

ՀՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱՅԻ ԵՎ
ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՄԱՆ ԴՐՈՒԲԼԵՄՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Ստեփանյան Արթուր Գագիկի

**ԳԵՐՄԵԾ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԻՆԵՄԱՆԵՐԻ ՍՈՒՏՔԻ/ԵԼՔԻ ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐԻ
ԷՆԵՐԳԱՍՊԱՌՄԱՆ ՆՎԱԶԱՐԿՄԱՆ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ՄԻՋՈՑՆԵՐԻ
ՄՇԱԿՈՒՄ և ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ**

Ե.13.04 – «Հաշվողական մեքենաների, համալիրների, համակարգերի և
ցանցերի մաթեմատիկական և ծրագրային ապահովում»
մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական
աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Երևան 2011

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ИНФОРМАТИКИ И
АВТОМАТИЗАЦИИ НАН РА

Степанян Артур Гагикович

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ
СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ УЗЛОВ ВВОДА/ВЫВОДА
СВЕРХБОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.13.04—
“Математическое и программное обеспечение вычислительных
машин, комплексов, систем и сетей”

Ереван 2011

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ Գիտությունների Ազգային
Ակադեմիայի Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտում:

Գիտական ղեկավար՝ ՀՀ գիտության վաստակավոր գործիչ,
տ.գ.դ., պրոֆ. Վ. Շ. Մելիքյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ.
Ա. Թ. Քուչուկյան
տ.գ.թ. Գ.Ի. Մարգարով

Առաջատար կազմակերպություն՝ Երևանի կապի միջոցների
գիտահետազոտական ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը տեղի կունենա 2011թ.-ի հունիսի 10-ին,
Ժամը 15⁰⁰-ին, ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների
ինստիտուտում գործող 037 Մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցե՝ 0014,
Երևան, Պ. Սևակի փ. 1):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ ԻԱՊԻ-ի գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է 2011թ.-ի մայիսի 10-ին:

037 Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար, ֆ.մ.գ.դ., պրոֆեսոր Մ.Ե. Հարությունյան

Тема диссертации утверждена в Институте проблем информатики и
автоматизации НАН РА.

Научный руководитель: Заслуженный деятель науки РА,
д.т.н., проф. В. Ш. Меликян

Официальные оппоненты: Академик НАН РА, д.т.н. А.Т.Кучукян
к.т.н. Г.И. Маргаров

Ведущая организация: Ереванский научно-исследовательский
институт средств связи

Защита диссертации состоится 10-го июня 2011г., в 15⁰⁰ ч., на заседании
Специализированного совета 037 в Институте проблем информатики и
автоматизации НАН РА (адрес: 0014, г.Ереван, ул. П. Севака 1).
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПИА НАН РА.
Автореферат разослан 10-го мая 2011г.

Ученый секретарь
Специализированного совета 037
д.ф.м.н., профессор

М.Е. Арутюнян

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՆԿԱՐԱԳԻՐ

Թեմայի արդիականությունը: Վերջին տարիներին գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների(ԳՄԻՍ) զարգացման հիմնական միտումներն էին դրանց արագագործության և ինտեգրացիայի աստիճանի մեծացումը, սնման լարումների փոքրացումը և այլն: Սակայն, այդ զարգացումներին զուգընթաց, հաճախ որակապես փոխվել են նաև ԳՄԻՍ-երի նախագծման գործընթացի առաջնայնությունները: Ներկայումս կարևորագույն հիմնահարցն է համարվում ԳՄԻՍ-երի էներգասպառման նվազարկումը: Պատճառները պայմանավորված են ոչ միայն և ոչ այնքան աշխատանքային հաճախականությունների բարձրացմամբ պայմանավորված ԳՄԻՍ-երի կողմից սպառվող հզորության դինամիկ բաղադրիչի, որքան դրանց կազմում ընդգրկված ԿՄՕԿ տրանզիստորների կորստային հոսանքի էական աճմամբ: Բանը նրանում է, որ հզորության նվազեցման և տրանզիստորի էլեկտրական դաշտի հաստատուն պահման նպատակով, շարունակաբար փոքրացվում է նաև սնման լարումը: Արդյունքում, ԿՄՕԿ տրանզիստորի շեմային լարումը և նվազեցվում է սնուցման լարման մասշտաբավորման չափով, ինչի պատճառով էականորեն մեծացել է ԿՄՕԿ տրանզիստորի կորստային հոսանքը: Բավական է նշել միայն, որ 65ճմ և ավելի փոքր տեխնոլոգիաներում, կորստային հոսանքը հաճախ կազմում է սպառվող արդյունարար հզորության կեսից ավելին: Այդ պատճառով, ժամանակից ԳՄԻՍ-երի նախագծման կարևորագույն խնդիրն է դարձել դրանց էներգասպառման նվազարկումը:

Վերջերս շոշափելի դրական արդյունքներ են գրանցվել ԳՄԻՍ-երի հիմնական բաղադրիչի՝ դրանց միջուկի էներգասպառման նվազարկման ուղղությամբ: Սակայն այդ առումով հետազոտությունների դաշտից դուրս են մնացել ԳՄԻՍ-երի չափազանց կարևոր բարկացուցիչները՝ մուտքի/ելքի(Մ/Ե) հանգույցները: Չայտնի է, որ ԳՄԻՍ-երի արտադրման տեխնոլոգիական գործընթացների զարգացմանը զուգընթաց, Մ/Ե հանգույցների դերն անշեղորեն մեծանում է: Դա արտահայտվում է ինչպես Մ/Ե հանգույցների իրագործած ֆունկցիաների ցանկի (արտաքին միջավայրի և ԳՄԻՍ-ի միջուկի միջև տեղեկատվության փոխանակում, ազդանշանների լարման մակարդակների և հաղորդման արագությունների համաձայնեցում, էլեկտրաստատիկ պարպումից պաշտպանություն և այլն) ընդլայնմամբ և դրանց պարամետրերի քանակի մեծացմամբ, այնպես էլ՝ ԳՄԻՍ-երի ինտեգրալ բնութագրերի վրա վերջիններիս ունեցած ազդեցությունների անշեղ մեծացմամբ: Այս ամենի արդյունքում Մ/Ե հանգույցների մշակումը հաճախ կապված է ավելի մեծ բարդությունների հետ, քան բուն ԻՍ-երի միջուկներինը: Բավական է նշել միայն, որ ժամանակակից ԻՍ-երի խափանումների մոտ 85%-ը պատկանում է հենց Մ/Ե հանգույցներին: Սակայն Մ/Ե հանգույցների կարևորագույն առանձնահատկությունն է դրանց կողմից անթույլատրելի մեծ էներգասպառումը: Պատճառներն ակնհայտ են՝ Մ/Ե հանգույցների տարբեր հատվածները, որպես կանոն, սնուցվում են իրարից տարբերվող երկու լարումներից որևէ մեկով: Դրանցից մեկը հավասար է, իսկ մյուսը էապես գերազանցում է ԻՍ-ի միջուկի սնման լարմանը: Բացի այդ, ՄԵԴ-ների առանձին հատվածների աշխատանքային հաճախականությունները նույնպես ավելի մեծ են միջուկի համապատասխան ցուցանիշից: Այս ամենը վկայում են այն մասին, որ Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման խնդիրը ներկայումս պակաս կարևոր չէ, քան ԻՍ-ի միջուկինը: Սակայն, եթե ներկայումս առկա են ԻՍ-երի միջուկների էներգասպառման նվազարկման արդյունավետ համակարգեր, ապա Մ/Ե հանգույցների պարագայում դրանք բացակայում են:

Այդ պատճառով էլ գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցների ստեղծման ուղղությամբ տարբեր հեղինակների և կոլեկտիվների կողմից սկսվել են իրականացվել ինտենսիվ աշխատանքներ: Սակայն այդ աշխատանքների արդյունքների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ստացված ծրագրային միջոցները չեն բավարարում Մ/Ե հանգույցների գործնական մշակման ժամանակակից պահանջներին: Էներգասպառման նվազարկման ներկայումս հայտնի, առաջադեմ և փորձարկումների ժամանակ լավ արդյունքներ ցուցաբերած մեթոդների կիրառմամբ Մ/Ե հանգույցների համար նույն նպատակին ծառայող համապիտանի ծրագրային միջոցներ

ուղղակիորեն բացակայում են, իսկ գոյություն ունեցողները միայն առանձին դասերի Մ/Ե հանգույցների դեպքում ապահովում են Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման ընդամենը ամենշան նվազարկում:

Այս ամենը պայմանավորում է գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների՝ նոր սկզբունքներով կառուցված էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցի ստեղծման անհրաժեշտությունը: Վերջինս պետք է ներառի ԻՍ-երի միջուկների էներգասպառման նվազարկման դեպքում հաջողությամբ կիրառվող մեթոդները, միաժամանակ հաշվի առնելով ժամանակակից Մ/Ե հանգույցներին բնորոշ իրողությունները:

Ատենախոսությունում առաջարկվող գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցի կառուցման սկզբունքները, մեթոդները, եղանակները և բուն ծրագրային փաթեթը ուղղված են նկարագրված հիմնահարցերի լուծմանը:

Գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման հնարավոր ուղիներն ու դրանց ծրագրային իրականացման առանձնահատկությունները, սկզբունքներն ու եղանակները, ծրագրային միջոցում գրադարանային տարրերի ու նախագծման գործընթացների պահանջների հաշվի առնման հնարավորությունները, Մ/Ե հանգույցների կողմից սպառվող հզորության նկարագրման արդյունավետ ձևաչափի ստեղծման հարցերը, Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման մաթեմատիկական և ծրագրային ապահովումները:

Աշխատանքի նպատակը: Գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման սկզբունքների, մեթոդիկայի և արդյունավետ ծրագրային միջոցի մշակումը:

Գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման հնարավոր ուղիներն ու դրանց ծրագրային միջոցում գրադարանային տարրերի ու նախագծման գործընթացների պահանջների հաշվի առնման հնարավորությունները, սկզբունքներն ու եղանակները, ծրագրային միջոցում գրադարանային տարրերի ու նախագծման գործընթացների պահանջների հաշվի առնման հնարավորությունները, Մ/Ե հանգույցների կողմից սպառվող հզորության նկարագրման արդյունավետ ձևաչափի ստեղծման հարցերը, Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման մաթեմատիկական և ծրագրային ապահովումները:

Գիտական նորույթը

- Ձևակերպել են գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցներին առաջադրվող պահանջներ, որոնց բավարարումն այդ դասի մրցունակ համակարգերի ստեղծման հնարավորություն է ընձեռում:
- Առաջարկվել են գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցի մշակման սկզբունքներ, որոնք Մ/Ե հանգույցներին առաջադրվող ժամանակակից գործնական պահանջների բավարարման տեսանկյունից էներգասպառման նվազարկման ընդունելի մակարդակի ստացման և , միևնույն ժամանակ, դրանց մյուս կարևոր պարամետրերի միջև փոխգիջումային լուծումների համատեղման, հիմք են ստեղծում:
- Մշակվել է գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցում հզորության փոքրացման առաջադեմ մեթոդների համակցված կիրառման արդյունավետ մեթոդիկա, որն ապահովում է այդ մեթոդների համատեղելիությունը Մ/Ե հանգույցների առանձնահատկություններին:
- Ստեղծվել են գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցում գրադարանային տարրերի առանձնահատկությունների հաշվի առնման նոր եղանակներ, որոնք Մ/Ե հանգույցների անհրաժեշտ բնութագրերի ստացման ապահովման հետ մեկտեղ, համապարփակ նախագծման գործընթացի իրականացման հնարավորություն են ընձեռում:

Պաշտպանության են ներկայացվում հետևյալ դրույթները

- Գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցների մշակման սկզբունքները: Դրանք, ցածր էներգասպառմամբ սխեմաների նախագծման ժամանակակից առաջադեմ մեթոդների համակցված կիրառման, ինչպես նաև օգտագործվող գրադարանային տարրերի ու նախագծման

գործընթացի առանձնահատկությունների լիարժեք հաշվի առնման շնորհիվ, ապահովում են Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման անհրաժեշտ մակարդակ:

- Գերմետ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցում հզորության փոքրացման առաջադեմ մեթոդների համակցված կիրառման մեթոդիկան և այդ մեթոդների իրականացման համար անհրաժեշտ լրացուցիչ բաղադրիչների ներկառուցման ծրագրային ապահովումը:
- Մ/Ե հանգույցների կողմից սպառվող հզորության նկարագրման ձևաչափը, որի կիրառումը բարձրացնում է նախագծման գործընթացի արդյունավետությունը և ապահովում սխեմաների նախագծման գործնական պահանջների բավարարման տեսանկյունից բավարար բնութագրերը:
- Գերմետ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման «LP_IO» ծրագրային միջոցը:

Աշխատանքի գործնական արժեքը: Մշակվել է գերմետ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման «LP_IO» ծրագրային միջոցը: «LP_IO» համակարգի ծրագրային ապահովումն իրականացված է C++ ծրագրավորման լեզվով NEdit և GNU GCC Compiler 4.2 փաթեթների կիրառմամբ: Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցը գործում է UNIX օպերացիոն համակարգի միջավայրում: «LP_IO» ծրագրային միջոցի օգնությամբ նախագծվել են 43 բջիջներ պարունակող ստանդարտ Մ/Ե հանգույցների LP_IO_STDLIB, ինչպես նաև հատուկ (բարձր արագագործությամբ, հաջորդական համաձայնեցմամբ և այլն) Մ/Ե հանգույցներ պարունակող LP_IO_SPECLIB գրադարանները: Համեմատության նպատակով նույն գրադարանները նախագծվել են նաև Synopsys ընկերության ծրագրային գործիքային միջոցների օգնությամբ: Նշված գրադարանների ստացված երկու տարբերակների համեմատությունը մշակված «LP_IO» ծրագրային միջոցի կիրառման դեպքում ցույց է տվել Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման միջինում 39-43%-ով փոքրացում դրանց արագագործության մեջ ընդամենը 4-5%-ով կորստի պարագայում:

«LP_IO» ծրագրային միջոցը հնարավորություն է ընձեռում հեշտությամբ ինտեգրվելու առավել հզոր արտադրական նշանակության ծրագրային գործիքային միջավայրերում:

Գիտական դրույթների հավաստիությունը հաստատվում է մշակված սկզբունքների, մոտեցումների, մեթոդիկայի և եղանակների կիրառմամբ ստեղծված գերմետ ինտեգրալ սխեմաների էներգասպառման նվազարկման LP_IO ծրագրային միջոցի օգնությամբ կառուցված Մ/Ե հանգույցների պարամետրերի և բնութագրերի համապատասխանությամբ հայտնի ծրագրային միջոցներով նախագծված նույն Մ/Ե հանգույցների համանուն ցուցանիշների հետ:

Ներդրումը: Գերմետ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման մշակված «LP_IO» ծրագրային միջոցը ներդրված է ՄԻՆՈՓՍԻՍ ԱՐՄԵՆԻԱ ՓԲԸ-ում: Այն օգտագործվում է տարաբնույթ ԻՍ-ների նախագծման գործընթացում Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման և դրանց այլ պարամետրերի ու բնութագրերի լավարկման նպատակով, կազմում է ընկերության ծրագրային գործիքային միջոցների անբաժան մասը: «LP_IO» ծրագրային միջոցի օգնությամբ մշակված ստանդարտ Մ/Ե հանգույցների LP_IO_STDLIB, ինչպես նաև հատուկ Մ/Ե հանգույցներ պարունակող LP_IO_SPECLIB գրադարանների կազմում ընդգրկված տարաբնույթ Մ/Ե հանգույցները, հաջողությամբ թեստավորվել են մի շարք իրական ԻՍ-երում:

Աշխատանքի փորձարկումը: Առենախտության հիմնական գիտական և գործնական արդյունքները զեկուցվել են

- 54-րդ “Electronics, Telecommunications, Computers, Automatic Control and Nuclear Engineering” միջազգային գիտաժողովում (Դոնցի Միլանովաց, Սերբիա, 2010թ.);
- ՀՀ ԳԱ ԻնՖորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտի գիտական սեմինարներում (Երևան, Հայաստան, 2010-2011թ.);
- ՀԴԵՀ «Միկրոէլեկտրոնային սխեմաներ և համակարգեր» միջֆակուլտետային ամբիոնի գիտական սեմինարներում (Երևան, Հայաստան, 2010-2011թ.);

➤ «ՍԻՆՈՓՄԻՍ ԱՐՄԵՆԻԱ» ՓԲԸ գիտական սեմինարներում (Երևան, Հայաստան, 2010-2011թթ.):

Տպագրությունները: Ատենախոսության հիմնական դրույթները տպագրվել են 5 գիտական աշխատանքներում, որոնց ցանկը բերված է սեղմագրի վերջում:

