

«Երևանի Կապի միջոցների ԳՀԻ» ՓԲԸ

Տնօրեն՝

Հ.Գ. Մարտիրոսյան

«02» հուլիս 2025թ.

ԱՌԱՋԱՏԱՐ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊՈՒԹՅԱՆ ԿԱՐԾԻՔ

Վախժանգ Արտաշեսի Զանփոլադովի «Հատակագծման փուլում մեքենայական ուսուցման միջոցով էներգասպառման կանխատեսման ավտոմատացված միջոցների մշակումը և հեռագոյությունը» թեմայով, Ե.13.02 - «Ավտոմատացման համակարգեր» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական ասպիրանտի հայցման արենախոսության վերաբերյալ:

Ատենախոսության թեմայի արդիականությունը

Էներգասպառումը, արագագործության և զբաղեցրած մակերեսի հետ մեկտեղ, համարվում է ինտեգրալ սխեմաների (ԻՍ) հիմնական բնութագրերից մեկը: Էներգասպառման գնահատման ավանդական մոտեցումները հիմնված են վերլուծական մոդելավորման վրա, որը շատ դեպքերում պահանջում է զգալի հաշվարկային ծախսեր և մշակման երկար ժամանակ: Սպառվող հզորության առավել ճշգրիտ հաշվարկները կատարվում են նախագծման վերջնական փուլերում, երբ արդեն իրականացվել են հիմնական գործողությունները: Վերջնական փուլերում հայտնաբերված խնդիրները կարող են պահանջել վերադառնալ նախորդ փուլերին, այդպիսով ավելացնելով կրկնությունների քանակը, նախագծի ժամանակը և ծախսերը:

Վերջին տարիներին ակտիվ ուշադրություն է գրավում էլեկտրոնային համակարգերի ավտոմատացված նախագծման ոլորտում մեքենայական ուսուցման (ՄՈՒ) մեթոդների օգտագործումը: Ժամանակակից հետազոտությունների մեծ մասը կենտրոնացած է տեղաբաշխման և ծրագրման վրա, որտեղ ՄՈՒ-ն օգտագործվում է օպտիմալացման և կանխատեսման համար:

Ատենախոսությունում մշակված են ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման հատակագծման փուլում էներգասպառման կանխատեսման ՄՈՒ-ի մոդելներ և

համապատասխան ավտոմատացված միջոցներ, որոնք թույլ են տալիս նախագծման վաղ փուլերում կանխատեսել տարբեր տարրերի և սխեմաների էներգասպառման հիմնական բաղադրիչները :

Այս առումով ներկայացված ատենախոսական աշխատանքը արդիական է և ունի կարևոր գործնական նշանակություն:

Ատենախոսական աշխատանքի բովանդակությունը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից, եզրահանգումից, 217 անուն գրականության ցանկից, թվով 1 հավելվածից և հապավումների ցանկից: Ատենախոսության ծավալը կազմում է 147 էջ, իսկ հավելվածի և հապավումների ցանկի հետ միասին 150 էջ:

Ներածությունում հիմնավորված է ատենախոսության արդիականությունը, ներկայացված են աշխատանքի նպատակներն ու խնդիրները, ինչպես նաև ստացված արդյունքների գիտական նորույթը, կիրառական արժեքը, պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները:

Գլուխ 1-ում ուսումնասիրվել են ԻՍ-երի էներգասպառման հիմնական բաղադրիչները և կատարվել է հզորության գնահատման մեթոդների ակնարկ նախագծման տարբեր փուլերում: Ընդհանուր էներգասպառումը բաժանվում է ստատիկ բաղադրիչի, որը պայմանավորված է հանգիստ վիճակում կորստի հոսքերով, և դինամիկ բաղադրիչի, որն պայմանավորված է փոխանջատումներով: Տեխնոլոգիական գործընթացների նվազման հետ ստատիկ հզորության դերը աճում է՝ կապված տրանզիստորների չափերի և դիէլեկտրիկ շերտերի հաստության փոքրացման հետ:

Վերլուծվել են ժամանակակից մոտեցումները, ներառյալ ՄՈՒ-ի մեթոդների կիրառումը նախագծման ավտոմատացման և էներգասպառման կանխատեսման համար: Աշխատանքն ուղղված է ավելի ճշգրիտ գնահատմանը՝ հաշվի առնելով տեխնոլոգիական տատանումների և սահմանափակումների ազդեցությունը հատակագծման փուլում: Գլուխն ավարտվում է վերջին տասնամյակում ՄՈՒ-ի և էներգասպառման թեմայով հրապարակումների ակտիվության ուսումնասիրությամբ:

Գլուխ 2-ում մանրամասնորեն ներկայացվում են ԻՍ-երի էներգասպառման կանխատեսման խնդրի ձևայնացումը և ՄՈՒ-ի մեթոդների հիմնավորումը: Աշխատանքում առաջարկված է ՄՈՒ-ի մոդելներ, որոնց ուսուցանման և օգտագործման համար մշակվել են նոր հայտանիշների վեկտորները՝ սնուցման լարումը, շեմային լարումը, ջերմաստիճանը, տեխնոլոգիական շեղումների դեպքերը, տակտային հաճախականությունը, ինչպես նաև հատակագծման և սխեմայի

ճարտարապետության պարամետրերը: Այդ մոդելները թույլ են տալիս ստեղծել կապ մուտքային հայտանիշների և էներգասպառման նպատակային արժեքների միջև, ներառյալ ստատիկ, դինամիկ բաղադրիչները և ընդհանուր էներգասպառումը:

Աշխատանքը բաժանված է երկու հիմնական խնդիրներին: Առաջին խնդիրն (խնդիր Ա) ուղղված է էներգասպառման առանձին բաղադրիչների կանխատեսմանը հիմնական բջիջների խմբերի համար՝ հաշվի առնելով հիմնական ազդող գործոնները: Երկրորդ խնդիրը (խնդիր Բ) վերաբերում է նախագծման տարբեր սխեմաների ընդհանուր էներգասպառման գնահատմանը՝ ծրագծման և միջմիացումների օպտիմալացման փուլերից հետո:

Խնդիրների լուծման համար ձևավորվել են հայտանիշների այնպիսի վեկտորներ և նկարագրություններ, որոնք արտացոլում են ինչպես սխեմայի կառուցվածքային առանձնահատկությունները, այնպես էլ աշխատանքի պայմանները: Աշխատանքում կազմվել են ելքային տվյալների մատրիցաներ և նպատակային արժեքների բազմություններ: Մշակված ՄՈՒ-ի մոդելների գնահատումը առաջարկվում է իրականացնել տարբեր որակի չափանիշներով, հիմնականում MAPE չափանիշով, որը ցույց է տալիս կանխատեսման սխալի միջին տոկոսային ցուցանիշը:

Առաջարկվել են ալգորիթմներ, որոնք նախատեսված են մշակված մոդելները նախագծման ընթացքի մեջ ինտեգրելու համար: Այս մոտեցումը հնարավորություն է տալիս դեռևս վաղ փուլերում կանխատեսել էներգասպառումը՝ չկատարելով ժամանակատար նախագծման փուլերը, ինչպիսիք են տարրերի տեղաբաշխումը, ծրագծումը, պարագիտական պարամետրերի հաշվարկը և այլն: Արդյունքում զգալիորեն կրճատվում է վերլուծության ժամանակը և բարձրանում է նախագծման արդյունավետությունը՝ հատկապես ժամանակակից տեխնոլոգիական գործընթացների դեպքում:

Գլուխ 3-ում ներկայացված է տվյալների բազաների ձևավորումը և դրանց հատկությունների վերլուծությունը՝ առաջարկված ՄՈՒ-ի մոդելների ուսուցման համար: Ա խնդրի համար մշակվել է ALU_REG սխեման, իսկ Բ խնդրի համար կիրառվել է IWLS'2005 հավաքածուն: Մանրամասն նկարագրվել է հայտանիշների արտահանման և նորմալացման գործընթացը:

Մոդելների գնահատման համար օգտագործվել են MAPE, RMSE և R^2 չափանիշները: Ուսումնասիրվել է ինը ՄՈՒ-ի ալգորիթմ, ներառյալ ռեգրեսիա, պատահական անտառներ, նեյրոնային ցանցեր և այլն: Ա խնդրի դեպքում ամենաբարձր ճշգրտությունը ապահովել են բազմաշերտ պերսեպտրոնի վրա հիմնված մոդելները: Բ խնդրի դեպքում նոր սխեմաների կանխատեսման համար

լավագույն արդյունքը ցույց է տվել արհեստական նեյրոնային ցանցը, իսկ պատահական անտառը ունեցել է համարժեք ճշգրտություն:

Գլուխ 4-ում նկարագրված է Synopsys ընկերության ծրագրային գործիքների, Python-ի և TCL-ի հիման վրա ավտոմատացված միջավայրի և ինտեգրման համակարգի ստեղծումը: Համեմատությունը ցույց է տվել, որ մոդելները միջինում 86%-ով ավելի ճշգրիտ են, քան արդիական ծրագրային գործիքների ստանդարտ հաշվետվությունները, և վերլուծության ժամանակը կրճատվում է ժամերից մինչև վայրկյանի մասնիկներ:

Եզրահանգումը բխում է փորձարարական արդյունքներից և լրիվ համահունչ է այն մոտեցումներին, դրույթներին ու մեթոդներին, որոնք ներկայացվել են ատենախոսության մեջ: Առաջարկված մեթոդները շարադրված են պարզ ու հասկանալի լեզվով բացահայտելով աշխատանքի հիմնական նպատակը, համապարփակ հիմնավորված են ատենախոսական աշխատանքի բովանդակությամբ և ունեն կարևոր կիրառական նշանակություն: Ընդգծվում է, որ մշակված մեթոդները զգալիորեն բարձրացնում են ԻՍ նախագծման արդյունավետությունը և կարող են կիրառվեն նոր տեխնոլոգիական գործընթացների համար:

Ատենախոսության գիտական արդյունքների նորույթը

1. Մշակվել են մուտքային հայտանիշների նոր խմբեր, որոնք թույլ են տալիս ուսուցանել ՄՈՒ-ի մոդելներ, որոնք, ի տարբերություն գոյություն ունեցող լուծումների, կարող են կանխատեսել տարբեր բջիջների խմբերի էներգասպառման ընտրված բաղադրիչը հատակագծման փուլում՝ ԻՍ-երի ֆիզիկական նախագծման երթուղում: Ընդ որում, հաշվի են առնվում հաշվի առնվող այնպիսի գործոններ, ինչպիսիք են տրանզիստորների տեխնոլոգիական շեղումները, սնման լարումը, ջերմաստիճանը, թվային ստանդարտ բջիջների գրադարանների տեսակները, տակտային ազդանշանի հաճախականությունը, տարրերի խտությունը, ինչպես նաև բյուրեղի երկրաչափությունը եւ կողմերի հարաբերակցությունը:

2. Մշակվել են բազմաշերտ պերսեպտրոնի վրա հիմնված ռեգրեսիոն մոդելներ՝ նախագծվող սխեմաների բջիջների հիմնական խմբերի էներասպառման բաղադրիչների արժեքները կանխատեսելու համար: Նպատակային արժեքները ստացվել են հաշվի առնելով պարագիտային տարրերը և փականային մակարդակի մոդելավորման փուլից ստացված ակտիվության արդյունքները: Ի տարբերություն նախկինում հայտնի մոտեցումների, ներկայացված մոդելների միավորումը հնարավորություն է տալիս կանխատեսել և վերլուծել էներգիասպառման առանձին

բաղադրիչները, ինչը հեշտացնում է հետագա օպտիմալացումը և վերահսկումը: Միջինում առաջարկված մոդելների ճշտությունը կազմել է մոտ 90,5%.

