

Ն.Ն. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՄԵԼՔՈՆՅԱՆ, Ռ.Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՆՊԱՏԱԿՆԵՐՈՎ ԷՆԵՐԳԻԱՑԻ ԲԱԺՆԱԶԱՓԱՑԻՆ ՓՈԽԱՆՑՈՒՄՈՎ ՄՆՄԱՆ ԱՂՔՑՈՒՐՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

Վերլուծված են էներգիայի բաժնաչափային փոխանցմամբ կերպափոխչի աշխատանքային ռեժիմները հաճախա-իմպուլսային կարգավորման (ՀԻԿ) դեպքում: Արտածված են ՀԻԿ ռեժիմում անցողիկ և ստատիկ բնութագծերը, գնահատված են ելքային հոսանքի բաբախումները միջկոմուտացիոն միջակայքերում՝ կախված կերպափոխչի աշխատանքային ռեժիմներից: Ստացված են կերպափոխչի մաթեմատիկական մոդելը և մոտարկված անալիտիկ արտահայտությունները, որոնք հնարավորություն են տալիս դիտարկելու աշխատանքային բոլոր ռեժիմները և ընտրելու սխեմայի հիմնական տարրերը:

Առանցքային բառեր. էլեկտրատեխնոլոգիական տեղակայանքներ, բաժնաչափային կոնդենսատոր, տիրստորա-կոնդենսատորային կերպափոխիչ, իմպուլսային կարգավորիչ, հաճախա-իմպուլսային կարգավորում:

Ներածություն. Ժամանակակից էլեկտրատեխնոլոգիայի ներդրումն արդյունաբերության մեջ՝ բարձրարդյունավետ տեխնոլոգիական գործընթացների օգտագործմամբ, անօգուտ է՝ առանց մասնագիտացված սնման աղբյուրի ստեղծման: Էլեկտրատեխնոլոգիական սարքերի բեռների հոսանքի և լարման խոր կարգավորման ու կայունացման անհրաժեշտությունը խիստ պահանջներ է առաջադրում սնման աղբյուրի էներգետիկ և դինամիկ բնութագրերին [1–3]:

Գործող կերպափոխիչների էլեկտրատեխնոլոգիական նպատակներով հարմարեցումը հնարավորություն չի տալիս օգտվելու նոր տեխնոլոգիաների բոլոր առավելություններից և, հետևաբար, սահմանափակում է դրանց արտադրողականությունը: Միայն էլեկտրատեխնոլոգիական մասի և սնման աղբյուրի համատեղ մշակման հնարավորության համալիր ուսումնասիրման միջոցով կարելի է ստեղծել բարձրարդյունավետ էլեկտրատեխնոլոգիական սարքեր՝ ապահովելով բարձր հուսալիություն և տեխնիկա-տնտեսական ցուցանիշներ [4–7]:

Տեխնոլոգիական տեղակայանքների հզորության բարձրացման միտումը լրացուցիչ պահանջներ է առաջադրում էներգիայի կերպափոխիչների բնութագրերին՝ կապված, մասնավորապես, սնող ցանցի էլեկտրամագնիսական համատեղելիության հետ [8–11]:

Այժմ կենցաղում և արդյունաբերության տարբեր ճյուղերում լայն կիրառություն են գտել նաև լուսային դիոդային մատրիցները, որոնք ունեն լուսատվության մեծ արդյունավետություն, ապահովում են համաչափ լուսավորվածություն, անվտանգ են, հուսալի և համեմատաբար էժան [8]: Սակայն դրանց ներդրումը նույնպես կապված

է լուրջ պրոբլեմների հետ: Պահանջվում է լարման և հոսանքի կայունություն: Դիողային մատրիցների հաջորդական միացման դեպքում հոսանքի կայունացումն իրականացվում է մեկ սնման աղբյուրի միջոցով, որի աշխատանքի հուսալիությունը խիստ կարևոր է, քանի որ մեկ դիողի շարքից դուրս գալը կհանգեցնի լուսավորության ընդհատման: Դիողների զուգահեռ միացման դեպքում յուրաքանչյուր դիողի համար պահանջվում է մեկ հոսանքի կայունարար, որը, դիողների մեծ թվի դեպքում, արդյունավետ չէ:

Այսպիսով՝ վերը նշվածից հետևում է, որ տեխնոլոգիական տեղակայանքների, սարքերի և այլ պատասխանատու բեռների համար սնման աղբյուրների ստեղծումը խիստ կարևոր, **արդիական խնդիր է**: Աշխատանքը նվիրված է այդ խնդրի լուծմանը:

Էլեկտրատեխնոլոգիական տեղակայանքի սնման աղբյուրը պետք է ունենա հոսանքի աղբյուրի բնութագիր, հաճախ պարունակի կարգավորման երկու գոտի, որոնցից մեկն օժտված է լարման, իսկ մյուսը՝ հոսանքի աղբյուրի բնութագրով: Բացի դրանից, տեխնոլոգիական գործընթացների մեծ մասի դեպքում (իոնային ու էլեկտրաէրոզիոն մշակում, էլեկտրակոնտակտային եռակցում, կիսահաղորդչային սարքերի արտադրության դիֆուզիոն տեղակայանք) պահանջվում է մեծ արագագործությամբ լարման կամ հոսանքի կարգավորում: Տեխնոլոգիական գործընթացների պայմաններից հետևում է, որ սնման աղբյուրի անջատումը պետք է կատարվի շատ կարճ՝ միկրովայրկյան տևող ժամանակահատվածում: Բարձր արտադրողականության ապահովման համար անհրաժեշտ է սարքը նորից արագ միացնել:

