

**Հ Հ Կ Ր Թ Ո Ւ Թ Յ Ա Ն Ե Վ Գ Ի Տ Ո Ւ Թ Յ Ա Ն
Ն Ա Խ Ա Ր Ա Ր Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն
Հ Ա Յ Ա Ս Տ Ա Ն Ի Ա Չ Գ Ա Յ Ի Ն
Պ Ո Լ Ի Տ Ե Խ Ն Ի Կ Ա Կ Ա Ն Հ Ա Մ Ա Լ Ս Ա Ր Ա Ն**

Ն Ա Չ Ե Լ Ի Վ Ա Չ Գ Ե Ն Ի Մ Ե Լ Ի Ք Յ Ա Ն

**Պ Ա Ր Ա Մ Ե Տ Ր Ե Ր Ի Ա Ն Ո Ր Ո Շ Ո Ւ Թ Յ Ա Ն
Պ Ա Յ Մ Ա Ն Ն Ե Ր Ո Ւ Մ Ի Ն Տ Ե Գ Ր Ա Լ Ս Խ Ե Մ Ա Ն Ե Ր Ի
Ն Ա Խ Ա Գ Ծ Մ Ա Ն Մ Ի Ջ Ո Ց Ն Ե Ր Ի Մ Շ Ա Կ Ո Ւ Մ Ե Վ
Հ Ե Տ Ա Չ Ո Տ Ո Ւ Մ**

Ա Տ Ե Ն Ա Խ Ո Ս Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

**Ե .27.01 «Է Լ Ե Կ տր ո ն ի Կ ա, մ ի Կ ր ո ւ
ն ա ն ո Է Լ Ե Կ տր ո ն ի Կ ա»
մ ա ս ն ա գ ի տ ո Լ թ յ ա մ ք տ Ե խ ն ի Կ ա Կ ա ն
գ ի տ ո Լ թ յ ո Լ ն ն Ե ր ի թ Ե Կ ն ա ծ ո Լ ի
գ ի տ ա Կ ա ն ա ս տ ի ճ ա ն ի հ ա յ ց մ ա ն հ ա մ ա ր**

**Գ ի տ ա Կ ա ն ղ Ե Կ ա վ ա ր ` տ.գ.դ., պր ո \$. Ս . Խ.
Խ ո Լ դ ա վ Ե ր դ յ ա ն**

ԵՐԵՎԱՆ 2016

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ	4
ԳԼՈՒԽ 1.ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԱՆՈՐՈՇՈՒԹՅԱՆ	
ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ	
ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՄԻՋՈՑՆԵՐԻ ՄԾԱԿՄԱՆ	
ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ	
ՀԱՐՑԵՐԸ	9
1.1. Պարամետրերի անորոշումը թյան	
պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների	
նախագծման միջոցների մշակման	
անհրաժեշտությունը	9
1.1.1.Ենթամիկրոնային թվային ինտեգրալ	
սխեմաների ներդրումը նախագծման	
մարտահրավերները	11
1.1.2.Պարամետրերի անորոշումը թյունները և	
դրանց ազդեցությունը թվային	
ինտեգրալ սխեմաների աշխատանքի վրա	
.....	15
1.2. Պարամետրերի անորոշումը թյան	
պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների	
նախագծման միջոցների արդի	
լուծումները և	
հիմնախնդիրները	37
1.2.1.Պարամետրերի անորոշումը թյունը հաշվի	
առնող եղանակները ստատիկ	37

Ժամանակային վերլուծության առկա
միջոցներով

1.2.2. Պարամետրերի անորոշությանը հաշվի
առնող եղանակները ծերացման
հետևանքով առաջացող
փոփոխությաններին վերլուծության
առկամիջոցներով 40

1.3. Պարամետրերի անորոշության
պայմաններով ինտեգրալ սխեմաների
նախագծման առաջարկվող
սկզբունքները 45

Եզրակացություններ
..... 48

ԳԼՈՒԽ 2. ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԱՆՈՐՈՇՈՒԹՅԱՆ

ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ
ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ԱՌԱՋԱՐԿՎՈՂ ՄԻՋՈՑՆԵՐԸ 49

2.1. Պարամետրերի անորոշությանները
հաշվի առնող վիճակագրական
Ժամանակային վերլուծության
առաջարկվող
եղանակը 49

2.2. Պարամետրերի անորոշությանները հաշվի
առնող սխեմատեխնիկական մակարդակի
վերլուծության առաջարկվող
եղանակը 64

Եզրակացություններ
76

ԳԼՈՒԽ 3. ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԱՆՈՐՈՇՈՒԹՅԱՆ

ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ

ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ՄԻՋՈՅԻ	
ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ	
ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ	77

3.1. Պարամետրերի անորոշումը թյան պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման ծրագրային միջոցի կառուցվածքը և աշխատանքի սկզբունքը	77
3.2. Պարամետրերի անորոշումը թյան պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման ծրագրային միջոցի հնարավորությունները	80
3.3. Պարամետրերի անորոշումը թյան պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման ծրագրային միջոցի արդյունավետության գնահատումը .	89
Եզրակացությունը	
106	

ԵԶՐԱՅԱՆԳՈՒՄ	107
ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ	
.....	109
ՀԱՎԵԼՎԱԾ 1	120
ՀԱՎԵԼՎԱԾ 2	121
ՀԱՎԵԼՎԱԾ 3	133
ՀԱՎԵԼՎԱԾ 4	147

ՆԵՐԱՃՈՒԹՅՈՒՆ

Թեմայի արդիականությունը: Ինտեգրալ սխեմաների (ԻՍ) նախագծման մարտահրավերների շարքում (Էներգապառման նվազարկում, արագագործություն, մեծացում, ազդանշանի ամբողջականություն, ապահովում, նախագծերի ստուգման միջոցների արդյունավետության բարձրացում և այլն) վերջին տարիներին կարևորվում է դրանց պարամետրերի անորոշությունը հաշվի առնելու

անհրաժեշտությունը: Դա հատկապես կարևորվում է
 22 նախամետրանոց և ավելի նոր տեխնոլոգիական
 գործընթացներով պատրաստվող ԻՍ-երի նախագծման
 դեպքում, քանի որ կիսահաղորդչային սարքերի (ԿՍ)
 առանձին հատվածների երկրաչափական չափերն այդ
 դեպքում դառնում են համաչափելի տեխնոլոգիական
 գործընթացի շեղումներով պայմանավորված
 հնարավոր փոփոխություններին: Բացի այդ,
 աշխատանքային պայմանների (սնման լարում,
 շրջակա միջավայրի ջերմաստիճան և այլն) և ԻՍ-ի
 շահագործման ընթացքում ծերացման հետևանքով
 առանձին ԿՍ-երի պարամետրերի փոփոխությունները
 նույնպես դարձել են համաչափելի և երբեմն
 նույնիսկ գերազանցում են դրանց նոմինալ
 արժեքները: Այդ պատճառով ԻՍ-երի նախագծման
 գործընթացում դրանց պարամետրերի
 անորոշություններին բոլոր աղբյուրների
 (լիտոգրաֆիայի, լեգիրացման կամ մետաղների
 քիմիական հարթեցման գործընթացի շեղումներ,
 սնման լարման կամ շրջակա միջավայրի
 ջերմաստիճանի փոփոխություններ, տաք
 լիցքակիրների ինժեկցիա, շեղման ջերմաստիճանի
 անկայունություններ և այլն) ազդեցությունը
 հաշվի առնելը ներկայումս դարձել է ծայրահեղ
 անհրաժեշտություն: ԻՍ-երի նախագծման
 գործընթացում այդ ազդեցությունները հաշվի
 չառնելը կարող է հանգեցնել արդյունքներում ոչ
 միայն քանակական, այլև որակական սխալների
 առկայության:

Դրանով է պայմանավորված վերջին մի քանի տարիներին ընթացքում տարաբնույթ աշխատանքների լայնածավալ իրականացումը՝ նպատակառնչված ԻՍ-երի նախագծման միջոցներում պարամետրերի անորոշումը թյուր հաշվի առնելու հնարավորությունն ապահովմանը: Դա հատկապես վերաբերում է ԻՍ-երի նախագծման պրակտիկայում առավել լայնորեն կիրառվող միջոցներին, որոնցից են ստատիկ ժամանակային վերլուծությունը և ծերացման հետևանքով առաջացող փոփոխությունների վերլուծությունը:

Սակայն պարամետրերի անորոշումն ապայմաններում ԻՍ-երի նախագծման գոյություն ունեցող մեթոդները չեն կարող բավարարել դրանց նախագծման ժամանակակից գործնական պահանջները, քանի որ այդ մեթոդները չեն ապահովում ստացվող արդյունքների անհրաժեշտ ճշտությունը կամ հաշվարկների համար պահանջում են մեքենայական ժամանակի անթույլատրելի մեծ ծախս:

Ուստի, ԻՍ-երի նախագծման ժամանակակից պահանջները բավարարելու համար, առաջացել է անհրաժեշտություն՝ մշակելու դրանց պարամետրերի անորոշումների ազդեցությունը հաշվի առնող նոր և արդյունավետ միջոցներ, որոնք կբավարարեն ժամանակակից ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաներով պատրաստվող ԻՍ-երին առաջադրվող պահանջները:

Ատենախոսությունը նվիրված է պարամետրերի անորոշության պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման հիմնահարցերի լուծմանը:

Յե տազոտությունը անառարկան: ԻՍ-երի պարամետրերի անորոշությունների տարբեր աղբյուրների դեպքում սխեմաների բնութագրերի վատթարացման չափը քանակապես բնութագրող միջոցները, ԻՍ-երի նախագծման ընթացքում այդ ազդեցությունները հաշվի առնող և դրանց նվազեցմանն ուղղված եղանակները:

Աշխատանքի նպատակը: Պարամետրերի անորոշության պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման այնպիսի միջոցների մշակումը և հետազոտումը, որոնք մեքենայական միջոցների թույլատրելի ծախսերի պայմաններում կապահովեն ստացվող արդյունքների անհրաժեշտ ճշտությունը:

Յե տազոտությունը մեթոդները: Ատենախոսության կատարման ընթացքում օգտագործվել են կիսահաղորդչային սարքերի և էլեկտրական շղթաների տեսությունները, թվային սխեմաների ստատիկ ժամանակային վերլուծություն, սխեմատեխնիկական և տրամաբանական մոդելավորման միջոցները:

Գիտական նորոյթը.

- Առաջարկվել են անորոշության պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման նոր սկզբունքներ, որոնք մեքենայական անհրաժեշտ ժամանակի ծախսի

թույլատրելի արժեքներին դեպքում
ապահովում են ստացվող արդյունքների
գործնական պահանջները բավարարող
ճշտությամբ :

➤ Մշակվել է պարամետրերի
անորոշությունները հաշվի առնող
վիճակագրական ժամանակային
վերլուծության նոր եղանակ, որի դեպքում,
ազդանշանի ստացման պահերը որպես
հավանականության բաշխման կոտակման
ֆունկցիաներ, իսկ տրամաբանական
փականների հապաղումները որպես
հավանականության բաշխման ֆունկցիաներ
ներկայացնելով, ինչպես նաև այդ
ֆունկցիաները հատված առ հատված
մոտարկելով շնորհիվ, ստացվում է
արդյունքների զգալիորեն մեծ և
կարգավորվող ճշտությամբ :

➤ Ստացվել են պարամետրերի
անորոշությունները հաշվի առնող ինչպես
ստատիկ, այնպես էլ վիճակագրական
ժամանակային վերլուծության գլխավոր
գումարման և առավելագույնի
ֆունկցիաների հաշվարկման նոր
արտահայտություններ, որոնք գործում են
նաև սխեմայում առկա վերագուգամիտվող
ճյուղավորումների դեպքում :

➤ Իրագործվել է պարամետրերի
անորոշությունները հաշվի առնող

սխեմատեխնիկական մակարդակի վերլուծության նոր ստոխաստիկ սպեկտրալ մեթոդ, որը, հայտնի մեթոդների համեմատ, ընդհանրացված բազմանդամային քառսի վրա հիմնված է ինտեղու շնորհիվ, ապահովում է հաշվարկների համար մեքենայական անհրաժեշտ ժամանակի ծախսի 10÷1000 անգամ կրճատում՝ արդյունքների ճշտության ընդամենը 1,5÷2,7% կորստի հաշվին:

- Սխեմաների ստատիկ և անցողիկ ռեժիմների հաշվարկի համար առաջարկվել են պարամետրերի անորոշության քանակականացման ալգորիթմներ, որոնք, առկա միջոցների համեմատ, օժտված են զգալիորեն ավելի բարձր արդյունավետությամբ:

Պաշտպանության են ներկայացվում հետևյալ դրոշմները.

- Անորոշության պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման նոր սկզբունքները:
- Պարամետրերի անորոշության են ները հաշվի առնող վիճակագրական ժամանակային վերլուծության նոր եղանակը:
- Պարամետրերի անորոշության են ները հաշվի առնող ինչպես սովորական, այնպես էլ վիճակագրական ժամանակային վերլուծության դեպքում գլխավոր գումարման և առավելագույնի \$ ունկցիաների հաշվարկման նոր արտահայտության են ները:

- Պարամետրերի անորոշումը հաշվի առնող սխեմատեխնիկական մակարդակի վերլուծության նոր ստոխաստիկ սպեկտրալ մեթոդը:
- Սխեմաների ստատիկ և անցողիկ ռեժիմների հաշվարկի համար պարամետրերի անորոշումը քանակականացման ալգորիթմները:

Աշխատանքի գործնական արժեքը: Պարամետրերի

անորոշումը պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման մշակված սկզբունքները, եղանակները և մեթոդներն իրագործվել են Uncertainty Designer ծրագրային գործիքային միջավայրում, որն օժտված է օգտագործողի համար հարմարավետ ինտերֆեյսով և ունի լուծվող խնդիրներին առավելագույնս հարմարեցված կառուցվածք: ISCAS շարքի բազմաթիվ թվային սխեմաների, ինչպես նաև մի շարք ստանդարտ պրոցեսորներին (OrCA և այլն) դեպքում ծրագրային միջոցի փորձարկումը վկայում է վերջինիս բարձր արդյունավետության մասին, քանի որ վիճակագրական ժամանակային վերլուծության դեպքում մեքենայական ժամանակի ծախսի ընդամենը $1,7 \div 2,5\%$ աճի հաշվին միջինում $21 \div 29\%$ -ով մեծանում է ստացվող արդյունքների ճշտությունը: Սխեմատեխնիկական վերլուծության ստոխաստիկ մեթոդի կիրառման դեպքում մեքենայական ժամանակի ծախսը կրճատվում է $10 \div 1000$ անգամ՝ արդյունքների ճշտության ընդամենը $1,5 \div 2,7\%$ կորստի հաշվին:

Գիտական դրոշմները հավաստի ու թյուր

հաստատված է ստացված գիտական արդյունքների մաթեմատիկական հիմնավորմամբ և գործնական փորձարկումների արդյունքների հետ բավարարաստիճանի համադրմամբ:

Ներդրումը: Uncertainty Designer ծրագրային միջոցը ներդրված է «Սինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ-ում: Այն օգտագործվում է տարաբնույթ ԻՍ-երի և դրանց առանձին հանգույցների նախագծման ընթացքում սխեմաների բնութագրերի վրա՝ պարամետրերի անորոշությունների ազդեցության գնահատման և նվազեցման նպատակով: Uncertainty Designer ծրագրային միջոցի կիրառմամբ նախագծվել և վերլուծվել են միջարք ստանդարտ պրոցեսորներ (ChipTop, OrCA և այլն): Uncertainty Designer ծրագրային միջոցն ընդգրկված է ընկերության ծրագրային գործիքային միջոցների կազմում:

Ցրապարակումներ: Ատենախոսության հիմնական դրոշմները ներկայացված են 16 գիտական հրապարակումներում:

Ատենախոսության կառուցվածքը:

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, 3 գլխից, եզրահանգումից, 115 անուն գրականության ցանկից և 4 հավելվածներից (առաջին հավելվածում ներկայացված է ատենախոսության ներդրման ակտը, երկրորդում՝ մշակված ծրագրային միջոցի տեքստից որոշ հատվածներ, երրորդում՝ օգտագործված թվային ստանդարտ գրադարանի տարրերի ցանկը, չորրորդում՝

ատենախոսությունում օգտագործված նկարների,
աղյուսակների և հապավումների ցանկերը):
Հիմնական տեքստը կազմում է 119 էջ, որում
ընդգրկված են 68 նկար և 6 աղյուսակ: Աշխատանքի
ընդհանուր ծավալը, հավելվածների հետ միասին,
կազմում է 151 էջ:

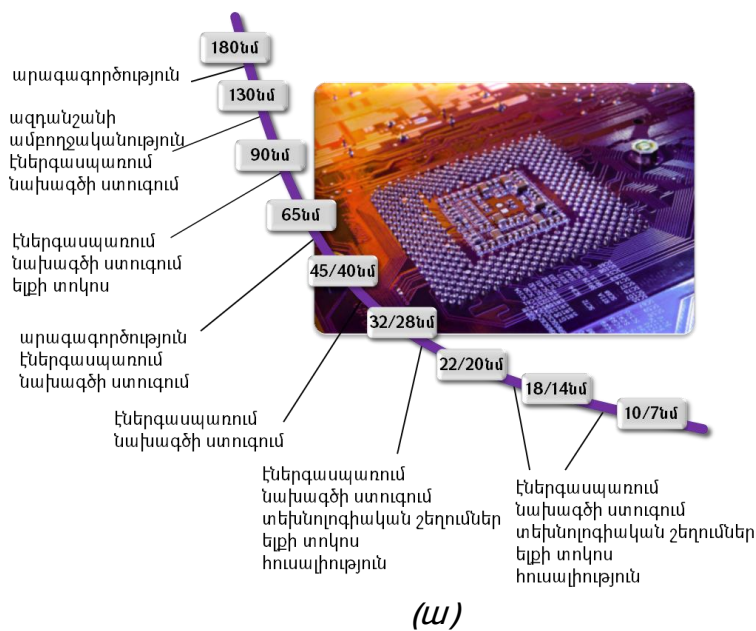
ԳԼՈՒԽ 1. ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԱՆՈՐՈՇՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒ ՄԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՄԻՋՈՑՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԸՆԴԱՆՈՒՐ ՀԱՐՑԵՐԸ

1.1. Պարամետրերի անորոշումը պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման միջոցների մշակման անհրաժեշտությունը

Հայտնի է [1,2], որ համաշխարհային կիսահաղորդչային արդյունաբերությունը վերջին հիսնամյակի զարգացումները և ավագույնս բնութագրվում են Մոլրի օրենքով [3]: Համաձայն այդ զարգացումների՝ ԿՍ-երի կազմում ընդգրկված կիսահաղորդչային տարրերի մասշտաբավորումը մշտապես առաջացնում է նախագծման միշտ քմարտահրավերներ (նկ. 1.1.) [4], որոնց թիվը տեխնոլոգիական գործընթացների [5-7] զարգացման ընթացքում ավելանում է: Բացի այդ, որակապես փոփոխվում են նաև դրանց կազմն ու առաջնայնությունները:

Ենթամիկրոնային ԿՍ-երի [5,8,9] պարագայում, երբ անցում է կատարվում ատոմականին բավականին մոտ չափերին, դրանց արագագործությունը բնորոշող տարբեր ցուցանիշներ սկսում են շեղվել իրենց բնութագրական արժեքներից. կորստի հոսանքները մեծանում են, ուժեղացման գործակիցները՝

փոքրանում, և տեխնոլոգիական գործընթացներին ույնիսկ աննշան փոքր շեղումներին ազդեցությունը ԿՍ-երի վրա անընդունելի չափով մեծանում է [10-14]: Էներգասպառումը դառնում է նախագծման հիմնական սահմանափակող գործոններից մեկը [15-19]: Սակայն ամենակարևոր հանգամանքներից մեկն այն է, որ ԿՍ-երին բնորոշ մեծություններն այլևս հնարավոր չէ համարել դետերմինացված [11,20] և դրանք արդեն վիճակագրական բնույթի են [21-23]: Դա, իր հերթին, նշանակում է, որ անհնար է դառնում նախագծման ավանդական տեխնոլոգիաների [24-26] կիրառումը, որոնց դեպքում ստուգվում էր նախագծվող ԻՍ-ի վարքը տեխնոլոգիական գործընթացի ընդամենը մի քանի ծայրագույն դեպքերում, և դրա հիման վրա եզրակացություն էր կատարվում ԻՍ-ի աշխատունակության վերաբերյալ մնացած իրավիճակներում [11,26]:



ամենակարևորն են [24]: Սակայն ենթամիկրոնային ԿՍ-երին անցնելու դեպքում փոխվում է նաև ավարկման ձևը. Էներգասպառումը նվազարկվում է արագացործությամբ ֆիքսված արժեքի դեպքում (նկ. 1.2) [33]:

Յեռնապետյունապատակային ֆունկցիան ընդունում է հետևյալ տեսքը՝

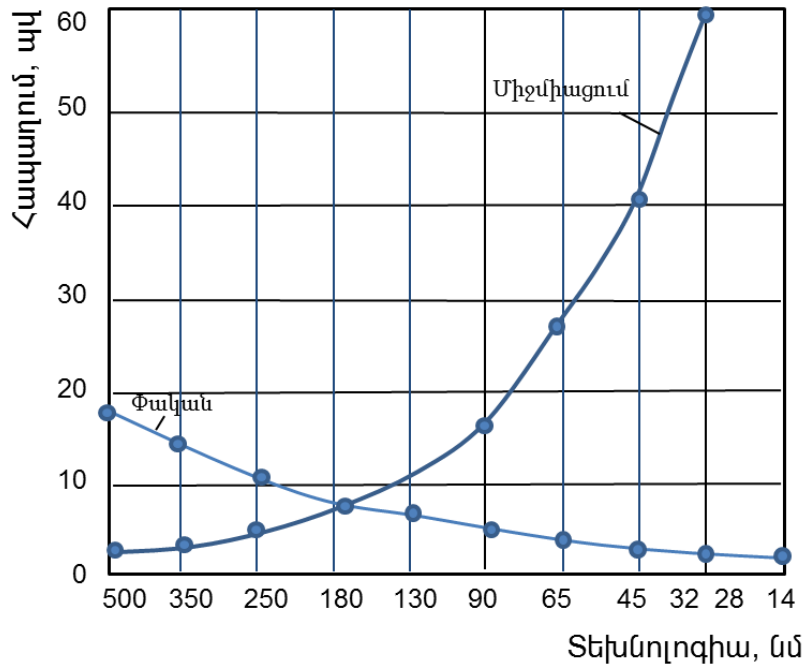
$$F(x_i, S) = E(x_i) + S(D(x_i) - D_0), \quad (1.1)$$

որտեղ x_i -ն i -րդ փոփոխականն է, $D(x_i)$ -ն՝ հապաղումը, $E(x_i)$ -ն՝ Էներգասպառումը, S -ը՝ Լազրանժիբազմապատկիչը: Այսպիսով, օպտիմալացումից եզրակացվում է, որ եթե

$$S_i = \left. \frac{\partial E / \partial x_i}{\partial D / \partial x_i} \right|_{x_i=x_0}, \quad (1.2)$$

ապա ավարկման ընթացքում բոլոր ֆունկցիաները պետք է լինեն նույնը: Ասվածը ԽՍ-երի ցածր Էներգասպառմամբ նախագծման մեթոդների (սնման և արման շրջափակում [15], սինթրոազդանշանի շրջափակում [16], բազմասնուցումային նախագծում [27] և այլն) հիմքն է:

ԻՍ-երի արտադրողականության և սխեմաների խտության աճին զուգընթաց փոփոխվել է նաև տրամաբանական փականների ($S\Phi$) և միջմիացումների հապաղումների հարաբերակցությունը (նկ .1.3[34]):



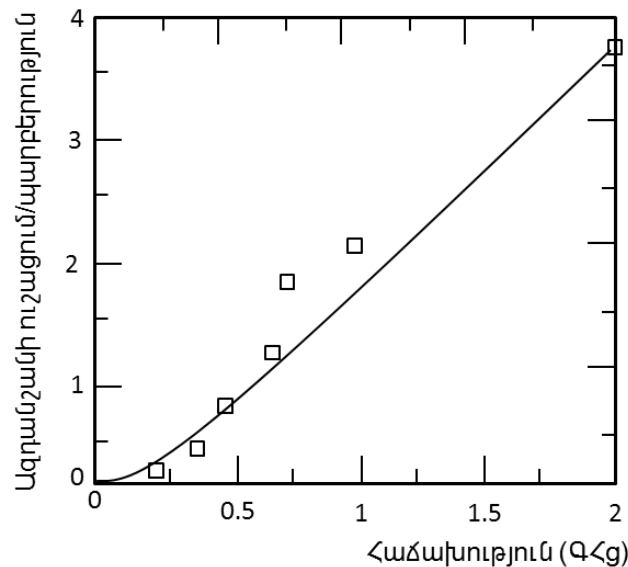
Նկ .1.3. Տրամաբանական փականների և միջմիացումների հապաղումների հարաբերակցության փոփոխությունը

Պատճառը միջմիացումների հապաղումների՝ դրանց 1 երկարությունից ունեցած քառակուսային կախվածությունն է՝ $R_{\text{միջ}} \cdot C_{\text{միջ}} \cdot l^2$, որտեղ $R_{\text{միջ}}$ -ը և $C_{\text{միջ}}$ -ը համապատասխանաբար միջմիացման պարագիտային դիմադրությունն ու նաև կոնկրետ ընտրված տեղակայմամբ երկար միջմիացումների տրոհումն ալելի փոքր հատվածների: Սակայն այդ ընտրված առաջացնում է նոր դժվարություններ՝ պայմանավորված տեղակայվող կրկնիչների անընդունելի մեծ քանակով, որի արդյունքում կարող են խախտվել ԻՍ-ի

զբաղեցրած մակերեսին և էներգապառմանն առաջադրվող սահմանափակումները:

- Սինքրոազդանշանի բաշխում.

