

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՏԻԳՐԱՆ ՆՈՐԻԿԻ ՄՆՈՅԱՆ

ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՂԱՑԻ ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ՍԻՆԽՐՈՆ ՇԱՐԺԻՉԻ ԱՆԿԱՆՈՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻՑ ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅՈՒՆ

Ե.09.01- «Էլեկտրատեխնիկա, էլեկտրամեխանիկա, էլեկտրատեխնոլոգիաներ»
մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի
հայցման համար

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ., պրոֆ.
Մարինկա Քաջիկի Բաղդասարյան

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ	4
Գլուխ 1. ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՂԱՑԻ ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ՍԻՆԽՐՈՆ ՇԱՐԺԻՉԻ ԱՆԿԱՆՈՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՈՒՂԻՆԵՐԸ	9
1.1. Հարցի վիճակը	9
1.2. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացում օգտագործվող սինխրոն շարժիչների աշխատանքային ռեժիմների վրա ազդող հիմնական գործոնների վերլուծությունը	12
1.3. Հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների հետազոտման և դրանց կանխման հայտնի աշխատությունների վերլուծական ակնարկ	18
1.4. Խնդրի դրվածքը	31
1.5. Եզրակացություններ	33
Գլուխ 2. ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ՍԻՆԽՐՈՆ ՇԱՐԺԻՉԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ ԱՍԻՆԽՐՈՆ ՌԵԺԻՄՈՒՄ	35
2.1. Հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի ասինխրոն աշխատանքային ռեժիմի հետազոտման մոդելի մշակումը ցանցի լարման շեղման դեպքում	35
2.2. Սինխրոն շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում աշխատելու հետևանքով նրա փաթույթի տաքացման հետևանքների հետազոտման ավգորիթմի մշակում	46
2.3. Եզրակացություններ	63
Գլուխ 3. ԱՂԱՑԻ ԲԱՆԵՑՄԱՆ ՍԻՆԽՐՈՆ ՇԱՐԺԻՉԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ԲԱՐԵԼԱՎՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ	65
3.1. Աղացի բեռի ազդեցության գնահատումը բանեցման շարժիչի աշխատանքային բնութագրերի վրա	65

3.2. Աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի հաճախային բնութագրերի ուսումնասիրությունը և նրա աշխատանքային ռեժիմների բարելավման կարգավորիչի մշակումը	71
3.3. Եզրակացություններ	92
Գլուխ 4. ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՂԱՑԻ ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ՍԻՆԽՐՈՆ ՇԱՐՇԻՉԻ ԱՆԿԱՆՈՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՌԵՇԻՄՆԵՐԻՑ ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ՄԻՋՈՑ	94
4.1. Հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի աշխատանքային ռեժիմների հսկման ալգորիթմ	94
4.2. Բանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմներից պաշտպանության միջոցի մշակման ալգորիթմ	105
4.3. Եզրակացություններ	108
ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ	110
ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ	112
Հավելված	119

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Թեմայի արդիականությունը: Տարբեր արտադրական գործընթացների պատշաճ կազմակերպումն առավելապես պայմանավորված է դրանցում օգտագործվող էլեկտրատեխնիկական սարքավորումների անխափան աշխատանքով և շահագործման արդյունավետությամբ: Տեխնոլոգիական գործընթացն ապահովող էլեկտրաբանեցման շարժիչների անաշխատունակությունը կարող է խաթարել ողջ տեխնոլոգիական գործընթացը՝ առաջացնելով տնտեսական լուրջ կորուստներ: Այս հարցի դիտարկումն առավել կարևորվում է հզոր էլեկտրաբանեցման շարժիչներ օգտագործող էներգատար տեխնոլոգիական գործընթացների դեպքում, ինչպիսին է հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացը: Մետաղական և ոչ մետաղական հանքաքարերի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացում օգտագործվող սինխրոն շարժիչներն էլեկտրաէներգիայի հիմնական սպառողներն են: Շահագործվող բանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքը կարող է խաթարել տեխնոլոգիական գործընթացի բնականոն ընթացքը, դրանով իսկ նպաստելով տեխնիկատնտեսական ցուցանիշների փոփոխմանը, ինչպես նաև վնասել շարժիչը:

Սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների առաջացման պատճառներն ու դրանց դրսևորումները բազմաթիվ են, և առանձին դեպքերում անկանոն ռեժիմների առաջացումը պայմանավորված է էլեկտրաբանեցման շարժիչի շահագործմանը ներկայացվող պահանջներով և առանձնահատկություններով: Այդ իսկ պատճառով էլ առավել մեծ գիտատեխնիկական հետաքրքրության են ներկայացնում այն դեպքերը, որոնք առավել մեծ ազդեցություն ունեն արտադրական գործընթացի վրա:

Ելնելով վերոնշյալից և հաշվի առնելով, որ հանքաքարի աղացի աշխատանքն ապահովող էլեկտրաբանեցման շարժիչի աշխատանքային ռեժիմի փոփոխությունը պայմանավորված է նրա վրա ազդող ներքին և արտաքին գործոններով, որոնք կարող են հանգեցնել էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի կանոնավոր աշխատանքի

խաթարմանը, անհրաժեշտություն է առաջացել անդրադառնալ հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների բացահայտմանը և դրա վթարային դրսևորումների կանխմանը վերաբերող խնդիրներին:

Սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմներին և դրանցից պաշտպանության հնարավորություններին նվիրված հայտնի աշխատությունների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ զգալի փորձ է կուտակվել սինխրոն շարժիչների աշխատանքային ռեժիմների հետազոտման ու վթարների կանխարգելմանը վերաբերող տեսական և փորձնական հետազոտությունների և պաշտպանության մեթոդների ստեղծման ուղղությամբ: Հայտնի աշխատություններում հաշվի չեն առնվում տեխնոլոգիական գործոնների ազդեցությունները, դրանցով պայմանավորված իրավիճակային փոփոխությունները և անկանոն ռեժիմների կանխման հնարավորությունները: Ստացված արդյունքները հիմնականում կիրառելի են էներգահամակարգում, և հաշվի առնելով, որ դրանցում չեն հաշվառվում դիտարկվող համակարգի շահագործման առանձնահատկություններն՝ հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչների հուսալի և արդյունավետ աշխատանքի ապահովման նպատակով դրանց կիրառումն անարդյունավետ է: Նկատի ունենալով, որ առկա է հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների առաջացման պատճառների բացահայտման, գնահատման և դրանց բացասական դրսևորումների կանխման զգալի հիմնախնդիրներ, դրանց լուծմանը նպատակաուղղված մեթոդների մշակումը և դրա հիման վրա անկանոն աշխատանքային ռեժիմների անթուլատրելի դրսևորումների կանխման միջոցի առաջադրումն արդիական խնդիր է:

Աշխատանքի նպատակը: Ատենախոսության նպատակը հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի կանոնավոր աշխատանքի ապահովմանը միտված շարժիչի աշխատանքային ռեժիմների հետազոտման և գնահատման մեթոդների և ալգորիթմների մշակումն է տեխնոլոգիական գործոնների հաշվառումով և դրանց արդյունքների հիման վրա շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների կանխման միջոցի առաջադրումը:

Աշխատանքում առաջադրված նպատակն իրագործելու համար լուծվել են հետևյալ խնդիրները.

- բանեցման սինխրոն շարժիչի տեխնիկական վիճակի վրա ազդող տեխնոլոգիական առանձնահատկություններով և էներգետիկական ցուցանիշներով պայմանավորված հիմնական գործոնների վերլուծություն,

- էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների հետազոտման և դրանց կանխման հայտնի աշխատությունների վերլուծություն,

- հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմներում հայտնվելու նախադրյալների գնահատում և դրա բացասական հետևանքների կանխման հիմնական ուղղությունների առաջադրում,

- հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի աշխատանքի ասինխրոն ռեժիմի հետազոտում ցանցի լարման շեղման դեպքում,

- սինխրոն շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում աշխատելու հետևանքով դրա փաթույթի տաքացման հետևանքների հետազոտում՝ հանքաքարի աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտի փոփոխման դեպքում,

- սինխրոն շարժիչի ներքին անկյան և ստատորի հոսանքի վրա հանքաքարի աղացի բեռի փոփոխման ազդեցության հետազոտման մեթոդի և գնահատման ալգորիթմի մշակում,

- աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի հաճախային բնութագրերի ուսումնասիրություն և դրա աշխատանքային ռեժիմների բարելավման կարգավորիչների մշակում,

- հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմներից պաշտպանության միջոցի ալգորիթմի առաջադրում:

Գիտական նորույթը

1. Ստացվել են շարժիչի փաթույթներում ջերմաստիճանի փոփոխման գնահատման կախվածություններ, որոնք հնարավորություն են տալիս բացահայտել շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում աշխատելու թույլատրելի տևողությունը՝ փաթույթների գերտաքացման կանխման համար:

2. Մշակվել է ասինխրոն ռեժիմում աշխատող սինխրոն շարժիչի հետազոտման մեթոդ, որը թույլ է տալիս տարբեր բանեցման շարժիչների և դիմադրող մոմենտների դեպքում հետազոտել շարժիչի լարման փոփոխությունը և դրանով իսկ որոշել շարժիչի վթարային ռեժիմի համար անթույլատրելի լարման փոփոխման սահմանը:

3. Մշակվել է բանեցման շարժիչի ներքին անկյան և ստատորի հոսանքի վրա հանքաքարի աղացի բեռի փոփոխման ազդեցության գնահատման մոդել և ստացվել են ասինխրոն և սինխրոն ռեժիմներում աշխատող փոփոխվող բեռով էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչների հաճախային բնութագրերի ուսումնասիրման համար անհրաժեշտ փոխանցման ֆունկցիաները, որոնց հիմքով Նայքվիստի չափանիշի օգտագործմամբ MATLAB ծրագրային փաթեթի Simulink միջավայրում մշակել է շարժիչի աշխատանքային ռեժիմների բարելավման կարգավորիչ:

4. Առաջադրվել է հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմներից պաշտպանության միջոցի մշակման ալգորիթ:

Պաշտպանությանը ներկայացվող հիմնական դրույթները

1. Հանքաքարի աղաց էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչ անկանոն աշխատանքային ռեժիմների բացահայտման մոտեցումները:

2. Էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի ասինխրոն թողարկման կամ սինխրոնիզմից դուրս գալու դեպքում շարժիչի սնման լարման անթույլատրելի փոփոխման սահմանների գնահատման մեթոդը:

3. Էլեկտրաշարժիչի ներքին անկյան և ստատորի հոսանքի վրա հանքաքարի աղացի բեռի փոփոխման ազդեցության հետազոտման մեթոդը:

Աշխատանքի կիրառական նշանակությունը:

Փոփոխվող բեռով, ասինխրոն և սինխրոն ռեժիմներում աշխատող էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչների համար ստացված փոխանցման ֆունկցիաները և հաճախային բնութագրերը հնարավորություն են տալիս գնահատել աղաց-շարժիչ համակարգի անցումային պրոցեսները և ժամանակին կանխել անկանոն ռեժիմների հետևանքները:

Մշակված մաթեմատիկական մոդելներն ու ալգորիթմները, կատարված հետազոտություններն ու վերլուծությունները հնարավորություն են տալիս մշակել

հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման շարժիչի կանոնավոր աշխատանքի ապահովման ավտոմատացված համակարգ, որը կարող է ապահովել սինխրոն շարժիչի արդյունավետ շահագործում:

Սինխրոն շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում աշխատելու հետևանքով դրա փաթույթի գերտաքացման հետևանքների հետազոտման և շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում աշխատելու թույլատրելի տևողության գնահատման ալգորիթմները փորձաքննության են ենթարկվել «Հրազդան-ցեմենտ քորփորեյշն» ՍՊԸ-ում:

Հրապարակումները: Կատարված հետազոտությունների հիմնական դրույթներն ու արդյունքները զեկուցվել և քննարկվել են «Էլեկտրական մեքենաներ և ապարատներ» ամբիոնի գիտական սեմինարներում և ՀԱՊՀ-ի տարեկան գիտաժողովում (2016թ.), Համաշխարհային գիտությունների ակադեմիայի կազմակերպած «ICECE 2016. 18th International Conference on Electrical and Communication Engineering» ժողովում (2016թ.):

Ատենախոսության դրույթներն ու արդյունքներն արտացոլված են 7 հրատարակված աշխատություններում:

Ատենախոսության կառուցվածքը և ծավալը: Ատենախոսությունը կազմված է ներածությունից, չորս գլուխներից, եզրակացություններից և հավելվածից: Աշխատանքը շարադրված է 124 էջի վրա, պարունակում է 54 նկար, 6 աղյուսակ և 92 անուն ընդգրկող գրականության ցանկ:

1. ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՂԱՑԻ ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ՍԻՆԽՐՈՆ ՇԱՐԺԻՉԻ ԱՆԿԱՆՈՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՈՒՂԻՆԵՐԸ

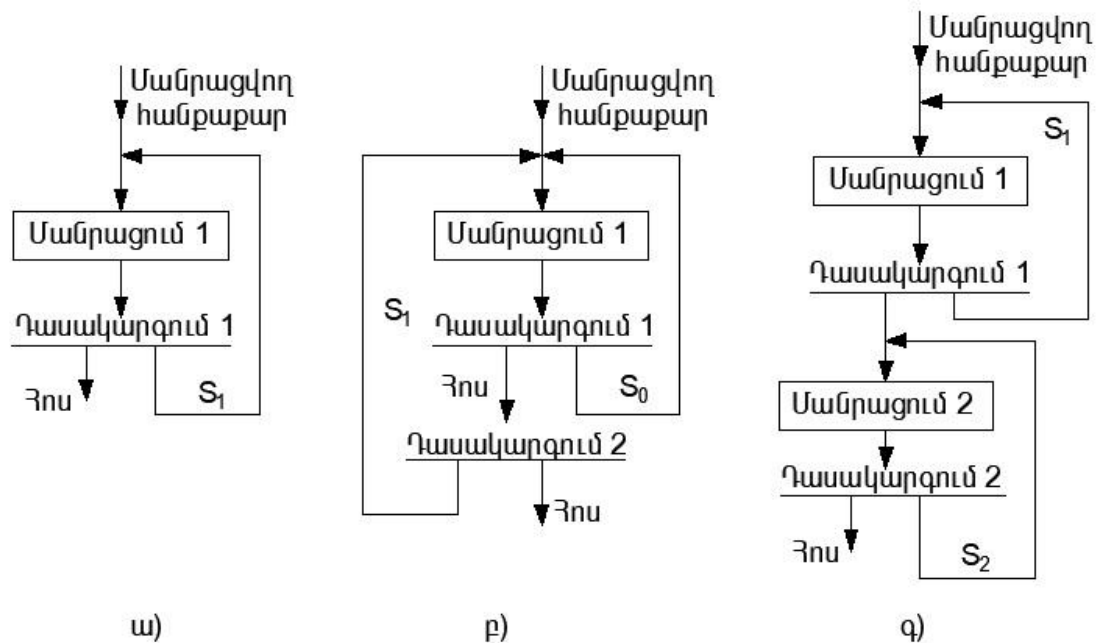
1.1. Հարցի վիճակը

Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ վնասվող էլեկտրասարքավորումների ընդհանուր թվի 25-30 %-ը կազմում են էլեկտրաշարժիչները: Տարբեր նշանակության էլեկտրաշարժիչները հիմնականում օգտագործում են էներգահամակարգերում և զանազան տեխնոլոգիական գործընթացների էլեկտրամեխանիկական համակարգերի աշխատանքի ապահովման համար [1-3]:

Ակնհայտ է, որ տեխնոլոգիական գործընթացն ապահովող էլեկտրաբանեցման շարժիչների անաշխատունակությունը կարող է խաթարել ողջ տեխնոլոգիական գործընթացը՝ առաջացնելով տնտեսական լուրջ կորուստներ: Այս հարցի դիտարկումն առավել կարևորվում է հզոր էլեկտրաբանեցման շարժիչներ օգտագործող էներգատար տեխնոլոգիական գործընթացների դեպքում, ինչպիսին է հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացը: Մետաղական և ոչ մետաղական հանքաքարերի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացում աղացի էլեկտրաբանեցման համար հիմնականում օգտագործում են սինխրոն շարժիչներ, որոնք հանդիսանում են գործընթացի էլեկտրաէներգիայի հիմնական սպառողները: Տարբեր ձեռնարկություններում հանքաքարի մանրացման գործընթացն իրականացվում է տարբեր կառուցվածքային սխեմաների միջոցով: Գործնականում հանքաքարի մանրացման նպատակով օգտագործվում են միափուլ և երկփուլ սխեմաներ (նկ. 1.1): Բացի այդ, կախված տեխնոլոգիական առանձնահատկությունից, յուրաքանչյուր

փուլում կարող են ընդգրկվել մեկ, երկու, իսկ առանձին դեպքերում երեք աղաց՝ իրենց էլեկտրաբանեցման շարժիչներով [4]:

Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացն անընդհատ է, ինչն էլ ավելի խիստ պահանջներ է դնում նրանում օգտագործվող սարքավորումների աշխատանքային պայմանների վրա: Գործընթացի աշխատանքն ապահովող որևէ սարքավորման անկանոն աշխատանքը կարող է հանգեցնել տեխնոլոգիայի խախտմանը՝ առաջացնելով վթարային ռեժիմ: Դիտարկվող տեխնոլոգիական գործընթացի առանցքային էլեկտրասարքավորումն էլեկտրաբանեցման շարժիչն է, որի հայտնվելը վթարային ռեժիմում կամ կանգառը կարող է լուրջ ազդեցություն ունենալ մանրացման գործընթացն օգտագործող ձեռնարկությունների տեխնիկատնտեսական ցուցանիշների վրա:



Նկ. 1.1. Մանրացման գործընթացի սխեմաներ, ա – միափուլ, բ – միափուլ երկդասակարգիչ, գ – երկփուլ

Էլեկտրաբանեցման շարժիչի վթարային ռեժիմում հայտնվելու դեպքում դրա կանխման հնարավորությունների համար ընդունված է իրականացնել տարբեր միջոցառումներ: Ստորև ներկայացվում են առավել տարածում գտած միջոցառումները [5]:

1. Անընդմեջ հսկողություն: Այս միջոցառման շրջանակում իրականացվում է սինխրոն շարժիչի պարբերաբար հսկում տեխնիկական անձնակազմի կողմից: Այդ դեպքում շարժիչի կանոնավոր աշխատանքը ստուգվում է ըստ արձակած ձայնի, շոշափման միջոցով և տարբեր հոտերի բացակայությամբ: Նշված ստուգումը կարևորվում է նրանով, որ հնարավորություն է տալիս ժամանակին հայտնաբերել և կանխել անկանոն ռեժիմների առաջացումը:

Շարժիչների հսկման համար երաշխավորվում է.

- հսկվող տվյալները պետք է պահպանվեն հետագա փուլերի տվյալների հետ համեմատման, ինչպես նաև տեխնիկական սպասարկման, անսարքության հայտնաբերման և վերանորոգման նպատակներով օգտագործելու համար:

- հսկման և տեխնիկական սպասարկման սահմանը բավականին անորոշ է:

- ընթացիկ հսկումը ներառում է այնպիսի շահագործման տվյալների գրանցում, ինչպիսիք են՝ բեռը, ջերմաստիճանը և հսկման ժամանակ կատարված դիտողությունները, որոնք հիմք են հանդիսանում տեխնիկական սպասարկման և վերանորոգման համար:

- շահագործման սկզբնական փուլում (շուրջ 200 ժամ) երաշխավորվում է իրականացնել առանցքակալի, ջերմաստիճանի, փաթույթի, բեռի, հոսանքի, հողանցման, տատանումների ինտենսիվ հսկողություն:

- շահագործման հաջորդ փուլերում (200 - 1000 ժամ) բավարար է համարվում ամենօրյա ստուգումը:

2. Պրոֆիլակտիկ սպասարկում: Այն հնարավորություն է տալիս

- ապահովել չնախատեսված իրավիճակների առաջացումը շարժիչի աշխատանքի ընթացքում,

- գնահատել և պլանավորել սպասարկման գործողությունը՝ աշխատանքի դադարի նվազեցման նպատակով:

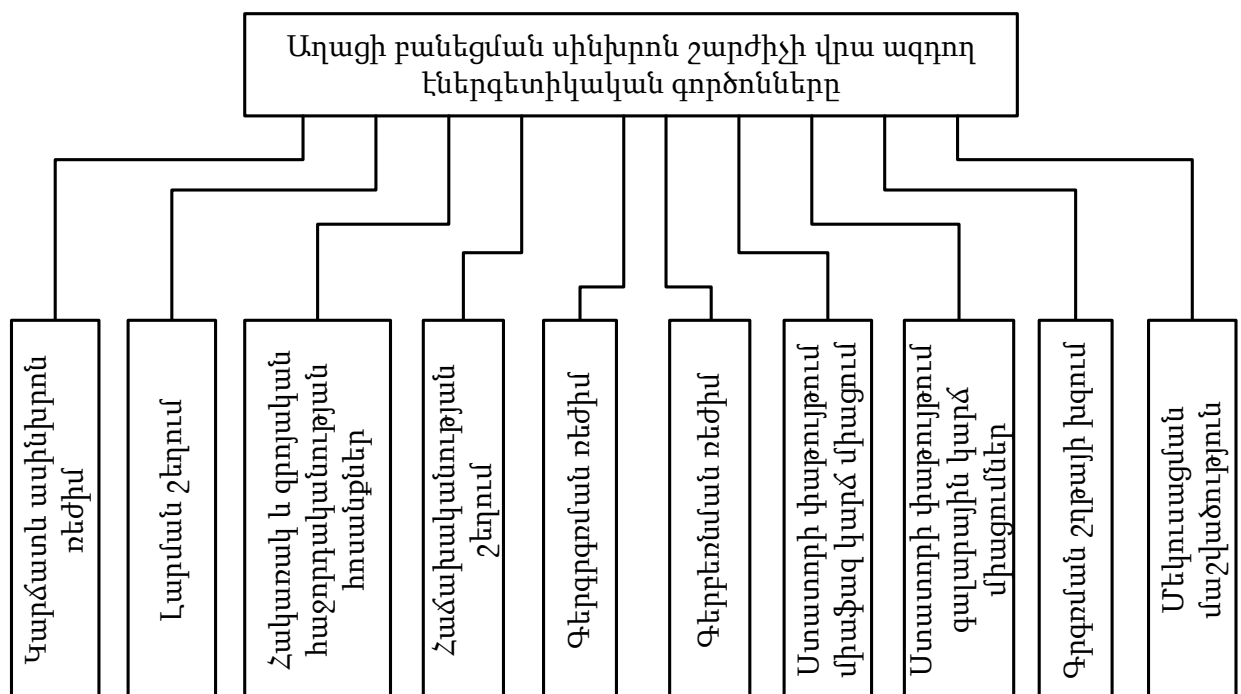
Հսկման և սպասարկման ժամանակ ստացված տվյալներն օգտակար են լրացուցիչ սպասարկման անհրաժեշտության գնահատման և պլանավորման համար: Եթե ստացված տվյալները վկայում են որոշակի նորմատիվային շեղումների մասին, ապա անսարքությունների վերացման վերաբերյալ ցուցումները հնարավորություն

կտան տեղայնացնել դրանք: Առանձին դեպքերում հսկման արդյունքում ստացված տվյալները հիմք են հանդիսանում շարժիչի աշխատանքի ընդհատման համար:

Էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի վթարային ռեժիմում հայտնվելու հնարավորությունների կանխման համար անհրաժեշտություն է առաջացել բացահայտել և վերլուծել դրա աշխատանքային ռեժիմների վրա առավել մեծ ազդեցություն ունեցող գործոնները:

1.2. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացում օգտագործվող սինխրոն շարժիչների աշխատանքային ռեժիմների վրա ազդող հիմնական գործոնների վերլուծությունը

Հայտնի է սինխրոն շարժիչների տեխնիկական վիճակի վրա ազդող հիմնական գործոնների 2 խումբ, որոնցից մեկը պայմանավորված է էներգետիկական ցուցանիշներով (տես նկ. 1.2), իսկ մյուսը՝ տեխնոլոգիական առանձնահատկություններով (տես նկ. 1.3.) [6, 7, 8]:



Նկ. 1.2. Սինխրոն շարժիչի տեխնիկական վիճակի վրա ազդող էներգետիկ գործոնները

1. Կարճատև ասինխրոն ռեժիմ: Դա կարող է լինել կա՛մ շահագործման պայմանների պատճառով, կա՛մ վթարային: Շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում կտրուկ աճում է ստատորի հոսանքի մեծությունը՝ հատկապես գրգռման փաթույթի սնուցման պահպանման դեպքում, մեծանում են կորուստները թողարկման փաթույթում [9]:

2. Լարման շեղում: Լրիվ բեռնվածքով աշխատող շարժիչների համար լարման իջեցումը հանգեցնում է պտտման հաճախության փոքրացմանը: Լրիվ բեռնվածքով շարժիչների ելուստների վրա լարման նշանակալի իջեցման դեպքում մեխանիզմի դիմադրող մոմենտը կարող է գերազանցել պտտող մոմենտը, որը բերում է շարժիչի կանգառին: Ցանցի լարման ոչ սիմետրիկության դեպքում սինխրոն մեքենաներում ակտիվ հզորության լրացուցիչ կորուստների և ստատորի ու ռոտորի գերտաքացման հետ մեկտեղ կարող են առաջանալ վտանգավոր թրթռոցներ, որոնք բաբախում են ցանցի կրկնակի հաճախությամբ, նշանը փոփոխող պտտման մոմենտների և տանգենցիալ ուժերի հետևանքով:

3. Հակառակ և գրոյական հաջորդականության հոսանքներ: Դրանց առկայության դեպքում մեծանում են ցանցի բաղադրիչ տարրերի առանձին ֆազերում գումարային հոսանքները, որը բերում է ակտիվ հզորության կորուստների մեծացմանը և կարող է անթույլատրելի լինել գերտաքացման տեսանկյունից:

4. Հաճախության շեղում: Էլեկտրական ցանցում ցածր հաճախությունն ազդում է շարժիչի ծառայության ժամկետի վրա՝ դրա պողպատյա միջուկների լրացուցիչ տաքացման հետևանքով [10]:

5. Գերգրգռման ռեժիմ: Սինխրոն շարժիչներում գերգրգռման ռեժիմում առաջանում են լրացուցիչ կորուստներ, որոնք իրենց բացասական ազդեցությունն են թողնում շարժիչի աշխատանքի վրա: Լրացուցիչ կորուստները պայմանավորված են ռեակտիվ հզորության գեներացմամբ՝ տարբեր աշխատանքային ռեժիմների և սնող ցանցի տարբեր պարամետրերի դեպքում:

6. Գերբեռնման ռեժիմ: Երկարատև գերբեռնումը կարող է հանգեցնել արգելակող մոմենտի մեծացման, որը, ընդունելով սինխրոն շարժիչի մոմենտից մեծ արժեքներ, կկանգնեցնի շարժիչը: Շարժիչների կարճաժամկետ գերբեռնման

ժամանակ լրացուցիչ գերտաքացումը հանգեցնում է մեկուսացման արագացված մաշվածությանը և կրճատում նրա ծառայության ժամկետը: Սիմետրիկ գերբեռնման պատճառ կարող է հանդիսանալ բանեցման մեխանիզմի անսարքությունը (օդափոխիչի լցումը փոշով, աղացի գերլցումը հումքով, մոխրի հեռացման պոմպում խարամի կտորները), սնող ցանցի լարման իջեցումը: Ընդ որում մեծանում է շարժիչի տարրերի տաքացումը, դեֆորմացվում են փաթույթները, փաթույթների մեկուսացումում առաջանում են ճաքեր: Ոչ սիմետրիկ գերբեռնման պատճառ կարող են լինել ցանցում ֆազային հաղորդալարի խզումը, խզումը ստատորի փաթույթում: Այս դեպքում առաջանում է հակառակ հաջորդականության լարում, որը հանգեցնում է շարժիչի տաքացման և թրթռոցների:

7. Ստատորի փաթույթում հողանցման վրա միաֆազ կարճ միացում (կարճ միացում իրանի վրա): Սա շարժիչի վնասման ամենահաճախ հանդիպող տեսակն է: Դրա առաջացման պատճառներն են՝ մեկուսացման բնական ծերացումը, գերլարումների ազդեցությունը կայծարձակմամբ կարճ միացումների դեպքում: Միաֆազ կարճ միացման հետևանք են ստատորի պողպատի հալումը, միաֆազ կարճ միացման անցումը բազմաֆազի [11]:

8. Ստատորի փաթույթի միջֆազային և գալարային կարճ միացումներ: Սա բավականին հազվադեպ հանդիպող վնասման տեսակ է: Սակայն այդպիսի կարճ միացումների հետևանքները շատ ծանր են՝ հրդեհի շարժիչում, շարժիչի ճակատային մասերի դեֆորմացիա:

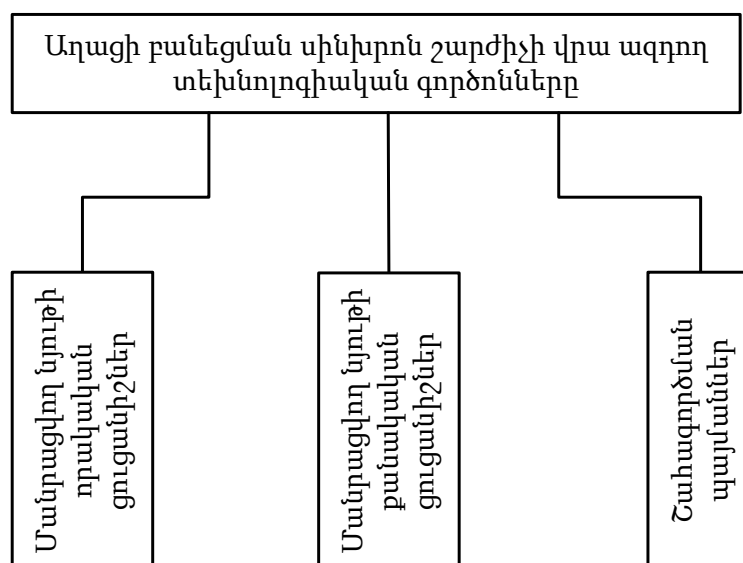
9. Գրգռման շղթայի խզում: Այս դեպքում սինխրոն շարժիչը դուրս է գալիս սինխրոնիզմից: Աղավաղվում է ռոտորի դաշտը, որը բերում է ստատորի և ռոտորի ճակատային մասերի տաքացմանը: Երբեմն թույլատրվում է շարժիչի աշխատանքը խզված գրգռման շղթայով 30-200 վրկ ժամանակահատվածում: Գրգռման շղթայի խզումից պաշտպանությունը կիրառվում է միայն շատ հզոր սինխրոն շարժիչներում:

10. Մեկուսացման մաշվածություն: Այն հակադարձ համեմատական է ծառայության ժամկետին, կախված է գերբեռնվածության մեծությունից և նրա տևողությունից: Քանի որ գերբեռնվածության ավարտից հետո շարժիչի փաթույթների

ջերմաստիճանը չի կարող անմիջապես նվազել մինչև հաստատված արժեքը, ապա մեկուսացման լրացուցիչ մաշվածություն տեղի է ունենում նաև հովացման ժամանակ:

Մանրացվող հանքաքարի որակական ցուցանիշները փոփոխական են: Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ նույնիսկ նույն խմբաքանակի հանքաքարի կարծրությունը, խոնավությունը, ինչպես նաև չափագրական կազմը կարող են փոխվել առաջացնելով գործընթացի տեխնիկական վիճակի փոփոխություններ:

Մանրացվող նյութի քանակական ցուցանիշները կարող են փոփոխական լինել: Կախված մանրացվող նյութի հատկություններից, ինչպես նաև օգտագործվող ֆուտերվածքի ձևից և վիճակից ներառացային բեռի լցման աստիճանը կարող է տատանվել 0,15-ից 0,5 սահմաններում:



Նկ. 1.3. Սինխրոն շարժիչի տեխնիկական վիճակի վրա ազդող տեխնոլոգիական գործոնները

Շահագործման պայմանների փոփոխությունը պայմանավորված է էներգետիկական և տեխնոլոգիական գործոններով, իսկ առանձին դեպքերում նաև կազմակերպչական և բնապահպանական խնդիրներով: Հանքաքարի աղացի շահագործումն իր մեջ ներառում է մանրացնող գնդիկներով բեռնավորման միջոցը,

համակարգի թողարկման, կանգառի և մանրացման գործընթացի կառավարման կարգը: Շահագործման ընթացքում առանձնահատուկ ուշադրություն պետք է դարձնել նյութի դասակարգման արդյունավետությանը, աղացի թմբուկի պտտման արագությանը, մանրացվող և մանրացված նյութի չափագրական կազմին, շրջապատույտ կատարող բեռի չափին:

Միաժամանակ, դիտարկելով հանքաքարի աղացի սինխրոն բանեցման համակարգի կառուցվածքային սխեման՝ կարելի է առանձնացնել շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների վրա ազդող հիմնական գործոնները, որոնք են աղացի դիմադրող մոմենտը, փոխանցման մեխանիզմի առաձգական մոմենտը, ինչպես նաև շարժիչի սնման լարումը: Իրականում վերոնշյալ գործոնների փոփոխությունն առաջացնում է շարժիչի բազմաթիվ այլ բնութագրերի փոփոխություն, ինչն էլ նրա անկանոն աշխատանքային ռեժիմների առաջացման պատճառ է դառնում:

Շարժիչի սնման լարման և աղացի դիմադրող մոմենտի ազդեցությունների օրինաչափությունները դիտարկվել են բացահայտ բևեռներով սինխրոն շարժիչի համար, որի սպառման ակտիվ հզորությունն որոշվում է հետևյալ բանաձևով [12].

$$P = 3 \left[\frac{U_c E_f}{x_d} \sin \theta + \frac{U_c^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \right], \quad (1.1)$$

որտեղ U_c - ն ցանցի անվանական լարումն է, E_f - ը՝ գրգռման էլեկտրաշարժ ուժը, θ - ն՝ շարժիչի հիմնական էլեկտրաշարժ ուժի և ցանցի լարման ներքին անկյունը, x_d, x_q - ն՝ խարսխի փաթույթի ինդուկտիվ դիմադրությունները՝ ըստ երկայնական և լայնական առանցքների:

(1.1) -ից կարելի է ստանալ գրգռման փաթույթի էլշուն.

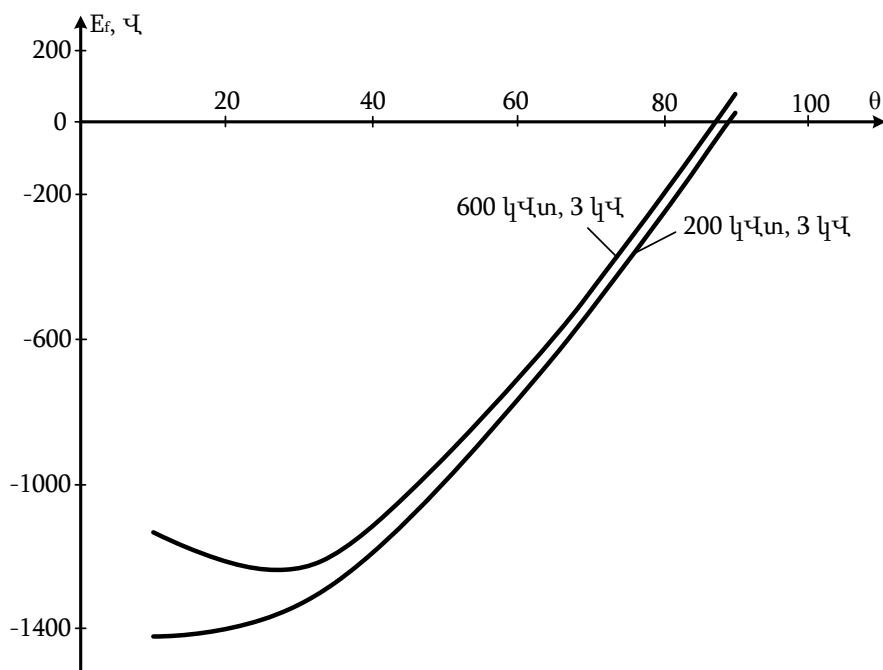
$$E_f = \frac{Px_d}{3U_c \sin \theta} - \frac{U_c}{x_q} (x_d - x_q) \cos \theta : \quad (1.2)$$

Հաշվի առնելով շարժիչի անկանոն աշխատանքի վրա սնման լարման և բեռի մոմենտի ազդեցությունները՝ ստորև դիտարկվել են դրանց ազդեցությունները շարժիչի գրգռման փաթույթի էլշու-ի վրա: Ուսումնասիրությունները կատարվել են ДС213/29-24

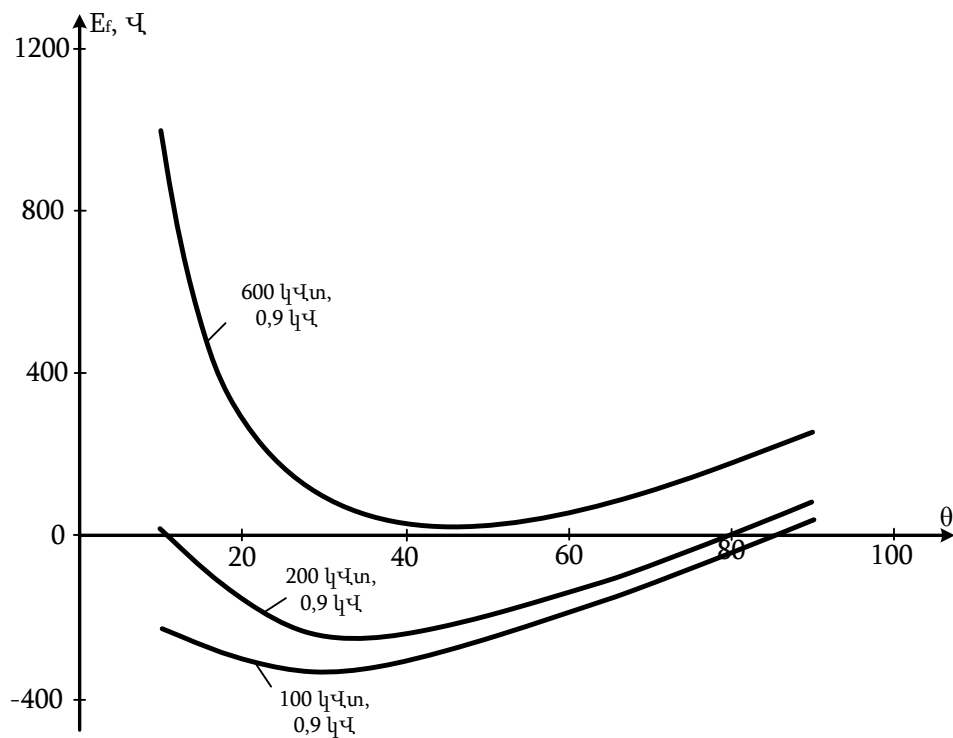
տիպի բանեցման շարժիչի համար: Հաշվի առնելով, որ աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտն ուղիղ համեմատական է շարժիչի սպառման ակտիվ հզորությանը և հակադարձ համեմատական շարժիչի պտտման սինխրոն անկյունային արագությանը՝ $\omega_c = 2\pi f$, իսկ մյուս կողմից՝ $\omega_c = \text{const}$, դիմադրող մոմենտի փոփոխությունը արտահայտվել է շարժիչի P հզորությամբ:

Նկ. 1.4-ից երևում է, որ սնման լարման անվանական արժեքի դեպքում դիմադրող մոմենտի փոքրացման և սինխրոն շարժիչի ներքին անկյան փոփոխությունների դեպքում շարժիչը կարող է աշխատել առանց գրգռման:

Շարժիչի θ ներքին անկյան 90° -ը գերազանցելու դեպքում շարժիչը դուրս է գալիս սինխրոնիզմից [8]:



Նկ. 1.4. Շարժիչի գրգռման փաթույթի էլշու-ի կախվածությունը շարժիչի ներքին անկյան փոփոխությունից՝ անվանական լարման դեպքում



Նկ. 1.5. Շարժիչի գրգռման փաթույթի էլշու-ի կախվածությունը շարժիչի ներքին անկյան փոփոխությունից՝ անվանականից փոքր լարման դեպքում

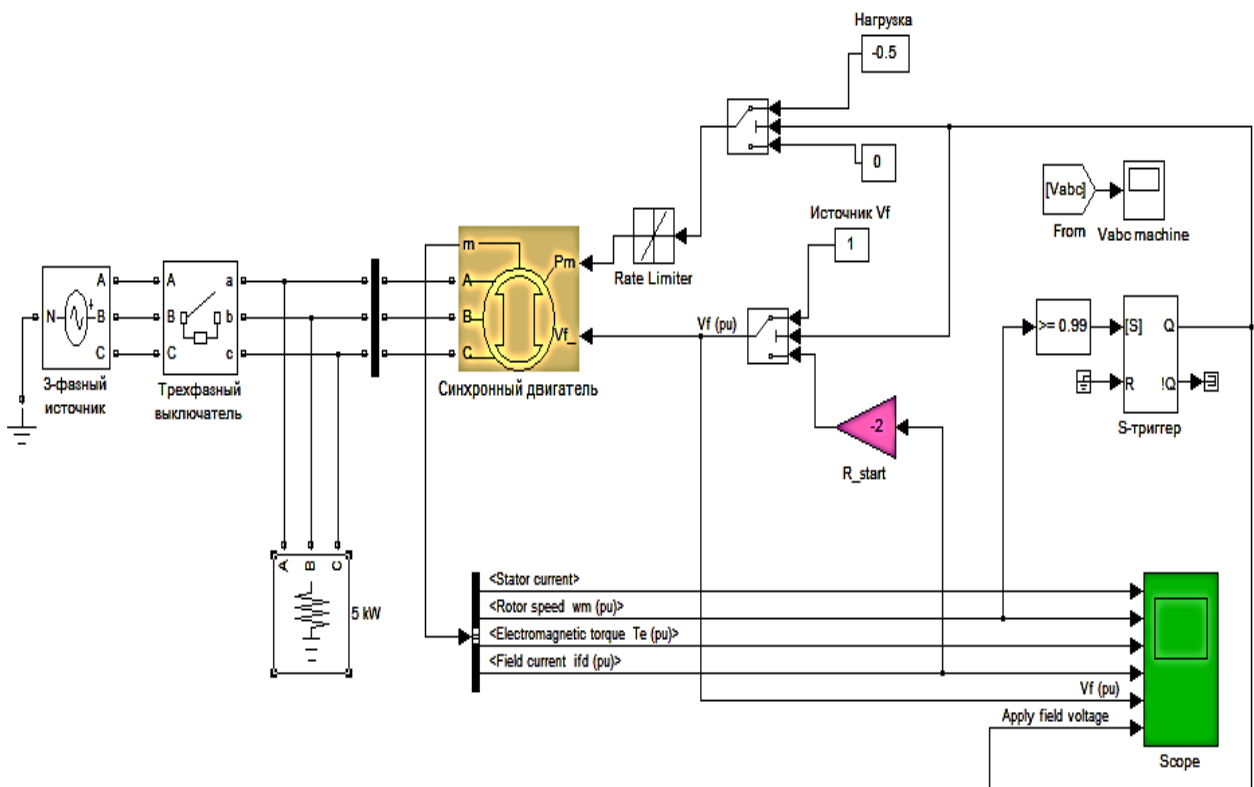
Շարժիչի սնման լարման փոքր արժեքի դեպքում, մասնավորապես, երբ այն նվազում է անվանականի 60%-ից ավելին, հաշվարկային դիմադրող մոմենտի դեպքում շարժիչը դուրս է գալիս սինխրոնիզմից, իսկ դիմադրող մոմենտի եռապատիկ և ավելի նվազման դեպքում սինխրոն շարժիչը կարող է աշխատել առանց գրգռման $0^\circ < \theta < 80^\circ$ միջակայքում (նկ. 1.4, 1.5) [8]:

1.3. Հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների հետազոտման և դրանց կանխման հայտնի աշխատությունների վերլուծական ակնարկ

Հայտնի է մեծաթիվ գիտական հետազոտություններ, որոնք նվիրված են սինխրոն շարժիչների ասինխրոն աշխատանքային ռեժիմների հետազոտմանը: [13] Աշխատությունում դիտարկվել են սինխրոն շարժիչի ասինխրոն թողարկման տեսական հարցեր, արտաքին գործոններով պայմանավորված կարճատև ասինխրոն

ռեժիմներում հայտնվելու առանձնահատկություններ, ինչպես նաև շարժիչի ինքնաթողարկմանը վերաբերող տարբեր հարցեր: Առանձնակի հետաքրքրություն է ներկայացնում Շ. Դադաբանի պոմպերի բանեցման սինխրոն շարժիչի թողարկման ռեժիմներին վերաբերող աշխատությունը [14]: Սինխրոն շարժիչի ուղիղ թողարկման մոդելավորման համար օգտագործվել է MATLAB համակարգչային ծրագրի Simulink/SimPowerSystems գրադարանը: Նկ. 1.6-ում ներկայացված է մշակված մոդելի սխեման [14]:

Ուղիղ թողարկման մոդելի միջոցով հեղինակի կողմից կատարված հետազոտությունները ցույց են տվել, որ հզոր սինխրոն շարժիչների թողարկումը կատարվում է շարժիչի հոսանքի և մոմենտի կտրուկ տատանումներով, մասնավորապես, 3-5 անգամ մեծանում է ստատորի հոսանքը, իսկ 3-4 անգամ շարժիչի էլեկտրամագնիսական մոմենտը: Ներկայացվածը բացասական ազդեցություն է ունենում շարժիչի տեխնիկական ռեսուրսի վրա և դրանից խուսափելու համար առաջարկվել է օգտագործել կիսահաղորդչային սարքերի միջոցով կառուցված տարբեր էներգատնտեսող տեխնոլոգիաներ, ինչպիսիք են՝ սահուն թողարկման սարքավորումը, լարման կարգավորիչը, հաճախային կերպափոխիչը և այլն [14]:



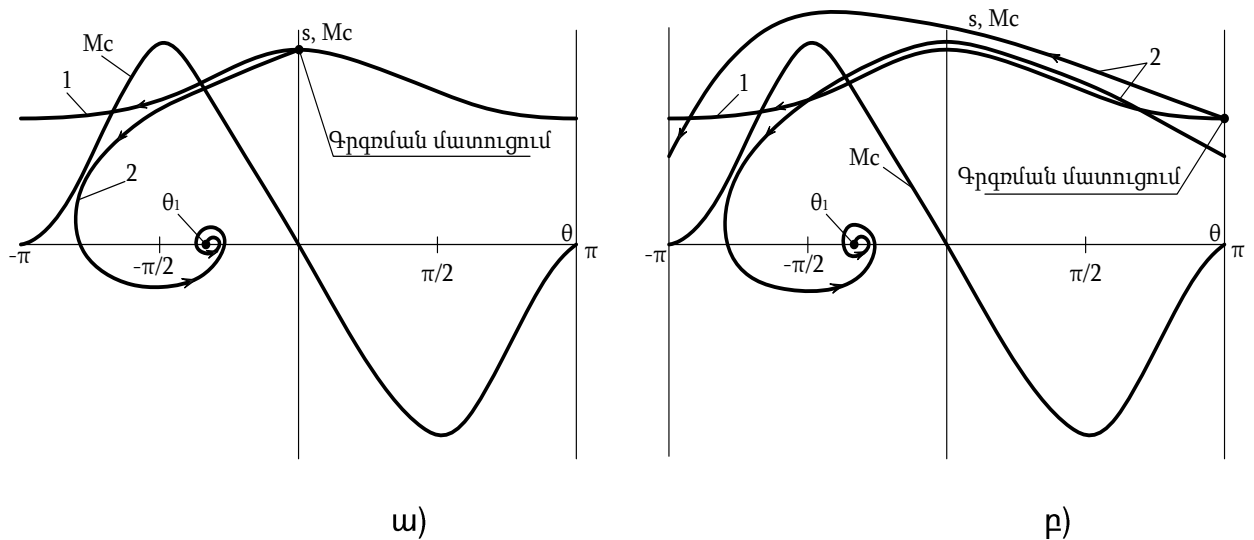
Նկ. 1.6. Սինխրոն շարժիչի թողարկման մոդել

Սինխրոն շարժիչի թողարկման հարցերին և դրա հետազոտությանը առավել հանգամանալից անդրադարձ է կատարվել [15] աշխատությունում: Ներկայացվել է թողարկման սխեման, համաձայն որի թողարկումն իրականացվում է երկու փուլով: Առաջին փուլում ստատորի փաթույթը ցանցին միացնելուց հետո ռոտորի պտտման հաճախությունը մոտենում է պտտման սինխրոն հաճախության:

Թողարկման առաջին փուլի ընթացքում շարժիչի գրգռման փաթույթը փակված է $R_n = (5 \div 10) r_f$ ակտիվ դիմադրությամբ: Գրգռման փաթույթը բաց թողնել չի կարելի, քանի որ թողարկման սկզբում ստատորի պտտվող դաշտը նրանում ստեղծում է էլշու, որն ունակ է վնասել գրգռման փաթույթի մեկուսացումը: Միաժամանակ նպատակահարմար չէ գրգռման փաթույթը կարճ փակել, քանի որ այդ դեպքում աճում է ասինխրոն մոմենտի կորի անկումը, որը կարող է դժվարեցնել թողարկումը: Սինխրոն շարժիչի թողարկման հատկությունը գնահատելու համար առանձնացվել է 3 ցուցանիշ՝ թողարկման պատիկություն, առավելագույն մոմենտի պատիկություն և մուտքային մոմենտի պատիկություն: Միաժամանակ աշխատությունում դիտարկվել է թողարկման ժամանակի կախվածությունը դինամիկ մոմենտից: Փոքր դինամիկ մոմենտի դեպքում թողարկման ժամանակը երկարում է, որը կարող է բերել ստատորի փաթույթի և թողարկման փաթույթի գերտաքացմանը: Ստատորի փաթույթում թողարկման հոսանքը $s=1$ -ի դեպքում մի քանի անգամ գերազանցում է անվանական հոսանքի արժեքին $I = (4 \div 6) I_H$ [15]:

Թողարկման երկրորդ փուլը սկսվում է, երբ ռոտորը հասնում է պտտման հաստատված հաճախությանը $s = 0,03 \div 0,05$ և գրգռման փաթույթը միացվում է հաստատուն հոսանքի աղբյուրին. դրա արդյունքում բացի ասինխրոն մոմենտից գործում է նաև սինխրոն մոմենտը:

Նկ 1.7-ում ներկայացված է s սահքի և M_c մոմենտի կախվածությունները գրգռիչի տարբեր պահերին միացման դեպքերում [15]:



Նկ 1.7. Սինխրոն շարժիչի սահքի և սինխրոն մոմենտի կախվածությունները գրգռիչի
ա) $\theta = 0$ և բ) $\theta = \pi$ միացումների դեպքերում

Սինխրոն մեքենայի աշխատանքային ռեժիմների հետազոտմանն է նվիրված [16] աշխատությունը: Դրանում Matlab միջավայրում Ֆուլյեր արագ ձևափոխման ալգորիթմի կիրառմամբ իրականացվել է գրգռման համակարգի հետազոտում և անսարքությունների առաջացման օրինաչափությունների բացահայտում:

[17]-ում ներկայացվել են տեխնոլոգիական պրոցեսում ամենահաճախ հանդիպող սինխրոն մեքենաների խափանումները, դրանք ի ցույց դնող հայտանիշները, դրանց առաջացման պատճառները և դրանց վերացման հիմնական մեթոդները:

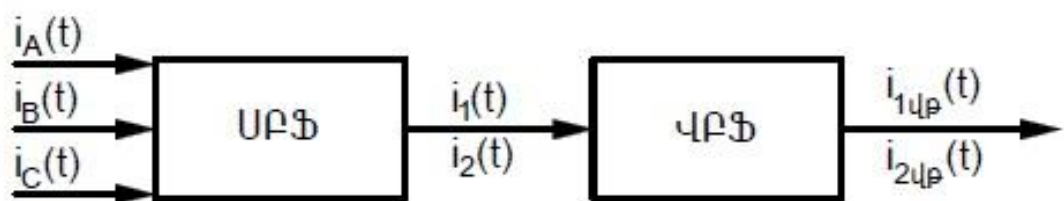
[18] աշխատությունում ցույց է տրված սինխրոնիզմում գտնվող սինխրոն շարժիչի աշխատանքի վրա սնման լարման անկումների ազդեցությունը: Որոշվել են GAc-1716t/01 հզոր շարժիչի համար սնման լարումից և գրգռման հոսանքից կախված բեռնվածքի անկյան ստատիկ բնութագրերը: Հետազոտվել է լարման անկումների դեպքում հարկադրված գրգռման հոսանքի կիրառման նպատակահարմարությունը շարժիչը սինխրոն աշխատանքային ռեժիմում պահպանելու համար:

Աշխատության հեղինակն եկել է այն եզրակացության, որ կարգաբերման համակարգի համար ճիշտ պարամետրերի ընտրությունը թույլ է տալիս ապահով

աշխատել սինխրոնիզմում գտնվող շարժիչի հետ՝ գրգռման հոսանքի և սնման լարման համապատասխան արժեքների սահմաններում: Այս դեպքերում կարելի է օգտագործել չբեռնավորված սինխրոն շարժիչ՝ ռեակտիվ հզորության կոմպենսատորի դերում, չանհանգստանալով բանեցման ոչ ճիշտ աշխատանքի հնարավորության մասին:

Սինխրոն շարժիչի միկրոպրոցեսորային սնուցման բլոկի կրառման վերաբերյալ [19] մեծ թվով արդյունաբերական փորձերը ցույց են տվել, որ լարման անկման ժամանակ հարկադրական կիրառելի գրգռման հոսանքի ճիշտ ընտրված արժեքը հաճախ թույլ է տալիս շարժիչը պահել սինխրոն աշխատանքի վիճակում: Դա հնարավոր է իրականացնել գրգռման շղթայում հոսանքի ավտոմատ և արագ մեծացման միջոցով:

Դ.Ն. Կոկոուլինի և Վ.Շ. Շուինի հեղինակած աշխատությունում [20] մշակվել է սինխրոն տատանումների հետազոտման մոդել և սինխրոն տատանումների ժամանակ ռելեական պաշտպանության արգելափակման ալգորիթ: Սինխրոն տատանումներն իրենցից ներկայացնում են էներգահամակարգի այնպիսի ռեժիմներ, որոնց դեպքում կատարվում է նրա պարամետրերի պարբերական փոփոխություն (հոսանքի, լարման) առանց սինխրոնիզմի խախտման: Ստացված մաթեմատիկական մոդելի միջոցով հնարավոր է դարձել ստանալ տատանման ժամանակ արգելափակման զգայնությունը բնութագրող անհավասարակշռության գործակիցների արժեքները: Մշակվել է տատանումների արգելափակման սարքավորման ալգորիթ, որի ֆունկցիոնալ սխեմայի ընդհանրացված տեսքը բերված է նկ.1.8-ում [20]:



Նկ.1.8. Տատանումների արգելափակման սարքավորման ֆունկցիոնալ սխեմայի ընդհանուր տեսքը

Նկ. 1.8-ում $i_A(t)$, $i_B(t)$, $i_C(t)$ համապատասխանաբար A, B և C ֆազաների հոսանքների ակնթարթային արժեքներն են, ՍԲՖ-ն՝ սիմետրիկ բաղադրիչների

ֆիլտրը, $i_1(t)$, $i_2(t)$ -ն՝ ուղիղ և հակառակ հաջորդականության հոսանքների ակնթարթային արժեքները, ՎԲՖ-ն՝ վթարային բաղադրիչների ֆիլտրը, $i_{1վթ}(t)$, $i_{2վթ}(t)$ ուղիղ և հակառակ հաջորդականության հոսանքների վթարային բաղադրիչներն են:

Տատանումների արգելափակման սարքի ֆունկցիոնալ սխեման հիմնված է ուղիղ և հակառակ հաջորդականության հոսանքների վթարային բաղադրիչների դուրս բերման վրա:

Համաձայն սխեմայի, առաջին փուլում տեղի է ունենում ֆազային հոսանքներից ուղիղ և հակառակ հաջորդականության հոսանքների ձևավորումը՝ սիմետրիկ բաղադրիչների ֆիլտրի (ՍԲՖ) միջոցով, ապա ուղիղ և հակառակ հաջորդականության հոսանքները տրվում են վթարային բաղադրիչների ֆիլտրի (ՎԲՖ) մուտքին: ՎԲՖ-ի ելքում ձևավորվում են ուղիղ և հակառակ հաջորդականության հոսանքների վթարային բաղադրիչների արժեքները:

Տատանման արգելափակման սարքավորման ալգորիթմի վերլուծությունը ցույց է տվել զտիչների կասկադի օգտագործման նպատակահարմարությունը ուղիղ և հակառակ հաջորդականությամբ հոսանքների վթարային բաղադրիչների հաջորդական տարանջատման համար: Հիմնավորվել է լրացուցիչ զտիչի օգտագործման միջոցով տատանման ռեժիմում ըստ հակառակ հաջորդականության հոսանքի անհավասարակշռության գործակցի փոքրացման և արգելափակման զգայնության մեծացման հնարավորությունը [20]:

[21] աշխատության հեղինակը հաշվի առնելով գրգռման հոսանքի ընթացիկ արժեքը մշակել է շարժիչի սնման կարճատև դադարի դեպքում նրա կայուն աշխատանքի ապահովման ալգորիթմ և դրա իրականացման ավտոմատիկայի սարքերի և ռելեական պաշտպանության կիրառման վերաբերյալ մեթոդական երաշխավորություն:

Սինխրոն շարժիչի ասինխրոն աշխատանքային ռեժիմի վերացումը առավել կարևոր և հաճախ օգտագործվողներից է: Վ. Լապուխովի և Ս. Իվանովի ասինխրոն ռեժիմի կանխմանը միտված համակարգը մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում: Այն նախատեսված է կանխելու հնարավոր վթարները՝ ասինխրոն ռեժիմի հայտնաբերման և սահքի նշանի հաշվառմամբ համապատասխան կառավարման ազդանշանի

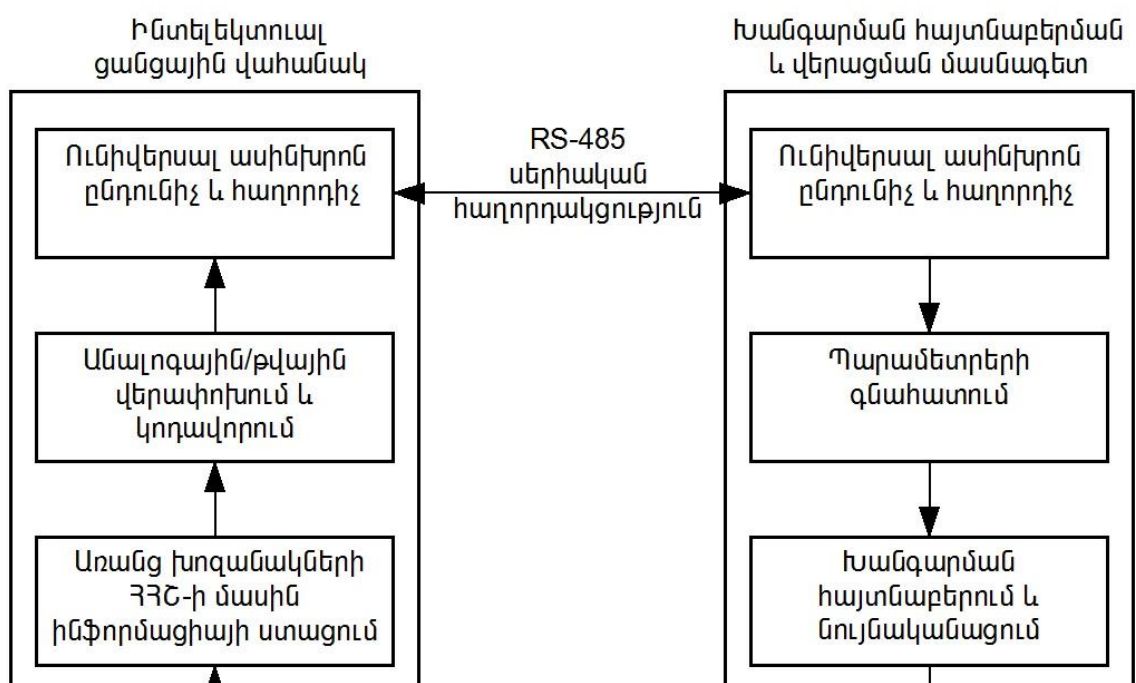
մշակման միջոցով [22]: Սինխրոն շարժիչի ասինխրոն աշխատանքային ռեժիմի կանխման խնդրին են անդրադարձել նաև [23,24] աշխատությունների հեղինակները: Հարկ է նշել, որ [22-24] աշխատություններում կատարված մշակումները կիրառելի են էներգահամակարգի էլեկտրակայաններում օգտագործվող գեներատորների աշխատանքային ռեժիմների հսկման և պաշտպանության համար: Այս գեներատորները իրենցից ներկայացնում են սինխրոն մեքենաներ և աշխատում են սինխրոն ռեժիմում զրոին հավասար սահիքով: Սահիքի ոչ զրոյական արժեքը հայտնվում է միայն մեքենայի թողարկման և կարճատև անցումային ռեժիմների դեպքում: Սպառման հզորության ոչ մեծ փոփոխությունները կարող են առաջացնել էներգահամակարգում արտադրված էլեկտրական հաճախության ոչ մեծ տարբերություններ, ինչի հետևանքով առաջանում են լարումների տատանումներ, որոնք ընդունված են անվանել «սինխրոն տատանումներ»: Այս դեպքում գեներատորը դուրս չի գալիս սինխրոնիզմից և համակարգում առաջացած տատանումներն արագ մարում են: Հզորության դիֆիցիտի դեպքում գեներատորի պտտման հաճախությունը նվազում է և համապատասխան միջոցառումների չիրականացման դեպքում այն մտնում է ասինխրոն ռեժիմ, ինչի արդյունքում մեծանում է սահիքը, մեծանում է գեներատորների միջև հզորության հոսքը ստեղծելով «ցանցի տատանումներ»: Այս դեպքում համակարգում լարումը մեծանում է հասնելով իր առավելագույն արժեքին, արդյունաբերական բեռի սպառումը մեծանում է, իսկ միացված գեներատորներն անջատվում են՝ ցանցում ստեղծելով վթարային վիճակ: Վերոնշյալ վթարային վիճակից խուսափելու համար կիրառվում է ասինխրոն աշխատանքային ռեժիմի վերացման համակարգ, որն ապահովում է էներգահամակարգի կայուն աշխատանքը: Ասինխրոն աշխատանքային ռեժիմի վերացման համակարգի աշխատանքի սկզբունքը պայմանավորված է օգտագործվող թողարկման սարքավորման տարատեսակով [22,23]:

Սինխրոն շարժիչի անսարքությունների հայտնաբերմանն են նվիրված [25,26,27] աշխատությունները: Չնայած այն հանգամանքին, որ սինխրոն շարժիչի անսարքությունները պայմանավորված են բազմաթիվ հանգամանքներով, դիտարկվող աշխատություններում գնահատվել են միայն էլեկտրամագնիսական և էլեկտրական

անսարքությունները: [26]-ում առաջարկվել է ինտելեկտուալ ցանցային վահանակ, որը տեղադրվում է շարժիչի էլեկտրաբանեցման համակարգի և գլխավոր համակարգչի մոտ:

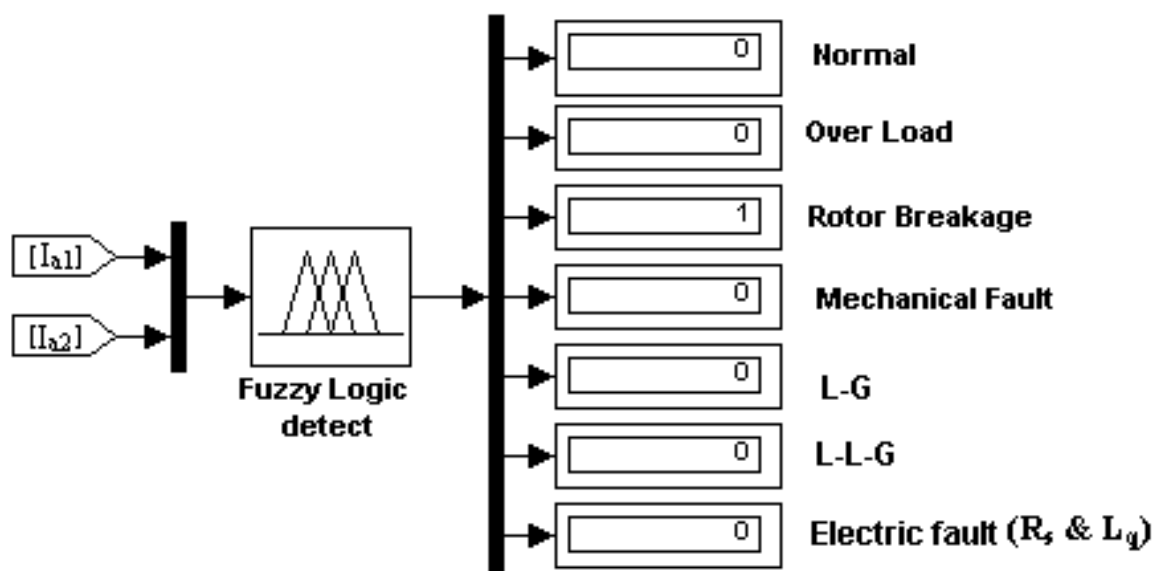
Գրանցված տվյալները կոդավորվում են և փոխանցվում ինտելեկտուալ ցանցային վահանակին, որից հետո դրանք ապակոդավորվում են անսարքությունների հայտնաբերիչի միջոցով: Անսարքությունների գնահատման համար օգտագործվում է Բայեսի դասակարգիչը:

Նկ. 1.9-ում ներկայացված է առաջարկվող անսարքությունների հայտնաբերման և դրանց մեկուսացման համակարգի կառուցվածքային սխեման [26]: Ինտելեկտուալ ցանցային վահանակը ցույց է տալիս կամրջի հոսանքի արժեքը և շարժիչի արագությունը: Ձեռք բերված տեղեկատվությունը կոդավորվում է թվային՝ փոխանցման համար: Խանգարումների հայտնաբերման և վերացման կենտրոնական համակարգը վերծանում է ստացված տվյալները և գնահատում պարամետրերը: Գնահատված պարամետրերը և նրանց հավանականության մասին գիտելիքն օգտագործվում է ախտորոշման սխալների հայտաբերման համար: Այնուհետև արդյունքները ցուցադրվում են էկրանին և պահվում են տվյալների ֆայլի տեսքով: Խանգարումների հայտնաբերման և վերացման մասնագետը ստեղծված է համակարգչի բազայի հիման վրա և ֆունկցիաներն իրականացված են Visual C/C++-ի կիրառմամբ, իսկ ինտելեկտուալ ցանցային վահանակը մշակվել է C ծրագրային լեզվով՝ ATmega103 միկրոկոնտրոլերի օգտագործմամբ:



Նկ. 1.9. Անսարքությունների հայտնաբերման համակարգի կառուցվածքային սխեմա

[27]-ում առաջարկվել է սինխրոն գեներատորում առաջացող հնարավոր ոչ հստակ անսարքությունների հայտնաբերման դետեկտոր՝ հոսանքի բաղադրիչների մոնիթորինգի ճանապարհով: Նկ.1.10-ում ներկայացված է ոչ հստակ անսարքությունների հայտնաբերման իմիտացիոն մոդելի կառուցվածքային սխեման, որը ունի թվով 7 ելքային պայմաններ: Ոչ հստակ անսարքությունների հայտնաբերման հիմքում ընկած է ոչ հստակ ելքերի համակարգի և կանոնների բազայի մշակումը: Կանոնների բազաները թողարկվում են կոնկրետ փոփոխությունների համար:



Նկ. 1.10. Անսարքությունների ախտորոշման համակարգ

Դիտարկվել է էլեկտրաբանեցման համակարգերի աշխատանքը վթարային ռեժիմներում [28]: Հետազոտվել են հետևյալ վթարային ռեժիմները.

1. ցանցի ֆազայի խզումը թափքի ժամանակ, երբ $t=0,4$ վրկ, և հաստատված աշխատանքային ռեժիմում, երբ $t= 2,2$ վրկ,
2. ցանցի ֆազայի խզումը թափքի ժամանակ, երբ բեռը նվազում է,
3. թողարկման պրոցեսում և հաստատված ռեժիմում տիրիստորի շարքից դուրս գալը,
4. թողարկման պրոցեսում և հաստատված ռեժիմում տիրիստորի շարքից դուրս գալը, երբ բեռը նվազում է:

Դիտարկված վթարային ռեժիմների գնահատումը վկայում է, որ հոսանքի գործող արժեքն աճում է վթարի արդյունքում և կախված նրա բնույթից առաջացնում է շարժիչի լրացուցիչ տաքացում: Վթարային ռեժիմների ազդեցությունը հոսանքի գործող արժեքի աճի վրա ներկայացված է աղյուսակ 1.1-ում [28]:

Վերլուծվել են սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքից խուսափելու համար օգտագործվող տեխնիկական պաշտպանության հայտնի միջոցները:

Աղյուսակ 1.1.

Վթարային ռեժիմներում հոսանքի առավելագույն արժեքների աղյուսակ

Վթարային պրոցեսի տեսակը		Δ, %
Բեռի աճի դեպքում	1. ֆազայի խզումը թափքի դեպքում	8
	2. Ֆազայի խզումը հաստատված ռեժիմում	5,7
	3. Տիրիստորի շարքից դուրս գալը թափքի դեպքում	14

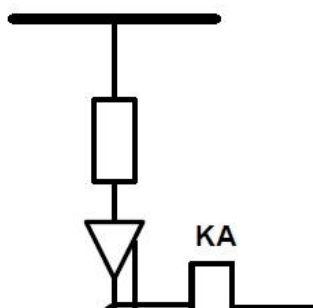
	4. Տիրիստորի շարքից դուրս գալը հաստատված ռեժիմում	18,1
Բեռի նվազման դեպքում	1. Ֆազայի խզումը թափքի դեպքում	11
	2. Ֆազայի խզումը հաստատված ռեժիմում	6,5
	3. Տիրիստորի շարքից դուրս գալը թափքի դեպքում	19
	4. Տիրիստորի շարքից դուրս գալը հաստատված ռեժիմում	5,5
$\Delta = (I_{վթ} - I_{կան}) / I_{կան} ,$ որտեղ $I_{վթ}$ - ն հոսանքի գործող արժեքն է վթարային ռեժիմում, $I_{կան}$ - ը հոսանքի գործող արժեքն է կանոնավոր ռեժիմում		

Ստատորի փաթույթում հողանցման վրա միաֆազ կարճ միացումներից պաշտպանությունը կախված է ցանցի զրոյի հողանցման ձևից: Հողանցման վրա մեծ կարճ միացման հոսանքներով ցանցերում՝ առաջնային շղթաներում մոտավորապես մինչև 40Ա, կիրառվում է 3I₀-ին արձագանքող հոսանքի պաշտպանություն: Զրոյական հաջորդականության պաշտպանության տեխնիկական իրականացումը նշանակալի տարբերություններ չունի առավելագույն հոսանքներից պաշտպանության համակարգերի հետ համեմատ: Նկ. 1.11-ում ներկայացված է շարժիչի հողանցման վրա կարճ միացումից պաշտպանության սխեման [11]:

Ստատորի փաթույթում միջֆազային կարճ միացումների դեպքում շարժիչն անհրաժեշտ է անջատել հնարավորինս գործարկման նվազագույն ժամանակով: Կարճ միացման դեպքում, որն ուղեկցվում է գերհոսանքների անցումով, պիտի գործարկվի հոսանքի խզումը, որը կարգավորվում է առավելագույն հոսանքի արժեքով շարժիչի միացման պահին [11].

$$I_{c3} = K_H I_{II}, \quad K_H = 1,8 ,$$

որտեղ I_{c3} -ը պաշտպանության բանեցման հոսանքն է, I_{II} - ն՝ թողարկման հոսանքը:



Նկ. 1. 11. Շարժիչի հողանցման վրա կարճ միացումից պաշտպանության սխեմա

Հոսանքի խզման զգայունության ստուգումը կատարվում է K_q զգայունության գործակցի միջոցով [11].

$$K_q = I_{\min} / I_{c3},$$

որտեղ $I_{\min}$ - ը երկֆազ կարճ միացման հոսանքն է շարժիչի ելուստների վրա՝ համակարգի նվազագույն աշխատանքային ռեժիմում:

Բարձր զգայունություն ապահովելու համար անհրաժեշտ է, որ զգայունության գործակիցը մեծ լինի 2-ից:

Ստատորի փաթույթում միջֆազային կարճ միացումների դեպքում, որոնք ուղեկցվում են համեմատաբար ոչ մեծ հոսանքներով, պետք է գործարկվի առավելագույն հոսանքից պաշտպանությունն անկախ կամ կախյալ ժամանակի պահումով: Առավելագույն հոսանքից պաշտպանությունը նույնպես կարգավորվում է շարժիչի թողարկման հոսանքներով [11].

$$I_{c3} = K_H I_{HD} / K_B, \quad K_H = 1,2$$

$$t_{c3} = t_{\max} + \Delta t,$$

որտեղ I_{HD} - ն շարժիչի անվանական հոսանքն է, t_{c3} - ը՝ գերհոսանքներից պաշտպանության ժամանակը:

3.5 ՄՎտ - ը գերազանցող շարժիչների միջֆազային կարճ միացումից պաշտպանության համար առաջարկվում է դիֆերենցիալ պաշտպանություն: Այն հնարավորություն է տալիս իրականացնել դիֆերենցիալ պաշտպանություն [11].

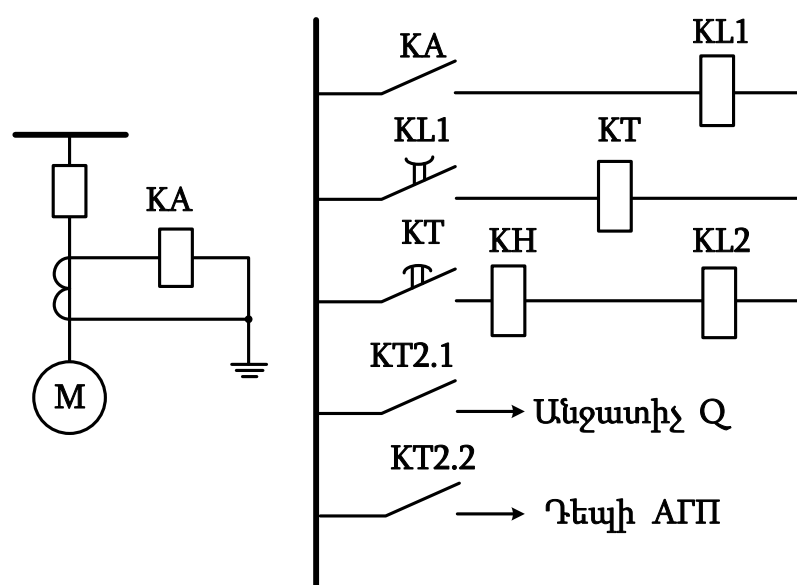
- թողարկման և ինքնաթողարկման ռեժիմներում,
- սինխրոն շարժիչի ասինխրոն միացման դեպքում,
- եռաֆազ կարճ միացման դեպքում:

Աշխատանքում բերված է սինխրոն շարժիչի պաշտպանական սխեմա, որը կանխում է շարժիչի սինխրոնիզմից դուրս գալը (նկ.1.12): Պաշտպանությունն իրականացվում է АГП անջատիչի վրա КА հոսանքի ռելեի ազդեցության արդյունքով: Հաշվի առնելով, որ սինխրոն շարժիչով անցնող հոսանքը բաբախում է, հոսանքի ռելեն աշխատում է բանեցման կամ բացթողման ռեժիմում, ինչը բացառում է КТ ժամանակի ռելեի կոնտակտի բացմանը: Պաշտպանական համակարգում օգտագործվում է կոնտակտների բացման պահումով $KL1$, $KL2$ լրացուցիչ ռելեներ [11]:

Այս պաշտպանությունում գործարկման հոսանքն ընդունում են [11].

$$I_{c3} = K_H I_{HD},$$

$$K_H = 1,4 \div 1,5:$$



Նկ. 1.12. Սինխրոն շարժիչի սինխրոնիզմից դուրս գալու պաշտպանական սխեմա

Սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմներին և դրանցից պաշտպանության հնարավորություններին նվիրված հայտնի աշխատությունների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ առանձին հեղինակների կողմից կատարվել են սինխրոն շարժիչների աշխատանքային ռեժիմների հետազոտմանն ու վթարների կանխարգելմանը վերաբերող տեսական և փորձնական հետազոտություններ, մշակվել են պաշտպանության նշանակալի մեթոդներ: Զգալի փորձ է կուտակվել էներգահամակարգի կայունության պահպանման համակարգերի ստեղծման և դրանց կատարելագործման ուղղությամբ: Հարկ է նշել, որ հայտնի աշխատությունները վերաբերում են առանձին մասնակի դեպքերին և դրանցում չեն հաշվառվում դիտարկվող համակարգի բնութագրական առանձնահատկությունները: Հայտնի աշխատություններում հաշվի չեն առնվում տեխնոլոգիական գործոնների ազդեցությունները, դրանցով պայմանավորված ընթացիկ կարգավորման հնարավորությունները, անկանոն ռեժիմներից համալիր պաշտպանության իրականացման հարցերը: Հայտնի մեթոդները և միջոցները հիմնականում կիրառելի են էներգահամակարգում և դրանց կիրառման միջոցով հնարավոր չէ ապահովել հանքաքարի մանրացման գործընթացի հուսալի և արդյունավետ աշխատանքը [7]:

Հայտնի աշխատությունների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ սինխրոն շարժիչների աշխատանքային ռեժիմների հետազոտման և վթարային վիճակներից

պաշտպանության ավանդական մեթոդները հանքաքարի մանրացման գործընթացի առանձնահատկություններով պայմանավորված կիրառման համար աննպատակահարմար են:

1.4. Խնդրի դրվածքը

Էլեկտրամեխանիկական համակարգի շահագործման արդյունավետության և հուսալիության բարձրացման համար անհրաժեշտ է բացահայտել և կանխել նրա աշխատանքային մասերի բնութագրերի փոփոխման հետևանքով առաջացած անկանոն աշխատանքային ռեժիմները: Դրանք հնարավոր է իրականացնել միայն էլեկտրամեխանիկական համակարգի սարքավորումների բնականոն աշխատանքային վիճակի պահպանման և վթարային ռեժիմների կանխման միջոցով: Էլեկտրամեխանիկական համակարգի անկանոն աշխատանքով պայմանավորված անցանկալի խափանումներից հնարավոր է խուսափել հետևյալ հիմնական ճանապահներով.

1. Էլեկտրամեխանիկական համակարգի մեջ ընդգրկված սարքավորումների վիճակի վերահսկում և մոնիթորինգի իրականացում, որը թույլ է տալիս՝

- բացահայտել զարգացող թաքնված արատները,
- բացահայտել սարքավորումների առանձին տարրերի աշխատանքային ռեսուրսներն ու պրոֆիլակտիկ միջոցառումների իրականացման անհրաժեշտությունը,
- համապատասխան կարգավորման միջոցառումների իրականացման միջոցով կանխել անկանոն ռեժիմներում հայտնվելու հնարավորությունը,
- կանխել հնարավոր վթարային իրավիճակները:

2. Վթարային ռեժիմներից էլեկտրաբանեցման շարժիչի տեխնիկական պաշտպանության միջոցների կիրառում, որը թույլ է տալիս ապահովել շարժիչի պաշտպանությունը ցանցի լարման իջեցման, գրգռման հոսանքի փոքրացման, բեռի մեծացման դեպքերում:

Ընդունված է էլեկտրամեխանիկական համակարգի անկանոն աշխատանքը դիտարկել որպես այդ համակարգում օգտագործվող էլեկտրաբանեցման շարժիչի անկանոն աշխատանքի արդյունք: Այդ պատճառով էլ անկանոն աշխատանքային ռեժիմների բացահայտմանը և հետազոտմանը նվիրված առկա հետազոտությունները հիմնականում առնչվում են շարժիչի բեռնավորման փոփոխման, սնման լարման նվազման և ֆազային լարման ասիմետրիայի հետևանքով առաջացած երևույթներին:

1.3 բաժնում կատարված էլեկտրամեխանիկական համակարգի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների հետազոտմանը, բացահայտմանը և պաշտպանությանը նվիրված հայտնի աշխատությունների վերլուծությունը փաստում է, որ հայտնի աշխատություններում.

- հաշվի չեն առնվում մանրացման գործընթացի աշխատանքային ռեժիմները բնութագրող տեխնոլոգիական և էներգետիկական գործոնների փոխկապվածությունը,

- հաշվի չեն առնում մանրացման գործընթացի տեխնոլոգիական սխեմաների և դրանցում օգտագործվող էլեկտրամեխանիկական համակարգերի բազմազանությունը,

- անկանոն աշխատանքային ռեժիմներից պաշտպանության մեթոդները միտված են տեղային խնդիրների լուծմանը, մասնավորապես, բանեցման էլեկտրաշարժիչի պաշտպանությանը՝ առանց տեխնոլոգիական գործոնների հաշվառման,

- բացակայում են համապատասխան կարգավորման ճանապարհով անկանոն աշխատանքային ռեժիմների կանխմանը միտված աշխատությունները:

Վերոնշյալը հիմք է տալիս պնդելու, որ հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների հետազոտումն ու դրանց կանխումը նպատակահարմար է դիտարկել նոր տեսանկյունից: Այն կարելի է իրականացնել էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների հետազոտմանը վերաբերող հայտնի հետազոտությունների կիրառման և մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացի առանձնահատկությունները հաշվի առնող անկանոն աշխատանքային ռեժիմները կանխող մեթոդների մշակման ճանապարհով:

Հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների հետազոտման և դրանց կանխման համար ընտրվել են հետևյալ ուղղությունները:

1. Ցանցում լարման շեղման դեպքում, հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի աշխատանքային բնութագրերի ուսումնասիրություն դրա ասինխրոն ռեժիմում հայտնվելու դեպքում:

2. Սինխրոն շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում աշխատելու հետևանքով նրա փաթույթի տաքացման հետևանքների ուսումնասիրություն, փաթույթների թույլատրելի տաքացման չափի գնահատման ալգորիթմի մշակում:

3. Բանեցման սինխրոն շարժիչի աշխատանքային բնութագրերի հետազոտման ալգորիթմի մշակում՝ աղացի թմբուկում բեռի ազդեցության հաշվառումով:

4. Աղաց-շարժիչի համակարգի անցումային պրոցեսների ուսումնասիրությունը բանեցման շարժիչի սինխրոն և ասինխրոն աշխատանքային ռեժիմներում հաճախային բնութագրերի և համակարգի կայունության գնահատման միջոցով:

5. Անկանոն աշխատանքային ռեժիմներից պաշտպանության քարտեզի ձևավորում:

6. Հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմներից պաշտպանության և դրանց բացասական հետևանքների կանխման միջոցի մշակման ալգորիթմ:

1.5. Եզրակացություն

1. Հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի շահագործման արդյունավետության մեծացման սկզբունքների վերլուծության միջոցով և անկանոն աշխատանքային ռեժիմներից պաշտպանության անհրաժեշտությունից ելնելով հիմնավորվել են սինխրոն շարժիչների տեխնիկական վիճակի վրա ազդող հիմնական գործոնները:

2. Վերլուծվել և դասակարգվել են հանքաքարի մանրացման գործընթացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմներում հայտնվելու նախադրյալները:

3. Հայտնի աշխատությունների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ սինխրոն շարժիչների աշխատանքային ռեժիմների հետազոտման և վթարային վիճակներից պաշտպանության ավանդական մեթոդները հանքաքարի մանրացման գործընթացի առանձնահատկություններով պայմանավորված կիրառման համար աննպատակահարմար են:

4. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչների աշխատանքային ռեժիմների վրա ազդող հիմնական գործոնների և դրա, անկանոն աշխատանքային ռեժիմների հետազոտմանը վերաբերող հայտնի աշխատությունների վերլուծության արդյունքում առաջարկվել է անկանոն աշխատանքային ռեժիմների հետազոտման և դրանց կանխման մեթոդների մշակման հիմնական ուղղությունները:

2. ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ՍԻՆԽՐՈՆ ՇԱՐԺԻԶԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄՆ ԱՍԻՆԽՐՈՆ ՌԵԺԻՄՈՒՄ

2.1. Հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի ասինխրոն աշխատանքային ռեժիմի հետազոտման մոդելի մշակումը ցանցի լարման շեղման դեպքում

Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացում օգտագործվող բանեցման շարժիչների անվտանգ շահագործումը հատուկ նշանակություն ունի: Դա պայմանավորված է նրանով, որ պարապուրդից հետո մանրացման տեխնոլոգիական ցիկլի վերականգնումը և կանոնավոր աշխատանքային ռեժիմի հաստատումը բարդ և բազմագործոն խնդիր է: Հայտնի է, որ կախված տարբեր պատճառներից արտադրամասի էլեկտրամատակարարման համակարգում լարումը կարող է փոփոխվել՝ առաջացնելով էլեկտրասպառիչների սնման լարման փոփոխություն: Հաշվի առնելով վերջինս, սույն բաժնում դիտարկվում են հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչին մատուցված լարման փոփոխությունների ազդեցությունները շարժիչի աշխատանքային ռեժիմների վրա:

Շարժիչին մատուցվող լարման շեղումը բնութագրվում է լարման իրական և անվանական արժեքների տարբերությամբ և տոկոսներով արտահայտված այն ներկայացվում է հետևյալ կերպ [29]՝

$$U = \frac{U_d - U_H}{U_H} 100,$$

որտեղ U_d -ն շարժիչին մատուցված լարման իրական արժեքն է, U_H -ն՝ շարժիչի սնման լարման անվանական արժեքը:

Շարժիչին մատուցվող լարման տատանումները բնութագրվում են իրար հաջորդող գործող լարումների էքստրեմալ արժեքների տարբերություններով, որը տոկոսներով արտահայտված ներկայացվում է հետևյալ կերպ [29]՝

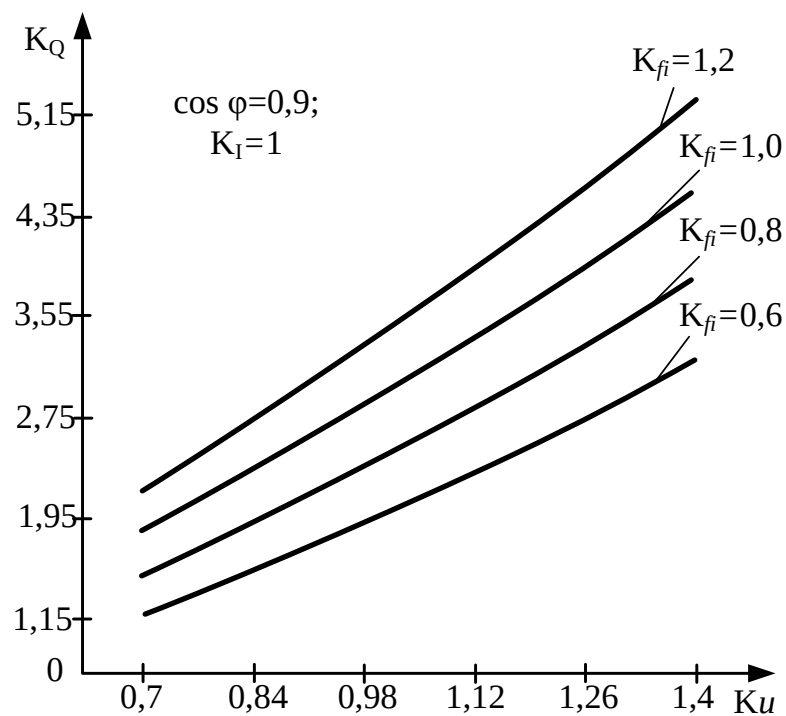
$$\Delta U = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_H} 100:$$

Սինխրոն շարժիչների համար ցանցի լարման շեղումն առաջացնում է ռեակտիվ հզորության փոփոխություն, որը կարևոր է հատկապես այն դեպքում երբ սինխրոն շարժիչը օգտագործվում է որպես ռեակտիվ հզորության կոմպենսացման աղբյուր: Սինխրոն շարժիչի պտտման արագությունը և գրգռման հոսանքը կախված չեն ցանցի լարման մեծությունից:

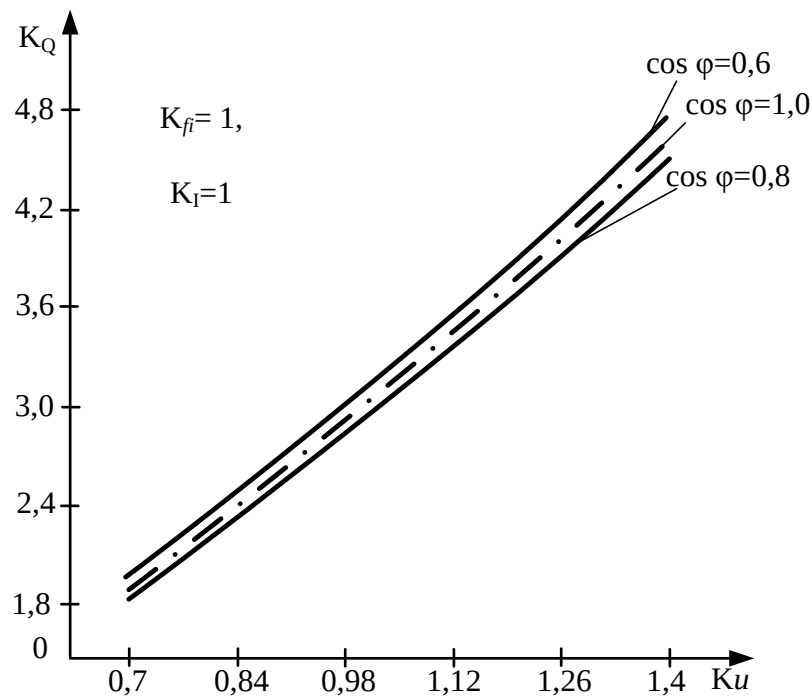
Նկ. 2.1-ում և 2.2-ում ներկայացվել է ռեակտիվ հզորության փոփոխությունը կախված ցանցի լարման փոփոխությունից (հարաբերական միավորներով) գրգռման հոսանքի և $\cos \varphi$ -ի տարբեր արժեքների համար [30]:

$$\text{Օգտագործվել են հետևյալ նշանակումները՝ } K_Q = \frac{Q}{Q_H}, K_u = \frac{U}{U_H},$$

որտեղ Q - ն, Q_H - ը համապատասխանաբար սինխրոն շարժիչի ռեակտիվ հզորության ընթացիկ և անվանական արժեքներն են, U - ն և U_H - ը՝ համապատասխանաբար սինխրոն շարժիչի սնման լարման ընթացիկ և անվանական արժեքները:



Նկ. 2.1. Սինխրոն շարժիչի ռեակտիվ հզորության կախվածությունը սնման լարման արժեքից, գրգռման հասանքի գործակցի տարբեր արժեքների համար

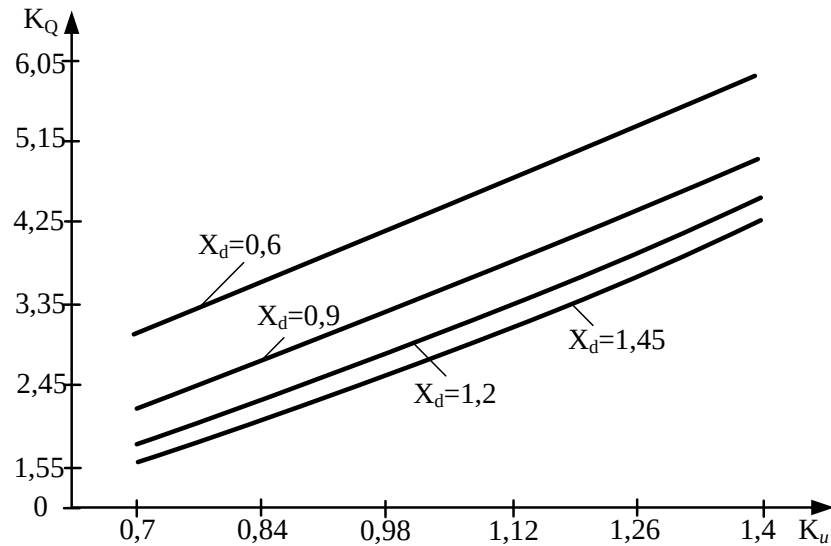


Նկ. 2.2. Սինխրոն շարժիչի ռեակտիվ հզորության կախվածությունը սնման լարման արժեքից՝ $\cos \varphi$ -ի տարբեր արժեքների համար

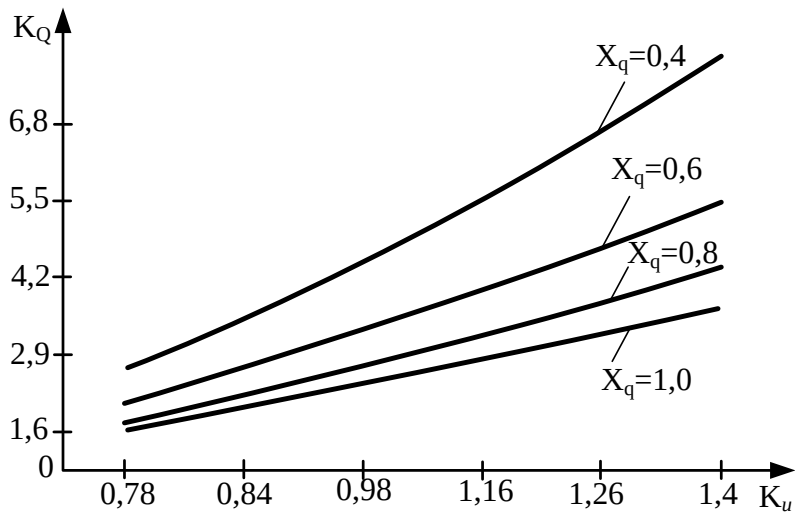
Սինխրոն շարժիչի ռեակտիվ հզորության փոփոխության կախվածությունը սնման լարումից դիտարկվել է լայնական x_d և երկայնական x_q առանցքներով ստատորի փաթույթի ինդուկտիվ դիմադրությունների փոփոխման դեպքում (նկ. 2.3, նկ. 2.4) [30]:

Լարման շեղումը զգալի ազդեցություն է ունենում սինխրոն շարժիչի վրա նրա ասինխրոն ռեժիմում աշխատելիս: Այս դեպքում պտտող մոմենտի արժեքը դառնում է համեմատական շարժիչին մատուցվող սնման լարման քառակուսուն: Լարման արժեքի նվազումը բերում է պտտող մոմենտի և ռոտորի պտտման արագության նվազեցմանը՝ պայմանավորված շարժիչի սահքի մեծացմամբ: Շարժիչի ամբողջական

բեռնվածության դեպքում, սնման լարման նշանակալի փոքրացման արդյունքում, աղացի դիմադրող մոմենտը կարող է գերազանցել շարժիչի պտտման մոմենտին՝ նպաստելով շարժիչի կանգառին:



Նկ. 2.3. Սինխրոն շարժիչի ռեակտիվ հզորության կախվածությունը սնման լարման արժեքից՝ x_d -ի տարբեր արժեքների համար



Նկ. 2.4. Սինխրոն շարժիչի ռեակտիվ հզորության կախվածությունը սնման լարման արժեքից՝ x_q -ի տարբեր արժեքների համար

Ասինխրոն ռեժիմում աշխատող սինխրոն շարժիչի սեղմակներին երկարատև ցածր լարման մատուցման դեպքում առաջանում է մեկուսացման գերտաքացում՝ հանգեցնելով անցանկալի երևույթների: Բացի վերոնշյալից, ասինխրոն ռեժիմում աշխատող սինխրոն շարժիչը սպառում է ռեակտիվ հզորություն, որը բացասական ազդեցություն է թողնում ցանցի լարման վրա:

Հանքաքարի մանրացման գործընթացում աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչը կարող է հայտնվել կարճատև ասինխրոն ռեժիմում: Կարճատև ասինխրոն ռեժիմները կարող են լինել [12, 31, 32].