Ինչպես ցույց են տվել նշված ուղղությամբ ուսումնասիրությունները, առաջադրված պահանջները լիովին բավարարում են էներգիայի բաժնաչափային փոխանցումով կերպափոխիչները, մասնավորապես, ռեզոնանսային և տիրիստորա-կոնդենսատորային կերպափոխիչները: Կանգ չառնելով ռեզոնանսային սկզբունքով աշխատող կերպափոխիչների առավելությունների և թերությունների վրա՝ նշենք միայն, որ դրանք օգտագործվում են համեմատաբար ավելի ցածր դինամիկական բեռների դեպքում [9]: Քանի որ բեռի փոփոխությունը լայն դիապազոնում կհանգեցնի ռեզոնանսային հաճախության փոփոխության, որն իր հերթին կհանգեցնի կերպափոխիչի ելքային բնութագրերի վատացման, ուստի բարձր դինամիկական բեռների դեպքում շատ հաճախ օգտագործում են էներգիայի բաժնաչափային փոխանցումով կերպափոխիչներ [3,5]: Դրանք հնարավորություն են տալիս կարգավորելու բեռի վրա հզորությունը լայն դիապազոնում և, բացի այդ, անհրաժեշտության դեպքում կայունացնում են ելքային լարումը կամ հոսանքը:

Այստեղ կոնիտարկենք էներգիայի բաժնաչափային փոխանցումով տիրիստորա-կոնդենսատորային կերպափոխիչները (ԷՂՏԿԿ):

Նկ. 1-ում բերված են ԷՂՏԿԿ-ի հիմնական բջջի՝ իմպուլսային կարգավորիչի (ԻԿ) ուժային պարզեցված սխեման և կառավարման համակարգի (ԿՀ) կառուցվածքային սխեման [4,5], իսկ նկ. 2-ում՝ համարժեք սխեման տարբեր միջկոմուտացիոն միջակայքերում:

Գոյություն ունեն Γ -ների բազմաթիվ սխեմաներ [8], սակայն կոնտրակենք միայն հիմնական՝ կամրջակային կառուցվածքով սխեման՝ $Vk1...Vk4$ վենտիլների վրա, քանի որ բաժնաչափային փոխանցումով իմպուլսային կերպափոխիչների գերակշիռ մասն իրականացված է համաձայն այդ սխեմայի: Միևնույնի աշխատանքը նկարագրող ժամանակային դիագրամները ներկայացված են նկ. 3-ում: Տիրիստորներն աշխատում են զույգերով՝ $Vk1, Vk3$ կամ $Vk2, Vk4$ իրագործելով բաժնավորող կոնդենսատորի հաջորդական միացումը սնման աղբյուրին և բեռին: Կոնդենսատորի վերալիցքավորումից հետո տիրիստորները փակվում են, և բեռի հոսանքն անցկացվում է V_0 հակառակ դիողը: Այս սխեմայում տարրերի վրա լարումը չի գերազանցում սնման լարման արժեքը: Բացառություն է կազմում V_0 դիողը, որի վրա լարումը հավասար է $2E$ -ի:

Ելքային ազդանշանի կարգավորումն իրականացվում է տիրիստորների փոխանցատման հաճախության փոփոխման հաշվին: Մեկ տակտի ընթացքում բեռին փոխանցվող էներգիան սահմանափակված է և որոշվում է C_k կոնդենսատորի ունակությամբ և դրա թիթեղների վրա U_c լարման փոփոխությամբ՝

$$W_H = \frac{C_k \Delta U_C^2}{2} :$$

Եթե, օրինակ, մեկ տակտի ընթացքում C_k կոնդենսատորի վրա լարումը փոխվում է $-E$ -ից $+E$, ապա լարման փոփոխությունը կոնդենսատորի վրա կլինի $\Delta U_C = 2E$, հետևաբար՝

$$W_H = 2C_k E^2 :$$

Բեռի վրա անջատված P_H հզորությունը աշխատաքային T պարբերության ընթացքում կորոշվի՝

$$P_H = \frac{1}{T} 2C_k E^2 = 2C_k E^2 f ,$$

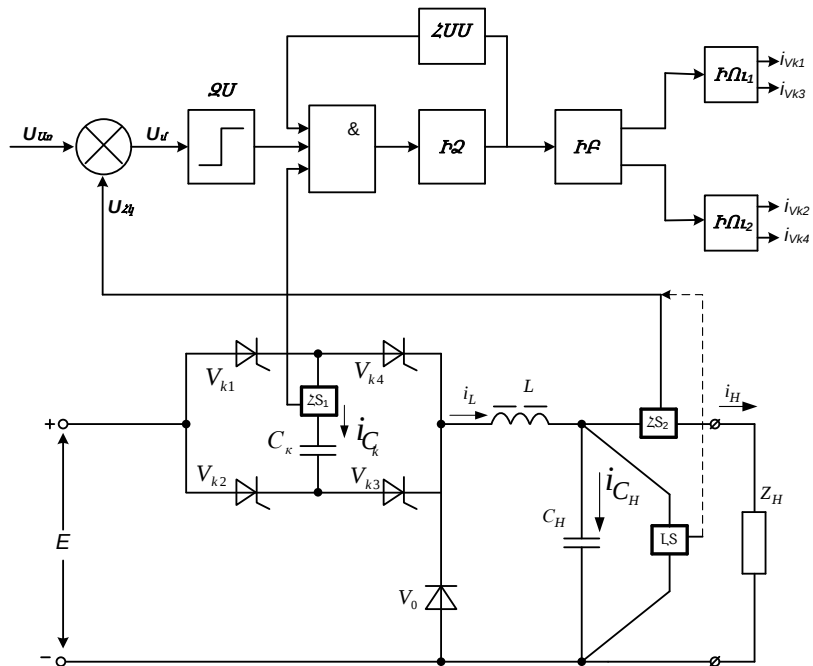
որտեղ $f=1/T$ -ն աշխատանքային հաճախությունն է:

Այսպիսով՝ ինչպես երևում է բերված բանաձևերից, բեռին փոխանցվող էներգիայի բաժնաչափը սահմանափակված է, իսկ բեռի վրա հզորությունը կարելի կարգավորել՝ փոփոխելով բանաձևում ներկայացված երեք մեծությունները (լարում, ունակություն և հաճախություն): Գործնականում հարմար է փոփոխել հաճախությունը, ուստի այս տիպի կերպափոխիչներն անվանվում են հաճախա-իմպուլսային մոդուլացմամբ (ՀԻՄ) կերպափոխիչներ:

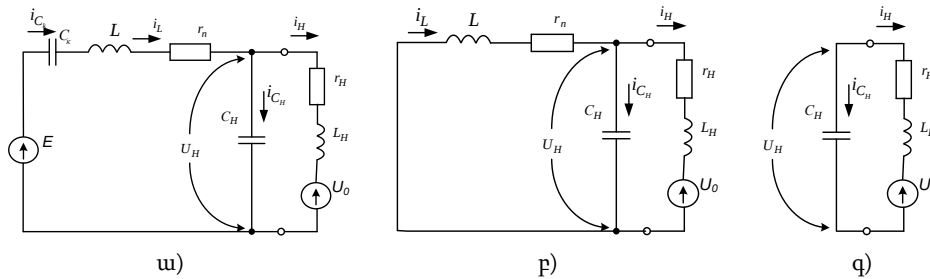
Կերպափոխիչի (սնման աղբյուրի) աշխատանքի սկզբունքը և սխեմայական իրականացումը: Լարման (հոսանքի) կայունարարի սխեման իրականացված է երկտակտ Γ -ՏԿԳ-ի հիմքով, որը ներկայացված է նկ. 1-ում:

Հետադարձ կապի ազդանշանը, որը համեմատական է ելքային լարմանը կամ հոսանքին, լարման կամ հոսանքի տվիչներից (LS, ՀS) տրվում է կառավարման սխեմայի մուտքին, որտեղ այն համեմատվում է առաջադրվող $U_{\text{առ}}$ լարման հետ: Հերթական կառավարման իմպուլսը ձևավորվում է, երբ բեռի U_H լարումը նվազում է մինչև $U_{\text{առ}}$ լարումը:

Այդ պահին գործարկվում են զրոյի սարքը ($\mathcal{Z}U$) և կոմպարատորը, իսկ C բաժնավորող կոնդենսատորով, i_c հոսանքի բացակայության դեպքում, համապատասխան լարման մակարդակը ՀS1-ից տրվում է համընկնման սխեմային, որի ելքից թույլատրող ազդանշանը տրվում է իմպուլսների ձևավորիչին ($F\mathcal{Q}$): $F\mathcal{Q}$ -ի ելքից իմպուլսները $F\mathcal{F}$ իմպուլսների բաշխիչի միջոցով, միմյանց նկատմամբ 180° փոխով շեղմամբ, տրվում են $F\Omega 1$ և $F\Omega 2$ կառավարման իմպուլսների ուժեղարարներին, որոնց ելքերից այդ իմպուլսները տրվում են համապատասխանաբար V_{k1}, V_{k3} կամ V_{k2}, V_{k4} տիրիստորների կառավարման էլեկտրոդներին: Տեղի է ունենում տիրիստորների հերթական զույգի միացում, և սկսվում է բաժնավորող կոնդենսատորի վերալիցքավորումը:



Նկ. 1. Մնման աղբյուրի ուժային պարզեցված և կառավարման բլոկ-սխեմաները



Նկ. 2. Համարժեք սխեմաները միջկոմուտացիոն ժամանակահատվածներում

Այն պահին, երբ կոնդենսատորի լարումը հավասարվում է սնման E լարմանը, բացվում է հակառակ V_0 դիոդը, որով փակվում է L դրոսելի հոսանքը, որն այնուհետև սկսում է նվազել՝ հոսելով միաժամանակ նաև բեռի շղթայով: Լարումը բեռի վրա մեծանում է և կրկին սկսում է նվազել: Երբ U_H լարումը հավասարվում է $U_{\text{ար}}$ -ին, տեղի է ունենում կոմպարատորի վերագործարկում, և գործընթացները սխեմայում կրկնվում են: Հոսանքի կայունացման ռեժիմը նման է լարման կայունացման ռեժիմ I -ին, միայն թե հետադարձ կապի ազդանշանը տրվում է ՀՏ2-ից, իսկ առաջադրող ազդանշանը համեմատական է պահանջվող հոսանքին:

Կերպափոխի մաթեմատիկական մոդելը: Նկ.1-ում բերված մեկդիրքանի հետևման համակարգի վերլուծությունը կատարենք թվային մաթեմատիկական մոդելավորման միջոցով: Կայունացված ռեժիմների վերլուծության դեպքում օգտագործվում են նաև մոտավոր մեթոդներ, երբ կերպափոխում որոշակիորեն մոտարկվում են լարման և հոսանքի կորերը:

Մաթեմատիկական մոդելը կառուցելիս կատարվել են հետևյալ մոտարկումները՝

ա) կիսահաղորդչային վենտիլները իդեալական բանալիներ են,

բ) ռեակտիվ տարրերն ունեն գծային բնութագրեր,

գ) կորուստները կերպափոխում հաշվի են առնվում ակտիվ դիմադրություն միացնելու ճանապարհով:

Այս ենթադրությունները կատարելիս հաշվի է առնում միայն վենտիլների ոչ գծայնությունը՝ պայմանավորված դրանց՝ ուղիղ և հակառակ միացումների դեպքում տարբեր հաղորդականություններ ունենալով:

Կերպափոխի ամբողջ աշխատանքային ցիկլը բաղկացած է առանձին ժամանակային միջակայքերից, որոնց ընթացքում կառուցվածքը և պարամետրերը մնում են անփոփոխ, և վերլուծվող շղթաները դիտարկվում են գծային: Էլեկտրամագնիսական գործընթացների հաշվարկի և վերլուծության համար օգտագործվում է կտոր առ կտոր փոխանցման մեթոդը:

Կերպափոխի նախնական վերլուծության արդյունքում կարելի է գալ այն եզրակացությանը, որ ինչպես կայունացված, այնպես էլ անցողիկ ռեժիմներում կան

աշխատանքային երեք հիմնական միջակայքեր (նկ.2), որոնցից յուրաքանչյուրին համապատասխանում է փոխարինման համարժեք սխեման (նկ.2ա,բ,գ). *առաջին միջակայք*՝ բաժնավորող C կոնդենսատորի վերալիցքավորում, *երկրորդ միջակայք*՝ հակադարձ դիողի միացման ժամանակ: Նկ. 2-ում ցույց է տրված դրոսելով անընդհատ հոսանքի դեպքը, երբ բացակայում է երրորդ ռեժիմը, սակայն այն կարող է լինել ընդհատ հոսանքի դեպքում, երբ L դրոսելի հոսանքը դառնում է զրո (ընդհատվում է), իսկ ելքային կոնդենսատորի բեռի միջև տեղի է ունենում էներգիայի ազատ փոխանակում (*երրորդ միջակայք*):

Յուրաքանչյուր միջկոմուտացիոն միջակայքի համար կարելի գրել հետևյալ պայմանները.

առաջին միջակայք՝ $i_C > 0, U_C < 0, U_C = E$: $U_C = E$ հավասարությանը համապատասխանում է V_0 հակառակ դիողի բացման պահը (INT =1, F1=1, F2=1),

երկրորդ միջակայք՝ $i_C > 0, i_C = 0, U_C < 0$: $i_C = 0$ հավասարությանը համապատասխանում է V_0 հակառակ դիողի փակման պահը (INT =2, F1=0, F2=1),

երրորդ միջակայք՝ $i_C > 0, i_C = 0$, երբ $i_C = 0$, և $i_C = 0$ ավարտվում է երրորդ միջկոմուտացիոն ժամանակահատվածը (INT =3, F1=1, F2=0):

Նկատենք, որ նշված երեք միջակայքերի գոյությունը կարելի է ներկայացնել նաև տրամաբանական F1և F2 երկու միավոր ֆունկցաներով: INT-սիմվոլը մտցված է կոնկրետ դիտարկվող միջակայքի ամրակցման համար (եթե միջակայքերի քանակը չորսից ավելի լիներ, կօգտագործեինք ավելի մեծ թվով տրամաբանական ֆունկցիաներ, օրինակ՝ մինչև ութ վիճակի դեպքում՝ երեք տրամաբանական ֆունկցիա, մինչև 16-ի դեպքում՝ չորս, և այդպես շարունակ):

Առաջին միջակայքի համար կարելի գրել հետևյալ հավասարումների համակարգը՝ (համարժեք սխեման՝ նկ. 2ա)

$$\left\{ \begin{array}{l} C_k \frac{du_{C_k}}{dt} = i_C = i_L, \\ C_H \frac{du_H}{dt} = i_H - i_L, \\ L \frac{di_L}{dt} = -u_{C_k} - u_H - r_n i_L + E, \\ L_H \frac{di_H}{dt} = u_H - r_H i_H + U_0, \end{array} \right. \quad (1)$$

էրկրորդի համար (համարժեք սխեման՝ նկ. 2բ)՝

$$\begin{cases} C_H \frac{du_H}{dt} = i_H - i_L, \\ L \frac{di_L}{dt} = -u_H - r_n i_L, \\ L_H \frac{di_H}{dt} = u_H - r_H i_H + U_0, \end{cases} \quad (2)$$

իսկ երրորդի համար (համարժեք սխեման՝ նկ. 2գ)՝

$$L_H \frac{di_H}{dt} = u_H - r_H i_H + U_0: \quad (3)$$

Օգտվելով փոխանջատման տրամաբանական ֆունկցիաներից՝ բերված երեք հավասարումները ներկայացնենք մեկ համակարգով.

$$\begin{cases} \frac{di_L'}{dt} = a_1 i_L' + a_2 U_{Ck}' + a_3 U_H' + a_4 U', \\ \frac{dU_{Ck}'}{dt} = a_5 i_L', \\ \frac{dU_H'}{dt} = a_6 i_L' + a_7 i_H', \\ \frac{di_H'}{dt} = a_8 U_H' + a_9 i_H' + a_{10} U_0': \end{cases} \quad (4)$$