Ատենախոսության կառուցվածքը և ծավալը: Ատենախոսությունը բաղկացած է 3 գլուխներից, եզրահանգումից, 114 անուն զրականության ցանկից և 7 հավելվածներից: 1-ին հավելվածում բերված է ատենախոսության ներդրման ակտը, 2-րդում՝ մշակված ստանդարտ Մ/Ե հանգույցների գրադարանի նկարագրությունը, 3-րդում՝ ստեղծված ստանդարտ Մ/Ե հանգույցների գրադարանի կազմում ընդգրկված բջիջների Verilog և Spice նկարագրությունները, 4-րդում՝ մշակված մասնագիտացված Մ/Ե հանգույցների գրադարանի նկարագրությունը, 5-րդում՝ ստեղծված մասնագիտացված Մ/Ե հանգույցների գրադարանի կազմում ընդգրկված բջիջների Verilog և Spice նկարագրությունները, 6-րդում՝ մշակված ծրագրային միջոցի կոդի որոշ հատված, 7-րդում՝ ատենախոսությունում օգտագործված նկարների և աղյուսակների ցանկերը: Հիմնական կազմում է 123 էջ, որտեղ ընդգրկված են 80 նկարներ և 7 աղյուսակներ: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը, հավելվածների հետ միասին, կազմում է 186 էջ:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներածությունում ներկայացված է հարցի ընդհանուր վիճակը, ձևակերպված է հետազոտության նպատակը, հիմնավորված է խնդրի արդիականությունը, ներկայացված են գիտական նորույթը և աշխատանքի գործնական արժեքը: Թվարկված են պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները:

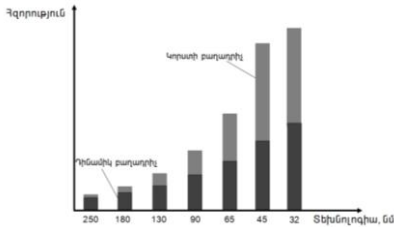
Առաջին գլխում դիտարկված են ՊՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցների մշակման ընդհանուր հարցերը: ՊՄԻՍ-երի զարգացման միտումների վերլուծության հիման վրա ցույց է տրվել ՊՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման և համապատասխան ծրագրային միջոցի մշակման ամիրաժեշտությունը: Մասնավորապես, ԻՍ-երում անընդհատ կատարվող մասշտաբավորման վերլուծության արդյունքում ցույց է տրվել, որ այն նույն չափով չի ազդում ԻՍ-ի տարբեր հատկությունների վրա (Աղ. 1):

Աղյուսակ 1

Մասշտաբավորման արդյունքում ԻՍ-ի մակրոպարամետրերի փոփոխությունը

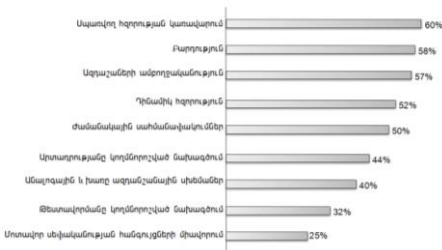
Պարամետրեր	90նմ	65նմ	45նմ
Կիսահաղորչային սարքի երկարություն (նմ)	1x	0,7x	0,5x
Հապաղում (պվ)	1x	0,7x	0,5x
Հանախություն (ԳՀց)	1x	1,43x	2x
Ունակություն (ՖՖ)	1x	0,7x	0,5x
Բյուրեղի մակերես (մմ ²)	1x	1x	1x
Սնման լարում (Վ)	1x	0,85x	0,7x
Սպառվող դինամիկ հզորություն (Վտ)	1x	>0,7x	>0,5x
Շեմային լարում (Վտ)	1x	0,85x	0,7x
Սպառվող դինամիկ հզորության խտություն (Վտ/սմ ²)	1x	1,43x	2x
Սպառվող կրճատի հզորության խտություն (Վտ/սմ ²)	1x	~2,5x	~6,5x
Սպառվող հզորության խտություն (Վտ/սմ ²)	1x	~2x	~4x
Միջմիացման հապաղում (պվ)	1x	~2x	~5x

Դրա արդյունքում ներկայումս նախագծման տեսանկյունից դժվարություն են ներկայացնում ԻՍ-ի կողմից սպառվող հզորության ոչ միայն դինամիկ, այլ նաև ստատիկ բաղադրիչները: Մյուս կողմից, փոխվել է կորստի և դինամիկ հզորության բաղադրիչների հարաբերակցությունը (նկ.1): Եթե նախքան 130Նմ-անոց տեխնոլոգիան դինամիկ հզորությունը զգալիորեն գերազանցում էր կորստի բաղադրիչին, և վերջինս կարելի էր անտեսել, ապա 90Նմ-անոց և ավելի փոքր տեխնոլոգիաների պարագայում, իրավճակը կտրուկ փոխվել է (90Նմ-անոց տեխնոլոգիայի համար այն կազմում է 40-50% և շարունակում է աճել 65Նմ-անոցից այն կողմ):

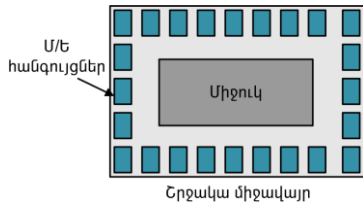


Նկ. 1. Սպառվող հզորության կորստի և դինամիկ բաղադրիչների հարաբերակցությունը

Նշված խոչընդոտները հանգեցնում են ենթամիկրոմետրային տեխնոլոգիաներով պատրաստվող ԻՍ-երի նախագծման բարդեցմանը, սակայն դա առանձին խոչընդոտների պարագայում արտահայտվում է տարբեր չափերով: Օրինակ, նկ.2-ում բերված հարցումների արդյունքները վկայում են այն մասին, որ ներկայումս սպառվող հզորությունը դիտարկվում է որպես ԻՍ-երի նախագծման ամենամեծ խոչընդոտ:



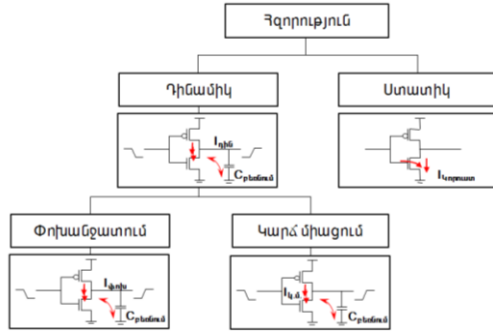
Նկ. 2. Ենթամիկրոմետրային տեխնոլոգիաներին բնորոշ խոչընդոտների կարևորության հարաբերակցությունը



Նկ. 3. Մ/Ե հանգույցների տեղը ԻՍ-ի կառուցվածքում

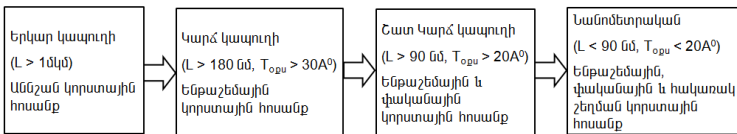
Այսպիսով, ԻՍ-երի մասշտաբավորման արդյունքում առաջացող խոչընդոտներից առավել կարևորը սպառվող հզորության անթույլատրելի աճն է: ԻՍ-երի արտադրության յուրաքանչյուր նոր տեխնոլոգիական գործընթացի ստեղծումը հանգեցնում է տարրերի խտության կրկնակի աճին, սնման լարման 15%-ով նվազեցմանը և տակտային հաճախականության կրկնակի աճին: Այս ամենը յուրաքանչյուր երկու տարին մեկ հանգեցնում է սպառվող հզորության եռապատկմանը: ԳՄԻՍ-երի էներգասպառման նվազարկումը վերաբերում է ԳՄԻՍ-երի բոլոր բաղադրիչներին: Ինչպես միջուկի կազմում ընդգրկված տարրերին, այնպես էլ Մ/Ե հանգույցներին:

Մ/Ե հանգույցները հանդիսանում են ժամանակակից ԻՍ-երի կարևոր բաղկացուցիչ մասերը (Նկ. 3): Դրանք ապահովում են արտաքին միջավայրի և ԻՍ-ի միջուկի միջև տեղեկատվության փոխանցումը, ինչպես նաև ազդանշանների պարամետրերի (լարման մակարդակներ, փոխանցման արագություններ, աղմուկների մակարդակներ և այլն) համաձայնեցումը:



Նկ. 4. Մ/Ե հանգույցի կողմից սպառվող հզորության բաղադրիչները

Այսպիսով, ՊՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման խնդիրը չափազանց կարևոր է, որի լուծումը կհանգեցնի ԻՍ-ի հիմնական մակրոպարամետրերի էական բարելավմանը և նախագծման գործընթացի որակի բարձրացմանը: Այդ պատճառով ՊՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման արդյունավետ ծրագրային միջոցների մշակման տեսանկյունից կարևոր է համարվում վերջիններում հզորության սպառման հիմնական մեխանիզմների (Նկ. 4,5) բացահայտումը և դրանցից յուրաքանչյուրի փոքրացման ուղիների հետազոտումը, ինչը կատարվել է ատենախոսությունում:

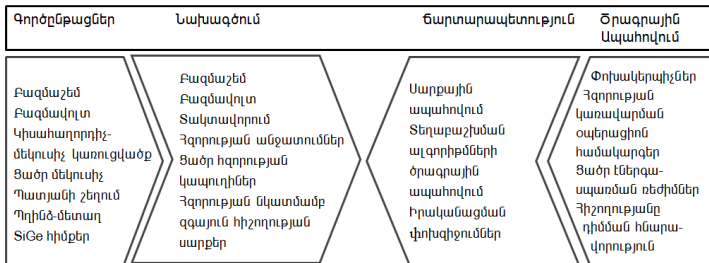


Նկ. 5. Տեխնոլոգիական մասշտաբավորմանը զուգընթաց կորստի հոսանքի դերի աճը

Ատենախոսությունում կատարված հետազոտությունների հիման վրա եզրակացվել է, որ ՊՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման հիմնական ուղիներն են վերջիններիս սնման լարման փոքրացումը կամ անջատումը այն ժամանակահատվածների համար, երբ Մ/Ե հանգույցն ակտիվ չէ: Դա նշանակում է, որ ՊՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցները պետք է օժտված լինեն թվարկվածի իրականացման հնարավորությամբ:

Այնուհետև ատենախոսությունում իրականացվել է ՊՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցների արդի վիճակի վերլուծություն: Ցույց է տրվել, որ ՊՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների կողմից սպառվող հզորության նվազարկման խոչընդոտի հաղթահարումը պայմանավորված է ոչ միայն նախագծման նոր տեխնոլոգիաների մշակմամբ, այլ նաև ճարտարապետության, ծրագրային ապահովման և գործընթացների փուլերի մշակման նոր մոտեցումների ստեղծման անհրաժեշտությամբ: Մասնավորապես, ճարտարապետության մշակման դեպքում նման մեթոդների ձևավորումը

պահանջում է սարքային և ծրագրային ապահովումների ավելի հստակ տարանջատում: Ծրագրային ապահովման մշակման տեսանկյունից, սպառվող հզորության կառավարման նպատակով, օպերացիոն համակարգի դերը բարձրանում է (Նկ.6):



Նկ. 6. Մ/Ե հանգույցների կողմից սպառվող հզորության կառավարումը

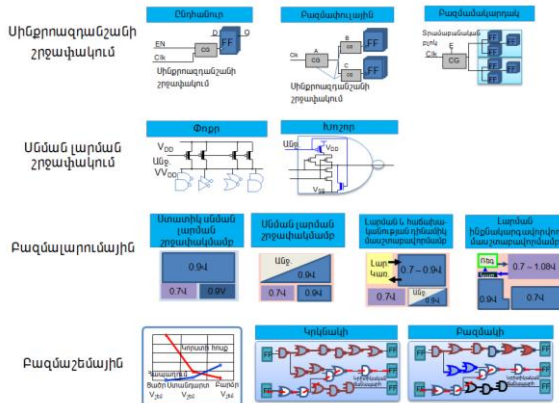
Դիտարկվել են առկա մի շարք ծրագրային գործիքային միջոցներ և մոտեցումներ, որոնք հնարավորություն են տալիս վերլուծել հզորությունը դեռևս սխեմաների նախագծման ճարտարապետական և տրամաբանական փուլերում և կարող են հանգեցնել նշանակալի լավարկումների: Հզորության վերլուծության հնարավորություններ են ներդրված, օրինակ, Synopsys ընկերության ներկայումս լավագույնը համարվող մի շարք ծրագրային գործիքային միջոցներում՝ Power Compiler, PrimeTime-PX, Jupiter XT և IC Compiler: Սակայն, նշված ծրագրային միջոցներն ապահովում են միայն ԻՍ-ի միջուկի էներգասպառման նվազարկում և նույն գործողությունը չեն իրագործում Մ/Ե հանգույցների պարագայում:

Ժամանակակից ՊՄԻՍ-երի էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցների՝ ատենախոսությունում կատարված վերլուծությունը ցույց է տվել, որ Մ/Ե հանգույցների պարագայում դրանք կան բացակայում են, կան էլ արդյունավետության տեսանկյունից չեն բավարարում ժամանակակից պահանջներին:

Ձևակերպվել են ՊՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցներին առաջադրվող պահանջները՝ տուպոլոգիական առանձնահատկությունների հաշվի առնումը, Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ընթացքում սխեմայի մաս մյուս պարամետրերի հաշվի առնումը, նախագծման ընթացքում կիրառվող այլ համակարգերի կողմից օգտագործվող կամ զեներացվող ֆայլերի կիրառման հնարավորությունը, օգտագործվող մեքենայական միջոցների նվազեցումը, ԻՍ-երի արտադրման տեխնոլոգիաների նկատմամբ համապիտանելիությունը, Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման՝ այլ ծրագրային միջոցների հետ ինտեգրման հնարավորությունը, օգտագործողի համար պարզ և մատչելի ինտերֆեյսի առկայությունը: Մասնավորապես, նախագծման ընթացքում կիրառվող այլ համակարգերի կողմից օգտագործվող կամ զեներացվող ֆայլերի կիրառման հնարավորության պահանջը պայմանավորված է նրանով, որ ԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման գործընթացում կիրառվում են նախագծման բազմաթիվ այլ ենթահամակարգեր, որոնց համար որպես մուտքային/ելքային տեղեկատվություն են հանդիսանում որոշակի ստանդարտ ձևաչափով ֆայլերը՝ Verilog, VHDL, GDSII, LEF և այլն: Բանի որ Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցն աշխատելու է այդ համակարգերի հետ, ապա այն պետք է կարողանա կիրառել և նշված ֆայլերը:

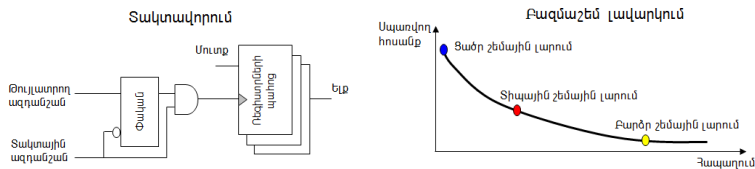
Մյուս պահանջները կայանում են հետևյալում՝ ՊՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցները պետք է օժտված լինեն սնման լարման փոքրացման կամ տեղեկատվության փոխանցմանը չնսանակացելու ժամանակահատվածներում՝ անջատման, աշխատանքային համախափանության և սխեմաներում ընդգրկված կիսահաղորդչային տարրերի շեմային լարումների կարգավորման հնարավորություններով:

Երկրորդ գույնը նվիրված է ԳՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցի մշակման առաջարկվող եղանակին: Նախ նկարագրվել են ԳՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցի մշակման առաջարկվող սկզբունքները՝ ցածր էներգասպառմամբ սխեմաների նախագծման ներկայումս առաջադեմ համարվող մեթոդների (նկ.7) համակցված օգտագործման հնարավորության ապահովումը, այդ ընթացքում օգտագործվող գրադարանային տարրերի և ցածր էներգասպառմամբ Մ/Ե հանգույցների նախագծման գործընթացի առանձնահատկությունների հաշվի առնելը: Մասնավորապես, ցածր էներգասպառմամբ սխեմաների նախագծման ներկայումս առաջադեմ համարվող մեթոդների համակցված օգտագործման հնարավորության ապահովման համար թվային ԳՄԻՍ-երի միջուկի էներգասպառման նվազարկման համար հաջողությամբ կիրառվում են նկ.7-ում ցուցադրված մեթոդները: Հաշվի առնելով այն հանգամանքը, որ ժամանակակից ԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցները նույնպես հանդիսանում են բարդ սխեմաներ, որոնք պարունակում են մեծաթիվ տրամաբանական տարրեր պարունակող թվային հատվածներ, ինչպես նաև մեծ քանակով կիսահաղորդչային տարրերից բաղկացած անալոգային հատվածներ, առաջարկվել է դրանցում նույնպես կիրառել ցածր էներգասպառմամբ սխեմաների նախագծման առաջադեմ մեթոդները:



Նկ. 7. Ցածր էներգասպառմամբ սխեմաների նախագծման առաջադեմ մեթոդները

Այնուհետև ցույց են տրված ԳՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցում հզորության փոքրացման մեթոդների կիրառման ծրագրային եղանակները: Նկ.8-ում ներկայացված են դրանցից երկուսը՝ տակտավորումը և բազմաշեն լավարկումը:

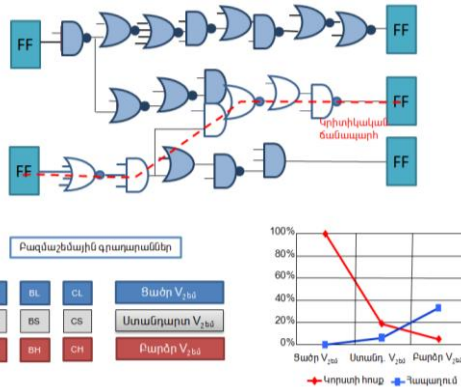


Նկ. 8. Տակտավորումը և բազմաշեն լավարկումը

Բազմաշեն լավարկունը հիմնված է այն հանգամանքի վրա, որ ցածր շենային լարմամբ տարրերն արագագործ են, բայց ունեն կորստի հոսանքի մեծ արժեք: Բարձր շենային լարմամբ տարրերն ավելի դանդաղագործ են, բայց ունեն կորստի ցածր աստիճան: Տարբեր շենային լարմամբ միևնույն տարրերի կորստի հզորությունների միջև տարբերությունը երբեմն կարող է շատ զգալի լինել, հաճախ մինչև մի քանի տասնյակ անգամ: Այսինքն, եթե Մ/Ե հանգույցի պարապուրդի ժամանակը մեծ է, բարձր շենային լարմամբ տարրերը կարող են փոխարինվել, այդպիսով էապես նվազեցնելով պարապուրդը և կորուստը:

Այնուհետև դիտարկված են ԳՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցում գրադարանային տարրերի առանձնահատկությունների հաշվառման հարցերը գրադարանում հատուկ բջիջների ընդգրկումը, որոնք պահանջվում են Նկ.8-ում բերված եղանակների իրագործման համար; գրադարանային բջիջների բնութագրումը PVT եռյակի լրացուցիչ դեպքերում, քանի որ առանձին մեթոդներ կիրառում են սնման լարման լրացուցիչ մակրոտարրեր; ծրագրային միջոցում լրացուցիչ տվյալների կամ ատրիբուտների անհրաժեշտությունը, որպեսզի հնարավոր լինի գրադարանային տարրերում սպառվող հզորության առնչվող տվյալների հետ աշխատանքը:

ԳՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցում գրադարանային տարրերի առանձնահատկությունների հաշվառման առաջարկվող ճանապարհներից մեկը բազմաշենային գրադարանների կիրառումն է (Նկ.9):



Նկ.9. Բազմաշենային գրադարանները

Նշված գրադարանները պարունակում են նույն բջիջ երեք տարբերակներ՝ ցածր, ստանդարտ և բարձր V_{dd} արժեքներով: Նույն բջիջ բոլոր երեք տարբերակներն էլ գրադարանում ունենում են նույն անունը, սակայն հատուկ ցուցիչը տարբերակում է շենային լարման տեսակը: Տարբերակումն իրականացվում է ԳՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցում կիրառման նպատակով:

ԳՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցում գրադարանային տարրերի հաշվառման առաջարկվող մյուս ճանապարհը բնութագրման լրացուցիչ դեպքերի ավելացումն է (աղ.2):

Բնութագրման ժամանակ հաշվի են առնվում աշխատանքային պայմանները, որոնցում բջիջը գործում է՝

1. բեռի ունակություն (C_p), որն իրենից ներկայացնում է բջիջի ելքին միացված սխեմայի համարժեք մուտքային ունակությունը,
2. մուտքային ազդանշանի թեքություն (t_{01} և t_{10}), որն իրենից ներկայացնում է ազդանշանի տրամաբանական մակարդակների միջև փոխանցատման ժամանակահատվածները,

3. շրջակա միջավայրի ջերմաստիճան (T°), որն իրենից ներկայացնում է բջջի նախագծման աշխատանքային ջերմաստիճանը,

4. սնման V լարում,

5. տեխնոլոգիական գործընթաց, և այլն:

Նշված պայմաններից յուրաքանչյուրը փոփոխվում է ինչ-որ թույլատրելի միջակայքում կամ ընդունում է վերջավոր թվով արժեքներ, որոնք տրված են լինում տեխնոլոգիական առաջադրանքում:

Աղյուսակ 2.
Բնութագրման դեպքերը

Դեպքի անունը	Տեխնոլոգիական գործընթաց (P)	Ջերմաստիճան (T)	Սնման լարում (V)	Նշումներ
TTNT1p20v	տիպական-տիպական	25	1,2	Տիպական դեպք
SSHT1p08v	դանդաղ-դանդաղ	125	1,08	Դանդաղ դեպք
FFLT1p32v	արագ-արագ	-40	1,32	Արագ դեպք
FFHT1p32v	արագ-արագ	125	1,32	Մեծ կորստի դեպք
SSLT1p32v	դանդաղ-դանդաղ	-40	1,32	Փոքր ջերմաստիճանի դեպք
SSLT1p08v	դանդաղ-դանդաղ	-40	1,08	
Ցածր լարմանը շահագործման պայմաններ				
TTNT0p80v	տիպական-տիպական	25	0,80	Տիպական դեպք
SSHT0p70v	դանդաղ-դանդաղ	125	0,70	Դանդաղ դեպք
FFLT0p90v	արագ-արագ	-40	0,90	Արագ դեպք
FFHT0p90v	արագ-արագ	125	0,90	Մեծ կորստի դեպք
SSLT0p90v	դանդաղ-դանդաղ	-40	0,90	Փոքր ջերմաստիճանի դեպք
SSLT0p70v	դանդաղ-դանդաղ	-40	0,70	

Յուրաքանչյուր բջջի համար անհրաժեշտ է ունենալ դրա յուրաքանչյուր պարամետրի ոչ թե մեկ արժեք, որը չափվել է կոնկրետ գործարկման պայմանների դեպքում (C_p , $t_{\text{տ01}}$, $t_{\text{տ10}}$, P, V, T° և այլն), այլ դրանց կախվածությունները նշված գործարկման պայմաններից: Այդպիսի տեղեկատվության ստացման գործընթացն ընդունված է անվանել բնութագրում:

Բնութագրման լրացուցիչ դեպքերը (աղ.2 ներքևի մաս) ավելացվում են ի լրումն ստանդարտ դեպքերի (աղ.2 վերևի մաս): Վերջիններս անհրաժեշտ են, քանի որ Մ/Ե բջիջները գործում են նաև ոչ ստանդարտ գործողության պայմաններում: Օրինակ, աղ.2-ի ներքևի մասում ցուցադրված դեպքերը պայմանավորված են այն համգամանքով, որ բջիջներն օգտագործվում են բազմավիտ մեթոդի դեպքում, երբ նույն բջիջը կարող է գործել սնման լարման ավելի փոքր արժեքներ դեպքում:

Այնուհետև դիտարկված են ԳՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցում նախագծման գործընթացի առանձնահատկությունների հաշվառման հարցերը: ԳՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազրկման ծրագրային միջոցում պետք է հաշվի առնվեն կիրառվող մեթոդների և գրադարանների ազդեցությունները նախագծման գործընթացի վրա:

Նախագծման ավանդական գործընթացը (նկ.10) պետք է եսկան փոփոխություններ կրի: Նկ.11-ում բերված է հզորության հաշվառմամբ Մ/Ե հանգույցների նախագծման գործընթացը:



Նկ. 10. Մ/Ե հանգույցների նախագծման ավանդական գործընթացը



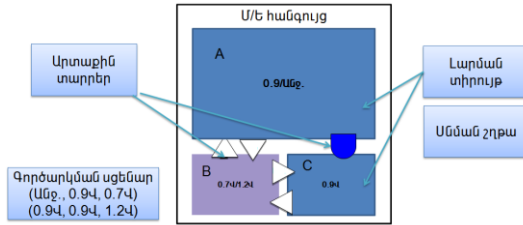
Նկ. 11. Հզորության հաշվառմամբ Մ/Ե հանգույցների նախագծման գործընթացը

Ատենախոսությունում ցույց է տրված, որ զՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների եներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցում սպառվող հզորությանն առնչվող տրամաբանական/ֆիզիկական կառուցվածքների նկարագրության անհրաժեշտություն կա: Սարքերի նկարագրման լեզուներում՝ Verilog, VHDL և այլն, նման հնարավորությունները նախատեսված չեն: Հատուկ նպատակներով լեզուներում այդ հնարավորությունները ուղղորդվում են կոնկրետ պատվիրատուի կամ նախագծի պահանջներին (աղ. 3):

Աղյուսակ 3. ՀՆԶ-ի անհրաժեշտությունը

Լեզու	Հզորության նկարագրության հնարավորություն	Համատեղելիությունը մյուս ծրագրային միջոցների հետ	Բաց ձևաչափ է
Սարքերի նկարագրման լեզուներ (Verilog, VHDL, և այլն)	-	+	+
Հատուկ լեզուներ	+	-	-
ՀՆԶ	+	+	+

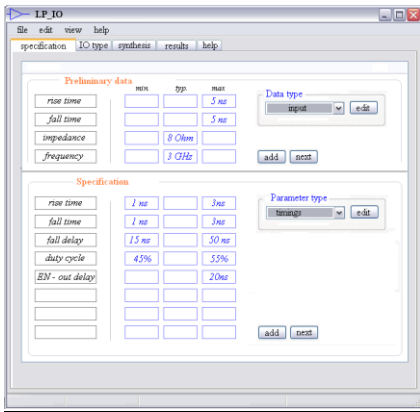
Այդ պատճառով ստեղծվել է հզորության նկարագրության ձևաչափի (ՀՆԶ), որը թույլ է տալիս նկարագրել Մ/Ե հանգույցների ցածր եներգասպառմամբ նախագծմանն առնչվող բոլոր առանձնահատկությունները: Օրինակ, նկ.12-ում ցույց է տրված լարման շրջափակմամբ մեթոդի դեպքում ՀՆԶ-ի կիրառումը:



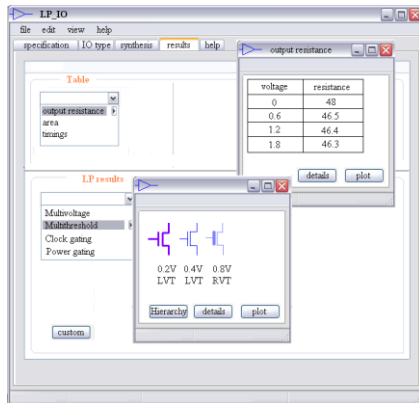
Նկ. 12. Սնման լարման շղթափակմամբ մեթոդի դեպքում ՀՆԶ-ի կիրառումը

Ցույց է տրվել, որ առաջարկված հզորության նկարագրման նոր ձևաչափը լիովին բավարարում է ԳՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցի կողմից առաջադրվող պահանջներին և էապես բարձրացնում է նախագծման գործընթացի արդյունավետությունը:

Երրորդ գլխում նկարագրված է ատենախոսության առաջին գլխում ձևակերպված բոլոր պահանջների հաշվի առնմամբ մշակված ԳՄԻՍ-երի էներգասպառման նվազարկման «LP_IO» ծրագրային միջոցը: Մասնավորապես, մշակված ծրագրային միջոցն օժտված է օգտագործողի համար հարմարավետ գրաֆիկական ինտերֆեյսով, որի պատուհանների որոշ օրինակներ բերված են նկ. 13-ում և նկ. 14-ում:



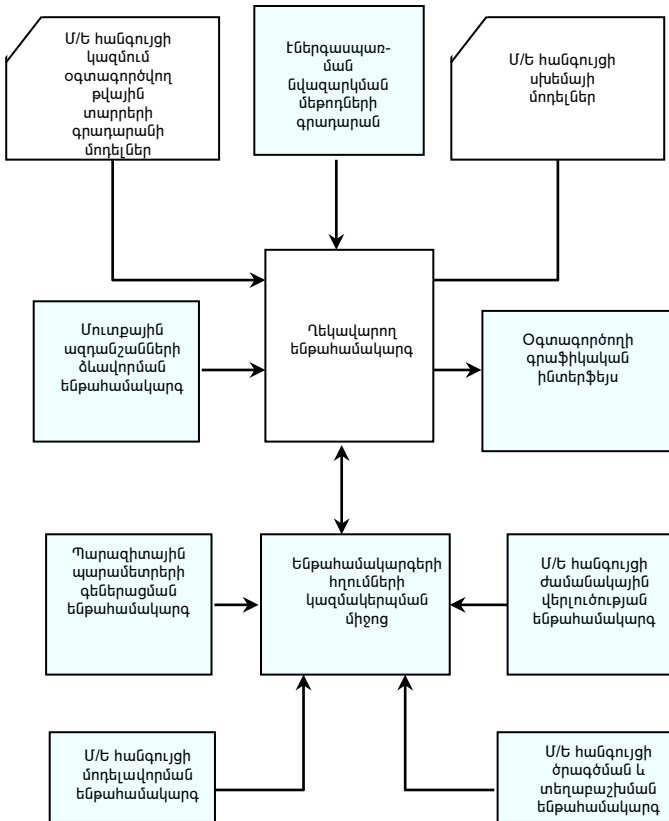
Նկ.13. Մ/Ե հանգույցներից առաջադրվող տեխնիկական առաջադրանքի և նախնական տվյալների ներմուծման պատուհանը



Նկ.14. Մ/Ե հանգույցում օգտագործվող տարբեր շեմային լարումներով տրանզիստորների ներկայացման պատուհանը

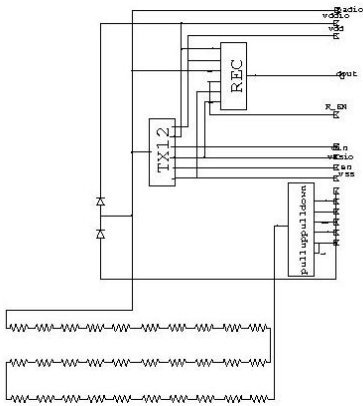
Ցույց է տրվել, որ ԳՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցի մշակված կառուցվածքը (նկ.15) հնարավորություն է տալիս արդյունավետորեն իրականացնել պահանջվող բոլոր ֆունկցիոնալ հնարավորությունները: ԳՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման առաջարկվող «LP_IO» ծրագրային միջոցն իրագործված է C++ ծրագրավորման լեզվով՝ NEdit և GNU GCC Compiler 3.2 փաթեթների կիրառմամբ: Որպես հենք ընտրված է UNIX համակարգը, քանի որ մշակված ծրագրային միջոցի բոլոր ենթահամակարգերն աշխատում են նշված օպերացիոն համակարգում:

ԳՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման նշակված «LP_IO» ծրագրային միջոցի արդյունավետությունը գնահատվել է հետևյալ կերպ:

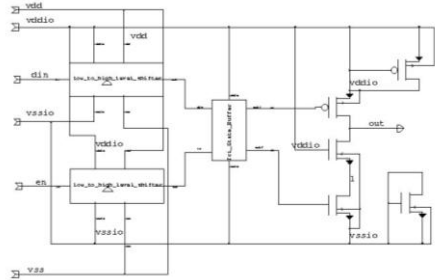


Նկ. 15. ԳՄԻՍ-երի Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցի կառուցվածքային սխեման

«LP_IO» ծրագրային միջոցի կիրառմամբ նախագծվել է ստանդարտ Մ/Ե հանգույցների LP_IO_STDLIB գրադարանը: Որպես օրինակ, ստանդարտ Մ/Ե հանգույցների նշակված LP_IO_STDLIB գրադարանի Մ/Ե հանգույցներից մեկի՝ B12I1025 անվանմամբ ԿՍՕԿ չշրջող երկուդղված բջջի (եռավիճակ ելքով, հաստատուն «1» և հաստատուն «0» ռեժիմներով, 10պՖ արտաքին և 0.5պՖ ներքին բեռերով) և դրա կազմում ընդգրկված որոշ բլոկների սկզբունքային սխեմաները բերված են նկ.16-ում և նկ.17-ում:



Տկ. 16. Ստանդարտ Մ/Ե հանգույցների LP_IO_STDLIB գրադարանի կազմում ընդգրկված B211025 ԿՍՕԿ չըջող երկուղված բջջի սխեման



Տկ. 17. B211025 ԿՍՕԿ չըջող երկուղված բջջի կազմում ընդգրկված հաղորդիչի սխեման

Այնուհետև Synopsys ընկերության ավտոմատացված նախագծման ծրագրային գործիքային միջոցների կիրառմամբ նախագծվել է ստանդարտ Մ/Ե հանգույցների նույն գրադարանը: Նշված երկու քայլերում մշակված Մ/Ե հանգույցների արագագործությունը և սպառվող հզորությունը բնութագրող միջինացված տվյալները LP_IO_STDLIB գրադարանի համար ներկայացված են աղ.4-ում`

Աղյուսակ 4.

LP IO_STDLIB գրադարանի Մ/Ե հանգույցների պարամետրերի համեմատությունը

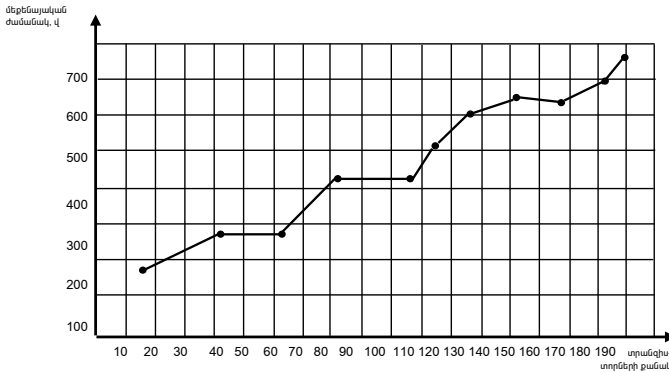
Բջիջ	միջինացված պարամետր	Synopsys-ի ծրագրային գործիքային միջոցներ	«LP_IO» ծրագրային միջոց	տարբերությունը %
I1025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	0, 272	0, 285	4, 915
	հապաղում (նվ)	0, 095	0, 061	35, 621
ISH1025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	0, 313	0, 322	2, 863
	հապաղում (նվ)	0, 099	0, 057	42, 300
B211025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	1, 436	1, 483	3, 234
	հապաղում (նվ)	2, 223	1, 201	45, 984
B411025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	0, 998	1, 045	4, 713
	հապաղում (նվ)	3, 754	1, 833	51, 169
B811025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	1, 733	1, 767	1, 950
	հապաղում (նվ)	2, 663	2, 073	22, 155
B1211025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	1, 118	1, 172	4, 807
	հապաղում (նվ)	4, 991	3, 049	38, 899
B1611025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	2, 587	2, 686	3, 849
	հապաղում (նվ)	6, 263	4, 383	30, 026

