculate();
            _sDivSkrShtrix.StartCalculate();
            M_Mechanical.StartCalculate();
            TANG_fi2.StartCalculate();
            I2_shtrix.StartCalculate();
            I2_2shtrix.StartCalculate();
            Re_I2_2shtrix.StartCalculate();
            Im_I2_2shtrix.StartCalculate();
            Z2_Shtrix.StartCalculate();
            I2_2shtrix_Complex.StartCalculate();
            I0_Complex.StartCalculate();
            I1_Complex.StartCalculate();
            Cos_fi.StartCalculate();
        }
        public List<string> GetCharacteristicDataName()
        {
            List<Variable> vars = GetCharacteristicData();
            return vars.Select(variable => variable.Name).ToList();
        }
        public List<Variable> GetCharacteristicData()
        {
            List<Variable> vars = new List<Variable>()
            {
                S,
                M_Mechanical,
                TANG_fi2,
                I2_shtrix,
                Z2_Shtrix,
                Cos_fi,
            };
            return vars;
        }
        public CharacteristicCurveData[] GetCaracteristicCurveData()
        {
            CharacteristicCurveData[] retValue = new CharacteristicCurveData[]
            {
                new CharacteristicCurveData(S.Name, M_Mechanical.Name, "M*"),
                new CharacteristicCurveData(S.Name, TANG_fi2.Name, "TnFi2*"),
                new CharacteristicCurveData(S.Name, I2_shtrix.Name, "I2_shtrix*"),
                new CharacteristicCurveData(S.Name, Z2_Shtrix.Name, "Z2_shtrix*"),
                new CharacteristicCurveData(S.Name, Cos_fi.Name, "Cos_fi*"),
            };
        }

```

```

        return retValue;
    }
}
{
[Serializable()]
public class HollowTorqueCharacteristic : ICalculateble, ICharacteristic
{
    private const string VariableName = "HollowCharacter_";
    public Variable M_Mechanical { get; private set; }
    public Variable S { get; private set; }
    private Variable _sDivSkrShtrix;
    private Variable _sDivSkr;
    private double[] _sDivSkrCharacteristicValues;
    private double[] _sDivSkrShtrixCharacteristicValue;
    public HollowTorqueCharacteristic(AsinchronMachine machine, Variable s)
    {
        HollowRotor hollow = machine.Rotor as HollowRotor;
        HollowAsyncMachineStatorWinding statorWinding = machine.Stator.StatorWinding as
HollowAsyncMachineStatorWinding;
        HollowAsyncMachineRotorEntryParametr rotorEntry = machine.EntryParametr.Rotor
as HollowAsyncMachineRotorEntryParametr;
        S = s;
        _sDivSkr = new Variable(typeof(double), VariableName + "SDivSkrShtrix",
UnitEnum.Non, false, Calc_S_DivSkr, S, hollow.S_KR);
        _sDivSkrShtrix = new Variable(typeof(double), VariableName + "SDivSkrShtrix",
UnitEnum.Non, false, Calc_S_DivSkrShtrix, _sDivSkr);
        M_Mechanical = new Variable(typeof(double), VariableName + "M_mechanical",
UnitEnum.Non, false, Calc_M_Mechanical, hollow.M_KR, hollow.M_KR_Negative,
hollow.Q, hollow.Q_Negative, _sDivSkrShtrix, S);
    }
    public void Init(double[] sDivSkrCharacteristicValues, double[]
sDivSkrShtrixCharacteristicValue)
    {
        _sDivSkrShtrixCharacteristicValue = sDivSkrShtrixCharacteristicValue;
        _sDivSkrCharacteristicValues = sDivSkrCharacteristicValues;
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] M_KR,vars[1] M_KR_Negative, vars[2] Q,vars[3]
QNegative, vars[4] s_div_skr_shtrix, vars[5] S</param>
    /// <returns></returns>
    public double Calc_M_Mechanical(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result =
String.Format("{0}\\cdot\\frac{{2\\cdot(1+{1})}}{{\\sqrt{2}+sqrt(\\frac{{1}}{{2}})}+(2\\cdot{
1})}}", vars[0].Value, vars[2].Value, vars[4].Value);
        Variable Mkr = vars[5] < 0 ? vars[1] : vars[0];
        Variable Q = vars[5] < 0 ? vars[3] : vars[2];
        return Mkr * ((2 * (1 + Q)) / (Math.Sqrt(vars[4].Value) + Math.Sqrt(1 / vars[4])
+ 2 * Q));
    }
    /// <param name="result"></param>
    /// <param name="vars">vars[0] F_Delta, vars[1] F_Z1 vars[2] Fa (Yarmo) vars[3]
2p</param>
    /// <returns></returns>
    public new double Calc_S_DivSkrShtrix(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result = "";
        return
Mathematics.FindeFromArrayUsingLineryAproximaton(_sDivSkrCharacteristicValues,
_sDivSkrShtrixCharacteristicValue, Math.Abs(vars[0].Value));
    }
    /// <param name="result"></param>

```