- շահագործողական՝ էլեկտրաբանեցման համակարգի բնականոն աշխատանքի ապահովման համար,

- վթարային՝ առաջանում է, երբ շարժիչը դուրս է գալիս սինխրոնիզմից պայմանավորված տարբեր գործոնների ազդեցությամբ, որոնց համար որպես աղբյուր կարող են հանդիսանալ սնման լարման, աղացի բեռնվածքի (երբ գերազանցում է առավելագույն թույլատրելի սահմանը) փոփոխությունները:

Ելնելով վերոնշյալից, հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմում հայտնվելու հնարավորությունից խուսափելու համար անհրաժեշտություն է առաջանում դիտարկել սինխրոն շարժիչի բնութագրերը նրա սինխրոնիզմից դուրս գալու դեպքում:

Էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի ասինխրոն թողարկման կամ սինխրոնիզմից դուրս գալու դեպքում շարժիչի սնման լարման փոքրացումը բերում է շարժիչի պտտման արագության փոքրացմանը և հետևաբար թողարկման դանդաղեցմանը: Բացի այդ, լարման խորը անկման ժամանակ, այն դեպքում, երբ աղացի կողմից ստեղծված դիմադրող մոմենտը մեծ է շարժիչի պտտման մոմենտի առավելագույն արժեքից՝ շարժիչը դուրս է գալիս սինխրոնիզմից: Այն դեպքում, երբ հանքաքարի աղացի կողմից ստեղծված դիմադրող մոմենտը փոքր է շարժիչի պտտման ասինխրոն մոմենտի առավելագույն արժեքից, ապա շարժիչն անցնում է ասինխրոն ռեժիմի, հակառակ դեպքում շարժիչը կանգ է առնում: Ակնհայտ է, որ սինխրոն շարժիչի կրկնակի թողարկումն առաջացնում է էլեկտրաէներգիայի լրացուցիչ ծախս:

Հաշվի առնելով գործնականում կիրառություն ստացած էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչների բազմազանությունը, դետարկվել են շարժիչների երկու խումբ՝ բարձր և ցածր հզորությունների:

Ստորև ներկայացված է ցանցում լարման փոփոխման դեպքում հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում աշխատանքի ուսումնասիրման մաթեմատիկական մոդելը: Մշակված մոդելի հիմքում ընկած է աղացի բեռի դիմադրող մոմենտի և ասինխրոն ռեժիմում աշխատող բանեցման սինխրոն շարժիչի պարամետրերի միջև առկա կապի հաստատումը և շարժիչի վթարային ռեժիմի համար անթույլատրելի լարման փոփոխման սահմանների գնահատումը:

Շարժիչի և աղացի մեխանիկական բնութագրերի կախվածության հավասարումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

$$M_{Din} = M_D - M_A,$$

(2.1)

որտեղ M_{Din} -ը համակարգի դինամիկական մոմենտն է, M_D - ն՝ շարժիչի մոմենտը, M_A -ն՝ հանքաքարի աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտը:

Սինխրոն շարժիչի մոմենտը կարելի է ներկայացնել ասինխրոն և սինխրոն մոմենտների գումարի միջոցով [33].

$$M_D = M_{D.c} + M_{D.ac} :$$

(2.2)

Երբ շարժիչը դուրս է գալիս սինխրոնիզմից կամ նրա ասինխրոն թողարկման ժամանակ, շարժիչի մոմենտը որոշվում է հետևյալ կերպ [13].

$$M_D = M_{D.ac},$$

(2.3)

Ասինխրոն մոմենտը՝ հարաբերական միավորներով արտահայտված, որոշվում է հետևյալ կերպ [34].

$$M_{D.as} = \frac{\gamma(K_u)^2 ss_k}{s_k^2 + s^2},$$

(2.4)

որտեղ s_k - ն կրիտիկական սահքն է, s -ը սահքի ընթացիկ արժեքն է, γ - ն՝ շարժիչի առավելագույն մոմենտի պատիկությունն է, որը որոշվում է հետևյալ կերպ՝

$$\gamma = \frac{M_{\max}}{M_H} :$$

Այստեղ $M_{\max}$ -ը և M_H -ը համապատասխանաբար շարժիչի առավելագույն և անվանական մոմենտներն են:

Հանքաքարի աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտը՝ բերված շարժիչի լիսեռի պտտման արագությանը, կընդունի հետևյալ տեսքը [35].

$$M_A = m_c \frac{\omega_A}{\omega} \frac{1}{\eta} = m_c \frac{\omega_A}{(1-s)} \frac{1}{\eta},$$

(2.5)

որտեղ

$$m_c = \frac{M_A}{M_H} = \frac{\omega}{\omega_H} = \frac{1-s}{1-s_H} :$$

(2.6)

Այստեղ օգտագործվել են հետևյալ նշանակումները՝ ω -ն՝ շարժիչի պտտման անկյունային արագությունը, ω_A -ը՝ աղացի թմբուկի պտտման անկյունային արագությունը, η -ն՝ շարժիչի լիսեռից աղացի թմբուկին փոխանցման ՕԳԳ -ն:

(2.6) հավասարումից ստանում ենք՝

$$s = m_c (s_H - 1) + 1:$$

(2.7)

(2.4), (2.5) և (2.7) հավասարումները տեղադրելով (2.3) հավասարման մեջ և կատարելով համապատասխան ձևափոխություններ ստանում ենք.

$$K_u = \sqrt{\frac{m_c \omega_A (s_k^2 + m_c^2 (s_H - 1)^2 + 2m_c (s_H - 1) + 1)}{(m_c (1 - s_H)) \eta s_k (m_c (s_H - 1) + 1)}},$$

(2.8)

որտեղ s_k - ն, s_H - ը համապատասխանաբար որոշվում են հետևյալ արտահայտությունների միջոցով [36].

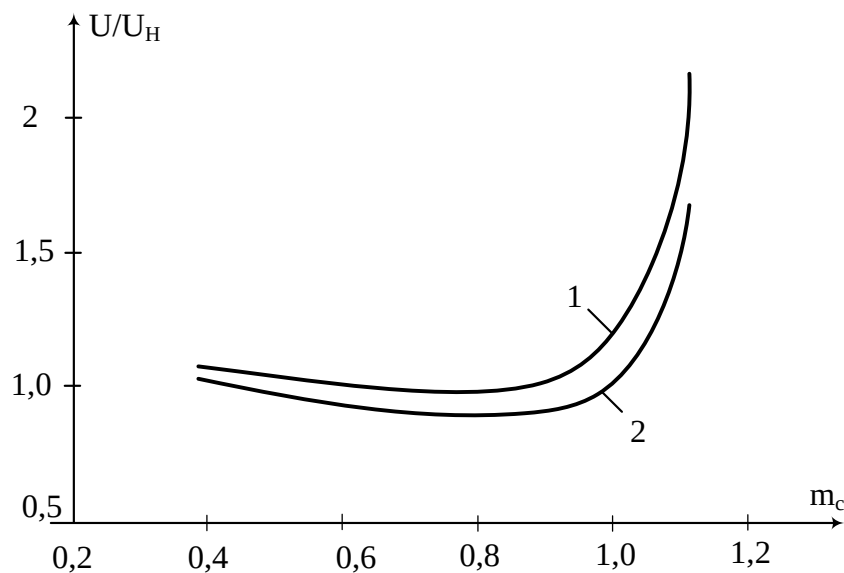
$$s_k = \frac{\sqrt{\frac{M_{II}}{M_{Bx}} - 0,05}}{\sqrt{20 - \frac{M_{II}}{M_{Bx}}}}, \quad s_H = \frac{s_k}{\left(\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1}\right)}:$$

Այստեղ M_{II} - ն, M_{Bx} - ը համապատասխանաբար սինխրոն շարժիչի թողարկման և մուտքային մոմենտներն են:

Ստացված կախվածությունների կիրառմամբ դիտարկվել են ասինխրոն ռեժիմում բարձր հզորությամբ և ցածր հզորությամբ շարժիչների բնութագրերը սնման լարման փոփոխման դեպքում: Հետազոտությունները կատարվել են դանդաղընթաց բարձր հզորության ДС260/44-36 (հզորությունը՝ 1100 կՎտ), ДС213/44-24 (հզորությունը՝ 900 կՎտ) և ցածր հզորության ДС213/34-32 (հզորությունը՝ 380 կՎտ) և ДС213/24-32 (հզորությունը՝ 300 կՎտ) տեսակի շարժիչների համար:

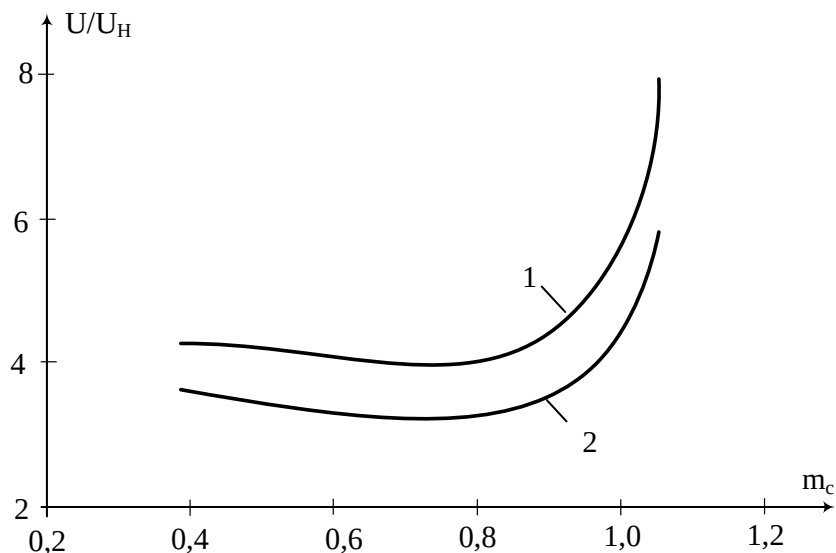
Նկ. 2.5-ում ներկայացված է բարձր հզորության շարժիչի սնման լարման կախվածությունն աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտից (հարաբերական միավորներով):

ДС213/24-32 (հզորությունը՝ 300 կՎտ) և ДС213/34-32 (հզորությունը՝ 380 կՎտ), շարժիչների համար ստացվել է սնման լարման փոփոխությունը դիմադրող մոմենտի տարբեր արժեքների համար (նկ. 2.6) [35]:



Նկ. 2.5. Բարձր հզորության շարժիչի սնման լարման կախվածությունը դիմադրող մոմենտից: 1- 900 կՎտ շարժիչի համար, 2 - 1100 կՎտ շարժիչի համար

Նկ. 2.5-ից և 2.6-ից հետևում է, որ դիմադրող մոմենտի մեծ արժեքի դեպքում շարժիչի սնման լարման փոքրացումը անթույլատրելի է անկախ շարժիչի անվանական հզորությունից, իսկ դա նշանակում է, որ, եթե շարժիչը հայտնվել է ասինխրոն ռեժիմում հանքաքարով բեռնավորված աղացի աշխատանքի ընթացքում, ապա լարման անկումը կարող է շարժիչի կանգառի պատճառ հանդիսանալ: Ստացված (2.8) արտահայտությունը թույլ է տալիս աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտի համար գնահատել օգտատործվող էլեկտրաբանեցման շարժիչի սնման լարման փոփոխման թույլատրելի միջակայքը: Միաժամանակ գործնականում հանդիպում են այնպիսի դեպքեր, երբ սինխրոն շարժիչը կանգ է առնում բեռնավորված աղացով: Նման դեպքերում ընդունված է վերաթողարկումն իրականացնել աղացի ամբողջական կամ մասնակի բեռնաթափման միջոցով: Ստացված կախվածությունները թույլ են տալիս յուրաքանչյուր կոնկրետ դեպքի համար որոշել դիմադրող մոմենտի այն սահմանային արժեքը, որի դեպքում շարժիչն ասինխրոն թողարկման դեպքում սահուն կմտնի սինխրոն ռեժիմ:



Նկ. 2.6. Ցածր հզորության շարժիչի սնման լարման կախվածությունը դիմադրող մոմենտից: 1 - 380 կՎտ հզորության շարժիչի համար, 2 - 300 կՎտ հզորության շարժիչի համար

Սովորաբար հանքաքարի աղացները թողարկման մեջ են դրվում առանց աղացը բեռնավորելու և բեռնավորում են միայն այն դեպքում, երբ բանեցման շարժիչի թափքի արագությունը մոտենում է անվանականին: Լարման նվազմանը զուգընթաց էլեկտրաշարժիչի բեռնվածությունը մեծանում է պայմանավորված այն հանգամանքով, որ աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտը մնում է անփոփոխ: Առաջանալով հավելորդային մոմենտ, էլեկտրաշարժիչը կարող է կանգ առնել: Շարժիչի կանոնավոր աշխատանքի ապահովման և վթարային ռեժիմներից խուսափելու նպատակով որոշվել է չբեռնավորված հանքաքարի աղացի դեպքում նրա էլեկտրաբանեցման շարժիչի սնման լարման սահմանային արժեքը (հարաբերական միավորներով) հետևյալ արտահայտության միջոցով [37].

$$U_{pr} = \sqrt{k_z \frac{(s_k^2 + s^2 + s_k s q)}{\gamma s_k s (2 + q)}},$$

(2.9)

որտեղ k_z -ը շարժիչի բեռնավորման գործակիցն է, q –ն՝ ստատորի և ռոտորի ակտիվ դիմադրությունները հաշվի առնող գործակից, որը որոշվում է հետևյալ կերպ՝

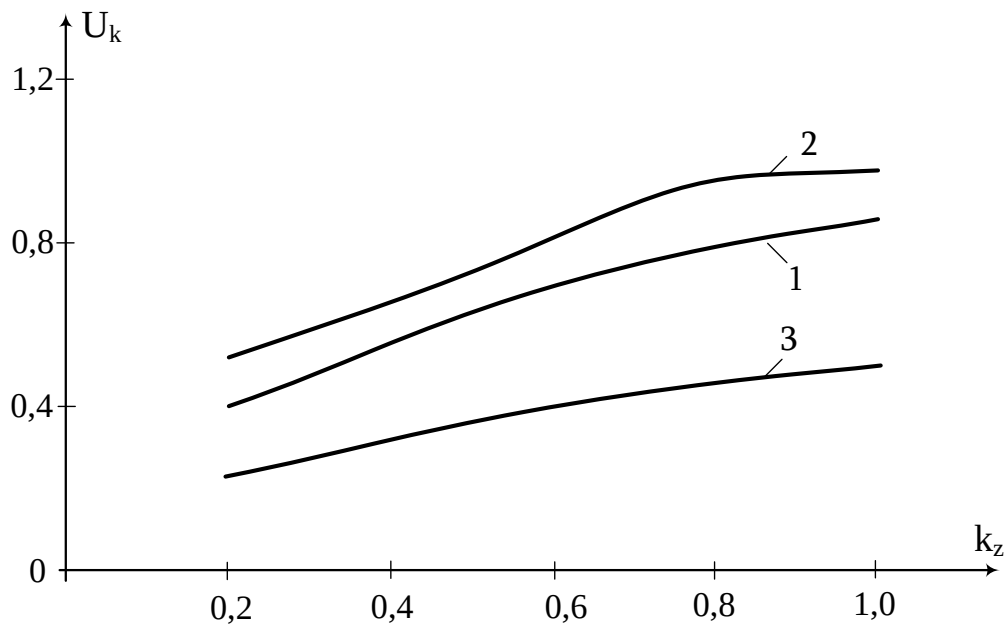
$$q = \frac{\left(\frac{1}{s_k} + s_k \right) \left(\frac{M_{\Pi}}{M_{Bx}} \right) - 2}{1 - \frac{M_{\Pi}}{M_{Bx}}} :$$

Շարժիչի աշխատանքի համար անթույլատրելի է, երբ նրա սահքի ընթացիկ արժեքը հավասարվում է կրիտիկականին՝ $s = s_k$: Այդ դեպքում (2.9)-ից կարելի է ստանալ շարժիչի սեղմակներում լարման կրիտիկական արժեքը (հարաբերական միավորներով).

$$U_k = \sqrt{k_z / \gamma} :$$

(2.10)

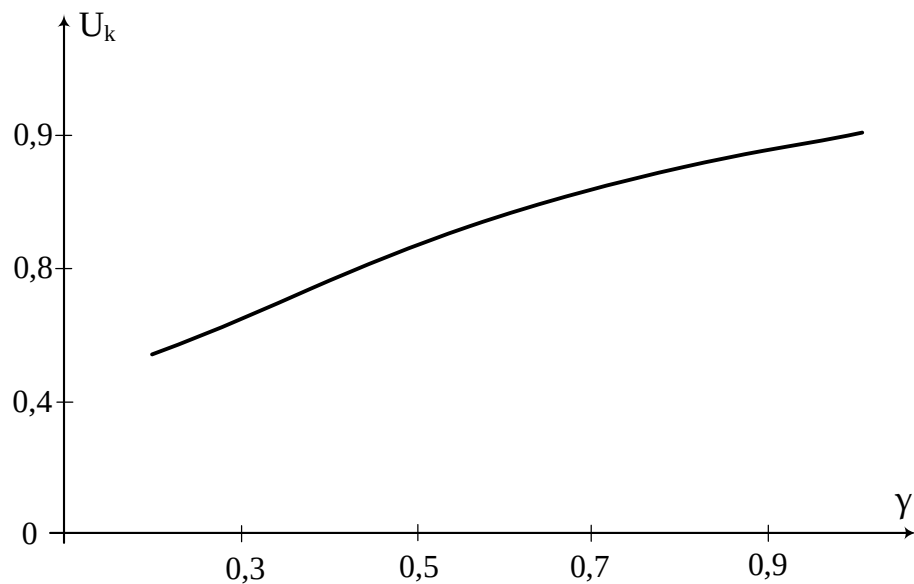
Նկ. 2.7-ում ներկայացված է տարբեր շարժիչների սնման լարման կրիտիկական արժեքի կախվածությունը նրա բեռնավորման գործակիցից:



Նկ. 2.7. Շարժիչի, հարաբերական միավորներով արտահայտված, սնման լարման կրիտիկական արժեքի կախվածությունը նրա բեռնավորման գործակցից 1- ДС260/44-36 (հզորությունը՝ 1100 կՎտ), 2- ДС213/44-24 (հզորությունը՝ 900 կՎտ), 3- ДС213/34-32 (հզորությունը՝ 380 կՎտ) շարժիչի համար

Նկ. 2.7-ից հետևում է, որ շարժիչի սնման լարման կրիտիկական արժեքը 900 կՎտ հզորության շարժիչի համար ավելի մեծ է քան 1100 կՎտ շարժիչի համար: Վերջինս բացատրվում է հաշվարկված ДС213/44-24 տեսակի շարժիչի տեխնիկական տվյալներով, մասնավորապես, այն ունի ավելի մեծ թողարկման մոմենտ, քան ДС260/44-36 տեսակի շարժիչը:

Դիտարկվել է նաև շարժիչի սեղմակներում կրիտիկական լարման կախվածությունը շարժիչի բեռնավորման կարողությունից (տես նկ. 2.8): Շարժիչի բեռնավորման կարողության մեծացմանը զուգահեռ մեծանում է կրիտիկական լարման արժեքը:



Նկ. 2.8. Շարժիչի, հարաբերական միավորներով արտահայտված, սնման լարման կրիտիկական արժեքի կախվածությունն առավելագույն մոմենտի պատիկությունից

Սույն բաժնում մշակված մաթեմատիկական մոդելը հնարավորություն է տալիս ստանալ հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի սինխրոն ռեժիմից դուրս գալու կամ ասինխրոն թողարկման հետևանքով առաջացող ասինխրոն ռեժիմների հետազոտման կախվածությունները, որոնք թույլ են տալիս գնահատել շարժիչի կանոնավոր աշխատանքի ապահովման համար անհրաժեշտ սնման լարման փոփոխման հնարավոր միաջակայքը դիմադրող մոմենտի յուրաքանչյուր արժեքի համար, դրանով իսկ բացահայտել և կանխել շարժիչի անթույլատրելի վթարային ռեժիմներում հայտնվելու հնարավորությունը:

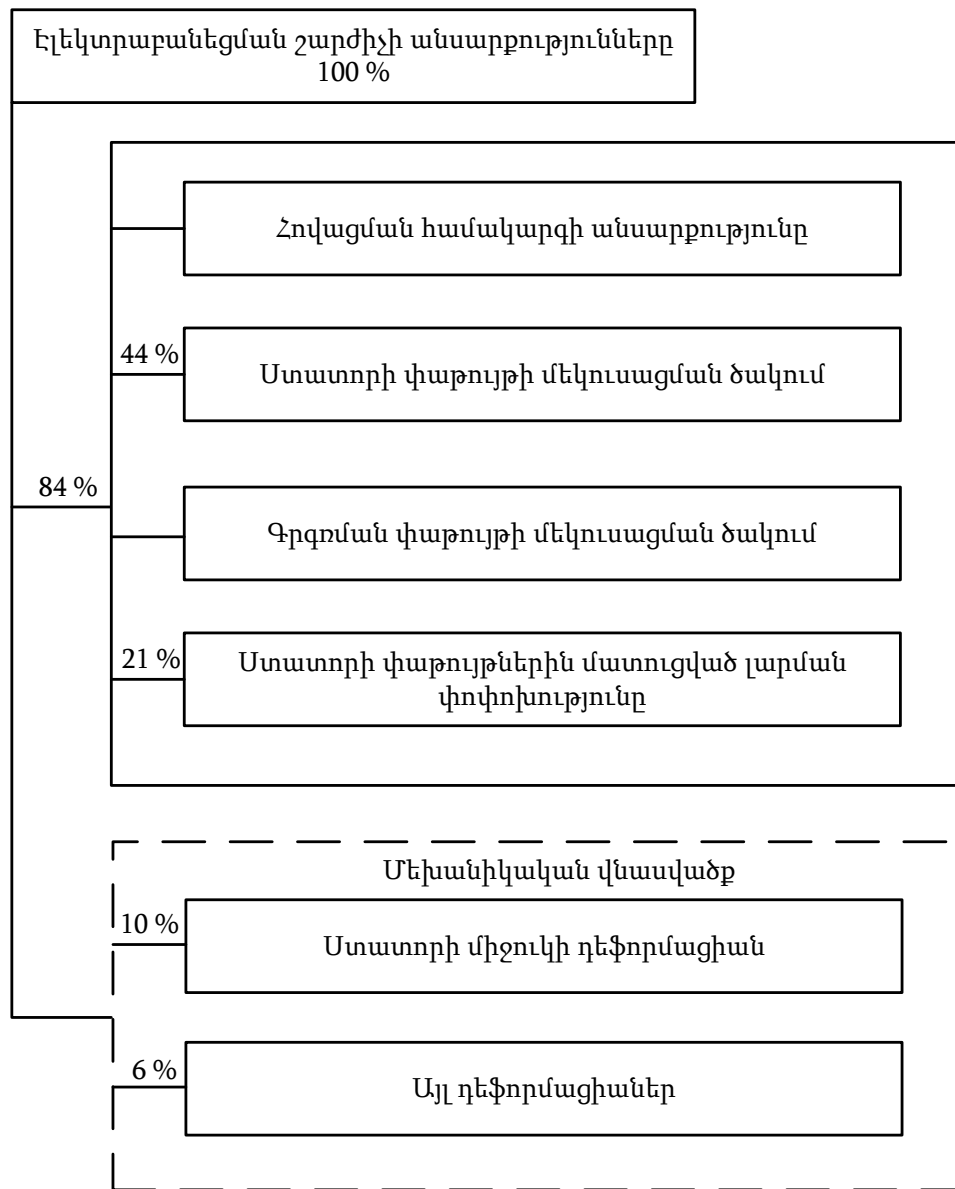
Շահագործման ընթացքում սինխրոն շարժիչի ասինխրոն աշխատանքային ռեժիմները կարող են առաջացնել նաև այլ անկանոն երևույթներ, մասնավորապես, նպաստել շարժիչի փաթույթի մեկուսացման վաղաժամ ծերացմանը և ծակմանը: Այդ պատճառով էլ անհրաժեշտություն է առաջացել բացահայտել փաթույթի մեկուսիչի վնասման առավել բնութագրական պայմանները և հետազոտել ասինխրոն ռեժիմում աշխատելու հետևանքով սինխրոն շարժիչի փաթույթի տաքացման թույլատրելի սահմանները:

2.2.Սինխրոն շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում աշխատելու հետևանքով նրա փաթույթի տաքացման հետևանքների հետազոտման ակտիվիթեթի մշակում

Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացում օգտագործվող էլեկտրաբանեցման շարժիչի հուսալի աշխատանքի վրա էական ազդեցություն ունեցող գործոնների բացահայտման համար կատարվել են հարցումներ թվով 4 հանքահարստացման ձեռնարկությունների հանքաքարի աղացների շահագործմամբ զբաղվող մասնագետների շրջանում: Վերլուծվել են 2003-ից 2015թթ. ժամանակահատվածում արձանագրված թվով 23 շահագործվող շարժիչների շարքից դուրս գալու դեպքերը: Մասնագետներից հավաքագրված տեղեկատվական տվյալների միջինացման արդյունքում ստացվել է էլեկտրաշարժիչների միջին վթարայնությունը, որը կազմում է 3,4 հատ/տարի:

Վերլուծվել են մասնագետներից հավաքագրված տեղեկատվական տվյալները հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչների շարքից դուրս գալու պատճառների վերաբերյալ (տես նկ. 2.9): Էլեկտրաբանեցման շարժիչի շարքից դուրս գալու բոլոր հնարավոր պատճառների գումարը ներկայացվել է 100% և բերվել են դրանց առաջացման պատճառների տոկոսային հարաբերակցությունները: Նկ. 2.9 -ում բերված տեղեկատվության տոկոսային բաշխվածությունը ստացվել է մի քանի հանքահարստացման ձեռնարկությունների հանքաքարի աղացների էլեկտրաբանեցման շարժիչների անսարքությունների առաջացման պատճառների միջինացման ճանապարհով: Առավել հաճախ հանդիպող պատճառներն են՝

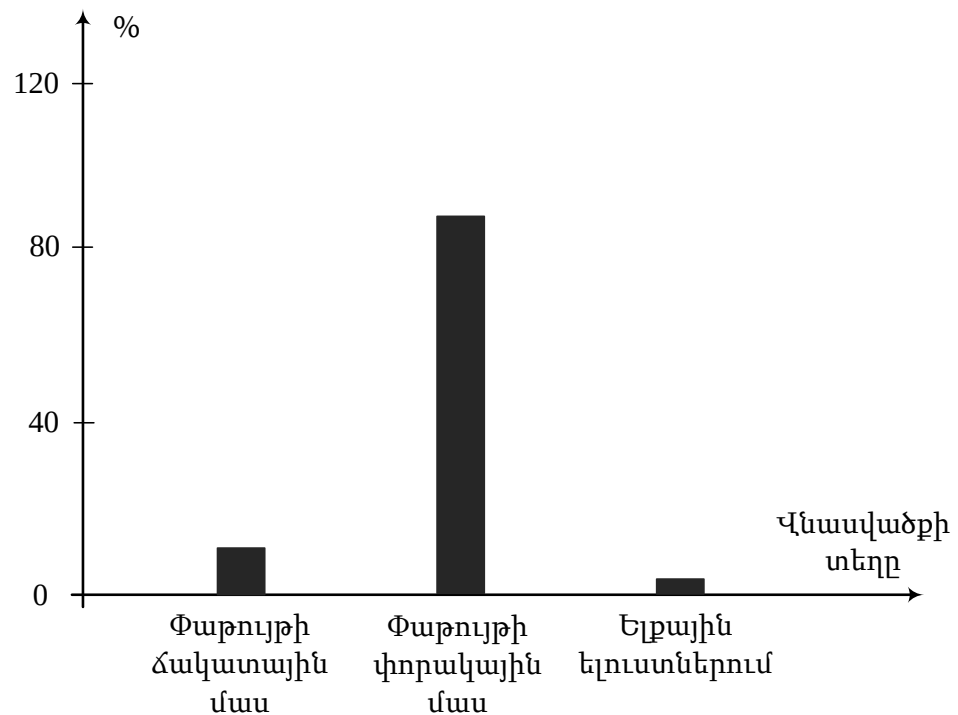
- հովացման համակարգի անսարքությունը,
- ստատորի փաթույթի մեկուսացման ծակումը,
- ստատորի միջուկի դեֆորմացիան,
- գրգռման փաթույթի մեկուսացման ծակումը,
- ստատորի փաթույթներին մատուցված լարման փոփոխությունը:



Նկ. 2.9. Հանքաքարի աղացների էլեկտրաբանեցման շարժիչների անսարքությունների առաջացման պատճառների բաշխվածությունը

Վերլուծությունները ցույց են տվել, որ անսարքությունների առաջացման առավել հաճախ հանդիպող պատճառը դա փաթույթների վնասվածքն է, որը կազմում է 84%, որի կեսը բաժին է հասնում ստատորի փաթույթին: Վերլուծության են ենթարկվել նաև

փաթույթի վնասվածքի տեղերի մասին առկա տեղեկատվությունները (նկ. 2.10):



Նկ. 2.10. Սինխրոն շարժիչի ստատորի փաթույթի վնասվածքի տեղերի բաշխվածությունը

Հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի անսարքությունների առաջացման վերաբերյալ առկա տեղեկատվության վերլուծությունը հիմք է տալիս հիմնավորելու շարժիչի փաթույթի տաքացման հետևանքների բացահայտման և հետազոտման անհրաժեշտությունը: Նկատի ունենալով, որ բանեցման էլեկտրաշարժիչի փաթույթների մեկուսացումների վնասվածքը պայմանավորված է ոչ միայն շարժիչի շահագործման առանձնահատկություններով, այլ նաև նրանում օգտագործվող մեկուսիչ նյութերի հատկություններով, ստորև անդրադարձ է կատարվել շարժիչները նախագծելիս մեկուսչի ընտրության հարցերին:

Էլեկտրաբանեցման շարժիչի փաթույթների մեկուսացումը դիտարկվում է որպես նրա հուսալի աշխատանքն ապահովող հիմնական մասերից մեկը: Նրանից է կախված շարժիչի տեխնիկատնտեսական ցուցանիշները և հուսալի աշխատանքը՝ շահագործման տարբեր պայմաններում:

Փաթույթների մեկուսացման համար օգտագործվող մեկուսչային նյութերի ջերմակայունությունն որոշում է նրանց համար թույլատրելի գերտաքացումը և, հետևաբար, բանեցման էլեկտրաշարժիչի էլեկտրամագնիսական բեռնվածքները: Կարևոր ցուցանիշներ են մեկուսացման ջերմահաղորդականությունը, նրա խոնավակայունությունը և քիմիական կայունությունը: Բացի այդ մեկուսացումը պետք է ունենա բավականաչափ մեխանիկական ամրություն, քանի որ շահագործման պայմաններից ելնելով մեկուսացումն ենթարկվում է նշանակալի մեխանիկական ազդեցությունների:

Հաշվի առնելով վերոնշյալը, շարժիչները նախագծելիս մեկուսչի ընտրության ժամանակ առաջնորդվում են հետևյալ ցուցանիշներով [38].

- շարժիչի տարրերի մեկուսացման բարձր հուսալիության ապահովումը,
- էլեկտրամեկուսիչ նյութերը, մեկուսացման հաստությունը և նրա կատարումը պետք է ընտրվեն հաշվի առնելով շարժիչի շահագործման պայմանները (խոնավություն, ջերմության ազդեցություն, մեխանիկական ուժ, վնասակար գազեր և այլն),
- շարժիչի կանոնավոր աշխատանքային պայմաններում ապահովել 15-20 տարուց ոչ պակաս մեկուսացման ծառայության ժամկետ,
- կիրառել բարձրորակ նյութեր, որոնք թույլ կտան ստանալ շարժիչի ակտիվ տեղամասերի բարձր լցման գործակից մեկուսացման բարձր հուսալիության պայմանով,
- մեկուսացման կառուցվածքի մշակման ժամանակ հաշվի առնել տեխնոլոգիական գործոնները,
- մեկուսիչի ընտրման ժամանակ կարևորել տնտեսական ցուցանիշները (մեկուսչային նյութերի արժեքները, նրանց սահմանափակությունը, տեխնոլոգիական գործընթացների աշխատատարությունը, ջերմության և էլեկտրաէներգիայի ծախսը և այլն):

Էլեկտրաշարժիչի աշխատանքի ընթացքում որոշիչ նշանակություն ունի ջերմային ռեժիմը, քանի որ տաքացման ժամանակ մեկուսացումում տեղի են ունենում անդառնալի ֆիզիկաքիմիական երևույթներ՝ բերելով նրա ծերացմանը, այսինքն

մեխանիկական ամրության և մեկուսիչ հատկությունների աստիճանական կորստին: Այդ պատճառով շարժիչի մեկուսացման դասակարգման հիմքում դրված է նրա ջերմակայունությունը, այլ կերպ ասած՝ կարողությունը պահպանելու իր բնութագրիչ հատկություններն որոշակի մակարդակի վրա մեկուսացման տվյալ դասի համար հաստատված ջերմաստիճանի առկայության դեպքում:

Աշխատանքի ընթացքում շարժիչի առանձին տեղամասերի տաքացամամբ պայմանավորված ջերմաստիճանը բաշխվում է անհավասարաչափ և գործնականում հնարավոր չի ճշգրիտ չափել ամենատաքացած մասի ջերմաստիճանը: Այդ պատճառով էլ ընդունված է օգտագործվող մեկուսիչների համար սահմանել մեկուսիչների առանձին դասեր:

Մեկուսացման տարբեր դասերի համար ընդունված ջերմաստիճանների դեպքում մեկուսացման ծառայության ժամկետը և հետևաբար շարժիչի ծառայության ժամկետը կազմում է մոտավորապես 15-20 տարի: Եթե փաթույթի ջերմաստիճանը բարձր է թույլատրելիից, ապա մեքենայի ծառայության ժամկետն արագ կրճատվում է: Այսպես, A և B դասի մեկուսիչների փորձարկումներից ելնելով, ջերմաստիճանի 10°C – ով բարձրացման դեպքում համապատասխանաբար 105°C և 130°C -ից բարձր, մեքենայի ծառայության ժամկետը նվազում է 2 անգամ, այսինքն ընդհանուր առմամբ 2^{α} անգամ, որտեղ A դասի համար $\alpha=(\theta-105)/10$, իսկ B դասի համար $\alpha=(\theta-130)/10$ [38]:

Էլեկտրական մեքենաների նշանակությունից կախված նրանում օգտագործվող մեկուսիչները լինում են հետևյալ տեսակների.

