

Պ.Ս. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ, Ա.Ս. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ս.Զ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՏՐԻՍՏՈՐԱՅԻՆ ՓՈԽԱԿԵՐՊԻՉԻՆ ԻՆՂՈՒԿՏՈՐԻ ՄԻԱՑՄԱՆ
ԱՎՏՈՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐԱՅԻՆ ՄԵԹՈԴ

Դիտարկված է ինվերտորի պարամետրերի ճշգրիտ համաձայնեցման հարցը՝ բեռի պարամետրերի հետ փոխակերպիչի ամենաբարձր ելքային հզորություն ստանալու նպատակով, ապահովելով նրա անհրաժեշտ կայունությունը: Պատրաստվածքի շառավղային ուղղությամբ ջերմաստիճանի անթույլատրելի բարձր անկումներից խուսափելու համար ինդուկտորների տեսակարար հզորությունը սահմանափակվում է, ինչի արդյունքում պարզվում է, որ նպատակահարմար է դրանք պատրաստել 500...750 Վ և բարձր լարման համար: Բացի այդ, բեռի ռեակտիվ հզորության կոմպենսացիայի համար վառարանային բարձր հաճախականության կոնդենսատորներն արտադրվում են 375-ից 1000 Վ անվանական լարմամբ, հետևաբար՝ ինդուկտորի միացումը ինվերտորին՝ իջեցված ելքային լարումով, պետք է իրականացվի ավտոտրանսֆորմատորային սխեմայով: Այս հոդվածում հաշվարկները պարզեցնելու համար ենթադրվում է, որ ինդուկտորի երկարությամբ հզորության գործակիցն ունի որոշակի հաստատուն միջինացված արժեք և կախված չէ ինդուկտորի երկայնքով ջերմաստիճանային դաշտի բաշխումից: Ելնելով այս ենթադրությունից, բեռի ակտիվ դիմադրության կախվածությունը ինդուկտորի գալարների քանակից կարող է ներկայացվել գծային ֆունկցիայի տեսքով տրանսֆորմացիայի տարբեր գործակիցների դեպքում: Ինվերտորի պարամետրերը բեռնվածքի շղթայի պարամետրերին համապատասխանեցնելիս անհրաժեշտ է ոչ միայն ապահովել լրիվ կոմպենսացիա, այլև ընտրել կոնտուրի համարժեք ակտիվ դիմադրության արժեքը այնպես, որ ինվերտորը զարգացնի առավելագույն հզորություն, և այդ դեպքում տրիստորների կառավարելիությունը վերականգնելու համար նախատեսված ժամանակը պետք է մնա թույլատրելի սահմաններում: Ուստի, բեռնվածքի կոնտուրի համարժեք ակտիվ դիմադրության արժեքի գնահատումը տրանսֆորմացիայի տարբեր գործակիցների դեպքում դառնում է անհրաժեշտություն:

Առանցքային բառեր. ինդուկցիոն տաքացում, ինդուկտոր, հաճախականության փոխակերպիչ, ելքային հզորություն, ռեակտիվ հզորություն, վառարանային բարձր հաճախային կոնդենսատոր:

Ներածություն: Հաճախականության տիրիստորային փոխակերպիչները իբրև ինդուկցիոն տաքացուցիչների սնման աղբյուրներ օգտագործելու դեպքում փոխակերպիչի բեռը ներկայանում է որպես մետաղով լցված ինդուկտոր: Այդպիսի բեռի դեպքում հզորության գործակիցը բավականին ցածր է և կազմում է 0,15...0,25 [1]:

Այն մեծացնելու համար օգտագործվում են ունակային կոմպենսացիայի տարբեր մեթոդներ:

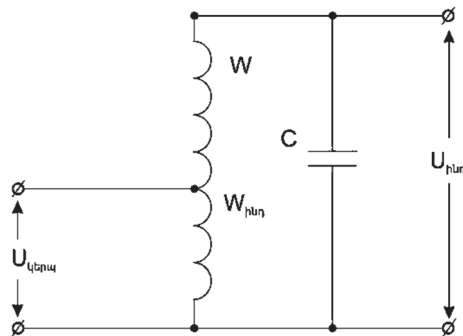
Տիրիստորային փոխակերպչի հուսալի աշխատանքի համար անհրաժեշտ պայմաններից մեկը ինվերտորի պարամետրերի ճիշտ համաձայնեցնումն է բեռի պարամետրերի հետ, որպեսզի արդյունքում ստացվի փոխակերպչի ամենաբարձր ելքային հզորությունը:

Հանդիպակաց-գուգահեռ դիոդներով կամրջակային ինվերտորում, կրկնապատկելով ելքային լարման հաճախականության մեծությունը, որի դեպքում ապահովվում է ինվերտորի աշխատանքի կայունությունը, ելքային լարումը մոտավորապես կազմում է հաստատուն հոսանքի սնման աղբյուրի լարման կեսը [2,3]: Այսպիսի փոխակերպիչը, անմիջապես 380 Վ լարման եռաֆազ հոսանքի ցանցից սնման ժամանակ օգտագործելով եռաֆազ ուղղիչ՝ կատարված կամրջակային սխեմայով, և դիտարկվող տեսակի ինվերտորի ելքային լարումը, հաշվի առնելով կայունության անհրաժեշտ պահուստը, կազմում է 260...270 Վ:

Ջերմաստիճանի անթույլատրելի բարձր անկումներից խուսափելու համար շառավղային ուղղությամբ ինդուկտորների տեսակարար հզորությունը սահմանափակվում է, ինչի արդյունքում պարզվում է, որ նպատակահարմար է դրանք պատրաստել 500...750 Վ և բարձր լարման դեպքում: Բացի այդ, բեռի ռեակտիվ հզորության կոմպենսացիայի համար վառարանային բարձր հաճախականությամբ կոնդենսատորներն արտադրվում են 375-ից 1000 Վ անվանական լարմամբ, հետևաբար՝ ինդուկտորի միացումը ինվերտորին՝ իջեցված ելքային լարումով, նպատակահարմար է ավտոտրանսֆորմատորային սխեմայով:

Խնդրի դրվածքը և հետազոտության մեթոդները: Դիտարկվում են ինվերտորը բեռի կոնտուրի հետ համադրելու հարցերը ավտոտրանսֆորմատորային սխեմայով ինդուկտորը միացնելու ժամանակ, երբ դրա սնումը կատարվում է հանդիպակաց-գուգահեռ դիոդներով հաջորդական տիրիստորային ինվերտորից: Նման փոխակերպչի սխեման և դրա աշխատանքի սկզբունքը բերված են [4]-ում:

Ավտոտրանսֆորմատորային սխեմայով միացման դեպքում կոմպենսացնող ունակությունը միացված է ամբողջ ինդուկտորին գուգահեռ, իսկ ինվերտորին միացված է դրա գալարների միայն մի մասը (նկ. 1): Այսպիսի միացումը հնարավորություն է տալիս բարձրացնել լարումը ինդուկտորի վրա և կոնդենսատորային մարտկոցներում մինչև անհրաժեշտ մակարդակ ինվերտորի ելքում իջեցված լարման ժամանակ, օգտագործելով հաջորդական կոմպենսացիայի սկզբունքը գուգահեռի հետ համատեղ:



Նկ.1. Ինդուկտորի ավտոտրանսֆորմատորային միացման սկզբունքային սխեման

Հարկ է նշել, որ ինդուկտորի ավտոտրանսֆորմատորային միացումը օգտագործվում է այն դեպքում, երբ տիրիստորային կերպափոխիչներն օգտագործվում են որպես սնման աղբյուրներ, և տրանսֆորմացիայի գործակցի հետևանքով լարումը սովորաբար մոտ է գուգահեռ կոմպենսացիայի լրիվ հնարավորության օգտագործմանը:

Ինդուկցիոն տաքացուցիչը հանդիպակաց-գուգահեռ դիոդներով հաճախականության տիրիստորային կրկնապատկիչից սնելիս, որոնք ուղղիչի միջոցով միացված են 380 Վ ցանցին՝ ինդուկտորի վրա 500...750 Վ լարում ստանալու համար, տրանսֆորմացիայի գործակիցը պետք է գտնվի 1/2-ից 1/3 սահմանում, որի արդյունքում գերակշռող դառնում է հաջորդական կոմպենսացիան [5]:

Որպես տրանսֆորմացիայի գործակից պետք է հասկանալ ինդուկտորի, որին միացված է ինվերտորը, $W_{հնդ}$ -ի գալարների թվի հարաբերությունը, որին միացված է ինվերտորը, W ինդուկտորի գալարների ընդհանուր թվին.

$$n = \frac{W_{հնդ}}{W}. \quad (1)$$

Տրանսֆորմացիայի գործակցի ցածր արժեքը էական ազդեցություն ունի բեռնվածքի կոնտուրի վարքի և, հետևաբար, ամբողջ փոխակերպչի աշխատանքի ռեժիմի վրա, ուստի առաջանում է ինդուկտորի միացման ավտոտրանսֆորմատորային սխեմայի հատուկ ուսումնասիրության անհրաժեշտություն:

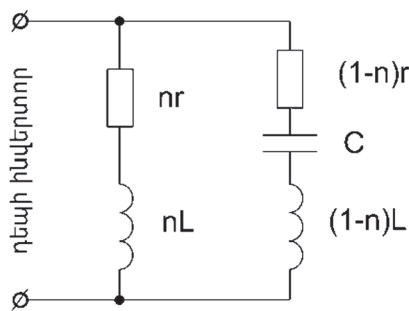
Փոխակերպչի աշխատանքի նորմալ ռեժիմի ընթացքում բեռնվածքի տատանողական կոնտուրում լարման կորը և ինվերտորի ելքային հոսանքի կորն ունեն բարձր հարմոնիկների պարունակության ցածր տոկոս: Հետագա հաշվարկներում ընդունված է ենթադրել, որ հոսանքի և լարման կորերը սինուսոիդային են, ինչը հնարավորություն է տալիս կատարել բեռնվածքի կոնտուրի սխեմայի վերլուծություն ընդհանուր խնդրի լուծման համար, որը դիտարկվում է սինուսոիդային հոսանքի շղթաների տեսության մեջ:

Ելնելով [6]-ում բերված դրույթներից՝ ընդունում ենք ինդուկտոր-մետաղ համակարգի ինդուկտիվության կախվածությունը գալարների քանակից որպես գծային:

Ինդուկտորում տեղի ունեցող գործընթացների վերլուծությունը, հաշվի առնելով բեռի ակտիվ դիմադրության ոչ գծային կախվածությունը ինդուկտորի երկարությունից, էական դժվարություն է ներկայացնում:

Հաշվարկները պարզեցնելու համար ենթադրվում է, որ ինդուկտորի երկարությամբ հզորության գործակիցն ունի որոշակի հաստատուն միջինացված արժեք և կախված չէ ինդուկտորի երկայնքով ջերմաստիճանային դաշտի բաշխումից: Ելնելով այս ենթադրությունից՝ բեռի ակտիվ դիմադրության կախվածությունը ինդուկտորի գալարների քանակից կարող է ներկայացվել որպես գծային ֆունկցիա տրանսֆորմացիայի տարբեր գործակիցների դեպքում:

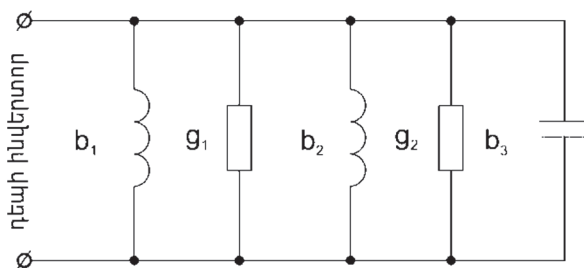
Բեռնվածքի կոնտուրի հաշվարկային սխեման ներկայացված է նկ. 2-ում:



Նկ. 2. Բեռնվածքի կոնտուրի հաշվարկային սխեման

Պայմանավորվենք՝ բեռնվածքի կոնտուրի ճյուղը, որը կազմված է nL ինդուկտիվությունից և nr ակտիվ դիմադրությունից, անվանել ինդուկտիվ, իսկ դրան զուգահեռ ճյուղը, որը պարունակում է C կոմպենսացնող ունակություն և ինդուկտորի մնացած մասը, անվանել ունակային:

Նկ. 2-ում բերված սխեման փոխարինենք դրան համարժեք սխեմայով՝ բոլոր տարրերի զուգահեռ միացմամբ (նկ. 3):



Նկ. 3. Բեռի կոնտուրի համարժեք սխեման

Նկ. 3 համարժեք սխեմայի զուգահեռ ճյուղերի հաղորդականություններն արտահայտվում են հետևյալ բանաձևերով.

$$g_1 = \frac{nr}{(nr)^2 + (\omega nL)^2}, \quad (2)$$

$$b_1 = \frac{\omega nL}{(nr)^2 + (\omega nL)^2}, \quad (2a)$$

$$g_2 = \frac{r(1-n)}{[r(1-n)]^2 + \left[\omega L(1-n) - \frac{1}{\omega c}\right]^2}, \quad (3)$$

որտեղ L – ը ինդուկտորի համարժեք դիմադրությունն է՝ հաշվի առնելով գալարների միջև մագնիսական կապը, r – ը՝ ինդուկտոր-մետաղ համակարգի ընդհանուր ակտիվ դիմադրությունը, C – ն՝ կոմպենսացնող ունակությունը, n – ը՝ տրանսֆորմացիայի գործակիցը, որը որոշվում է (1) բանաձևով.

$$b_2 = \frac{\omega(1-n)L}{[r(1-n)]^2 + \left[\omega L(1-n) - \frac{1}{\omega c}\right]^2}, \quad (4)$$

$$b_3 = \frac{\frac{1}{\omega c}}{[r(1-n)]^2 + \left[\omega L(1-n) - \frac{1}{\omega c}\right]^2}, \quad (5)$$