Տարբեր պատճառներով ենթամիկրոնային թվային ԻՍ-երի նախագծման կարևոր մարտահրավերներն են Ե դարձել սինքրոազդանշանի բաշխումը [25,37,38]: Տեխնոլոգիական մասշտաբավորմանը զուգընթաց թվային ԻՍ-երի սինքրոն հատվածների մասնաբաժինը չի փոքրանում, քանի որ սխեմաների ֆունկցիոնալ ության մեծացումը պահանջում է սինքրոն հատվածներում տեղակայված տրամաբանական տարրերի քանակի աճ: Սակայն միջմիացումների հապաղումները մասշտաբավորվում են համեմատաբար ավելի դանդաղ: Մյուս կողմից՝ ավելի թույլ տեմպերով է փոքրանում միջմիացումների միավոր մակերեսի պարագիտային ունակ ության արժեքը [26,39]: Արդյունքում՝ ազդանշանի հապաղումը սինքրոազդանշանի տարածման ճանապարհին մեծանում է (նկ.1.4)[40]:



Նկ. 1.4. Ազդանշանի հաճախությունը և նից ARC 600 պրոցեսորի գլոբալ սինքրոնազդանշանի

Ներկայից համարժեքային կախվածությունը արվել էր ներկայի մակայելում և պատակով փնտրվում են տարբեր լուծումներ [24,41,42]: Առավել հաջողվածներից են նմանատիպ սինքրոնազդանշանի բաշխման շղթաների օգտագործումն ինչպես տպասալում, այնպես էլ ԻՍ-ում [43], գույքավորված հաղորդման գծերից կառուցված օղակների օգտագործումը [44,45] և այլն: Չնայած այդ լուծումները որոշ չափով մեղմում են խնդիրը, սակայն ընդունելի արդյունքների ստացման տեսանկյունից դեռևս հեռու են բավարարվելուց:

- Սնման և արման բաշխում և կարգավորում.

Տեխնոլոգիական մասշտաբավորմանը և արտադրողականությանն առաջադրվող պահանջների խստացմանը գույքը նթաց ԻՍ-երի բացարձակ էներգասպառումն աճում է նույնիսկ սնման և արման արժեքների փոքրացման պարագայում [17]: Դա

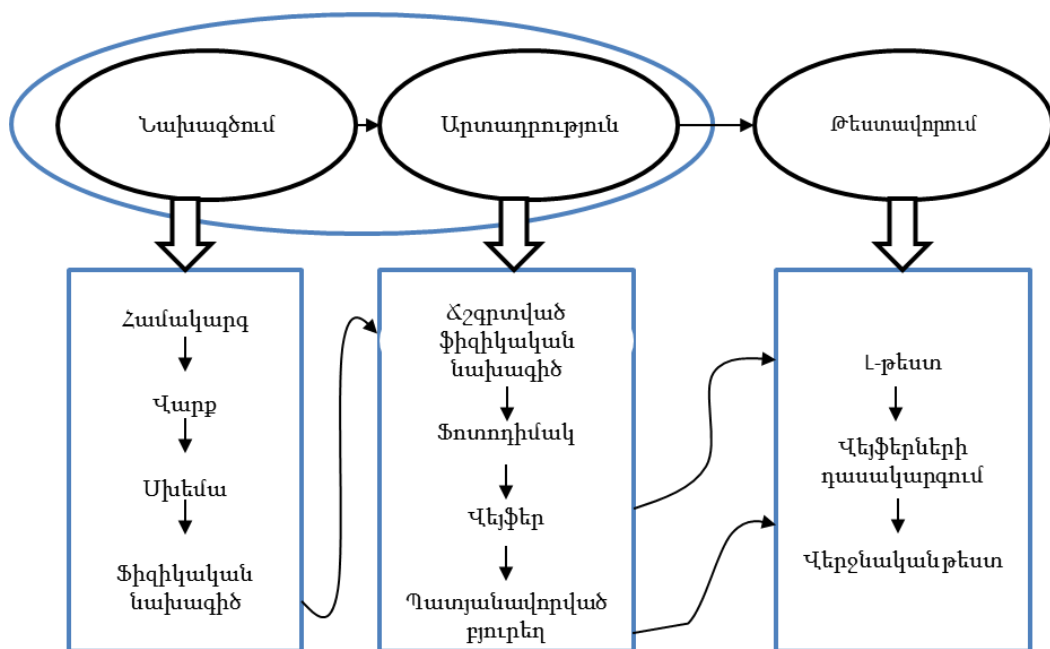
հանգեցնում է նաև սնման հոսանքների աճին: Փոխանջատման և սնման հոսանքի միջին արժեքների մեծացման դեպքում պահանջվում են ավելի մեծ փոխադարձ ունակություններ այն դեպքում, երբ սնման լարման բաշխման ցանցերի դիմադրություններն ու ինդուկտիվություններն ազդանշանների ամբողջականության պահպանման տեսանկյունից պետք է ունենան հնարավորինս փոքր արժեքներ: 90-նանոմետրանոց և ավելի փոքր տեսնոլոգիաների դեպքում սնման լարումները 14-ից փոքր են, և ԻՍ-ի 100Վտ-ից ավելի մեծ հզորությունների դեպքում սնման լարման 10%-ից ոչ ավելի փոփոխությունների ապահովման համար պահանջվում են սնման բաշխման ցանցերի 1ՄՕմը չգերազանցող դիմադրություններ, ինչը չափազանց խիստ պահանջ է սնման համակարգերի համար [32]: Այդ խնդրի լուծման համար ներկայումս մշակվում են տարբեր մոտեցումներ՝ լարման գծային կարգավորիչների [46,47], «ստեկային» տրամաբանության կիրառում [48] և այլն: Սակայն նշված մոտեցումները գործնական պահանջները դեռևս չեն բավարարում:

Թվային ԻՍ-երի նախագծման վերը նշված և ժամանակակից այլ մարտահրավերների շարքում իր ուրույն և կարևոր տեղն ունի տարբեր պարամետրերի շեղումների և սխեմաների ծերացման հետևանքով առաջացող անորոշության պայմաններում նախագծումը [49-54]: Ներկայումս այդ անորոշությունները դարձել են համաչափելի և

հաճախ նույնիսկ գերազանցում են նոմինալ մեծությունները [55-60]: Դա անհնար է դարձնում ԻՍ-երի անսխալ նախագծումը՝ առանց անորոշությունների հաշվառման:

1.1.2. Պարամետրերի անորոշությունները և դրանց ազդեցությունը թվային ինտեգրալ սխեմաների աշխատանքի վրա

Թվային ԻՍ-երի ստեղծման բոլոր փուլներում (նկ. 1.5) դրա տարրերի պարամետրերն ունեն անորոշություններ [61-69]:

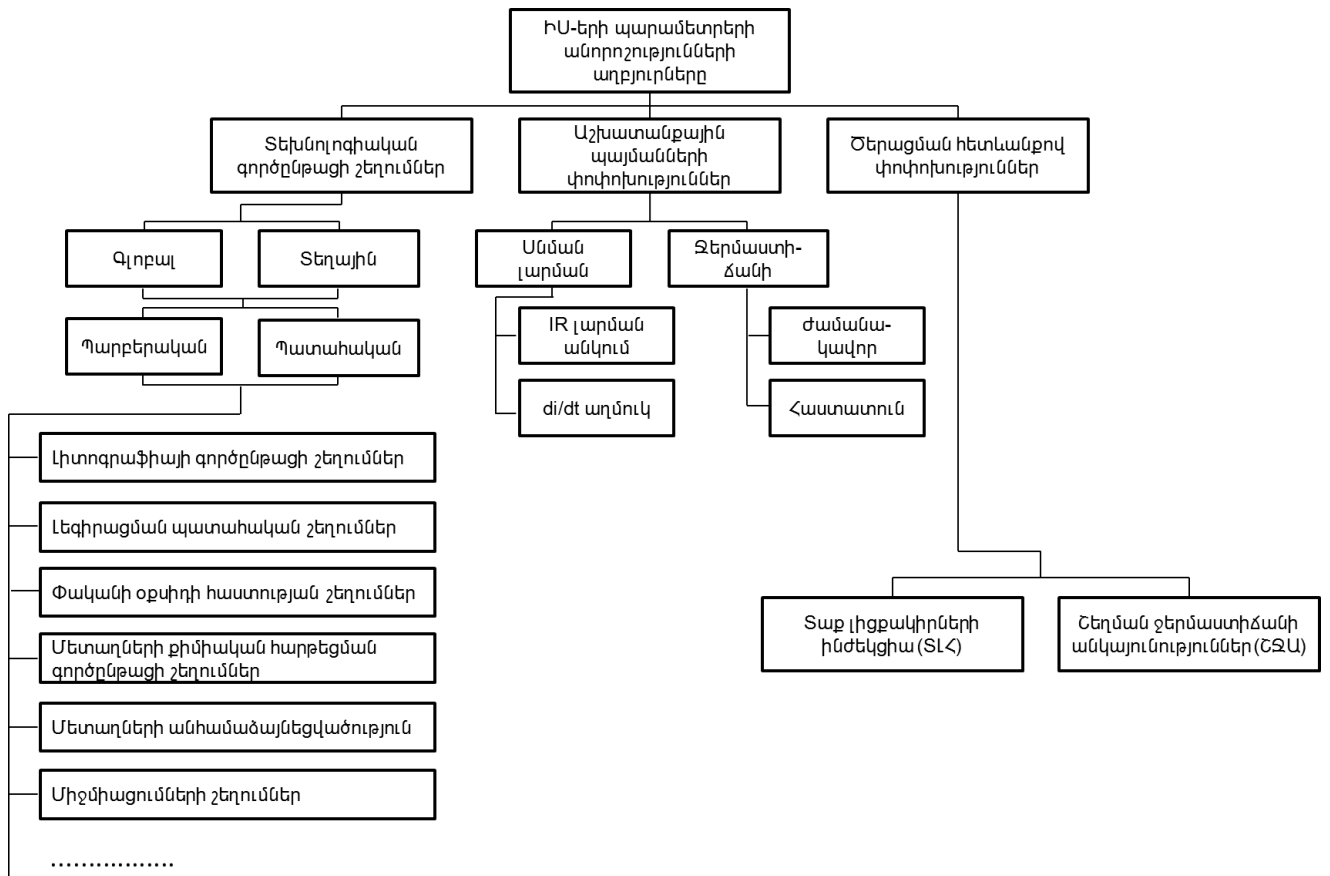


Նկ. 1.5. Թվային ԻՍ-երի ստեղծման փուլները Այդ անորոշությունների բաղադրիչներն են [70,71].

1. Նախագծման միջավայրից մեծ և աճող կախվածությունը: Այդ միջավայրը չի կարող լիովին հայտնի լինել ԻՍ-ի նախագծման փուլում և դեպքից դեպք կարող է փոփոխվել:

2. ԻՍ-ի նախագծի ավարտված ու թյան դեպքում անգամ առկա են արտադրման անորոշ ու թյ ու ն ն եր : Դրանք կարող են փոփոխվել՝ վիճակագրական շեղումներին ց ը ն դ հ ու պ մ ի ն չ ն դ ե ու ս չ կ առ ու ց վ ած գ ո Ր ծ ար ա ն ն եր ի ք ն ու թ ա գ թ եր ի ո չ հ ա յ տ ն ի լ ի ն ե լ ու պ ա տ ճ առ ն եր ո վ :
3. ԻՍ-ի աշխատանքի ընթացքում սնման և արման և շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանի փոփոխությունները :
4. Սխեմաների ծերացումը :

ԻՍ-երի պարամետրերի անորոշ ու թյ ու ն ն եր ի հիմնական աղբյուրներն են (նկ . 1.6) տեխնոլոգիական գործընթացի շեղումները , աշխատանքային պայմանների և ծերացման հետևանքով առաջացող փոփոխությունները :

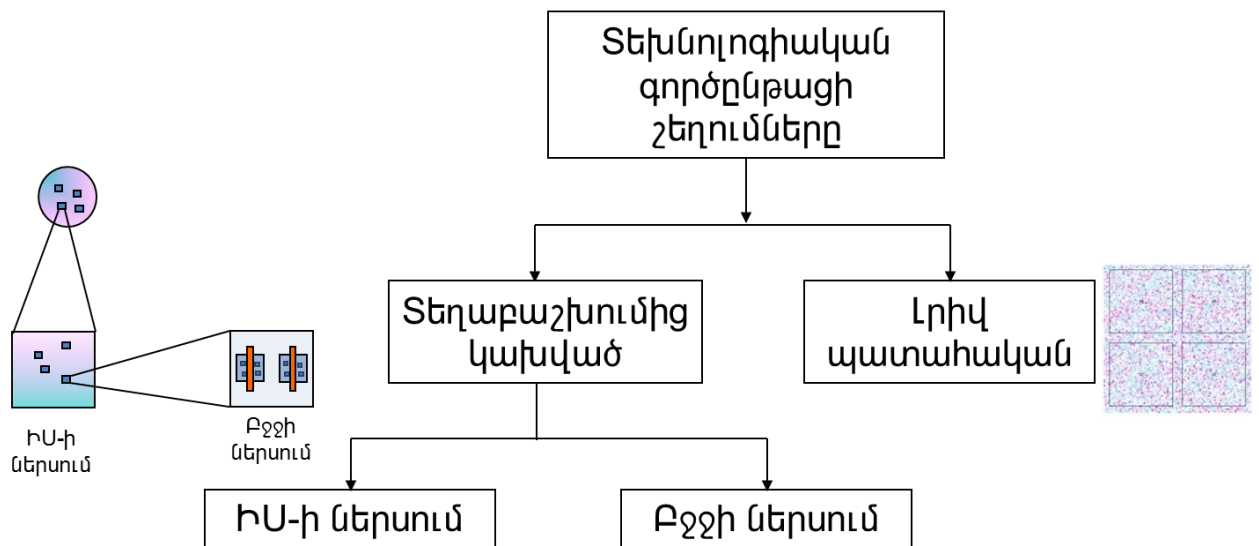


Ն կ . 1.6. Ի Ս - երի պարամետրերի

անորոշողական շեղումների աղբյուրները

Տեխնոլոգիական գործընթացի շեղումները, իրենց հերթին, դասակարգվում են (նկ . 1.7) ԻՍ-ի կամ բջջի ներսում տեղաբաշխումից կախված, այսինքն՝ որպես պարբերական կամ լրիվ պատահական շեղումներ: Տեղաբաշխումից կախված երևույթները պայմանավորված են ԻՍ-ի ներսում բջջի դիրքով կամ բջջի ներսում կիսահաղորդչային սարքի դիրքով: Լրիվ պատահական շեղումները կախված չեն կիսահաղորդչային բյուրեղի վրա բջջի դիրքից կամ բջջի ներսում կիսահաղորդչային սարքի դիրքից:

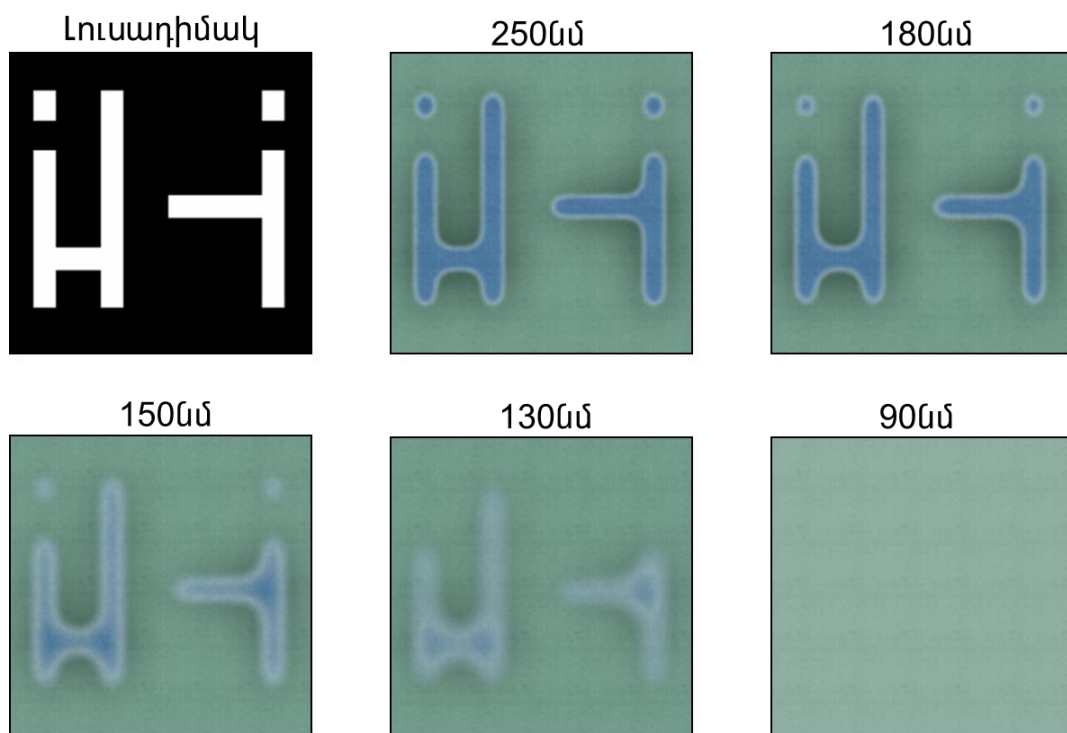
Տեխնոլոգիական գործընթացի շեղումներն ունեն տարբեր աղբյուրներ (նկ . 1.6)՝



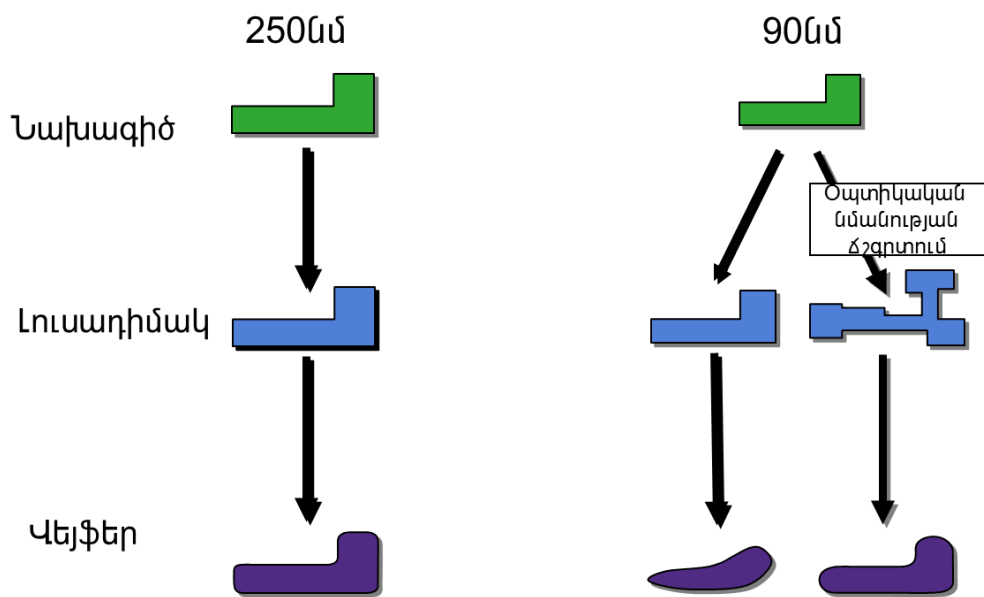
Նկ. 1.7. Տեխնոլոգիական գործընթացի շեղումները

Հեղուկ մեքենայի դասակարգումը
 Լիտոգրաֆիայի գործընթացի շեղումներ,
 Լեգիրացման պատահական շեղումներ, փականի
 օքսիդի հաստություն շեղումներ, մետաղների
 քիմիական հարթեցման գործընթացի շեղումներ,
 մետաղների անհամաձայնեցվածություն,
 միջմիացումների շեղումներ և այլն [26,52,72-74]: Այդ
 շեղումների ֆիզիկական բնույթները տարբեր են և
 բաժանվում են երկու դասի՝ պարբերական և
 պատահական: ԻՍ-ի ներսում դրանք սովորաբար
 պարբերական են և ներառում են Լիտոգրաֆիայի
 գործընթացի այնպիսի շեղումներ, ինչպիսիք են
 քիմիական հարթեցման գործընթացի դեպքում
 գերհարթեցումները և այլն [75,76]: Նմանատիպ
 շեղումները ներառում են պարամետրերի
 փոփոխությունների այլ աղբյուրներ ևս՝
 սարքավորումների պարամետրերի շեղումներ և
 այլն:

130-ն անոմետրանոց և ավելի փոքր չափերի տեխնոլոգիական գործընթացների պարագայում լույսի ալիքի երկարությունը մնացել է $\lambda = 193$ նմ [27,32]: Դա նշանակում է, որ տեխնոլոգիական գործընթացի չափերի փոքրացմանը զուգընթաց լույսի ալիքի երկարությունն ավելի ու ավելի է գերազանցում կիսահաղորդչային տարրերի չափերը, որի արդյունքում դիֆրակցիայի պատճառով ԿՍ-երի և միջմիացումների տեսքերն ավելի ու ավելի են աղավաղվում (նկ. 1.8) [4]: Այս երևույթի նվազեցման նպատակով ներկայումս օգտագործվում են նոր տարբեր մոտեցումներ, որոնցից է, օրինակ, օպտիկական նմանության ճշգրտումը (նկ. 1.9) [28]:



Նկ. 1.8. Կիսահաղորդչային տարրերի և միջմիացումների տեսքերի աղավաղումը



Նկ. 1.9. Օպտիկական նմանության ճշգրտումը

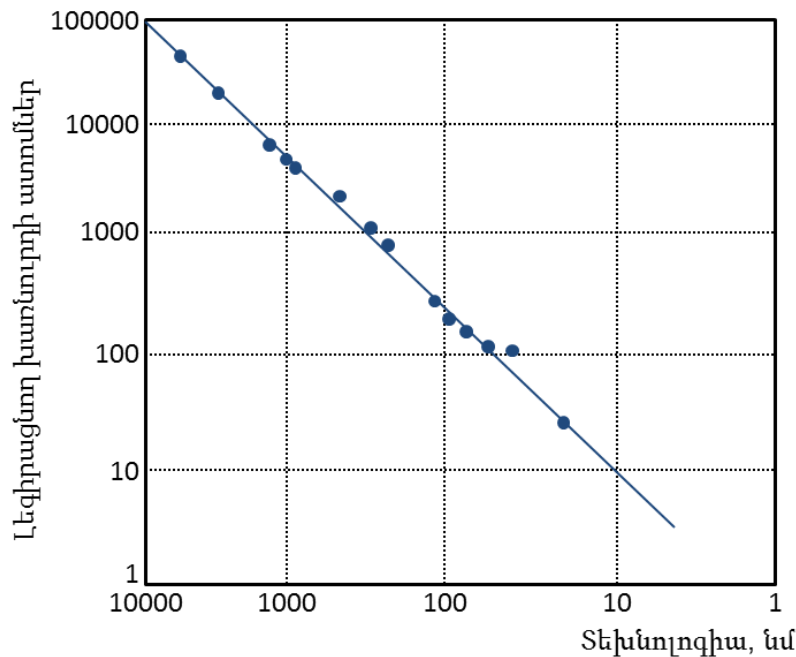
Վերջինի հիմնական գաղափարն այն է, որ մինչև վեյֆերի վրա իրական պատկերի ստացումը՝ նախնական կառուցվածքը ձևափոխվում է այնպիսի տեսքով, որ դիֆրակցիայի հետևանքով աղավաղվելով՝ ստացվի լուսադիմակի պատկերին հնարավորինս նման տեսք [77]: Չնայած նմանատիպ մոտեցումների կիրառմանը՝ տրանզիստորի չափերի հարաբերական շեղումները շարունակում են մեծանալ, քանի որ չափազանց դժվար է, հաճախ՝ նույնիսկ անհնար շեղումների չափերի այնքան անգամ փոքրացնելը, որքան անգամ նվազում են տեխնոլոգիական չափերը [78]:

Տրանզիստորի փականի W լայնության և Լ երկարության շեղումներն ուղղակիորեն ազդում են նրա ելքային հոսանքի մեծության վրա, ինչը համեմատական է W/L -ին [79,80]: Հոսքուղու երկարության շեղումները փոխում են նաև տրանզիստորի շեմային $V_{2\text{տ}}$ լարումը, ինչն, իր հերթին, ավելի է ազդում

Ելքային հոսանքի վրա: Հոսք ուղու երկարությունը պատահական ձևով փոխվում է նաև տրանզիստորի լայնքով [81]: Այդ երևույթի պատճառը \$n\$ տոռնեզիստի մաքրման գործընթացում \$n\$ տոռնեզի քանակի փոփոխությունն է: Դրա հետևանքով մեծանում է տրանզիստորի փակ (I_{ph}) և բաց (I_{bg}) ռեժիմներում հոսանքների $I_{\text{ph}}/I_{\text{bg}}$ հարաբերությունը, ինչը խախտում է թվային սխեմաների (ԹՍ) բնականոն աշխատանքը:

Լեգիրացման պատահական շեղումները պայմանավորված են հետևյալով [82-84]: Տրանզիստորի հոսք ուղու տիրույթը լեգիրացվում է խառնուրդների ատոմներով: Այդ ատոմները պատահական ձևով տեղաբաշխվում են հոսք ուղու: Դրա համար օգտագործվում է, օրինակ, լեգիրացնող խառնուրդի նստեցման եղանակը [5]: Արդյունքում՝ տեղի են ունենում նստեցվող խառնուրդների իրական քանակի վիճակագրական փոփոխություններ: Լիցքակիրների քանակի նմանատիպ փոփոխությունը շեղում է տրանզիստորի շեմային լարումը և դրա արդյունքում՝ տրանզիստորի բեռնունակությունը: Համեմատաբար հին տեխնոլոգիաների պարագայում, երբ հոսք ուղու տիրույթում առկա էին լեգիրացնող խառնուրդի հազարավոր ատոմներ, մի քանի ատոմներով պայմանավորված շեղումներն աննշան էին [85,86]: Նորագույն տեխնոլոգիաների պարագայում խառնուրդների ատոմների թիվը փոքրանալով հասել է տասիկարգի (նկ. 1.10) [87], որի հետևանքով լեգիրացնող

խառնուրդների առումների շեղումները դարձել են
 էական:

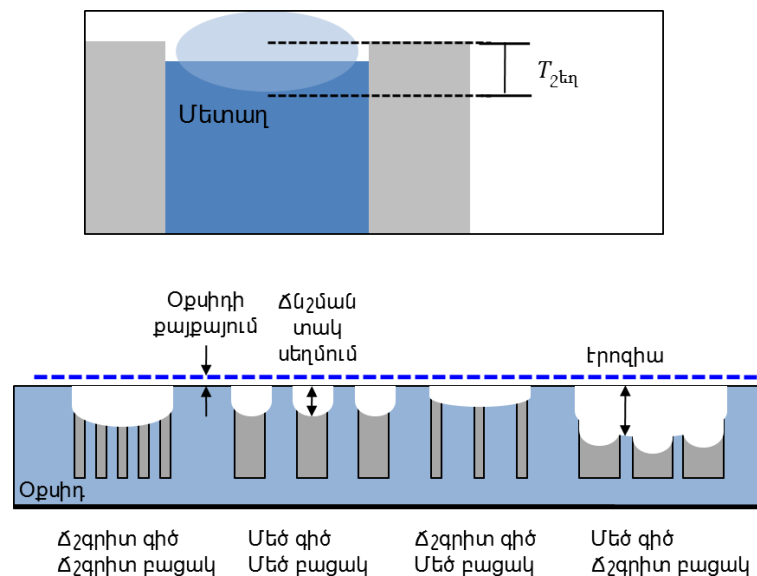


*Նկ. 1.10. Տարբեր տեխնոլոգիաների դեպքում
 տրանզիստորի հոսքում դուրսի թում*

Փակասների առաջնությունը և ուստի հաստատության շեղումների
 երևույթը պայմանավորված է հետևյալ
 հանգամանքով [88]: Փականի օքսիդի հաստությունը
 կարող է աճեցվել մեկից երկու միջատոմական
 շերտերի բացարձակ ճշտությամբ: Նախկին
 տեխնոլոգիական գործընթացների պարագայում, երբ
 օքսիդի հաստությունը հավասար էր հարյուրավոր
 միջատոմական շերտերի, և փականները համեմատաբար
 մեծ չափեր ունեին, փականի օքսիդի հաստության
 փոփոխության արդյունքում տրանզիստորի
 շեմային $V_{2\text{տ}}$ արման շեղումները համարյա աննշան
 էին: Սակայն 32-նանոմետրանոց և ավելի փոքր
 տեխնոլոգիաների դեպքում օքսիդի հաստությունն
 արդեն 1-ից 3 նմ է, ինչը համապատասխանում է 5-ից 15

միջատոմական տարածություններին, և օքսիդի հաստության շեղումները կարող են հանգեցնել տրանզիստորի $V_{2\text{էլ}}$ շեմային լարման էական փոփոխություններին [89,90]:

Մետաղների քիմիական հարթեցման շեղումների եռությունը հետևյալն է: Յայտնի է, որ մետաղների քիմիական մշակումը (նկ. 1.11) [8] հարթեցման գործընթացի հիմնական քայլն է: Այդ դեպքում վեյֆերի մակերևույթից նյութերը մաքրվում են, մինչև ստացվի անհրաժեշտ հարթություն մակերևույթ: Դա հնարավորություն է ընձեռում հաջորդող ֆոտոլիտոգրաֆիայի փուլն իրականացնել ավելի մեծ ճշտությամբ

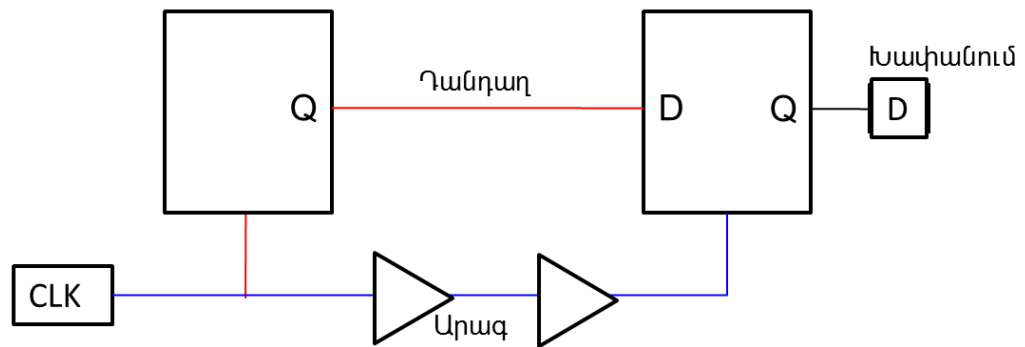


Նկ. 1.11. Մետաղների քիմիական հարթեցումը

և ստանալ բարձրության նվազագույն շեղումներով մետաղական շերտեր: Մետաղների քիմիական հարթեցումը հիմնականում իրականացվում է ԽՍ-ի միջմիացումների դեպքում և կիրառվում է բազմաթիվ անգամ: Այդ գործընթացը հատկապես

կարևոր է պղնձի հիմքով միջմիացումներն
 դեպքում: Սակայն նշված գործընթացը նույնպես
 բնորոշվում է շեղումներով, որոնց հիմնական
 պատճառը մետաղական միջմիացման և մեկուսիչի
 նյութերի տարբեր կոշտությանն է: Իդեալական
 դեպքում մետաղների քիմիական հարթեցման
 գործընթացում վերացվում են պղնձի անցանկալի
 շերտերը, թողնելով միայն պղնձի այն
 միջմիացումներն ու միջշերտային միացումները,
 որոնց հաստությանը գտնվում է նորմայի
 սահմաններում: Իրականում պղնձե միջմիացումն
 ավելի փափուկ է, քան մեկուսիչը, ինչը հանգեցնում
 է միջմիացման հաստության շեղումների: Հայտնի
 են [9,91] այս դասի շեղումների վերացման տարբեր
 մոտեցումներ (օրինակ՝ ճնշման տակ սեղմումը,
 էրոզիան և այլն), սակայն 32 նմ-ից փոքր
 տեխնոլոգիաների պարագայում այս դասի
 շեղումներն արդեն էական են [5]:

Մետաղների անհամաձայնեցմամբ
 պայմանավորված շեղումների էությունը
 հետևյալն է [22]: ԹՄ-երի ժամանակային
 համաձայնեցման ստանդարտ մոտեցումների
 դեպքում (նկ. 1.12) [92] ենթադրվում է, որ եթե որևէ
 մետաղական շերտ ունի մեծ դիմադրություն, ապա
 մնացած բոլոր մետաղական շերտերը նույնպես
 օժտված են նույն հատկությամբ [93]:



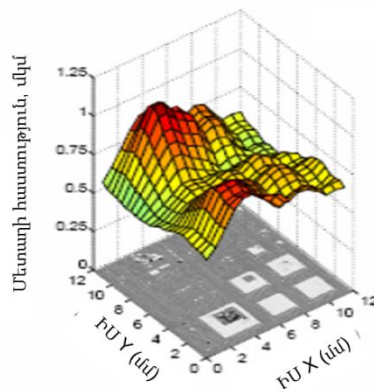
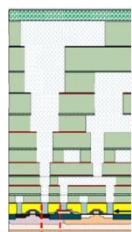
Նկ . 1.12. Մե տաղ ն եր ի ա ն հ ա մ ա ծ ա յ ն ե ց մ ա մ ք
պ ա յ մ ա ն ա վ ո թ ղ ա ծ շ ե ղ ու մ ն եր ը

Ս ա կ ա յ ն ի թ ա կ ա ն ու մ մ ե տ աղ ա կ ա ն մ ի ջ մ ի ա ց մ ա ն
պ ա թ ա գ ի տ ա յ ի ն դ ի մ ա դ թ ու թ յ ու ն ն ու
ու ն ա կ ու թ յ ու ն ը պ ա յ մ ա ն ա վ ո թ ղ ա ծ ե ն կ ո ն կ թ ե տ
մ ե տ աղ ա կ ա ն շ ե թ տ ի լ ա յ ն ու թ յ ա մ ք և ք ա թ ծ թ ու թ յ ա մ ք :
Ն ու յ ն Ի Ս - ու մ թ ու լ ո թ մ ե տ աղ ա կ ա ն շ ե թ տ եր ն
ա թ տ ա դ թ ղ ու մ ե ն մ ի մ յ ա ն ց ի ց ա ն կ ա խ : Ա յ դ պ ա տ ճ ա ռ ո վ
յ ու լ թ ա ք ա ն չ յ ու լ թ մ ե տ աղ ա կ ա ն շ ե թ տ ու մ տ ե ղ ա կ ա յ վ ա ծ
մ ի ջ մ ի ա ց մ ա ն պ ա թ ա գ ի տ ա յ ի ն դ ի մ ա դ թ ու թ յ ու ն ն ու
ու ն ա կ ու թ յ ու ն ը վ ի ճ ա կ ա գ թ ո թ ե ն ա ն կ ա խ ե ն մ յ ու ս
մ ե տ աղ ա կ ա ն շ ե թ տ եր ի հ ա մ ա ն մ ա ն մ ե ծ ու թ յ ու ն ն եր ի ց ,
և ա յ դ տ ա թ թ ե թ ու թ յ ու ն ն եր ը կ ա թ ո ղ ե ն Թ Ս - ի (Ն կ . 1.12) [94,95]
Ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն հ ա շ վ ա թ կ ն եր ը խ ա խ տ ե լ `
հ ա ն գ ե ց ն ե լ ո վ ը ն դ հ ու պ մ ի ն չ և խ ա փ ա ն ու մ ն եր ի :

Մ ի ջ մ ի ա ց ու մ ն եր ի շ ե ղ ու մ ն եր ը (Ն կ . 1.13) [26] կ ա թ ո ղ
ե ն լ ի ն ե լ գ լ ո թ ա լ և տ ե ղ ա յ ի ն : Տ ա թ թ եր մ ե տ աղ ա կ ա ն
շ ե թ տ եր (Ն կ . 1.13) [96,97] ու ն ե ն տ ա թ թ եր ե թ կ թ ա չ ա փ ա կ ա ն
չ ա փ եր : Ս ո վ ո թ ա թ ա թ տ ե ղ ա յ ի ն մ ի ջ մ ի ա ց ու մ ն եր ն
ի թ ա գ ո թ ծ ղ ու մ ե ն ա վ ե լ ի ց ա ծ թ շ ե թ տ ի մ ե տ աղ ն եր ո վ ,
ի ս կ գ լ ո թ ա լ ն եր ը ` ք ա թ ծ թ [24]: Մ ի ջ մ ի ա ց ու մ ն եր ի
շ ե ղ ու մ ն եր ը պ ա յ մ ա ն ա վ ո թ ղ ա ծ ե ն դ թ ա ն ց

բարձր ու թյան և լայն ու թյան փոփոխություններով: Բնականաբար, դա ազդում է նաև փոխադարձ ունակությունների արժեքների վրա: Այդ բոլորն այս կամ այն կերպ ազդում են սխեմաներում ազդանշանների տարածման հապաղումների վրա և կարող են հաճախ նույնիսկ որակապես փոխել ԻՍ-ի աշխատանքը:

Սովորաբար [98] տեխնոլոգիական գործընթացի շեղումները դասակարգվում են նաև որպես գլոբալ և տեղային (նկ. 1.6): Գլոբալ շեղումների դեպքում ԿՍ-երի այնպիսի պարամետրերի շեղումները, ինչպիսիք են օքսիդի շերտի հաստությունը, խառնուրդների խտությունը և այլն, ԻՍ-ի բոլոր տրանզիստորների համար փոփոխվում



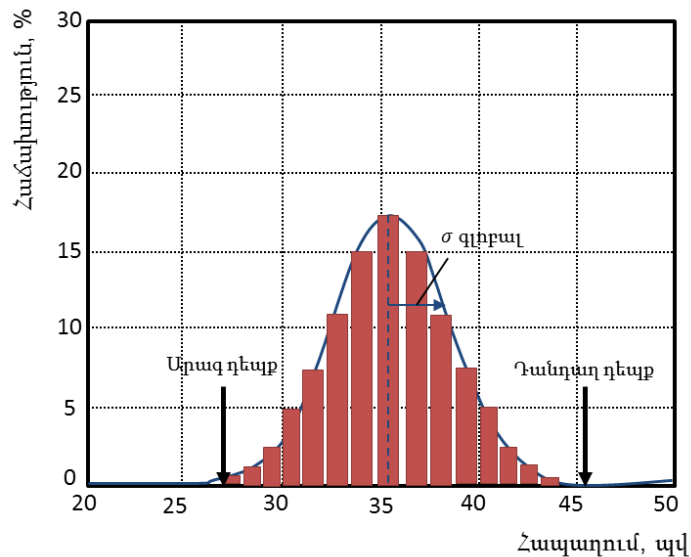
Նկ. 1.13. Միջմիացումների շեղումները

են հավասարաչափ: Այդ դասին են պատկանում, օրինակ, վեյֆերից վեյֆեր շեղումները: Տեղային շեղումների պարագայում, ընդհակառակը, յուրաքանչյուր տրանզիստոր փոփոխվում է յուրովի: Դանշանակում է, որ տեղային շեղումների դեպքում կորելյացիան բացակայում է, իսկ գլոբալի պարագայում կորելյացիան շատ մեծ է [99]:

Գլոբալ շեղումների ազդեցությունը սխեմայի աշխատանքի վրա կարելի է հետազոտել՝ իրականացնելով Մոնտե-Կառլո մոդելավորումներ [100,101]: Դրանց համար որպես մոլտթային տեղեկատվություն կարող են օգտագործվել ԿՍ-ի փոփոխվող պարամետրերի հավանականային բաշխումները, որոնք կարող են ստացվել իրականում արտադրվող տրանզիստորների պարամետրերի չափումներով: Ինչպես երևում է 32/28-նանոմետրանոց տեխնոլոգիայով նախագծված տրամաբանական շրջիչների հաջորդաբար միացված շղթայի Մոնտե-Կառլոյի եղանակով ստացված մոդելավորման արդյունքներից (նկ. 1.14) [102,103], գլոբալ շեղումներն ունեն էական ազդեցություն:

Էքստրեմալ դեպքում (նկ. 1.14) [11] ԿՍ-երի պարամետրերն էապես շեղվում են իրենց նոմինալ արժեքներից: Արագ դեպքում տեխնոլոգիական գործընթացի բոլոր շեղումները մեծացնում են տրանզիստորի հոսանքը՝ ապահովելով մեծ արագություն: Դանդաղ դեպքում շեղումների արդյունքում սարքի արագությունն էապես փոքրանում է: Արագ և դանդաղ դեպքերը սովորաբար տարբերվում են 3-ից 6-ով:

Տեղային շեղումները, որոնք իրենց բնույթով ոչ կորելացված են, ԿՄՕԿ տեխնոլոգիաների մասշտաբավորմանը զուգընթաց մեծանում են: Դա հետևանք է այն



Նկ .1.14. Ազդանշանի տարածման ճանապարհի հապաղման վրագլոբալ շեղումներ

հանգամանքի, որ տրանզիստորի չափերի փոքրացման դեպքում շեմային լարման ստանդարտ $\sigma \Delta V_{2\text{հմ}}$ և հոսանքի գործակցի $\sigma \Delta K/K (K = \mu C_{\text{օքս}} W/L)$ շեղումները մեծանում են, քանի որ դրանք հակադարձ համեմատական են սարքի ակտիվ մակերեսի քառակուսի արմատին [104]՝

$$\sigma \Delta V_{2\text{հմ}} = \frac{A \Delta V_{2\text{հմ}}}{\sqrt{W \cdot L}}, \quad \sigma \Delta K/K = \frac{A \Delta K/K}{\sqrt{W \cdot L}}, \quad (1.3)$$

որտեղ $V_{2\text{հմ}}$ -ը շեմային լարումն է, W -ն և L -ը՝ տրանզիստորի հոսքուղու համապատասխան արլայնությունը և երկարությունը, $A \Delta V_{2\text{հմ}}$ և $A \Delta K/K$ -ն՝ համաձայնեցման պարամետրերը, որոնք բնորոշ են կոնկրետ տեխնոլոգիական գործընթացին:

Տեղային շեղումների ազդեցությունն ազդանշանի տարածման հապաղման վրա կարող է նկարագրվել փոխանջատման $t_{\text{փակ}}$ ժամանակով և $\sigma_{t_{\text{փակ}}}$ ստանդարտ շեղմամբ բնորոշվող ոմիանման $S\Phi$ -երի ստոխաստիկ մոդելով: Ճանապարհի

$$t_h = n \cdot t_{\text{փակ}}$$

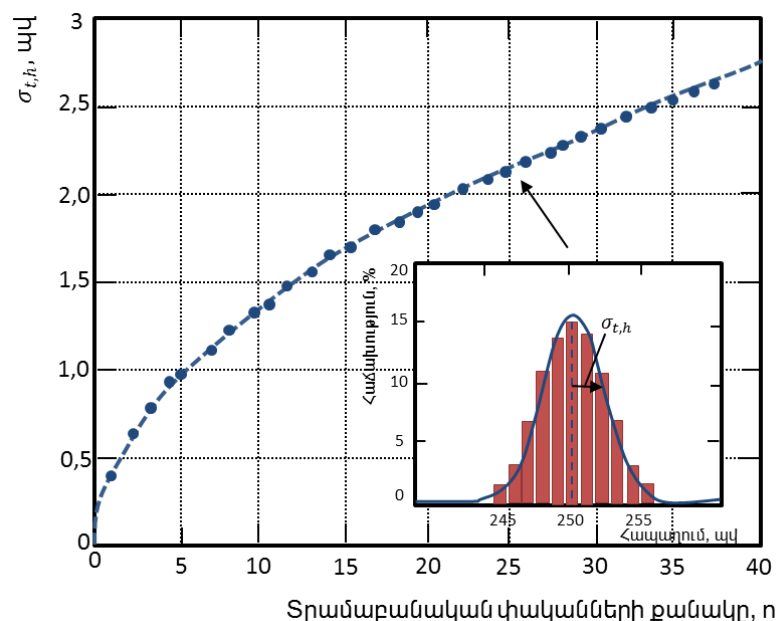
հապաղումը, կախված ուղի, գծայնորեն մեծանում է այն դեպքում, երբ ճանապարհի հապաղման ստանդարտ $\sigma_{t,h}$ շեղումը մեծանում է միայն ու թառակուսի արմատին համեմատական [104]՝

$$\sigma_{t,h} = \sqrt{n} \cdot \sigma_{t,փակ} : \quad (1.4)$$

Այսպիսով, ճանապարհի հապաղման $\tau_{t,h}/t_h$ հարաբերական շեղումը փոքրանում է ու թառակուսի արմատին հակադարձ համեմատական [104]՝