բջիջ	միջինացված պարամետր	Synopsys-ի ծրագրային գործիքային միջոցներ	«LP_IO» ծրագրային միջոց	տարբերությունը %
B2ISH1025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	1, 432	1, 496	4, 409
	հապաղում (նվ)	1, 440	0, 990	31, 280
B4ISH1025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	1, 470	1, 508	2, 617
	հապաղում (նվ)	2, 842	1, 664	41, 447
B8ISH1025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	1, 713	1, 767	3, 173
	հապաղում (նվ)	4, 067	1, 812	55, 456
B12ISH1025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	1, 588	1, 654	4, 128
	հապաղում (նվ)	6, 129	2, 650	56, 764
B16ISH1025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	1, 706	1, 764	3, 387
	հապաղում (նվ)	4, 446	2, 938	33, 926
D2I1025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	1, 585	1, 640	3, 442
	հապաղում (նվ)	1, 803	1, 225	32, 071
D4I1025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	1, 442	1, 497	3, 788
	հապաղում (նվ)	1, 921	1, 364	29, 024
D8I1025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	1, 731	1, 771	2, 339
	հապաղում (նվ)	3, 402	1, 578	53, 599
D12I1025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	1, 587	1, 659	4, 536
	հապաղում (նվ)	4, 136	3, 026	26, 846
D16I1025	սպառվող հզորություն (մՎտ)	1, 703	1, 782	4, 616
	հապաղում (նվ)	3, 887	2, 855	26, 547
միջինացված	սպառվող հզորություն (մՎտ)			38, 46
	հապաղում (նվ)			3, 72

Աղ.4-ից երևում է, որ «LP_IO» ծրագրային միջոցի կիրառման պարագայում ստանդարտ Մ/Ե հանգույցների LP_IO_STDLIB գրադարանի դեպքում ստացվում է սպառվող հզորության միջինում 38, 46%-ով ավելի մեծ նվազարկում հապաղման արժեքի ընդամենը 3, 72% -ով կորստի պարագայում:

Նմանատիպ փորձ է կատարվել նաև մշակված ծրագրային միջոցի օգնությամբ ստեղծված մասնագիտացված Մ/Ե հանգույցների LP_IO_SPECLIB գրադարանի դեպքում: Այս դեպքում ստացվել է սպառվող հզորության միջինում 42, 59 %-ով ավելի մեծ նվազարկում հապաղման արժեքի ընդամենը 4, 74 %-ով կորստի պարագայում:

Ստանդարտ Մ/Ե հանգույցների LP_IO_STDLIB գրադարանի որոշ բջիջների օրինակի վրա հետազոտվել է նաև մշակված «LP_IO» ծրագրային միջոցի աշխատանքի համար անհրաժեշտ մեքենայական ժամանակի կախվածությունը սխեմաների կազմում ընդգրկված տրանզիստորների քանակից (նկ.18): Ստացված փորձնական կախվածությունը բավականին մեծ ճշտությամբ մոտարկվում է $t = 3, 437 \cdot n + 131, 252$ արտահայտությամբ, ինչը վկայում է դրա՝ գծայինին բավականին մոտ լինելու մասին:



Նկ.18. «LP_IO» ծրագրային միջոցի օգնությամբ Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման համար ծախսվող մեքենայական ժամանակի (t) կախվածությունը Մ/Ե հանգույցի կազմում ընդգրկված տրանզիստորների քանակից (n)

Ատենախոսության հիմնական եզրահանգումները

1. Չգերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման կարևորության վերհանման, առկա մեթոդների և փաթեթների ուսումնասիրության հիման վրա, ձևակերպվել են նմանատիպ ծրագրային միջոցներին առաջադրվող պահանջներ, որոնց բավարարումը ժամանակակից գործնական նախագծման տեսանկյունից այդ դասի մրցույթի համակարգերի ստեղծման հնարավորություն է ընձեռում: Ցույց է տրվել ձևակերպված պահանջներին բավարարող ծրագրային միջոցի արդյունավետությունը և հեռանկարայնությունը[1,5]:
2. Առաջարկվել են գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցի մշակման նոր սկզբունքներ, որոնք նմանատիպ բջիջներին առաջադրվող պահանջների բավարարման տեսանկյունից էներգասպառման նվազարկման ընդունելի մակարդակի ստացման և, միևնույն ժամանակ, դրանց մյուս կարևոր պարամետրերի միջև փոխգիշտմային լուծումների համատեղման հիմք են ստեղծում՝ ապահովելով այդ կարգի համակարգերի արդյունավետության էական մեծացում[1,2]:
3. Մշակվել է գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցում սպառվող հզորության փոքրացման առաջադեմ մեթոդների համակցված կիրառման արդյունավետ մեթոդիկա, որն ապահովում է այդ մեթոդների համատեղելիությունը Մ/Ե հանգույցների առանձնահատկություններին: Շնորհիվ հզորության փոքրացման կիրառված յուրաքանչյուր մեթոդի ներկառուցումն ապահովվող լրացուցիչ միջավայրի մշակման, առաջարկված մեթոդիկան ապահովում է ծրագրային միջոցի բարձր արդյունավետություն[3]:
4. Ստեղծվել են գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցում գրադարանային տարրերի առանձնահատկությունների հաշվի առման նոր եղանակներ, որոնք, հիմնված լինելով հատուկ բջիջների ընդգրկման, բազմակի գրադարանների օգտագործման, լրացուցիչ դեպքերի համար բնութագրման մոտեցման վրա, Մ/Ե հանգույցների անհրաժեշտ բնութագրերի ստացման ապահովման հետ մեկտեղ, համապարփակ նախագծման գործընթացի իրականացման հնարավորություն են ընձեռում[4,5]:

5. Առաջարկվել է հզորության նկարագրման նոր և արդյունավետ ձևաչափ, որը լիովին բավարարում է գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման ծրագրային միջոցի կողմից առաջադրվող պահանջներին և էապես բարձրացնում է նախագծման գործընթացի արդյունավետությունը[1]:
6. Ատենախոսությունում մշակված սկզբունքները, մեթոդիկան և եղանակները իրականացված են գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների Մ/Ե հանգույցների էներգասպառման նվազարկման մշակված «LP_IO» ծրագրային միջոցում, որը ներդրված է ՍԻՆՈՓՍԻՍ ԱՐՄԵՆԻԱ ՓԲԸ-ում և հնարավորություն է ընձեռում հեշտությամբ ինտեգրվելու առավել հզոր արտադրական նշանակության ծրագրային գործիքային միջավայրերում: «LP_IO» ծրագրային միջոցի փորձարկումը մի շարք ստանդարտ և մասնագիտացված բջիջների դեպքում վկայում է այդ դասի այլ ծրագրային փաթեթների նկատմամբ դրա էականորեն բարձր արդյունավետության մասին: Մ/Ե հանգույցների արագագործության մեջ ընդամենը 4-5%-ով կորստի պարագայում մշակված ծրագրային միջոցն ապահովում է դրանց էներգասպառման 38-42%-ով նվազում՝ պահպանելով սխեմայի տարրերի քանակից մեքենայական ժամանակի ծախսերի գծային կախվածությունը[3,5]:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրված են հետևյալ աշխատանքներում՝

1. Ստեփանյան Ա.Գ. Գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների մուտք/ելք հանգույցների բնութագրման մեթոդ // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի լրաբեր. –Երևան, 2011. –Հ8, N1, էջ 180-183:
2. Melikyan V.Sh., Durgaryan A.A., Petrosyan H.P., Stepanyan A.G. Power Efficient, Low noise 2-5 Ghz Phase Locked Loop // Электроника и связь. - Киев, 2011.-N4.- С. 66-71.
3. Григорян Д.Х., Меликян Н.В., Степанян А.Г. Анализ особенностей радиационного поведения цифровых устройств методом скалярных индексов сравнения в рамках модели автомата Брауэра // Электроника и связь. - Киев, 2010.-N5.- С. 90-93.
4. Melikyan V.Sh., Mirkovic D.D., Petrosyan H.P., Musayelyan E.H., Stepanyan A.G., Beglaryan N.E. Tuning Methods for Characterizing Complicated Functionality Circuits // Proceedings of the 54th Electronics, telecommunications, Computers, Automatic Control and Nuclear Engineering (ETRAN) Conference. –Donji Milanovac, Serbia, 2010. –P.EL2.4-1-4.
5. Меликян В.Ш., Григорян Д.Х., Степанян А.Г., Меликян Н.В. Нечеткий автомат комбинационных цифровых устройств со статическими и динамическими критериальными параметрами // Моделирование, оптимизация, управление / ГИУА. –Ереван, 2009. –Вып.12, Том 2. –С.59-65.