Վերջին (4) հավասարման գործակիցները որոշվում են հետևյալ արտահայտություններով՝

$$\begin{aligned} a_1 &= \left(-\frac{r_n^*}{\tau_L^*} \right) F_2, \quad a_2 = \left(-\frac{1}{\tau_L^*} \right) F_1 F_2, \quad a_3 = \left(-\frac{1}{\tau_L^*} \right) F_2, \quad a_4 = \left(\frac{1}{\tau_L^*} \right) F_1 F_2, \quad a_5 = \left(\frac{1}{\tau_{Ck}^*} \right) F_1 F_2, \\ a_6 &= \left(\frac{1}{\tau_{C_H}^*} \right) F_2, \quad a_7 = -\frac{1}{\tau_{C_H}^*}, \quad a_8 = \frac{1}{\tau_{L_H}^*}, \quad a_9 = -\frac{r_H^*}{\tau_{L_H}^*}, \quad a_{10} = -\frac{1}{\tau_{L_H}^*}, \end{aligned} \quad (5)$$

որտեղ $\tau_L^* = \frac{L}{RT_{nom}}$ -ը ելքային ինդուկտիվ L ֆիլտրի շղթայի, $\tau_{Ck}^* = \frac{C_k R}{T_{nom}}$ -ը բաժնա-

վորող C_k ունակության շղթայի, $\tau_{C_H}^* = \frac{C_H R}{T_{nom}}$ -ը՝ ելքային ունակային շղթայի, իսկ

$\tau_{L_H}^* = \frac{L_H}{RT_{nom}}$ -ը՝ բեռի ինդուկտիվության շղթայի հարաբերական ժամանակի հաս-

տատունները, $r_H^* = \frac{r_H}{R}$ -ը՝ բեռի ակտիվ դիմադրության, $U_0' = \frac{U_0}{E}$ -ը՝ բեռի հակա-

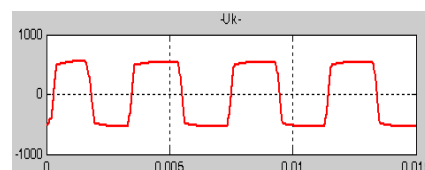
էլշույի, իսկ $I' = i/I_{nom}$, $u' = u/E$ -ն՝ համապատասխանաբար հոսանքի և լարման հարաբերական մեծությունները, $R = \frac{E}{I_{nom}}$, $U' = \frac{U}{E}$ (տվյալ դեպքում $U=E$ սնման լար-

մանը համապատասխանում է $U' = 1$), I_{nom} -ը անվանական աշխատանքային ռեժիմում բեռի հոսանքի միջին արժեքն է, T_{nom} -ը՝ անվանական հոսանքի դեպքում մոդուլացման պարբերությունը, երբ բացակայում են ընդհատումները (հակառակ դիողը հոսանք չի անցկացնում):

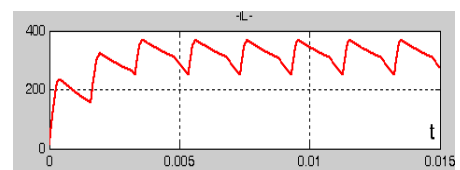
(4) հավասարումների համակարգը կարելի է ներկայացնել կանոնավոր հավասարման տեսքով.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_L' \\ U_{Ck}' \\ U_H' \\ i_H' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & 0 \\ a_5 & 0 & 0 & 0 \\ a_6 & 0 & 0 & a_7 \\ 0 & 0 & a_8 & a_9 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_L' \\ U_{Ck}' \\ U_H' \\ i_H' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{10} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U' \\ 0 \\ 0 \\ U_0' \end{bmatrix} \quad (6)$$

Ստացված հավասարումների համակարգը լուծվել է MatLab ծրագրային միջավայրում, որի արդյունքները ներկայացված են նկ. 4-ում՝ սխեմայի տարրերի հետևյալ արժեքների դեպքում. բեռի հզորության միջին արժեքը՝ $P_H=100$ կՎտ, սնման լարման մեծությունը՝ $E=500$ Վ, բեռի հոսանքի անվանական մեծությունը՝ $I_{nom}=200$ Ա, բեռի դիմադրության ակտիվ բաղադրիչը՝ $R_H=0,5$ Օմ, բեռի ինդուկտիվ բաղադրիչի և ինդուկտիվ ռեակտորի գումարային մեծությունը՝ $L_H+L=1,5$ մՀն, բաժնաչափային կոնդենսատորի ունակությունը՝ $Ck=100$ մկՖ:



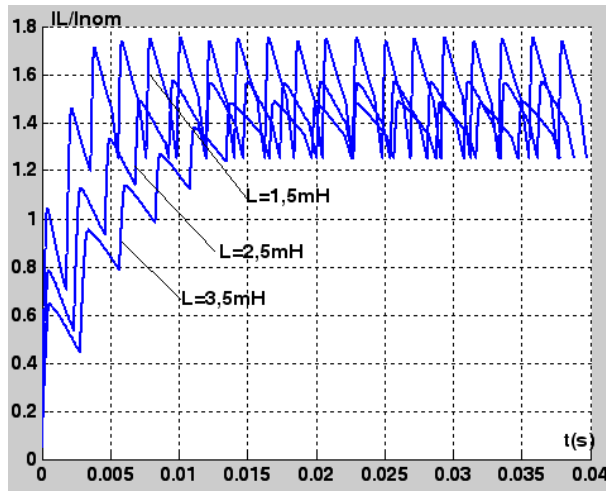
ա)