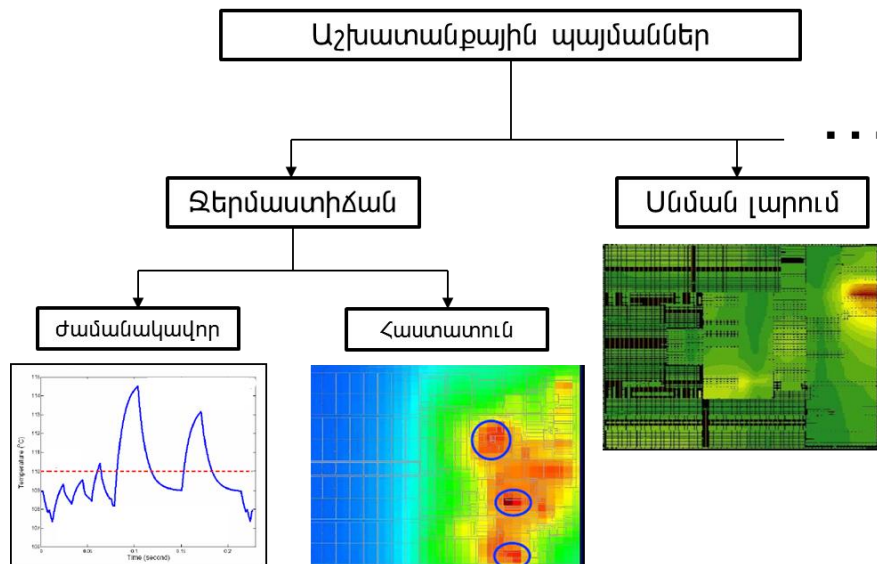
$$\frac{\tau_{t,h}}{t_h} = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \frac{\sigma_{t,փակ}}{\tau_{փակ}} : \quad (1.5)$$

Կախված ազդանշանի տարածման ճանապարհի երկարությունից՝ $\tau_{t,h}$ բացարձակ շեղումը չի փոքրանում: Միայն հարաբերական $\frac{\tau_{t,h}}{t_h}$ շեղումն է փոքրանում՝ կախված այդ մեծությունից այն դեպքում, երբ $\sigma_{t,h}$ բացարձակ շեմային արժեքը մեծանում է (նկ .1.15) [105]:



Նկ .1.15. Ազդանշանի տարածման ճանապարհի հապաղման վրատեխնոլոգիական

Աշխատանքային պայմաններ (ջերմաստիճան, սնման լարում և այլն) փոփոխությունները (նկ. 1.16) [25] նույնպես ԻՍ-երի պարամետրերի անորոշությունների կարևոր աղբյուրներից են: Ջերմաստիճանի փոփոխությունները կարող են լինել ժամանակավոր և հաստատուն: Որպես հաստատունի օրինակ նկ. 1.16-ում [106] բերված է ARC 600 պրոցեսորի մոդելավորված ջերմային քարտեզը, որից հետևում է, որ ԻՍ-ի առանձին հատվածներում ջերմաստիճանը կարող է գերազանցել թույլատրելին:



Նկ. 1.16. Աշխատանքային պայմանների փոփոխություններով պայմանավորված

Սնման լարման շեղումները հիմնականում պայմանավորված են լարման IR անկմամբ և di/dt աղմուկով [25]: Լարման IR անկումը պայմանավորված է սնման դողի ակտիվ դիմադրությամբ այն դեպքում, երբ di/dt աղմուկը՝ սնման ցանցի և պատյանի պարագիտային ունակությամբ և դիմադրությամբ: Արագ փոփոխվող այդ երևույթին բնորոշ են նվ-ից

մի ն չ ն մ կ վ տևող ու թ յ ամբ ժամանակ այ ի ն հաստատու ն ն եր ը (ն կ . 1.17-ու մ բ եր վ ած ե ն 32/28-ն մ -ան ո ց տեխնոլոգիայ ո վ ն ախագծ վ ած ԹՍ-ի մոդել ավորման արդյ ու ն ք ն եր ը) [106]:

Լ արման IRանկ ու մ ը որոշ վ ու մ է որպես՝

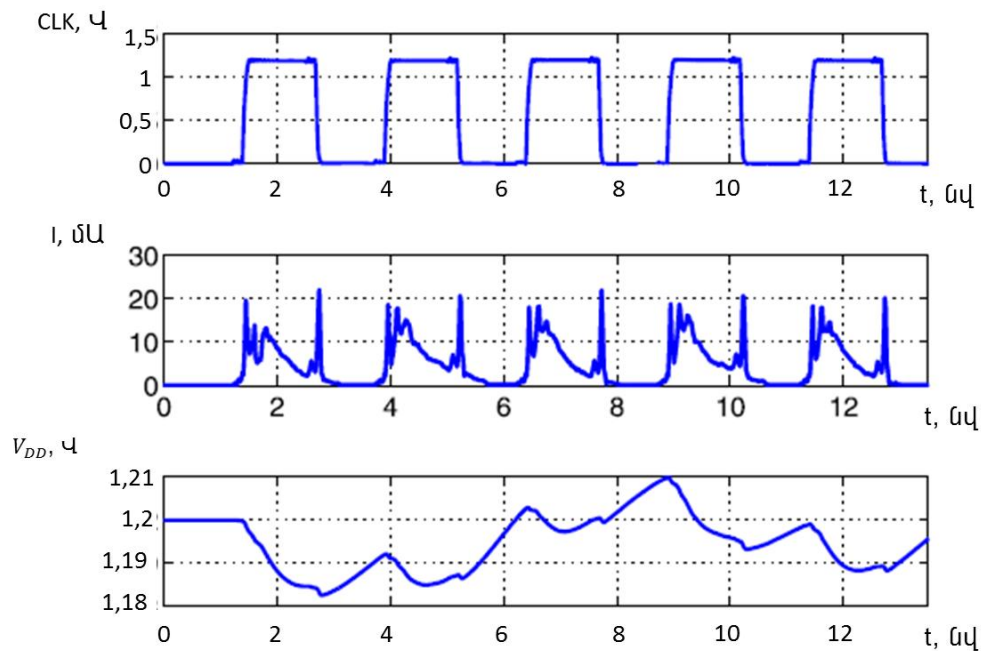
$$\Delta V_{IRանկում} = R_{սնման դող} \cdot i(t) : \quad (1.6)$$

$L_{պ}$ պարագիտայ ի ն ի նդ ու կ տի վ ու թ յ ամբ հոսող հոսանք ը ստեղծ ու մ է Լ րաց ու ց ի չ անկ ու մ՝

$$\Delta V_{di/dt} = L_{պ} \cdot \frac{di}{dt} : \quad (1.7)$$

Այ ս երկ ու բաղադր ի չ ն եր ի համադրման արդյ ու ն ք ու մ կարող ե ն առաջ ան ալ գ եր Լ ար ու մ ն եր , որոն ք կարող ե ն հանգեց ն ել սխեմայ ի աշխատանք ի խափանմանը: Սնման Լ արման շեղ ու մ ն եր ը կարող ե ն ազդել ն աև ԹՍ-ի հապաղ ու մ ն եր ի վրա: Յայ տն ի է [24], որ ԿՄՕԿ տրամաբանական փական ի հապաղ ու մ ը որոշ վ ու մ է հետևյալ կ եր պ՝

$$t_{փակ} \approx \frac{V_{DD}}{b(V_{DD}-V_{2th})^{\alpha}} , \quad (1.8)$$



Նկ .1.17. Սնման I արման z եղ ու մ ն եր ը

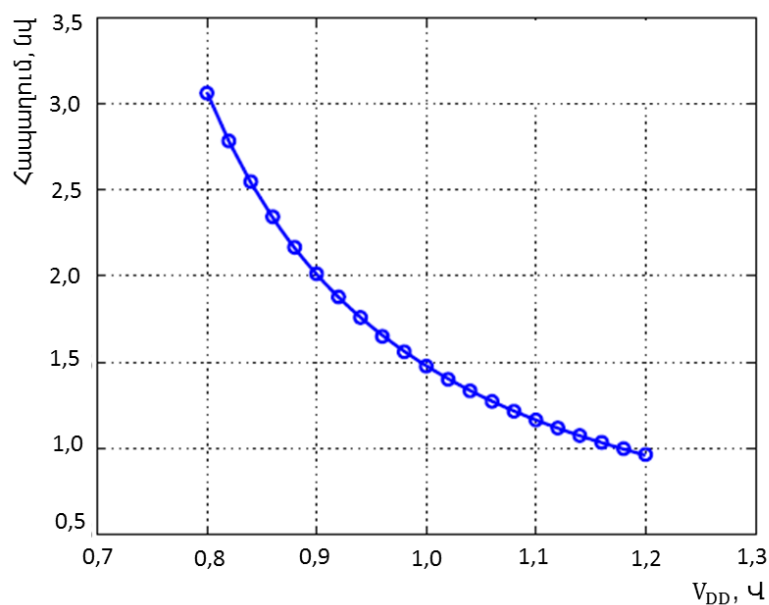
որտեղ a -ն և b -ն կոնկրետ փականին բնորոշ գործակիցներ են, իսկ V_{2th} -ը՝ շեմային լարումը։ Ազդանշանի տարածման ամբողջ ճանապարհի հապաղումը ստացվում է՝ գումարելով այդ ճանապարհում առկա բոլոր $S\Phi$ -ների հապաղումները։ Ելքային ազդանշանի հապաղումը մոտավորապես որոշվում է հետևյալ կերպ [106]՝

$$t_h = \frac{V_{DD}}{b'(V_{DD}-V_{2th}')^{a'}}, \quad (1.9)$$

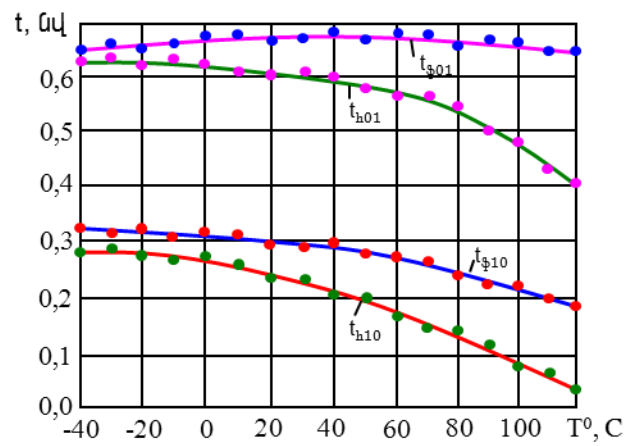
որտեղ a' -ը, b' -ը և V_{2th}' -ը ճանապարհին բնորոշ պարամետրերն են։ Նման եղանակով ստացված սնման լարման շեղումներից ազդանշանի հապաղման կախվածություննից (նկ . 1.18) [34,106] հետևում է, որ այդ ազդեցությունն էական է։ Ձերմաստիճանից կախված $S\Phi$ -ների հապաղումների փոփոխությունը նույնպես էական է (նկ .1.19) [34]:

Ճեռացման հետևանքով առաջացող փոփոխությունները ԻՍ-երի պարամետրերի անորոշությունների մյուս կարևոր աղբյուրն են: Տաք լիցքակիրների ինժեկցիայով (ՏԼԻ) և շեղման ջերմաստիճանի անկայունություններով (ՇՋԱ) պայմանավորած փոփոխությունները վերջիններիս շահագործման ընթացքում փոքրացնում են տրանզիստորների արագագործությունը:

ՏԼԻ-ն առաջանում է ՏՓ-ների փոխանջատման ժամանակ: Լիցքակիրները, արագանալով օքսիդի տակ առկա դաշտի ազդեցությամբ, ձեռք են բերում



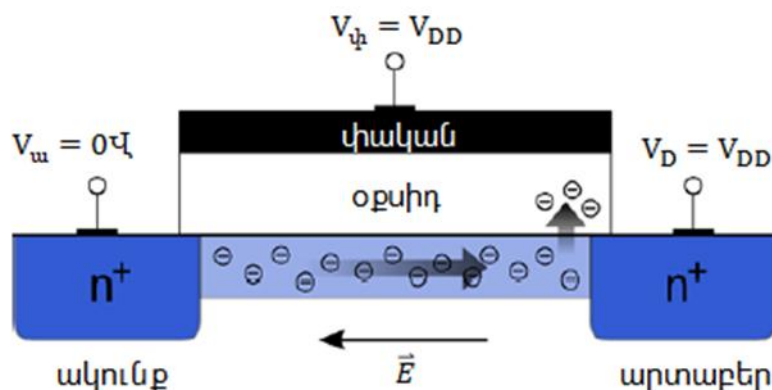
Նկ. 1.18. Սնման լարումից ՏՓ-ի հապաղման



Նկ . 1.19. Ձեռք մաս տի ճանից $S\Phi$ -ի ժամանակային
պարամետրերի կախվածությունը

փականի մեկուսիչ ինժեկտվելու համար բավարար
կիներտիկ էներգիա (նկ . 1.20) [34]: Արդյունքում՝
մեծանում է տրանզիստորի շեմային լարումը, և
փոքրանում դրա բեռնունակությունը:

SLH-ն ազդում է ինչպես $n\text{-MOS}$, այնպես էլ $p\text{-MOS}$
տրանզիստորների վրա: Փականի մեկուսիչ
ինժեկտվող փոքրաթիվ լիցքակիրները վնասում են
վերջինիս և կազմում տարածական լիցքեր:
Արդյունքում՝ վատթարանում են տրանզիստորի
բնութագրերը: Լիցքակիրների մնացած մասն ազդում
է փականի հոսանքի մեծության

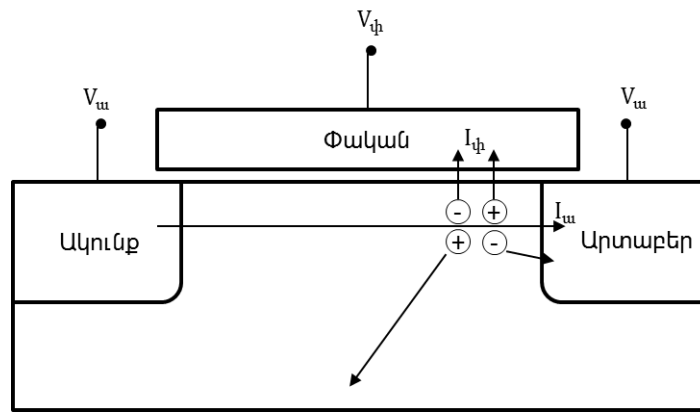


Նկ . 1.20. $n\text{-MOS}$ տրանզիստորի դեպքում տաք
լիցքակիրների ինժեկցիան

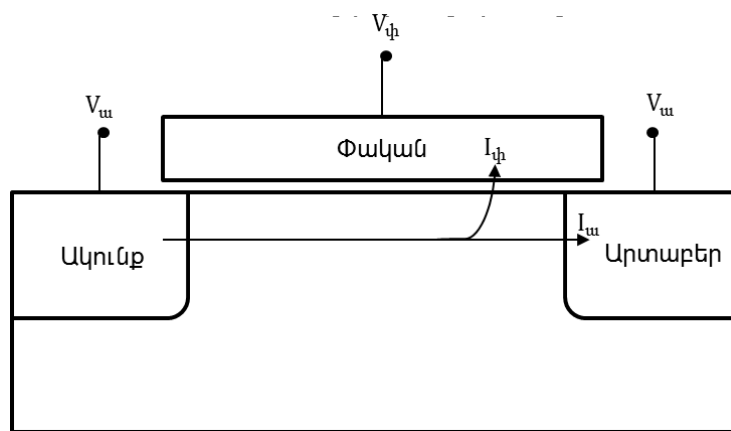
վրա: Լիցքակիրներն արագացվում են արտաբերականում $V_{\text{սա}}$ և արմամբ հակառակ շեղված հոսք ուղով: Արտաբերի տիրույթում և լիցքակիրները ձեռք են բերում Si/SiO_2 անցման պոտենցիալային արգելքը հաղթահարելու համար բավարար էներգիա: Այդ էպատճառը, որ SL-ի ձեռացման ոչ սիմետրիկ երևույթ է, որը վնասում է տրանզիստորի արտաբերի տիրույթը: Տարբերակվում են SL-ի առաջացման 4 մեխանիզմներ՝ պայմանավորված տարբեր բնույթի տաք և լիցքակիրներով՝ արտաբերի հեղեղման, հոսք ուղով, երկրորդային գեներացման և հարթակի:

Առաջին մեխանիզմի դեպքում իոնացման ազդեցության տակ բարձր էներգիայով օժտված լիցքակիրները, բախվելով Si -ի ատոմներին, գեներացնում են էլեկտրոն-խոռոչ զույգեր (նկ. 1.21): Այդ գեներացված լիցքակիրները, ինքնուրույն արագացվելով, ազդում են իոնացման վրա՝ առաջացնելով հեղեղանման երևույթ: Այս երևույթն առավել ազդու է ազդեցություն ունի այն դեպքում, երբ $V_{\text{սա}} = 2V_{\text{փա}}$:

Չհոսք ուղով տաք և լիցքակիրներով պայմանավորված մեխանիզմի դեպքում լիցքակիրների ինժեկտման պատճառն իոնացումը չէ: Այս դեպքում (նկ. 1.22) տաք լիցքակիրներն իրենք են ինժեկտվում օքսիդի տիրույթ: Փակակի բարձր և արման ազդե-



Նկ. 1.21. Արտաքերի հեղեղման տաք
լիցքակիրներով պայմանավորված



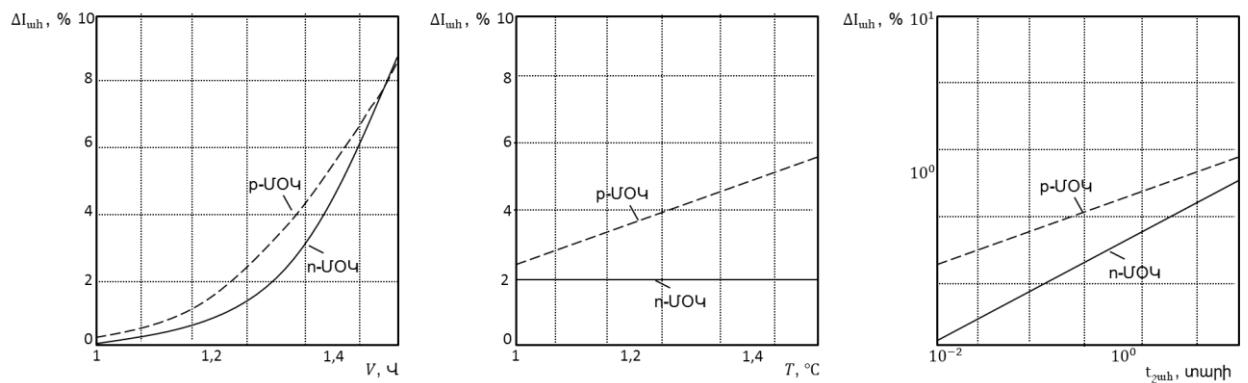
Նկ. 1.22. Հոսքով դուրս տաք լիցքակիրներով

ցուցումը դրանք արագացվում են փականի
ուղղությունը: Որոշ լիցքակիրներ հաղթահարում են
Si/SiO₂ անցման պոտենցիալային արգելքը և մտնում
օքսիդի տիրույթ: Այս երևույթն առավելագույն
ազդեցություն ունի այն դեպքում, երբ $V_{\omega\omega} = V_{\phi\phi}$:

ՏԼԻ-ն մեծացնում է տրանզիստորի շեմային $V_{2\text{հմ}}$
լարումը և փոքրացնում լիցքակիրների μ_0
շարժունակությունը: Արդյունքում՝ արտաքերի
հագեցման հոսանքը փոքրանում է հետևյալ չափով [107]

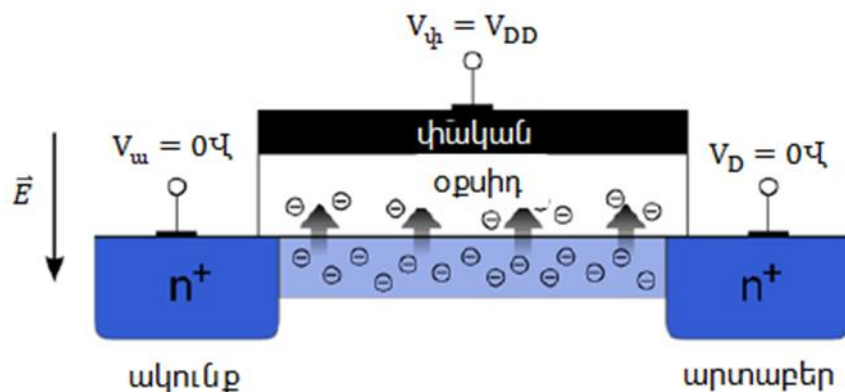
$$\Delta I_{\omega\omega} = \frac{I_{\omega\omega,\text{արտ}} - I_{\omega\omega,\text{հեղ}}}{I_{\omega\omega,\text{արտ}}} = A \cdot e^{\frac{E_s}{kT}} \cdot V_{\omega\omega}^b \cdot t_{2\omega\omega}^n \cdot L^{-m}, \quad (1.10)$$

որտեղ T -ն ջերմաստիճանն է, k -ն՝ Բոլցմանի հաստատունը, E -ն՝ էլեկտրական դաշտի լարվածությունը, $V_{\text{սա}}$ -ն՝ ակունք-արտաբեր լարումը, $t_{2\text{սա}}$ -ը՝ շահագործման ժամկետը, L -ը՝ տրանզիստորի փականի երկարությունը, b -ն, n -ը և m -ը՝ գործակիցներ: Արտաբերի հագեցման հոսանքի փոփոխությունը հիմնականում կախված է սնման լարումից, ջերմաստիճանից և տրանզիստորի շահագործման ժամկետից (նկ . 1.23) [107]:



Նկ . 1.23. Արտաբերի հոսանքի փոփոխությունը

ծեղման ջերմաստիճանի անկայունության (ՇՋԱ) պատճառը ուղղաձիգ դաշտն է և, հետևաբար, առկա է, երբ կիրառվում են բարձր $V_{\text{փ}}$ և ցածր $V_{\text{սա}}$ լարումներ (նկ . 1.24) [107]:



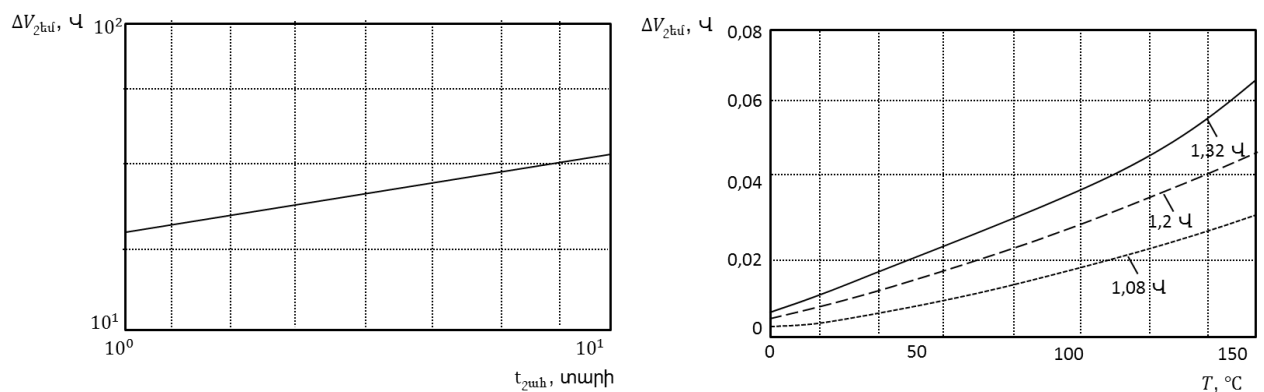
Նկ . 1.24. n-MOSFET տրանզիստորի դեպքում շեմային ջերմաստիճանի անկայունությունները

Արդյունքում՝ մեծանում է տրանզիստորի շեմային լարումը, և փոքրանում՝ արագությունը:

ԾՋԱ-ն ազդում է p-ՄՕԿ տրանզիստորների վրա: Նորմալ փակ p-ՄՕԿ տրանզիստորն ունի բացասական շեմային $V_{2\text{th}}$ լարում: ԾՋԱ-ի պատճառով $V_{2\text{th}}$ -ը դառնում է ադեկի բացասական: Այդ փոփոխությունը բնութագրվում է հետևյալ կախվածությամբ [107]՝

$$\Delta V_{2\text{th}} = A \cdot e^{\frac{E_a}{kT}} \cdot V_{\text{ph}}^b \cdot t_{2\text{uh}}^n \cdot \frac{1+C}{W}, \quad (1.11)$$

որտեղ C -ն հաստատուն գործակից է: Ծեմային լարման փոփոխությունը հիմնականում կախված է շահագործման $t_{2\text{uh}}$ ժամանակից և T շերմաստիճանից (նկ. 1.25) [107]:



Նկ. 1.25. Ծեմային լարման փոփոխությունը

Այսպիսով, ԻՍ-երի պարամետրերի անորոշությունների հիմնական աղբյուրների դիտարկումից հետևում է, որ ենթամիկրոնային տեխնոլոգիաների դեպքում դրանց բոլորի ազդեցությունները էական են:

Սակայն ոչ պակաս կարևոր է նաև այն հանգամանքը, որ տեխնոլոգիաների զարգացումը հանգեցնում է ԻՍ-ի պարամետրերի հարաբերական

անորոշ ու թյ ու ն ն երի անընդհատ մեծացմանը (աղ . 1.1 [32]):

Մինչ ե ն թամիկրոնային տեխնոլոգիաներով պատրաստվող թվային ԻՍ-երի նախագծման ավանդական գործընթացում (նկ . 1.26) նախագծի ստուգման համար կիրառվում էր «վատագույն դեպքում» ստուգման տեխնիկան [84]: Սակայն հայտնի է [11], որ այսպիսի մոտեցումը ե ն թամիկրոնային թվային ԻՍ-երի պարագայում ապահովում է չափազանց կոնսերվատիվ մոտեցում:

Ե ն թամիկրոնային ԻՍ-երի պարագայում անպայմանորեն անհրաժեշտ է կիրառել այնպիսի նախագծման գործընթաց, որի դեպքում անորոշ ու թյ ու ն ն երը հաշվի առնելն առաջնայն ու թյ ու ն է: Բոլոր դեպքերում նախագծման ընթացքում պետք է հաշվի առնվի այն ամենը, ինչ հայտնի է, ե ն թադրոն ու թյ ու ն ն եր կատարվեն այն ամենի մասին, ինչ անհայտ է, և արդյունքում՝ հնարավորինս ճիշտ կանխագուշակվեն ԻՍ-ի արագագործ ու թյ ու ն ը բնորոշող պարամետրերը: Այդպիսի մոտեցման դեպքում կարևորագույն հանգամանքը պարամետրերի զգայն ու ն ու թյ ան ճիշտ որոշումն է, քանի որ դրանք հնարավոր ու թյ ու ն ե ն ը ն ձեռում կանխագուշակելու, թե ինչ տեղի կ ու ն ե ն ա, երբ ԻՍ-ի ինչ-որ պարամետր իր հայտնի արժեքից օրն է ու ղ ու թյ ամբ ինչ-որ չափով շեղվի:

Աղյ ու ս ա կ 1.1

Տեխնոլոգիաների մասշտաբավորմանը գ ու գ ը ն թ ա գ
անորոշ ու թյ ու ն ն երի աճը

Տեխնոլոգիա (նմ)	Topu (A)	$\Delta Topu(A)$	$\frac{\Delta Topu}{Topu} (\%)$	L (նմ)	ΔL (նմ)	$\frac{\Delta L}{L} (\%)$
130	22	1	4,5	130	5	3,8
90	16	1	6,3	90	5	5,6
65	12	1	8,3	65	5	7,7
45	10	1	10,0	40	5	12,5
32	8	1	12,5	25	5	20,0
28	6	1	16,6	24	5	20,8
14	5	1	20,0	22	5	22,7
10	4	1	25,0	16	5	31,3

Այս պիսոնով, ժամանակակից թվային ԻՍ-երի նախագծման ընթացքում անպայման պետք է հաշվի առնվեն անորոշությունները, հակառակ դեպքում նախագիծը կարող է բազմաթիվ անգամ ԻՍ-ի փորձնական արտադրության փուլից վերադառնալ վերանախագծման: Հարկանշական է նաև այն հանգամանքը, որ ԿՍ-երի չափերի փոքրացմանը գուցե ընթաց` անորոշությունները հարաբերականորեն ավելի են մեծանում: Բացի այդ, տեխնոլոգիական գործընթացների չափերի փոքրացումը հանգեցնում է ինչպես օգտակար, այնպես էլ պարազիտային տարրերի արժեքների կախվածությունը դրանց միջավայրից:

Այդպիսի անորոշությունների օրինակներն են`

- արտադրված ԻՍ-ի յուրաքանչյուր հատվածի երկրաչափական չափերի կախվածությունները տեղային և իտոգրաֆիայի և խաճատման միջավայրից,

- բջջի հնարավոր դիրքը (հորիզոնական կամ ուղղահիգ) ԻՍ-ում,
- մետաղական և կիսահաղորդչային շերտերի հաստություն կախվածությունը տեղային հարթեցման միջավայրից,
- ԿՍ-ի և միջմիացման չափերի կախվածությունն օպտիկական դաշտում տեղակայման հատվածից,
- տեղակայման և խաժատման քայլերի փոփոխությունը վեյֆերի մակերևույթով,
- սխեմաների արագագործության կախվածությունը սնման լարումներից, շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանից, որոնք փոփոխվում են ԻՍ-ի աշխատանքի ընթացքում,
- ԻՍ-ի պարամետրերի կախվածությունները դրա շահագործման ընթացքում նյութերի հատկությունների դանդաղ փոփոխություններից, օրինակ՝

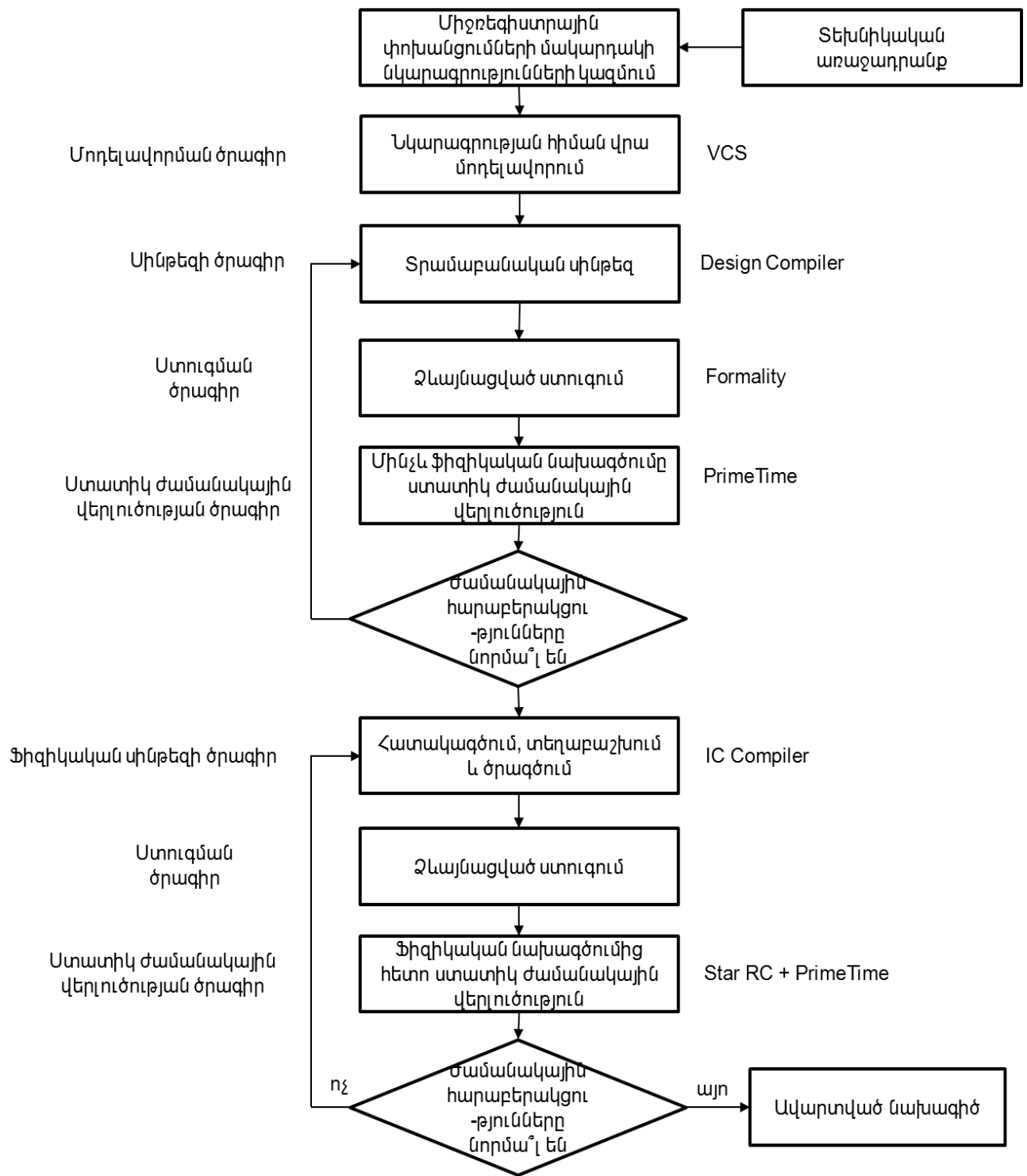
Էլեկտրամիգրացիայից:

Կարող են լինել նաև վերը նշված կետերում չընդգրկված վիճակագրական բնույթի այլ փոփոխություններ:

Նշված գործոններին մի մասը (օրինակ՝ լիտոգրաֆիայի միջավայրը) կարող է հայտնի լինել նախագծման ընթացքում: Որոշ գործոններ կարող են լինել դժվար կանխագուշակելի, քանի դեռ նախագծումն ավարտված չէ (օրինակ՝ հարթեցման միջավայրը): Որոշները (լարումը և ջերմաստիճանը) փոփոխվում են ԻՍ-ի աշխատանքի ընթացքում, դրանց մի մասը (օրինակ՝ Էլեկտրամիգրացիան) հայտնի չեն

Նույնիսկ ԻՍ-ի մի քանի տարի շահագործելուց հետո :
Դրանցից մի մասն էլ (օրինակ՝ կիսահաղորդչային
բյուրեղի դիրքը վեյֆերի վրա) ընդհանրապես
հնարավոր չէ վերահսկել :

Անորոշ ությունները կարող են ազդել ԻՍ-ի
բոլոր մակրոպարամետրերի վրա: Չնայած այդ
հանգամանքին՝ պարզ ության նպատակով նկ. 1.27-ում [9]
բերված օրինակում ցույց է տրված
անորոշ ությունների ազդեցությունը ԻՍ-ի միայն
ժամանակային պարամետրերի վրա: Նոյն ձևով
կարելի է ցուցադրել անորոշ ությունների
ազդեցությունն ԻՍ-ի էներգասպառման և պիտանի
միկրոսխեմաների ելքի տոկոսի վրա: Նկ. 1.27ա-ում
ցույց է տրված, որ տեխնոլոգիական շեղումների
արդյունքում տրանզիստորի դիրքը կարող է շեղվել
1մկմ-ի չափով: Արդյունքում՝ այն բջիջների (նկ. 1.27բ,
գ), որոնցում կարող է

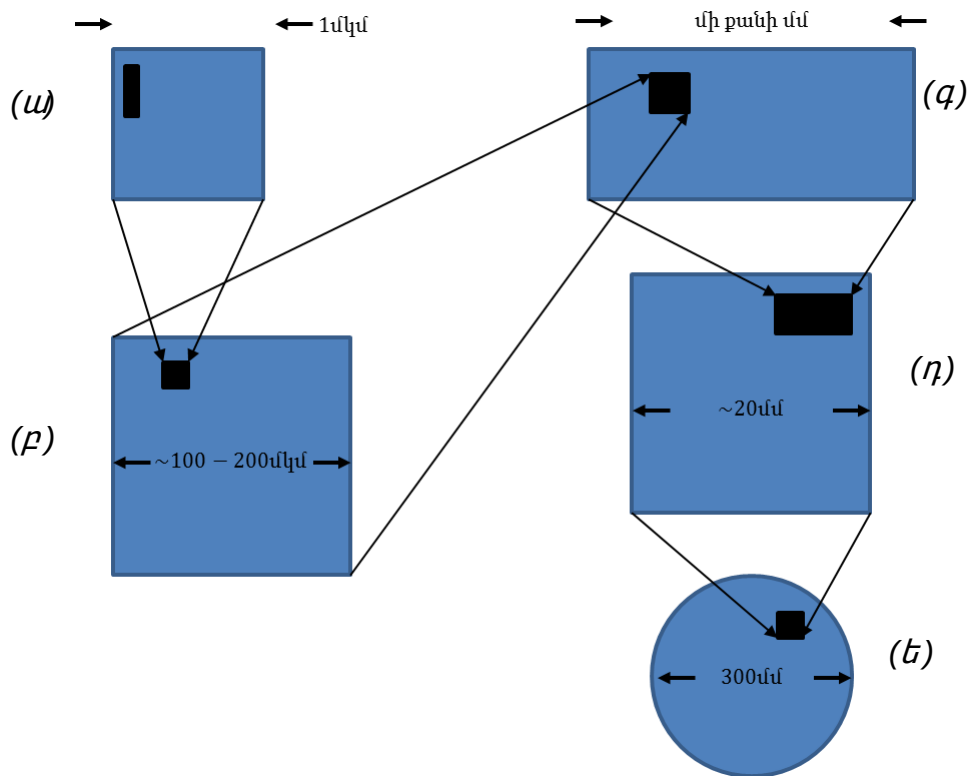


Նկ . 1.26. Թվային ԻՍ-երի նախագծման
ավանդական գործընթացը

տեղակայվել այդ տրանզիստորը, չափերը կարող են փոփոխվել արդեն հարյուրավոր մկմ-երով, իսկ ԻՍ-ի

չ ափե ր ը ք յ ու ր եղ ու մ՝ ար դ ե ն մ մ -ե ր ո վ ,ի ն չ ը գ գ ալ ի է
Ի Ս -ի չ ափե ր ի հ ա մ ե մ ա տ ու թ յ ա մ ք :

Ա յ ս ա փ ս ո վ , Ի Ս -ե ր ի պ ա ր ա մ ե տ ր ե ր ի
ա ն ո ր ո շ ու թ յ ու ն ն ե ր ի ա գ դ ե ց ու թ յ ու ն ը դ ր ա ն ց
ք ն ու թ ա գ ր ե ր ի վ ր ա ե ն թ ա մ ի կ ր ո ն ա յ ի ն
տ ե խ ն ո լ ո գ ի ա ն ե ր ի դ ե պ ք ու մ դ ա ր ձ ե լ է վ ճ ո ո ր ո շ .



Ն կ . 1.27. Ն ա խ ա գ ծ ի ա ն ո ր ո շ ու թ յ ու ն ն ե ր ը .

ա) տ ր ա ն գ ի ս տ ո ր ն ե ր ի դ ի ր ք ը ք ջ ջ ու մ , ք) և գ)

ք ջ ի ջ ն ե ր ի դ ի ր ք ը ա վ ե լ ի ք ա ր ձ ր

մ ա կ ա ր դ ա կ ի ք ջ ջ ու մ , դ) ք ջ ջ ի վ ե ր ջ ն ա կ ա ն

հ ե տ ա գ ա տ ե խ ն ո լ ո գ ի ա ն ե լ լ մ ա ս շ տ ա ք ա վ ո ր ու մ ը
հ ա ն գ ե ց ն ու մ է ա յ դ ա գ դ ե ց ու թ յ ա ն է ա կ ա ն ա ճ ի ն , և
դ ր ա ն ք հ ա շ վ ի ա ո ն ե լ ը Ի Ս -ի ն ա խ ա գ ծ մ ա ն
գ ո ր ծ ը ն թ ա ց ու մ ծ ա յ ր ա հ ե ղ ա ն հ ր ա ժ ե շ տ ու թ յ ու ն է ,
ք ա ն ի ո ր հ ա կ ա ո ա կ դ ե պ ք ու մ կ ա ր ո ղ ե ն ս տ ա ց վ ե լ
ն ա խ ա գ ծ մ ա ն ո չ մ ի ա յ ն ք ա ն ա կ ա կ ա ն , ա յ լ և ո ր ա կ ա կ ա ն
ս խ ա լ ն ե ր :

1.2. Պարամետրերի անորոշումը

**պայմաններում հետազոտված մաների
նախագծման միջոցների արդի
լուծումները և հիմնախնդիրները**

Չնայած պարամետրերի անորոշումը պայմաններում ԻՍ-երի նախագծման առկամիջոցների մեծ բազմազանությունը, վերջիններիս սկզբունքային թերությունների պատճառով դրանք լայն կիրառում չեն գտել իրական ԻՍ-երի նախագծման պրակտիկայում: Դա վերաբերում է ԻՍ-երի պարամետրերի անորոշումների բոլոր աղբյուրներին (նկ. 1.6), սակայն ստորև այդ բարդությունները նկարագրված են միայն ՍԺՎ և ծերացման հետևանքով առաջացող փոփոխությունների վերլուծության (ՃՓՎ) առկամիջոցների օրինակի վրա:

1.2.1. Պարամետրերի անորոշումը հաշվի

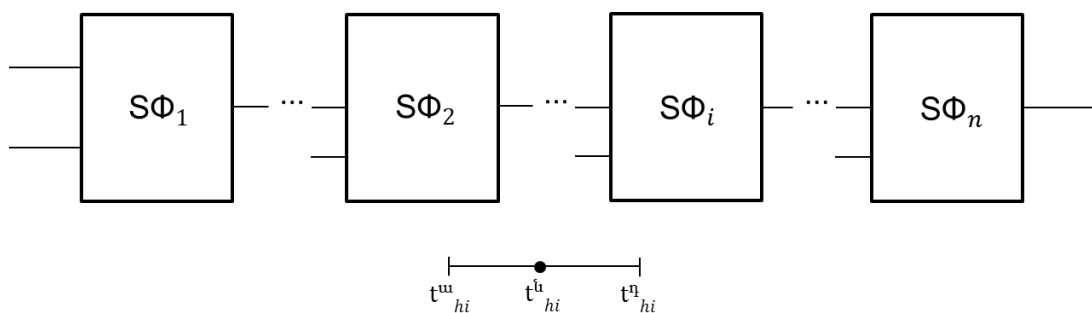
առնող զանակները ստատիկ

**ժամանակային վերլուծության առկա
միջոցներում**

Պարամետրերի անորոշումը ՍԺՎ ժամանակ հաշվի են առնվում հետևյալ եղանակներով.

ա) Թվային ԻՍ-ի աշխատանքի վատագույն դեպքերի դիտարկում.

Առկա միջոցներին այս խմբում (նկ . 1.28) [22,23,46,55] ՍԺՎ-ն իրականացվում է նախագծման տարբեր ծայրագույն դեպքերի (արագ, նոմինալ և դանդաղ) դիտարկմամբ: Օրինակ, արագ դեպքը հաշվարկվում է օգտագործելով բոլոր $S\Phi$ -ների պարամետրերն արագ դեպքերում և կատարելով սովորական դետերմինիստական ժամանակային վերլուծություն: Վատագույն դեպքում իրականացվող վերլուծությանը բնորոշ մեծ սխալի նվազարկման նպատակով արագ, դանդաղ և նոմինալ ժամանակային վերլուծության դեպքերում ստացված արդյունքները նույնպես կարող են համակցվել: Հաշվողական տեսանկյունից այս մոտեցումն արդյունավետ է, քանի որ հաշվարկների քանակն էապես նվազում է, սակայն ճշտությունը փոքր է: Վատագույն դեպքի մոտեցումն ավանդաբար օգտագործվել է արտադրական նշանակության նախագծերում, սակայն թվային ԻՍ-երի տարբեր ժամանակային պարամետրերի շեղում -



$$t^w_h = \sum_{i=1}^n t^w_{hi}, \quad t^l_h = \sum_{i=1}^n t^l_{hi}, \quad t^{\eta}_h = \sum_{i=1}^n t^{\eta}_{hi}$$

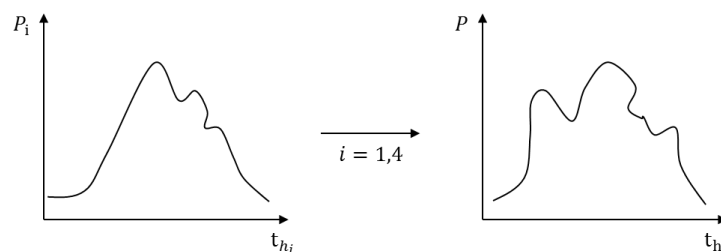
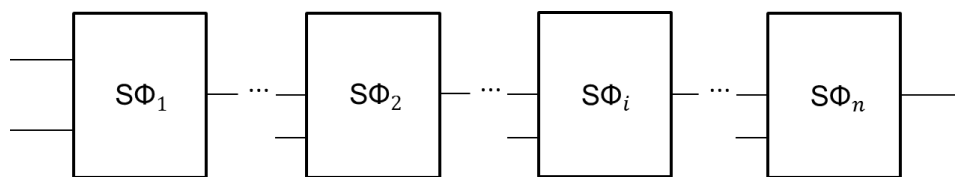
Նկ . 1.28. Թվային ԻՍ-ի աշխատանքի
վատագույն դեպքերի դիտարկումը

ն եր ի մ ե ծ ա գ մ ա ն ը գ ու գ ը ն թ ա գ ա յ ն դ ա ր ձ ե լ է ո չ
կ ի ր առ ե լ ի: Ա վ ե լ ի ն, ա յ ս դ ա ս ի ե ղ ա ն ա կ ն եր ը
կ ի ր առ ե լ ի ս տ վ յ ա լ ն եր ի և ս ի ն ք ռ ո ա գ դ ա ն շ ա ն ն եր ի
տ ա ր ա ծ մ ա ն ճ ա ն ա պ ա ր հ ն եր ի հ ա պ ա ղ ու մ ն եր ը
մ ա ս շ տ ա ք ա վ ո ղ ու մ ե ն տ ա ր ք եր չ ա փ եր ո վ`
օ գ տ ա գ ո ղ ե լ ո վ փ ո ղ ն ա կ ա ն ո ղ ե ն ս տ ա գ վ ո ղ տ ա ր ք եր
գ ո ղ ա կ ի ց ն եր: Դ ա դ առ ն ու մ է ա ն ճ շ տ ու թ յ ու ն ն եր ի
լ ռ ա գ ու ց ի չ ա ղ ք յ ու ը:

բ) Թ վ ա յ ի ն Ի Ս - եր ի վ ի ճ ա կ ա գ ռ ա կ ա ն ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն
վ եր լ ու ծ ու թ յ ու ն.