- միջգալարային, որի դեպքում սովորաբար կիրառում են փաթույթային հաղորդալարի մեկուսչային ծածկույթ (փաթույթի մեկուսացման դասը հիմնականում որոշվում է միջգալարային մեկուսացումով),
- հատվածքային (հատվածքների ծածկման համար),
- փաթույթների ճակատային մասերի մեկուսացում,
- փորակային մեկուսացում (մեկուսացված հաղորդալարերի և փորակի պատի միջև),

- կոլեկտորային թիթեղների միջև մեկուսացում, ինչպես նաև կոլեկտորային թիթեղների և նրանց սեղմող տարրերի միջև մեկուսացում,
- բևեռների և գրգռման փաթույթի կոճերի միջև մեկուսացում:

Չնայած այն հանգամանքին, որ գործնականում օգտագործվող բոլոր շարժիչների համապատասխան տեղամասերի մեկուսացումները ապահովում են վերոնշյալ պահանջները, այնուամենայնիվ կախված շարժիչի շահագործման պայմաններից նրա մեկուսացումը ժամանակի ընթացքում կարող է վնասվել առաջացնելով անցանկալի երևույթներ:

Հայտնի են մեծաթիվ գիտական աշխատություններ, որոնք նվիրված են շարժիչներում օգտագործվող մեկուսիչների ծերացմանն ու վնասմանը [39 -42]:

Էլեկտրաշարժիչի էլեկտրամեկուսիչի ծերացման պրոցեսի վրա շահագործման գործոնների ազդեցության վերլուծմանն է նվիրված [39] աշխատությունը: Մշակվել է մաթեմատիկական մոդել, որը հնարավորություն է տալիս կանխորոշել շարժիչի ծառայության ժամկետը լարման, շրջապատող միջավայրի ջերմաստիճանի, խոնավության և մեխանիկական տատանումների հաշվառումով:

Փոշոտ միջավայրում աշխատող շարժիչների մեկուսիչների վնասմանն է առնչվում [40] աշխատությունը: Լեռնամետալուրգիական համալիրներում օգտագործվող մինչև 55 կՎտ հզորության ասինխրոն շարժիչների մեկուսիչի ճակատային մասում փոշու շերտը կարող է հասնել մինչև 3 սմ, ինչը կարող է առաջացնել շարժիչի փաթույթի ճակատային մասերի տեղային գերտաքացում և նպաստել դրա վաղաժամ շարքից դուրս գալուն: Աշխատության հեղինակները ստացել են կախվածություն, որը բնութագրում է շարժիչի ճակատային մասի լրացուցիչ գերտաքացման կապը դրա վրա փոշու հաստությունից: Շարժիչի տիպը, չափերը և հզորությունը չեն ազդում մեկուսիչի լոկալ գերտաքացման վրա: Մշակվել է սարքավորում փաթույթի վրա փոշու մակարդակի հսկման և դրա մաքրման անհրաժեշտության դեպքում ազդարարման համար[40]:

Առանձնակի հետաքրքրության է արժանի Ս.Ա. Բաբիչևի աշխատությունը: Դրանում բերվել են գազամատակարարման ազրեգատի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի ստատորի փաթույթի մեկուսացման ռեսուրսի վրա առավել մեծ ազդեցություն

ունեցող շահագործողական գործոնների ազդեցության տեսական վերլուծության և պրակտիկ արդյունքների քանակական գնահատումների արդյունքները: Առաջարկվել է գազամատակարարման ագրեգատի շահագործման հուսալիության և աշխատանքի արդյունավետության բարձրացման տարբերակներ [41]:

Հայտնի է, որ հիմնականում սինխրոն շարժիչները թողարկվում են ասինխրոն ռեժիմում և թողարկման ռեժիմը սինխրոն շարժիչի համար համարվում է ծանր աշխատանքային ռեժիմ, պայմանավորված նրանով, որ թողարկման հոսանքի արժեքը կարող է մի քանի անգամ գերազանցել անվանական հոսանքին: Մյուս կողմից, սույն աշխատանքում դիտարկվող հանքաքարի աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտը ժամանակի ընթացքում ենթարկվում է փոփոխման՝ առաջացնելով շարժիչի բեռնավորման մոմենտի փոփոխություն, իսկ առանձին դեպքերում դա կարող է հանգեցնել նրան, որ շարժիչն աշխատի ասինխրոն ռեժիմում՝ առաջացնելով վերաթողարկման անհրաժեշտություն: Հաշվի առնելով, որ նմանօրինակ երևույթները հանգեցնում են բանեցման շարժիչի, ինչպես նաև ողջ տեխնոլոգիական գործընթացի բնականոն աշխատանքի խախտմանը, անհրաժեշտություն է առաջացել հետազոտելու սինխրոն շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում նրա փաթույթի տաքացման հետևանքները:

Ասինխրոն ռեժիմում սինխրոն շարժիչի աշխատանքի ընթացքում նրա փաթույթները ստատորում և ռոտորում կարող են տաքանալ, գերազանցելով թույլատրելի սահմանը, ինչը բացասական ազդեցություն է ունենում շարժիչի տեխնիկական ռեսուրսի վրա: Մեկուսիչի աշխատանքի տևողությունը հիմնականում կախված է շարժիչի պահանջվող ջերմային ռեժիմի պահպանմամբ: Ելնելով տնտեսական պայմաններից առանձին ձեռնարկություններում միջոցների տնտեսման նպատակով նվազեցնում են օգտագործվող շարժիչների վերանորոգման-նախապահպանական աշխատանքների ծավալը [42,43]: Հարկ է նշել, որ հանքաքարի մանրացման գործընթացն օգտագործող ձեռնարկություններում միջոցների նմանօրինակ տնտեսումը աննպատակահարմար է և կարող է բացասական ազդեցություն ունենալ ելանյութի տեխնիկատնտեսական ցուցանիշների վրա:

Հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի անժամանակ խափանման կանխման նպատակով դիտարկվել է փաթույթի մեկուսիչի գերտաքացման կապը

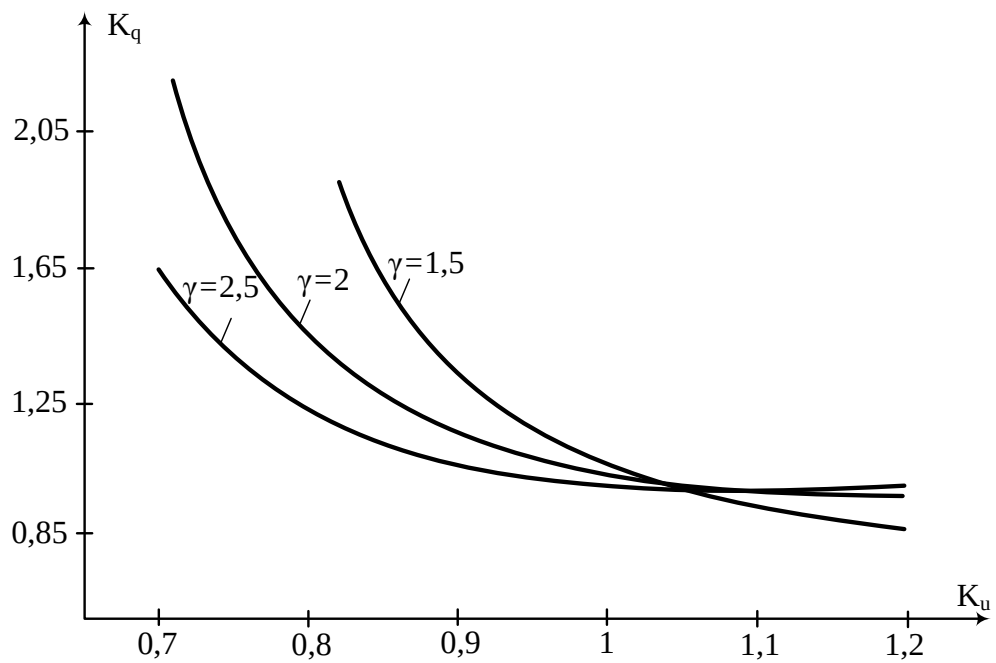
հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման շարժիչի աշխատանքային ռեժիմից՝ աղացի թմբուկում բեռի փոփոխման հաշվառմամբ:

Չնայած այն հանգամանքին, որ սինխրոն շարժիչների համար ասինխրոն ռեժիմում աշխատելը թույլատրելի է, այնուամենայնիվ նրա տևողությունը սահմանափակ է՝ պայմանավորված ստատորի և ռոտորի փաթույթների գերտաքացմամբ:

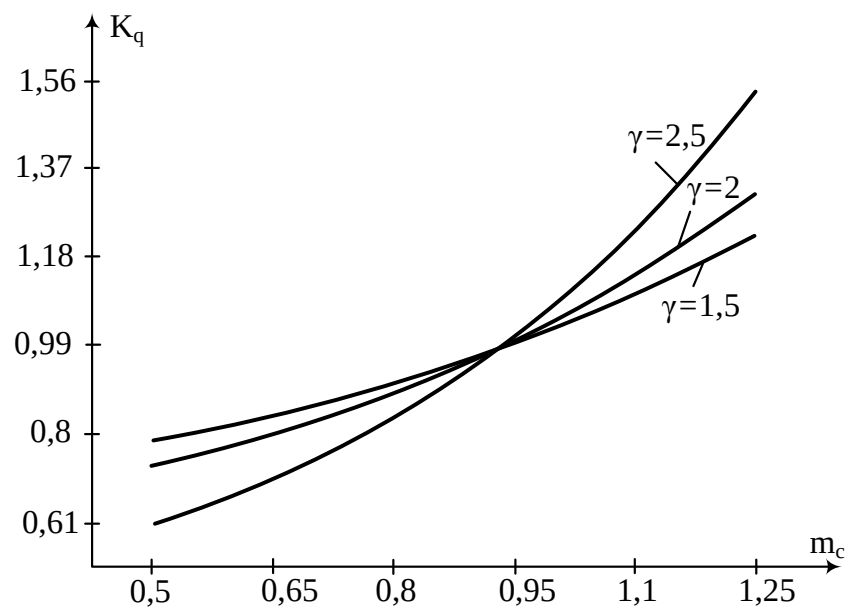
Ասինխրոն ռեժիմում սինխրոն շարժիչը սպառում է ռեակտիվ հզորություն, որը բացասական ազդեցություն է ունենում ցանցի լարման վրա: Նկ. 2.11 -ում և 2.12 -ում ներկայացված են ասինխրոն ռեժիմում սինխրոն շարժիչի կողմից սպառվող ռեակտիվ հզորության կախվածությունները սնման լարումից, բեռի մոմենտից և շարժիչի բեռնավորման կարողությունից [44]: Կախվածությունները բերված են հարաբերական միավորների համար:

Նկ. 2.11 -ից հետևում է, որ սնման լարման փոքրացմանը զուգընթաց սինխրոն ռեժիմում սպառվող ռեակտիվ հզորությունը աճում է և այդ օրինաչափությունը պահպանվում է անկախ շարժիչի բեռնավորման կարողությունից:

Նկ. 2.12 -ից հետևում է, որ բեռի մոմենտի աճին զուգընթաց սինխրոն ռեժիմում սպառվող ռեակտիվ հզորությունն աճում է և այդ օրինաչափությունը պահպանվում է անկախ շարժիչի բեռնավորման կարողությունից [44]:



Նկ. 2.11. Ասինխրոն ռեժիմում աշխատող սինխրոն շարժիչի ռեակտիվ հզորության կախվածությունը սնման լարումից՝ շարժիչի առավելագույն մոմենտի պատիկության տարբեր արժեքների դեպքում



Նկ. 2.12. Ասինխրոն ռեժիմում սինխրոն շարժիչի ռեակտիվ հզորության կախվածությունը բեռի մոմենտից շարժիչի առավելագույն մոմենտի պատիկության տարբեր արժեքների դեպքում

Բերված կախվածությունների վերլուծությունից հետևում է, որ ինչքան երկար է սինխրոն շարժիչն աշխատում ասինխրոն ռեժիմում, այնքան մեծ է էլեկտրաէներգիայի ծախսը և հետևաբար՝ ցանցի լարման վրա նրա բացասական ազդեցությունը:

Շարժիչի ստատորի հոսանքի արժեքը ասինխրոն ռեժիմում գրգռման փաթույթի սնման բացակայության դեպքում տատանվում է սահքի կրկնակի հաճախությամբ $2sf$, իսկ շարժիչի գրգռման դեպքում $(1-s)f$ հաճախությամբ: Այդ դեպքում կարելի է հաստատել, որ, եթե ասինխրոն ռեժիմում աշխատող շարժիչը գրգռված է, ապա ստատորի հոսանքի վրա լրացուցիչ ավելանում է սահքի հաճախությամբ հոսանք: Դրա արդյունքում ստատորի առավելագույն հոսանքը բավականաչափ գերազանցում է շարժիչի անվանական հոսանքին և փոքր սահքերի դեպքում կարող է գերազանցել շարժիչի թողարկման հոսանքին:

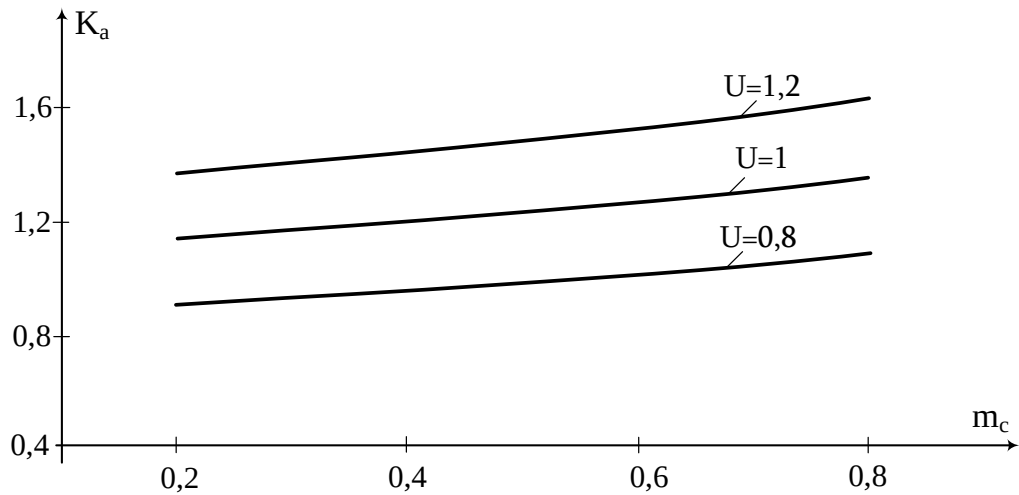
Ասինխրոն ռեժիմում հոսանքի պատիկության միջին արժեքն որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ [13].

$$k_a = U_a \sqrt{m_c^2 + \frac{1}{0,75X_d} + \frac{m_c^2 \left(k_{II} - \frac{1}{X_d} \right)}{\left(k_{II} - \frac{1}{X_d} \right) - k_{II}^2 \cos \varphi_H}}, \quad (2.11)$$

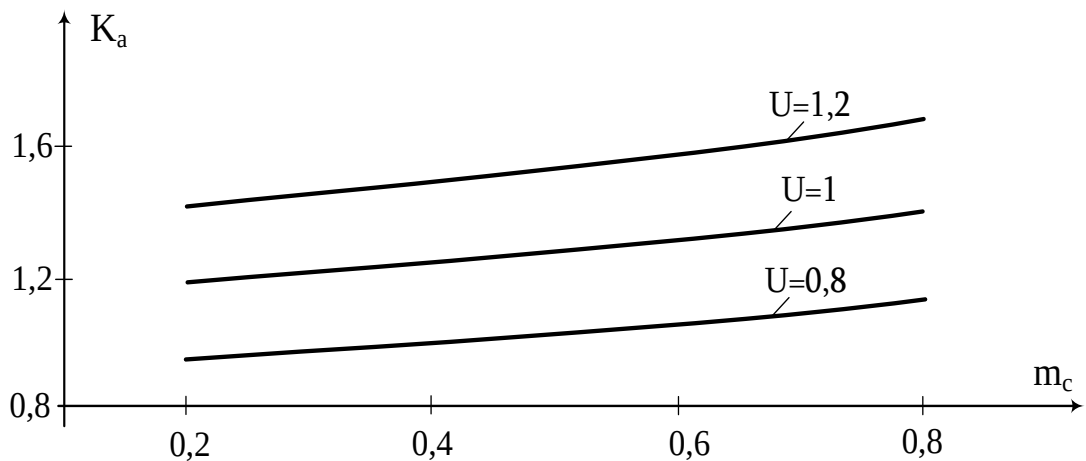
որտեղ U_a -ն շարժիչի սնման լարումն է նրա ասինխրոն աշխատանքի ժամանակ, m_c - ն՝ բեռի մոմենտը հարաբերական միավորներով, k_{II} - ն՝ թողարկման հոսանքի պատիկությունը:

Հետագոտվել է ասինխրոն ռեժիմում հոսանքի պատիկության կախվածությունը բեռի մոմենտից, թողարկման հոսանքի պատիկության տարբեր արժեքների համար (տես նկ. 2.13) [45]:

Հոսանքի պատիկության փոփոխման վերլուծությունը բեռի մոմենտի փոփոխման դեպքում ցույց է տալիս, որ հանքաքարի աղացի ստեղծած բեռի մոմենտի նվազման դեպքում հոսանքի պատիկությունը փոքրանում է: Միաժամանակ հարկ է հաստատել, որ անկախ գրգռման փաթույթի վիճակից և բեռի մոմենտից հոսանքի պատիկությունը մեծ է մեկից [45]:



ա)



բ)

Նկ. 2.13. Սինխրոն շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում հոսանքի պատիկության կախվածությունը բեռի մոմենտից: ա) - $k_{II} = 2$; բ) - $k_{II} = 5$

Սինխրոն շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում աշխատելու ժամանակն որոշվում է նրա ստատորի և ռոտորի տաքացմամբ: Տարբեր հզորությամբ և կառուցվածքով շարժիչների համար այդ ժամանակը տարբեր է և, բացի դրանից, այն կախված է նաև բեռի մեծությունից:

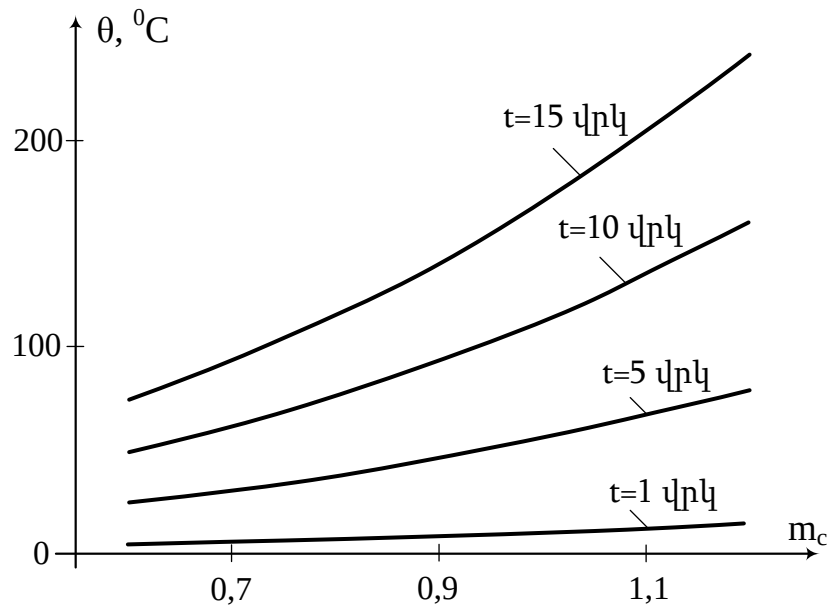
Հանքաքարի մանրացման գործընթացում օգտատործվող աղաց-շարժիչ էլեկտրամեխանիկական համակարգի աշխատանքի ապահովման էլեկտրաբանեցման շարժիչներն ունեն տարբեր հզորություններ ու կառուցվածքներ և նույնիսկ նույն արտադրամասում կարող են օգտագործվել տարբեր չափերի աղացներ: Ասվածից հետևում է ասինխրոն ռեժիմում սինխրոն շարժիչի աշխատանքի թույլատրելի ժամանակի որոշման առանձնահատուկությունը: Հաշվի առնելով ստատորի փաթույթի տաքացմանը ներկայացվող պայմանը, ասինխրոն ռեժիմում սինխրոն շարժիչի աշխատելու տևողությունն ընդունված է որոշել հետևյալ արտահայտության միջոցով [13].

$$t = \frac{175 \Delta \theta_d^o}{j_H^2 (k_a^2 - 1)},$$

որտեղ j_H -ն ստատորի փաթույթի հոսանքի խտության անվանական արժեքն է (ա/մմ^2), $\Delta \theta_d^o$ -ը՝ մեկուսիչի ջերմակայունության դասից կախված ստատորի փաթույթի ջերմաստիճանի թույլատրելի աճի արժեքը:

Նկ. 2.14 -ում ներկայացված է բեռի մոմենտից կախված ստատորի փաթույթի ջերմաստիճանի թույլատրելի կարճատև մեծացման ջերմաստիճանն ասինխրոն ռեժիմում սինխրոն շարժիչի աշխատանքի տարբեր ժամանակահատվածների համար [45]:

Դիմադրող մոմենտի մեծացմանը զուգահեռ ստատորի փաթույթի ջերմաստիճանը մեծանում է և այն առավել սահուն աճում է ասինխրոն ժամանակի տևողության մեծացման դեպքում:



Նկ. 2.14. Ստատորի փաթույթի ջերմաստիճանի կարճատև թույլատրելի բարձրացումը կախված բեռի մոմենտից ասինխրոն ռեժիմում շարժիչի աշխատանքի տարբեր տևողությունների դեպքում

Շարժիչի փաթույթների թուլատրելի տաքացման չափը գնահատելու համար որոշվել է սինխրոն շարժիչի վթարային ռեժիմում ռոտորի կորուստը՝ ΔP .

$$\Delta P = m_c (s^2 - s) \omega_c,$$

(2.12)

որտեղ ω_c -ն շարժիչի պտտման սինխրոն արագությունն է, s -ը՝ սահքի ընթացիկ արժեքը:

Ասինխրոն մոմենտի և աղացի ստեղծած բեռի մոմենտի կապը կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ [35]

$$\frac{M_A \omega_A}{\eta \omega_c (1-s)} = \frac{2M_k s}{s_k},$$

(2.13)

որտեղից ստանում ենք՝

$$s^2 - s = \frac{M_A \omega_A s_k}{2\eta \omega_c M_k},$$

(2.14)

որտեղ M_k -ն՝ կրիտիկական մոմենտն է, որը որոշվում է հետևյալ կերպ.

$$M_k = \frac{M_{\Pi}}{2} \left(\frac{1}{s_k} + s_k \right)$$

Հաշվի առնելով (2.12) -ը և (2.14) -ը ստանում ենք.

$$\Delta P = m_c \frac{M_A \omega_A s_k}{2\eta M_k} :$$

(2.15)

(2.15) արտահայտության միջոցով կարելի է որոշել կորուստները շարժիչի ռոտորում բեռի մոմենտի փոփոխման դեպքում, ինչպես նաև թույլատրելի տաքացման չափը, ընդ որում, հաշվի առնելով, որ ռոտորում հզորության կորստի մեծությունը չպետք է գերազանցի գրգռման անվանական հզորությանը:

Թողարկման փաթույթի տաքացման ջերմաստիճանը ձևավորվում է երկու բաղադրիչի միջոցով՝ θ_A^x և θ_A^H [12]:

Օգտագործվել են հետևյալ նշանակումները. θ_A^x -ը թողարկման փաթույթի միջուկի տաքացման ջերմաստիճանն է, որն առաջանում է աղացի թմբուկի պարապ ընթացքի ռեժիմում աշխատելու արդյունքում, θ_A^H -ը՝ թողարկման փաթույթի միջուկի տաքացման ջերմաստիճանը, որն առաջանում է բեռնավորված ռեժիմում աղացի թմբուկի աշխատելու արդյունքում:

Շարժիչի թափքի t_c^x ժամանակն աղացի թմբուկի պարապ ընթացքի ռեժիմում աշխատանքի դեպքում կլինի.

$$t_A^x = \frac{T_m}{M_{D.ac}} s = \frac{T_m s_k}{2M_k} :$$

(2.16)

Շարժիչի թափքի t_A^H ժամանակը բեռնավորված ռեժիմում աղացի թմբուկի աշխատելու դեպքում կլինի [12].

$$t_A^H = \frac{T_m}{M_{D.ac} - M_A} s ,$$

(2.17)

որտեղ T_m -ը ժամանակի էլեկտրամեխանիկական հաստատունն է (տես աղյուսակ 2.1):

Աղացի ստեղծած դիմադրող M_A մոմենտն որոշվում է հետևյալ կերպ [46].

$$M_A = \frac{\delta L R^2}{2} (\lambda - \sin \lambda),$$

(2.18)

որտեղ δ – ն խյուսի ծավալային խտությունն է, L - ը՝ աղացի թմբուկի երկարությունն է, R - ը՝ աղացի թմբուկի շառավիղն է, λ - ն՝ աղացում գտնվող նյութի լցման աստիճանին համապատասխանող սեկտորի կենտրոնական անկյունը:

Աղյուսակ 2.1

Սինխրոն շարժիչների ժամանակի էլեկտրամեխանիկական հաստատունների
հաշվարկային արժեքները

Շարժիչի տեսակը	Շարժիչի ժամանակի էլեկտրամեխանիկական հաստատունի արժեքները, T_m
ԴС213/24-32 (հզորությունը՝ 300 կՎտ)	2,012
ԴС213/34-32 (հզորությունը՝ 380 կՎտ)	2,38
ԴС213/29-24 (հզորությունը՝ 600 կՎտ)	2,097
ԴС213/44-24 (հզորությունը՝ 960 կՎտ)	1,87
ԴС260/44-36 (հզորությունը՝ 1100 կՎտ)	1,53

(2.16) և (2.17) արտահայտություններից ստանում ենք՝

$$\frac{t_c^H}{t_c^X} = \frac{M_{D.ac}}{M_{D.ac} - M_A},$$

(2.19)

որտեղից, հաշվի առնելով աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտի և շարժիչի ասինխրոն մոմենտի կախվածությունները, ստանում ենք բեռնավորված թմբուկով աղացի թափքի ժամանակի կախվածությունը պարապ ընթացքի ռեժիմով աշխատող աղացի թափքի ժամանակից կախված սահքից, մանրացվող նյութի ծավալային խտությունից, թմբուկի լցման աստիճանից:

$$t_A^H = \frac{t_A^x M_k s}{M_k s - \frac{\delta L R^2}{4} (\lambda - \sin \lambda) s_k} :$$

(2.20)

Միաժամանակ հաշվի առնելով [12].

$$\frac{\theta_A^H}{\theta_A^x} = \frac{M_{D.ac}}{M_{D.ac} - M_A}$$

(2.21)

և (2.19), (2.20) արտահայտությունները ստանում ենք.

$$\theta_A^H = \frac{\theta_A^x M_k s}{M_k s - \frac{\delta L R^2}{4} (\lambda - \sin \lambda) s_k} :$$

(2.22)

Հարկ է նշել, որ ասինխրոն ռեժիմում աշխատելիս սինխրոն շարժիչի փաթույթներում հոսանքի նշանակալի մեծացումը հանգեցնում է ոչ միայն ջերմային ռեժիմների խախտմանը, այլ նաև նպաստում է մեխանիկական ուժի առաջացմանը շարժիչի տարբեր հանգույցներում՝ նպաստելով շարժիչի առանձին տարրերի վնասմանը և ծառայության ժամկետի կրճատմանը: Նշված իրավիճակից խուսափելու համար առանձին տեխնոլոգիական գործընթացներում օգտագործում են էլեկտրաբանեցման շարժիչների ավտոմատ թողարկում, որն ապահովում է ասինխրոն թողարկման ժամանակ շարժիչի պաշտպանությունը: Նմանօրինակ ավտոմատ համակարգի օգտագործումն աղաց-շարժիչ էլեկտրամեխանիկական համակարգում ոչ միշտ է նպատակահարմար, քանի որ այդ ավտոմատների աշխատանքի հիմքում ընկած է սինխրոնին մոտ արագության դեպքում գրգռման փաթույթի միացման սկզբունքը: Մինչդեռ հայտնի է, որ հանքաքարի աղացի բեռը կարող է բաղմաթիվ գործոններով պայմանավորված փոփոխվել, ինչը կարող է հանգեցնել շարժիչի բեռնավորման փոփոխմանը և ասինխրոն ռեժիմում կարճատև աշխատանքին՝ միացված գրգռման փաթույթի դեպքում:

Ասինխրոն ռեժիմում հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի աշխատանքի վերլուծությունը ցույց է տալիս շարժիչի տաքացմամբ պայմանավորված նրա խափանումը կանխելու համար համապատասխան պահանջների կատարման անհրաժեշտությունը, մասնավորապես՝

- տեխնոլոգիական պահանջներին համապատասխան էլեկտրաբանեցման շարժիչի աշխատանքային ռեժիմների կառավարում,

- վթարային ռեժիմներից, համակարգում օգտագործվող էլեկտրական և մեխանիկական տեղակայանքների պաշտպանություն,

- սինխրոն շարժիչի սահուն թողարկում, ռևերս, արգելակում և կանգառ:

Վերջինիս արդյունավետ իրականացման համար առաջարկվում է SSM

մակնիշի սահուն թողարկման տեղակայանքի (ՍԹՏ) օգտագործումը (տես նկ. 2.15) [47]:

Նկ. 2.15 -ում բերված սահուն թողարկման սարքը իր մեջ ներառում է. զատիչ (1), որը հաշվարկված է ամբողջ բեռնվածքի հոսանքի դեպքում շղթայի խզման հնարավորությամբ և որը բլոկավորում է ՍԹՏ -ի դռների բացվելը՝ իր կարճ միացման դեպքում, հողանցման հաղորդաձող և դանակներ (2), որոնք երևում են դիտարկման պատուհանից, այրման ցուցանշումով ուժային ապահովիչներ (3), կառավարման շղթաների ներկառուցված տրանսֆորմատոր և չափիչ տրանսֆորմատորներ (4), մուտքային վակուումային թողարկիչ (կոնտակտոր) (5), ցածրավոլտ խցիկ (6), օպերատորի կառավարման վահանակ՝ ՍԹՏ-ի պաշտպանական ֆունկցիաների և պարամետրերի ծրագրավորման համար (7), կառավարման ազդանշաններով և բարձրացված հուսալիությամբ տիրիստորային մոդուլներ (8), շունտող թողարկիչ (կոնտակտոր), որը հաշվարկված է շարժիչի ցանցին ուղիղ միացման համար (9), հոսանքի արտահոսքի տվիչ (10), լրացուցիչ տպասալ՝ ջերմաստիճանների տվիչների միացման համար (11):

SSM մակնիշի տեղակայանքն ապահովում է բարձրավոլտ սինխրոն էլեկտրաշարժիչի սահուն թողարկումը, չպահանջելով պտտման արագության կարգավորում:

- շարժիչի թողարկման ժամանակ զգալի չափով փոքրացնել փաթույթի վրա էլեկտրադինամիկական ուժերի և մեխանիզմների վրա հարվածային մեխանիկական ազդեցությունները:

Սույն բաժնում ստացված կախվածությունները հնարավորություն են տալիս բեռի մոմենտի փոփոխման դեպքում բացահայտել աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում աշխատելու թույլատրելի տևողությունը, շարժիչի փաթույթների թույլատրելի տաքացման չափը, գնահատել թողարկման փաթույթի միջուկի տաքացման ջերմաստիճանը, ինչպես նաև հիմնավորել սահուն թողարկման սարքավորման տեղակայանքի կիրառման անհրաժեշտությունը:

2.3. Եզրակացություն

1. Դիտարկվել է հանքաքարի բանեցման սինխրոն շարժիչի կարճատև ասինխրոն ռեժիմում աշխատելու հնարավորություններն ու շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում հայտնվելուն նպաստող հիմնական ցուցանիշները:

2. Հիմնավորվել է հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի աշխատանքային ռեժիմների հետազոտման անհրաժեշտությունը սինխրոնիզմից դուրս գալու դեպքում:

3. Մշակվել է ասինխրոն ռեժիմում աշխատող սինխրոն շարժիչի հետազոտման ալգորիթմ, որը թույլ է տալիս տարբեր բանեցման շարժիչների և դիմադրող մոմենտների դեպքում հետազոտել շարժիչի լարման փոփոխությունը և դրանով իսկ որոշել շարժիչի վթարային ռեժիմի համար անթույլատրելի լարման փոփոխման սահմանը:

4. Հիմնավորվել է հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի ստատորի փաթույթի տաքացման հետևանքների բացահայտման և հետազոտման անհրաժեշտությունը՝ տվյալ գործընթացում օգտագործվող շարժիչների միջին վթարայնության, շահագործումից դուրս գալու պայմանների և վթարված տեղամասերի համալիր վերլուծության արդյունքներով:

5. Ստացվել են շարժիչի փաթույթներում ջերմաստիճանի փոփոխման գնահատման կախվածություններ, որոնք հնարավորություն են տալիս բացահայտել շարժիչի ասինխրոն աշխատանքային ռեժիմների թույլատրելի տևողությունը և բեռի մոմենտի տարբեր արժեքների դեպքում կանխել փաթույթների գերտաքացումը:

6. Հիմնավորվել է շարժիչի փաթույթի տաքացումով պայմանավորված դրա անհարկի խափանումներից խուսափելու համար SSM մակնիշի սահուն թողարկման սարքավորման տեղակայանքի կիրառման անհրաժեշտությունը:

3. ԱՂԱՑԻ ԲԱՆԵՑՄԱՆ ՍԻՆԽՐՈՆ ՇԱՐԺԻՉԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ԲԱՐԵԼԱՎՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

3.1. Աղացի բեռի ազդեցության գնահատումը բանեցման շարժիչի աշխատանքային բնութագրերի վրա

Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացը պայմանավորված է բազմաթիվ բարդություններով, որոնք հիմնականում պայմանավորված են տարբեր տեխնոլոգիական և էներգետիկական ցուցանիշներով ու դրանցով պայմանավորված աշխատանքային ռեժիմների փոփոխություններով [48-52]: Վերլուծությունները ցույց են տվել, որ երբեմն նույնիսկ որևէ տեխնոլոգիական ցուցանիշի ոչ զգալի փոփոխությունը կարող է առաջացնել ողջ տեխնոլոգիական գործընթացի խախտում [53-56]: Հայտնի է, որ դիմադրող մոմենտի առավելագույն թույլատրելի արժեքից աճը բերում է աղաց-շարժիչ էլեկտրամեխանիկական համակարգում օգտագործվող էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի կանոնավոր աշխատանքի խախտմանը: Հանքամանրիչ աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտի արժեքը ձևավորվում է այնպիսի տեխնոլոգիական ցուցանիշներով, ինչպիսիք են աղացում հայտնված հանքանյութի ծավալային խտությունը, աղացի թմբուկում նյութի լցման աստիճանը, աղացի թմբուկի պատերը պաշտպանող ֆուտերվածքի մաշվածության աստիճանը և այլն: Թվարկված ցուցանիշների փոփոխությունը բնութագրվում է պատահականությամբ, ուստի դրանք պարբերաբար կարող են ենթարկվել փոփոխման N տոնա հանքաքարի մանրացման ընթացքում: Դրանից հետևում է, որ հանձնարարված քանակի հանքաքարի մանրացման ընթացքում դիմադրող մոմենտը կարող է ենթարկվել փոփոխման, նպաստելով էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների առաջացմանը, որոնք կարող են վթարների առաջացման պատճառ հանդիսանալ:

Սույն բաժնում գնահատվել և հետազոտվել է աղացի բեռի փոփոխման ազդեցությունը բանեցման էլեկտրաշարժիչի աշխատանքային ռեժիմների վրա: Նշված

նպատակի իրականացման համար մշակվել է էլեկտրաշարժիչի ներքին անկյան և ստատորի հոսանքի վրա հանքաքարի աղացի բեռի փոփոխման ազդեցության հետազոտման մոդել և գնահատման ալգորիթմ:

Էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի ռոտորի շարժման հավասարումն ունի հետևյալ տեսքը [57].

$$T_j \frac{d^2\theta}{dt^2} = M_D - M_T:$$

(3.1)

Այստեղ M_D - ն շարժիչի էլեկտրամագնիսական մոմենտն է, M_T - ն սինխրոն շարժիչի բեռնավորման մոմենտն է, որը տվյալ դեպքում պայմանավորված է հանքաքարի աղացի թմբուկի բեռով, θ - ն ցանցի լարման վեկտորի և ստատորի փաթույթում ինդուկտված էլշու-ի վեկտորի կազմած ներքին անկյունն է, T_j - ն ռոտորի իներցիայի հաստատունն է, որը որոշվում է հետևյալ հավասարման միջոցով [12].

$$T_j = H_j \omega_s = \frac{GD^2 \omega^2}{365000 P_H},$$

(3.2)

որտեղ GD^2 - ն ագրեգատի թափքի մոմենտն է, P_H - ը շարժիչի անվանական հզորությունն է, կՎտ, ω - ն՝ շարժիչի պտտման անկյունային արագությունը, ռադ/վրկ:

Աղաց-շարժիչ էլեկտրամեխանիկական համակարգի աշխատանքը ապահովող բանեցման սինխրոն շարժիչի բեռի մոմենտը, որը տվյալ դեպքում պայմանավորված է պատահական բնույթ ունեցող աղացի բեռով, ներկայացվել է M_{T0} հաստատուն բաղադրիչի և k ($k=1,2,\dots$) կարգի հարմոնիկի միջոցով [58].

$$M_T = M_{T0} + \sum_k M_{mk} \sin(\omega_k t + \alpha_k),$$

(3.3)

որտեղ M_{mk}, ω_k - ն համապատասխանաբար դիմադրող մոմենտի k -րդ հարմոնիկի ամպլիտուդան և անկյունային հաճախությունն են:

Բեռի մոմենտի փոփոխման հետևանքով շարժիչի ռոտորի մոմենտը կտատանվի սինխրոն հաճախությամբ պտտվող կոորդինատային համակարգի

նկատմամբ: Հետևաբար նմանօրինակ տատանման ազդեցությանը կենթարկվեն նաև θ անկյունը և բանեցման շարժիչի էլեկտրամագնիսական մոմենտը: Պարբերաբար փոփոխվող $\Delta\theta$ անկյունը ներկայացվել է հետևյալ կերպ [57]՝

$$\Delta\theta = \sum_k \Delta\theta_k = \sum_k \Delta\theta_{mk} \cos(\omega_k t + \beta_k): \quad (3.4)$$

Էլեկտրաշարժիչի էլեկտրամագնիսական մոմենտի փոփոխությունը՝ ΔM_E , կլինի՝

$$\Delta M_D = \Delta\psi_q \Delta i_d + \Delta\psi_d \Delta i_q: \quad (3.5)$$

Հաշվի առնելով, որ $\Delta\psi_q, \Delta\psi_d$ հոսքակցումները և $\Delta i_d, \Delta i_q$ հոսանքներն արտահայտվում են Ֆուրյեի շարքով, հետևաբար ΔM_D -ն կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ.

$$\Delta M_D = \sum_k \Delta M_{Dk}: \quad (3.6)$$

Նկատի ունենալով (3.2), (3.3) և (3.4) հավասարումները (3.1) կրնդունի հետևյալ տեսքը [57]՝

$$T_j \frac{d^2}{dt^2} \sum_k \Delta\theta_k = \sum_k \Delta M_{Dk} - \left(M_{T0} + \sum_k M_{mk} \cos(\omega_k t + \alpha_k) \right): \quad (3.7)$$

Բացահայտ բևեռներով սինխրոն շարժիչի վեկտորական դիագրամից շարժիչի θ ներքին անկյունը որոշվում է հետևյալ կերպ [12].

$$\theta = \arctg \left(\frac{x_q I \cos \varphi}{U + x_q I \sin \varphi} \right), \quad (3.8)$$

որտեղ x_q -ն ստատորի փաթույթի ինդուկտիվ դիմադրությունն է լայնական առանցքով, U -ն ստատորի փաթույթին մատուցվող լարումն է, $\cos \varphi$ - ն՝ հզորության գործակիցը, I - ն՝ ստատորի հոսանքը:

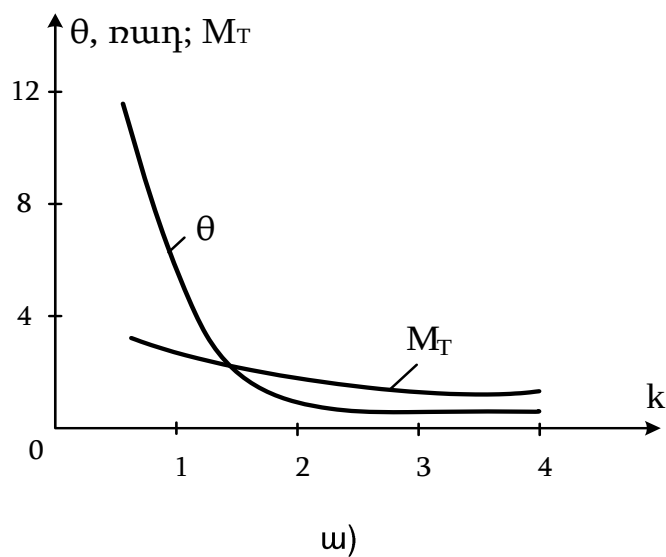
Ձևափոխելով (3.8)-ը, հաշվի առնելով (3.4)-ը ստանում ենք՝

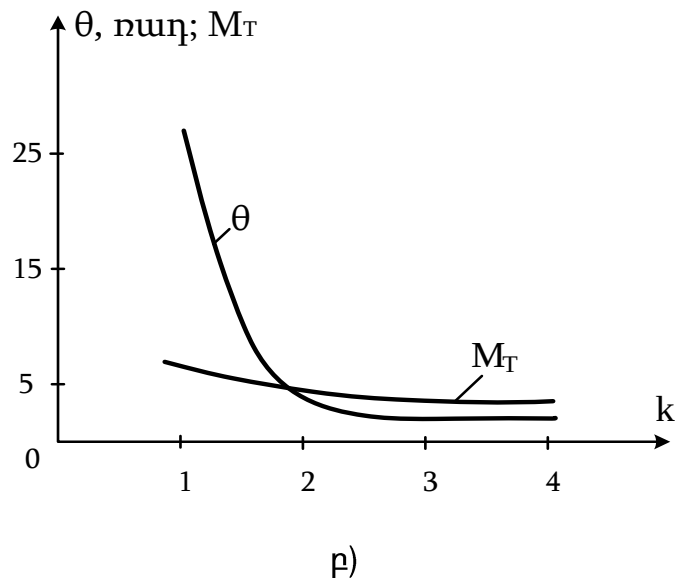
$$\operatorname{tg}\left(\sum_k \Delta\theta_{mk} \cos(\omega_k t + \beta_k)\right) (U + x_q \Delta I \sin \varphi) = x_q \Delta I \cos \varphi : \quad (3.9)$$

(3.9)-ից ստանում ենք ստատորի հոսանքի փոփոխությունը բնութագրող արտահայտությունը՝

$$\Delta I = \frac{U \operatorname{tg}\left(\sum_k \Delta\theta_{mk} \cos(\omega_k t + \beta_k)\right)}{\left(x_q \cos \varphi - x_q \sin \varphi \operatorname{tg}\left(\sum_k \Delta\theta_{mk} \cos(\omega_k t + \beta_k)\right)\right)} :$$

Ստացված կախվածությունների միջոցով ուսումնասիրվել է հանքամանրիչ աղացի կողմից ստեղծած դիմադրող մոմենտի փոփոխությամբ պայմանավորված շարժիչի աշխատանքը բնութագրող պարամետրերի փոփոխությունը:



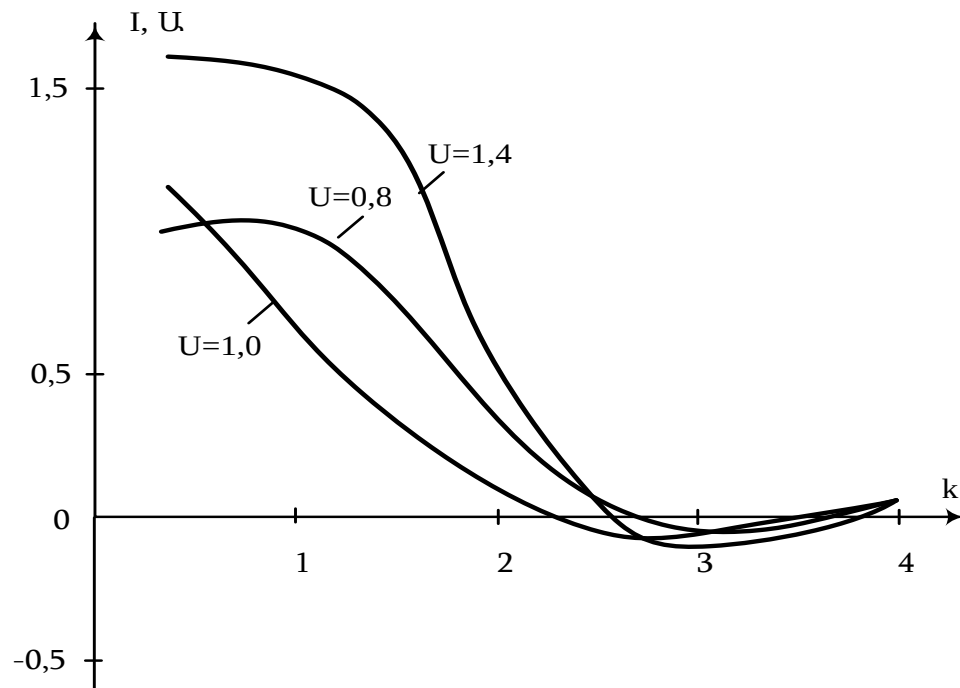


Նկ. 3.1. θ անկյան և դիմադրող մոմենտի փոփոխությունը չորս հարմոնիկների դեպքում
 ա) $T_j = 2300$ ռադ, բ) $T_j = 1680$ ռադ

Նկ. 3.1-ում ներկայացած է ռոտորի իներցիայի հաստատունի տարբեր արժեքների դեպքում θ անկյան և դիմադրող մոմենտի փոփոխությունը 4 հարմոնիկի համար:

Նկ. 3.2-ում ներկայացված է ստատորի հոսանքի փոփոխությունն անվանական, անվանականից բարձր և անվանականից ցածր սնման լարումների (հարաբերական միավորներով) դեպքում՝ չորս հարմոնիկների համար:

Ստացված կախվածությունների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ բեռի մոմենտի բարձր հարմոնիկներում θ անկյունը և ստատորի հոսանքն ենթարկվում են աննշան տատանումների (տես նկ. 3.1, և 3.2): Դիտարկվող օրինակում իներցիայի հաստատունի փոքրացումը բերում է θ անկյան անթույլատրելի տատանումների դիմադրող մոմենտի առաջին հարմոնիկում: Ցանցի լարման բարձրացումն անվանականից բերում է ստատորի հոսանքի նշանակալի տատանումների ի հաշիվ առաջին հարմոնիկի (նկ. 3.2):



Նկ. 3.2.Ստատորի հոսանքի փոփոխությունը սնման լարման տարբեր արժեքների դեպքում չորս հարմոնիկների համար

Ստորև ներկայացվում է $\Delta\theta_{mk}$ անկյան փոփոխման որոշման ալգորիթմը տարբեր հարմոնիկների համար:

1. Հավաքագրվում են դիտարկվող էլեկտրաբանեցման շարժիչի լրիվ հզորության, $\cos\varphi$ -ի, ստատորի փաթույթին մատուցվող լարման, պտտման անկյունային արագության անվանական արժեքները, ինչպես նաև ըստ երկայնական առանցքի ստատորի ֆազի ինդուկտիվ դիմադրության x_d , և ըստ լայնական առանցքի ստատորի ֆազի ինդուկտիվ դիմադրության x_q արժեքները:

2. Որոշվում է դիմադրող մոմենտի ամպլիտուդային արժեքները $\nu = 1, 2, 3, 4$ հարմոնիկների համար:

3. Որոշվում է սինխրոնացնող մոմենտի գործակիցները $\nu = 1, 2, 3, 4$ հարմոնիկների համար:

4. Որոշվում է դեմաֆերային մոմենտի գործակիցը:

5. Որոշվում է սինխրոն շարժիչի սեփական տատանումների հաճախությունը՝ $h, \nu = 1, 2, 3, 4$ հարմոնիկների համար:

6. Որոշվում է տատանումների ուժեղացման գործակիցը՝ k_y , որը բնութագրում է դինամիկ երևույթների հետևանքով θ անկյան մեծացումը:

7. Որոշվում է $\Delta\theta_{mk}$ անկյան արժեքները $\nu = 1, 2, 3, 4$ հարմոնիկների համար:

$\Delta\theta_{mk}$ -ն որոշելով կարելի է գնահատել ստատորի փաթույթի հոսանքի փոփոխությունը:

Աղյուսակ 3.1-ում ներկայացվել է $\Delta\theta_{mk}$ -ի և շարժիչի սեփական տատանումների հաճախության՝ h , տատանման ուժեղացման գործակցի՝ k_k հաշվարկային տվյալները ռոտորի իներցիայի հաստատունի տարբեր արժեքների համար:

Աղյուսակ 3.1

$\Delta\theta_{mk}$ -ի և շարժիչի սեփական տատանումների հաճախության հաշվարկային տվյալներ

ν	M_s	M_D	$H_j=3000$ ռադ			$H_j=2300$ ռադ			$H_j=1600$ ռադ		
			h	k_y	$\Delta\theta_{vm}$	h	k_y	$\Delta\theta_{vm}$	h	k_y	$\Delta\theta_{vm}$
1	1,917	4,3	0,025 3	0,587	12,242	0,028 9	0,92 1	7,209	0,034 6	1,941	22,957
2	2,169	2,7	0,026 9	0,564 5	6,422	0,030 7	0,88 3	0,444	0,036 8	1,915	22,65 0
3	2,384	6,21	0,028 2	0,537	5,949	0,032 2	0,87	9,58 0	0,038 6	1,581	12,466
4	2,733	9,5 2	0,030 2	0,501	4,5501	0,034 5	0,81	7,262	0,0413	1,047	11,639

Ստացված արդյունքներից հետևում է, որ θ անկյունը զգալի փոփոխություն է կրում առաջին հարմոնիկի ժամանակ, մինչդեռ սկսած երկրորդ հարմոնիկից անկյան փոփոխությունն այնպիսին է, որ տատանումների ուժեղացման գործակիցը փոքր է մեկից: Իներցիայի հաստատունի փոքրացումը, համակարգի տատանողական պրոցեսի վրա որակական ազդեցություն չի թողնում: $H_j=1600$ ռադ դեպքում տատանումների ուժեղացման գործակիցն առաջին հարմոնիկում կրկնապատկվում է: Ստացված արդյունքները հիմք են տալիս հիմնավորել աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի հաճախականային բնութագրերի ուսումնասիրության անհրաժեշտությունը:

3.2. Աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի հաճախային բնութագրերի ուսումնասիրությունը և նրա աշխատանքային ռեժիմների բարելավման կարգավորիչի մշակումը

Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացներում օգտագործվող էլեկտրամեխանիկական համակարգերի արդյունավետ աշխատանքի կազմակերպումն իրականացվում է տարբեր կառավարման համակարգերի միջոցով, որոնց վերաբերյալ առկա են մեծաթիվ գիտական աշխատություններ [59-65]: Ակնհայտ է, որ կառավարման համակարգի լիարժեք աշխատանքը պահանջում է լրացուցիչ և ճշգրտված տեղեկատվություն, ինչը հատկապես կարևորվում է հարվածային և պատահականորեն փոփոխվող բեռով էլեկտրամեխանիկական համակարգերի աշխատանքի արդյունավետության բարձրացման համար:

Սինխրոն շարժիչի M_D էլեկտրամագնիսական մոմենտը կարելի է ներկայացնել որպես $M_{D.ac}$ ասինխրոն և $M_{D.c}$ սինխրոն մոմենտների գումար:

Ռոտորի շարժման (3.1) դիֆերենցիալ հավասարման մեջ ներառելով բեռի փոփոխությունը բնութագրող $\frac{dM_T}{dt}$ բաղադրիչը, (3.1) արտահայտությունն ասինխրոն ռեժիմով աշխատող սինխրոն էլեկտրաբանեցման շարժիչի համար կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$T_j \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{2M_k}{s_k} \frac{d\theta}{dt} = M_T + \frac{dM_T}{dt},$$

(3.10)

հաշվի առնելով հետևյալ կախվածությունը՝

$$M_{D.as} = -\frac{2M_k}{s_k} \frac{d\theta}{dt},$$

(3.11)

սինխրոն ռեժիմում աշխատող սինխրոն էլեկտրաբանեցման շարժիչի համար (3.10)-ը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$T_j \frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{3UE_f}{\omega x_d} \frac{d\theta}{dt} = M_T + \frac{dM_T}{dt} :$$

(3.12)

(3.10) հավասարումը ներկայացնելով Լապլասի ձևափոխությունների տեսքով ստանում ենք [58].

$$T_1 s^2 \theta(s) + T_2 s \theta(s) = M_T(s) + s M_T(s),$$

(3.13)

որտեղ $T_1 = -T_j$, $T_2 = \frac{2M_k}{s_k} :$

(3.12) հավասարումը ներկայացնելով Լապլասի ձևափոխությունների տեսքով ստանում ենք.

$$T_1 s^2 \theta(s) + T_3 s \theta(s) = M_T(s) + s M_T(s),$$

(3.14)

որտեղ $T_3 = \frac{3UE_f}{\omega x_d} :$

(3.13)-ից ստանում ենք սինխրոն շարժիչի բեռնավորման մոմենտի և θ ներքին անկյան կապը բնութագրող փոխանցման ֆունկցիան $M_D = M_{D.ac}$ դեպքում [58].

$$W_a(s) = \frac{1+s}{T_1 s^2 + T_2 s} :$$

(3.15)

(3.14)-ից ստանում ենք սինխրոն շարժիչի բեռնավորման մոմենտի և θ ներքին անկյան կապը բնութագրող փոխանցման ֆունկցիան $M_D = M_{D.c}$ դեպքում.

$$W_c(s) = \frac{1+s}{T_1 s^2 + T_3 s} :$$

(3.16)

Ստանալով փոփոխվող բեռով, ասինխրոն և սինխրոն ռեժիմներում աշխատող էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչների փոխանցման ֆունկցիաները, դիտարկվել են հաճախային բնութագրերը, դրանց միջոցով գնահատվել են համակարգի կայունությանն առնչվող հարցերը և նախագծվել կարգավորիչ [66-69]: Վերոնշյալն

իրականացվել է MATLAB ծրագրային փաթեթի Simulink միջավայրում Նայքվիստի չափանիշի օգտագործմամբ [70,71]:

Կարգավորիչի մշակման համար հաշվի է առնվել ներքոնշյալ հիմնական պայմանները [67,68].