բ)

Նկ. 3. Կերպարվող ժամանակային դիագրամները՝ ստացված MatLab ծրագրային համակարգում՝ ա-բաժանաչափային կոնդենսատորի լարման և բ-էլքային ինդուկտիվ ռեակտորի հոսանքի կախվածությունները

Նկ. 4-ում ներկայացված է ինդուկտիվ ռեակտորի հոսանքի կախվածությունը ռեակտորի ինդուկտիվությունից:



Նկ. 4. Ռեակտորի հոսանքի կախվածությունը ռեակտորի ինդուկտիվությունից

Ինչպես երևում է ստացված դիագրամներից, ինդուկտիվությունով հոսանքը հաստատվում է 3-4 պարբերության ընթացքում, իսկ ռեակտորի ինդուկտիվության մեծացմանը զուգընթաց բաբախումները նվազում են:

Կերպափոխիչի ստատիկ բնութագրերը: Մոտավոր անալիտիկ արտահայտություններ ստանալու համար կատարենք լրացուցիչ մոտարկումներ. ա) կերպափոխիչի տարրերում կորուստները բացակայում են, բ) ֆիլտրի դրոսելի հոսանքի որոշման ժամանակ լարման բաբախումները բեռի ունակային ֆիլտրի վրա բացակայում են ($u_H = U_H$), գ) բեռի ունակային ֆիլտրի վրա լարման որոշման ժամանակ բեռի հոսանքի բաբախումները բացակայում են ($i_H = I_H$):

Վերը նշված մոտարկումների դեպքում դրոսելի հոսանքը առաջին միջկոմուտացիոն միջակայքում որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ [5].

$$i_L(t) = \sqrt{I_L^2(0) + \left(\frac{2E - U_H}{\rho}\right)^2} \sin(\omega t + \varphi), \quad (7)$$

որտեղ՝

$$\rho = \sqrt{L / C_k}, \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC_k}}, \quad \varphi = \arctg \frac{I_L(0)\rho}{2E - U_H}: \quad (8)$$

Երկրորդ միջկոմուտացիոն միջակայքում դրոսելի հոսանքը որոշվում է՝

$$i_L(t) = i_L(t_n) - \frac{U_H}{L} t \quad (9)$$

բանաձևով, որտեղ

$$i_L(t_n) = \sqrt{I_L^2(0) + \frac{4E(E - U_H)}{\rho^2}}, \quad (10)$$

իսկ t_n -ը կոնդենսատորի լիցքավորման ավարտման պահին է (նկ. 3) :

Դրոսելի հոսանքի անընդհատ ռեժիմի դեպքում մոդուլացման պարբերությունը հաստատված ռեժիմում որոշվում է հետևյալ բանաձևով [5].

$$T = t_n + t_{V0}, \quad (11)$$

$$t_n = \frac{1}{\omega} \left[\arccos \left(\frac{-U_H}{\sqrt{(\rho I_L(0))^2 + (2E - U_H)^2}} \right) - \arccos \left(\frac{2E - U_H}{\sqrt{(\rho I_L(0))^2 + (2E - U_H)^2}} \right) \right], \quad (12)$$

$$t_{V0} = \frac{1}{\omega} \left[\frac{1}{U_H} \sqrt{(\rho I_L(0))^2 + 4E(E - U_H)} - \rho I_L(0) \right], \quad (13)$$

որտեղ t_{V0} -ն հակադարձ դիոդի հոսանքի անցկացման ժամանակն է:

Բեռի հոսանքի միջին արժեքը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$I_H = \frac{1}{T} \int_0^T i_H(t) dt = \frac{2E^2}{\rho U_H \omega (t_n + t_{V0})}: \quad (14)$$

Օգտվելով բեռ փոխանցվող միջին հզորության բանաձևից՝ կարող ենք ստանալ կերպավորիչի արտաքին բնութագրերը՝

$$P_H = U_H I_H = 2E^2 C_k \frac{1}{T} = 2E^2 C_k f: \quad (15)$$

Հարաբերական միավորներով (15)-ը կարելի է ներկայացնել՝

$$U'_H = f' / I'_H, \quad (16)$$

որտեղ $f' = \frac{f}{f_{nom}}, U'_H = \frac{U_H}{E}, I'_H = \frac{I_H}{I_{nom}}, f_{nom} = \frac{1}{T_{nom}}, T_{nom} = 2RC_k, R = \frac{E}{I_{nom}}:$

Ֆիլտրի դրոսելի հոսանքի բաբախումը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\Delta I_L = I_{Lmax} - I_L(0) = \sqrt{(I_L(0))^2 + \left(\frac{2E - U_H}{\rho}\right)^2} - I_L(0): \quad (17)$$