Չ ա յ տ ն ի ե ն թ վ ա յ ի ն Ի Ս - եր ի վ ի ճ ա կ ա գ ռ ա կ ա ն
ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն վ եր լ ու ծ ու թ յ ա ն (Վ Ժ Վ) տ ա ր ք եր
մ ո տ ե ց ու մ ն եր (ն կ. 1.29) [56,68,87,92]: Վ եր ա գ ու գ ա մ ի տ վ ո ղ
ճ յ ու ղ ա վ ո ղ մ ա ն գ ո ղ ա կ ի ց ն եր ի պ ա տ ճ առ ո վ մ շ ա կ վ ե լ
ե ն Վ Ժ Վ տ ա ր ք եր մ ո տ ե ց ու մ ն եր, ս ա կ ա յ ն դ ռ ա ն ց
ք ո լ ո ղ ի ն ք ն ո ղ ո շ է է ք ս պ ո ն ե ն ց ի ա լ ք ա ղ ու թ յ ու ն ը:
Ա յ դ դ ժ վ ա ղ ու թ յ ա ն հ ա ղ թ ա հ ա ղ մ ա ն ն պ ա տ ա կ ո վ Տ Փ - ն եր ի
հ ա պ ա ղ ու մ ն եր ն ու ա գ դ ա ն շ ա ն ի առ ա ջ ա գ մ ա ն պ ա հ եր ը
[68]- ու մ մ ո դ ե լ ա վ ո ղ վ ե լ ե ն ո ղ պ ե ս ա ն կ ա խ դ ի ս կ ղ ե տ
պ ա տ ա հ ա կ ա ն փ ո փ ո խ ա կ ա ն ն եր, ի ս կ վ եր ա գ ու գ ա մ ի տ վ ո ղ
ճ յ ու ղ ա վ ո ղ մ ա ն գ ո ղ ա կ ի ց ն եր ը հ ա շ վ ի չ ե ն առ ն վ ե լ:
Դ ռ ա փ ո խ ա ղ ե ն հ ա շ վ ի ե ն առ ն վ ե լ կ ե ղ ծ ա գ դ ա ն շ ա ն ն եր ի
տ ա ր ա ծ մ ա ն ճ ա ն ա պ ա ր հ ն եր ը [68]: [92]- ու մ առ ա ջ ա ղ վ ա ծ
ե ղ ա ն ա կ ի դ ե պ ք ու մ վ եր ա գ ու գ ա մ ի տ վ ո ղ
ճ յ ու ղ ա վ ո ղ մ ա ն գ ո ղ ա կ ի ց ն եր ի առ կ ա յ ու թ յ ա ն
պ ա ղ ա գ ա յ ու մ հ ա շ վ ա ղ վ ու մ ե ն ճ շ գ ղ ի տ լ ու ծ մ ա ն
ի ն չ պ ե ս ն եր ք ի ն, ա յ ն պ ե ս է լ վ եր ի ն ս ա հ մ ա ն ն եր ը:
Ց ու յ ց է տ ղ վ ա ծ, ո ղ վ եր ա գ ու գ ա մ ի տ վ ո ղ
ճ յ ու ղ ա վ ո ղ ու մ ն եր ը հ ա շ վ ի չ առ ն ո ղ Վ Ժ Վ - ն ի ղ ա կ ա ն

հապաղման ներքին սահմանն է: Այնուամենայնիվ, այդ եղանակի դեպքում ընտրված հանգույցների թվարկման մեթոդը, որը կիրառվում է լավարկված սահմաններ ստանալու նպատակով, դժվարացնում է մեծ թվով տարրեր պարունակող թվային ԽՍ-երի վերլուծությունը և վատագույն դեպքում բնորոշվում է էքսպոնենցիալ կատարման ժամանակով: Այդ տիպի մոտեցումների մյուս կարևոր թերությունն այն է, որ ինչպես $S\Phi$ -ների հապաղումները, այնպես էլ ազդանշանների ստացման պահերն այդ դեպքում դիտարկվում են որպես հավանականությունների բաշխման դիսկրետ ֆունկցիաներ:



Նկ. 1.29. Թվային ԽՍ-ի վիճակագրական ժամանակային վերլուծությունը

Այս դեպքում ՍԺՎ-ի ժամանակ կիրառվող հիմնարար գործողությունը՝ երկու ազդանշանների ստացման պահերի վիճակագրական առավելագույնի հաշվարկը, արդյունավետ է:

Ի հակակշիռ վերը նշված եղանակների՝ [56]-ում առաջարկված է ազդանշանների տարածման

ճանապարհների վրա հիմնված մոտեցումը : Ազդանշանի տարածման յուրաքանչյուր ճանապարհի հապաղում մոդելավորվել է որպես առանձին ՏՓ-ների հապաղումների գումար, իսկ յուրաքանչյուր ՏՓ-ի հապաղումը ներկայացվել է որպես պատահական փոփոխականների ֆունկցիա: Համարելով, որ ՏՓ-ի հապաղման շեղումները փոքր են դրանց նոմինալ արժեքից, կիրառվել է գծային վիճակագրական մոդել, ինչն արդյունավետորեն կարող է գումարվել ճանապարհի հապաղմանը : Այնուամենայնիվ, սխեմայի հապաղման ստացման նպատակով հաշվարկվել է վիճակագրական առավելագույնը՝ համարելով, որ ազդանշանի տարածման ճանապարհներն անկախ են, ինչն ընդհանուր դեպքում ճիշտ չէ : Ազդանշանների տարածման ճանապարհների վրա հիմնված մոտեցումների մյուս թերությունն այն է, որ պահանջվում է մեծաթիվ ճանապարհների դիտարկում, ինչը վատագույն դեպքում կարող է լինել էքսպոնենցիալ :

[87]-ում նկարագրված է, թե ինչպես կարելի է իրականացնել թվային ԻՍ-երի օպտիմալացում՝ անորոշությունները հաշվի առնելով դիտարկելով ազդանշանների տարածման մեծաթիվ համարժեք ճանապարհները : Սակայն այդ մոտեցման դեպքում գործնականում անհնար է ՎԺՎ-ի կիրառումը :

1.2.2. Պարամետրերի անորոշությունը հաշվի

առնող եղանակները ծերացման հետևանքով

առաջացող փոփոխություններին

վերլուծության առկամիչոցներում

ԾՓՎ առկամիչոցներից [15,79,107,108] առավել մեծ կիրառություն են գտել սխեմատեխնիկական և տրամաբանական (փականային) մակարդակի ծրագրային փաթեթները: ԾՓՎ-ի սխեմատեխնիկական մակարդակի միջոցներում [15,79] սխեմաների պարամետրերի վատթարացումը որոշվում է հետևյալ ընթացակարգով.

1. Սխեմային ախնական տարբերակի մոդելավորման միջոցով ստացվում են հոսանքների և լարումների փոփոխություններին տեսքերը տրանզիստորներին ելուստներում, որոնք հետագայում օգտագործվում են ԿՍ-ի պարամետրերի վատթարացման կանխագուշակման նպատակով:
2. Ստացված ազդանշաններն օգտագործվում են յուրաքանչյուր ԿՍ-ի պարամետրերի ծերացման հետևանքով վատթարացման մոդելների ստեղծման նպատակով:
3. Օգտագործելով ԿՍ-երի երկրորդ քայլում ստացված ծերացման մոդելները՝ սխեմատեխնիկական երկրորդ մոդելավորման միջոցով որոշվում է ամբողջ սխեմայի բնութագրերի վատթարացման չափը:

Օրինակ, այս դասի լավագույնը համարվող ծրագրային գործիքային միջոցներից մե-

կում՝ BERT-ում [16], որը հնարավորություն է ընձեռում մոդելավորելու ինչպես SLՅ-ն, այնպես էլ ՇՁԱ-ն,

որոշվում են ակունքի $I_w(t)$, փականի $I_p(t)$ և հարթակի $I_{\text{հարթ}}(t)$ հոսանքները: Երկրորդ քայլով դրանց հիման վրա որոշվում է յուրաքանչյուր տրանզիստորի պարամետրերի վատթարացման չափը [107]՝

$$\Delta_{n-VOH} = \int_0^{t_{2wh}} \frac{I_w(t)}{W \cdot A_n} \cdot \left(\frac{I_{\text{հարթ}}(t)}{I_w(t)} \right)^{C_n} \cdot dt, \quad (1.12)$$

$$\Delta_{p-VOH} = \int_0^{t_{2wh}} \frac{1}{A_p} \cdot \left(\frac{I_p(t)}{W} \right)^{C_p} \cdot dt, \quad (1.13)$$

որտեղ W -ն տրանզիստորի փականի լայնությունն է, իսկ A_n , A_p , C_n , C_p գործակիցները յուրաքանչյուր տեխնոլոգիայի դեպքում որոշվում են փորձնական ճանապարհով: t_{2wh} -ը տրանզիստորների շահագործման տևողությունն է: Բնականաբար, սխեման հնարավոր չէ մոդելավորել դրա շահագործման ամբողջ t_{2wh} ժամկետի համար: Այդ պատճառով սովորաբար սխեման մոդելավորվում է ավելի կարճ ժամանակահատվածի համար, որից հետո ստացված արդյունքների հիման վրա Δ_{n-VOH} -ը և Δ_{p-VOH} -ը ստացվում են էքստրապոլյացիայի միջոցով: ԿՍ-երի պարամետրերի վատթարացման մոդելների ստացման նպատակով BERT [25] ծրագրային գործիքային միջոցով կատարվում է իրական ԿՍ-ի համար չափումների միջոցով ստացված

$$\Delta = f(t_{2wh}) \quad (1.14)$$

կախվածություն մոտարկումը: Դրանից հետո այն օգտագործվում է սխեմայի բնութագրերի վատթարացման չափը մոդելավորելու նպատակով:

Սեկայլ ծրագրային գործիքային միջոցով՝ ELDO [79]-ում, ԿՍ-ի պարամետրերի վատթարացման որոշման նպատակով կիրառվում է իտերատիվ մոտեցում: t_{2wh} -ը

բաժանվում է հավասար տևողությամբ n
ժամանակահատվածներին: Վերը նշված առաջին երկու
քայլերն իրականացվում են յուրաքանչյուր
ժամանակահատվածի համար: Այդ ճանապարհով հաշվի
է առնվում վատթարացված ազդանշաններին
ազդեցությունը պարամետրերի վրա: [108]-ում
կիրառված է նույն մոտեցումը, բայց
ժամանակահատվածներին փոփոխական
տևողություններին դեպքում:

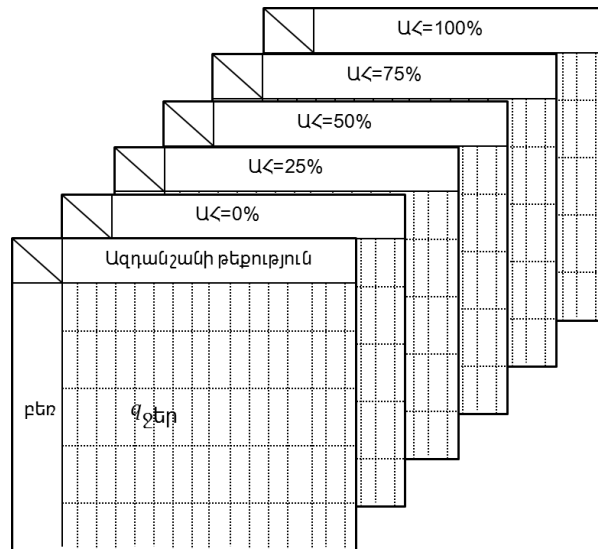
Սակայն նկարագրված ծրագրային գործիքային
միջոցներն ունեն կարևոր թերու -
թյուն, այն է՝ պարամետրերի վատթարացման չափը
բնորոշող հավասարումները կազմվում են միայն
մասնավոր դեպքերի համար և համապիտանի չեն: Բացի
այդ, չնայած սխեմատեխնիկական մակարդակի ՇՓՎ-
ները հաճախապահովում են արդյունքների բավարար
ճշտություն, սակայն դրանք պահանջում են
հաշվարկներին համար անհրաժեշտ մեքենայական
ժամանակի և հիշողության անթույլատրելի մեծ
ծախսեր: Մյուս կարևոր թերությունն այն է, որ
պահանջվում է իրական մուտքային վեկտորների
կիրառում: ՇՓՎ-ի առաջին քայլում անհրաժեշտ են
մուտքային վեկտորներ, որոնք կապահովեն
վատթարացման իրականին բավականին մոտ
արդյունքներ: Այդ հանգամանքը բավականին լուրջ
սահմանափակում է: Նշված թերությունները խիստ
սահմանափակում են սխեմատեխնիկական մակարդակի
ՇՓՎ ծրագրային գործիքային միջոցների

կիրառումը ԻՍ-երի իրական նախագծման գործընթացում:

ՇՓՎ-ի տրամաբանական մակարդակի միջոցները [107,108] հիմնված են սխեմատեխնիկական միջոցների օգնությամբ բնութագրմամբ (բազմակի մոդելավորմամբ) ստացվող և ծերացման հանգամանքը հաշվի առնող ՏՓ-ների մոդելների վրա: Դրանցում հաճախակի կիրառվում է ազդանշանների տարածման ճանապարհների վերլուծությունները [107], որում սխեմատեխնիկական մոդելավորման ծրագրային միջոցը (օրինակ՝ HSPICE [107]-ը) օգտագործվում է ՏՓ-ների ծերացումը հաշվի առնող իսկության աղյուսակների ստացման նպատակով (նկ. 1.30) [108]: Հաշվի են առնվում տարբեր գործոններ, ինչպիսիք են շահագործման ժամկետը, շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանը կամ ազդանշանների տրման հավանականությունները: Այս մոտեցման դեպքում ստացվում են մեծաքանակի իսկության աղյուսակներ: Օրինակ, երբ անհրաժեշտ է հաշվի առնել իսկության աղյուսակները ազդանշանների հավանականությունների (ԱՀ) հինգ տարբեր արժեքների համար, ապամեկ մոլտքանի ՏՓ-ի դեպքում անհրաժեշտ են հինգ իսկության աղյուսակներ (նկ. 1.30) [108]: Երեք մոլտքանի փականն այդ դեպքում արդեն կբնութագրվի 125 իսկության աղյուսակներով, ինչը կազմում է բավականին մեծ թիվ: Հայտնի է, որ թվային ստանդարտ բջիջների գրադարաններում [106] հաճախ տարրերն ունեն ավելի մեծ թվով մոլտքեր, ինչն

ավելի է մեծացնում իսկությունն աղյուսակների քանակը:

ՏՓ-ի ծերացումը հաշվի առնող առավել տարածված տրամաբանական



Նկ. 1.30. Ծերացումը հաշվի առնող

իսկությունն աղյուսակի վրա հիմնված ՏՓ-

մակարդակի GLACIER [15] մոդելում, որը հաշվի է առնում SL 3-ն, օգտագործված է [79]

$$\gamma = \frac{t_{h, \delta t_p}}{t_{h, \text{unp}}} \quad (1.15)$$

գործակիցը, որում նոր ՏՓ-ի $t_{h, \text{unp}}$ և ծերացած ՏՓ-ի $t_{h, \delta t_p}$ հապաղումները որոշվում են մոդելավորման միջոցով: Չայտնի է [24], որ $t_{h, \text{unp}}$ -ը կախված է մոլտքային ազդանշանի թեքությունից և ելքային բեռի C_F ունակությունից: Բազմամոլտքանի ՏՓ-ների դեպքում $t_{h, \delta t_p}$ -ը կախված է յուրաքանչյուր մոլտքում ազդանշանի տրման հավանականությունից: Պարզեցման նպատակով ենթադրվում է, որ յուրաքանչյուր մոլտքի համար ՏՓ-ի հապաղումը կարող է հաշվարկվել՝ առանձին-առանձին հաշվի

առնելով յոլորաքանչյոլոր մոլտքի փոխանջատման ազդեցոլթյոլունը [108]՝

$$\gamma = (\sum_{i=1}^n \gamma_i) - (n - 1), \quad (1.16)$$

որտեղ n -ը հաջորդաբար միացված տրանզիստորների քանակն է, իսկ γ_i -ն՝ մեկ (i -րդ) մոլտքի ներդրումը, երբ այդ մոլտքը փոխանջատվում է: Սակայն այս մոտեցման դեպքում անտեւվում են մյոլս մոլտքերի բեռնվածոլթյոլունը և ՏՓ-ի ներքին կառոլցվածքի ազդեցոլթյոլունը պարամետրերի վատթարացման վրա:

Այս մոտեցման մյոլս կարևոր թերոլթյոլունն այն է, որ սխեմատեխնիկական մակարդակի մոդելավորման ծրագիրն օգտագործվում է ՏՓ-ների գրադարանի բնոլթագրման համար: Այդ դեպքում ՏՓ-ների մոդելները պիտանի են միայն մեկ դեպքում կիրառման համար: Դա նշանակոլւմ է, որ ՏՓ-ների մոդելները կիրառելի են միայն հատոլկ դեպքերի համար: Օրինակ, եթե $t_{2\text{min}}$ -ը փոխվոլւմ է, ապա թվային ստանդարտ բջիջների ամբողջ գրադարանի վերաբնոլթագրման կարիք է առաջանոլւմ, ինչը, ինչպես հայտնի է [19]-ից, չափազանց ժամանակատար է:

ՏՓ-ի ծերացոլւմը հաշվի առնոլլ մնացած հայտնի մոդելներոլւմ հաշվի է առնվոլւմ միայն ՇՁԱ-ն, և $t_{h,\delta\epsilon\eta}$ -ը ներկայացվոլւմ է որպես $t_{h,\text{imp}}$ -ի գոլւմար վատթարացման չափի հետ: Վերջինս ներկայացվոլւմ է որպես ֆոլունկցիատրանզիստորի $V_{2\text{sat}}$ շեմային լարոլւմից [107]՝

$$t_{h,\delta\epsilon\eta} = t_{h,\text{imp}} + \Delta t(\Delta V_{2\text{sat}}): \quad (1.17)$$

Այս պիսի մոդելի հիմնական առավելությունն այն է, որ նա անկախ է կիրառման դեպքից և մոտաքային ազդանշաններին:

Երբ ΔV_{2kl} -ի ազդեցությունը $S\Phi$ -ի հապաղման փոփոխության Δt չափը փոքր է, կիրառվում է այդ Φ -ն կցիայի գծային մոտարկումը [107]՝

$$t_{h, \delta t_p} = t_{h, \text{unp}} + \frac{\sigma t_h}{\sigma V_{2kl}} \cdot \Delta P, \quad (1.18)$$

որտեղ ΔP -ն պարամետրի փոփոխության չափն է:

[107]-ում օգտագործված է $\frac{\sigma t_h}{\sigma V_{2kl}}$ գալյունությունն ստացման հետևյալ ձևը՝

$$I_{\text{ui}} \sim (V_{\text{qui}} - V_{2kl})^\alpha: \quad (1.19)$$

Ենթադրվում է, որ $S\Phi$ -ի հապաղումը պայմանավորված է միայն դրա ելքային բեռի վերալիցքավորմամբ՝

$$t_h = \frac{C_F \cdot V_{DD}}{I_{\text{ui}}} = \frac{C}{(V_{\text{qui}} - V_{2kl})^\alpha}, \quad (1.20)$$

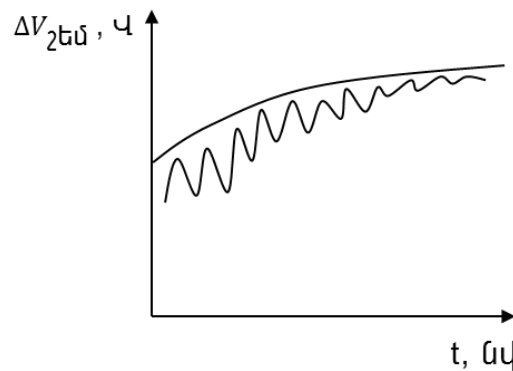
որտեղ C -ն հաստատուն մեծություն է: Դիֆերենցելով այս արտահայտությունն ըստ V_{2kl} -ի, ստացվում է [107]՝

$$\frac{\sigma t_h}{\sigma V_{2kl}} = \frac{\alpha \cdot t_h}{(V_{\text{qui}} - V_{2kl})}: \quad (1.21)$$

Սակայն այս մոտեցումը ևս չափարևոր թերությունն ունի, այն է՝ պահանջվում է ազդեցության և վերականգնման յուրաքանչյուր փուլում լուծել հավասարումն ամբողջ t_{2wh} ընթացքի համար: Այդ հանգամանքը հատկապես t_{2wh} մեծ արժեքներին դեպքում վատթարացման հաշվարկը դարձնում է չափազանց անարդյունավետ: Դա հանգեցնում է նաև տրանզիստորի ΔV_{2kl} -ի տատանումներին (ևկ. 1.31) [107]:

Վերջինս, իր հերթին, հանգեցնում է անհրաժեշտ մեքենայական ժամանակի ծախսերի էական մեծացման:

Այսպիսով, ծերացումը հաշվի առնող վատթարացման չափի հաշվարկման



Նկ. 1.31. ΔV_{2km} -ի փոփոխությունը

ինչպես սխեմատիկական, այնպես էլ տրամաբանական մակարդակի առկա ծրագրային գործիքային միջոցներն ունեն խիստ կարևոր թերություններ, որոնք իրական ԻՍ-երի նախագծման դեպքում գործնականորեն անհնար են դարձնում դրանց կիրառումը: Դա, իր հերթին, առաջացրել է իրական ԻՍ-երի նախագծման գործընթացի պահանջները բավարարող նոր մեթոդների, մոդելների և ծրագրային գործիքային միջոցների ստեղծման մեծ անհրաժեշտություն:

1.3. Պարամետրերի անորոշություն

պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների

նախագծման առաջարկվող սկզբունքները

Նախորդող շարադրանքից հետևում է, որ պարամետրերի անորոշության պայմաններում ԻՍ-երի նախագծման արդի միջոցներին բնորոշ են մի

