

ՀԱՍՏԱՏՈՒՄ ԵՄ

«Երևանի կապի միջոցների ԳՀԻ» ՓԲԸ

տնօրեն, տ.գ.դ., պրոֆեսոր

Մ.Վ. Մարկոսյան

« 10 » հուլիսի 2024թ.



ԱՌԱՋԱՏԱՐ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊՈՒԹՅԱՆ ԿԱՐԾԻՔ

Արմեն Օլեգի Պետրոսյանի «Ցածր էներգասպառմամբ ստատիկ օպերատիվ հիշող սարքերի ֆիզիկական նախագծման միջոցների մշակումը» թեմայով, Ե.27.01 - «Էլեկտրոնիկա, միկրո և նանոէլեկտրոնիկա» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման արենախոսության վերաբերյալ:

Ատենախոսության թեմայի արդիականությունը

ԻՍ-երում իրենց ուրույն տեղն ունեն ստատիկ օպերատիվ հիշող սարքերը (ՍՕՀՍ), որոնց աշխատանքային հաճախականությունը հասնում է միջև մի քանի ԳՀց: Այսպիսի հաճախականությունների դեպքում ՍՕՀՍ-երի էներգասպառումը կտրուկ աճում է: ԻՍ-երի արտադրությունում ՍՕՀՍ-երի մասնաբաժինը կազմում է մոտ 60%: Դրանք զբաղեցնում են նախագծվող սարքերի ամբողջ ֆիզիկական մակերեսի մոտ 70 տոկոսը և էներգասպառման մոտ 50-70%-ը:

ԻՍ-ների նախագծման մեթոդների զարգացումը պայմանավորված է տեխնոլոգիայի մասշտաբավորմամբ, որը հանգեցրել է ԻՍ-երի աշխատանքի ստատիկ ռեժիմում կորստի հոսանքի մեծացմանը: Տեխնոլոգիայի մասշտաբավորմանը զուգընթաց ուժեղանում է ԻՍ-ների ֆիզիկական կառուցվածքների, միջմիացումների և դրանց պարամետրերի ազդեցությունը սարքերի բնութագրերի վրա: Համաձայն կիսահաղորդիչների միջազգային տեխնոլոգիական ցուցչի հաստատված են միջմիացումներում ազդանշանի հապաղման ժամանակի գերակայությունը տրանզիստորներում հապաղումների նկատմամբ: Դա պահանջում է մշակել միջմիացումների նախագծման նոր մոտեցումներ, որոնք ֆիզիկական նախագծման փուլում հաշվի կառնեն միջմիացումների հապաղումները:

Համաշխարհային առաջատար ընկերությունները (Synopsys, Cadence, Siemens EDA և այլն) ԻՍ-ների նախագծման արդյունավետության բարձրացման հիմնական ուղիներից մեկը տեսնում են ֆիզիկական նախագծման միջոցների, մեթոդների և ալգորիթմների ստեղծման ու կիրառման մեջ, որոնք կնպաստեն ինչպես նախագծվող ԻՍ-ների որակական պահանջների ապահովմանը, այնպես էլ նախագծման գործընթացի արդյունավետության բարձրացմանը: Այս տեսակետից ինտենսիվ աշխատանքներ են տարվում նախագծման նոր և բարելավված միջոցների մշակման ուղղությամբ, որոնք կնպաստեն մշակվող ՍՕՀՍ-երի էներգասպառման նվազարկմանը:

Էներգասպառման նվազեցմանը միտված նախագծման ֆիզիկական միջոցների կիրառությունը տեխնոլոգիայի հետագա մաշտաբավորման դեպքում բերում է դրանց բարդացմանը: Հետևաբար առաջանում են ՍՕՀՍ-երի ֆիզիկական նախագծման համար լուծում պահանջող կարևոր խնդիրներ:

Ատենախոսությունը նվիրված է ցածր էներգասպառմամբ ՍՕՀՍ-երի ֆիզիկական նախագծման միջոցների մշակմանը, որոնք էապես կբարելավեն համակարգի ընդհանուր էներգասպառումը և կնպաստեն նախագծման ժամանակի փոքրացմանը:

Այսպիսով, Ա.Օ. Պետրոսյանի ատենախոսությունում առաջադրված ֆիզիկական նախագծման միջոցների մշակման խնդիրը խիստ արդիական է:

Ատենախոսական աշխատանքի բովանդակությունը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, 3 գլուխներից, եզրահանգումից, 140 անուն գրականության ցանկից և 4 հավելվածներից (ատենախոսության ներդրման ակտ, առաջարկված Memory Cells Placer ծրագրային միջոցի գրաֆիկական հատվածի նկարագրություն, նկարների, աղյուսակների և հապավումների ցանկեր):

Աշխատանքը ներառում է 114 նկար և 15 աղյուսակ: Ատենախոսության ընդհանուր ծավալը 149 էջ ներառյալ 114 նկար, 15 աղյուսակ և հավելվածները:

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

Գլուխ 1-ում ներկայացված է ժամանակակից ՍՕՀՍ-երի ֆիզիկական նախագծման ժամանակ առաջ եկող հիմնական խնդիրները, որոնք բերում են էներգասպառման մեծացման:

Հետազոտվել են ՍՕՀՍ-երի կառուցվածքը և բաղադրիչ հանգույցների՝ հիշող տարրերի (<S>), հիշողության կուտակիչների (<C>), վերծանիչների, ընթերցման ուժեղարարների (<DR>), կառավարման հանգույցի, սյունը վերալիքավորող սխեմաների սխեմատեխնիկական լուծումները:

Կատարված վերլուծությունների հիման վրա ստացված արդյունքները հաստատում են, որ ցածր էներգասպառմամբ ՍՕՀՍ-երի ֆիզիկական նախագծման միջոցների մշակման ժամանակ առկա են լուծում պահանջող խնդիրներ, որոնցից կարևորագույններն են՝ ցածր էներգասպառմամբ ՍՕՀՍ-երի ՀՏ-երի և ՀԿ-երի ֆիզիկական նախագծման մեթոդի մշակումը, ՍՕՀՍ-երի ՀԿ-ի հզորության, մակերեսի և հապաղման ժամանակի նվազարկման մեթոդի մշակումը, ԻՍ-երի արագագործության վրա մետաղական շերտերի ազդեցության նվազարկման մեթոդի մշակումը, ցածր էներգասպառմամբ ԸՈՒ-ի մշակումը և ցածր էներգասպառմամբ ՍՕՀՍ-երի ֆիզիկական նախագծման ծրագրային միջոցի մշակումը:

Գլուխ 2-ում ներկայացված են առաջին գլխում առաջադրված ցածր էներգասպառմամբ ՍՕՀՍ-երի ֆիզիկական նախագծման խնդիրների լուծումների համար մշակված նոր մեթոդները և միջոցները, ինչպես նաև առաջարկված ԸՈՒ-ի նոր սխեմատեխնիկական լուծումը ու կատարված մոդելավորումների արդյունքները:

Ներկայացված է մշակված ցածր էներգասպառմամբ ՍՕՀՍ-երի 6T ՀՏ-ի և ՀԿ-երի ֆիզիկական նախագծման նոր մեթոդը: Մեթոդի կիրառման արդյունքում առաջարկվել են 6T ՀՏ-ի և դրանց հիման վրա ՀԿ-երի հինգ տոպոլոգիական լուծումներ՝ երկու մետաղական շերտերի կիրառմամբ, օգտագործելով Custom Compiler ծրագրային միջոցը: Իրականացվել է դրանց բնութագրերի հետազոտություն՝ տարբեր պրոցեսների, սնման լարումների և ցերմաստիճանների (ՊԼՋ) դեպքում Custom Compiler և HSPICE ծրագրային միջոցներով 5 նմ տեխնոլոգիական նորմերի դեպքում: Ստացված արդյունքները կարող են հաշվի առնվել մեծ ինֆորմացիոն ունակությամբ ՍՕՀՍ-երի նախագծման գործընթացում:

Ներկայացված է ՍՕՀՍ-երի ՀԿ-ի հզորության, մակերեսի և հապաղման ժամանակի նվազարկման մշակված նոր մեթոդը, հիմնված 6 տիպի հիբրիդային կառուցվածքով ՀՏ-երի կիրառման վրա: Նվազարկման ֆունկցիան ապահովում է երեք չափի դեպքում 26.5% նվազարկում, իսկ երկու չափի դեպքում՝ 18.3% նվազարկում:

Ներկայացված է ԻՍ-երի արագագործության վրա մետաղական շերտերի ազդեցության նվազարկման մշակված նոր մեթոդը, որը թույլ է տալիս կատարել ճիշտ կանոնների սահմանում նախագծողի կողմից, մոդելավորման ճանապարհով ամրագրել այն դեպքերը, որոնց դեպքում նպատակահարմար է փոխել մետաղական մակարդակը, և որոնց դեպքում պետք չէ հաշվի առնել ունակության և դիմադրության բաղադրիչները, որոնք կարող են ազդել արագագործության վրա: Մեթոդի կիրառումը թույլ է տալիս իրականացնել հապաղման ժամանակի նվազարկում մինչև 10%: Ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել ՍՕՀՍ-երի էներգասպառման և արագագործության փոխզիջումային տարբերակի ընտրության համար:

Ներկայացված է ՍՕՀՍ-երի ցածր էներգասպառմամբ ԸՈՒ-ի նոր սխեմատեխնիկական լուծումը: Առաջարկված սխեմայի 14 նմ տեխնոլոգիական նորմերով կատարված

մոդելավորումների արդյունքները ցույց են տալիս, որ այն ապահովում է սպառման հզորության 14.9%-ով նվազում:

Առաջարկված մեթոդների և սխեմատեխնիկական լուծման արդյունավետությունը հիմնավորված են իրականացված մոդելավորումների արդյունքներով:

Գլուխ 3-ում ներկայացված է առաջարկված մեթոդների հիման վրա ստեղծված «Memory Cells Placer» ծրագրային միջոցը, որի օգնությամբ կատարվում է ցածր էներգասպառմամբ ՍՕՀՍ-երի ֆիզիկական նախագծում և դրանց պարամետրերի հետազոտման իրականացում: Ծրագրային միջոցի կիրառումն մոտավորապես 2-ից 7 անգամ կրճատում է առաջարկվող մեթոդների կիրառմամբ ԻՍ-երի նախագծման և ստուգումների ժամանակը:

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:

Արդյունքների և եզրակացությունների հավաստիությունն ապացուցված է գիտափորձարարական հիմնավորումներով:

Ատենախոսության գիտական արդյունքների նորույթը և հիմնավորվածությունը

Ատենախոսության գիտական նորույթները, որոնք ապահովում են ցածր էներգասպառմամբ ՍՕՀՍ-երի ֆիզիկական նախագծում, ներկայացված են հետևյալ հաջորդականությամբ.

1. Մշակվել է ցածր էներգասպառմամբ ՍՕՀՍ-ի 6T ՀՏ-ի և դրա հիման վրա ՀԿ-երի ֆիզիկական նախագծման մեթոդ, հիմնված ընտրության տրանզլստորների և ինվերտորների տարբեր դասավորվածության վրա, ուղիղ և ինվերս բիթային ազդանշանների սիմետրիկության ու հնարավոր փոքր մակերես ապահովելու, ինչպես նաև 5 նմ տեխնոլոգիական նորմերի պահանջները բավարարելու համար:

2. Մշակված մեթոդի կիրառմամբ առաջարկվել են 6T ՀՏ-ի և ՀԿ-երի հինգ տոպոլոգիական լուծումներ: Տարբեր ջերմաստիճանային, սնման լարումների ու պրոցեսների համար սխեմատեխնիկական և ֆիզիկական մոդելավորումների արդյունքները հիմք կհանդիսանան ցածր էներգասպառմամբ ՍՕՀՍ-երի նախագծման համար:

3. Առաջարկվել է ՍՕՀՍ-երի ՀԿ-ի համալիր ՀՄՀ-ի նվազարկման մեթոդ, հիմնված հիբրիդային կառուցվածքով ՀՏ-երի կիրառության վրա: ՍՕՀՍ-ի ՀԿ-ում օգտագործված հիբրիդային ՀՏ-երը իրարից տարբերվում են ինչպես երկրաչափական չափերով այնպես էլ բաղադրիչ տրանզիստորների շեմային լարումներով:

4. Մշակվել է ալգորիթմ, որը հնարավորություն է տվել ցածր էներգասպառում ապահովելու համար կատարել տոպոլոգիական լուծումների ընտրություն ՀԿ-ում պայմանավորված ՀՏ-ի դիրքով: Ալգորիթմի կիրառումը թույլ է տվել ապահովել ՀՄՀ-ի նվազարկում 29%-ով:

5. Առաջարկվել է ԻՍ-երի արագագործության վրա մետաղական շերտերի ազդեցության նվազարկման մեթոդ հիմնված դրանց ունակության և դիմադրության բաղադրիչների փոխզիջման վրա, որը թույլ է տալիս մոդելավորման ճանապարհով գտնել բոլոր այն դեպքերը որոնց դեպքում նպատակահարմար է փոխել մետաղական մակարդակները:

6. Մշակվել է ալգորիթմ, որը հնարավորություն է տալիս իրականացնել մետաղական մակարդակների փոփոխություն: Ինվերտոր - բուֆեր, ինվերտոր - ԵՎ-ՈՉ և ինվերտոր - ԿԱՄ-ՈՉ հանգույցների մոդելավորման արդյունքներ ցույց են տալիս հապաղման ժամանակի նվազարկում մինչև 10%: Ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել ՍՕՀՍ-երի էներգասպառման և արագագործության փոխզիջումային տարբերակի ընտրության համար:

7. Առաջարկվել է ընթերցման ուժեղարարի նոր սխեմատեխնիկական լուծում: Կատարված մոդելավորման արդյունքները ցույց են տվել, որ առաջարկված ուժեղարարը ապահովում է հզորության 14.9%-ով նվազում, ի հաշիվ ջերմային էֆեկտների նկատմամբ մոտ 20% անկայունությամբ:

Աշխատանքում ներկայացվում հետևյալ հիմնական դրույթները

- ցածր էներգասպառմամբ ՍՕՀՍ-երի ՀՏ-երի և ՀԿ-երի ֆիզիկական նախագծման մեթոդը;
- ՍՕՀՍ-երի հիբրիդային կառուցվածքով ՀՏ-երով ՀԿ-ի համալիր հզորություն, մակերես, հապաղման ժամանակի նվազարկման մեթոդը;
- ԻՍ-երի արագագործության վրա մետաղական շերտերի ազդեցության նվազարկման մեթոդը;
- ցածր էներգասպառմամբ ընթերցման ուժեղարարի սխեմատեխնիկական լուծումը:

Ատենախոսության գիտական դրույթների հավաստիությունը հիմնավորված է տեսական հետազոտություններով, մոդելավորման և հաշվարկային արդյունքների համապատասխանությամբ արտադրվող սարքերի համապատասխան բնութագրերի հետ, ինչպես նաև «ՍԻՆՈՓՍԻՍ ԱՐՄԵՆԻԱ» ՓԲԸ-ում ներդրմամբ:

Ստացված արդյունքների կիրառական նշանակությունը

Ատենախոսության շրջանակներում առաջարկված մեթոդները և սխեմատեխնիկական լուծումը համապատասխանում են ժամանակակից ԻՍ-երի նախագծմանն առաջադրվող տեխնիկական պահանջներին: Ի տարբերություն էներգասպառման նվազեցման առկա լուծումների, հեղինակին հաջողվել է ստեղծել այնպիսի լուծումներ, որոնք ապահովում են ավելի բարձր արդյունավետություն:

Ատենախոսությունում առաջարկված և մշակված ցածր էներգասպառմամբ ՍՕՀՍ-երի, ՀԿ-երի և ՀՏ-երի նախագծման մեթոդներն ու միջոցները ներդրված են «ՍԻՆՈՓՍԻՍ ԱՐՄԵՆԻԱ» ՓԲԸ-ում: Դրանց կիրառումը հնարավորություն է տվել արդյունավետ կերպով իրականացնել հիշող սարքերի ցրման հզորության զգալի նվազեցում՝ միաժամանակ ապահովելով հիշող սարքերի ընդունելի ժամանակային պարամետրերն ու բյուրեղի վրա զբաղեցրած մակերեսը: Մշակված Memory Cells Placer ծրագրային միջոցի կիրառումը նախագծման և նմանակման փուլում ցույց է տվել դրա բարձր արդյունավետությունը: Memory Cells Placer ծրագրային միջոցը կազմում է ՍՕՀՍ-երի նախագծման գործընթացի կարևոր մասը և բավարարում է ժամանակակից էլեկտրոնային նախագծման բնագավառում կիրառվող նախագծման ծրագրային միջոցներին ներկայացվող բոլոր պահանջները:

Հրապարակումները

Ատենախոսության հիմնական գրույթները հրապարակվել են հեղինակի 12 գիտական աշխատանքներում: Սեղմագիրը լիովին համապատասխանում է ատենախոսությանը և արտացոլում է դրա հիմնական բովանդակությունը:

Նկատված թերությունները

1. Ատենախոսության մեջ բերված են ՍՕՀՍ-երի էներգասպառման նվազարկման արդյունքները սարքի հանգույցների համար: Ցանկալի կլիներ ներկայացնել նաև արդյունքներն ամբողջ սարքի համար:

2. Ներկայում ՍՕՀՍ-երում տրանզիստորների նվազագույն չափերը հասել են մինչև 5 նմ-ի: Ատենախոսության շրջանակներում կատարված որոշ հետազոտությունների համար հիմք է ընդունվել 14 նանոմետրանոց տեխնոլոգիաները: Առաջարկվում է շարունակել կատարված հետազոտությունները նաև 5 նմ տեխնոլոգիաներով արտադրվող ԻՍ-երի համար:

3. Աշխատանքում կատարված չէ մշակված Memory Cells Placer ծրագրային միջոցի և գոյություն ունեցող միջոցների համեմատական վերլուծություն:

4. Առկա են մի շարք ոճային և ուղղագրական անճշտություններ ու ոչ հստակ ձևակերպումներ:

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

Եզրակացություն

Ա.Օ. Պետրոսյանի «Ցածր էներգասպառմամբ ստատիկ օպերատիվ հիշող սարքերի ֆիզիկական նախագծման միջոցների մշակումը» թեմայով թեկնածուական ատենախոսությունը 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 ԿԳՄՄՆ բարձրագույն կրթության և գիտության կոմիտեի կողմից թեկնածուական ատենախոսություններին ներկայացվող պահանջներին, բովանդակությամբ համապատասխանում է Ե.27.01 - «Էլեկտրոնիկա, միկրո և նանոէլեկտրոնիկա» 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 2024թ. հուլիսի 9-ին կայացած գիտական սեմինարում: Ներկա էին՝ 9 անձ՝ տ.գ.դ. Ա. Մարկոսյանը, տ.գ.դ. Վ. Ավետիսյանը, տ.գ.թ. Ա. Ահարոնյանը, բաժնի վարիչներ՝ Մ. Ասատրյանը Հ. Մարտիրոսյանը, Ա. Մակարյանը, լաբ. վարիչ՝ Ա. Զարգարյանը, առաջատար ճարտարագետ ծրագրավորող Ա. Սմբատյանը, ճարտարագետ ծրագրավորող Ա. Կայծակովը:

ԵրԿՄԳՀԻ-ի գիտական գծով փոխտնօրեն,
տ.գ.դ., պրոֆեսոր՝

Վ. Ավետիսյան

Գիտական քարտուղար՝

Ա. Մակարյան

Ստորագրությունները հաստատում եմ՝
կազմակերպության կադրերի բաժնի վարիչ



Ի. Վանդունց