Степанян Артур Гагикович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ УЗЛОВ ВВОДА/ВЫВОДА СВЕРХБОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация посвящена разработке и исследованию программного средства снижения энергопотребления узлов ввода/вывода (В/В) сверхбольших интегральных схем (СБИС).

В последние годы основными тенденциями развития СБИС явились повышение их быстродействия и степени интеграции, уменьшение напряжений питания и т.д. Однако, параллельно с таким развитием, часто даже качественно изменялись приоритеты проектирования СБИС. В частности, если до недавнего времени основной проблемой проектирования СБИС считалось увеличение их быстродействия, то в настоящее время важнейшей задачей является проблема уменьшения энергопотребления СБИС. Причины такого положения обусловлены не только и не столько ростом динамической составляющей потребляемой СБИС мощности из-за роста рабочих частот, но и существенным увеличением токов утечки КМОП транзисторов, входящих в состав СБИС. Достаточно отметить только тот факт, что при технологиях изготовления СБИС 65нм и ниже, токи утечки часто составляют больше половины суммарных токов, потребляемых СБИС. Поэтому, важнейшей задачей проектирования СБИС в настоящее время является уменьшение их энергопотребления, в том числе и в статическом режиме функционирования СБИС.

В последнее время достигнуты ощутимые положительные результаты в направлении минимизации энергопотребления основных компонентов СБИС – ядер. Однако в этом отношении за рамками исследований оказались другие чрезвычайно важные компоненты СБИС – узлы В/В. Известно, что параллельно с развитием технологических процессов изготовления СБИС, роль узлов В/В неуклонно возрастает. Это выражается как в расширении набора функций, реализуемых узлами В/В и увеличении количества их параметров, так и в неуклонном росте влияния последних на интегральные характеристики СБИС. В результате всего этого, разработка узлов В/В часто связана с большими сложностями, чем проектирование самих ядер СБИС. Однако, важнейшей особенностью узлов В/В СБИС является также их недопустимо большое энергопотребление. Поэтому, в настоящее время задача минимизации энергопотребления узлов В/В не менее важна, чем те же вопросы в случае ядра СБИС. Однако, если в настоящее время существуют эффективные средства понижения энергопотребления ядер СБИС, то в случае их узлов В/В таковые просто отсутствуют.

Все изложенное обуславливает крайнюю необходимость создания программного средства минимизации энергопотребления узлов В/В СБИС, построенного новыми принципами.

Целью диссертации является разработка принципов, методики и эффективного программного средства понижения энергопотребления узлов В/В СБИС.

Основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертации, приведены ниже.

На основе выявления важности уменьшения энергопотребления узлов В/В СБИС и исследования существующих методов и пакетов, сформулированы требования, предъявляемые к подобным программным средствам. Обеспечение этих требований предоставляет возможность создания конкурентоспособных, с точки зрения обеспечения нужд практического проектирования СБИС, систем снижения их энергопотребления. Показаны эффективность и перспективность программного средства, удовлетворяющего сформулированным требованиям.

Предложены новые принципы разработки программного средства снижения энергопотребления узлов В/В СБИС, которая, одновременно с созданием возможности получения приемлемого уровня понижения энергопотребления, удовлетворяющего требованиям, предъявляемым к аналогичным узлам, создает также основу совмещения приемлемых компромиссных решений между их другими важными параметрами. При этом обеспечивается значительное увеличение эффективности систем такого класса.

Разработана эффективная методика комбинированного применения передовых методов уменьшения энергопотребления в программном средстве снижения энергопотребления узлов В/В СБИС, обеспечивающая совместимость этих методов с особенностями узлов В/В. За счет разработки дополнительной среды, обеспечивающей встраивание каждого примененного метода снижения энергопотребления в систему, предложенная методика обеспечивает высокую эффективность программного средства.

Созданы новые способы учета особенностей библиотечных элементов в программном средстве снижения энергопотребления узлов В/В СБИС, которые, будучи основанными на включении специальных ячеек, использовании нескольких библиотек и методе характеристики для дополнительных вариантов, совместно с обеспечением необходимых характеристик узлов В/В, предоставляют возможность реализации всеобъемлющего процесса проектирования.

Предложен новый и эффективный формат описания потребляемой мощности узлов В/В СБИС, полностью удовлетворяющий требованиям, предъявляемым к программным средствам снижения энергопотребления узлов В/В СБИС и существенно повышающий эффективность процесса проектирования.

Принципы, методика и способы, предложенные в диссертации, реализованы в разработанном программном средстве снижения энергопотребления узлов В/В СБИС "LP_IO", обеспечивающего возможность удобного интегрирования в более мощные программные инструментальные средства производственного назначения. Испытания программного средства "LP_IO" для случая ряда стандартных и специализированных ячеек свидетельствуют о ее существенно высокой эффективности по сравнению с другими программными пакетами данного класса. При потере в быстродействии узлов В/В всего на 4-5%-ов разработанное программное средство обеспечивает уменьшение их энергопотребления на 38-42%-ов, сохраняя при этом близкую к линейной зависимость затрат машинного времени от количества элементов схемы.

Stepanyan Artur

Development and research of software tools of reducing power consumption of VLSI input/output cells

SUMMARY

The dissertation is devoted to the development and research of software tools of reducing power consumption of VLSI input/output (I/O) cells.

In recent years, key development trends of VLSI are the increase of performance and integration level, reduction of supply voltage, etc. However, in parallel to these developments, the priorities of VLSI designs have often qualitatively changed, too. In particular, if until recently the main problem of VLSI design was considered an increase in performance, now the key problem is the issue of reducing power consumption of VLSI. The reasons are determined not only and not much by the increased dynamic component of power consumed by VLSI due to the increase of operating frequencies, but also the significant increase of leakage current of CMOS transistors, included in VLSI. It is only enough to mention that in 65nm and below technologies, the leakage current makes up often more than half of the overall power consumed by VLSI. That is why the reduction of their power consumption, including in the static mode of VLSI operation, is the most significant challenge of contemporary VLSI design.

Recently, significant positive results have been achieved in the direction of reducing power consumption of the core which is the main component of VLSI. However, in this sense, extremely vital components of VLSI like I/O cells have been left out of research. It is known that along with the development of VLSI manufacturing technologies, the role of I/O cells constantly increases. It is expressed both by the expansion of the list of functions performed by I/O cells and the increase of the number of their parameters, and by constant increase of affects of the latter on integration characteristics of VLSI. As a result, the design of I/O cells is often associated with greater challenges than the design of the cores of VLSI. However, the most important feature of I/O cells of VLSI is the unacceptable high level power consumption by them. Therefore, the reduction of power consumption of I/O cells is currently not less important than the same issues of VLSI core. Yet, if currently there are available efficient systems to reduce power consumption of VLSI cores, in case of I/O cells the corresponding tools are missing.

All the above-mentioned determines the urgent need of developing software tools for reducing power consumption of VLSI I/O cells of latest technologies.

This work aims at the development of principles, technique and efficient software tools of reducing power consumption of VLSI I/O cells.

The main results, obtained in the dissertation are provided hereinafter. Based on the studies of the revealing the importance of reducing power consumption of the

VLSI I/O cells and research of the existing methods and tools, the requirements set towards the development of similar software tools have been set forth. Meeting of these requirements provides an opportunity developing competitive systems of reducing power consumption of VLSI in terms of needs of practical design. Efficiency and perspective of software tool that meets the requirements set forth has been presented.

New methods of developing software that will reduce power consumption of VLSI I/O cells have been proposed, which create a base of combination of compromise solutions between obtaining permissible level of power consumption from the viewpoint of meeting the requirements, set to similar cells, and at the same time, their other important parameters, by providing significant increase of efficiency to such systems.

An effective technique of combined application of advanced methods to reduce power consumption of VLSI I/O cells in software tool of the same category has been developed, which ensures compatibility of those methods with the features of I/O cells. The proposed technique ensures high efficiency of software through development of additional environment that will provide plugging-in of each method applied to power reduction.

New methods to consider the peculiarities of library cells in the software of reducing power consumption of VLSI I/O cells have been created, which, being based on the inclusion of special cells, the usage of multiple libraries and the approach of characterization for additional versions, along with the provision of obtaining necessary characteristics of I/O cells, enable implementation of comprehensive design process.

A new and effective format to describe the power consumption by VLSI I/O cells has been proposed, which is fully compliant with the requirements set forth to the software of reducing power consumption of VLSI I/O cells, and significantly increases the effectiveness of the design process.

The principles, technique and methods, developed in the dissertation, have been implemented in "LP_IO" VLSI I/O cells power consumption reduction software, which provides an opportunity to be easily integrated in more powerful manufacturing software environments. Testing of "LP_IO" software for a number of standard and special cells indicates that its efficiency is significantly higher in comparison with other software packages of the same category. In case of loss of only 4-5% in performance of I/O cells, the developed software provides reduction of power consumption by 38-42% by keeping linear dependence of computing time on the number of cells of the circuit.