շարք սկզբում նքային թերություններ, որոնք դրանց
օգտագործումը նախագծման գործընթացում
գործնականորեն անհնար է դարձնում:

Մասնավորապես՝

- բացակայում են համապիտանի մոտեցումները,
որոնք ԻՍ-երի պարամետրերի
անորոշությունների բոլոր աղբյուրների
(նկ. 1.6) դեպքում կբավարարեն դրանց
նախագծման գործնական պահանջները:
- ՍԺՎ-ի առկա միջոցներում կիրառվում է
ծայրագույն դեպքերի դիտարկման եղանակը,
որին, տվյալների և սինքրոնազդանշանի
տարածման ճանապարհների տարբեր չափերի
մասշտաբավորման պատճառով, բնորոշ են
ստացվող արդյունքների անթույլատրելի մեծ
անճշտությունները:
- ՎԺՎ-ի առկա միջոցներին բնորոշ է դրանց
իրականացման համար անհրաժեշտ
մեքենայական ժամանակի՝ թվային ԻՍ-ի
տարրերի քանակից ունեցած էքսպոնենցիալին
մոտ կախվածությունը, ինչը նախագծման
ընթացքում դրանց կիրառումը գործնականում
անհնար է դարձնում:
- ԾՓՎ-ի սխեմատեխնիկական մակարդակի
ծրագրային գործիքային միջոցներում
պարամետրերի վատթարացման չափը
բնութագրող հավասարումները համապիտանի
չեն. դրանց հաշվարկի համար պահանջվում են
մեքենայական միջոցների անթույլատրելի

մեծ ծախսեր և իրական մոլորության վեկտորներ ,
որոնց գործնական ստացումը կապված է
բազմաթիվ դժվարությունների հետ:

- ԾՓՎ-ի տրամաբանական մակարդակի ծրագրային
գործիքային միջոցներում հաշվարկների
յուրաքանչյուր փուլում բնութագրական
հավասարումները լուծվում են ԻՍ-ի
շահագործման ժամանակի ամբողջ տևողության
համար , ինչը ժամանակի մեծ արժեքների
պատճառով դրանք դարձնում է ոչ
արդյունավետ:

Առաջարկվում են պարամետրերի անորոշության
պայմաններում ԻՍ-երի նախագծման նոր
սկզբունքներ , որոնք նպատակառոշ դրված են դրանց
գործնական

կիրառման հնարավորությունները ստացվող
արդյունքների ճշտության և դրանց համար
անհրաժեշտ մեքենայական ժամանակի ծախսի
թույլատրելի արժեքների դեպքում :

Մասնավորապես՝

- պարամետրերի անորոշության պայմաններում
ԻՍ-երի նախագծման միջոցների
համապիտանիության ապահովումը ինչպես
դրանց աղբյուրների , այնպես էլ նախագծման
միջոցների կիրառման ոլորտների
տեսանկյունից ,
- թվային ԻՍ-երի աշխատանքը բնութագրող
մեծությունների (տարրերի հապաղումներ ,
ադդանշանների ստացման պահեր և այլն)

պատահական բնույթը հաշվի առնելը, ինչը ստացվող մեծությոնները կմոտեցնի իրական չափման արդյունքներին,

- պարամետրերի անորոշության հետևանքով թվային ԻՍ-երի բնութագրերի վատթարացման չափը որոշող միջոցների ճշտության կարգավորման հնարավորությունն ապահովումը, ինչը կհանգեցնի մեքենայական միջոցների ծախսերի հարմարեցմանը կոնկրետ հաշվարկային իրավիճակին,
- պարամետրերի անորոշության պայմաններում ԻՍ-երի նախագծման միջոցների բաց լինելը տարաբնույթ մոդելների, բաշխման ֆունկցիաների, մոտարկման եղանակների և այլնի նկատմամբ, ինչը հնարավորություն կտա, առանց համակարգի փոփոխման, ապահովել դրանց հետագա զարգացումը՝ երկարացնելով շահագործման ժամկետը,
- մշակվող միջոցները պետք է ունենան ստանդարտ մուտքեր և ելքեր (թվային ԻՍ-երի նկարագրման և հաշվարկների արդյունքների նկարագրման միջոցներ և այլն), ինչը հնարավորություն կընձեռի հեշտոնայամբ ընդգրկվել ԻՍ-երի նախագծման առկա արտադրական միջավայրերում,
- պարամետրերի անորոշության պայմաններում ԻՍ-երի նախագծման ծրագրային միջոցը տարբեր տեսնիկական գործընթացների համար պետք է պարունակի տարաբնույթ մոդելների և

մեթոդներին հարուստ գրադարան: Դա
հնարավորություն կընձեռի և՛ ավագույնս
համակցել արդյունքների պահանջվող
ճշտության և անհրաժեշտ մեքենայական
միջոցների հակասական պահանջները:

Եզրակացություններ

1. Պարամետրերի անորոշություններն ունեն
էական ազդեցություն ժամանակակից ԻՍ-երի
աշխատանքի վրա: Իրականացված է դրանց
աղբյուրների դասակարգում: ԻՍ-երի արտադրման
տեխնոլոգիաների զարգացմանը գույքընթաց
պարամետրերի անորոշությունների
ազդեցությունը սխեմաների բնութագրերի
վատթարացման վրա անընդհատ մեծանում է: ԻՍ-երի
նախագծման գործընթացում դրանք հաշվի առնելը
ծայրահեղ անհրաժեշտություն է, քանի որ հակառակ
դեպքում կարող են ստացվել նախագծման ոչ միայն
քանակական, այլև որակական սխալներ:

2. Պարամետրերի անորոշության
պայմաններում ԻՍ-երի նախագծման արդի միջոցների
վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ դրանք
ստացվող արդյունքների ճշտության և պահանջվող
մեքենայական միջոցների ծախսերի տեսանկյունից
չեն բավարարում ժամանակակից նախագծման
գործնական պահանջները, ինչն առաջացրել է նոր,
արդյունավետ միջոցների մշակման
անհրաժեշտություն:

3. Առաջարկվել են պարամետրերի
անորոշության պայմաններում ԻՍ-երի նախագծման

նոր սկզբունքներ, որոնք ապահովում են արդյունքների բավարար ճշտություն՝ մեքենայական միջոցների ընդունելի ծախսերի դեպքում, ինչը գործնական արտադրական համակարգում դրանց կիրառումը դարձնում է իրատեսական:

ԳԼՈՒԽ 2. ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԱՆՈՐՈՇՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒ ՄԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ԱՌԱՋԱՐԿՎՈՂ ՄԻՋՈՑՆԵՐԸ

2.1. Պարամետրերի անորոշողությունները հաշվի առնող վիճակագրական ժամանակային վերլուծության առաջարկվող եղանակը

Ստորև նկարագրվում է պարամետրերի անորոշողությունները հաշվի առնող վիճակագրական ժամանակային վերլուծության (ՎԺՎ) մշակված նոր եղանակը [70,71]: Դրանում թվային տարրի հապաղումն ազդանշանի ստացման պահը մոդելավորվում են որպես պատահական մեծություններ: Ազդանշանի ստացման պահերը մոդելավորվում են որպես հավանականության բաշխման կոտակման \$n\$-նկցիաներ (ԲԿՖ), իսկ ՏՓ-ների հապաղումները՝ հավանականության բաշխման \$n\$-նկցիաներ (ՌԲՖ) [109]: Առաջարկվող եղանակում ինչպես սովորական ստատիկ, այնպես էլ ՎԺՎ դեպքերում գլխավոր գումարման և առավելագույնի \$n\$-նկցիաների հաշվարկի համար ստացվել են նոր արտահայտություններ: Չնայած առաջարկվող եղանակի դեպքում կարող են օգտագործվել կամայական տիպի ԲԿՖ-ներ, սակայն ստորև, նկարագրողության պարզեցման նպատակով, դիտարկված են միայն հատված առ հատված գծային ԲԿՖ-ները:

Այս պիսի մոտեցումը համարժեք է սովորական ժամանակային վերլուծության դեպքում լարման նմանատիպ մոտարկմանը: Մոտարկման ճշտությունը, բնականաբար, կարող է կարգավորվել այն հատվածների քանակի փոփոխմամբ, որոնցում ազդանշանը ներկայացվում է գծային տեսքով: Սովորաբար այդ հատվածների նույնիսկ բավականին փոքր թվի դեպքում ստացվում է հաշվարկների անհրաժեշտ ճշտությունը: ԹՄ-ի կազմում ընդգրկված ՏՓ-ների մի մասը կարող է մոդելավորվել դետերմինիստական եղանակով: ԹՄ-ի դետերմինիստական հատվածը կարող է մոդելավորվել հատված առ հատված ԲԿՖ-ների (կամ իմպուլսային ՅԲՖ-ների) միջոցով: Հատված առ հատված ԲԿՖ-ների պարագայում ենթադրվում է փականների հապաղումների ՅԲՖ-ների հատված առ հատված հաստատունություն [71]:

ՎԺՎ-ի դեպքում առկա են կախվածություններ կոնադբյուններ: Առաջին ադբյունը ԹՄ-ի տոպոլոգիայում առկա վերագոլգամիտվող ճյուղավորման գործակիցներն են [110]: Երկրորդ ադբյունը պայմանավորված է տեխնոլոգիական գործընթացի պարամետրերով [110]: ԹՄ-ի կազմում առկա այն ՏՓ-ները, որոնք կախված են տեխնոլոգիական գործընթացի նույն կամ նմանատիպ պարամետրերից, հապաղումների և ազդանշանների առաջացման պահերի միջև ապահովում են կորելյացիա:

Դետերմինիստական ՍԺՎ-ի նպատակը ԹՄ-ի ելքային հանգույցներում ազդանշանների

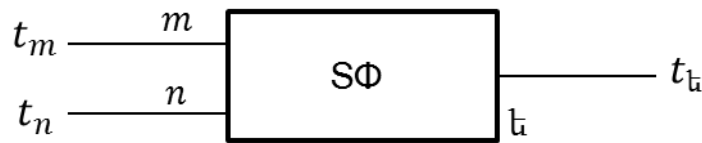
առաջացման պահերի որոշումն է: Դրա հիման վրա որոշվում են ԻՍ-ի որոշիչ ճանապարհները [34]: Փականների մուտքերում ազդանշանների տրման պահերը և դրանց հապադումները համարվում են դետերմինիստական:

Վիճակագրական վերլուծության պարագայում նույն մեծությունները սահմանվում են որպես բաշխումներ: Ընդհանուր դեպքում այդ բաշխումները կարող են լինել ցանկացած (նորմալ և այլ) բնույթի: ՎԺՎ-ի նպատակը ԻՍ-ի միջանկյալ և ելքային հանգույցներում ազդանշանի առաջացման պահերի բաշխումների որոշումն է: Մուտքային ազդանշանների տրման պահերը համադրելով ելքերում ազդանշանների ստացման պահերի բաշխումների հետ՝ որոշվում են որոշիչ ճանապարհները և ազդանշանների ուղացումների բաշխումները:

Ժամանակային վերլուծությունն իրականացվում է՝ ԹՍ-ն ըստ ազդանշանի տարածման հերթականության բաժանելով մակարդակների: Այդ գործողությունը կոչվում է ԹՍ-ի ռանգավորում [35]: ԹՍ-ի մուտքային ազդանշանը տարածվում է յուրաքանչյուր մակարդակում (ռանգում) առկա ՏՓ-ներով՝ մինչև ԹՍ-ի ելքերին հասնելը: Ազդանշանների ստացման պահերի տարածումը ՏՓ-ներով ՍԺՎ գլխավոր ֆունկցիան է:

Երկմուտքանի ՏՓ-ի (նկ. 2.1) պարագայում դետերմինիստական ՍԺՎ-ն իրականացնելիս ԹՍ-ի

եւ քում ազդանշանի առաջացման t_k պահը որոշվում է հետևյալ



Նկ.2.1.Երկմուտքանի տրամաբանական

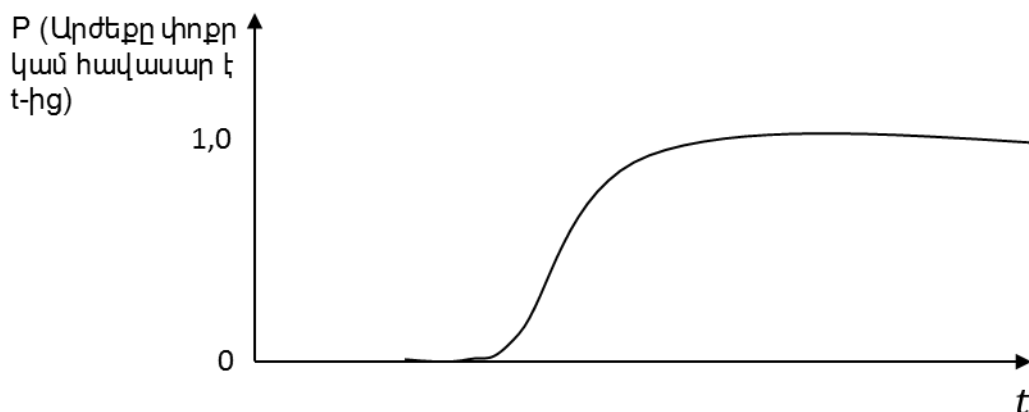
կերպ՝

փականը

$$t_k = \max(t_m + t_{hm_k}, t_n + t_{hn_k}), \quad (2.1)$$

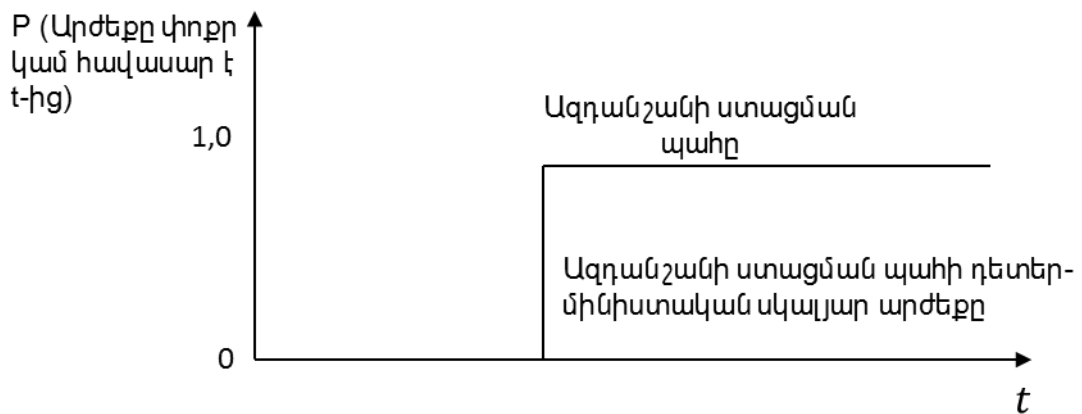
որտեղ t_m -ը և t_n -ը $S\Phi$ -ի համապատասխանաբար m -րդ և n -րդ մուտքերին ազդանշանների տրաման պահերն են, իսկ t_{hm_k} -ն և t_{hn_k} -ն՝ m -րդ և n -րդ մուտքերից մինչև ելքային հանգույցը ազդանշանի տարածման հապաղումները:

Սովորական ՍԺՎ-ի դեպքում առավելագույնի և գումարման գործողությունները հիմնականն են: Առաջարկվող եղանակում [71], որն իր բնույթով ՎԺՎ մոտեցումներից մեկն է, ազդանշանների ստացման պահերը մոդելավորվում են որպես ԲԿՖ-ներ (նկ. 2.2), իսկ $S\Phi$ -ների հապաղումները՝ որպես ՅԲՖ-ներ (նկ. 2.3) [109]:

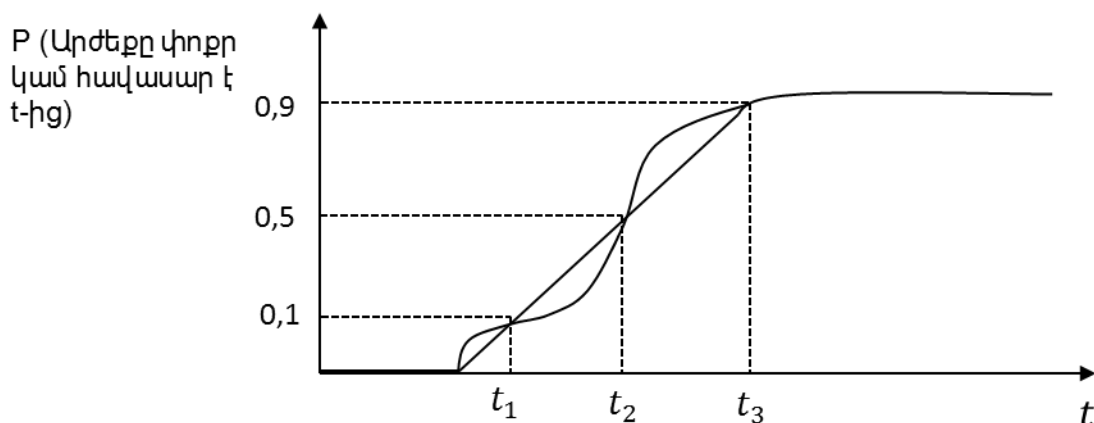


Նկ.2.2.ԲԿՖ-ներով ազդանշանների ստացման պահերի մոդելավորումը

ԲԿՖ-ներով ազդանշաններին ստացման պահերին ներկայացման դեպքում (նկ. 2.2) առաջին ոչ 0-ական արժեքը ներքին սահմանն է, իսկ 1,0 արժեքը ընդունելիս՝ վերին սահմանը: Սովորական դետեքմիկնացված ՍԺՎ-ի դեպքում ազդանշանի ստացման պահը կարող է դիտարկվել որպես աստիճանաձև ֆունկցիա (նկ. 2.3): ԲԿՖ-ները ներկայացվում են որպես հատված առ հատված գծային ֆունկցիաներ (նկ. 2.4-ում ներկայացված է երեք հատվածներով մոտարկման դեպքը) [108,109]:



Նկ. 2.3. Սովորական դետեքմիկնացման ՍԺՎ-ի դեպքում ԲԿՖ-ներով ազդանշաններին



Նկ. 2.4. Հատված առ հատված գծային ֆունկցիայով ԲԿՖ-ի մոտարկումը

ԲԿՖ-ներին մոդելավորման ճշտությունը, բնականաբար, կարելի է ավելացնել հատված առ հատված մոտարկման կետերի կամ հատվածների քանակի ավելացմամբ, ինչն իր հերթին մեծացնում է հաշվարկների համար անհրաժեշտ մեքենայական ժամանակի ծախսերը: ԲԿՖ-ները հատված առ հատված գծային ֆունկցիաներով մոտարկելու պարագայում ՅԲՖ-ները դառնում են հատված առ հատված հաստատուն: Չնայած ԲԿՖ-ները անընդհատ են, ՅԲՖ-ները ոչ անընդհատ ֆունկցիաներ են: ՅԲՖ-ների ոչ անընդհատ լինելը խնդրահարույց է, քանի դեռ ՏՓ-ների հապաղումների ԲԿՖ-ները անընդհատ են, և այդ դեպքում բոլոր ազդանշանների ստացման պահերի ԲԿՖ-ները նույնպես անընդհատ են: Այլ մոտեցումների [12,43,45] դեպքում օգտագործվում է ՅԲՖ-ների իմպուլսային (կամ, որ նույնն է, ԲԿՖ-ների հատված առ հատված հաստատուն) ներկայացումը: Առաջարկվող մոտեցման [71] դեպքում կիրառվող ԲԿՖ-ների հատված առ հատված գծային (կամ, որ նույնն է, ՅԲՖ-ների հատված առ հատված հաստատուն) ներկայացումը էապես ավելի արդյունավետ բաշխում է, քանի որ առկա [12,37,43,45,46,55] մոտեցումների համեմատ՝ արդյունքների նույն ճշտությունը ստացվում է մոտարկման հատվածների շատ ավելի փոքր քանակով:

Ժամանակային գրաֆի ցանկացած m -րդ հանգույցում $K_m(t)$ -ն սահմանվում է [71] որպես ԲԿՖ-ի ներկայացում: m -րդ և n -րդ հանգույցների միջև հապաղման համար $H_{mn}(t)$ -ն սահմանվում է որպես ՅԲՖ,

իսկ $K_{mn}(t)$ -ն՝ ԲԿՖ: ԲԿՖ-ի և ՅԲՖ-ի սահմանումներին ցատագվում է, որ $H_{mn}(t)$ -ն $K_{mn}(t)$ -ի ածանցյալն է: Օգտագործելով այս ներկայացումը, ստորև սահմանված են առավելագույնի և գումարման գործողությունները, ընդ որում, դրանցում համարվում է, որ փոփոխականներն (ազդանշաններին ստացման պահերը և հապաղումները)անկախ են:

Գումարման գործողությունը սահմանվում է հետևյալ կերպ:

Ենթադրենք՝ t_{hmn} -ն ներկայացնում է m -րդ և n -րդ հանգույցներին միջև հապաղումը, կամ՝

$$t_n = t_{hmn} + t_m : \quad (2.2)$$

Երկու պատահական թվերի գումարը դրանց հավանականություններին ֆունկցիաների փաթաթն է: n հանգույցում հապաղման ԲԿՖ-ն (t_n -ը) տրված է $K_m(t)$ -ի փաթաթով, այսինքն՝ t_m -ի ԲԿՖ-ով $H_{mn}(t)$ -ի հետ՝

$$K_n = \int_0^t K_m(t-\tau) \cdot H_{mn}(\tau) \cdot d\tau : \quad (2.3)$$

Առավելագույնի գործողությունը սահմանվում է հետևյալ կերպ:

Ենթադրենք՝ t_k -ը $m(t_m)$ և $n(t_n)$ հանգույցներում ազդանշաններին ստացման պահերին ցատագվելագույնն է, այսինքն՝

$$t_k = \max(t_m, t_n) , \quad (2.4)$$

այդ դեպքում ելքային հանգույցում ԲԿՖ-ն կորոշվի որպես՝

$$K_k(t) = K_m(t) \cdot K_n(t) : \quad (2.5)$$

Դա նշանակում է, որ երկու անկախ պատահական փոփոխականներն առավելագույնի ԲԿՖ-ն հանդիսանում է երկու փոփոխականների ԲԿՖ-ների

արտադրյալը: (2.5)-ը հնարավոր է միայն այն դեպքում, երբ փոփոխականները մոդելավորվել են որպես F_4 -ներ: Եթե փոփոխականները մոդելավորվել են որպես R_4 -ներ, ապա առավելագույնի որոշման գործողությունը կստացվի շատավելի բարդ: Հենց դրանով է պայմանավորված ազդանշանների ստացման պահերի որոշման դեպքում F_4 -ների օգտագործումը:

Ենթադրենք՝

$$t_k = \max(t_m, t_n) : \quad (2.6)$$

Այդ դեպքում t_k -ի F_4 -ն ներկայացնում է $t_k \leq t$ -ի հավանականությունը: Եթե t_m -ն և t_n -ն անկախ են, ապա t_m -ի և t_n -ի t -ի ցիոքրվելու հավանականությունը կարող է հաշվարկվել որպես $m(K_m(t))$ հանգույցում ազդանշանի ստացման պահի F_4 -ի և $n(K_n(t))$ հանգույցում ազդանշանի ստացման պահի արտադրյալ (2.5):