- ճշտություն – հաստատված ռեժիմի ժամանակ համակարգը պետք է ապահովի սահմանված մեծությունը համակարգի ելքին, իսկ սխալանքը չպետք է գերազանցի թույլատրելի արժեքը,

- կայունություն – համակարգը պետք է մնա կայուն բոլոր ռեժիմներում,

- անցումային գործընթացի որակը – սահմանված մեծության փոփոխության դեպքում համակարգը պետք է անցնի համապատասխան վիճակ հնարավորինս արագ և սահուն:

Դիտարկվող օրինակի համար ընդունվել են՝

- առավելագույն աճման ժամանակը, որը դիտարկվում է արձագանքի 10% – 90% հատվածում՝ 45 վրկ ասինխրոն և 0,3 վրկ սինխրոն ռեժիմի համար,
- առավելագույն գերկարգավորումը՝ 20% ,
- կարգավորման առավելագույն ժամանակը՝ 100 վրկ ասինխրոն և 2 վրկ՝ սինխրոն ռեժիմի համար

Դիտարկումները կատարվել են կոնկրետ օրինակի համար, մասնավորապես, օգտագործվել է ДС213/29-24 մակնիշի սինխրոն շարժիչը, որի տեխնիկական տվյալները բերված են աղյուսակ 3.2-ում:

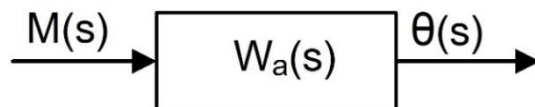
Աղյուսակ 3.2

Աինխրոն էլեկտրաշարժիչի տեխնիկական տվյալները

Շարժիչի տեսակը	ДС213/29-24	Գրգռիչ
Անվանական հզորություն, կՎտ	600	Հզորություն՝ 20 կՎտ,
Անվանական լարում, Վ	6000/3000	Լարում՝ 105 Վ
Անվանական հոսանք, Ա	70/140	Պտտման արագություն՝ 1470 պտ/րոպե
Հզորության գործակից	0,9	

ՕԳԳ-ն անվանական բեռի դեպքում	0,92	
Պտտման արագություն, պտ/րոպե	250	
Ռոտորի թափքի մոմենտ, տմ ²	7	

Հաճախային բնութագրերի և դրանով պայմանավորված համակարգի կայունության գնահատումը, երբ բանեցման շարժիչն աշխատում է ասինխրոն ռեժիմում [58]:



Նկ. 3.3. Բաց համակարգի կառուցվածքային սխեման, երբ բանեցման շարժիչն աշխատում է ասինխրոն ռեժիմում

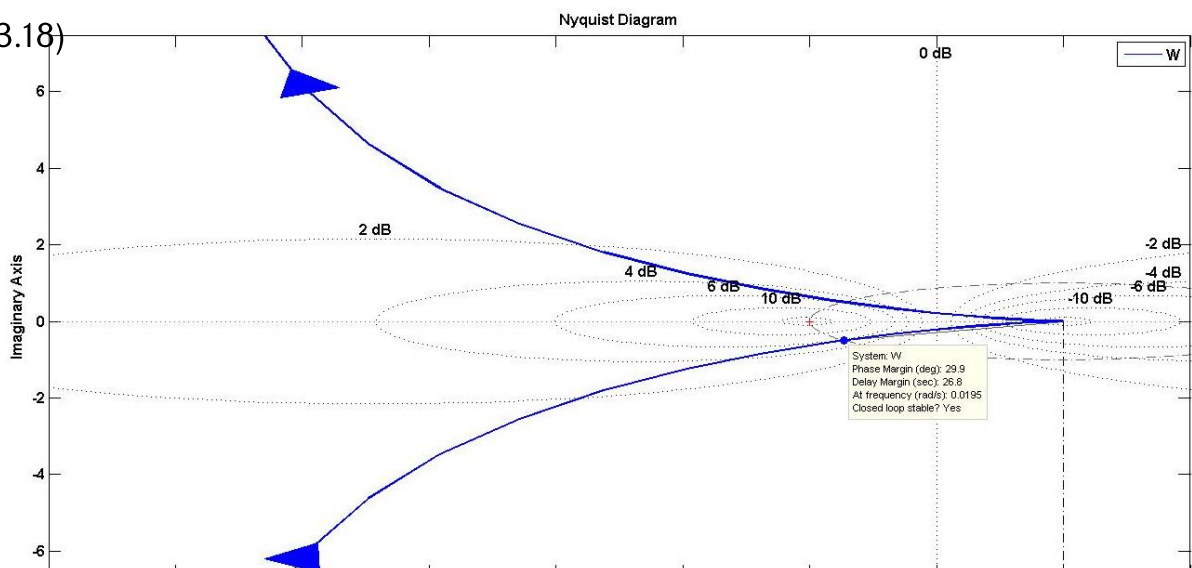
Դիտարկվող դեպքի համար ($T_1 = 2300, T_2 = 24,7$) փոխանցման ֆունկցիան ընդունում է հետևյալ տեսքը՝

$$W_a(s) = \frac{s+1}{2300s^2 + 24,7s} : \quad (3.17)$$

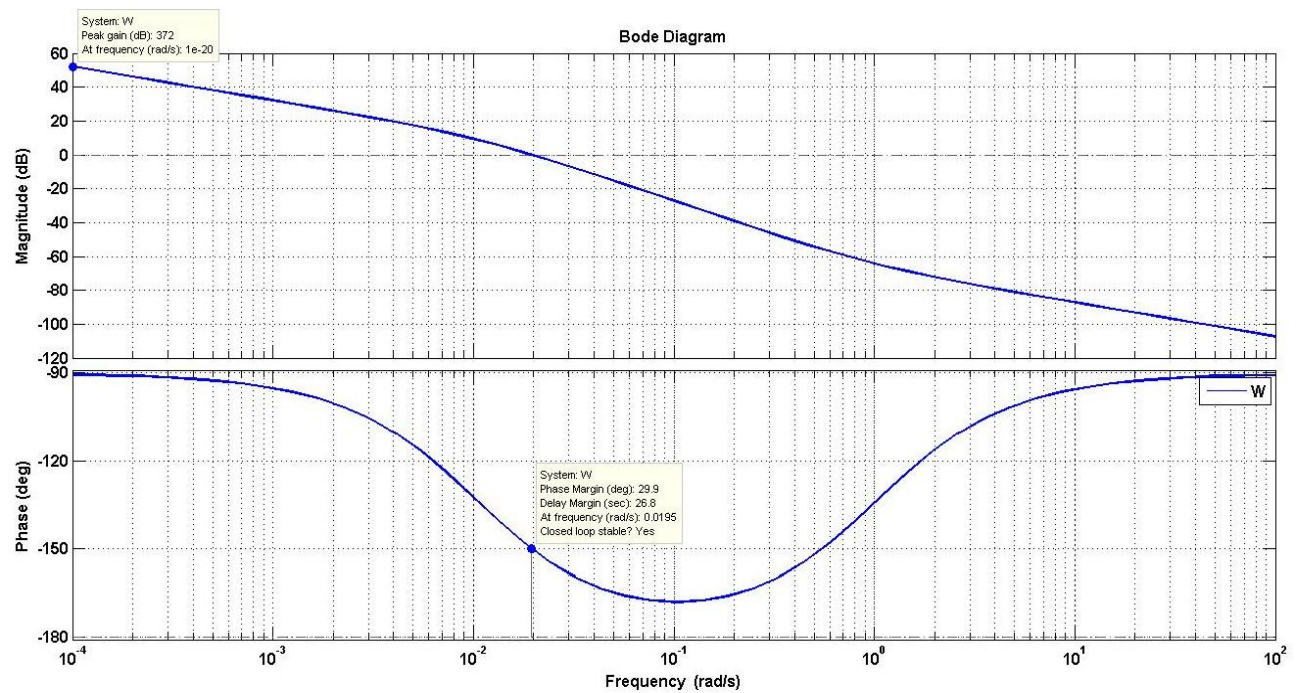
MATLAB ծրագրային փաթեթի Simulink միջավայրում ստացվել են Նկ.3.3-ում բերված բաց համակարգի համար Նայքվիստի կորը և փոխանցման ֆունկցիայի հաճախային բնութագրերը (տես նկ.3.4, 3.5):

Նկ. 3.3 -ում ներկայացված համակարգը փակելով (տես նկ. 3.6.) (3.17) փոխանցման ֆունկցիան ընդունել է հետևյալ տեսքը

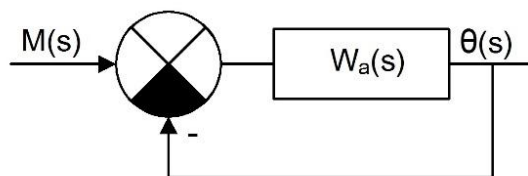
$$W_a(s) = \frac{s+1}{2300s^2 + 25,7s + 1} : \quad (3.18)$$



Նկ. 3.4. Նայքվիստի կորն էլեկտրաբանեցման շարժիչի ասինխրոն ռեժիմում



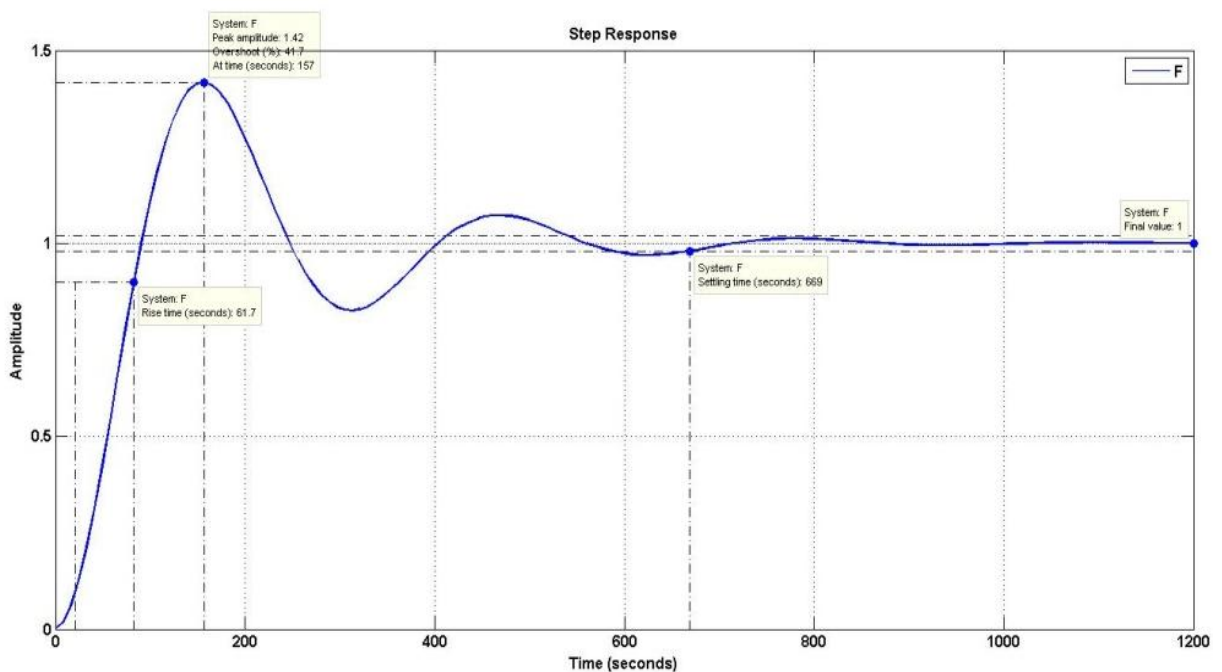
Նկ. 3.5. $W_a(s)$ փոխանցման ֆունկցիայի ամպլիտուդահաճախային և ֆազահաճախային բնութագրերը



Նկ. 3.6. Փակ համակարգի կառուցվածքային սխեման, երբ բանեցման շարժիչն աշխատում է ասինխրոն ռեժիմում

Դիտարկվել է փակ համակարգում (տես նկ. 3.6) անցողիկ պրոցեսը: Դիտարկման արդյունքում ստացված կորը բերված է նկ. 3.7-ում:

Նկ. 3.7-ից հետևում է, որ աճման ժամանակը՝ $t_{\text{աճ}} = 61,7$ վ, գերկարգավորումը՝ $\chi = 41,7\%$, կայունացման ժամանակը՝ $t_{\text{կ}} = 669$ վ: Այդ պարամետրերի դեպքում անհրաժեշտություն է առաջանում նախագծել կարգավորիչ: Մասնավորապես, նախագծվել է համեմատական-ինտեգրող-դիֆերենցող (ՀԻԴ) կարգավորիչ [72-74]:



Նկ. 3.7. Անցումային պրոցեսի կորը միավոր թռիչքաձև ազդանշանի դեպքում, երբ էլեկտրաբանեցման շարժիչն աշխատում է ասինխրոն ռեժիմում

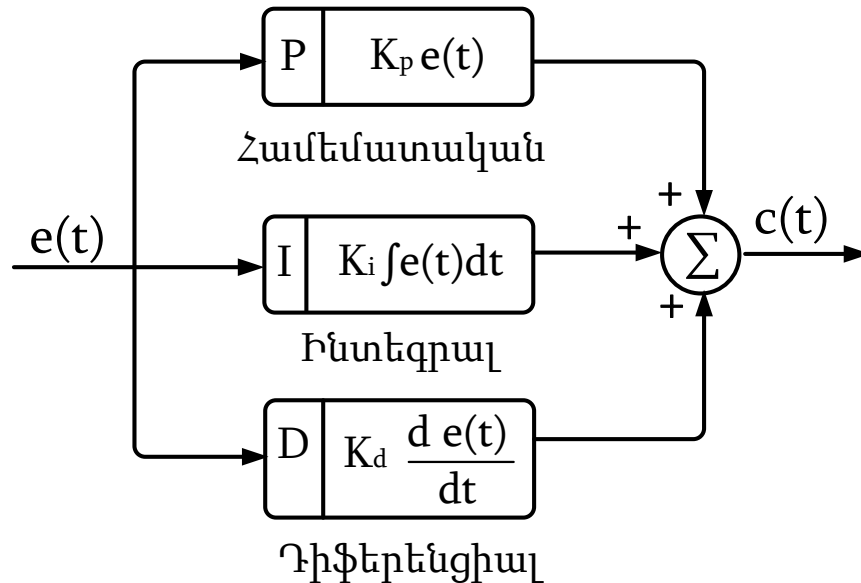
ՀԻԴ կարգավորիչի կառուցվածքային սխեման ներկայացված է նկ. 3.8-ում: ՀԻԴ կարգավորիչի բաղադրիչների զուգահեռ միացման դեպքում ելքային հզորությունը հավասար է համեմատական, ինտեգրող և դիֆերենցող բաղադրիչների գումարին: Համեմատական բաղադրիչի մեծացումը հանգեցնում է համակարգի տատանողականության մեծացման: Որքան փոքր է ինտեգրման ժամանակի հաստատումը, առաջադրված ուժեղացման գործակցի դեպքում, այնքան արագ է կայունանում համակարգը: Ինտեգրող բաղադրիչի մեծացումը բերում է գերկարգավորման արժեքի մեծացման: Դիֆերենցող բաղադրիչի ներմուծման

արդյունքում ճնշվում է առաջացած գերկարգավորումը: ՀԻԴ կարգավորիչի առավելությունը՝ արագ հակազդումն է վրդովող ազդեցության վրա:

ՀԻԴ կարգավորիչի փոխանցման ֆունկցիան կլինի [68,69]՝

$$C(s) = K_p + Ki \frac{1}{s} + K_d s,$$

որտեղ K_p - ն ուժեղացման համեմատական գործակիցն է, Ki - ն ուժեղացման ինտեգրալային գործակիցն է, K_d - ն՝ ուժեղացման դիֆերենցիալ գործակիցը:

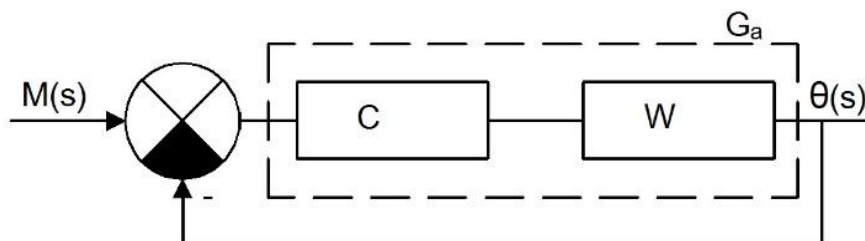


Նկ.3.8. ՀԻԴ կարգավորիչի կառուցվածքային սխեման

Դիտարկվող դեպքի համար ստացվել են՝ $K_p = 1,77$; $Ki = 0,00104$; $K_d = 65,9$:

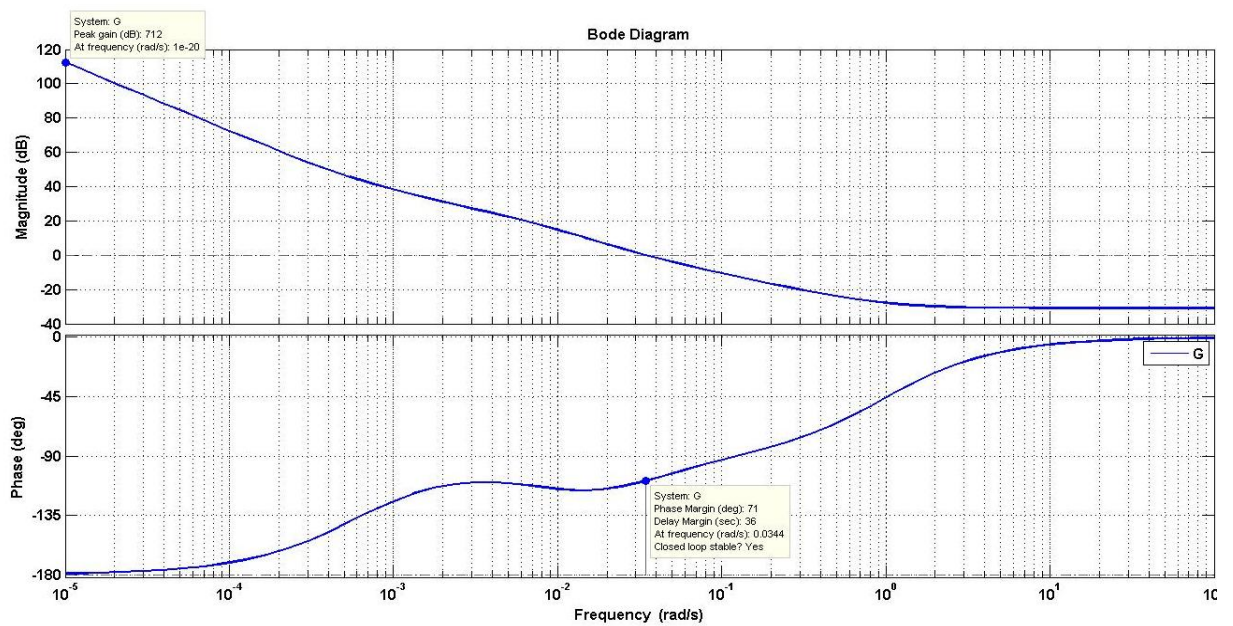
ՀԻԴ կարգավորիչի առկայության դեպքում G_a բաց համակարգի փոխանցման ֆունկցիան (տես նկ. 3.9.) կլինի՝

$$G_a = \frac{65,88s^3 + 67,65s^2 + 1,767s + 0,00104}{2300s^3 + 24,7s^2}:$$

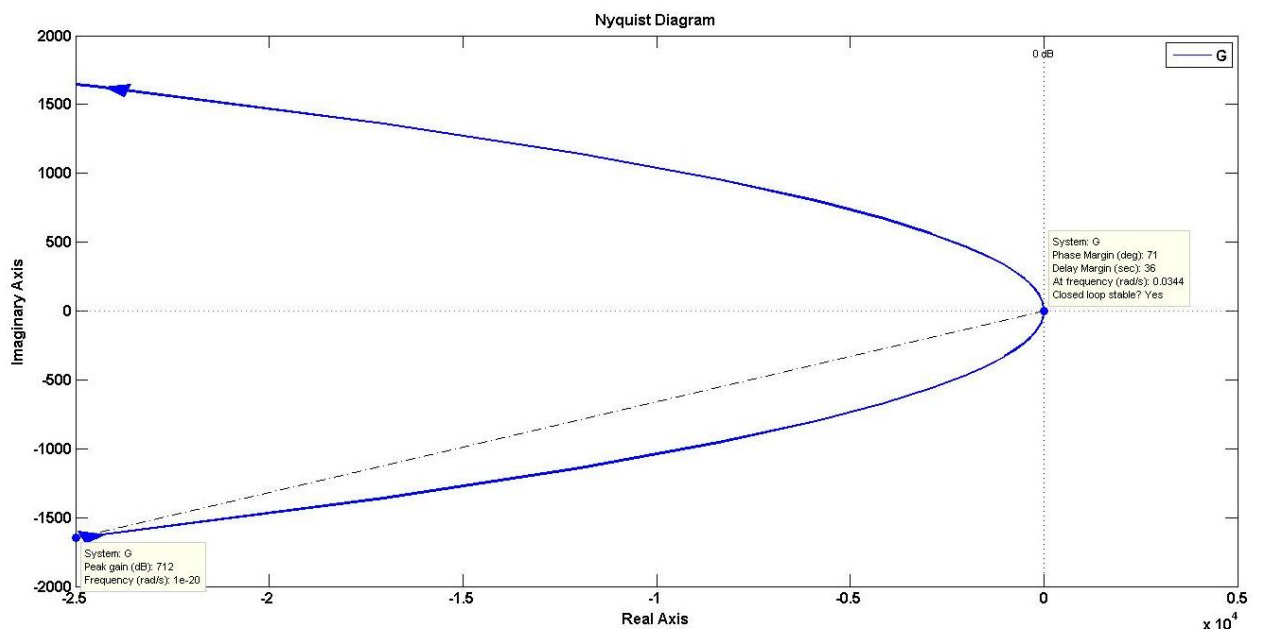


Նկ. 3.9. ՀԻԴ կարգավորիչով փակ համակարգի կառուցվածքային սխեման, երբ բանեցման շարժիչը աշխատում է ասինխրոն ռեժիմում

Ուսումնասիրվել է Ga բաց համակարգի հաճախային բնութագրերը և Նայքվիստի կորը (նկ. 3.10, 3.11):



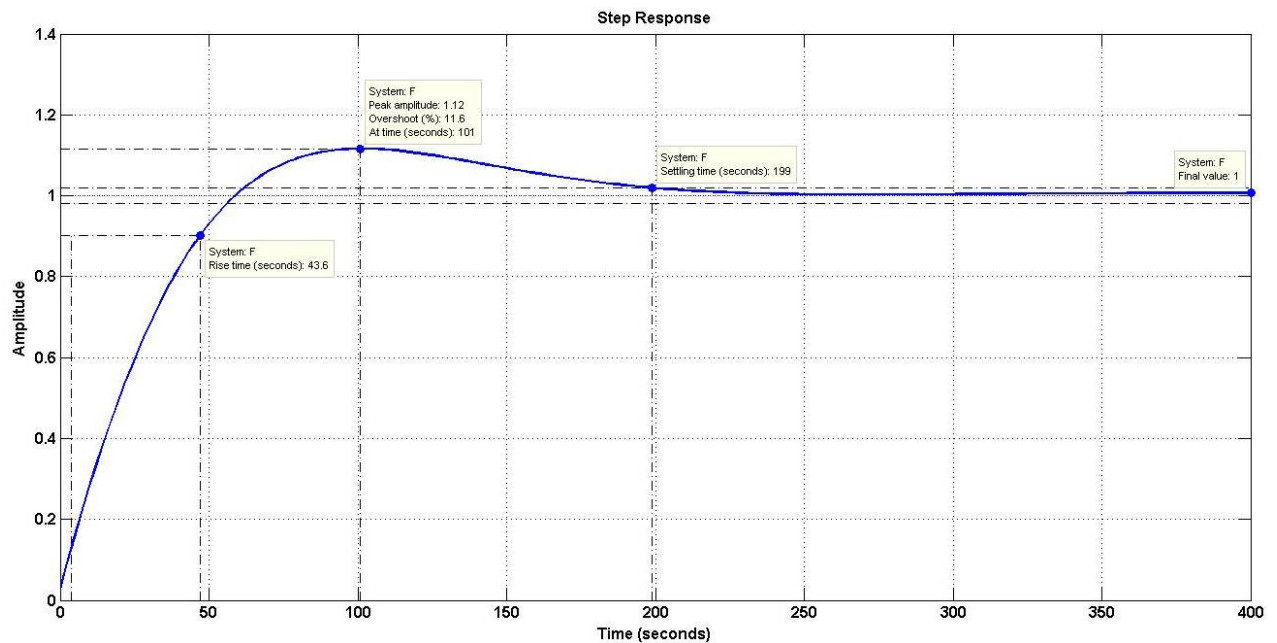
Նկ. 3.10. Ga բաց համակարգի ամպլիտուդահաճախային և ֆազահաճախային բնութագրերը



Նկ. 3.11. Ga բաց համակարգի Նայքվիստի կորը, երբ էլեկտրաբանեցման շարժիչն աշխատում է ասինխրոն ռեժիմում

ՀԻԴ կարգավորիչի ներմուծման արդյունքում փակ համակարգի փոխանցման ֆունկցիան կլինի՝

$$F = \frac{65,88s^3 + 67,65s^2 + 1,767s + 0,00104}{2366s^3 + 92,35s^2 + 1,767s + 0,00104} : \quad (3.19)$$



Նկ. 3.12. ՀԻԴ կարգավորիչի ներմուծման դեպքում համակարգի անցումային պրոցեսի կորը

ՀԻԴ կարգավորիչի ներմուծման արդյունքում համակարգը բարելավվում է: Նկ. 3.12-ում ներկայացված անցումային պրոցեսի գրաֆիկից երևում է, որ նվազում են աճման ժամանակը՝ $t_{\text{աճ}}=43,6$ վ, գերկարգավորումը՝ $\chi=11,6\%$ և կայունացման ժամանակը՝ $t_{\text{կ}}=199$ վ:

Հաճախային բնութագրերի և դրանով պայմանավորված համակարգի կայունության գնահատումը, երբ էլեկտրաբանեցման շարժիչը աշխատում է սինխրոն ռեժիմում [58]:

Սինխրոն ռեժիմում աշխատող համակարգի հաճախային բնութագրերը և համակարգի կայունության գնահատումն իրականացվել է շարժիչի ցանցից սնման լարման 3 տարբեր արժեքների համար՝

- անվանական սնման լարման դեպքում ($T_3=16844$),
- անվանականից մեծ սնման լարման դեպքում ($T_3=28299$),
- անվանականից փոքր սնման լարման դեպքում ($T_3=10780$):

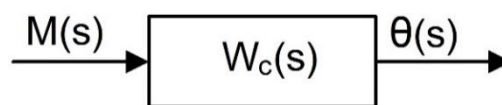
Դիտարկվող դեպքերի համար փոխանցման ֆունկցիաներն ընդունում են ներքոնշյալ տեսքերը՝

- անվանական սնման լարման դեպքում՝ $W_c(s) = \frac{s+1}{2300s^2 + 16844s}$,

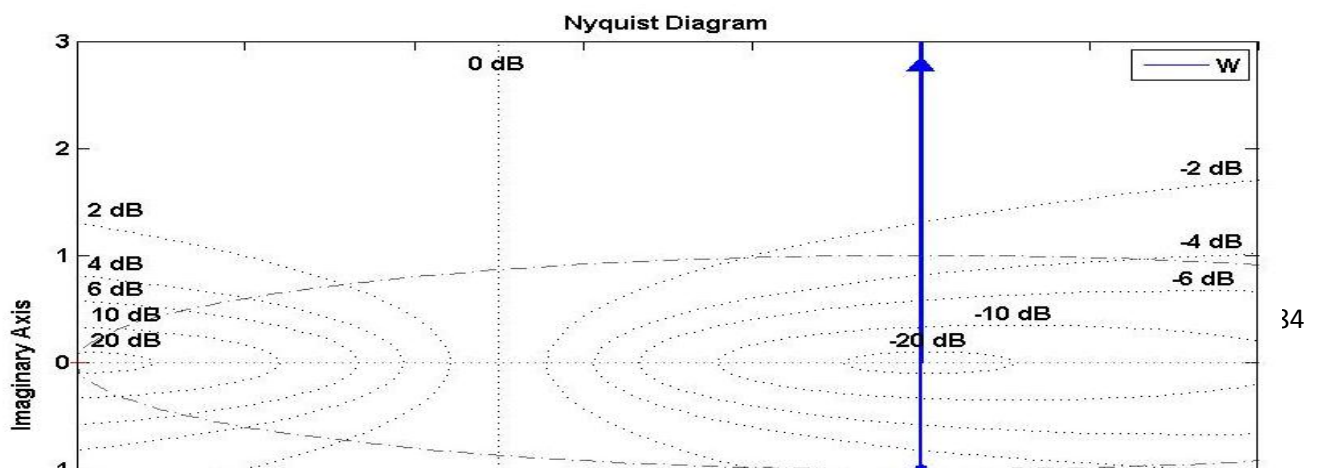
- անվանականից մեծ սնման լարման դեպքում՝ $W_c(s) = \frac{s+1}{2300s^2 + 28299s}$,

- անվանականից փոքր սնման լարման դեպքում՝ $W_c(s) = \frac{s+1}{2300s^2 + 10780s}$:

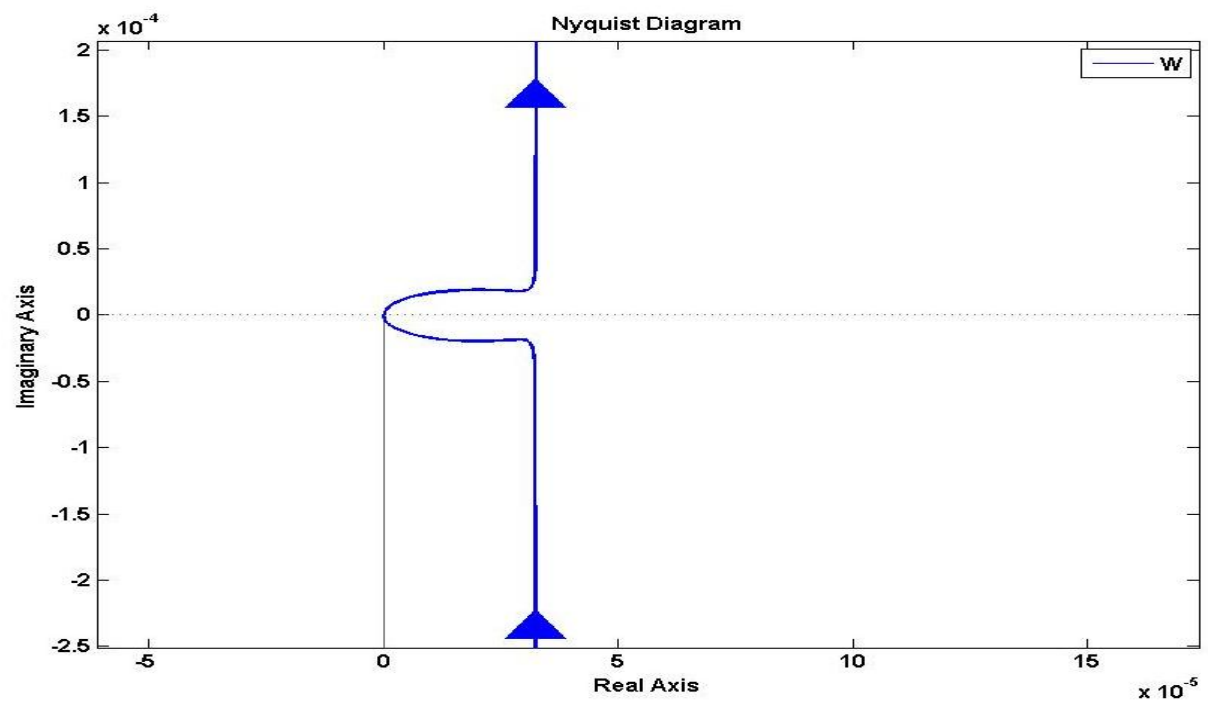
Դիտարկվել են նկ. 3.13-ում բերված բաց համակարգի Նայքվիստի կորը և փոխանցման ֆունկցիայի հաճախային բնութագրերը (տես նկ. 3.14, 3.15.)



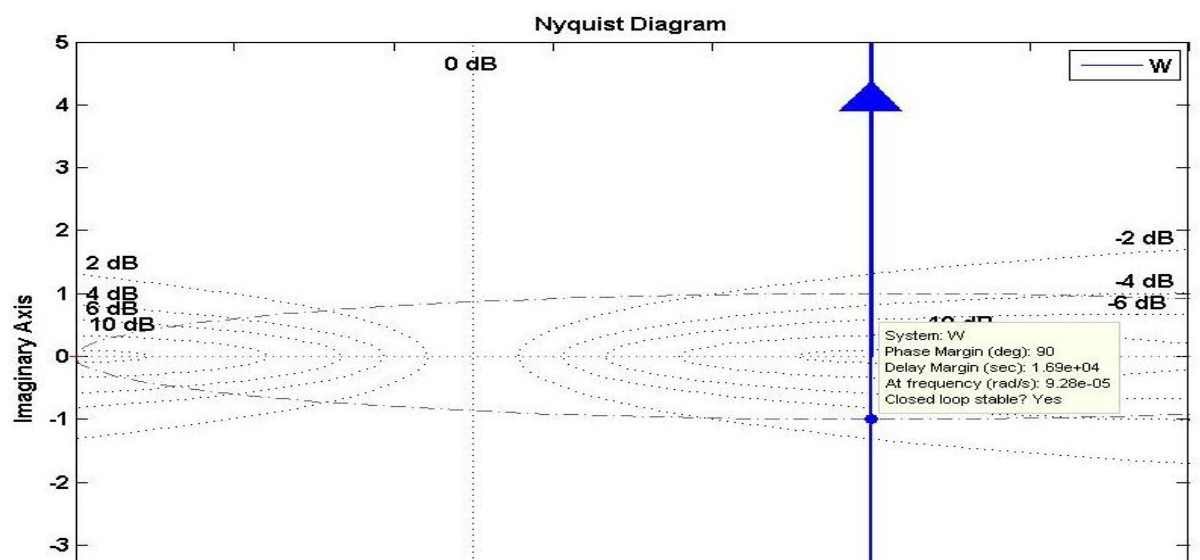
Նկ. 3.13. Բաց համակարգի կառուցվածքային սխեման, երբ բանեցման շարժիչն աշխատում է սինխրոն ռեժիմում



ω)

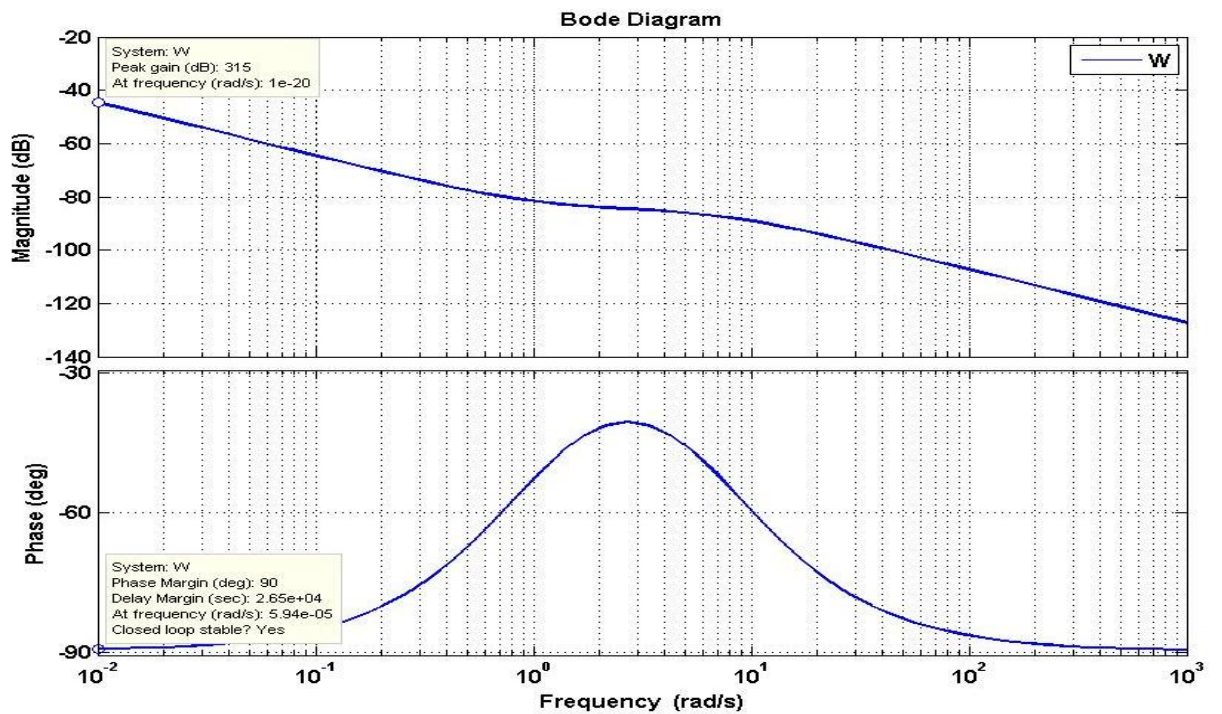


ρ)

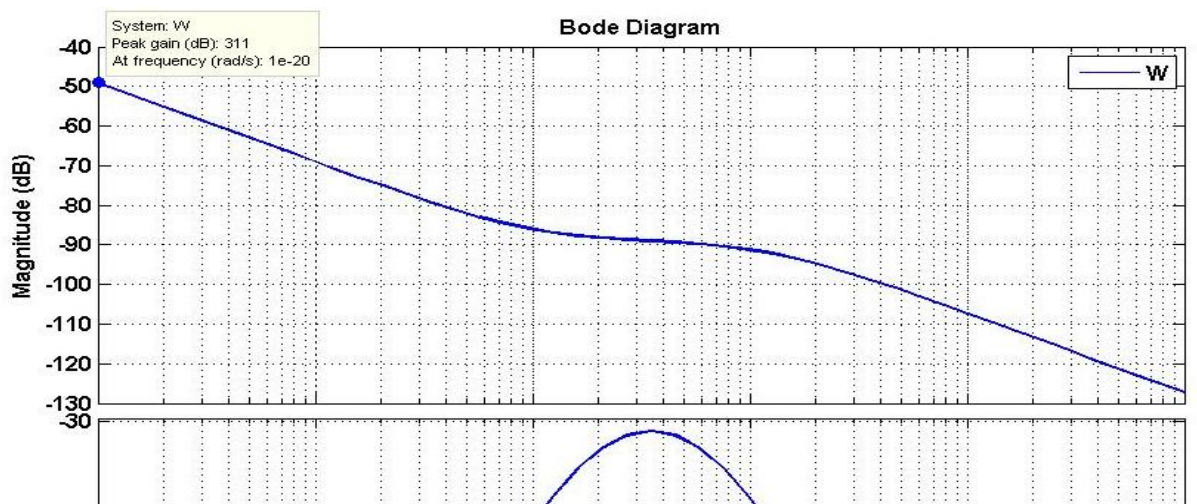


գ)

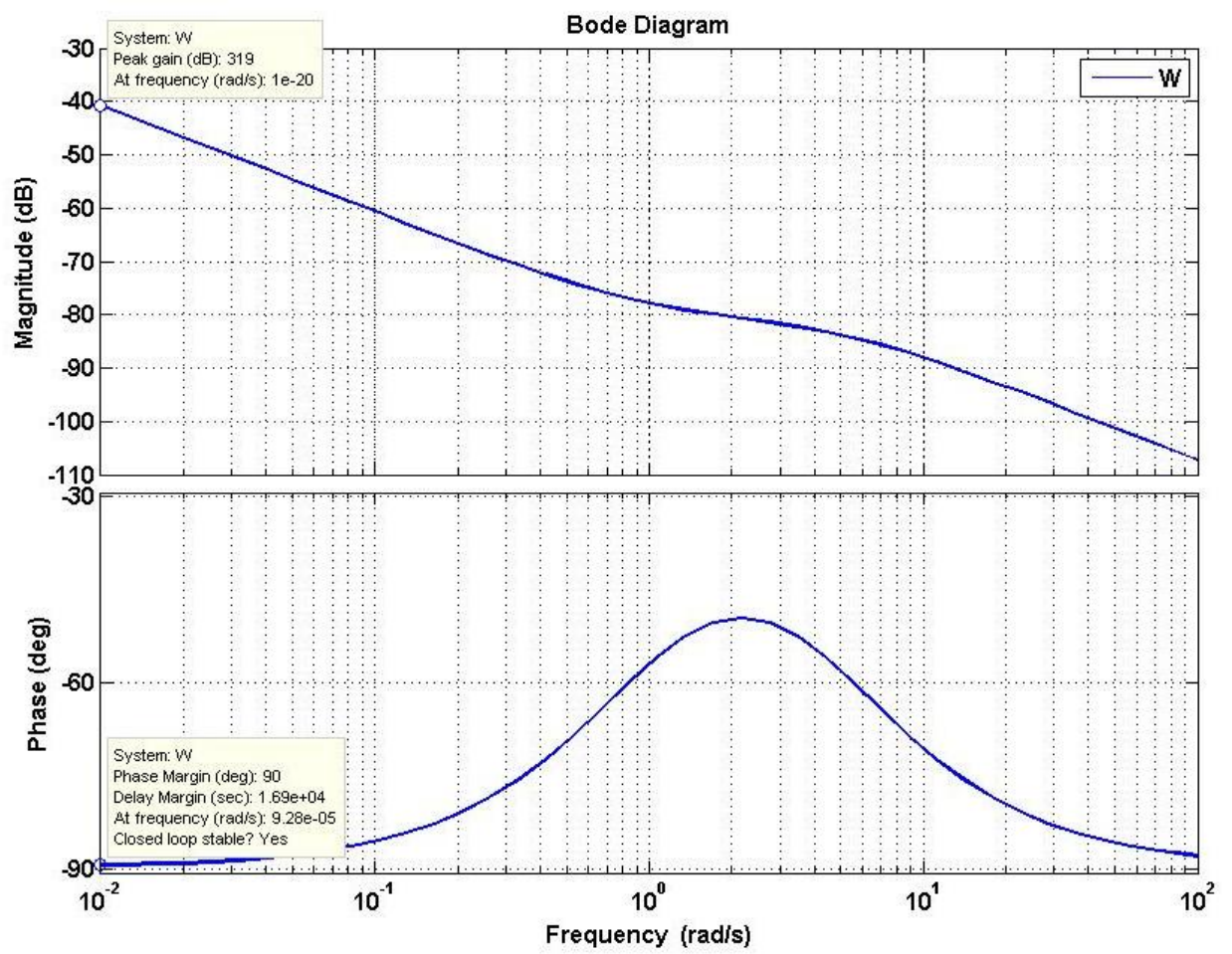
Նկ. 3.14. Նայքվիստի կորը էլեկտրաբանեցման շարժիչի սինխրոն ռեժիմում. ա) սնման լարման անվանական արժեքի դեպքում բ) անվանականից մեծ սնման լարման դեպքում, գ) անվանականից փոքր սնման լարման դեպքում



ա)



p)



q)