որտեղ g_1 և b_1 – ը բեռի կոնտուրի ինդուկտիվ ճյուղի համարժեք ակտիվ և ռեակտիվ հաղորդականություններն են, g_2 , b_2 (b_3 – ը՝ բեռի կոնտուրի ունակային ճյուղի համարժեք ակտիվ և ռեակտիվ հաղորդականությունները, ω – ն՝ կերպափոխման անկյունային հաճախությունը:

Սխեմայում ընդհանուր ռեզոնանսի պայմանն ունի հետևյալ տեսքը

$$b_1 + b_2 - b_3 = 0: \quad (6)$$

(6) հավասարումից, հաշվի առնելով (2), (2a), (4) և (5), կարելի է որոշել ընդհանուր ռեզոնանսային կոնտուրի ապահովման համար կոմպենսացնող ունակության մեծությունը

$$C^2 \omega^2 L(1-n)(r^2 + \omega^2 L^2) - C[2\omega^2 L^2 + n(r^2 - \omega^2 L^2)] + L = 0 \quad (7)$$

Պետք է նշել, որ կոմպենսացնող ունակությունն ունի երկու արժեք՝ C_1 և C_2 , որոնք բավարարում են բեռի կոնտուրի ընդհանուր ռեզոնանսի պայմանը.

$$C_{1,2} = \frac{2\omega^2 L^2 + n(r^2 - \omega^2 L^2) \pm \sqrt{[2\omega^2 L^2 + n(r^2 - \omega^2 L^2)]^2 - 4\omega^2 L^2(1-n)(r^2 + \omega^2 L^2)}}{2\omega^2 L(1-n)(r^2 + \omega^2 L^2)}: \quad (8)$$

Հաշվի առնելով, որ՝

$$r = \frac{\omega L}{tg\varphi_r}, \quad (8a)$$

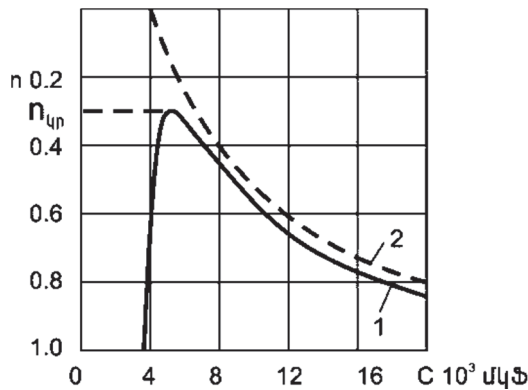
(8) հավասարումը կարելի է գրել հետևյալ տեսքով.

$$C_{1,2} = \frac{2tg^2\varphi_F + n(1-tg^2\varphi_F) \pm \sqrt{[2tg^2\varphi_F + n(1-tg^2\varphi_F)]^2 + 4tg^2\varphi_F(1-n)(1+tg^2\varphi_F)}}{2\omega^2 L(1-n)(1+tg^2\varphi_F)} : \quad (9)$$

Նկ.2-ում բերված սխեմայի ունակային ճյուղում կարող է տեղի ունենալ նաև լարման ռեզոնանս հետևյալ պայմանի դեպքում՝

$$C_3 = \frac{1}{\omega^2(1-n)L} \quad (10)$$

Նկ.4-ում բերված են C_1 , C_2 և C_3 կոմպենսացվող ունակությունները՝ կախված n գործակցից, որոնք կառուցված են ըստ (9) և (10) հավասարումների, երբ $\cos\varphi_F = 0,2$: Կորեր կառուցելիս որպես բազիսային մեծություն ընդունվում է 1 մկՀն ինդուկտիվությունը: Կոմպենսացնող ունակության արժեքը որոշվում է գրաֆիկից ստացված արժեքը բաժանելով բեռի ինդուկտիվության արժեքի վրա՝ արտահայտված մկՀն - ով:



Նկ. 4. Կոմպենսացվող ունակությունների կախվածությունը տրանսֆորմացիայի գործակցից n լրիվ կոմպենսացման (1 կորը) և ունակային ճյուղի հաջորդական ռեզոնանսի դեպքում (2 կորը)

1 կորի ուսումնասիրությունից, որը համապատասխանում է (9) արտահայտությանը, երևում է, որ գրաֆիկի որոշակի տիրույթում բեռնվածքի կոնստուրի ռեզոնանսային ունակությունը երկարժեք ֆունկցիա է n գործակցից: Հետևաբար, հնարավոր է ապահովել լրիվ կոմպենսացիա կոմպենսացնող ունակության երկու տարբեր արժեքների դեպքում: $n = n_{\text{кр}}$ -ի համար (7) հավասարումն ունի հավասար իրական արմատներ, իսկ $C = F_1(n)$ ֆունկցիան միարժեք է: Եթե $n < n_{\text{кр}}$, ապա հավասարման արմատները կեղծ են, ինչը վկայում է լրիվ ռեզոնանս ապահովող ունակության ընտրության անհնարինության մասին:

Հետազոտության արդյունքները: Դիտարկենք (7) հավասարման իրական և կեղծ արմատների դեպքերը: Նկ. 4-ում 1 և 2 կորերի փոխադարձ դիրքը ցույց է տալիս (10) բանաձևով որոշված ունակության և (7) հավասարման երկրորդ արմատի արժեքների մոտ լինելը:

(7) հավասարման երկու արմատներից մեծ արժեքին համապատասխանում է հաջորդական կոմպենսացիայի գերակշռությունը: Այս դեպքում կոնտուրի ունակային ճյուղն աշխատում է լարման ռեզոնանսին մոտ ռեժիմում, բայց առաջ ընկած հզորության գործակցով, որը բավարար է կոնտուրի ինդուկտիվ ճյուղի հոսանքի ռեակտիվ բաղադրիչը կոմպենսացնելու համար: Այս ռեժիմում ինդուկտորի ունակային ճյուղով հոսող հոսանքը զգալիորեն ավելի մեծ է, քան ինդուկտիվության ճյուղում հոսանքը, ինչի հետևանքով ինդուկտորի ինդուկտիվության ճյուղը քիչ է օգտագործվում:

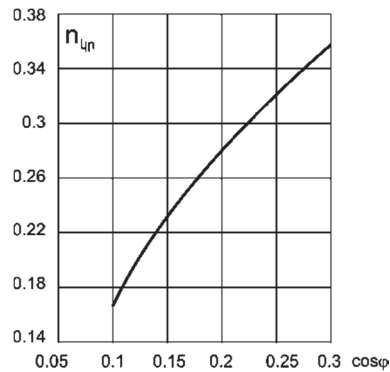
(7) հավասարման երկրորդ արմատներով որոշվող կոմպենսացնող ունակության արժեքների դեպքում ունակային ճյուղի լրիվ հոսանքը կարող է զգալիորեն փոքր լինել, քանի որ այժմ դրա աշխատանքի ռեժիմը հեռու է հաջորդական ռեզոնանսից, բայց այդ ճյուղի առաջ ընկած հզորության գործակիցը նվազում է այնքան, որ հոսանքի ունակային բաղադրիչը պահպանում է նախկին մեծությունը և մնում հավասար մյուս ճյուղում հոսանքի ինդուկտիվ բաղադրիչին: Աշխատանքի այս ռեժիմում գերակշռում է զուգահեռ կոմպենսացիան, և ինդուկտորի ինդուկտիվ ու ունակային ճյուղերում հոսանքները մեծությամբ մոտ են:

ո գործակցի նվազումը հանգեցնում է ինդուկտիվ ճյուղում հոսանքի ռեակտիվ բաղադրիչի աճին: Բեռի լրիվ կոմպենսացիայի պայմանը կատարելու համար անհրաժեշտ է, որ կոնտուրի հոսանքի ունակային բաղադրիչը նույնպես մեծանա: Իսկ երբ $n = n_{կր}$, ապա այս դեպքում լրիվ կոմպենսացիայի համար անհրաժեշտ է հոսանքի առավելագույն հնարավոր ունակային բաղադրիչ: Սրան համապատասխանում է ունակային ճյուղի միայն մեկ որոշակի հզորության գործակից: Դրա մեծությունը 0,7 է: Այստեղից բխում է արմատի եզակիությունը $n = n_{կր}$ -ի դեպքում:

ո գործակցի հետագա նվազումով ինդուկտիվ ճյուղի հոսանքի ռեակտիվ բաղադրիչը դառնում է այնքան մեծ, որ նույնիսկ մյուս ճյուղի հոսանքի ունակային բաղադրիչի առավելագույն հնարավոր արժեքը մնում է ավելի փոքր, քան դա անհրաժեշտ է տվյալ n -ի համար՝ ըստ լրիվ կոմպենսացիայի պայմանի: Հետևաբար, ապահովել բեռի կոնտուրի լրիվ ռեզոնանս $n < n_{կր}$ -ի դեպքում անհնար է ցանկացած կոմպենսացնող հզորության պայմանում [7]:

$n_{կր}$ -ի արժեքը կախված է բեռի հզորության գործակցից: Նկ. 5-ից երևում է, որ $\cos\varphi_F$ -ի 0,1-ից 0,3 աճի հետ աճում է նաև $n_{կր}$ կրիտիկական գործակիցը: Սա բացատրվում է նրանով, որ $\cos\varphi_F$ -ի աճը համարժեք է բեռի կոնտուրի երկու

ճյուղերում լրացուցիչ ակտիվ դիմադրություններ ներմուծելուն, ինչն էլ ենթադրում է այս ճյուղերում հոսանքի նվազում:



Նկ. 5. Տրանսֆորմացիայի $n_{կր}$ կրիտիկական գործակցի կախվածությունը բեռի $\cos \varphi$ -ի հզորության գործակցից

