

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՉՈՒԽԱԶՅԱՆ ՆԱՐԵԿ ՀԱՅԿԻ

**ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԿԱԽՈՑԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Ե.13.02 - «Ավտոմատացման համակարգեր» մասնագիտությամբ
տեխնիկական գիտությունների
թեկնածուի գիտական աստիճանի
հայցման ատենախոսության սեղմագիր

Երևան 2024

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀԱՊՀ-ում:

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ. Գրիգորյան Արեգ Խաչիկի

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ տ.գ.դ. Սուքիասյան Հայկ Ստեփանի
տ.գ.թ. Դարբինյան Հայկանուշ Գուրգենի

Առաջատար կազմակերպություն՝ Սինոփսիս-Արմենիա ՓԲԸ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2025թ. հունվարի 24-ին, ժամը 14:30-ին, ՀԱՊՀ-ում գործող «Կառավարման և ավտոմատացման» 032 մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105, 17 մասնաշենք):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2024թ. դեկտեմբերի 20-ին:

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար, տ.գ.թ.



Խաչատրյան Մանե Գագիկի

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Աշխատանքի արդիականությունը: Տեխնոլոգիական գործընթացներում, ավտոմատացման և կառավարման համակարգերում կիրառվում են էլեկտրամագնիսական կախոցներ: Այս սարքերը, հարթահարելով մարմնի ծանրության ուժը, այն պահում են օդում առանց մեխանիկական հենարանների օգտագործման: Ծանրության ուժը հավասարակշռվում է էլեկտրամագնիսական ուժով, ինչի շնորհիվ մարմինը հայտնվում է օդում «կախված» վիճակում: Էլեկտրամագնիսական կախոցների համախմբից իրենց բնութագրերով ու աշխատանքային գործառույթներով առանձնանում են այն կախոցները, որոնք կիրառվում են արագընթաց մագլև գնացքներում՝ գնացքը շարժուղուց վեր բարձրացնելու և օդում որոշակի բարձրությունում պահելու համար: Կախոցով բարձրացված և օդում «կախված» գնացքի շարժակազմը «հենվում» է այսպես կոչված «մագնիսական բարձի» կամ «օդային բարձի» վրա: Այս հանգամանքի շնորհիվ բացակայում է շփման ուժը գնացքի և շարժուղու միջև, ինչը հնարավորություն է տալիս զարգացնելու համեմատաբար մեծ շարժման արագություններ:

Մագնիսական կախոցների տեխնիկական բնութագրերը կարևոր նշանակություն ունեն շահագործվող համակարգերի, մասնավորապես մագլև գնացքների հուսալի ու անվտանգ աշխատանքի տեսանկյունից: Այս բնութագրերը ձևավորվում են կախոցների նախագծման փուլում: Որքան կատարյալ ու ժամանակակից լինեն նախագծման գործիքները, որքան ճշգրիտ լինեն կիրառվող մեթոդները, այնքան ավելի աշխատունակ ու հուսալի կլինեն նոր ստեղծվող կախոցները: Ուստի էլեկտրամագնիսական կախոցների ավտոմատացված նախագծման համակարգի մշակումը կարևոր ու արդիական խնդիր է:

Աշխատանքի նպատակը և հիմնական խնդիրները: Աշխատանքի նպատակը էլեկտրամագնիսական կախոցի ավտոմատացված նախագծման համակարգի մշակումն է, որն իրագործվել է հետևյալ խնդիրների լուծման ճանապարհով.

1. էլեկտրամագնիսական կախոցների, մասնավորապես մագլև արագընթաց գնացքների կախոցների, ուսումնասիրություն, հետազոտության օբյեկտի ընտրություն,
2. էլեկտրամագնիսական կախոցի մաթեմատիկական մոդելի կազմում, մագնիսական շղթայի ուղիղ և հակադարձ խնդիրների առաջադրում և լուծում, կառավարման փաթեյթի նախագծում, փաթեյթի մագնիսաշարժ ուժի (ՄՇՈՒ) բնութագրական արժեքների որոշում,
3. էլեկտրամագնիսական կախոցի օպտիմալ նախագծման խնդիրների առաջադրում և լուծում,
4. էլեկտրամագնիսական կախոցի ավտոմատացված նախագծման համակարգի մշակում և գործարկում:

Հետազոտության մեթոդները: էլեկտրամագնիսական կախոցի մաթեմատիկական մոդելավորման նպատակով կիրառվել են մագնիսական շղթաների հաշվարկի ու նախագծման մեթոդները, ֆերոմագնիսական նյութի մագնիսացման կորի միջարկման համար օգտագործվել է Լագրանժի 4-րդ կարգի բազմանդամը,

մագնիսական շղթայի ցրման հոսքի զուգահեռ ճյուղերի քանակի որոշման համար՝ իտերացիոն մեթոդը, մագնիսական կախոցի օպտիմալացման համար՝ գենետիկ մեթոդը, ավտոմատացման նախագծման համակարգի ստեղծման համար՝ վերը նշված բոլոր մեթոդներն իրականացվել են C++ ծրագրավորման լեզվով, և անհրաժեշտ գրաֆիկական ինտերֆեյսը ստեղծվել է Qt գրադարանի օգնությամբ:

Աշխատանքի գիտական նորույթը.

1. կազմվել է էլեկտրամագնիսական կախոցի մաթեմատիկական մոդելը,
2. առաջարկվել են կախոցի մագնիսական շղթայի ցրման հոսքի զուգահեռ ճյուղերի քանակի որոշման իտերացիոն մեթոդը և կառավարման փաթույթի մագնիսաշարժ ուժի բնութագրական արժեքների որոշման եղանակը,
3. ձևակերպվել և լուծվել է էլեկտրամագնիսական կախոցի օպտիմալացման խնդիրը,
4. մշակվել է էլեկտրամագնիսական կախոցի ավտոմատացված նախագծման համակարգը:

Աշխատանքի կիրառական նշանակությունը: Տարատեսակ տեխնոլոգիական գործընթացներում, ավտոմատացման ու կառավարման համակարգերում, այդ թվում արագընթաց մագլև գնացքներում կիրառվող էլեկտրամագնիսական կախոցների նախագծման և օպտիմալացման եղանակներն ու դրանց հիման վրա մշակված ավտոմատացված նախագծման համակարգերն ունեն կարևոր կիրառական նշանակություն նոր ստեղծվող կախոցների աշխատունակության, հուսալիության, ինչպես նաև այդ սարքերը ժամանակակից տեխնիկական բնութագրերով ապահովելու տեսանկյունից: Մշակված ավտոմատացված նախագծման համակարգը կիրառվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի (ՀԱՊՀ) «Ավտոմատացում և էլեկտրամագնիսական համակարգեր» (ԱևԷՀ) բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայում՝ մեքենայական ուսուցման մեթոդներով էլեկտրամագնիսական կախոցի պարամետրերի արժեքների կանխատեսման, դասակարգման և օպտիմալացման խնդիրները լուծելու համար. ավտոմատացված համակարգով կատարվել են 1000000 նախագծեր, որոնց տվյալները համալրել են ուսուցանվող շտեմարանը: Ատենախոսության արդյունքները, մասնավորապես մաթեմատիկական մոդելը, մագնիսական շղթայի ուղիղ և հակադարձ խնդիրների լուծման եղանակները, ներմուծվել են ՀԱՊՀ «Էլեկտրատեխնիկա» մասնագիտությամբ «Էլեկտրատեխնիկա, էլեկտրամեխանիկա և էլեկտրատեխնոլոգիաներ» մագիստրոսական կրթական ծրագիր՝ կիրառվել «Կառավարման, հսկման և պաշտպանության էլեկտրաապարատային միջոցներ» դասընթացի տեսական ու գործնական պարապմունքների ժամանակ:

Աշխատանքի արդյունքների հրապարակում:

Հետազոտությունների արդյունքները հրատարակվել են 8 տպագիր աշխատություններում, այդ թվում՝ մեկ հոդված Scopus գիտատեղեկատվական շտեմարանի հանդեսում: Արդյունքները ներկայացվել են ՀԱՊՀ 2018թ., 2020թ., 2021թ. տարեկան գիտաժողովներում, Ա և ԷՀ բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայի գիտական սեմինարներում:

Ատենախոսության պաշտպանությանը ներկայացվող դրույթներն ու հետազոտությունների արդյունքները.

1. էլեկտրամագնիսական կախոցի մաթեմատիկական մոդելը,
2. էլեկտրամագնիսական կախոցի մագնիսական շղթայի ուղիղ և հակադարձ խնդիրների առաջադրումն ու լուծումը, կախոցի կառավարման փաթույթի մագնիսաշարժ ուժի բնութագրական արժեքների որոշման եղանակը,
3. էլեկտրամագնիսական կախոցի օպտիմալացման խնդրի ձևակերպումը և լուծումը,
4. էլեկտրամագնիսական կախոցի ավտոմատացված նախագծման համակարգը:

Ատենախոսության կառուցվածքը և բովանդակությունը: Աշխատանքը կազմված է 7 բաժիններից (այդ թվում՝ ներածությունից և եզրահանգումից), օգտագործված գրականության ցանկից: Այն շարադրված է 119 էջում և պարունակում է 67 նկար:

Ատենախոսության երկրորդ բաժնում ուսումնասիրվել են մագնիսական կախոցները, վերլուծվել մագլև գնացքների ու դրանց կախոցների առանձնահատկությունները, ընտրվել է հետազոտության օբյեկտը:

Ատենախոսության երրորդ գլուխը նվիրված է էլեկտրամագնիսական կախոցի մաթեմատիկական մոդելի մշակման, կախոցի մագնիսական շղթայի ուղիղ և հակադարձ խնդիրների լուծման, կառավարման փաթույթի նախագծման, փաթույթի մագնիսաշարժ ուժի բնութագրական արժեքների որոշման հարցերին:

Աշխատանքի չորրորդ բաժնում առաջադրվել է էլեկտրամագնիսական կախոցի օպտիմալացման խնդիրը, ընտրվել են օպտիմալացման նպատակային ֆունկցիաները և մեծությունների փոփոխությունների սահմանները, նկարագրվել և իրագործվել է օպտիմալացման գեներտիկ մեթոդը, ներկայացվել ու վերլուծվել են ստացված արդյունքները:

Ատենախոսության հինգերորդ գլուխը նվիրված է էլեկտրամագնիսական կախոցի ավտոմատացված նախագծման համակարգի ստեղծմանը: Այստեղ նկարագրվել են համակարգի բաղկացուցիչ կառուցվածքային մասերը, օգտագործվող նյութերի՝ պողպատների ու փաթույթային հաղորդալարերի գրադարանները, ներկայացվել են լուծված խնդիրների ալգորիթմերը և օգտագործողին հասանելի գրաֆիկական ինտերֆեյսն ու դրա աշխատանքի սկզբունքը:

ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԿԱԽՈՑՆԵՐ: ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅԱՆ ՕԲՅԵԿՏԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅՈՒՆ

Տարատեսակ տեխնոլոգիական գործընթացներում, ավտոմատացման ու կառավարման համակարգերում կիրառվում են էլեկտրամագնիսական (մագնիսական) կախոցները: Այս սարքերը հաղթահարում են մարմնի ծանրության ուժը և տվյալ մարմինը պահում օդում՝ առանց մեխանիկական հենարանների օգտագործման: Էլեկտրամագնիսական կախոցների համախմբից առանձնանում են ժամանակակից արագընթաց մագլև գնացքների (նկ. 1) կախոցները, որոնք

նախատեսված են գնացքների շարժակազմը շարժուղուց բարձրացնելու և օդում պահելու համար:



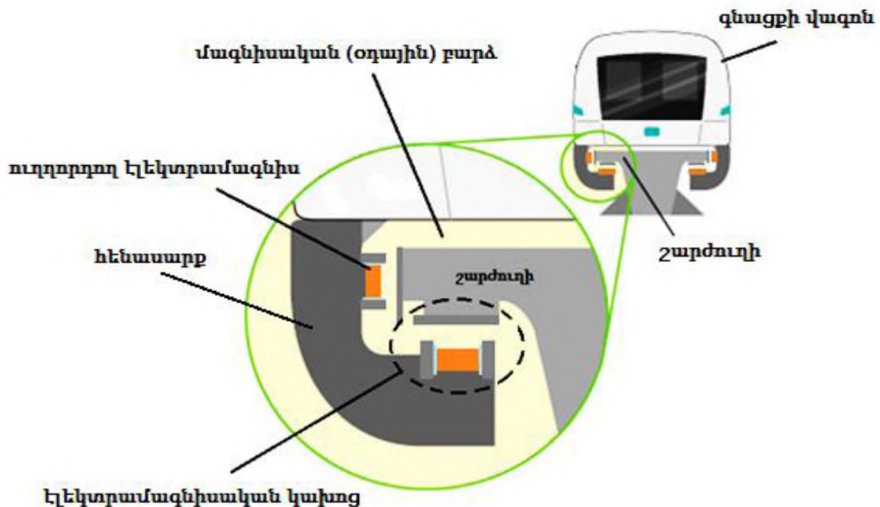
Նկ. 1. Շանհայի մագլև գնացքը

Մագլև գնացքի աշխատանքի սկզբունքը հիմնված է երկու համակարգերի վրա. դրանցից մեկը՝ ինչպես նշեցինք էլեկտրամագնիսական կախոցը, պատասխանատու է գնացքը բարձրացնելու և շարժուղու վրա օդում պահելու, իսկ մյուսը՝ էլեկտրական կամ այլ բնույթի շարժիչը՝ բարձրացված գնացքը տեղաշարժելու համար: Ընդ որում, շարժվող գնացքի և շարժուղու միջև բացակայում է շփման ուժը, ինչը հնարավորություն է տալիս զարգացնել շարժման համեմատաբար մեծ արագություններ: Մագլև անվանումը կազմված է “magnetic levitation” բառակապակցությունից, որը թարգմանաբար նշանակում է մագնիսական թռիչք. գնացքը փաստորեն ճախրում-թռչում է շարժուղու և գնացքի միջև ձևավորված օդային շերտի վրայով, որին հաճախ անվանում են «օդային բարձ» կամ «մագնիսական բարձ»:

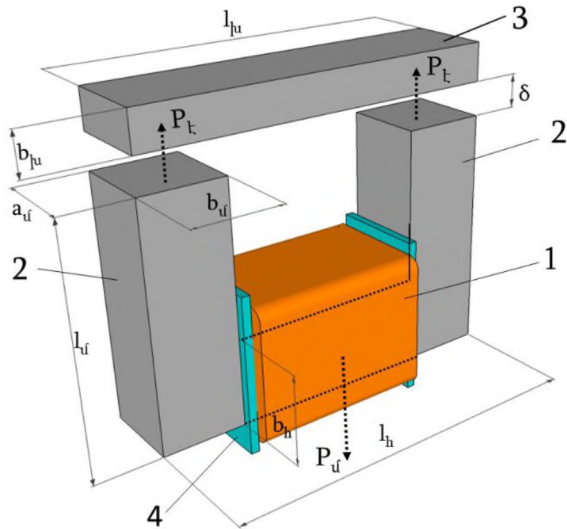
Մագլև գնացքները կարող են գերազանցել 500 կմ/ժ և ավելի արագություններ: Սրանք համեմատած դասական գնացքների հետ, աշխատում են ավելի մեղմ և անաղմուկ, կարողանում են արագանալ և դանդաղել համեմատաբար կարճ ժամանակամիջոցներում, համեմատաբար քիչ են կախված եղանակային պայմաններից, համեմատաբար անաղմուկ են և այլն:

Մագլև գնացքներում հիմնականում օգտագործվում են երկու տիպի՝ EDS – էլեկտրադինամիկական և EMS– էլեկտրամագնիսական կախոցներ:

EDS (electrodynamic suspension) տիպի էլեկտրադինամիկական կախոցի աշխատանքի սկզբունքը հիմնված է մագնիսական դաշտերի փոխազդեցությամբ առաջացող վանող ուժի վրա: EMS (electromagnetic suspension) տիպի էլեկտրամագնիսական կախոցի (նկ. 2) աշխատանքը պայմանավորված է էլեկտրամագնիսի ֆերոմագնիսական տարրերի միջև գործող փոխադարձ ձգողության ուժով, որի արժեքը կառավարվում է հետադարձ կապի միջոցով ստացված տվյալների հիման վրա՝ էլեկտրամագնիսի կառավարման փաթեթի հոսանքի արժեքի փոփոխումով : Կատարված վերլուծությունների հիման վրա, նկատի ունենալով մագլև գնացքների EMS համակարգի առանձնահատկությունները (համեմատաբար պարզ տեխնոլոգիական լուծումներ և արժեք, անիվների ու, համապատասխանաբար, շարժուղու վրա անվուղիների, ինպես նաև ուժեղ մագնիսական դաշտերի բացակայություն և այլն), այս աշխատանքի հետազոտությունների համար որպես օբյեկտ ընտրվել է էլեկտրամագնիսական (EMS) կախոց, որի կառուցվածքային սխեման տրված է նկ. 3-ում: Այստեղ 1-ը կառավարման փաթեթն է, 2-ը՝ միջուկները, 3-ը՝ մագնիսալարի խարիսխը, 4-ը՝ կառավարման փաթեթի մեկուսիչը, ծ-ն օդային աշխատանքային բացակի չափը, P-ն՝ միջուկների բեռների և խարսխի միջև գործող P_է ձգող էլեկտրամագնիսական ուժը, P_ս-ը հակազդող մեխանիկական ուժը, I_ս, I_հ, I_մ, b_ս, a_մ, b_մ, b_ի-ն՝ կառուցվածքային չափերը:



Նկ. 2. EMS տիպի կախոցով գնացքը շարժուղու վրա



Նկ. 3. Էլեկտրամագնիսական կախոցի կառուցվածքային սխեման

ԿԱՆՈՑԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԻ ԿԱԶՄՈՒՄ: ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱԴՐՈՒՄ ԵՎ ԼՈՒԾՈՒՄ

Էլեկտրամագնիսական համակարգի նախագծման գործընթացը ներառում է հետևյալ հայտնի փուլերը. նախագծային հաշվարկ (այս փուլում լուծվում է մագնիսական շղթայի ուղիղ խնդիրը), ստուգողական հաշվարկ, երբ լուծվում է մագնիսական շղթայի հակադարձ խնդիրը և կառուցվում են քարշային բնութագրերը, կառավարման փաթույթի նախագծային հաշվարկ, երբ որոշվում են փաթույթի բոլոր բնութագրական մեծությունների արժեքներն ու ընտրվում է փաթույթային հաղորդալարը: Այս աշխատանքում մշակվող ավտոմատացված նախագծման համակարգը, բնականաբար, պետք է ընդգրկի վերոնշյալ բոլոր փուլերը: Նկ. 4-ում պատկերված են վերը թվարկված խնդիրները լուծելու համար անհրաժեշտ՝ էլեկտրամագնիսական կախոցի մագնիսական շղթան (a) և դրա փոխարինման սխեման (p): Ընդ որում, փոխարինման սխեման պայմանականորեն ներկայացված է երեք (1, 2 և 3) բնութագրական տեղամասերով: Վերին (1-ին) հատվածն ընդգրկում է օդային աշխատանքային բացակներն ու խարիսխը Φ_{δ} մագնիսական հոսքով և խարսխի ու աշխատանքային օդային բացակների R_{mju} , $R_{m\delta}$ մագնիսական դիմադրություններով: Սխեմայի միջին (2-րդ) տեղամասում մագնիսալարի միջուկների միջև հոսում է Φ_a ցրման հոսքը, որը, սխեմայում կարող է ներկայացվել 0-ից (ցրման մագնիսական հոսքը բացակայում է) մինչև մի ինչ-որ n քանակությամբ զուգահեռ ճյուղերով: Սխեմայի դիտարկվող հատվածում (տեղամասում) ներկայացվել են ցրման հոսքի ընթացիկ i -րդ զուգահեռ ճյուղը և