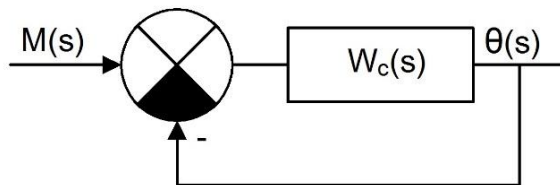
Նկ. 3.15. $W_c(p)$ փոխանցման ֆունկցիայի ամպլիտուդահաճախային և ֆազահաճախային բնութագրերը. ա) սնման լարման անվանական արժեքի դեպքում բ) անվանականից մեծ սնման լարման դեպքում, գ) անվանականից փոքր սնման լարման դեպքում

Նկ. 3.13-ում ներկայացված համակարգը փակելով (տես նկ.3.16) փոխանցման ֆունկցիաներն ընդունում են ներքոնշյալ տեսքեր՝

- անվանական սնման լարման դեպքում՝ $W_c(s) = \frac{s+1}{2300s^2 + 16845s + 1}$,

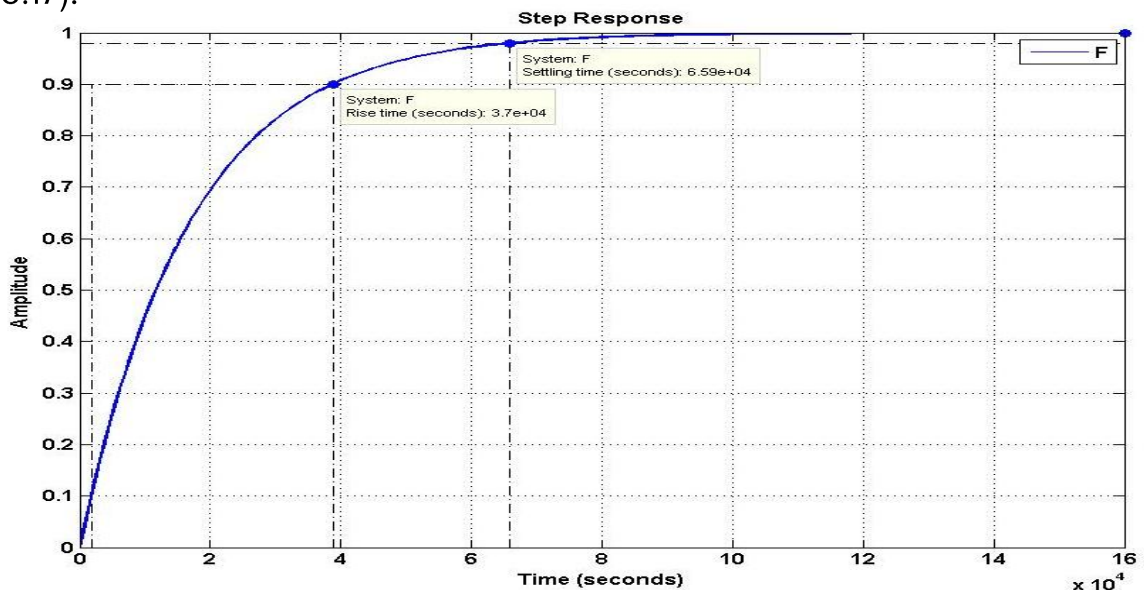
- անվանականից մեծ սնման լարման դեպքում՝ $W_c(s) = \frac{s+1}{2300s^2 + 28300s + 1}$,

- անվանականից փոքր սնման լարման դեպքում՝ $W_c(s) = \frac{s+1}{2300s^2 + 10781s + 1}$:

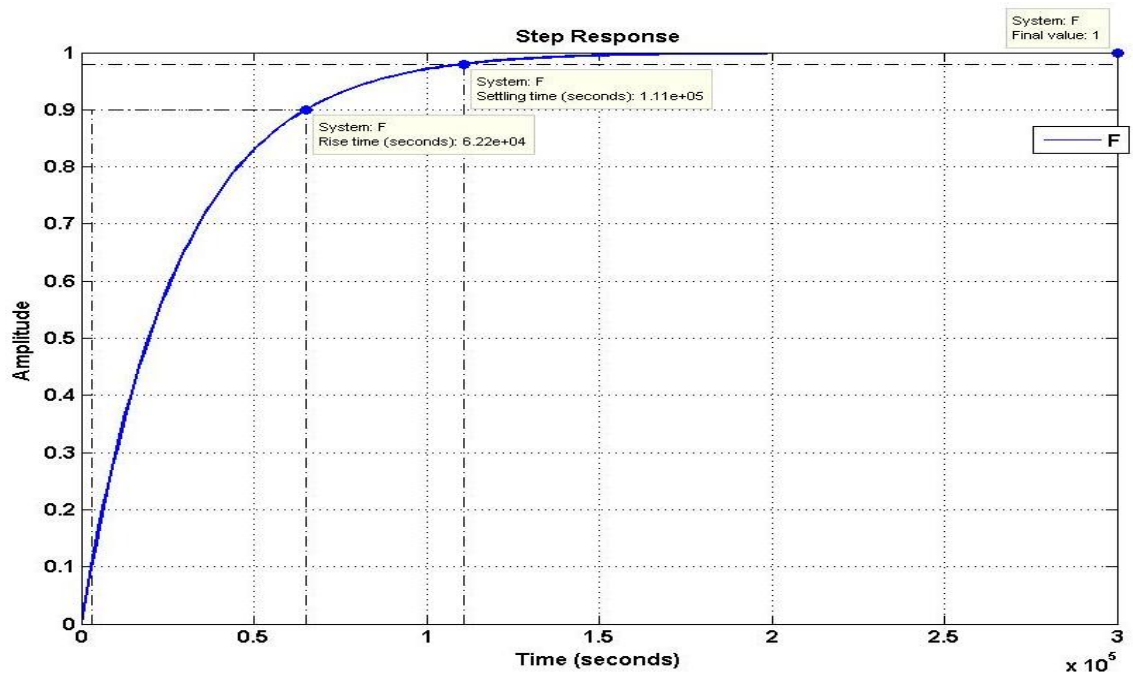


Նկ. 3.16. Փակ համակարգի կառուցվածքային սխեման, երբ բանեցման շարժիչն աշխատում է սինխրոն ռեժիմում

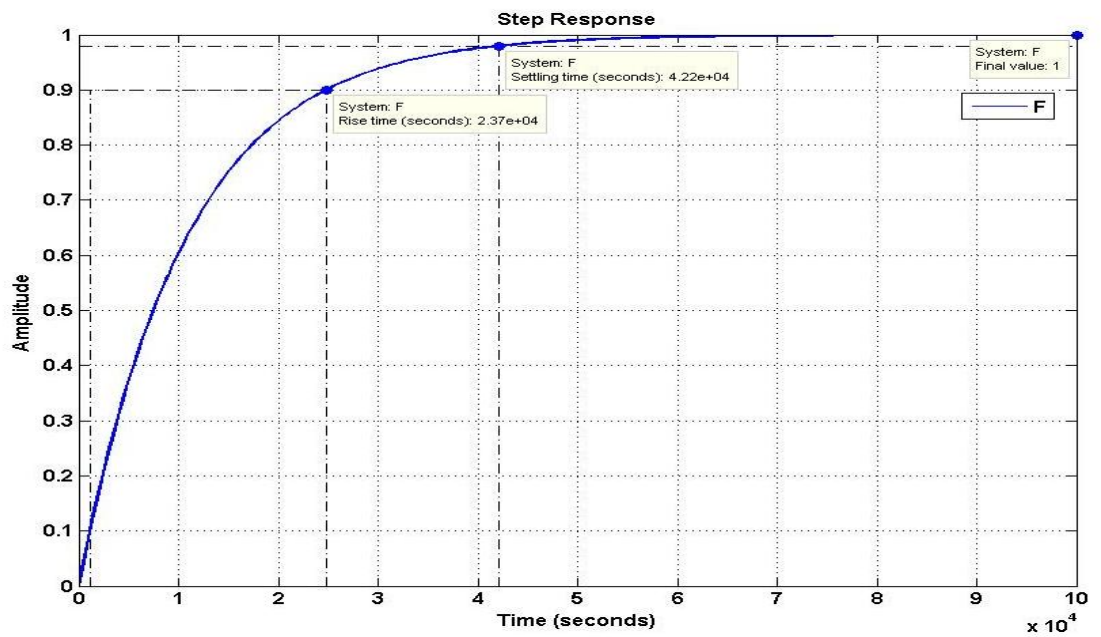
Դիտարկվել է նկ. 3.16-ում ներկայացված համակարգի անցողիկ պրոցեսի կորը (նկ. 3.17):



ա)



բ)



գ)

Նկ. 3.17. Անցումային պրոցեսի կորը, երբ էլեկտրաբանեցման շարժիչն աշխատում է սինխրոն ռեժիմում. ա) սնման լարման անվանական արժեքի դեպքում, բ) անվանականից մեծ սնման լարման դեպքում, գ) անվանականից փոքր սնման լարման դեպքում

Նկ. 3.17-ում բերված անցումային պրոցեսների կորերից հետևում է, որ

- սնման լարման անվանական արժեքի դեպքում՝ աճման ժամանակը՝ $t_{\omega\delta}=37000\text{վ}$, գերկարգավորումը՝ $\chi = 0\%$, կայունացման ժամանակը՝ $t_{\gamma}=65900\text{վ}$:

- սնման լարման անվանականից մեծ արժեքի դեպքում՝ աճման ժամանակը՝ $t_{\omega\delta}=62200\text{վ}$, գերկարգավորումը՝ $\chi = 0\%$, կայունացման ժամանակը՝ $t_{\gamma}=111000\text{վ}$:

- սնման լարման անվանականից փոքր արժեքի դեպքում՝ աճման ժամանակը՝ $t_{\omega\delta}=23700\text{վ}$, գերկարգավորումը՝ $\chi = 0\%$, կայունացման ժամանակը՝ $t_{\gamma}=42200\text{վ}$:

Անցումային պրոցեսների համար ստացված կորերի և դրանք բնութագրող պարամետրերի վերլուծությունը, ցանցից սնման տարբեր արժեքների դեպքում, ցույց է տալիս, որ համակարգի աշխատանքի բարելավման համար անհրաժեշտ է ներմուծել կարգավորիչ: Կատարված հետազոտությունների արդյունքում նախագծվել է համեմատական-ինտեգրող (<Ի>) կարգավորիչ:

<Ի> կարգավորիչի փոխանցման ֆունկցիան կլինի [68,69]՝

$$C(s) = K_p + Ki \frac{1}{s},$$

որտեղ՝

- սնման լարման անվանական արժեքի դեպքում՝ $K_p = 9090$; $Ki = 159000$,

- սնման լարման անվանականից մեծ արժեքի դեպքում՝ $K_p = 11700$; $Ki = 415000$,

- սնման լարման անվանականից փոքր արժեքի դեպքում՝ $K_p = 7350$; $Ki = 68800$:

<Ի> կարգավորիչի առկայության դեպքում նկ. 3.18-ում բերված G_c բաց համակարգի փոխանցման ֆունկցիան կլինի՝

-սնման լարման անվանական արժեքի դեպքում՝

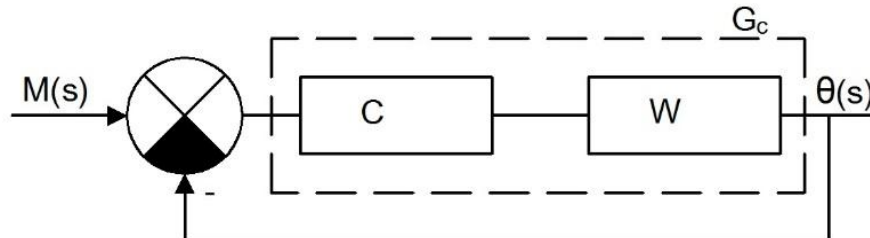
$$G_c = \frac{9093s^2 + 167700s + 158600}{2300s^3 + 16844s^2},$$

-սնման լարման անվանականից մեծ արժեքի դեպքում՝

$$G_c = \frac{11700s^2 + 426900s + 415200}{2300s^3 + 28299s^2},$$

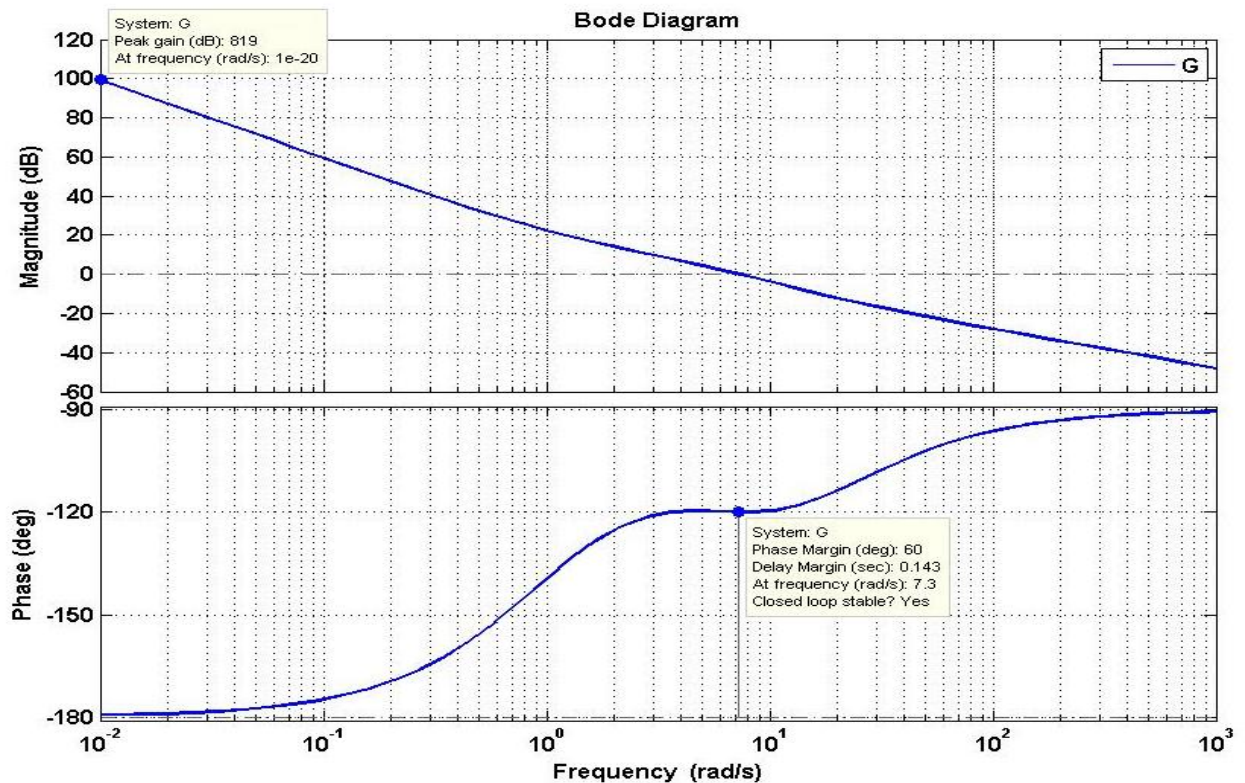
-սնման լարման անվանականից փոքր արժեքի դեպքում՝

$$G_c = \frac{7355s^2 + 76180s + 68830}{2300s^3 + 10780s^2}:$$

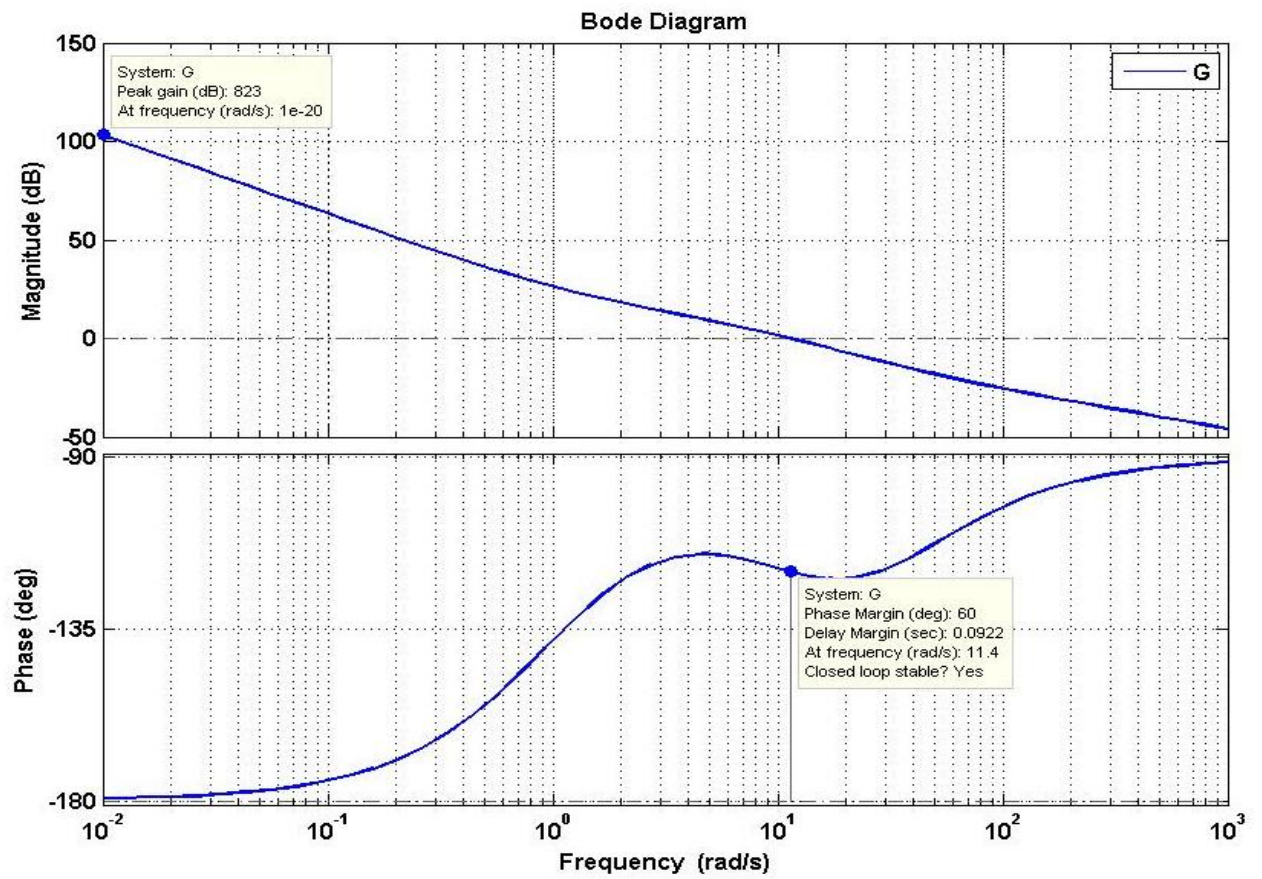


Նկ. 3.18. Հի կարգավորիչով փակ համակարգի կառուցվածքային սխեման, երբ բանեցման շարժիչն աշխատում է սինխրոն ռեժիմում

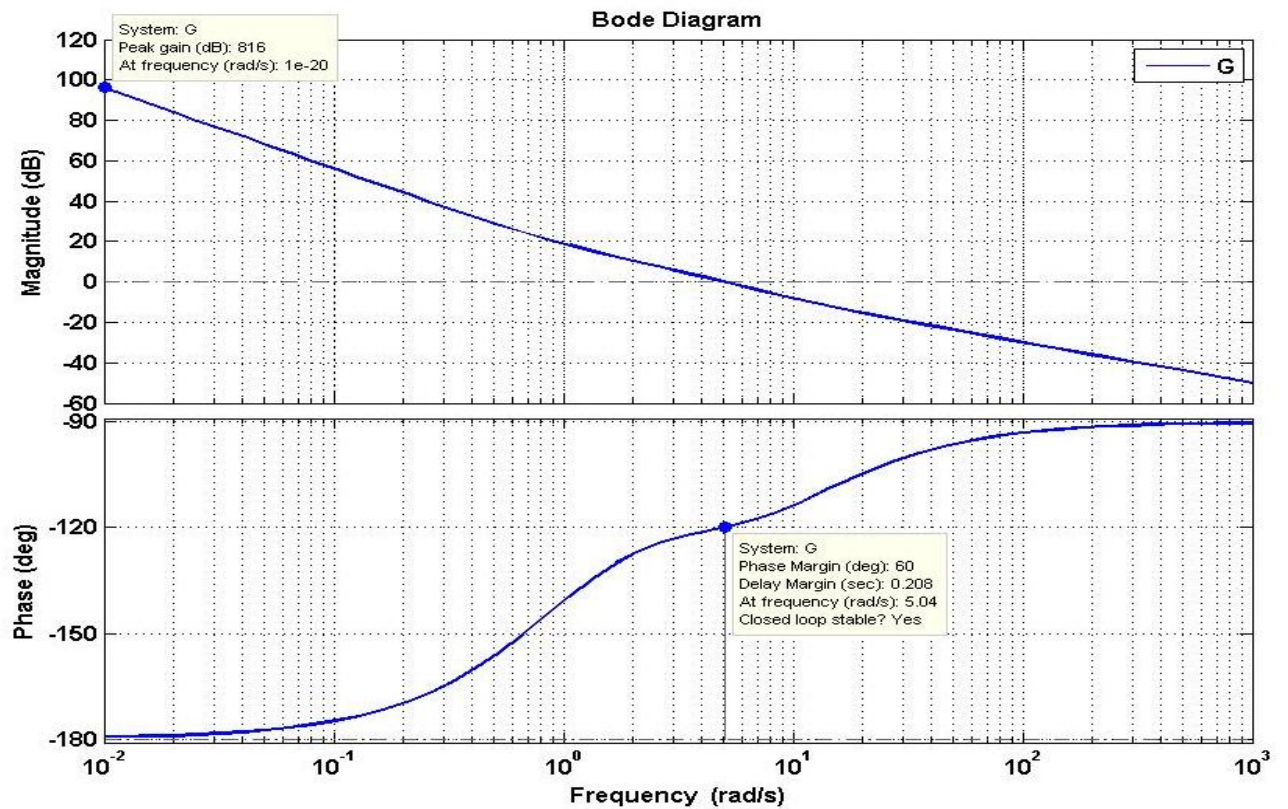
Ստացվել է G_c բաց համակարգի հաճախային բնութագրերը և Նայքվիստի կորը սնման լարման տարբեր արժեքների համար (նկ. 3.19, 3.20):



ω)

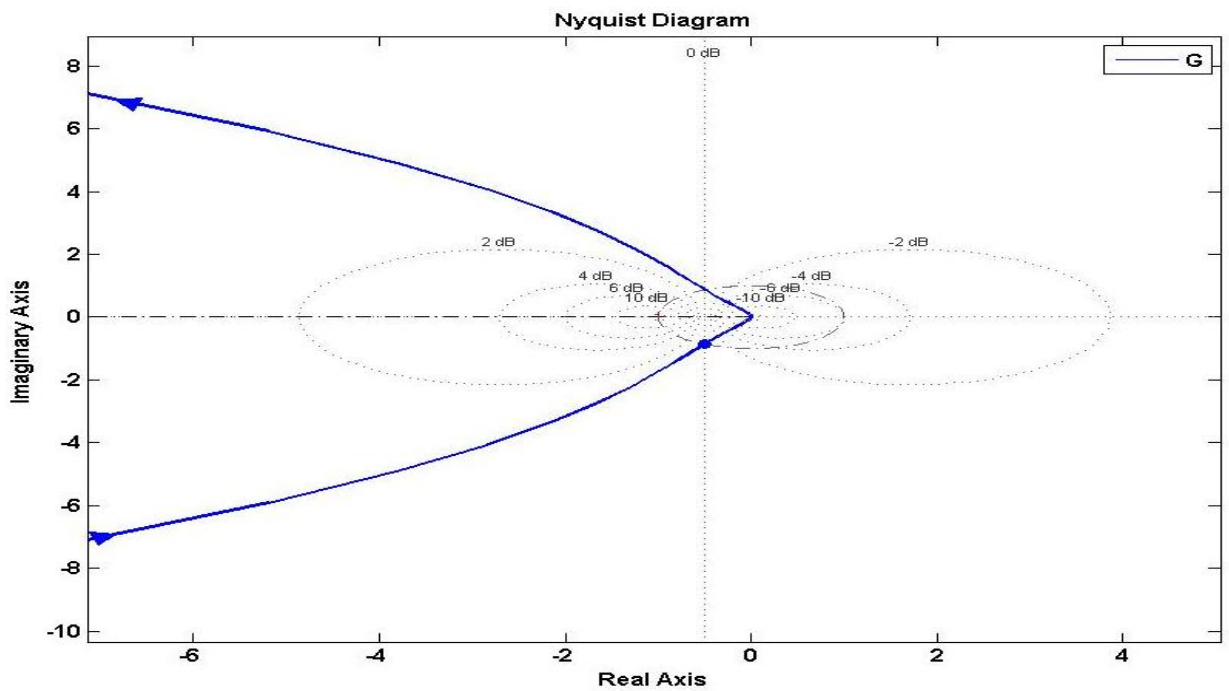


ρ)

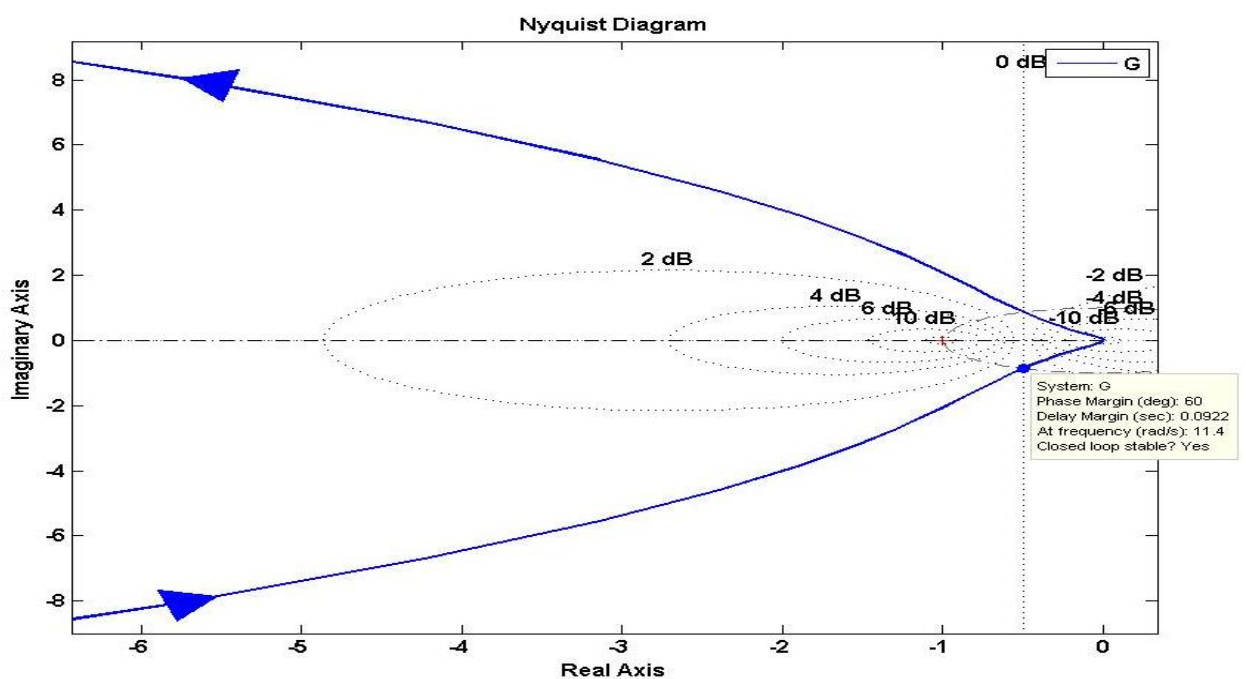


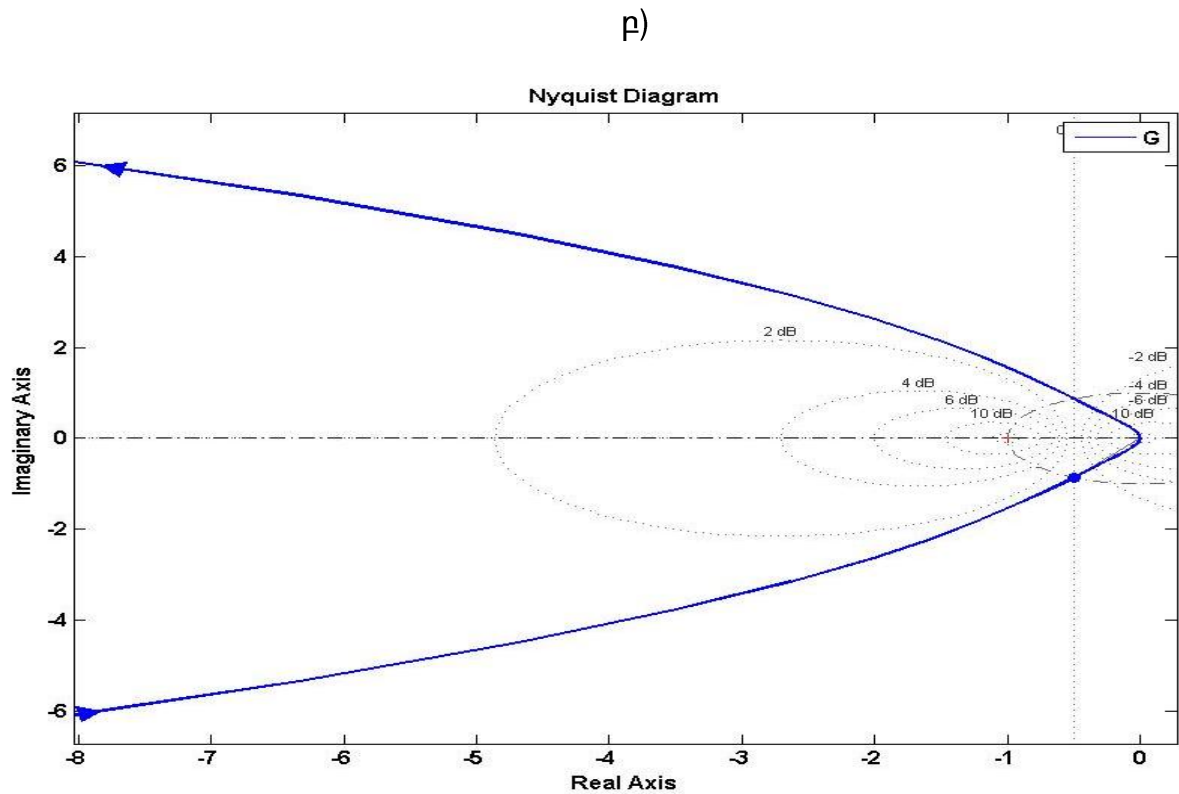
գ)

Նկ. 3.19. Gc բաց համակարգի ամպլիտուդահաճախային և ֆազահաճախային բնութագրերը. ա) սնման լարման անվանական արժեքի դեպքում, բ) անվանականից մեծ սնման լարման դեպքում, գ) անվանականից փոքր սնման լարման դեպքում



ա)





գ)

Նկ 3.20. Gc բաց համակարգի Նայքվիստի կորը, երբ էլեկտրաբանեցման շարժիչն աշխատում է սինխրոն ռեժիմում. ա) սնման լարման անվանական արժեքի դեպքում, բ) անվանականից մեծ սնման լարման դեպքում, գ) անվանականից փոքր սնման լարման դեպքում

Նախագծված ՀԻ կարգավորիչների ներմուծման դեպքում նկ. 3.18-ում բերված փակ համակարգի փոխանցման ֆունկցիան կլինի՝

- սնման լարման անվանական արժեքի դեպքում՝

$$F = \frac{9093s^2 + 167700s + 158600}{2300s^3 + 25940s^2 + 167700s + 158600},$$

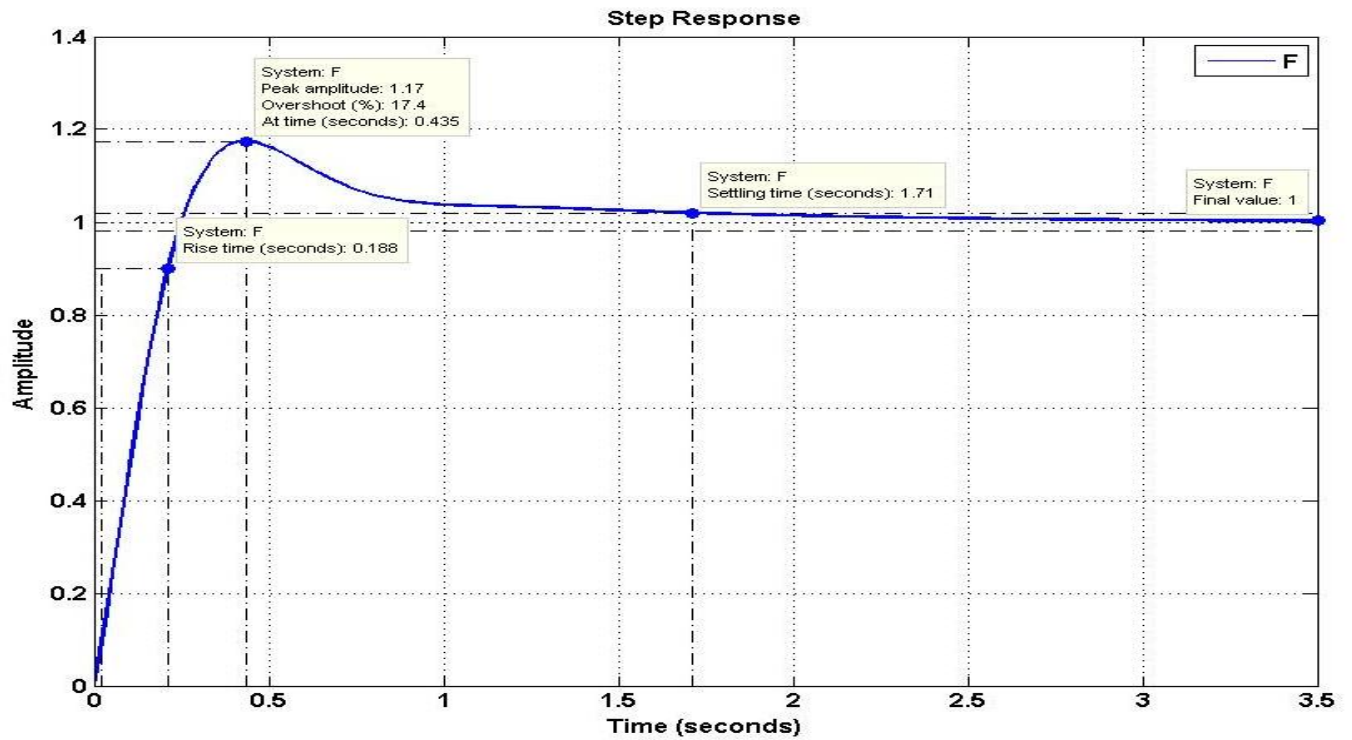
- սնման լարման անվանականից մեծ արժեքի դեպքում՝

$$F = \frac{11700s^2 + 426900s + 415200}{2300s^3 + 40000s^2 + 426900s + 415200},$$

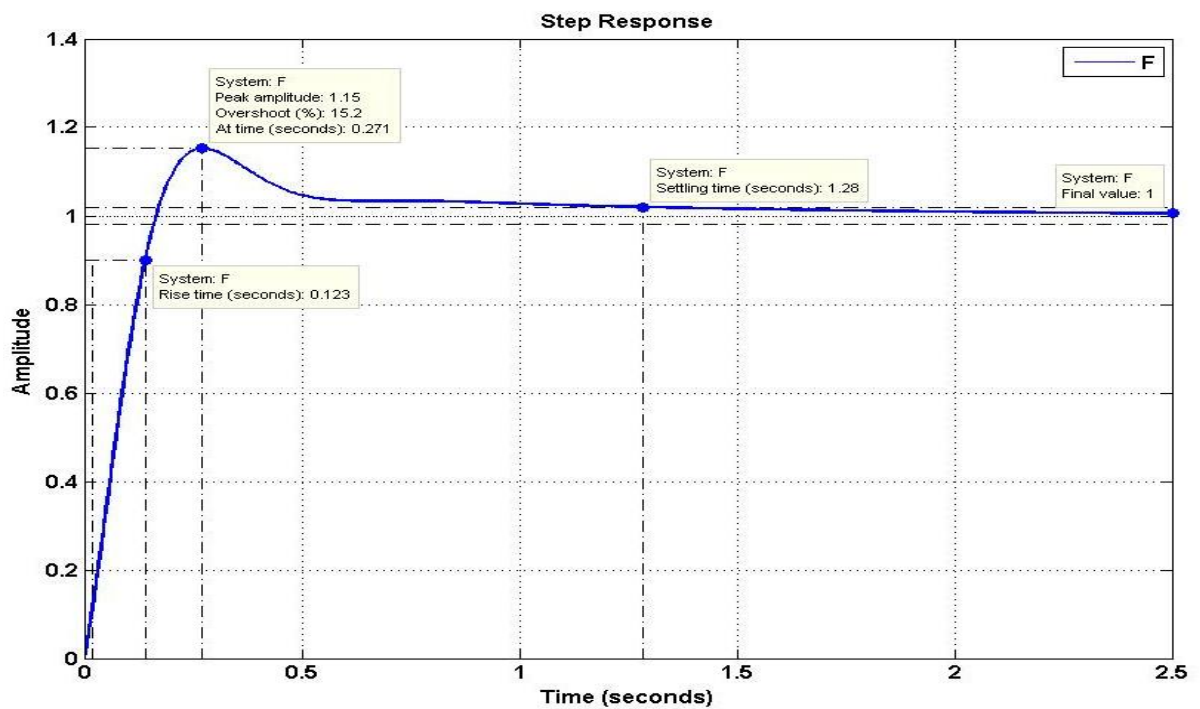
- սնման լարման անվանականից փոքր արժեքի դեպքում՝

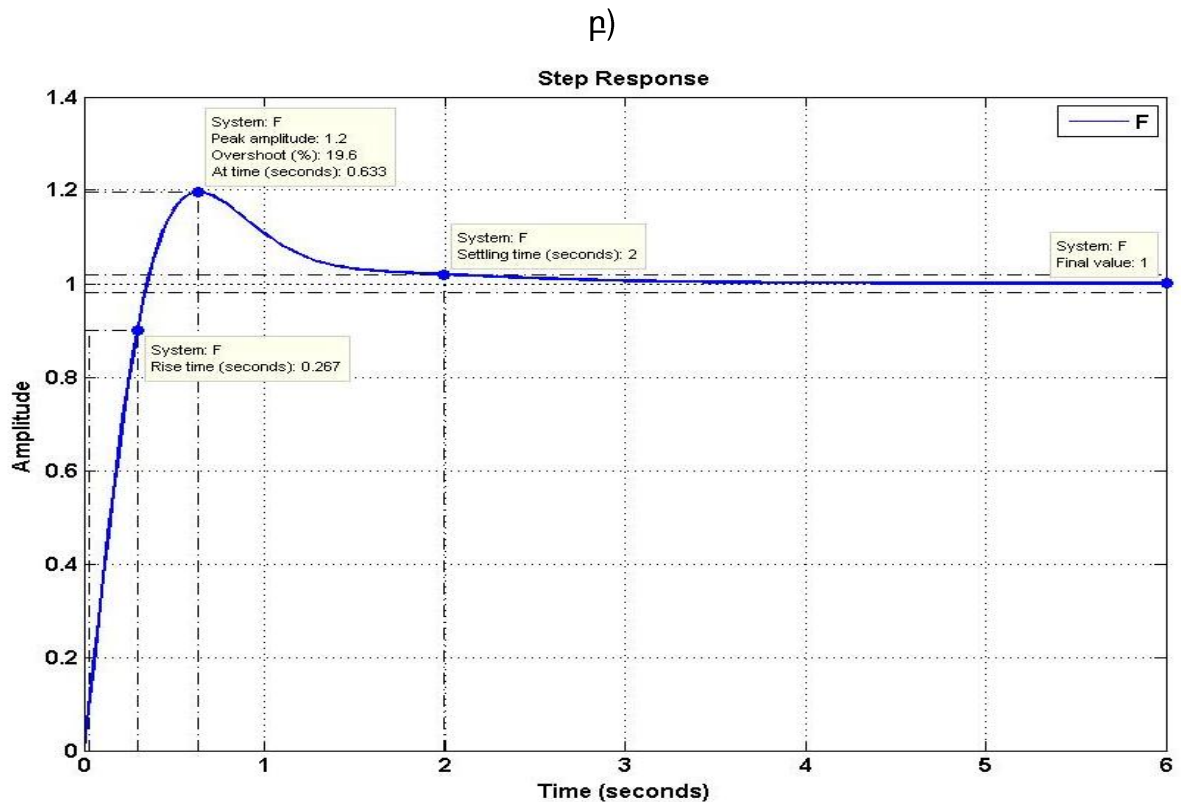
$$F = \frac{7355s^2 + 76180s + 68830}{2300s^3 + 18160s^2 + 76180s + 68830} :$$

Դիտարկվել է ՀԻ կարգավորիչների ներմուծման դեպքում փակ համակարգի անցումային պրոցեսների կորերը ցանցի սնման լարման տարբեր արժեքների դեպքում (տես նկ. 3.21):



ա)





գ)

Նկ. 3.21. Հի կարգավորիչների ներմուծման դեպքում փակ համակարգի անցումային պրոցեսների կորերը, երբ շարժիչն աշխատում է սինխրոն ռեժիմում. ա) սնման լարման անվանական արժեքի դեպքում, բ) անվանականից մեծ սնման լարման դեպքում, գ) անվանականից փոքր սնման լարման դեպքում

Նկ. 3.21-ում ներկայացված անցումային պրոցեսների կորերի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ Հի կարգավորիչների ներմուծման արդյունքում համակարգի աշխատանքային ռեժիմները բարելավվում են, մասնավորապես [58]՝

- սնման լարման անվանական արժեքի դեպքում՝ աճման ժամանակը՝ $t_{w6}=0,188$ վ, գերկարգավորումը՝ $\chi=17,4\%$, կայունացման ժամանակը՝ $t_y=1,71$ վ:

-սնման լարման անվանականից մեծ արժեքի դեպքում՝ աճման ժամանակը՝ $t_{w6}=0,123$ վ, գերկարգավորումը՝ $\chi=15,2\%$, կայունացման ժամանակը՝ $t_y=1,28$ վ:

-սնման լարման անվանականից փոքր արժեքի դեպքում՝ աճման ժամանակը՝ $t_{\omega 0}=0,267$ վ, գերկարգավորումը՝ $\chi = 19,6\%$, կայունացման ժամանակը՝ $t_y=2,0$ վ:
LabVIEW միջավայրում նախագծվել է ինտերֆեյս, որը բաղկացած է 4 մասերից՝

Հաճախային բնութագրերի դիտարկման, համակարգի կայունության գնահատման և կարգավորիչի մշակման ինտերֆեյսը նախագծվել է LabVIEW միջավայրում, որը ներկայացված է հավելվածում:

3.3. Եզրակացություն

1. Մշակվել է θ անկյան տատանումների վրա դիմադրող մոմենտի, բանեցման սինխրոն շարժիչի ստատորի հոսանքի կախվածության գնահատման ալգորիթմը չորս հարմոնիկաների և ռոտորի իներցիայի հաստատունի տարբեր արժեքների համար:

2. Ցույց է տրված, որ

- ցանցի լարման արժեքի մեծացումն անվանականից առաջացնում է ստատորի հոսանքի նշանակալի տատանումներ առաջին հարմոնիկում,

- θ անկյունը և շարժիչի տատանումների ուժեղացման գործակիցը զգալի փոփոխություններ են կրում առաջին հարմոնիկի ժամանակ, մինչդեռ սկսած երկրորդ հարմոնիկից դրանց փոփոխությունն աննշան է, և համակարգի կանոնավոր աշխատանքի վրա զգալի ազդեցություն չի թողնում:

3. Աղաց-շարժիչ համակարգի վիճակի վերլուծման համար ստացվել են.