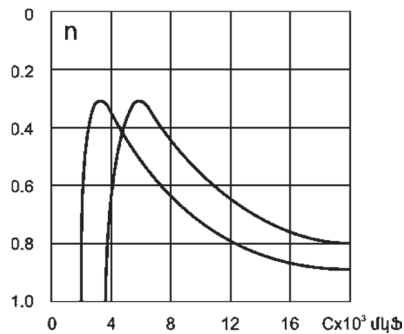
Երբ բեռի հզորության գործակցը փոխվում է 0,1-ից մինչև 0,3, ունակային ճյուղում հոսանքի նվազման աստիճանն ավելի բարձր է, քան ինդուկտիվ ճյուղում: Եթե, օրինակ, $\cos \varphi_F = 0,1$ -ի դեպքում $n_{կր}$ գործակցը 0,17 է (նկ. 5), ապա $\cos \varphi_F = 0,2$ -ի դեպքում արդեն հնարավոր չէ իրականացնել լրիվ կոմպենսացիա $n = 0,17$ գործակցով՝ ունակային ճյուղերում հոսանքի փոքր արժեքի պատճառով:

Հարկավոր է կոնստուրի ճյուղերում հավասարակշռել հոսանքները, որպեսզի լինի լրիվ կոմպենսացիա. այս դեպքում անհնար է n գործակցի առանց մեծացման մինչև $n_{կր} = 0,28$ արժեքը:

Այսպիսով, $\cos \varphi_F$ -ի 0,1-ից 0,3 միջակայքում աճի դեպքում $C = F_1(n)$ կորի գագաթը, որը համապատասխանում է տրանսֆորմացիայի $n_{կր}$ կրիտիկական գործակցին, տեղաշարժվում է օրդինատների առանցքից աջ:

Ինչպես երևում է նկ. 4-ից, կոր 1-ը կոորդինատային հարթությունը բաժանում է երկու մասի՝ ներքին (I) և արտաքին (II): I մասում կա գերկոմպենսացիա, իսկ II մասում՝ բեռի ռեակտիվ հզորության թերկոմպենսացիա:

Նկ. 6-ում ներկայացված են $C = F_1(n)$ կախվածության կորերը, որոնք կառուցված են $\cos \varphi_F = 0,2$ -ի դեպքում երկու տարբեր փոխակերպված հաճախականությունների համար՝ 2500 և 3000 Հց: Դիտարկենք փոխակերպված հաճախականության փոփոխման ազդեցության առանձնահատկությունը բեռի կոնստուրի վարքի վրա:



Նկ. 6. Կոմպենսացնող ունակության արժեքների կախվածությունը տրանսֆորմացիայի գործակցից 2500 Հg (կոր 1) և 3000 Հg (կոր 2) հաճախականությունների պայմանի դեպքում

Եթե, օրինակ, ընդունենք $n=0,6$ գործակցիցը, և իրականացնենք կոմպենսացիա C_1 ունակության դեպքում, որը համապատասխանում է (7) հավասարման մեծ արմատին, ապա անփոփոխ պահելով բեռի կոնտուրի բոլոր պարամետրերը, որոնք կարգավորված են 2500 Հg հաճախականությամբ ռեզոնանսում, հաճախականության բարձրացումը մինչև 3000 Հg, դիտարկվող դեպքում հանգեցնում է բեռի թերկոմպենսացիայի: Եթե 2500 Հg հաճախականությամբ լրիվ կոմպենսացիայի պայմանն ապահովված է (7) հավասարման փոքր արմատով, ապա բեռի կոնտուրի արձագանքը հաճախականության նմանատիպ փոփոխությանը կլինի ճիշտ հակառակը:

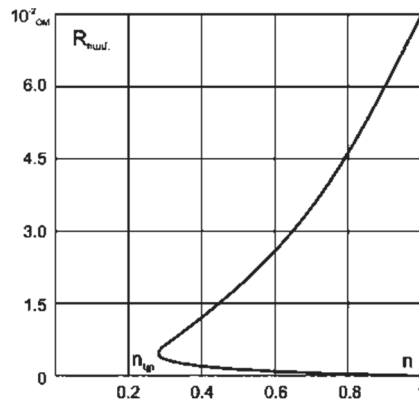
Այսպիսով, բեռնի կոնտուրը, որը կարգաբերված է տվյալ փոխակերպված հաճախականությամբ ռեզոնանսի համար, կարող է բոլորովին այլ կերպ արձագանքել այս հաճախականության նույն փոփոխությանը, կախված նրանից, թե (7) հավասարման արմատներից որն է համապատասխանում ռեզոնանսի համար կոմպենսացնող ունակության ընտրված արժեքին [8]:

Ինվերտորի պարամետրերը բեռի կոնտուրի պարամետրերին համապատասխանեցնելիս անհրաժեշտ է ոչ միայն ապահովել լրիվ կոմպենսացիա, այլև ընտրել կոնտուրի համարժեք ակտիվ դիմադրության արժեքն այնպես, որպեսզի ինվերտորը տա ամենամեծ հզորությունը, և այս դեպքում տիրիստորների կառավարելիությունը վերականգնելու համար նախատեսված ժամանակը պետք է մնա թույլատրելիի սահմաններում: Հետևաբար, բեռի կոնտուրի համարժեք ակտիվ դիմադրության մեծությունը գնահատելը տրանսֆորմացիայի տարբեր գործակցիների դեպքում դառնում է անհրաժեշտ:

Օգտագործելով (2), (2ա) (3) և (8ա) հավասարումները կոնտուրի լրիվ ակտիվ դիմադրության պայմանի և լրիվ կոմպենսացիայի պայմանի համարժեք կոնտուրի համարժեք ակտիվ դիմադրության կախվածությունը կարող է արտահայտվել բանաձևով.

$$R_3 = \frac{n\omega L(1-n) \left[1 + tg^2\varphi_p \left(1 - \frac{2}{(1-n)\omega^2 LC_{1,2}} + \frac{1}{\omega^4 L^2 (1-n)^2 C_{1,2}^2} \right) \right] (1 + tg^2\varphi_p)}{tg\varphi_p \left\{ (1-n) \left[1 + tg^2\varphi_p \left(1 - \frac{2}{(1-n)\omega^2 LC_{1,2}} + \frac{1}{\omega^4 L^2 (1-n)^2 C_{1,2}^2} \right) \right] + n(1 + tg^2\varphi_p) \right\}}$$

որտեղ $C_{1,2}$ -ը համապատասխանաբար (7) հավասարման արմատներն են: $\cos\varphi_p = 0,2$ -ի համար $R_3 = F_3(n)$ կախվածության կորը բերված է նկ.7-ում: Գրաֆիկից երևում է, որ $R_3 = F_3(n)$ ֆունկցիան նույնպես երկարժեք է $n_{կր} < n < 1$ միջակայքում: (7) հավասարման արմատների փոքր արժեքներին համապատասխանում են բեռի կոնտուրի համարժեք ակտիվ դիմադրության մեծ արժեքներ և հակառակը: Հետևաբար, տրանսֆորմացիայի միևնույն գործակցի դեպքում նշված դիմադրությունները ռեզոնանսի դիտարկվող երկու դեպքերում կարող են էապես տարբերվել միմյանցից:



Նկ.7. Բեռի կոնտուրի համարժեք ակտիվ դիմադրության կախվածությունը տրանսֆորմացիայի գործակցից $\cos\varphi_p = 0,2$ -ի և լրիվ կոմպենսացիայի պայմանի դեպքում

Կատարված վերլուծությունը ցույց տվեց, որ բեռի ավտոտրանսֆորմատորային միացման դեպքում բեռի կոնտուրի ռեզոնանսն ապահովելու հնարավորությունը գոյություն ունի միայն տրանսֆորմացիայի գործակցի փոփոխման որոշակի միջակայքում: Այդ միջակայքի լայնությունը կախված է $\cos\varphi_p$ -ից:

Ինչպես հայտնի է [8], հակադարձ դիողներով հաջորդական ինվերտորն իր ելքային բնութագրերով մոտ է հոսանքի աղբյուրին:

Բեռի կոնտուրի օգտագործումը՝ պակաս համարժեք ակտիվ դիմադրությունով, քան այն, որի համար հաշվարկված է ինվերտորը, հանգեցնում է տրված ելքային հզորության ստացման անհնարինությանը: Հետևաբար, նույնիսկ ռեզոնանսի առկայության, բայց կոմպենսացնող ունակության սխալ ընտրության դեպքում բեռի կոնտուրի ինդուկտիվ ճյուղը կարող է անօգուտ լինել դրա՝ լարման ռեզոնանսին մոտ ռեժիմով աշխատող ունակային ճյուղի շունտավորման պատճառով:

Եզրակացություն: Լրիվ կոմպենսացիա ապահովելու և ինվերտորի անվանական էլքային հզորություն ստանալու համար պետք է ընտրել (7) հավասարման առաջին (փոքր) արմատով որոշվող կոմպենսացնող ունակության մեծությունը:

Բեռի ավտոտրանսֆորմատորային միացումով տիրիստորային ինվերտորների փորձնական ուսումնասիրությունները և շահագործման փորձը, որոնց համար օգտագործվել են ինդուկտորներ մետաղների հալման համար, հաստատում են եզրակացությունները, որոնք շարադրված են սույն աշխատանքում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Слухоцкий А.Е., Немков В.С., Павлов Н.А., Бамунер А.В.** Установки индукционного нагрева / Под ред. А.Е. Слухоцкого. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 328 с.
2. **Электротехнические установки и их источники питания: Учебное пособие для вузов по спец. “Промышленная электроника” / Сост. В.И. Бар.** – Тольятти: ТГУ, 2002. – 98 с.
3. **Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М.** Основы преобразовательной техники. – М.: Высшая школа, 1980. – 424 с.
4. **Электротехнологические установки и их источники питания.** – Тольятти, 2002. – 105 с.
5. **Евтюкова И.П., Кацевич Л.С., Некрасова Н.М., Свенчанский А.Д.** Электротехнологические промышленные установки / Под ред. А.Д. Свенчанского. – М.: Энергоиздат, 1982. – 400 с.
6. **Валиуллина З., Зинин Ю.** Исследование тиристорных преобразователей частоты для установок индукционного нагрева металлов // Силовая электроника. - М., 09.08.2009, <http://www.power-e.ru/316.php>
7. **Рама Р.С.** Основы силовой электроники / Пер. с англ. В.В. Масалова– М.: Техносфера, 2006. – 288 с.
8. **Тиристорные преобразователи повышенной частоты для электротехнологических установок / Е.И. Беркович, Иоффе Ю.С. и др.** – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 206 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 19.10.2023

П.С. МАНУКЯН, А.М. АРУТЮНЯН, С.Д. САРГСЯН

АВТОТРАНСФОРМАТОРНЫЙ МЕТОД ПОДКЛЮЧЕНИЯ ИНДУКТОРА К ТИРИСТОРНОМУ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЮ

Рассмотрен вопрос правильного согласования параметров инвертора с параметрами нагрузки с целью получения наибольшей выходной мощности преобразователя при необходимом запасе его устойчивости. Во избежание недопустимо высоких перепадов температуры в радиальном направлении заготовок удельная мощность индукторов ограничивается, в результате чего оказывается целесообразным выполнять их на напряжение 500...750 В и выше. Кроме того, печные высокочастотные конденсаторы для компенсации реактивной мощности нагрузки выпускаются с номинальным напряжением от 375 до 1000 В, поэтому подключение индуктора к инвертору с пониженным выходным напряжением приходится осуществлять по автотрансформаторной схеме. С целью упрощения расчетов в настоящей работе принято допущение, что коэффициент мощности по длине индуктора имеет некоторое постоянное усредненное значение и не зависит от распределения температурного поля вдоль индуктора. Исходя из такого допущения, зависимость активного сопротивления нагрузки от числа витков индуктора может быть представлена в виде линейной функции при различных коэффициентах трансформации. При согласовании параметров инвертора с параметрами нагрузочного контура необходимо не только обеспечить полную компенсацию, но и подобрать величину эквивалентного активного сопротивления контура таким образом, чтобы инвертор отдавал наибольшую мощность, и при этом время, предоставляемое на восстановление управляемости тиристоров, должно оставаться в допустимых пределах. Поэтому оценка величины эквивалентного активного сопротивления нагрузочного контура при различных коэффициентах трансформации является необходимой.

Ключевые слова: индукционный нагрев, индуктор, преобразователь частоты, выходная мощность, реактивная мощность, печные высокочастотные конденсаторы.

P.S. MANUKYAN, A.M. HARUTYUNYAN, S.D. SARGSYAN

THE AUTOTRANSFORMER METHOD OF CONNECTING THE INDUCTOR TO THE THYRISTOR CONVERTER

The issue of the correct coordination of the inverter parameters with the load parameters in order to obtain the highest output power of the converter at the necessary margin of its stability is considered. In order to avoid impermissibly high temperature drops in the radial direction of the workpieces, the specific power of inductors is limited, as a result of which it is expedient to perform them for a voltage of 500 ... 750 V and higher. In addition, high-frequency furnace capacitors for compensating the reactive power of the load are produced with a rated voltage from 375 to 1000 V, so the connection of the inductor to the inverter with a reduced output voltage has to be carried out according to the autotransformer circuit. In order to simplify the calculations, it is assumed that the power

factor along the length of the inductor has a certain constant averaged value and does not depend on the distribution of the temperature field along the inductor. Based on this assumption, the dependence of the active resistance of the load on the number of turns of the inductor can be presented as a linear function for various transformation ratios. When matching the parameters of the inverter with the parameters of the load circuit, it is necessary not only to ensure full compensation, but also to select the value of the equivalent active resistance of the circuit in such a way that the inverter give the most power, and at the same time, the time provided for restoring the controllability of the thyristors must remain within acceptable limits. Therefore, the estimation of the value of the equivalent active resistance of the load circuit at various transformation ratios is necessary.

Keywords: induction heating, inductor, frequency converter, voltage, output power, reactive power, high-frequency furnace capacitors.