միջուկների՝ դրան համապատասխանող հատվածների Φ_{δ} հոսքով և R_{mid} դիմադրություններով: Փոխարինման սխեմայի երրորդ՝ ստորին հատվածում կառավարման փաթեթի F մագնիսաշարժ ուժն է (U ՇՈՒ) և հիմքի մագնիսալարի R_{mh} մագնիսական դիմադրությունը որով հոսում է հիմքի Φ_{h} մագնիսական հոսքը:

Համակարգի մաթեմատիկական մոդելը կազմվել է էլեկտրամագնիսական համակարգում առկա երևույթները հայտնի մաթեմատիկական արտահայտություններով ներկայացնելու միջոցով: Ընդ որում, մագնիսալարի ֆերոմագնիսական նյութի մագնիսացման կորը այստեղ մոտարկվել է Լագրանժի 4-րդ կարգի բազմանդամով:

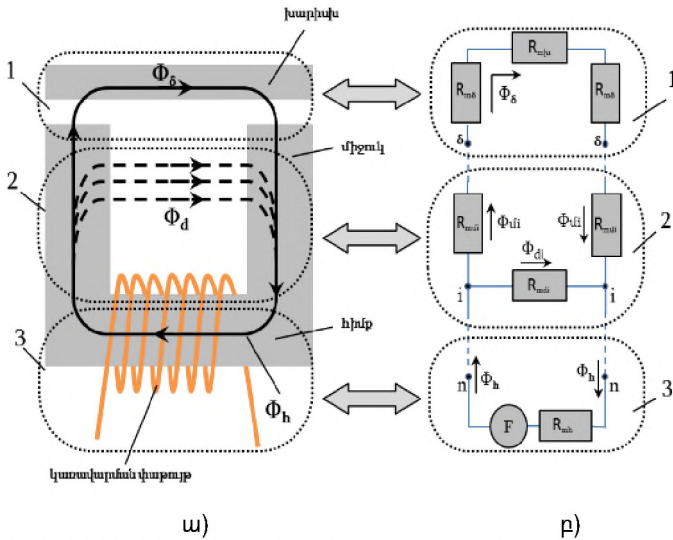
Ուղիղ խնդրի լուծման ընթացքում, երբ Φ_{δ} հոսքի հայտնի արժեքով որոշվում է U ՇՈՒ-ի արժեքը, էական նշանակություն է ձեռք բերում մագնիսական շղթայի ցրման հոսքի զուգահեռ ճյուղերի՝ հաշվարկի համար ընդունելի n քանակի որոշումը: Այս նպատակով, խնդրի ավտոմատացված լուծման ընթացքում $n=0$ -ից սկսած, քայլ առ քայլ, շղթայում ավելացվում է մի ինչ-որ i -րդ ցրման հոսքի ճյուղ, որի համար ստուգվում է հետևյալ պայմանը.

$$\frac{F_i - F_{i-1}}{F_{i-1}} \leq \varepsilon; \tag{1}$$

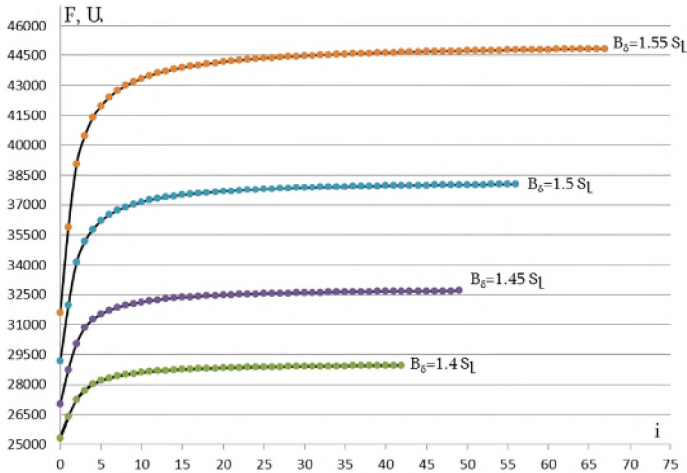
Այստեղ F_i -ն և $F_{(i-1)}$ -ը F ՄՇՈՒ-ի հաշվարկված արժեքներն են ցրման հոսքի զուգահեռ ճյուղերի i և $(i-1)$ քանակների համար ($F_i > F_{(i-1)}$), իսկ ε -ը մի ինչ-որ ընտրված թիվ է, որն ընդունելի է խնդրի լուծման ճշտության տեսանկյունից: Երբ հերթական i -ի համար բավարարվում է (1) պայմանը, դիտարկվող խնդիրը համարվում է լուծված: Այս դեպքում հայտնի է դառնում ցրման մագնիսական հոսքի զուգահեռ ճյուղերի n քանակը, վերջնականորեն ձևավորվում է համակարգի մաթեմատիկական մոդելը, F_i -ն ընդունվում է որպես F ՄՇՈՒ-ի հաշվարկային արժեք: Նկ. 5-ում տրված են F ՄՇՈՒ-ի հաշվարկային արժեքների կախվածությունները ցրման հոսքի զուգահեռ ճյուղերի քանակից:

Ստուգողական հաշվարկը նախագծման կարևոր փուլերից է: Այստեղ հայտնի չափերի, մագնիսալարի նյութի, F ՄՇՈՒ-ի արժեքի դեպքում δ -ի ընթացիկ արժեքների համար որոշվել է P_i ուժը, կառուցվել են $P_i(\delta)$ քարշային բնութագրերը: Մագնիսական շղթայի ստուգողական հաշվարկից հետո կատարվել է կառավարման փաթեթի նախագծային հաշվարկը՝ կառավարման փաթեթների հաշվարկի ու նախագծման հայտնի մեթոդների հիման վրա:

Դիտարկվող էլեկտրամագնիսական կախցիի համար առաջնային խնդիր է գնացքը վեր բարձրացնելը և շարժուղու նկատմամբ որոշակի դիրքում պահելը: Բնականաբար, գնացքը բարձրացնելու համար P_i ուժի արժեքը պետք է գերազանցի հակազդող P_{δ} ուժին՝ գնացքի P_4 կշռին: Բարձրացնելուց հետո, անհրաժեշտ է գնացքը կայուն պահել օդում. այս պայմանը բավարարելու համար ակնհայտ է, որ P_i ուժը հավասարակշռվի հակազդող P_{δ} ուժով: Ատենախոսությունում առանձնացվել է



Նկ.4. Մագնիսական շղթան (ա) և դրա փոխարինման սխեման (բ)



Նկ. 5. F ՄՀՈՒ-ի հաշվարկային արժեքի կախվածությունները ցրման հոսքի գույգահեռ ճյուղերի քանակից

կախցի անվտանգ աշխատանքի տեսանկյունից կարևոր՝ աշխատանքային օդային բացակի δ չափի փոփոխության թույլատրելի տիրույթը՝ բեռի (գնացքի) կշռի հնարավոր փոփոխությունների հաշվառումով: Որոշվել են F ՄՀՈՒ-ի բնութագրական

արժեքներն ինչպես էլեկտրամագնիսի բանեցման (գնացքի վեր բարձրացման), այնպես էլ անվտանգ աշխատանքի տեսանկյունից:

ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԿԱԽՈՑԻ ԲԼՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ԱՐԺԵՔՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄ

Ինչպես նշեցինք, կախոցի զարգացրած էլեկտրամագնիսական ուժի արժեքը պետք է բավականաչափ մեծ լինի, որպեսզի հաղթահարի դիմադրության ուժը (գնացքի կշիռը): Միևնույն ժամանակ կախոցը պետք է բավարարի նաև բազմաթիվ այլ պահանջների: Որպես օրինակ, նմանատիպ պահանջներից են՝ կախոցի պատրաստման համար անհրաժեշտ նյութերի նվազագույն գինը, շահագործման ընթացքում սպառվող էլեկտրական հզորության նվազագույն արժեքը, շահագործման հուսալիությունը և այլն: Այդ պայմաններին բավարարող կախոցի բնութագրերը որոշելու համար ձևակերպել և լուծվել է կախոցի օպտիմալ նախագծման խնդիրը: Վերը թվարկված բնութագրերից դիտարկվել են հետևյալ չափանիշները՝ կախոցի կառավարման փաթույթի նվազագույն էլեկտրական հզորությունը, կախոցի պատրաստման համար օգտագործված ակտիվ նյութերի (մագնիսալարի պողպատ և կառավարման փաթույթի պղնձե հաղորդալար) նվազագույն գինը, ինչպես նաև այդ երկու չափանիշներով՝ բազմաչափանիշային խնդրի ընդհանրացված նպատակային ֆունկցիայի մինիմումը: Օպտիմալացման մաթեմատիկական մոդելի միջոցով էլեկտրամագնիսական կախոցի կառուցվածքը նկարագրվել է կառուցվածքային գործակիցների համախմբով $\{K_E, K_{\text{Վ}}, K_{\text{ՄԱ}}, K_{\text{Դ}}, K_{\text{Ի}}, K_{\text{Ճ}}, K_{\text{Փ}}\}$: Որպես օպտիմալ նախագծման մուտքային տվյալներ հանձնարարվել են գնացքի վագոնի կշիռը, մեկ վագոնին բաժին ընկնող էլեկտրամագնիսական կախոցների քանակը, ինչպես նաև կախոցի աշխատանքային օդային բացակի մագնիսական ինդուկցիայի արժեքը՝ B_{δ} -ն:

Աշխատանքում առաջադրվել և լուծվել են հետևյալ նպատակային ֆունկցիաներով օպտիմալացման խնդիրները.

1. $V(K_E, K_{\text{Վ}}, K_{\text{ՄԱ}}, K_{\text{Դ}}, K_{\text{Ի}}, K_{\text{Ճ}}, K_{\text{Փ}}, B_{\delta}) \rightarrow \min:$ (1)

Այս նպատակային ֆունկցիան նկարագրում է կախոցի պատրաստման համար անհրաժեշտ ակտիվ նյութերի պողպատի և պղնձե հաղորդալարի նվազագույն գնի (V) որոշման խնդիրը:

2. $P(K_E, K_{\text{Վ}}, K_{\text{ՄԱ}}, K_{\text{Դ}}, K_{\text{Ի}}, K_{\text{Ճ}}, K_{\text{Փ}}, B_{\delta}) \rightarrow \min:$ (2)

Այս դեպքում փնտրվում է P (էլեկտրամագնիսի կառավարման փաթույթի էլեկտրական հզորությունը) նպատակային ֆունկցիայի նվազագույն արժեքը:

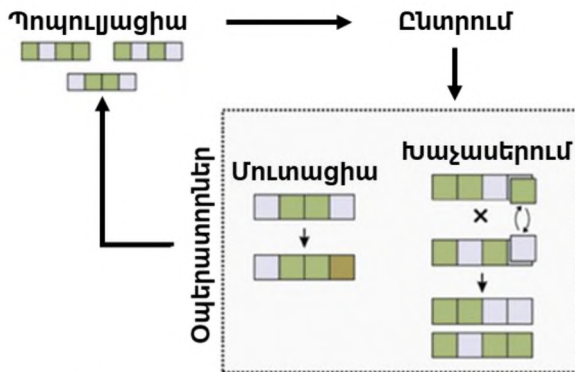
3. $\sigma(K_E, K_{\text{Վ}}, K_{\text{ՄԱ}}, K_{\text{Դ}}, K_{\text{Ի}}, K_{\text{Ճ}}, K_{\text{Փ}}, B_{\delta}) \rightarrow \min:$ (3)

Այս դեպքում փնտրվում է ակտիվ նյութերի գնի և էլեկտրական հզորության նվազագույնի չափանիշներով՝ բազմաչափանիշային խնդրի ընդհանրացված նպատակային ֆունկցիայի մինիմումը:

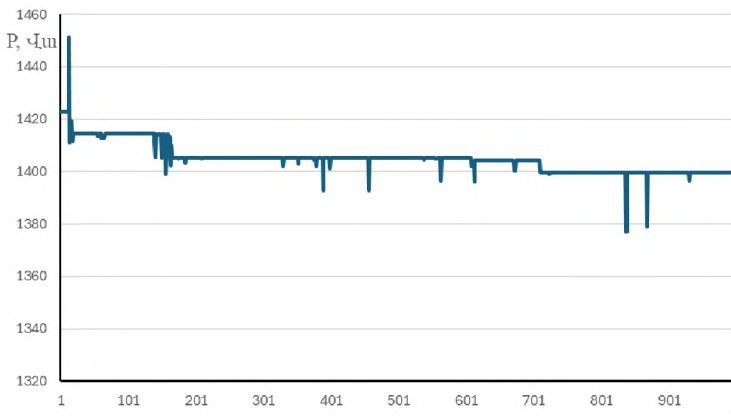
Նկատի ունենալով էլեկտրամագնիսական կախոցի հաշվարկի ու նախագծման եղանակների առանձնահատկությունները, կախոցի բնութագրերի օպտիմալ

արժեքները որոշելու համար ընտրվել է օպտիմալացման գենետիկ մեթոդը և առաջարկվել ալգորիթմի աշխատանքային սխեման, որը պատկերված է նկ. 8-ում:

Գենետիկ ալգորիթմը իրականացվել է (1-3) նպատակային ֆունկցիանների նվազագույն արժեքները որոշելու համար: Նկ. 9-ում որպես օրինակ ներկայացված է կախոցի գենետիկ ալգորիթմի աշխատանքի ժամանակ յուրաքանչյուր i -րդ խտրացիայից հետո կախոցի նվազագույն հզորությունը. 1000 խտրացիայի ընթացքում հզորությունը նվազում է 1422 Վտ-ից մինչև 1377 Վտ: Պարամետրերի հաշվարկային համախմբի համար P հզորությունը նվազել է մոտ 10%-ով՝ 1650 Վտ-ից 1501 Վտ, իսկ նյութերի գինը՝ 20%-ով՝ 250 USD-ից 192 USD:



Նկ. 8. Մշակված գենետիկ ալգորիթմի աշխատանքային սխեման



Նկ. 9. Նվազագույն հզորության փոփոխությունը գենետիկ ալգորիթմի աշխատանքի ընթացքում

ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԿԱԽՈՑԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ

Այս բաժնում նկարագրվում է էլեկտրամագնիսական կախոցի ավտոմատացված նախագծման համակարգը, որը ստեղծվել է նախորդ բաժիններում ներկայացված հետազոտությունների արդյունքների հիման վրա: Համակարգը հնարավորություն է տալիս առաջադրված պայմաններին համապատասխան նախագծել շահագործման համար պիտանի էլեկտրամագնիսական կախոց՝ օգտագործվող ակտիվ նյութերի և էլեկտրական հզորության նվազագույն արժեքներով: Նախագծման ավտոմատացված համակարգը գրվել է C++ ծրագրավորման լեզվով և բաղկացած է երեք հիմնական ֆունկցիոնալ շերտերից.

- գրաֆիկական ինտերֆեյսի միջոցով տվյալների մուտքագրման և արդյունքների արտածման շերտ,
- տվյալների վավերացման շերտ,
- միջուկ, որը պատասխանատու է բոլոր անհրաժեշտ հաշվարկների կատարման համար:

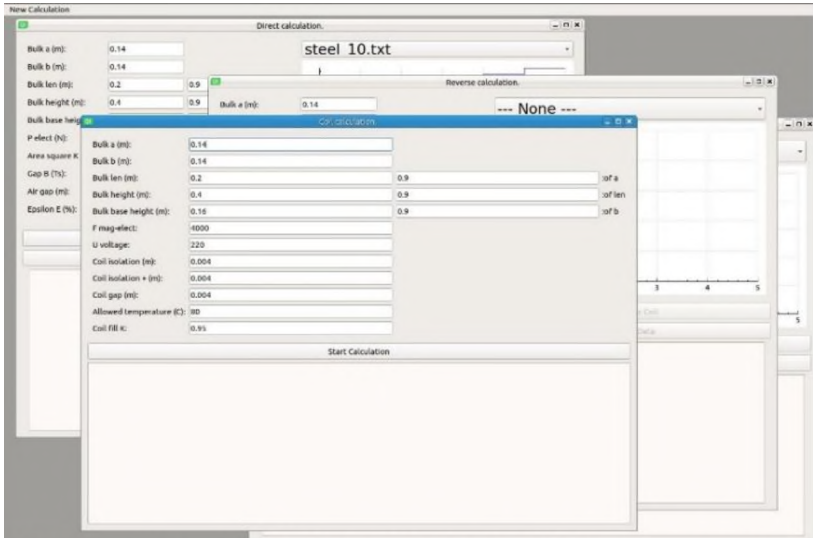
Համակարգի մեկնարկի պահից բացվում է հիմնական պատուհանը (նկ. 10), որը հնարավորություն է տալիս նախագծողին ընտրել լուծվող խնդրի տեսակը. համակարգի միջոցով հնարավոր է առաջադրված պայմաններին համապատասխան որոշել էլեկտրամագնիսական կախոցի չափերը, ընտրել օգտագործվող նյութերը, լուծել կախոցի մագնիսական շղթայի ուղիղ և հակադարձ խնդիրները, կատարել կախոցի կառավարման փաթեթի նախագծային հաշվարկը, որոշել կախոցի կառավարման տեսանկյունից կարևոր՝ կառավարման փաթեթի բնութագրական ՄՇՈՒ-ները և օպտիմալացնել պարամետրերի արժեքները:

Խնդրի տեսակի (ուղիղ խնդիր, հակադարձ խնդիր, կառավարման փաթեթի նախագծային հաշվարկ, օպտիմալ նախագծում) ընտրությունից հետո բացվում է համապատասխան պատուհանը, որը նախագծողին հնարավորություն է տալիս մուտքագրել էլեկտրամագնիսական կախոցի նախագծային պարամետրերի մուտքային արժեքները և սկսել խնդրի լուծումը: Խնդրի լուծումից հետո ստացված արդյունքները ներկայացվում են համապատասխան գրաֆիկական պատուհանում (նկ. 11):