- ասինխրոն և սինխրոն ռեժիմներում աշխատող փոփոխվող բեռով էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչների փոխանցման ֆունկցիաները,

- Matlab ծրագրային փաթեթի Simulink միջավայրում Նայքվիստի չափանիշի օգտագործմամբ դիտարկվել են հաճախային բնութագրերը և դրանց միջոցով գնահատվել է համակարգի կայունությանն առնչվող հարցերը:

4. Առաջարկվել է ասինխրոն ռեժիմում համակարգի աշխատանքի բարելավման համար ներմուծել ՀԻԴ կարգավորիչ, իսկ սինխրոն ռեժիմում համակարգի բարելավման համար՝ ՀԻ կարգավորիչ, որոնք հնարավորություն են տալիս բազմակի անգամ փոքրացնել համակարգի կայունացման ժամանակը:

**Գլուխ 4. ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՂԱՑԻ ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ՍԻՆԽՐՈՆ ՇԱՐԺԻՉԻ
ԱՆԿԱՆՈՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻՑ ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ՄԻՋՈՑ**

**4.1. Հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի աշխատանքային
ռեժիմների հսկման ալգորիթմ**

Բազմակողմանի հետազոտությունը ցույց է տալիս, որ գոյություն չունի այնպիսի
համակողմանի միջոց, որը հնարավորություն կտա բացահայտել և կանխել

հանքաքարի աղացի բանեցման շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմը [75-79]:
Դա բացատրվում է նրանով, որ

- մանրացման գործընթացում օգտագործվող շարժիչների աշխատանքային ռեժիմները պայմանավորված են բազմաթիվ տեխնոլոգիական և էներգետիկ գործոններով,

- աշխատանքային ռեժիմները կարող են պարբերաբար փոփոխվել կապված շահագործման պայմաններից և աղացի աշխատանքային վիճակից [80], ինչպես նաև առաջացող արատների զարգացման արագությունից:

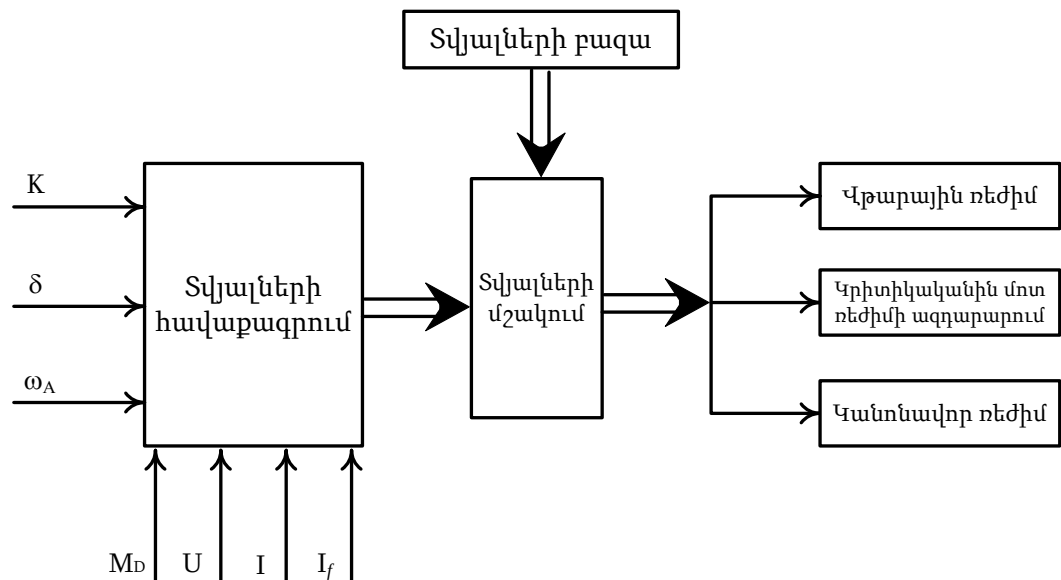
Սույն աշխատանքի նախորդ բաժիններում կատարված հետազոտությունները թույլ են տալիս ձևավորել սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմներից պաշտպանության միջոց: Առաջարկվող միջոցն իր մեջ ներառում է տարբեր ենթահամակարգեր, որոնք են՝

- էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի աշխատանքային ռեժիմների հսկման ենթահամակարգ,

- վթարային իրավիճակի կանխման ենթահամակարգ:

Սույն բաժնում դիտարկվել են հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի հսկման ենթահամակարգի ալգորիթմը: Դրա կառուցվածքային սխեման բերված է նկ 4.1-ում:

Էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի հսկման ենթահամակարգը բաղկացած է տվյալների հավաքագրման հանգույցից, տվյալների բազայից, տվյալների մշակման և իրավիճակի ազդարարման հանգույցներից [81]:



Նկ. 4.1. էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի հսկման ենթահամակարգի կառուցվածքային սխեմա

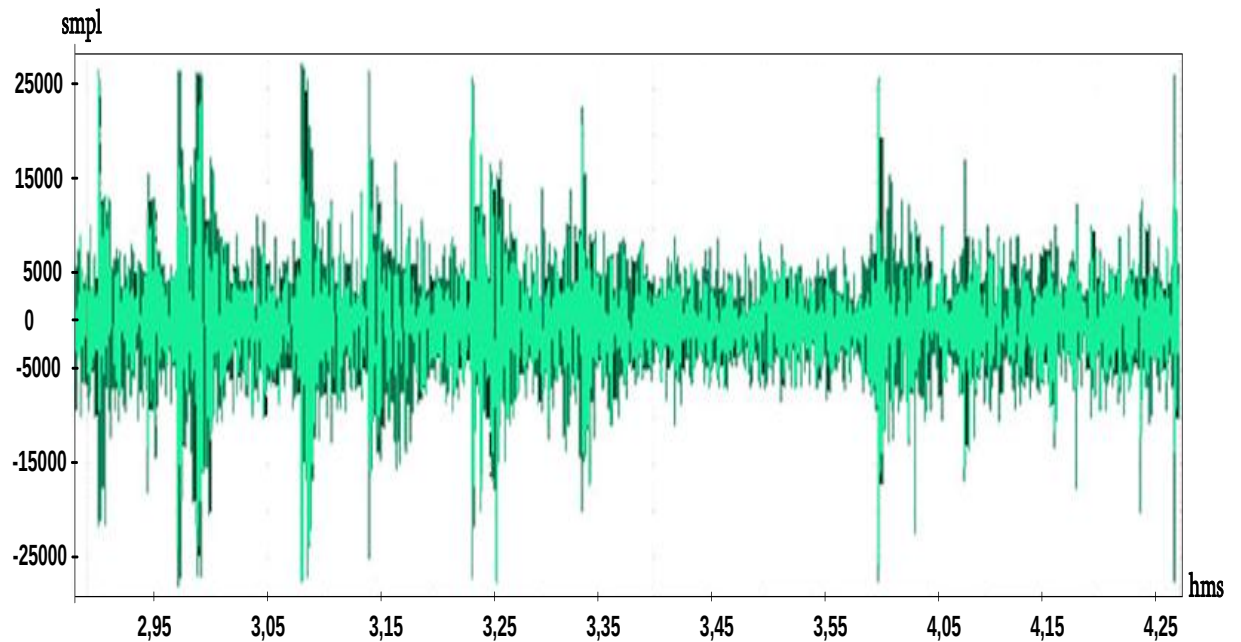
Տվյալների հավաքագրման հանգույցում գրանցվում են հանքաքարի աղացի և էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի աշխատանքային ռեժիմները բնութագրող տեխնոլոգիական և էներգետիկ պարամետրերը, որոնք են՝ աղացի լցման աստիճանը (K), խյուսի ծավալային խտությունը (δ), աղացի պտտման անկյունային արագությունը (ω_A), ստատորի հոսանքը (I), շարժիչի մոմենտը (M_D), շարժիչի պտտման սինխրոն արագությունը (ω_D), շարժիչի սնման լարումը (U), գրգռման փաթույթի հոսանքը (I_f):

Տվյալների բազան իր մեջ ներառում է բանեցման սինխրոն շարժիչների և հանքաքարի աղացների տեխնիկական բնութագրերը:

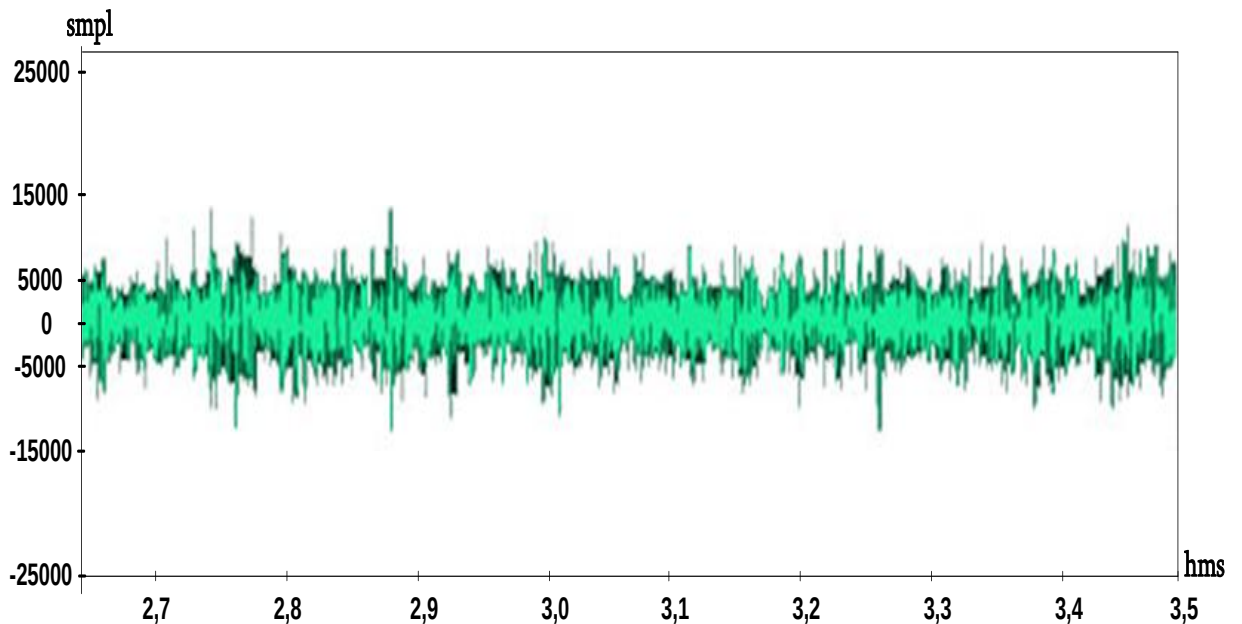
Տվյալների մշակման հանգույցում կատարվում է տվյալների հավաքագրական բլոկից և տվյալների հանգույցից ստացված թվային ազդանշանների մշակում, համեմատում և արդյունքների փոխանցում համապատասխան ազդարարման հանգույցին:

Աղացի դիմադրող մոմենտը պայմանավորված է բազմաթիվ գործոններով՝ աղացի լցման աստիճանով, նյութի ծավալային խտությամբ, մանրացնող մետաղական գնդիկների չափերով, աղացի թմբուկի պատերը պաշտպանող ֆուտերվածքի մաշվածության աստիճանով, մանրացվող հանքաքարի չափագրական կազմով [82-84]:

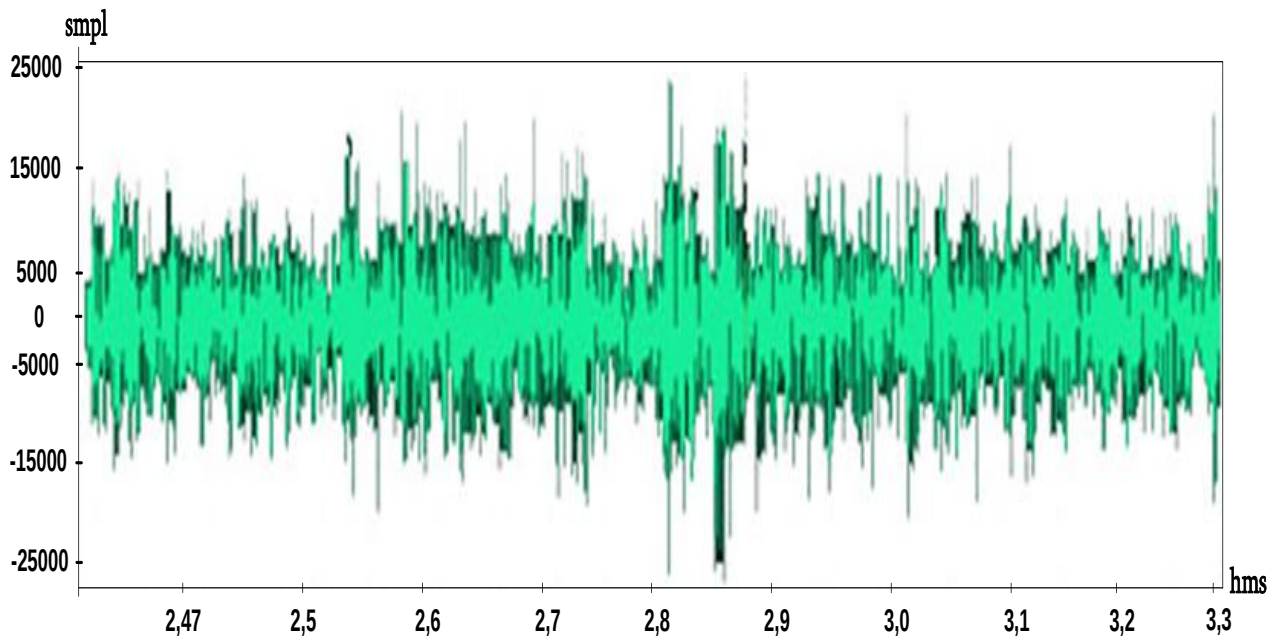
Թվարկված ցուցանիշները կրում են պատահական բնույթ, ուստի դրանք պարբերաբար կարող են ենթարկվել փոփոխման N տոնա հանքաքարի մանրացման ընթացքում: Այդ փոփոխություններն արտացոլված են նկ. 4.2-ում ներկայացված տարբեր լցման աստիճանների համար ստացված օսցիլոգրամներում [85]:



ա)



բ)



գ)

Նկ. 4.2. Հանքաքարի աղացի դիմադրող մոմենտի փոփոխման օսցիլոգրամ ա) 50 % լցման աստիճանի և 0,9 պտտման արագության հարաբերական արժեքի համար, բ) 40 % լցման աստիճանի և 0,6 պտտման արագության հարաբերական արժեքի համար, գ) 25% լցման աստիճանի և 0,6 պտտման արագության հարաբերական արժեքի համար

Վերլուծությունները ցույց են տվել, որ անկախ աղացի թմբուկի լցման աստիճանից և պտտման արագությունից աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտն ենթարկվում է կտրուկ փոփոխությունների: Հայտնի է, որ դիմադրող մոմենտի առավելագույն թույլատրելի արժեքից աճը, բերում է աղաց-շարժիչ էլեկտրամեխանիկական համակարգում օգտագործվող էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի կանոնավոր աշխատանքի խախտմանը, իսկ դիմադրող մոմենտի նվազումը՝ էլեկտրաէներգիայի լրացուցիչ ծախսի: Մասնավորապես, երբ աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտը գերազանցում է շարժիչի պտտման մոմենտի արժեքը, սինխրոն շարժիչը դուրս է գալիս սինխրոնիզմից, ինչի արդյունքում համակարգը կարող է հայտնվել անկանոն աշխատանքային ռեժիմներում կամ ընդհանրապես կանգառնել:

Վերոնշյալը հիմնավորվում է հանձնարարված քանակի հանքաքարի մանրացման ընթացքում դիմադրող մոմենտի արժեքի հսկման անհրաժեշտությունը:

Հանքաքարի աղացի դիմադրող մոմենտի որոշման հայտնի մեթոդների [5,86] ուսումնասիրությունը ցույց է տվել, որ դրանք հնարավորություն են տալիս որոշել միայն մոմենտի միջինացված արժեքը, և հետևաբար կիրառելի չեն էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի դիմադրող մոմենտի փոփոխությամբ պայմանավորված սինխրոն շարժիչի աշխատանքային ռեժիմների համակողմանի հետազոտման համար:

[87, 88] աշխատություններում առաջարկվում է դիմադրող մոմենտի արձանագրման այնպիսի մոդել, որում հաշվի է առնվել ժամանակի ընթացքում մոմենտի արժեքի պատահական փոփոխման հնարավորությունները: Այդ մոդելի մշակման համար կիրառվել է հետևյալ ուղին.

- մանրացման յուրաքանչյուր տակտում ներառացային նյութի քանակի որոշման ալգորիթմի ձևավորում,
- աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտի ժամանակից կախված պատահական $M(t)$ ֆունկցիայի ձևավորում:

Մանրացման յուրաքանչյուր տակտում ներառացային նյութի քանակի որոշման ալգորիթմը մշակելիս մանրացման գործընթացը ներկայացվում է տարրական գործողությունների հանրագումարով՝ հաշվի առնելով նյութի շարժման տեղամասերը: Ընդհանուր առմամբ մանրացման գործընթացն այս դեպքում դիտարկվել է որպես մանրացման տակտերի հաջորդականություն, ընդունելով, որ մեկ տակտը համապատասխանում է մեկ շրջափուլի ժամանակին: Չնայած նրան, որ [87, 88] աշխատություններում ներկայացված մոդելը հաջողությամբ կարելի է կիրառել ժամանակի ընթացքում աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտի փոփոխությունների հսկման համար, այնուամենայնիվ այն արդյունավետ չէ պայմանավորված նրանով, որ՝

- անհրաժեշտ տեղեկատվության հսկման համար պահանջվում է մեծաքանակ տվիչների կիրառություն,
- հնարավորություն չի տալիս ժամանակին որոշել մոմենտի անթույլատրելի թռիչքային փոփոխությունը, դրանով իսկ կանխել էլեկտրաբանեցման շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմում հայտնվելը:

Ելնելով վերոնշյալից, տվյալների վերամշակման բլոկում նախօրոք հանձնարարված հաճախությամբ գրանցված տվյալների միջոցով հաշվարկված հանքաքարի աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտը համեմատվում է ստացված դիմադրող մոմենտի որոշման բազմանդամի հետ: Դիմադրող մոմենտի որոշման բանաձևի ստացման մոդելը մշակվել է հիմք ընդունելով այն փաստը, որ աղացի թմբուկի պտտման արագությունը ձևավորվում է շարժիչի ռոտորի պտտման անկյունային արագությամբ, մանրացման միջավայրի պտտման անկյունով: Արդյունքում հանքաքարի աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտի մոդելավորման համար դիտարկվել է մոմենտի կախվածությունն աղացի թմբուկի պտտման արագությունից:

Մոդելավորման համար օգտագործվել է գիտափորձի տվյալների բազա, որը ստացվել է փորձնական ճանապարհով թմբուկի պտտման արագության (n_c) տարբեր արժեքների դեպքում աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտի (M_A) չափման միջոցով: Տարբեր հզորության և կառուցվածքային կատարումով հանքաքարի աղացների համար ընդհանրացված մոդելի մշակման համար օգտագործվել է հարաբերական միավորներով չափման համակարգը: Մասնավորապես, աղացի թմբուկի պտտման արագության և դիմադրող մոմենտի փորձնական եղանակով ստացված արժեքները համապատասխանաբար բերվել են կրիտիկական արագության (n_{kp}) և էլեկտրաբանեցման շարժիչի անվանական մոմենտի (M_{HD}):

$$\psi = \frac{n_c}{n_{kp}}, \quad M = \frac{M_A}{M_{HD}} :$$

Հետազոտությունը ցույց է տվել, որ դիմադրող մոմենտի վրա ազդում է ոչ միայն աղացի թմբուկի պտտման արագությունը, այլ նաև մի շարք չկառավարվող գործոններ, ինչպիսիք են չափման սխալանքը, շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանի փոփոխությունը և այլն: Այդ պատճառով էլ նույնիսկ թմբուկի պտտման արագության ֆիքսված արժեքի դեպքում դիմադրող մոմենտը բնութագրող $M = F(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_m)$ ֆունկցիան կարող է ենթարկվել պատահական փոփոխությունների: Այդ պատճառով էլ մեր կողմից նախ դիտարկվել է մոմենտի և պտտման հարաբերական արագության մեծությունների միջև առկա սերտ փոխազդեցությունը ρ_{XY} կոռելյացիայի գործակցի միջոցով [89, 90]:

Աղյուսակ 4.1-ում ներկայացված է կոռելյացիայի գործակցի որոշման համար անհրաժեշտ փորձնական և հաշվարկային տվյալները [91]:

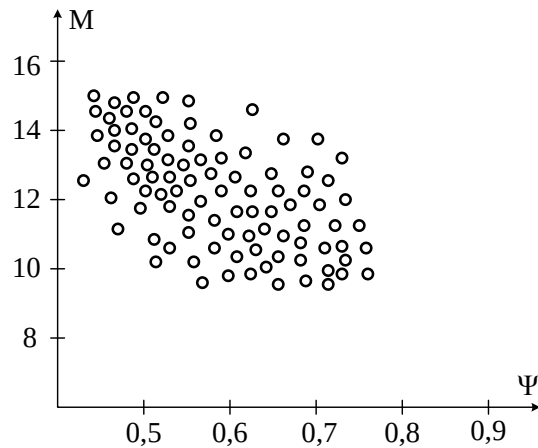
Աղյուսակ 4.1

Կոռելյացիայի գործակցի հաշվարկային տվյալներ

n	$X = \psi$	$Y = M$	$(X_i - \bar{X})$	$(Y_i - \bar{Y})$	$(X_i - \bar{X})^2$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	$(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$
1	0,3	0,53	0,53	-0,375	-0,13375	0,140625	0,05015625
2	0,35	0,59	0,59	-0,325	-0,07375	0,105625	0,02396875
3	0,40	0,65	0,65	-0,275	-0,01375	0,075625	0,00378125
4	0,45	0,7	0,7	-0,225	0,03625	0,050625	-0,00815625
5	0,5	0,745	0,745	-0,175	0,08125	0,030625	-0,01421875
6	0,55	0,765	0,765	-0,125	0,10125	0,015625	-0,01265625
7	0,6	0,77	0,77	-0,075	0,10625	0,005625	-0,00796875
8	0,65	0,78	0,78	-0,025	0,11625	0,000625	-0,00290625
9	0,7	0,79	0,79	0,025	0,12625	0,000625	0,00315625
10	0,75	0,8	0,8	0,075	0,13625	0,005625	0,01021875
11	0,8	0,77	0,77	0,125	0,10625	0,015625	0,01328125
12	0,85	0,69	0,69	0,175	0,02625	0,030625	0,00459375
13	0,9	0,64	0,64	0,225	-0,02375	0,050625	-0,00534375
14	0,95	0,5	0,5	0,275	-0,16375	0,075625	-0,04503125
15	1,0	0,46	0,46	0,325	-0,20375	0,105625	-0,06621875
16	1,05	0,44	0,44	0,375	-0,22375	0,140625	-0,08390625

$$\rho_{XY} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}} = -0,13195:$$

Հաշվարկի արդյունքում ստացված կոռելյացիայի գործակցի արժեքը գտնվում է -1 – ից +1 միջակայքում: Կոռելյացիայի համար ստացված բացասական արժեքը ցույց է տալիս, որ մի պատահական մեծության աճի դեպքում մյուսը կնվազի: Նկ 4.3-ում ներկայացված է մոմենտի և պտտման արագության պատահական մեծությունների միջև ցրվածության դիագրաման, ինչը հաստատում է ստացված կոռելյացիայի գործակցի ճշմարիտությունը:



Նկ. 4.3. M և ψ պատահական մեծությունների ցրվածության դիագրամա

Դիմադրող մոմենտի կախվածության որոշման համար օգտագործվել է ռեգրեսիոն վերլուծության մեթոդը, համաձայն որի M և ψ փոփոխականները կապված են հետևյալ կախվածությամբ [92].

$$M(\psi) = F(\psi) + \varepsilon,$$

(4.1)

որտեղ ε - ը պատահական փոփոխական է, որը կախված է չափման սխալանքից, շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանից և այլ չհսկվող պատահական գործոններից:

Հաշվի առնելով աղյուսակ 4.1-ում բերված փորձնական տվյալներից $M(\psi)$ կախվածությունը կարելի է փնտրել հետևյալ տեսքով՝

$$M(\psi) = b_0 + b_1\psi + b_2\psi^2 + b_3\psi^3,$$

(4.2)

որտեղ b_0, b_1, b_2, b_3 -ը գործակիցներ են, որոնց օպտիմալ արժեքների որոշման համար լուծվում է շեղման քառակուսիների գումարի նվազարկման խնդիրը:

$$S(b_0, b_1, b_2, b_3) = \sum_{i=1}^n \left[(b_0 + b_1\psi_i + b_2\psi_i^2 + b_3\psi_i^3) - M_i \right]^2 \rightarrow \min :$$

(4.3)

b_0, b_1, b_2, b_3 գործակիցների օպտիմալ արժեքների որոշման համար (4.3)

ֆունկցիան ածանցվել է ըստ այդ գործակիցների և հավասարեցվել զրոյի: Արդյունքում ստացվել է հետևյալ հավասարումների համակարգը.

$$\begin{cases} nb_o + b_1 \sum_{i=1}^n \psi_i + b_2 \sum_{i=1}^n \psi_i^2 + b_3 \sum_{i=1}^n \psi_i^3 = \sum_{i=1}^n M_i \\ b_o \sum_{i=1}^n \psi_i + b_1 \sum_{i=1}^n \psi_i^2 + b_2 \sum_{i=1}^n \psi_i^3 + b_3 \sum_{i=1}^n \psi_i^4 = \sum_{i=1}^n M_i \psi_i \\ b_o \sum_{i=1}^n \psi_i^2 + b_1 \sum_{i=1}^n \psi_i^3 + b_2 \sum_{i=1}^n \psi_i^4 + b_3 \sum_{i=1}^n \psi_i^5 = \sum_{i=1}^n M_i \psi_i^2 \\ b_o \sum_{i=1}^n \psi_i^3 + b_1 \sum_{i=1}^n \psi_i^4 + b_2 \sum_{i=1}^n \psi_i^5 + b_3 \sum_{i=1}^n \psi_i^6 = \sum_{i=1}^n M_i \psi_i^3 \end{cases}$$

(4.4)

b_o, b_1, b_2, b_3 գործակիցների որոշման համար կազմվել է հաշվարկային աղյուսակ (աղյուսակ 4.2) [91]:

Աղյուսակ 4.2.

(4.4) հավասարումների համակարգի պարամետրերի որոշում

n	$\sum \psi$	$\sum \psi^2$	$\sum \psi^3$	$\sum \psi^4$	$\sum \psi^5$	$\sum \psi^6$	$\sum Y$	$\sum \psi Y$	$\sum \psi^2 Y$	$\sum \psi^3 Y$
1	10,8	8,140	6,64	5,7260	5,12905	4,72189	10,6	7,0312	5,13339	4,03698
6		1	2	5	5	7	2	5	3	2

(4.4) հավասարումների համակարգի լուծման արդյունքում ստացված b_o, b_1, b_2, b_3 գործակիցների արժեքները տեղադրելով (4.2)-ում ստանում ենք.

$$M = -0,04698 + 2,35327\psi - 1,30407\psi^2 - 0,51616\psi^3:$$

(4.5)

Ստացված հավասարման համարժեքությունը ստուգվել է Ֆիշերի չափանիշի միջոցով: Դրա համար որոշվել է փորձարկման և հաշվարկի դիսպերսիաները՝ S_1 -ը և S_2 -ը:

$$S_1^2[M] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M}), \quad \bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i, \quad (4.6)$$

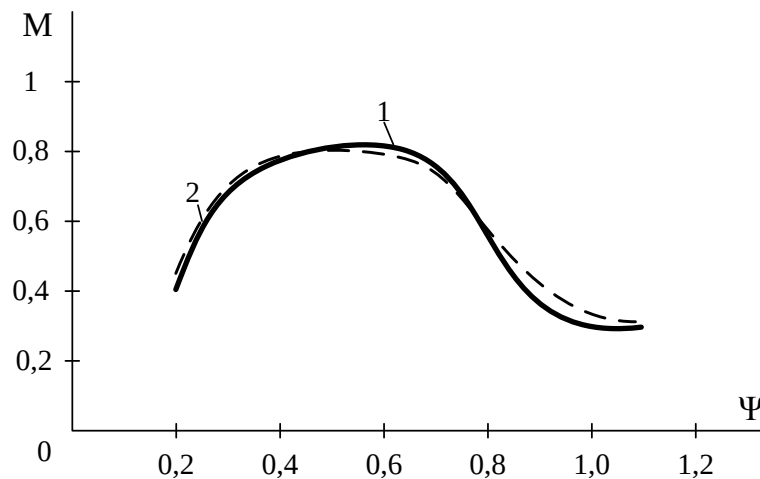
$$S_2^2[M] = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^n (M_i - M_C), \quad (4.7)$$

որտեղ n – ը կատարված փորձերի քանակն է, k – ն՝ ռեգրեսիոն հավասարման գործակիցների քանակն է, M_i – ն M – ի ընթացիկ արժեքն է, M_C – ն՝ M – ի հաշվարկային արժեքը:

$S_1^2[M]$ և $S_2^2[M]$ անհամապատասխանության գնահատման համար հաշվարկվել է Ֆիշերի թիվը.

$$F_C = \frac{S_1^2[M]}{S_2^2[M]} = 5,32 : \quad (4.8)$$

Ֆիշերի հաշվարկային թիվը՝ F_C համեմատվել է տեղեկագրից վերցված ստանդարտ թվի հետ, ինչը հաստատել է դիմադրող մոմենտի համար ստացված հավասարման հավաստիությունը: Ստացված (4.5) կախվածության հավաստիությունը հաստատվել է նաև փորձնական և հաշվարկային տվյալների համեմատման միջոցով (նկ. 4.4).



Նկ. 4.4. Աղացի դիմադրող մոմենտի և թմբուկի պտտման արագության փորձնական (1) և հաշվարկային (2) կորեր

Տվյալների մշակման բլոկում (նկ.4.1) իրականացվում են ներքոնշյալ գործողությունները [81].

1. Համեմատվում են աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտի տվյալ պահի արժեքը (4.5) բազմանդամի միջոցով ստացված արժեքի հետ և, եթե՝

- ստացված տարբերությունը գերազանցում է շեղման թույլատրելի առավելագույն սահմանը ($\Delta M_{\max}$), ապա ազդանշան է ուղարկվում վթարային ռեժիմի ազդարարման հանգույցին,

- ստացված տարբերությունը գտնվում է թույլատրելի սահմանում ($\Delta M_{\min} \leq \Delta M \leq \Delta M_{\max}$), ապա իրավիճակի գնահատման համար որոշվում է կոռելյացիայի գործակիցներն աղացի մոմենտի և նյութի ծավալային խտության, ինչպես նաև լցման աստիճանի միջև և արդյունքների մասին ազդանշան է ուղարկվում անկանոն ռեժիմի ազդարարման հանգույցին,

- ստացված տարբերությունը չի գերազանցում մոմենտի շեղման նվազագույն սահմանը ($\Delta M \leq \Delta M_{\min}$), ապա ազդանշան է ուղարկվում կանոնավոր ռեժիմի ազդարարման հանգույցին:

2. Համեմատվում են բանեցման շարժիչի սնման լարման տվյալ պահին չափված արժեքը տվյալ շարժիչի համար նախապես մուտքագրված արժեքի հետ և, եթե՝

- ստացված տարբերությունը գերազանցում է շեղման թույլատրելի առավելագույն սահմանը ($\Delta U_{\max}$), ապա ազդանշան է ուղարկվում վթարային ռեժիմի ազդարարման հանգույցին,

- ստացված տարբերությունը գտնվում է թույլատրելի սահմանում ($\Delta U_{\min} \leq \Delta U \leq \Delta U_{\max}$), ապա ազդանշան է ուղարկվում անկանոն ռեժիմի ազդարարման հանգույցին,

- ստացված տարբերությունը չի գերազանցում լարման շեղման նվազագույն սահմանը ($\Delta U \leq \Delta U_{\min}$), ապա ազդանշան է ուղարկվում կանոնավոր ռեժիմի ազդարարման հանգույցին:

3. Համեմատվում են բանեցման շարժիչի պտտման մոմենտի տվյալ պահին չափված արժեքը տվյալ շարժիչի համար նախապես մուտքագրված արժեքի և աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտի հետ, եթե՝

- ստացված տարբերությունը գերազանցում է շեղման թույլատրելի առավելագույն սահմանը ($\Delta M_D > \Delta M_{D.\max}$) և/կամ ($M_D \leq M$), ապա ազդանշան է ուղարկվում վթարային ռեժիմի ազդարարման հանգույցին,

- ստացված տարբերությունը գտնվում է թույլատրելի սահմանում ($\Delta M_{D.\min} \leq \Delta M_D \leq \Delta M_{D.\max}$), և ($M_D > M$), ապա ազդանշան է ուղարկվում անկանոն ռեժիմի ազդարարման հանգույցին,

- ստացված տարբերությունը չի գերազանցում շեղման նվազագույն սահմանը ($\Delta M_D \leq \Delta M_{D.\min}$), ապա ազդանշան է ուղարկվում կանոնավոր ռեժիմի ազդարարման հանգույցին:

4. Համեմատվում են բանեցման շարժիչի ստատորի հոսանքի տվյալ պահին չափված արժեքը տվյալ շարժիչի համար նախապես մուտքագրված արժեքի հետ և, եթե՝

- ստացված տարբերությունը գերազանցում է շեղման թույլատրելի առավելագույն սահմանը ($\Delta I > \Delta I_{\max}$), ապա ազդանշան է ուղարկվում վթարային ռեժիմի ազդարարման հանգույցին,

- ստացված տարբերությունը գտնվում է թույլատրելի սահմանում ($\Delta I_{\min} \leq \Delta I \leq \Delta I_{\max}$), ապա ազդանշան է ուղարկվում անկանոն ռեժիմի ազդարարման հանգույցին,

- ստացված տարբերությունը չի գերազանցում ստատորի հոսանքի շեղման նվազագույն սահմանը ($\Delta I \leq I_{\min}$), ապա ազդանշան է ուղարկվում կանոնավոր ռեժիմի ազդարարման հանգույցին:

5. Հաշվվում է սահքը՝ $s = \frac{\omega - \omega_D}{\omega}$ արտահայտության միջոցով:

Օգտագործված են հետևյալ նշանակումները, ω_D - ն՝ շարժիչի սինխրոն արագություն (ռադ/վրկ), p - ն՝ զույգ բևեռների թիվ, ω - ն՝ շարժիչի պտտման արագություն, որը որոշվում է հետևյալ կերպ՝

$$\omega = \frac{2\pi f \beta}{p}, \quad \beta = 0,2 \div 0,35:$$

Կատարվում է սահքի համար ստացված արժեքի գնահատում:

Առաջարկվող հանքաքարի աղացի բանեցման սինխրոն շարժիչի աշխատանքային ռեժիմների հսկման ալգորիթմը հնարավորություն է տալիս անկանոն աշխատանքային ռեժիմների բացահայտման միջոցով ազդարարել շարժիչի աշխատանքային ռեժիմի մասին, իսկ անկանոն աշխատանքի հայտնաբերման պարագայում նպաստել դրանց կանխարգելման համար անհրաժեշտ գործողությունների ձեռնարկման մասին: Էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի վիճակի հսկման ենթահամակարգի առաջարկվող ալգորիթմը կարող է կիրառվել աշխատանքային վիճակի բացահայտման և վթարներ առաջացնող անկանոն ռեժիմների կանխման համակարգի մշակման համար:

4.2. Բանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմներից պաշտպանության միջոցի մշակման ալգորիթմ

Սույն բաժնում առաջարկվում է հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների բացասական հետևանքների կանխման համակարգի կառուցվածքային ալգորիթմ: Ատենախոսության շրջանակում կատարված հետազոտությունները ցույց են տվել, որ անկանոն ռեժիմները կարող են ի հայտ գալ ինչպես շարժիչի ասինխրոն, այնպես էլ սինխրոն աշխատանքային ռեժիմներում: Ելնելով դրանից, անկանոն աշխատանքային ռեժիմներից առաջացած բացասական հետևանքներից պաշտպանությունը պետք է իրականացվի, ինչպես սինխրոն, այնպես էլ ասինխրոն ռեժիմների համար: Նկ. 4.5-ում ներկայացված է բանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմներից պաշտպանության համակարգի կառուցվածքային սխեման:

հոսանքը $(I_f) \quad t_1, t_1 + \Delta_t, t_1 + 2\Delta_t, t_1 + 3\Delta_t, \dots, t_n$ պարբերականությամբ: Չափման արդյունքները փոխանցվում են էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի հսկման ենթահամակարգին: Վերջինս 4.1 բաժնում նկարագրված ալգորիթմով ազդարարում է համակարգի վիճակի մասին տեղեկատվություն, և կրիտիկականին մոտ իրավիճակի բացահայտման դեպքում գործի է դրվում վթարային իրավիճակի կանխման ենթահամակարգը (նկ. 4.6), որի աշխատանքի ալգորիթմը ներկայացված է ստորև:

1. Աշխատանքային ռեժիմի տարբերակման բլոկի միջոցով պարզաբանվում է շարժիչի սինխրոն կամ ասինխրոն ռեժիմում գտնվելու հանգամանքը: Դրա համար ստուգվում է s սահքի համար էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի հսկման ենթահամակարգի միջոցով ստացված արժեքը:

Եթե՝

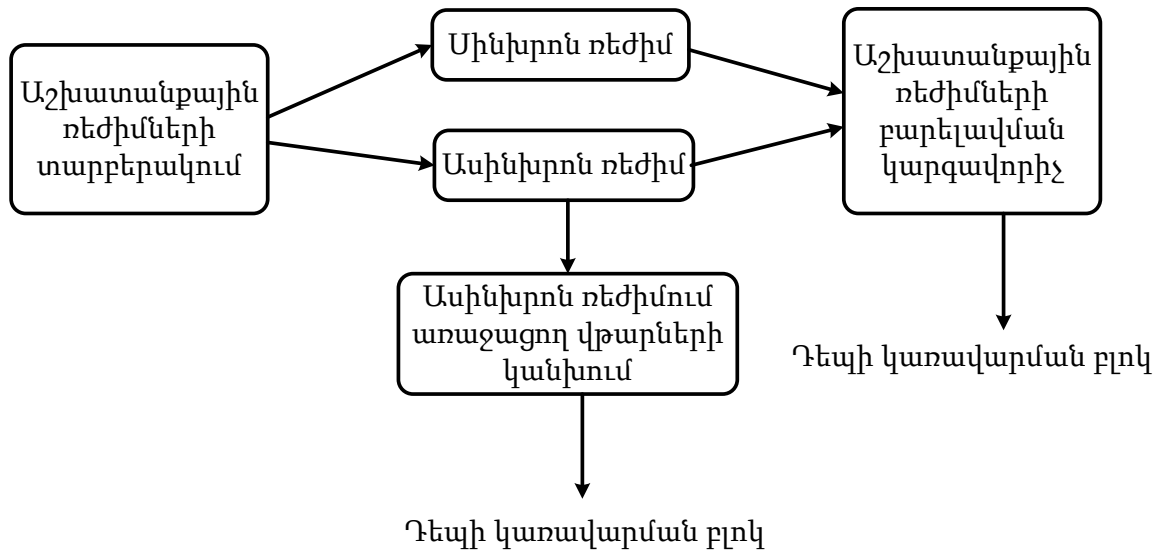
- $s = 0$, ապա շարժիչն աշխատում է սինխրոն ռեժիմում,
- $0 < s \leq 0,05$, ապա շարժիչը մտնում է ասինխրոն ռեժիմ,
- $0,05 < s < 1$, ապա շարժիչն աշխատում է խորն ասինխրոն ռեժիմում:

2. Անկանոն սինխրոն ռեժիմում աշխատող շարժիչի աշխատանքի բարելավման համար համապատասխան ազդանշան և տեղեկատվություն է հաղորդվում աշխատանքային ռեժիմների բարելավման կարգավորիչին, որի նկարագիրը բերված է 3.2 բաժնում:

3. Անկանոն ասինխրոն ռեժիմում աշխատող հանքաքարի էլեկտրաբանեցման շարժիչի վթարային իրավիճակի կանխման համար համապատասխան ազդանշան և տեղեկատվություն է հաղորդվում ասինխրոն ռեժիմում առաջացող վթարների կանխման հանգույցին: Այդ բլոկում իրականացվում է.

- շարժիչի սնման լարման և կրիտիկական լարման (տես բաժին 2.1) համեմատում: Եթե $U < U_K$, ապա ստուգվում է հանքաքարի աղացի բեռնավորման չափը և $\frac{M_A}{M_{Amax}} > 0,25$ պայմանի բավարարման դեպքում ազդանշան է ուղարկվում կառավարման հանգույցին սնման լարման մեծացման և աղացի բեռնաթափման վերաբերյալ,
- ասինխրոն ռեժիմում սինխրոն շարժիչի աշխատելու տևողության որոշում (տես բաժին 2.2) և դրա փոխանցումը կառավարման համակարգին,

- սինխրոն շարժիչի սահուն թողարկման, ինչպես նաև ռևերսի, արգելակման և կանգառի անհրաժեշտության դեպքում ազդանշանի փոխանցում կառավարման համակարգի սահուն թողարկան տեղակայանքին:



Նկ.4.6.Վթարային իրավիճակի կանխման ենթահամակարգի կառուցվածքը

4.3. Եզրակացություններ

1. Առաջարկվել է հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի հսկման ենթահամակարգի մշակման ալգորիթմ, որը հնարավորություն է տալիս համապատասխան տվյալների հավաքագրման, մշակման և համեմատման միջոցով ազդարարել տեղեկատվություն շարժիչի աշխատանքային վիճակի մասին:

2. Մշակվել է հանքաքարի աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտի որոշման էմպիրիկ կախվածություն, որը հնարավորություն է տալիս գնահատել և ազդարարել բանեցման շարժիչի աշխատանքային վիճակի մասին տեղեկատվություն՝ պայմանավորված ներաղացային բեռի փոփոխությամբ:

3. Առաջարկվել է բանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմներից պաշտպանության միջոցի մշակման ալգորիթմ, որը հնարավորություն է տալիս կրիտիկականին մոտ իրավիճակների հայտնաբերման դեպքում բարելավել սինխրոն շարժիչի աշխատանքային ռեժիմները:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

1. Սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմներին և դրանցից պաշտպանության հնարավորություններին նվիրված հայտնի աշխատությունների վերլուծության արդյունքում հիմնավորվել է հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների հետազոտման և դրանց կանխման հիմնական ուղղությունները:

2. Հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի շահագործման արդյունավետության մեծացման սկզբունքների վերլուծության միջոցով և անկանոն աշխատանքային ռեժիմներից պաշտպանության անհրաժեշտությունից ելնելով բացահայտվել են սինխրոն շարժիչների տեխնիկական վիճակի վրա ազդող տեխնոլոգիական և էներգետիկ գործոնները:

3. Ստացվել են շարժիչի փաթույթներում ջերմաստիճանի փոփոխման գնահատման կախվածություններ, որոնք հնարավորություն են տալիս բեռի մոմենտի տարբեր արժեքների դեպքում բացահայտել շարժիչի ասինխրոն աշխատանքային ռեժիմների թույլատրելի տևողությունը փաթույթների գերտաքացման կանխման նպատակով:

4. Մշակվել է հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի սինխրոն ռեժիմից դուրս գալու կամ ասինխրոն թողարկման հետևանքով առաջացող ասինխրոն ռեժիմների հետազոտման մոդել, որը թույլ է տալիս բացահայտել շարժիչի կանոնավոր աշխատանքի ապահովման համար անհրաժեշտ սնման լարման փոփոխման հնարավոր միաջակայքը և կանխել շարժիչի անթույլատրելի վթարային ռեժիմներում հայտնվելու հնարավորությունները:

5. Մշակվել է էլեկտրաբանեցման շարժիչի ներքին անկյան և ստատորի հոսանքի վրա հանքաքարի աղացի բեռի փոփոխման ազդեցության գնահատման մոդել՝ չորս հարմոնիկաների և ռոտորի իներցիայի հաստատունի տարբեր արժեքների համար: Յուրյց է տրված, որ բեռի մոմենտի բարձր հարմոնիկներում θ անկյունը և ստատորի հոսանքն ենթարկվում են աննշան տատանումների: θ անկյան անթույլատրելի տատանումները նկատելի են դիմադրող մոմենտի առաջին հարմոնիկում:

6. Ստացվել են սինխրոն և ասինխրոն ռեժիմներում աշխատող աղաց-շարժիչ էլեկտրամեխանիկական համակարգի անցումային պրոցեսների գնահատման հաճախականային բնութագրեր և դրանց հիման վրա առաջարկվել է շարժիչի աշխատանքային ռեժիմների բարելավման կարգավորիչ:

7. Մշակված մեթոդների, մոդելների և ալգորիթմների կիրառմամբ առաջարկվել է հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի հսկման ենթահամակարգ և անկանոն աշխատանքային ռեժիմներից պաշտպանության միջոց, որը հնարավորություն է տալիս շարժիչի աշխատանքային ռեժիմների բացահայտման արդյունքում կանխել վթարների առաջացման հնարավորությունները:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоатомиздат, 1987.- 648 с.
2. Stiebler M. Wind Energy Systems for Electric Power Generation.- SpringerVerlag Berlin, Heidelberg. 2008.- 212 p.
3. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 240 с.
4. Բաղդասարյան Մ.Ք. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացի էլեկտրասպառման արդյունավետության մեծացման մեթոդներ.- Եր. ՀՊՃՀ, 2005. - 198 էջ:
5. Багдасарян М.К. Система управления процессом измельчения минерального сырья.- LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 184 с.
6. Hughes A. Electric Motors and Drives Fundamentals, Types and Applications. -2006.- 410 p.
7. Մնոյան Տ.Ն. Հանքաքարի մանրացման գործընթացն ապահովող սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների և դրանցից պաշտպանության հնարավորությունների մասին // ՀՃԱ Լրաբեր.- 2017. – Հատ. 14, №4. – էջ 547 – 551:
8. Բաղդասարյան Մ.Ք., Մնոյան Տ.Ն. Հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման սինխրոն շարժիչի անկանոն աշխատանքային ռեժիմների մասին // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու. - 2017. – Մաս 2. - էջ 525-528:
9. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. – М.: Энергия, 1977. – 425 с.
10. Влияние качества электроэнергии на работу электроприемников. <https://www.ruselt.ru/information/vliyanie-kachestva-elektroenergii-na-rabotu-elektropriemnikov/>
11. Защита двигателей. <http://mydocx.ru/3-37976.html>
12. Вершинин П.П., Хашпер Л.Я. Применение синхронных двигателей в металлургии.- М.: Металлургия, 1974. - 272 с.

13. Павлюк К., Беднарек С. Пуск и асинхронные режимы синхронных двигателей / Пер. с польск.- М.: Энергия, 1971. - 272 с.
14. Дадабаев Ш.Т. Анализ пусковых режимов крупных вертикальных синхронных двигателей насосных агрегатов // Четвертая Международная научно-практическая конференция “Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии”. Екатеринбург, 26-28 мая, 2015.- С 160-163.
15. Казовский Е.Я., Данилевич Я.Б., Кашарский Э.Г., Рубисов Г.В. Анормальные режимы работы крупных синхронных машин.-М.: Наука, 1969.- 429 с.
16. Arun Kumar Datta, Manisha Dubey, and Shailendra Jain. Modelling and Simulation of Static Excitation System in Synchronous Machine Operation and Investigation of Shaft Voltage // Hindawi Publishing Corporation Advances in Electrical Engineering.- 2014.- P. 1-9.
17. Чупейкина Н.Н., Удодова Э.О. Виды отказов синхронных машин, их признаки, причины и методы устранения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).- 2006. - 49 с.
18. MARIAN HYLA. Impact of voltage dips on the operations of a high-power synchronous motor with a reactive power controller // Silesian University of Technology: Mining - Informatics, Automation and Electrical Engineering.-2016. (54), №2 - P.5-13 [text in English].- P. 55-64 [Polish text].
19. Hyla M. Power supply unit for the excitation of a synchronous motor with a reactive power regulator// Mining - Informatics, Automation and Electrical Engineering.- 2015.- № 1 (521). - P. 57-61.
20. Кокоулин Д.Н., Шуин В.А. Исследование алгоритма устройства блокировки релейной защиты при качаниях // Вестник ИГЭУ.- 2012.- Вып. 1.- С. 1-5.
21. Малый А.П., Дони Н.А., Шурупов А.А. Расчет уставки блокировки дистанционной защиты при качаниях по скорости изменения сопротивления // Релейная защита и автоматизация. – 2014 - № 3. - С. 36-39.
22. Михалев С.В. Система поддержания устойчивости работы синхронных электродвигателей 6-10 кВ: Дис. ... канд. техн. наук.- СПб., 2014. - 121с.