Հոսանքի բաբախումների համար ավելի հարմար բանաձև կարելի է ստանալ, եթե ընդունենք, որ $U_0=0$, իսկ բաժնաչափային կոնդենսատորի վերալիցքավորումն իրականացվում է իդեալական հարթեցված հոսանքով, որը համապատասխանում է կոնդենսատորի գծային լիցքավորմանը: Այս պայմանների դեպքում հոսանքի բաբախման գնահատման համար կարելի օգտագործել [5]-ում ստացված հետևյալ բանաձևը՝

$$\Delta I_L = \frac{E^2 C_k}{2I_H L} (2 - \gamma)^2, \quad (18)$$

որտեղ՝

$$\gamma = \frac{t_n}{T} = \frac{U_H}{E} = \frac{2EC_k}{I_H T}, \quad (19)$$

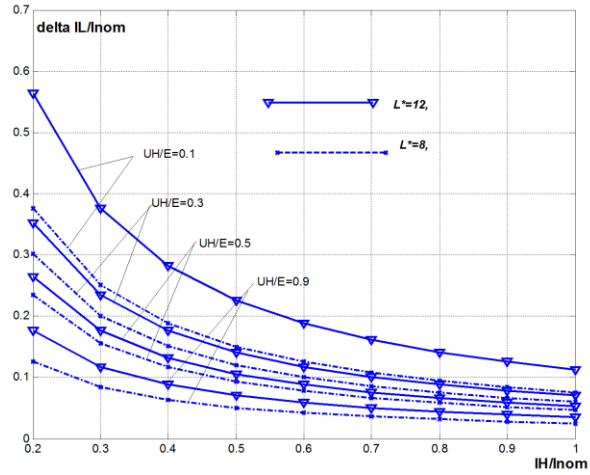
կամ հարաբերական մեծություններով՝

$$\Delta I_L^* = \frac{1}{4L^* I_H^*} (2 - \gamma)^2,$$

որտեղ՝

$$\Delta I_L^* = \frac{\Delta I_L}{I_{nom}}; L^* = \frac{L}{RT_{nom}}: \quad (20)$$

Ֆիլտրի դրոսելի հոսանքի գրաֆիկական կախվածությունները, հաշվարկված հարաբերական մեծություններով, ներկայացված են նկ. 5-ում:



Նկ. 5. Ֆիլտրի դրոսելի հոսանքի բաբախումները՝ կախված բեռի հոսանքի մեծությունից

Լարման բաբախման մեծությունը բեռի հոսանքի՝ իդեալական հարթեցված լինելու դեպքում որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\Delta U_{CH} = \int_{t_1}^{t_2} (i_L - I_H) dt : \quad (21)$$

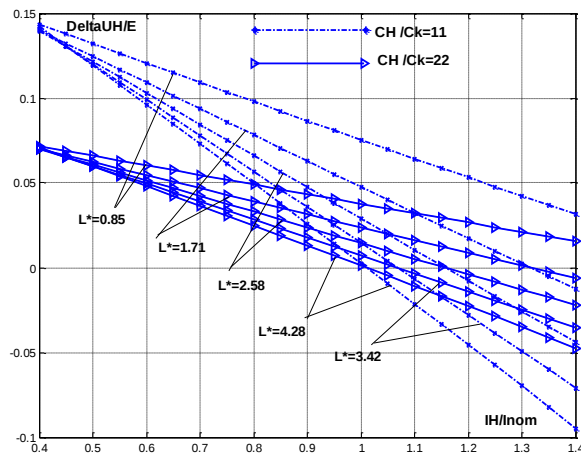
Հաշվի առնելով, որ բաժաչափային կոնդենսատորի վերալիցքավորման ժամանակ դրոսելի հոսանքը որոշվում է (7) բանաձևով, երբ դրոսելի հոսանքը վերալիցքավորման ավարտման պահին՝ $i_L(t_n)$ -ը, գերազանցում է բեռի հոսանքը, (21) արտահայտությունը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$\Delta U_H = \frac{C_k}{C_H} \left\{ A + U_H + \frac{1}{2U_H} \left[\sqrt{I_L^2(0)\rho^2 + 4E(E - U_H)} - I_H\rho \right]^2 - I_H\rho \arccos \left[\frac{I_H\rho\sqrt{4E(E - U_H)} - U_H A}{\sqrt{(2E - U_H)^2 + I_L^2(0)\rho^2}} \right] \right\}, \quad (22)$$

որտեղ $A = \sqrt{(2E - U_H)^2 - (I_H^2 - I_L^2(0))\rho^2}$, հակառակ դեպքում այն կորոշվի հետևյալ բանաձևով՝

$$\Delta U_H = \frac{2C_k}{C_H} \left\{ A - I_H \rho \left[\frac{\pi}{2} - \arcsin \left(\frac{I_H \rho}{\sqrt{(2E - U_H)^2 + I_L^2(0) \rho^2}} \right) \right] \right\}: \quad (23)$$

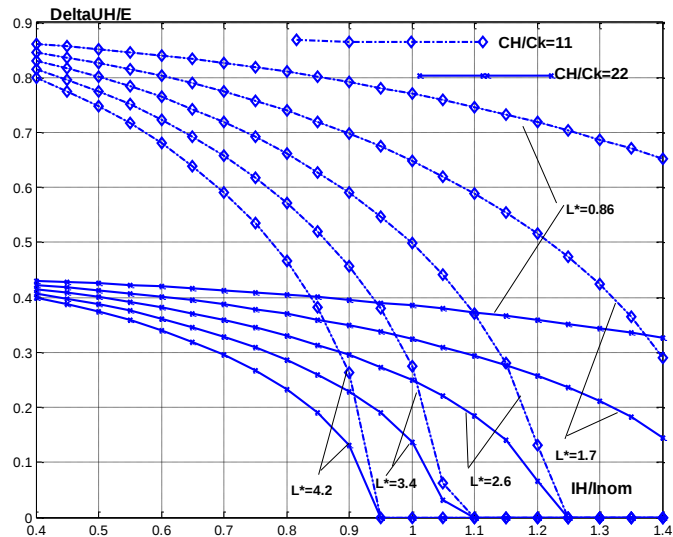
Նկատենք, որ $i_L(t_n)$ -ն որոշվում է (7) բանաձևով: Նկ. 6 և 7-ում բերված են ելքային լարման բաբախումների գրաֆիկները՝ վերը նշված երկու դեպքերի համար:



Նկ. 6. Ելքային բաբախումները՝ կախված բեռի հոսանքի մեծությունից, դրոսելի ֆիլտրի ինդուկտիվության տարբեր արժեքների դեպքում, երբ $I_L(0) > I_{nom}$

Լարման և հոսանքի բաբախումների գրաֆիկներից հետևում է, որ առավելագույն բաբախումները ստացվում են բեռի լարման և հոսանքի նվազագույն արժեքների դեպքում, ուստի՝ առավելագույն բաբախման փոքրացման համար հարկավոր է, օգտվելով (18)-ից, ֆիլտրի դրոսելի ինդուկտիվությունն ընտրել հետևյալ պայմանից՝

$$L = \frac{E^2 C_k}{2 \Delta I_{H \max} I_{H \min}} \left(2 - \frac{U_{H \min}}{E} \right): \quad (24)$$



Նկ. 7. Ելքային բաբախումները՝ կախված բեռի հոսանքի մեծությունից, դրոսելի ֆիլտրի ինդուկտիվության տարբեր արժեքների դեպքում, երբ $I_L(0) < I_{nom}$

Եզրակացություն.

1. Էներգիայի բաժնաչափային փոխանցումով կերպափոխիչները հնարավորություն են տալիս իրականացնելու բեռի հզորության խոր կարգավորում՝ կիրառելով կառավարման պարզ՝ հաճախ-իմպուլսային համակարգ:

2. Լարման և հոսանքի բաբախումների գրաֆիկներից հետևում է, որ առավելագույն բաբախումները ստացվում են բեռի լարման և հոսանքի նվազագույն արժեքների դեպքում:

3. Ստացված են կերպափոխիչի մաթեմատիկական մոդելը և մոտարկված անալիտիկ արտահայտությունները, որոնք հնարավորություն են տալիս դիտարկելու աշխատանքային բոլոր ռեժիմները և ընտրելու սխեմայի հիմնական տարրերը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Ланцов В., Эраносян С.** Электромагнитная совместимость импульсных источников питания: проблемы и пути их решения. Часть I // Силовая электроника. – 2006. – №4. – С. 58-67.
2. **Булатов О.Г., Иванов В.С, Панфилов Д.И.** Тиристорные схемы включения высокоинтенсивных источников света. – М.: Энергия, 1975. – 176 с.
3. **Булатов О.Г., Поляков В.Д., Царенко А.И.** Преобразователи с дозированной передачей энергии для привода постоянного тока // Электротехническая промышленность. Сер. Электропривод. – 1980. – Вып.2 (82). – С. 8-12.
4. **Чванов В.А.** Преобразователи с дозированной передачей электроэнергии // Электричество. – 2005. – №6.- С. 46-53.

5. Булатов О.Г., Царенко А.И., Поляков В.Д. Тиристорно-конденсаторные источники питания для электротехнологии. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 200 с.
6. Васильев А.С., Конрад Г., Дзлиев С.В. Источники питания высокочастотных электро-термических установок. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 426 с.
7. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 2 изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
8. Мовсисян В.М., Барегамян Г.В., Петросян Н.Н., Арутюнян А.Ш. Исследование электромагнитных помех и электромагнитной совместимости в источниках вторичного электропитания // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 1997. – Т.50, №2. – С. 114-119.
9. Розанов Ю.К., Логинов А.А., Сухинин А.М. Анализ гармонического состава первичных токов в преобразователях со звеном повышенной частоты // Электротехническая промышленность. Сер. Преобразовательная техника. – 1984. – Вып.1 (159). – С. 3-6.
10. Воронин А.А., Кравцов С.Ф., Старостин Ю.П. Функциональные элементы систем управления с повышенной помехоустойчивостью для тиристорных источников питания электротехнологических установок // Труды МЭИ. – Вып. 178. – С. 25-30.
11. Черденниченко В.С., Аныпаков А.С., Кузьмин М.Г. Плазменные электротехнологические установки: Учебник для ВУЗ-ов - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 508 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 25.03.2016:

Н.Н. ПЕТРОСЯН, В.С. МЕЛКОНЯН, Р.А. КАЗАРЯН

АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ С ДОЗИРОВАННОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Рассмотрены тиристорно-конденсаторные преобразователи с дозированной передачей энергии в нагрузку при осуществлении в них частотно-импульсного регулирования (ЧИР) выходной мощности. Получены переходные и статические характеристики в режиме ЧИР. Оценены коммутационные пульсации выходного тока в зависимости от режимов преобразователя.

Ключевые слова: электротехнологические установки, дозирующий конденсатор, тиристорно-конденсаторный преобразователь, импульсный регулятор, частотно-импульсное регулирование.

N.N. PETROSYAN, V.S. MELKONYAN, R.H. GHAZARYAN

ANALYSIS OF POWER SUPPLY WITH A DOSED POWER TRANSFER FOR ELECTRIC TECHNOLOGIES

Thyristor-capacitor converters with a dosed transfer of energy into load are considered when pulse-frequency regulation of the output power is implemented in them. Transient and static characteristics are obtained in the PFR mode. The switching ripples of the output current are estimated, depending on the modes of the converter.

Keywords: electro-technological installations, dosing capacitor, thyristor-capacitor converter, pulse regulator, frequency-pulse control.