```

    /// <param name="vars">vars[0] F_Delta, vars[1] F_Z1 vars[2] Fa (Yarmo) vars[3]
2p</param>
    /// <returns></returns>
    public new double Calc_S_DivSkr(out string result, params Variable[] vars)
    {
        result = "";
        return (vars[0].Value / vars[1].Value);
    }
    public void StartCalculate()
    {
        _sDivSkr.StartCalculate();
        _sDivSkrShtrix.StartCalculate();
        M_Mechanical.StartCalculate();
    }
    public List<string> GetCharacteristicDataName()
    {
        List<Variable> vars = GetCharacteristicData();
        return vars.Select(variable => variable.Name).ToList();
    }
    public List<Variable> GetCharacteristicData()
    {
        List<Variable> vars = new List<Variable>()
        {
            S,
            M_Mechanical,
        };
        return vars;
    }
    public CharacteristicCurveData[] GetCaracteristicCurveData()
    {
        CharacteristicCurveData[] retValue = new CharacteristicCurveData[]
        {
            new CharacteristicCurveData(S.Name, M_Mechanical.Name, "M*"),
        };
        return retValue;
    }
    {
        class HollowMachinCalculator : AsinxronMachinCalculator
        {
            override public bool StartCalculateElectircalMachine(AsinchronMachine
asnchronMachine, bool isInteractive = false)
            {
                if (!base.StartCalculateElectircalMachine(asnchronMachine, isInteractive))
                {
                    return false;
                }
                CalculateHollowMachineCharacteristic();
                return true;
            }
            protected override void CalculateStartingCharacteristic()
            {
            }
            protected override void CalculateWorkingCharacteristic()
            {
            }
            private void CalculateHollowMachineCharacteristic()
            {
                HollowRotorAsynchronMachine hollowMachine = _asinchronMachine as
HollowRotorAsynchronMachine;
                HollowRotor hollowRotor = hollowMachine.Rotor as HollowRotor;
                HollowAsynchMachineRotorEntryParametr rotorEntry =
hollowMachine.EntryParametr.Rotor as HollowAsynchMachineRotorEntryParametr;
                ICharacteristic[] characteristics = hollowMachine.Characteristics;

```

```

        double[] s_div_skr_shrix = { 3, 2.5, 2, 1.5, 1, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1, 0.05,
0.04, 0.03, 0.02, 0.01, 0.005, 0.004, 0.003, 0.002, 0.001 };
        double[] s_div_skr = CalcSDivSkr(hollowRotor.Q, hollowRotor.Q_Negative,
rotorEntry.kappa, s_div_skr_shrix);
        double nominalSahq = Math.Round(hollowRotor.S_KR.Value, 3);
        double[] values = { nominalSahq, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 };
        Array.Sort(values);
        for (int i = 0; i < values.Length; ++i)
        {
            HollowCharacteristic characteristic = (characteristics[i] as
HollowCharacteristic);
            characteristic.S.Value = values[i];
            characteristic.Init(s_div_skr, s_div_skr_shrix);
            characteristic.StartCalculate();
        }
        CalculateHollowMachineTorqueCharacteristic(hollowMachine.TorqueCharacteristics, new []{ -
nominalSahq, -1, -0.8, -0.6, -0.4, -0.2, nominalSahq, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 });
        CalculateHollowMachineTorqueCharacteristic(hollowMachine.AbsolutlyTorqueCharacteristics, new
[] { nominalSahq, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 });
        hollowMachine.FinishCalculateCharacteristics();
    }
    private void CalculateHollowMachineTorqueCharacteristic(ICharacteristic[]
characteristics, double[] values)
    {
        HollowRotorAsynchronMachine hollowMachine = _asynchronMachine as
HollowRotorAsynchronMachine;
        HollowRotor hollowRotor = hollowMachine.Rotor as HollowRotor;
        HollowAsynchMachineRotorEntryParametr rotorEntry =
hollowMachine.EntryParametr.Rotor as HollowAsynchMachineRotorEntryParametr;
        double[] s_div_skr_shrix = { -3, -2.5, -2, -1.5, -1, -0.5, -0.4, -0.3, -0.2, -
0.1, -0.05, -0.04, -0.03, -0.02, -0.01, -0.005, -0.004, -0.003, -0.002, -0.001, 0,
0.001, 0.002, 0.003, 0.004, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03,
0.04, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 };
        double[] s_div_skr = CalcSDivSkr(hollowRotor.Q, hollowRotor.Q_Negative,
rotorEntry.kappa, s_div_skr_shrix);
        double nominalSahq = Math.Round(hollowRotor.S_KR.Value, 3);
        double stepOfSahq = Math.Round(nominalSahq / 4, 3);
        int count = 0;
        Array.Sort(values);
        for (int i = 0; i < values.Length; ++i)
        {
            HollowTorqueCharacteristic characteristic = (characteristics[count++] as
HollowTorqueCharacteristic);
            characteristic.S.Value = values[i];
            characteristic.Init(s_div_skr, s_div_skr_shrix);
            characteristic.StartCalculate();
        }
    }
    private double[] CalcSDivSkr(Variable q, Variable qNegative, Variable kappa,
double[] s_div_skr_shrix)
    {
        double[] result = new double[s_div_skr_shrix.Length];
        double qValue = q.Value;
        double qNegativelue = qNegative.Value;
        double kappaValue = kappa.Value;
        for (int i = 0; i < s_div_skr_shrix.Length; ++i)
        {
            result[i] = GetSDivSkr(qValue, qNegativelue, kappaValue,
s_div_skr_shrix[i]);
        }
        return result;
    }
    private double GetSDivSkr(double q, double qNegativelue, double kappa, double
sDivSkrShtrix)

```



```

    {
        double qValue = sDivSkrShtrix < 0 ? qNegativeValue : q;
        double pakagic = ((1 / sDivSkrShtrix) + (2 * qValue * 1 /
Math.Sqrt(sDivSkrShtrix)) + 1) / (2 * (1 + qValue));
        double power = (kappa - 1) / (2 * kappa);
        return sDivSkrShtrix * Math.Pow(pakagic, power);
    }

```