23. «НПП Экра». Автоматика ликвидации асинхронного режима" / В. Лопухов, С. Иванов и др. // Новости электротехники.- 2010. -№ 5. – С. 48-53.
24. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах.- М.: Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.
25. Joksimovic Gojko M., Penman Jim. The Detection of Inter-Turn Short Circuits in the Stator Windings of Operating Motors // IEEE Transactions on Industrial Electronics.- 2000. - Vol. 47, № 5. - P. 1078-1084.
26. Suhk-Hoon Suh, Kwang-Joon Woo, Serial Communication-Based Fault Diagnosis of a BLDC Motor Using Bayes Classifier // International Journal of Control, Automation, and Systems. – 2003.- Vol. 1, № 3. - P. 308-314.
27. Selvaganesan N., Saraswathy Ramya R. Fuzzy Fault Detection for Permanent Magnet Synchronous Generator // ICTACT Journal on Soft Computing: Special Issue on Fuzzy in Industrial and Process Automation.- July 2011.- Vol. 2, issue 1.- P. 224-232.
28. Хандакжи К.А. Исследование аварийных режимов преобразователя тиристорного электропривода механизма подъёма на математической модели // Электромашиностроение и электрооборудование: Республиканский межведомственный научно-технический сборник.- 1998.- №50.– С. 33-35.
29. Декопов Б.И., Загриновский П.И., Куперберг А.Д. Проектирование электроснабжения объектов горно-обогатительных предприятий. – М.: Недра, 1989. – 176 с.
30. Багдасарян М.К., Аракелян Д.К. Исследование влияния отклонения напряжения на реактивную мощность синхронного двигателя // Вестник НПУА: Электротехника, энергетика.- 2016.- №1.- С. 27-36.
31. Бондаренко А.А. Анализ условий самозапуска крупных синхронных двигателей при глубоких снижениях напряжения в питающей сети // Тр. Моск. энерг. ин-та. – 1981.- Вып. 521. - С.8-14.
32. Vagati A. The synchronous reluctance solution: A new alternative in AC drives // IEEE. - 1994. - P. 1-13.

33. Иванченко Ф.К., Красношапка В.А. Динамика металлургических машин. - М.: Металлургия, 1983. - 294 с.
34. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. - М.: Энергоиздат, 1981. - 576 с.
35. Багдасарян М.К., Мноян Т.Н., Алавердян С.С. Исследование асинхронного режима работы приводного синхронного двигателя рудоразмольной мельницы при отклонениях напряжения в сети // Вестник НПУА: Электротехника, энергетика.- 2016.- №2.- С.28-34.
36. Грейсх М.В., Зытнер Д.Я., Писарский Я.А. Электрооборудование и автоматизация обогатительных и агломерационных фабрик. - Л.: Металлургия, 1971. - 240 с.
37. Турышев Б.Ф., Хронусов Г.С. Устойчивость работы стационарных электроустановок шахты при отклонениях и колебаниях напряжения в сети // Известия высших учебных заведений. Горный журнал.- 1971.- № 3. - С. 138-142.
38. Сергеев П.С., Виноградов Н.В., Горяинов Ф.А. Проектирование электрических машин. - Изд. 3-е, переработ. и доп. - М.: Энергия, 1970. - 632 с.
39. Минакова Т.Е. Динамика старения изоляции электрических машин // Nauka-rastudent.ru. – 2015. – No. 11 (23) / [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://nauka-rastudent.ru/23/3048/>
40. Кривоносов В.Е., Василенко С.В. Влияние запыленной среды на срок службы обмоток статора асинхронных двигателей // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ.- 2015.- № 6.- С. 35–40.
41. Бабичев С.А. Комплексный анализ условий эксплуатации изоляции обмоток статоров электродвигателей газоперекачивающих агрегатов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2009.- Вып. 2.- С. 1-8.
42. Воробьев В.Е., Кучер В.Я. Прогнозирование срока службы электрических машин. - СПб.: СЗТУ, 2004. - 56 с.
43. Яманов С.А., Яманова Л.В. Старение, стойкость и надежность электрической изоляции. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 176 с.

44. Baghdasaryan M., Gasparyan A., Arakelyan D. Analyzing the Main Factors Affecting The Reactive Power of Induction Motors Used in The Production of Metallic Concentrates // International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES).- 2016. - Vol. 4, issue 9.- P. 36-43.
45. Мнотян Т.Н. К исследованию нагрева обмотки синхронного двигателя рудоразмольной мельницы, возникающего в асинхронном режиме // Вестник НПУА: Электротехника, энергетика.- 2017.- №1.- С.49-55.
46. Марюта А.Н. Модель фрикционных колебаний центральной части нагрузки барабанных мельниц // Изв вузов. Горный журнал.- 1985.- №3.- С. 106-112.
47. Высоковольтные устройства плавного пуска типа SSM.
<http://www.deltronic.info/content/files/Soft Starters VV.pdf>
48. Троп А.Е. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. - М.: Недра, 1986. - 303 с.
49. Линч А.Дж. Циклы дробления и измельчения // Моделирование, оптимизация, проектирование и управление.- М.: Недра, 1981. - 243 с.
50. Пилов П.И., Прядко Н.С. Снижение энергопотребления в замкнутых циклах тонкого измельчения руд // Metallurgical and Mining Industry. - 2013. - №6. - С. 75 - 80.
51. Прядко Н.С. Моделирование процесса струйного измельчения на основе акустического мониторинга // Техническая механика.- 2012. - №3.- С.179 - 184.
52. Pryadko N.S. Optimization of fine grinding on the acoustic monitoring basis // Power Engineering, Control & Information Technologies in Geotechnical Systems. -Taylor & Francis Group, London, 2015. - P.99 - 108.
53. Optimization of the Cadia Hill SAG Mill Circuit/ S. Hart, W. Valery, B. Clements // International Conference on Autogenous and Semiautogenous Grinding Technology (SAG 2001), 30 September - 3 October, 2001.- Vancouver, BC, Canada, 2001.- Vol. 1. - P. 11-30.

54. Herbst J.A., and Lichter J.K. Use of multiphysics models for the optimization of comminution operations // *Advances in Comminution* / S. Komar Kawatra, (Ed.).- SME, 2006.- P. 193-204.
55. Jones S.M. Autogenous and semi-autogenous mills 2005 update // *International Conference on Autogenous and Semiautogenous Grinding Technology (SAG 2006)*, 23-27 September, 2006.- Vancouver, BC, Canada, 2006.- Vol. 1. - P. 398-425.
56. McIvor R.E. Effects of speed and liner configuration on ball mill performance // *Mining Engineering*.- 1983, June.- Vol. 35, №. 6.- P. 617-622.
57. Важнов А.И. Переходные процессы в машинах переменного тока. - Л.: Энергия, 1980. - 256 с.
58. Багдасарян М.К., Мноян Т.Н. Оценка влияния внутримельничной нагрузки на рабочие характеристики приводного двигателя // *Вестник НПУА: Электротехника, энергетика*.- 2017.- №2.- С. 22-33.
59. Золотков Н.Ф., Дёмин В.Т., Концевой А.В., Смирнов С.В. Модернизация и развитие систем автоматизированного контроля и управления // *Горный журнал*.- 2012.- №10.- С. 91-96.
60. Пат. 2242080 РФ. Способ управления возбуждением синхронной машины / Б.Н. Абрамович, А.А. Круглый, В.А. Медведев, Д.А. Устинов. Приоритет изобретения 28 ноября. 2002 г.
61. Абрамович Б.Н., Круглый А.А. Возбуждение, регулирование и устойчивость синхронных двигателей.- Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-е, 1983.- 128 с.
62. Абрамович Б.Н., Круглый А.А., Устинов Д.А. Электромеханические комплексы с синхронными двигателями. Возбуждение, регулирование, устойчивость.- Palmarium Academic Publishing. Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012.- 370 с.
63. Богатиков В.Н., Кулаков А.Г. Исследование агрегата мокрого измельчения с замкнутым циклом как объекта автоматического управления // *Информационные технологии в региональном развитии: Сборник научных трудов ИИММ КНЦ РАН*.- Выпуск IV.- Апатиты, 2004.- С. 80-91.

64. Устинов Д.А., Коновалов Ю.В. Оптимизация режима пуска приводов рудоразмольных мельниц горно-обогатительных комбинатов // Обогащение руд.- 2013.- 2 (344).- С 42-45.
65. Прядко Н.С., Стрельников Г.А. Информационные технологии для управления тонким измельчением // Техническая механика. – 2014. – №4. – С. 118 - 125.
66. Анхимюк В.Л. Теория автоматического управления. – Минск: Высшейшая. шк., 2002. – 352 с.
67. Dorf R. C., Bishop R. Modern Control Systems. Addison-Wesley Publishing Co., Reading, MA, 2007. – 1046 p.
68. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы.- СПб.: Питер, 2005. – 336 с.
69. Ким Д.П. Теория автоматического управления.Том 2. М.: Физматлит, 2004. – 464 с.
70. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения: Полное руководство пользователя. – М.: СОЛОН-Пресс, 2002. – 768 с.
71. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MatLAB: Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 475 с.
72. Li Y., Ang K.H., Chong G.C.Y. Patents, Software, and Hardware for PID control: an overview and analysis of the current art // IEEE Control Systems Magazine.- Feb. 2006.- P. 42-54.
73. Ang K.H., Chong G., Li Y. PID control system analysis, design, and technology // IEEE Trans. on Control Systems Technology.- July 2005.- Vol. 13, № 4.- P. 559-576.
74. Денисенко В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации. Ч. 1// Современные технологии автоматизации. – 2007. – №4. – С. 86-97.
75. Коварский Е.М., Янко Ю.И. Испытание электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 317 с.
76. Жерве Г.К. Промышленное испытание электрических машин. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 324 с.
77. Черный А.П. Структура системы функциональной диагностики электрических машин электроприводов // Наукові праці Донецького національного технічного

- університету. Серія: “Електротехніка і енергетика”. – Донецьк: ДонНТУ, 2003. – Вып. 67. – С. 109-112.
78. Penman J., Sedding H.G., Lloid B.A., and Fink W.T. Detection and location of inter-turn short circuits in the stator windings of operating motors // Proceedings of IEEE Transactions on Energy Conversion. – 1994. – Vol. 9, № 4. – P. 652-658.
 79. Joksimovic Gojko M. and Penman Jim. The Detection of Inter-Turn Short Circuits in the Stator Windings of Operating Motors // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2000. – Vol. 47, № 5. – P. 1078-1084.
 80. Գյուլի արտոնագիր № 1768 A2. Հանքաքարի մանրացման փակ ցիկլով տեխնոլոգիական գործընթացի ավտոմատ կառավարման եղանակ / Մ.Ք. Բաղդասարյան, Վ.Կ. Համբարյան. գրանցվել է 15.06.2006:
 81. Багдасарян М.К. Мноян Т.Н., Саргсян С.В. Способ контроля аномальных режимов синхронного приводного двигателя рудоразмольной мельницы // Евразийский союз ученых. – 2018. – №4 (49). – С. 6-8.
 82. Inoue, T., K. Okaya. Grinding mechanism of centrifugal mills - A batch ball mill simulator, International Journal of Mineral Processing. – 1996, 44-45. – P 425-435.
 83. Herbst J.A., and Lichter J.K. Use of multiphysics models for the optimization of comminution operations // Advances in Comminution / S. Komar Kawatra (Ed.). – SME, 2006.- P. 193-204.
 84. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1985. – 285 с.
 85. Техническая документация: Руководство по монтажу, эксплуатации и техническому обслуживанию. Клиент: компания “КАЗАХМЫС”, медный проект бозшаколь, Казахстан. Касательно: ETT-DT-1568_2010 / перевод: Н. Васильченко.- 2011. – 50 с.
 86. Nordell L.K., Potapov A.Y., Herbst J.A. Comminution simulation using discrete element method (DEM) Approach - From single particle breakage to full-scale sag mill operation // International Conference on Autogenous and Semiautogenous Grinding Technology, 30 September-3 October, 2001.- Vancouver, BC, Canada, 2001.- Vol. 4.- P. 235-251.

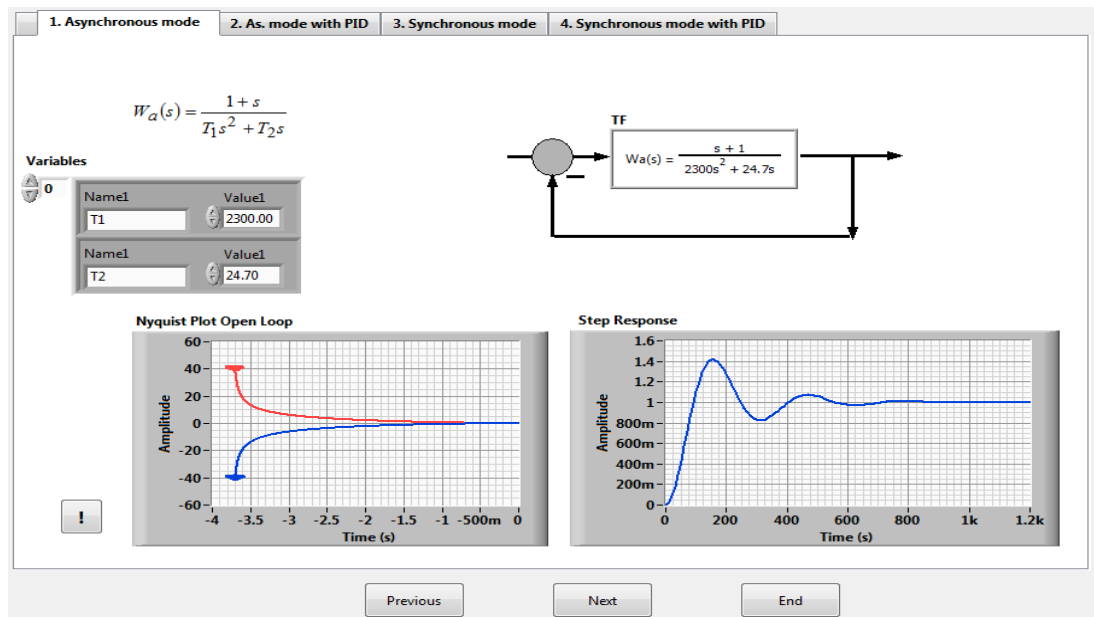
87. Багдасарян М.К. Модель формирования момента сопротивления, создаваемого рудоразмельной мельницей // Проблемы прикладной механики.- Тбилиси, 2002.- №1(6).- С.58-61.
88. Багдасарян М.К. К вопросу разработки модели активной мощности, потребляемой рудоразмельной мельницей // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер.ТН.- 2002. – Т. 55, № 1.- С. 84-88.
89. Albert J.H. Bayesian estimation of the polychoric correlation coefficient // Journal of Computation and Simulation.- 1992.- Vol. 44.- P. 47-61.
90. Drasgow F. Polychoric and polyserial correlations / L. Kotz, N.L. Johnson (Eds.) // Encyclopedia of Statistical Sciences.- New York, 1988.- Vol. 7.- P. 69-74.
91. Baghdasaryan M., Mnoyan T. Modeling the Moment of Resistance Generated by an Ore-Grinding Mill // World Academy of Science, Engineering and Technology Conference Proceeding, August 11-12, 2016.- Barcelona Spain, 2016.- P.1843-1846.
92. Andersen E.B. Latent regression analysis based on the rating scale model // Psychology Science. - 2004.- 46(2). - P. 209-226.

Հավելված

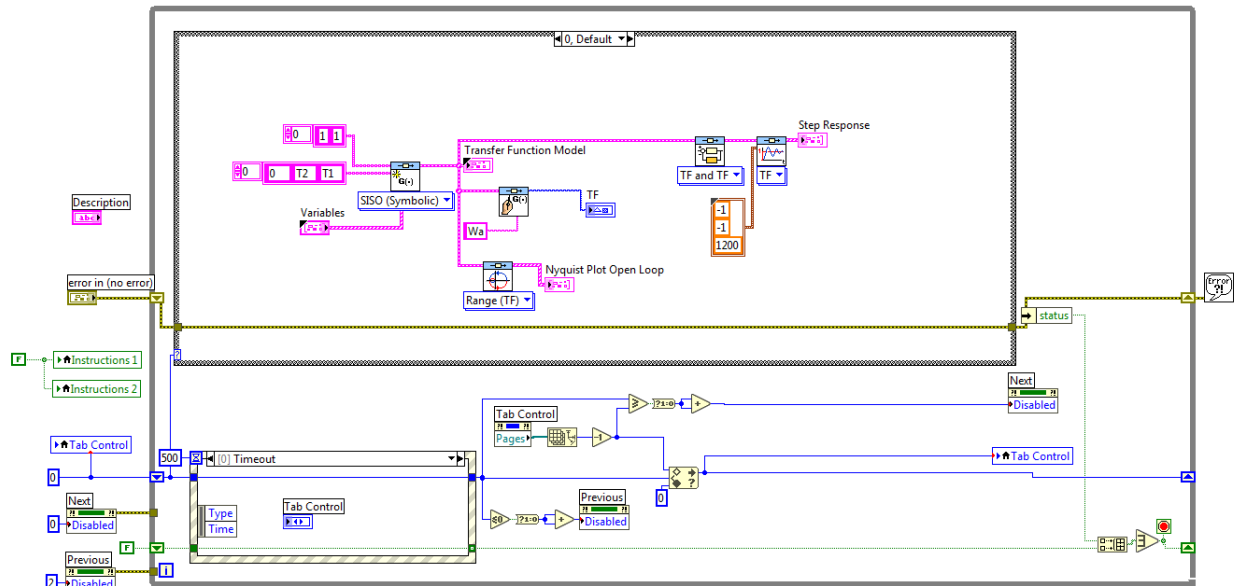
Հաճախային բնութագրերի դիտարկման, համակարգի կայունության գնահատման և կարգավորիչի մշակման ինտերֆեյս LabVIEW միջավայրում

1. Ասինխրոն ռեժիմի դեպքում բերված է համակարգի կառուցվածքային սխեման, բաց համակարգի Նայքվիստի կորը և փակ համակարգի ժամանակային բնութագիրը համապատասխան T1 և T2 տվյալների դեպքում:

Ինտերֆեյսի դիմային վահանակ

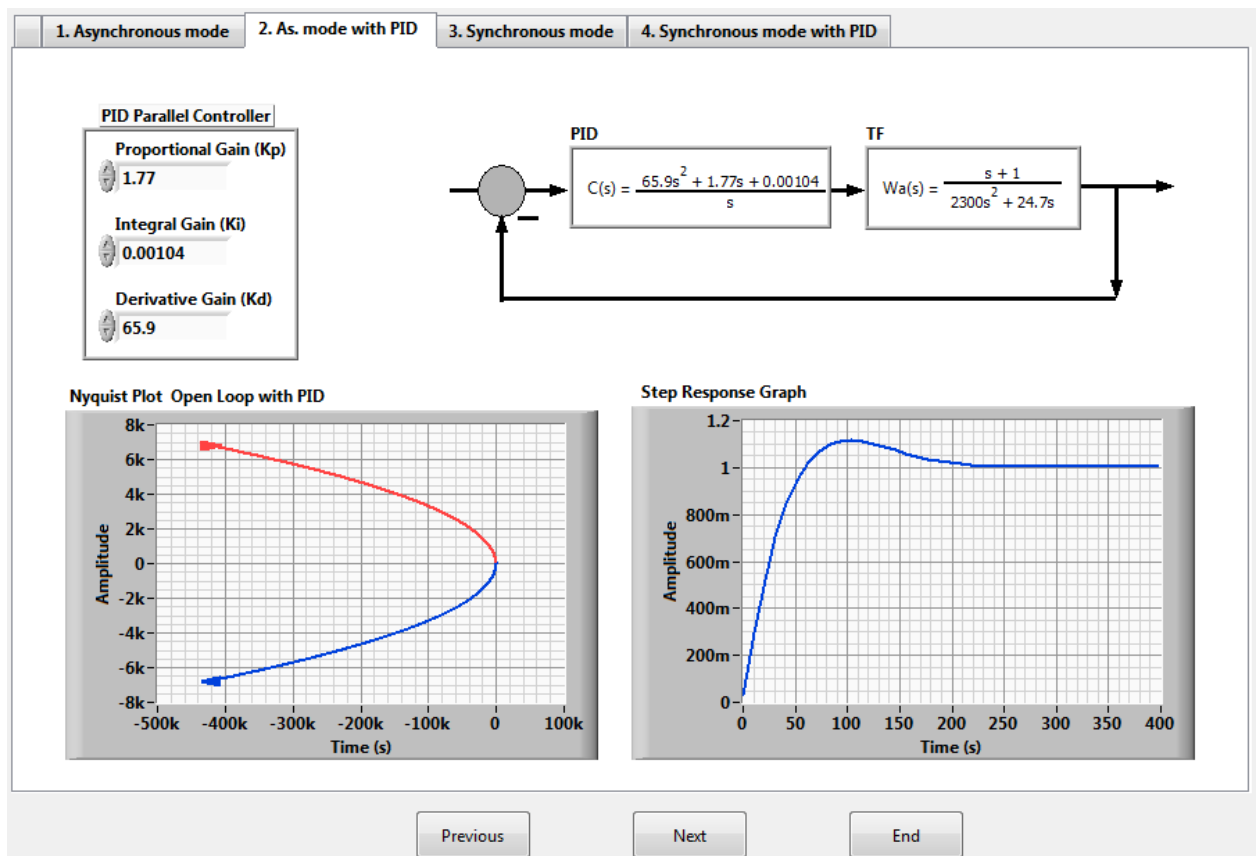


Ծրագրային հատված

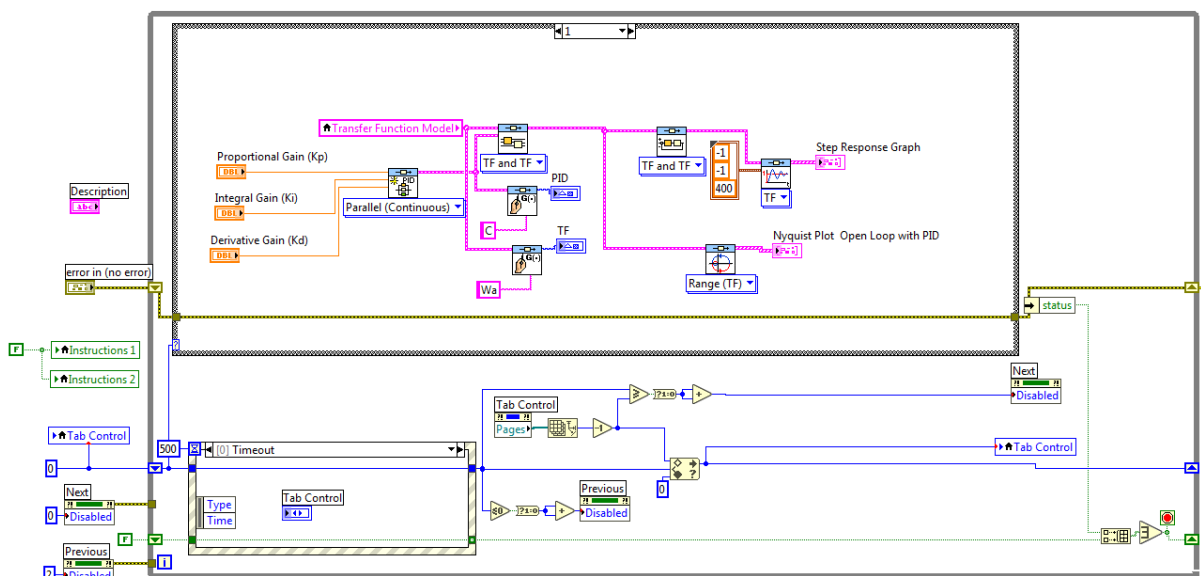


2. Նախագծվել է ՀԻԴ կարգավորիչ, որի արդյունքում բերված են բաց համակարգի Նայքվիստի կորը և ժամանակային բնութագիրը՝

Ինտերֆեյսի դինային վահանակ

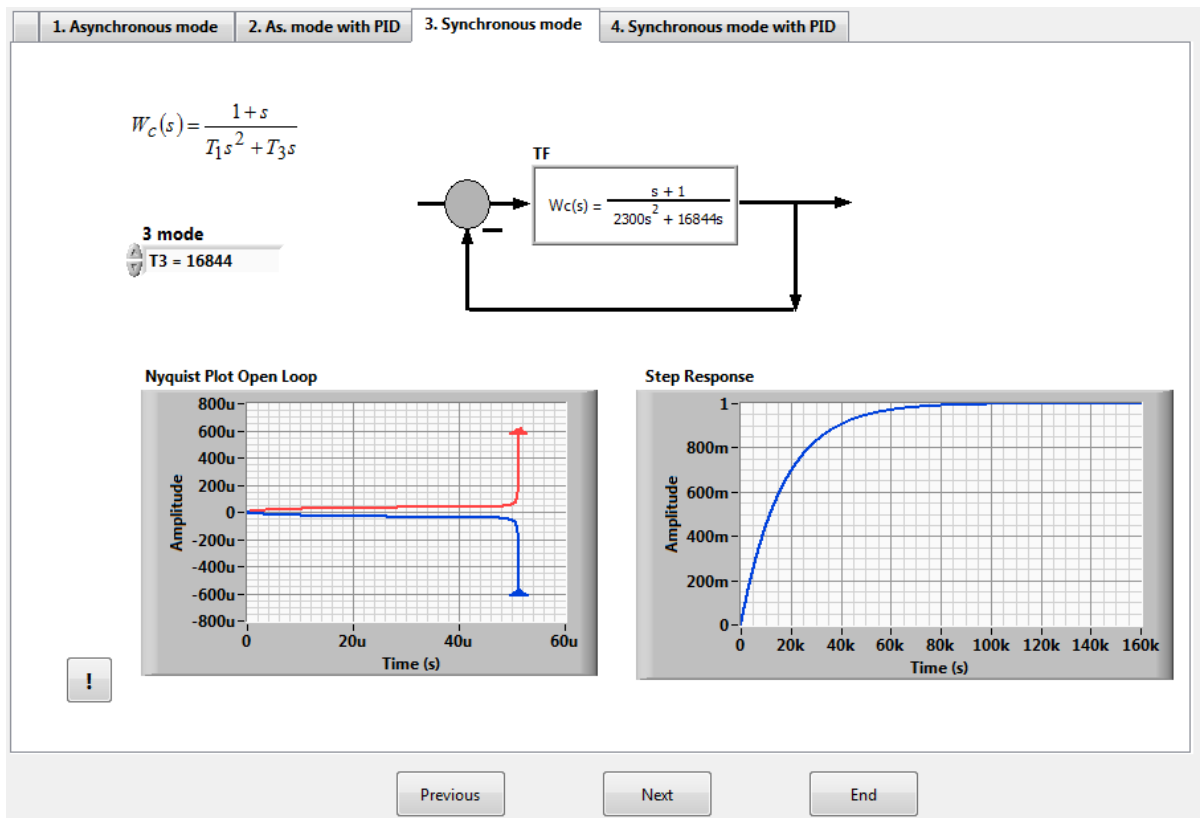


Ծրագրային հատված

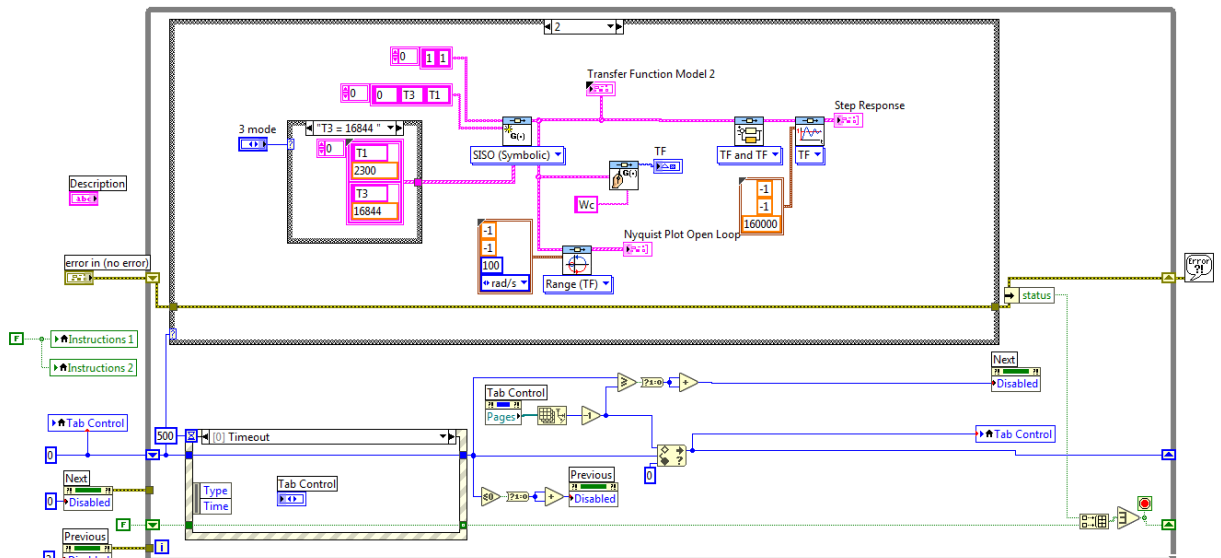


3. Սինխրոն ռեժիմի անվանական սնման լարման դեպքում ($T_3=16844$), բերված է համակարգի կառուցվածքային սխեման, բաց համակարգի Նայքվիստի կորը և փակ համակարգի ժամանակային բնութագիրը համապատասխան T_1 և T_3 տվյալների համար:

Ինտերֆեյսի դիմային վահանակ

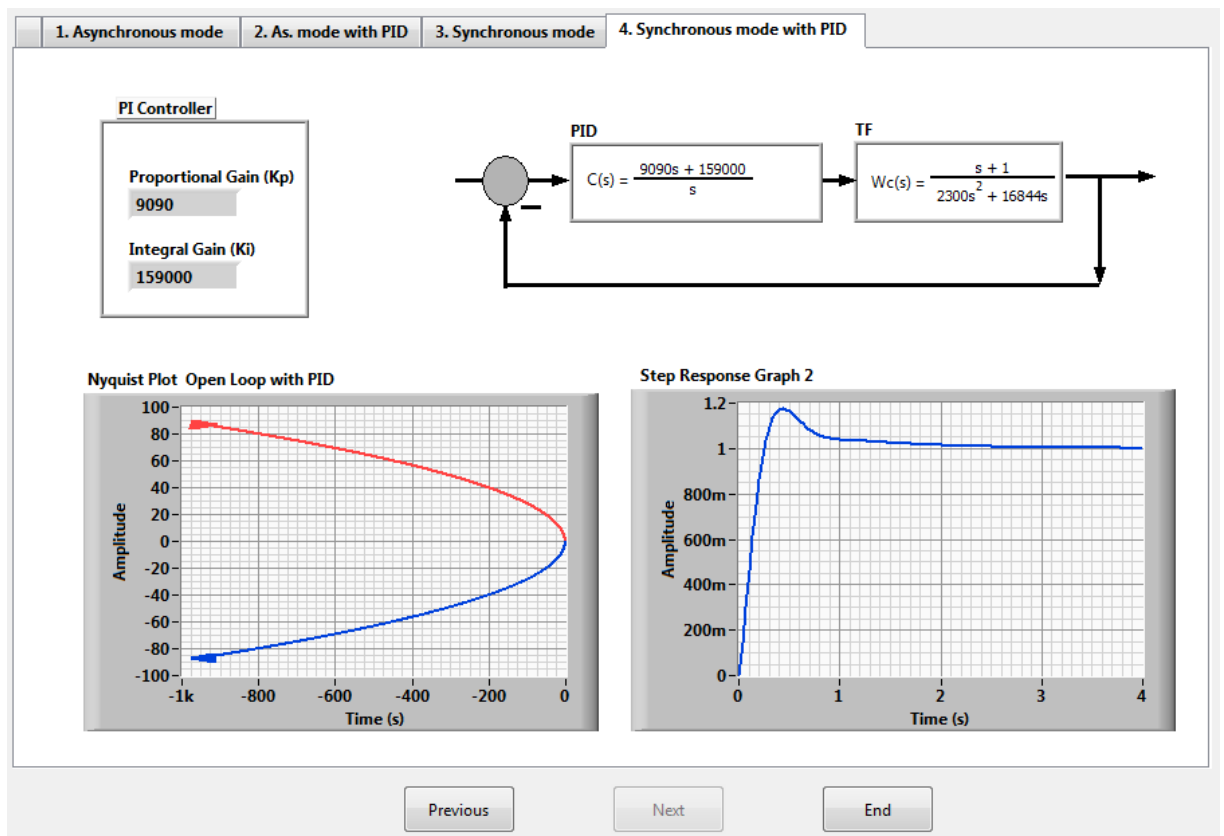


Ծրագրային հատված

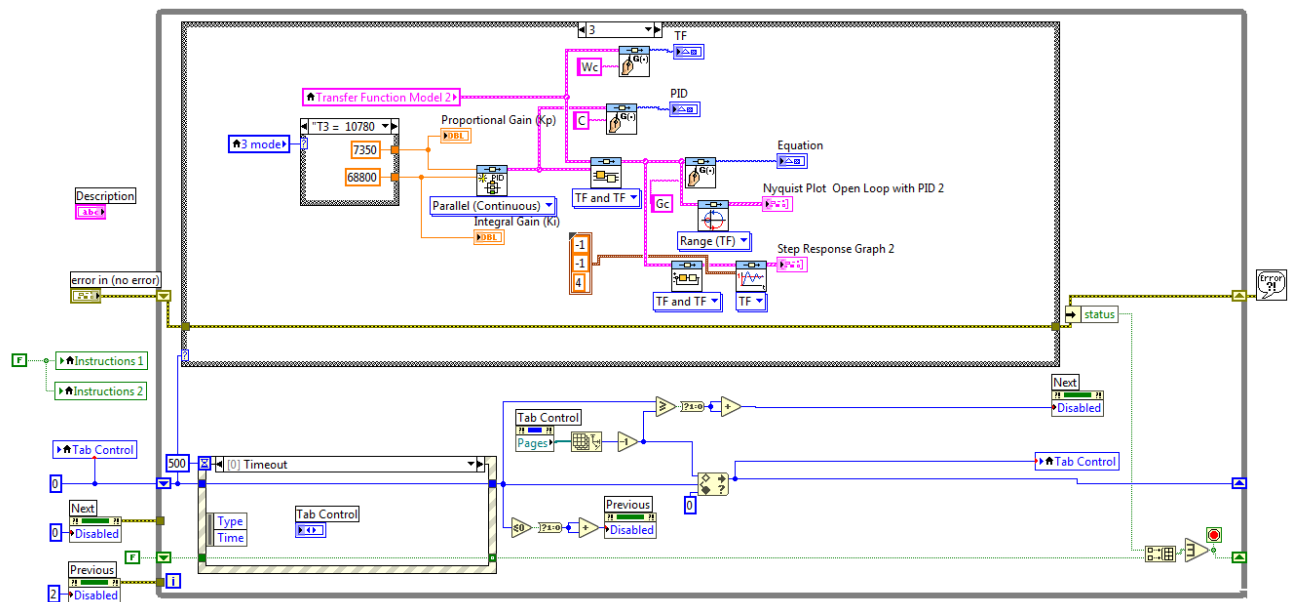


4. Նախագծվել է ՀԻ կարգավորիչ, որի արդյունքում բերված են բաց համակարգի Նայքվիստի կորը և ժամանակային բնութագիրը՝

Ինտերֆեյսի դիմային վահանակ

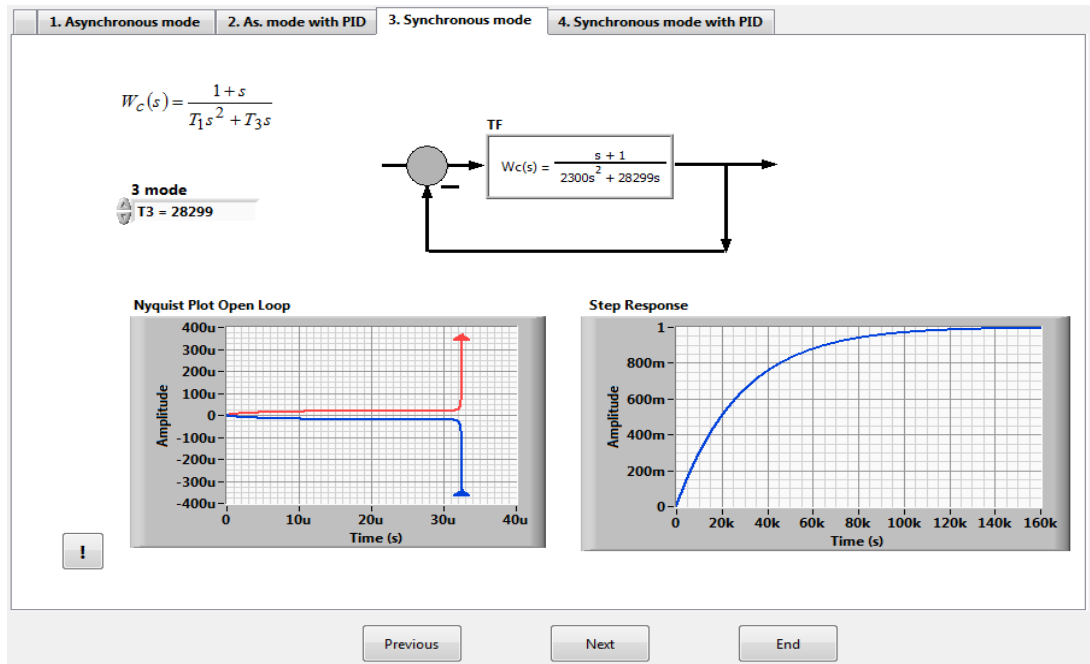


Ծրագրային հատված



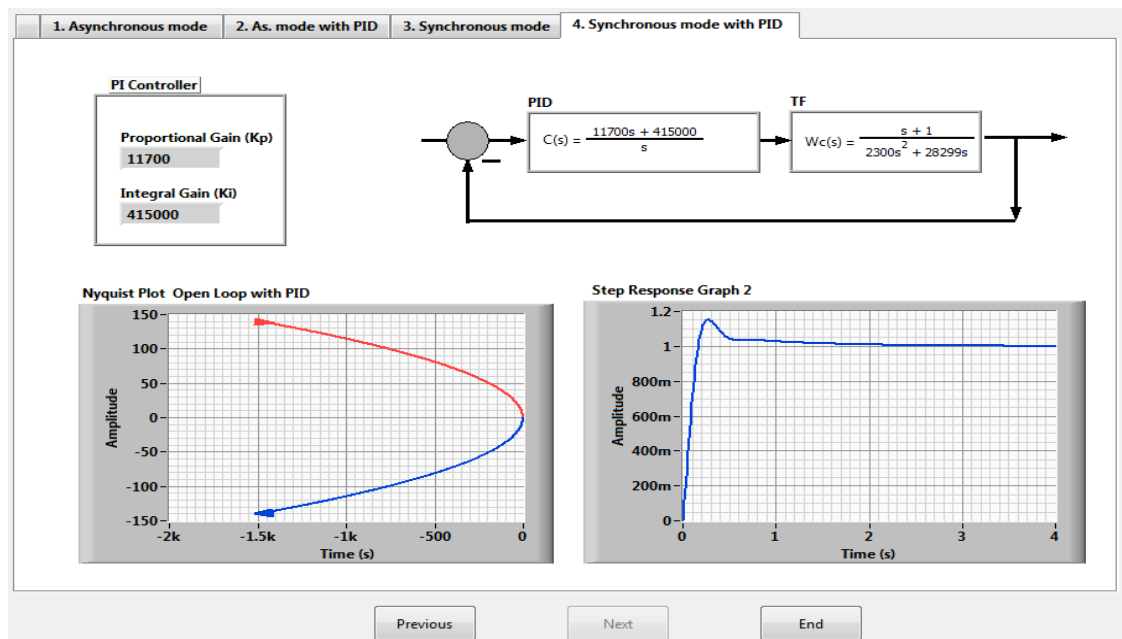
5. Սինխրոն ռեժիմի անվանական սնման լարման դեպքում ($T3=28299$), բերված է համակարգի կառուցվածքային սխեման, բաց համակարգի Նայքվիստի կորը և փակ համակարգի ժամանակային բնութագիրը համապատասխան $T1$ և $T3$ տվյալների համար:

Ինտերֆեյսի դիմային վահանակ



6. Նախագծվել է ՀԻ կարգավորիչ, որի արդյունքում բերված են բաց համակարգի Նայքվիստի կորը և ժամանակային բնութագիրը՝

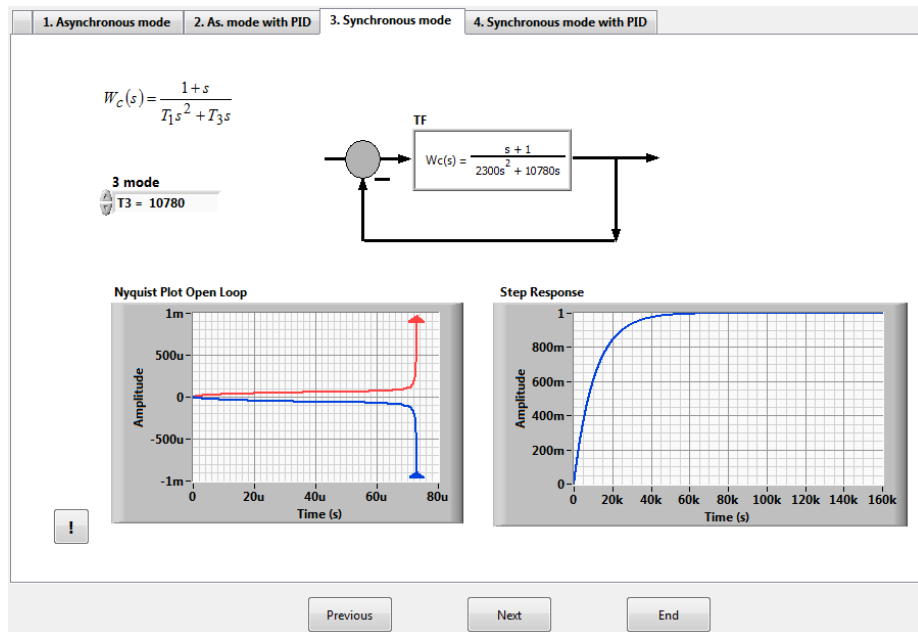
Ինտերֆեյսի դիմային վահանակ



7. Սինխրոն ռեժիմի անվանական սնման լարման դեպքում (T3=10780), բերված է համակարգի կառուցվածքային սխեման, բաց համակարգի Նայքվիստի կորը

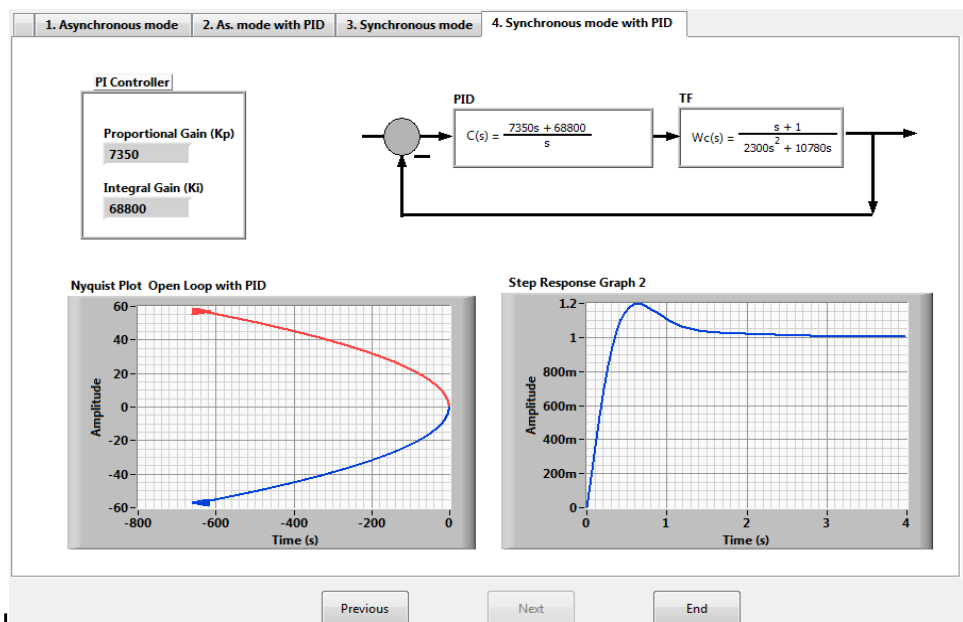
և փակ համակարգի ժամանակային բնութագիրը համապատասխան T_1 և T_3 տվյալների համար:

Ինտերֆեյսի դիմային վահանակ



8. Նախագծվել է ՀԻ կարգավորիչ, որի արդյունքում բերված են բաց համակարգի Նայքվիստի կորը և ժամանակային բնութագիրը՝

Ինտերֆեյսի դիմային



վահանակ