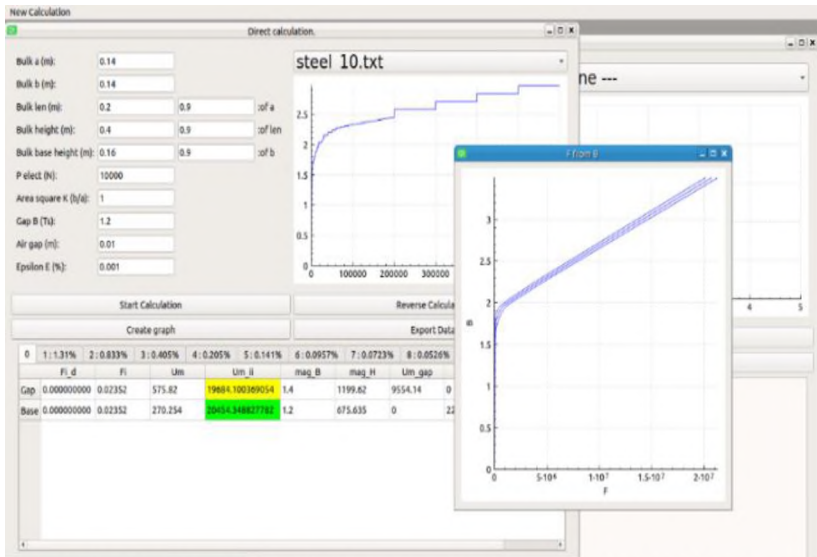
Համակարգում էլեկտրամագնիսական կախոցի խնդիրներից յուրաքանչյուրը լուծելուց հետո հնարավոր է դառնում ստացված արդյունքներով տեղափոխվել դեպի նախագծման հերթական խնդիրը, օրինակ՝ ուղիղ խնդրի արդյունքները դառնում են հակադարձ խնդրի համար մուտքային տվյալներ: Մշակված համակարգում յուրաքանչյուր խնդրին համապատասխանում է C++ դաս, այդ դասերից հիմնականների կառուցվածքը պատկերված է նկ. 12-ում:

Նախագծման համակարգը կիրառվել է մեքենայական ուսուցման մեթոդներով էլեկտրամագնիսական կախոցի նախագծման եղանակի (բնութագրերի արժեքների կանխատեսում, դասակարգում, օպտիմալացում) մշակման գործընթացում՝

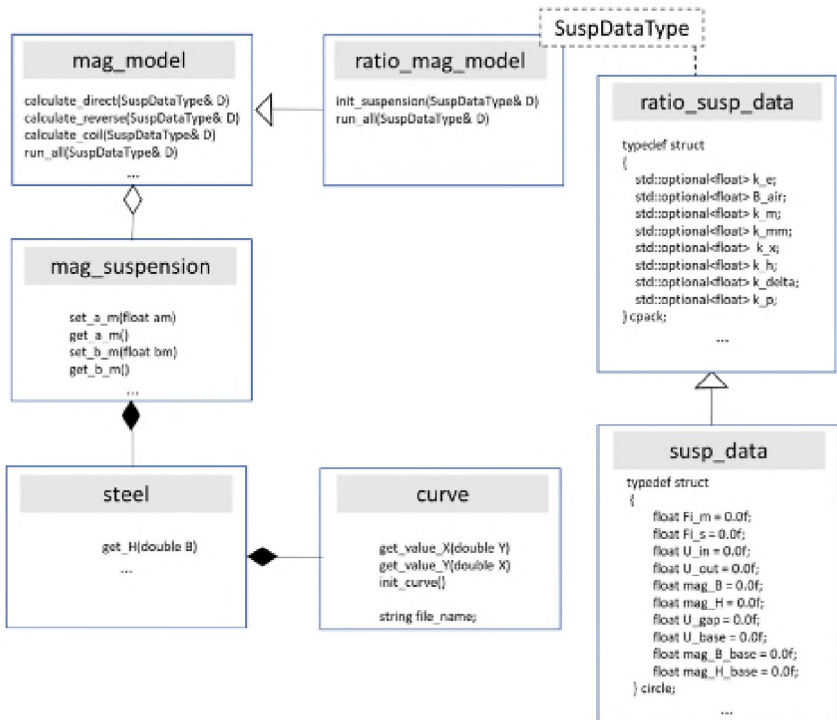
ավտոմատացված համակարգով կատարվել են կախոյի 100000 նախագծեր, որոնց տվյալները համարել են ուսուցանվող շտեմարանը:



Նկ. 10 Համակարգի գրաֆիկական ինտերֆեյսի հիմնական պատուհանը



Նկ. 11 Ուղիղ խնդրի լուծումից հետո ստացված արդյունքների ներկայացումը



Նկ. 12 Համակարգում դասերի UML ներկայացումը

ԵՅՐԱՀԱՆԳՈՒՄ

1. Ուսումնասիրվել են էլեկտրամագնիսական կախոցները, որոնց համախմբից առանձնացվել են արագընթաց մագլև գնացքների կախոցները՝ յուրահատուկ բնութագրերով ու աշխատանքային գործառույթներով: Որպես հետազոտությունների օբյեկտ ընտրվել է մագլև գնացքի էլեկտրամագնիսական կախոցը:
2. Կազմվել է կախոցի մագնիսական շրթայի մաթեմատիկական մոդելը, առաջադրվել և լուծվել են մագնիսական շրթայի ուղիղ և հակադարձ խնդիրները՝ ցրման մագնիսական հոսքերի զուգահեռ ճյուղերի քանակի որոշման առաջարկված եղանակով: Առաջարկվել են կառավարման փաթույթի նախագծային հաշվարկի և բնութագրական ՄՇՈՒ-ների որոշման եղանակները:
3. Ձևակերպվել և լուծվել են էլեկտրամագնիսական կախոցի օպտիմալացման խնդիրները: Ընտրվել են նպատակային ֆունկցիաները՝ կախոցի կառուցվածքում օգտագործված նյութերի (պողպատ և փաթույթային հաղորդակար) գինը, կախոցի կառավարման փաթույթի սպառած էլեկտրական հզորությունը և այս երկու չափանիշներով բազմաչափանիշային օպտիմալացման խնդիրը: Կիրառվել է օպտիմալացման գենետիկ մեթոդը:
4. Մշակվել է կախոցի ավտոմատացված նախագծման համակարգը՝ աշխատանքային ինտերֆեյսով, կախոցի կառուցվածքում օգտագործվող նյութերի գրադարաններով, նախագծման առանձին փուլերի ենթահամակարգերով, ինչը հնարավորություն է տալիս առաջադրված պայմաններին համապատասխան նախագծել կախոցը՝ որոշել կառուցվածքային չափերը, ընտրել օգտագործվող նյութերը, հաշվարկել բնութագրական մեծությունների արժեքները:
5. Նախագծման համակարգը կիրառվել է ՀԱՊՀ «Ավտոմատացում և էլեկտրամագնիսական համակարգեր» բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայում՝ մեքենայական ուսուցման մեթոդներով կախոցի նախագծման եղանակի մշակման գործընթացում. կատարվել են կախոցի 1000000 նախագծեր, որոնց տվյալները համարել են ուսուցանվող շտեմարանը: Հետազոտությունների արդյունքները կիրառվել են նաև ՀԱՊՀ ուսումնական գործընթացում:

1. **Grigoryan A., Avetisyan A., Chukhajyan N., Hovhannisyan A., Hovsepyan A.** Optimal Design of an Electromagnet Using Machine Learning Methods // International Review of Electrical Engineering, 2024, Issue 19, N4. Doi:10.15866/iree.v19i4.25425.
2. **Григорян А.Х., Аветисян А.Г., Чухаджян Н.Г., Оганесян А.А., Овсепян А.А.** Проектирование электромагнита с прямоходным якорем с применением методов машинного обучения // Вестник НПУА: Электротехника, энергетика, 2023, N2, - С. 33-43.
3. **Չուխաջյան Ն.Հ.** «Մագլև» գնացքի էլեկտրամագնիսական կախոցի ավտոմատացված նախագծման համակարգ // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր. 2023. Հ. LXXVI, N3. - էջ 365-376:
4. **Чухаджян Н.Г., Григорян А.Х., Аветисян А.Г.** Оптимальное проектирование электромагнитного подвеса поезда “МАГЛЕВ” с применением генетического алгоритма // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника, 2022, N2, - С. 23-32.
5. **Чухаджян Н.Г.** К расчету обмотки управления электромагнитного подвеса поезда маглев // Сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции ИНФО-2020. С. 316-319.
6. **Գրիգորյան Ա.Խ., Չուխաջյան Ն.Հ.** «Մագլև» գնացքի էլեկտրամագնիսական կախոցի կառավարման փաթեթի ՄՇՈՒ-ի բնութագրական արժեքների որոշումը // ՀՃԱ Լրաբեր. – 2019. - Հ. XVI, հ. 2. – էջ 167-171:
7. **Գրիգորյան Ա.Խ, Չուխաջյան Ն.Հ.** «Մագլև» գնացքի կախոցի էլեկտրամագնիսական համակարգի մագնիսական շղթայի փոխարինման սխեման և մաթեմատիկական մոդելը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխնիկական գիտությունների սերիա. – 2019. - Հ. LXXII, N 1. – էջ 47-56:
8. **Գրիգորյան Ա.Խ., Աղջոյան Գ.Ա., Մելքոնյան Տ.Ռ., Չուխաջյան Ն.Հ.** Մագնիսականավարվող կախոցի էլեկտրամագնիսական համակարգի մաթեմատիկական մոդելավորումը և բնութագրերի որոշումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր, Տեխնիկական գիտությունների սերիա. - 2017. - Հ. LXX, N 4. - էջ 439-450:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация посвящена исследованию электромагнитного подвеса и разработке автоматизированной системы проектирования и оптимизации этого устройства. В работе получены следующие результаты:

1. Исследованы электромагнитные подвесы, из числа которых выделены подвесы для высокоскоростных поездов на магнитной подушке (маглев) с их уникальными характеристиками и рабочими функциями. В качестве объекта для дальнейших исследований выбран электромагнитный подвес маглев-поезда.
2. Разработана математическая модель магнитной цепи подвеса, сформулированы и решены прямые и обратные задачи магнитной цепи с применением предложенного метода определения числа параллельных ветвей магнитных потоков рассеяния. Предложены способы проектного расчета обмотки управления и определения характерных значений магнитодвижущей силы.
3. Сформулирована и решена задача оптимизации электромагнитного подвеса. Были выбраны целевые функции: стоимость материалов, используемых в конструкции подвеса, электрическая мощность, потребляемая обмоткой управления, и этими двумя критериями многокритериальная задача оптимизации. Задача решена методом генетической оптимизации.
4. Разработана автоматизированная система проектирования электромагнитных подвесов. Система включает рабочий интерфейс, библиотеки материалов, используемых в подвесе и подсистемы для отдельных этапов проектирования. Система позволяет проектировать подвес в соответствии с заданными условиями, определять его конструктивные размеры, выбирать используемые материалы, рассчитывать и оптимизировать значения характеристических величин.
5. Автоматизированная система была применена в базовой научно-исследовательской лаборатории «Автоматизация и электромагнитные системы» Национального политехнического университета Армении для разработки способа проектирования электромагнитных подвесов с применением методов машинного обучения (прогнозирование, классификация и оптимизация значений параметров): система сгенерировала 1000000 проектов подвеса, данные которых дополнили обучаемую базу данных. Результаты исследований также были использованы в учебном процессе НПУА.

CONCLUSION

The dissertation is dedicated to the study of electromagnetic suspension and the development of an automated system for the design and optimization of these suspensions. The following results have been obtained in the work:

1. Electromagnetic suspensions were studied, with particular attention given to suspensions for high-speed maglev trains, highlighting their unique characteristics and operational functions. The electromagnetic suspension of a maglev train was selected as the subject for further research.
2. A mathematical model of that suspension magnetic circuit has been developed. Direct and inverse problems of the magnetic circuit were formulated and solved using the proposed method for determining the number of parallel branches of magnetic leakage fluxes, considering required solution accuracy. Was proposed calculation method for the design of the control coil, characteristic values of magnetomotive force also were determined.
3. The optimization problem for the electromagnetic suspension was formulated and solved. The objective functions included material cost, electric power consumed by the control coil, and a multi-objective optimization problem based on these two criteria. The problem was solved using a genetic optimization method.
4. An automated design system for electromagnetic suspensions was developed. The system includes a user interface, material libraries used in the suspension, and subsystems for different design stages. The system allows designing the suspension according to specified conditions, determining its structural dimensions, selecting materials, calculating and optimizing characteristic values of the suspension.
5. The automated system was implemented in the “Automation and Electromagnetic Systems” research laboratory at the National Polytechnic University of Armenia. It was used to develop a design method for electromagnetic suspensions with machine learning techniques (prediction, classification, and parameter optimization). The system generated 1,000,000 suspension designs, extending the training database. The research results were also incorporated into the educational process at NPUA.