3. Մշակվել են ՄՈՒ-ի ընդհանրացնող ռեգրեսիոն մոդելներ, որոնք հիմնված են նեյրոնային ցանցերի և պատահական անտառի ալգորիթմների վրա՝ տարբեր թեստային ԻՍ-երում ծրագծման և միջմիացումների օպտիմալացման փուլի ավարտից հետո ընդհանուր էներգասպառման գնահատման համար: Ի տարբերություն գրականության մեջ առկա նմանատիպ մեթոդների, առաջարկվող մոդելները հաշվի են առնում փոփոխվող տեխնոլոգիական պայմանները և նախագծի սահմանափակումները և ապահովել են կանխատեսման ճշտություն մոտ 90% արդեն հայտնի սխեմաների համար և մոտ 87% նոր սխեմաների համար:

Աշխատանքում ներկայացվում է հետևյալ հիմնական դրույթները

- Ֆիզիկական նախագծման հատակագծման փուլում ԻՍ-երի էներգասպառման կանխատեսման խնդրի ձևայնացումը;

- Մշակած և հիմնավորված հայտանիշների խմբերը, որոնք նախատեսված են ինչպես ընդհանուր էներգասպառման, այնպես էլ դրա առանձին բաղադրիչների կանխատեսման մոդելներ կառուցելու համար՝ հաշվի առնելով տեխնոլոգիական և նախագծման պայմանները;

- ՄՈՒ-ի ռեգրեսիոն մոդելները, որոնք թույլ են տալիս գնահատել էներգասպառման բաղադրիչները կոնկրետ սխեմայի բջիջների խմբերով: Որպես թիրախային տվյալներ օգտագործվել են փականային մակարդակի մոդելավորման արդյունքները՝ հաշվի առնելով պարագիտային տարրերը և փոխանջատման ակտիվությունը;

- Ընդհանրացնող ՄՈՒ-ի մոդելներ, որոնք կարող են կանխատեսել տարբեր սխեմաների էներգասպառումը ծրագծումից և միջմիացումների օպտիմալացումից հետո հատակագծման փուլում՝ հաշվի առնելով տեխնոլոգիական պայմանները և նախագծային սահմանափակումները;

- Մշակած մոդելների ներդրման ալգորիթմները թվային սարքերի ֆիզիկական նախագծման ստանդարտ երթուղում:

Ատենախոսության գիտական դրույթների հավաստիությունը հիմնավորված է տեսական հետազոտություններով, մաթեմատիկական հիմնավորումներով և փորձնական տվյալներով, ինչպես նաև «ՍԻՆՈՓՍԻՍ ԱՐՄԵՆԻԱ» ՓԲԸ-ում ներդրմամբ:

Ստացված արդյունքերի կիրառական նշանակությունը

Ատենախոսության շրջանակներում առաջարկված մեթոդների, մոդելների և ալորիթմների վրա հիմնված ծրագրային միջոցները մշակվել են Linux օպերացիոն համակարգի համար, որոնք օգտագործում են TCL եւ Python լեզուները, ինչը թույլ է տալիս ճկուն և արդյունավետ ձևավորել տվյալների բազաներ նախանշված նախագծային պայմանների և տեխնոլոգիական գործընթացների համար, ավտոմատացնել ԻՍ-երի նախագծման թվային երթուղին՝ Synopsys ընկերության գործիքների հիման վրա, մշակել ելքային հաշվետվությունները և սկսել մոդելների ուսուցման և թեստավորման գործընթացը: Ստեղծված մոդելները հեշտությամբ ինտեգրվում են Synopsys ընկերության IC Compiler II և Fusion Compiler ֆիզիկական նախագծման առավել պահանջված գործիքներում, ինչը հաստատում է դրանց գործնական կիրառելիությունը: Կառուցված մոդելները թույլ են տալիս զգալիորեն արագացնել էնրգասպառման տարբեր բաղադրիչների արժեքների կանխատեսման գործընթացը ճշգրտության ընդունելի մակարդակով, ինչպես մեկ սխեմայի, այնպես էլ տարբեր սխեմաների համար:

Հրապարակումները

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները հրապարակվել են հեղինակի 9 գիտական աշխատանքներում: Սեղմագիրը լիովին համապատասխանում է ատենախոսությանը և արտացոլում է դրա հիմնական բովանդակությունը:

Նկատված թերությունները

1. Ներկայում ԻՍ-երի նախագծման գործընթացում հաճախ կիրառվում է բազմաշեմային տրանզիստորների օգագործման մեթոդը: Ատենախոսության շրջանակներում կատարված որոշ հետազոտությունների համար հիմք են ընդունվել նախագծման արդյունքները, որոնք ստացված են մեկ տեսակի ստանդարտ բջիջների գրադարանի օգտագործման դեպքում: Առաջարկվում է շարունակել կատարված հետազոտությունները նաև բազմաշեմային տրանզիստորների օգագործման մեթոդով նախագծվող ԻՍ-երի համար:

2. Առաջարկվող մոդելների կառուցման համար մշակված բնութագրող հայտանիշների խմբերում բացակայում են սնուցման ցանցը բնութագրող պարամետրեր: Առաջարկվում է շարունակել կատարված հետազոտությունները նաև հաշվի առնելով սնուցման ցանցերի բնութագրերը:

3. Սեղմագրում ցանկալի կլիներ մանրմասն ներկայացնել մշակված ծրագրային միջոցների աշխատանքը:

4. Սեղմագրում բերված ալգորիթմների բլոկ սխեմաների տեքստը դժվար ընթերցելի է:

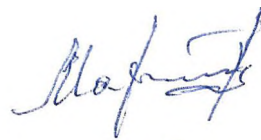
Սակայն նշված դիտողությունները չեն ստվերում Վ.Ա. Զանփոլադովի կատարված աշխատանքը, որը արդիական է իր էությամբ և կիրառական նշանակությամբ:

Եզրակացություն

Վ.Ա. Զանփոլադովի «Հատակագծման փուլում մեքենայական ուսուցման միջոցով էներգասպառման կանխատեսման ավտոմատացված միջոցների մշակումը և հետազոտումը» թեմայով թեկնածուական ատենախոսությունն ավարտուն գիտական աշխատանք է, որը ունի ավարտուն ամբողջական տեսք, զգալի գործնական արժեք և կատարված է պատշաճ գիտական մակարդակով: Ատենախոսությունը իր ծավալով, գիտական մակարդակով և ձևակերպմամբ լիովին համապատասխանում է ՀՀ ԿԳՄՍՆ բարձրագույն կրթության և գիտության կոմիտեի կողմից թեկնածուական ատենախոսություններին ներկայացվող պահանջներին, բովանդակությամբ համապատասխանում է Ե.13.02 - «Ավտոմատացման համակարգեր» մասնագիտությանը, իսկ հեղինակն արժանի է տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհմանը:

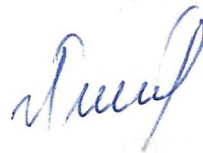
Ատենախոսությունը զեկուցվել, մանրամասն քննարկվել և հավանության է արժանացել «Երևանի կապի միջոցների գիտահետազոտական ինստիտուտ» ՓԲԸ-ի 2025թ. հուլիսի 1-ին կայացած գիտական սեմինարում: Ներկա էին՝ 8 անձ՝ տ.գ.դ. Ա. Մարկոսյանը, տ.գ.թ. Ա. Ահարոնյանը, տնօրեն Հ. Մարտիրոսյանը, բաժնի վարիչներ՝ Ֆ. Տեր-Ջաքարյանը, Ա. Մակարյանը, լաբ. վարիչ՝ Ա. Զարգարյանը, առաջատար ճարտարագետ Լ.Մանուչարյանը, ճարտարագետ ծրագրավորող Ա. Կայծակովը:

ԵրԿՄԳՀԻ-ի գիտխորհուրդի նախագահ,
տ.գ.դ., պրոֆեսոր՝



Ա. Մարկոսյան

Գիտական քարտուղար՝



Ա. Մակարյան

Ստորագրությունները հաստատում են՝
կազմակերպության կադրերի բաժնի վարիչ



Ի. Վանդունց