Առավելագույնի և գումարման գործողությունները նշված ձևով սահմանումից հետո ՎԺՎ-ն կարող է իրականացվել սովորականի նման: Տարբերությունն այն է, որ երբ անհրաժեշտ է ազդանշանի ստացման t_m պահին ավելացնել t_{hmk} հապաղումը, հանրահաշվական գումարման փոխարեն կազմվում է K_m -ի փաթաթ H_{mk} -ի հետ: Երբ անհրաժեշտ է որոշել երկու փոփոխականների առավելագույնը, դրանց F_4 -ները բազմապատկվում են՝ ստանալու համար արդյունարար F_4 -ն: Այսպիսով, ՎԺՎ-ի առաջարկվող

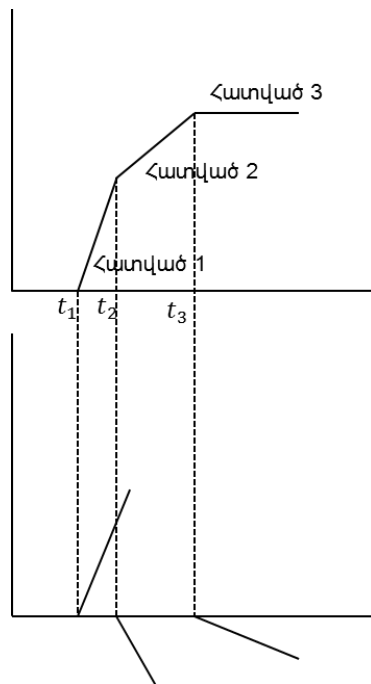
մոտեցման դեպքում (2.1)-ը փոխակերպվում է հետևյալ ձևով՝

$$t_k = \max(t_m + t_{hm_k}, t_n + t_{hn_k}), \quad (2.7)$$

$$K_k = (K_m \otimes H_{mk})(K_n \otimes H_{nk}), \quad (2.8)$$

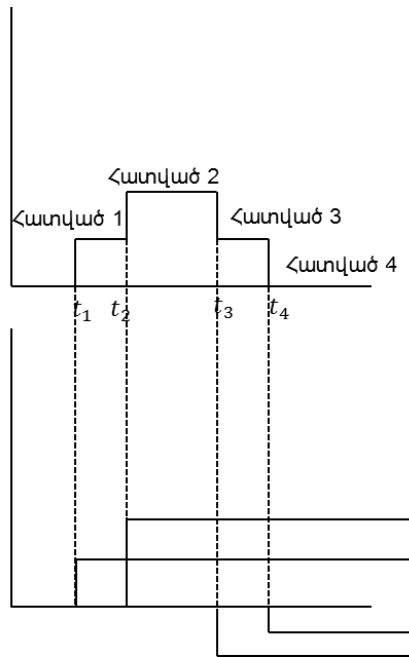
որտեղ K_k -ն ելքային հանգույցում ազդանշանի ստացման պահի (t_k) բնագիծն է, $K_m \otimes H_{mk}$ -ն՝ t_{mk} -ի ՅԲՖ-ով t_m -ի բնագիծն է, $K_n \otimes H_{nk}$ -ն t_{nk} -ի ՅԲՖ-ով t_n -ի բնագիծն է:

Առավելագույնի և գումարման գործողություններին առաջարկված ձևով ներկայացումը հնարավորություն է տալիս ՎԺՎ նպատակով կիրառել սովորական ՍԺՎ-ի ծրագրային գործիքային միջոցը՝ (2.1)-ը փոխարինելով (2.8)-ով և անփոփոխ պահելով վերջինիս այլ հատվածները՝ ԹՍ-ի նկարագրության թարգմանումը, ժամանակային գրաֆիկառուցումը, գրաֆիկ ձևափոխումները և այլն: Յատկանշական է, որ առաջարկվող մոտեցումը համապիտանի է բնագիծերի մոդելների կամ տեսքերի (նորմալ, ստանդարտ, չափման տվյալների հիման վրա ստացված և այլն) տեսանկյունից: Առաջարկվող եղանակում կառուցվում է փաթաթ, որպեսզի ազդանշանի ստացման պահին գումարվի ՏՓ-ի հապաղումը: Այդ մեծություններից առաջինը մոդելավորվում է որպես հատված առ հատված գծային բնագիծ, իսկ երկրորդը՝ որպես հատված առ հատված հաստատուն ՅԲՖ: Այդ նպատակով բնագիծերը տարանջատվում են մի քանի ճառագայթների (նկ. 2.5), իսկ ՅԲՖ-ները՝ աստիճանային (նկ. 2.6) ֆունկցիաների:

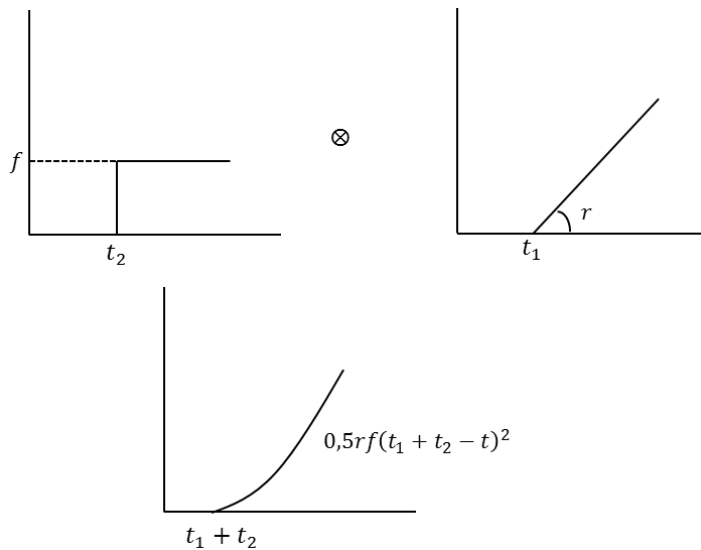


Նկ. 2.5. ԲԿՖ-ն երի տարանջատումը

Յուրաքանչյուր ճառագայթ և ամեն մի աստիճանաձև հատված փաթաթ են կազմում առանձին-առանձին (նկ. 2.7): r -ը ճառագայթի թեքությունն է: Արդյունարար ազդանշանը քառակուսային է: n հատվածի ԲԿՖ-ի և n -հատվածանի ՅԲՖ-ի համար կազմվում են ընդամենը n^2 փաթաթներ: n^2 քառակուսային Φ ունկցիաներն այնուհետև գումարվում են՝ ստանալով համար արդյունարար ԲԿՖ-ն: Վերջում հետագա տարածման համար քառակուսային ԲԿՖ-ն նորից հակադարձ ձևափոխվում է հատված առ հատված գծային ԲԿՖ-ի՝ դիսկրետացվելով նախապես սահմանված հավանականային արժեքներով:



Նկ. 2.6.3 ԲՏ-ն երի տարանջատող մը

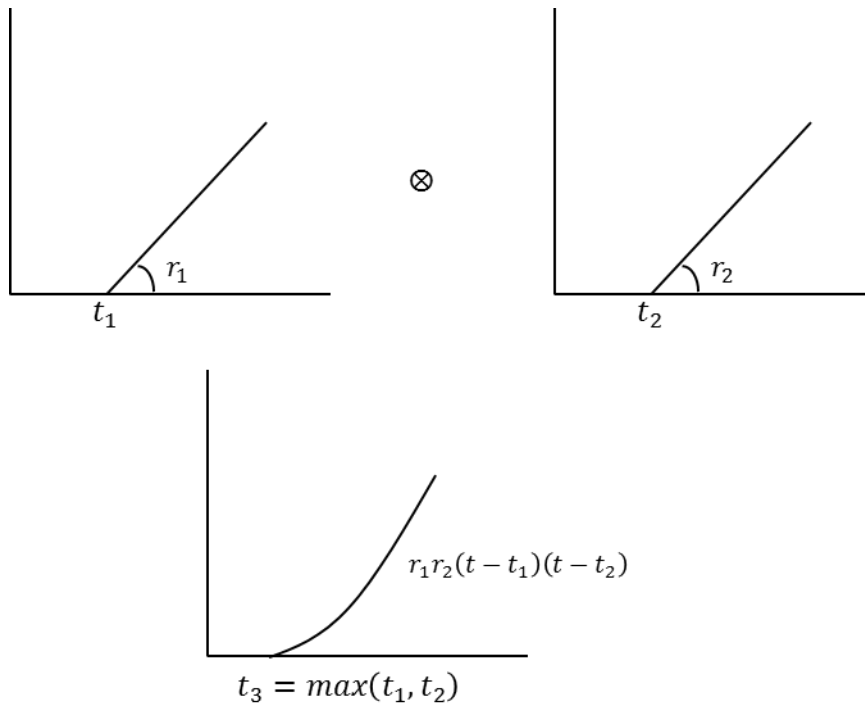


Նկ. 2.7. Աստիճանի և ճառագայթի փաթաթը

Դիսկրետացման համար պահանջվում են ոչ գծային իտերացիաներ, քանի որ հատման պահերի որոշման բանաձևերը կարող են ստացվել, եթե փաթաթի ստացման արդյունքը քառակուսային է:

Երկու հատված առ հատված գծային ԲԿՏ-ների բազմապատկումն իրականացվում է նույն ձևով: Հատված առ հատված գծային ԲԿՏ-ն տարանջատվում և

ն երկայացվում է որպես ճանապարհներ (նկ . 2.5): Առաջին ԲԿՖ-ի յուրաքանչյուր ճանապարհազմապատկվում է երկրորդ ԲԿՖ-ի յուրաքանչյուր ճանապարհի հետ (նկ .2.8):



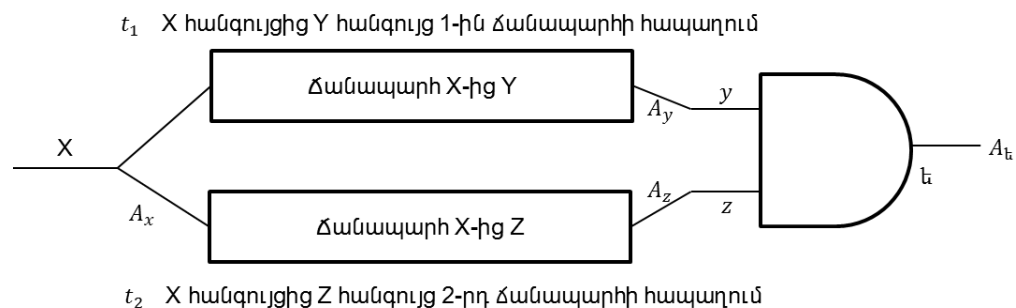
Նկ .2.8.Երկու ճանապարհների

Արդյունաբար ազդանշանը նույնպես քառակուսային է: Երկու ԲԿՖ-ներից յուրաքանչյուրի ու հատվածների համար բազմապատկման արդյունքում ստացվում են n^2 քառակուսային հատվածներ: Այնուհետև արդյունաբար ԲԿՖ-ի ստացման նպատակով դրանք գումարվում են: Չափորդ քայլում այն, հետագա տարածման նպատակով, դիսկրետացվում է նախապես որոշված հավանականային արժեքներով:

Չայտնի է [55], որ դետեռմինիստական ժամանակային վերլուծության բարդությունը $O(R+S)$ է, որտեղ R -ը և S -ը ժամանակային գրաֆում համապատասխանաբար

գագաթներին և կողերին քանակներն են :
 Վիճակագրական վերլուծության դեպքում փաթաթի
 ստացումն իրականացվում է յուրաքանչյուր
 գագաթի համար , իսկ բազմապատկումը՝
 յուրաքանչյուր կողի համար : Քանի որ
 յուրաքանչյուր նշված գործողության
 բարդությունը $O(n^2)$ է , առաջարկվող մոտեցման
 ընդհանուր բարդությունը կլինի $O(n^2R + S)$:

Սովորաբար վերագրվող գամիտվող
 ճյուղավորումների պատճառով ՎԺՎ բարդությունը
 մեծանում է : Այդ պատճառով ստորև նկարագրվում է
 այդպիսի վերագրվող գամիտվող ճյուղավորումների
 հայտնաբերման և ձևափոխման մշակված նոր
 եղանակը : Այդպիսի ճյուղավորումների դեպքում
 (նկ . 2.9) x հանգույցից սկսվող երկու ճանապարհները
 վերագրվող գամիտվում են որպես նույն $S\Phi$ -ի x-րդ և y-
 րդ մուտքեր :



Նկ .2.9. Վերագրվող գամիտվող ճյուղավորման

Այդ պատճառով $S\Phi$ -ի y-րդ և z-րդ մուտքերում
 ազդանշանների ստացման t_y և t_z պահերը կախված են t_x -
 ից : Այդ կախվածությունը պոտենցիալորեն
 բարդացնում է $S\Phi$ -ի ելքում ազդանշանի ստացման t_t

պահի հաշվարկը, քանի որ (2.5)-ը այդ դեպքում հնարավոր չէ օգտագործել: t_y և t_z պահերի փոխկապակցվածությունն ունի հետևյալ գծային տեսքը՝

$$t_y = t_x + t_1, \quad (2.9)$$

$$t_z = t_x + t_2: \quad (2.10)$$

Այդ դեպքում՝

$$t_k = \max(t_x + t_1 + t_{yk}, t_x + t_2 + t_{zk}): \quad (2.11)$$

Այն կարելի է ձևափոխել հետևյալ տեսքի՝

$$t_k = t_x + \max(t_1 + t_{yk}, t_2 + t_{zk}): \quad (2.12)$$

Քանի որ t_1 -ը, t_2 -ը, t_{yk} -ն և t_{zk} -ն անկախ են, ելքային հանգույցում ԲԿՖ-ը կորոշվի հետևյալ կերպ՝

$$K_k = K_x \otimes [(K_1 \otimes t_{yk})(K_2 \otimes t_{zk})], \quad (2.13)$$

որտեղ K_x -ը մուտքային հանգույցում ազդանշանի ստացման ԲԿՖ-ն է, K_1 -ը՝ t_1 հապաղման ԲԿՖ-ն, K_2 -ը՝ t_2 հապաղման ԲԿՖ-ն, իսկ $\otimes$ -ը՝ փաթաթի ստացման գործողությունը:

t_k -ի ստացման համար պահանջվում է t_1 -ի և t_2 -ի արժեքների հաշվարկ: Դրա ուղիներինց մեկը ազդանշանի տարածման ճանապարհով անցնելն է: Սակայն ավելի պարզ և անխնայորեն ճանապարհ է t_1 -ի և t_2 -ի հաշվարկը վիճակագրական հանման գործողությունների շնորհիվ՝

$$t_1 = t_y - t_x, \quad (2.14)$$

$$t_2 = t_z - t_x: \quad (2.15)$$

Վիճակագրական հանման գործողությունը համարժեք է փաթաթի ստացման հակադարձին, և դրա

կատարման ճանապարհներին մեկը պահերի համաձայնեցումն է: Չափվի առնելով, որ

$$t_V = t_x - t_y, \quad (2.16)$$

որտեղ t_x -ը և t_y -ը հայտնի են, և t_V -ն՝ անհայտ, հետևաբար՝

$$K_x = K_V \otimes K_y, \quad (2.17)$$

$$H_x = H_V \otimes H_y, \quad (2.18)$$

քանի որ v -ն և y -ը անկախ են, դրանց միջինը և շեղումը պետք է ավելացվեն փաթաթում՝

$$\mu_x = \mu_V + \mu_y, \quad (2.19)$$

$$\sigma_x^2 = \sigma_V^2 + \sigma_y^2: \quad (2.20)$$

Քանի որ H_x -ը, K_x -ը, H_y -ը և K_y -ը հայտնի են, ուստի դրանց միջինը և շեղումը կարող են հաշվարկվել դրանց ՅԲՖ-ից (կամ դրանց հատված առ հատված գծային ԲԿՖ-ից): K_V -ի պահանջվող միջինը և շեղումը կարող են հաշվարկվել հանրահաշվական հանման միջոցով՝

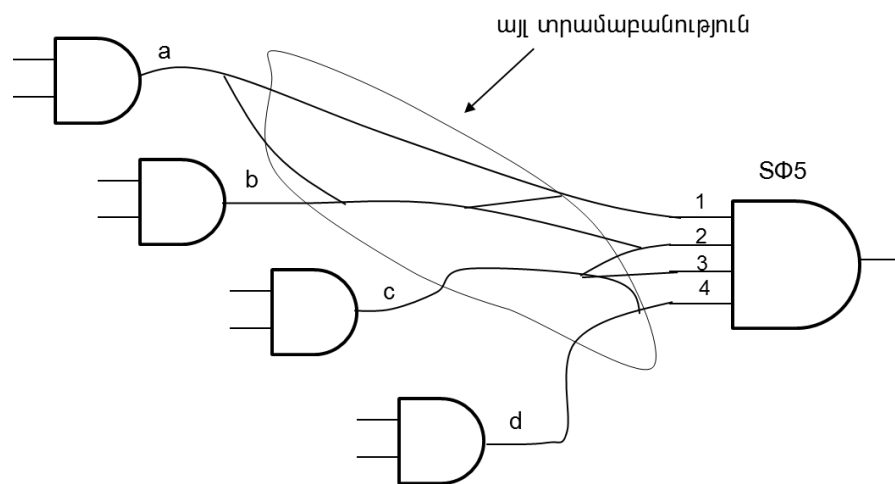
$$\mu_V = \mu_x - \mu_y, \quad (2.21)$$

$$\sigma_V^2 = \sigma_x^2 - \sigma_y^2: \quad (2.22)$$

Երբ μ_V -ն և σ_V^2 -ն հաշվարկվում են, ԲԿՖ-ը, K_V -ն կարող են որոշվել՝ միջինը և շեղումը համաձայնեցնելով հավանականության բաշխման հետ: Միջինը և շեղումը համաձայնեցվում են բաշխվածության որոշման նպատակով:

Ընդհանուր դեպքում $S\Phi$ -ի մոլտքը կարող է կախված լինել մեկից ավելի նախորդող հանգույցների արժեքներից (նկ. 2.10): Օրինակ, նկ. 2.10-ի դեպքում $S\Phi$ -ի մոլտքերը կախված են a, b, c, d հանգույցների արժեքներից:

Այդ հանգույցների մի մասը մինչև ՏՓ-ի հասնելը կարող է ունենալ նաև այլ ենթաճանապարհներ: Ուստի մինչև ՏՓ5-ի ազդանշանի հասնելը դա պետք է հաշվի առնվի: Այդ նպատակով ժամանակային գրաֆի յուրաքանչյուր գագաթի համար կազմվում է կախվածությունների ցուցակ (ԿՑ), որում նշվում են այն գագաթները, որոնցից կախված է տվյալ գագաթի ազդանշանի տրման պահը: Գագաթները ըստ մակարդակների դասակարգվում են նվազման կարգով, այսինքն՝



Նկ. 2.10. Վերագույցի տվող ճյուղավորման

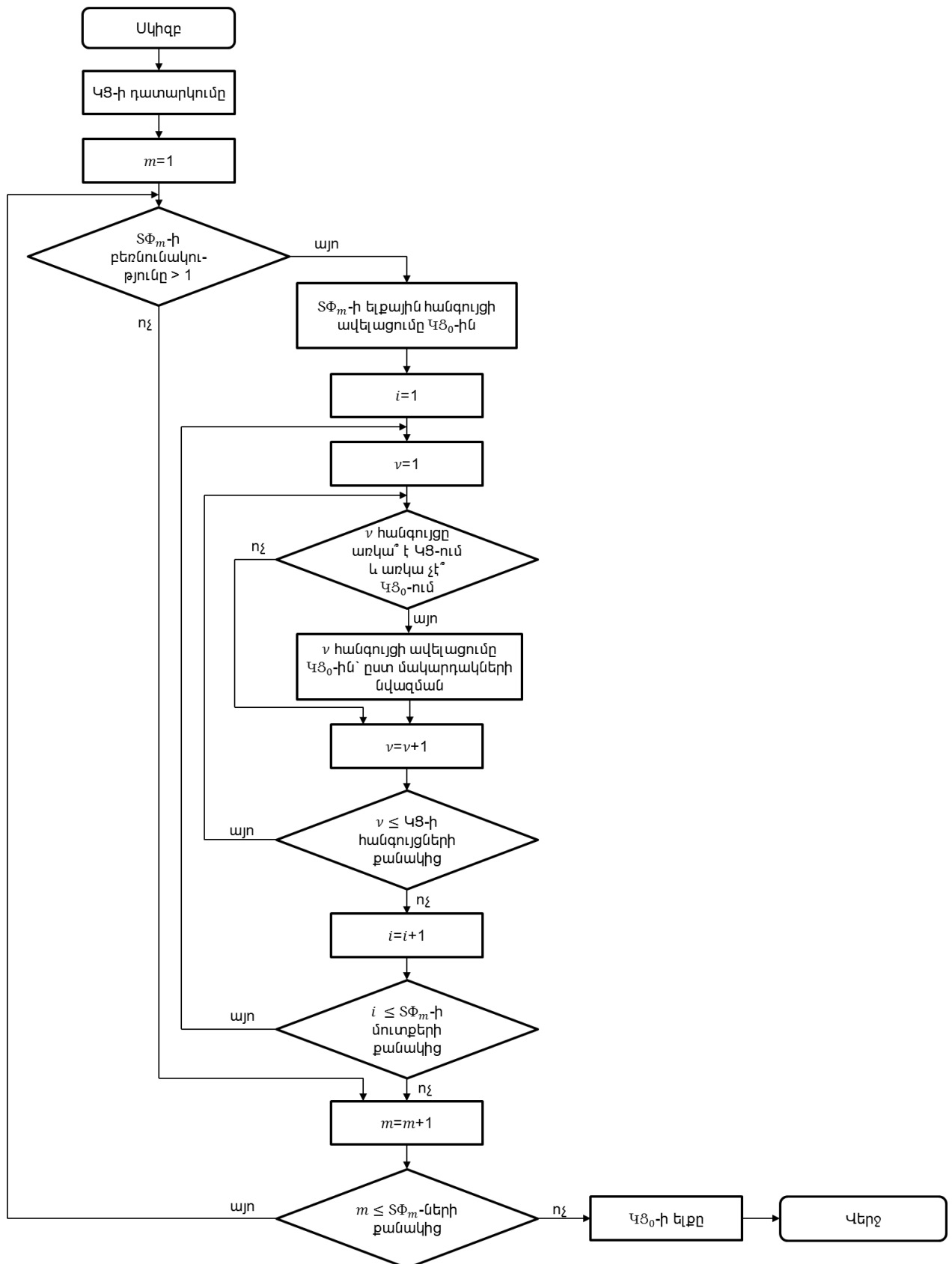
ամենավերջին գագաթի վերջին գագաթնաշինը և այլն: ԿՑ-ի տարածումն իրականացվում է ազդանշանների ստացման վիճակագրական պահերի հաշվարկմամբ համապատասխան ալգորիթմով (նկ. 2.11): Այդ ալգորիթմում ԿՑ-ն i -րդ մուտքի ԿՑ-ն է, իսկ ԿՑ-ն համապատասխանում է ելքային հանգույցին: Եթե ՏՓ-ի մուտքի ազդանշանը չի ազդում դրա ելքի վիճակի վրա (օրինակ, ելքը կարող է գտնվել տրամաբանական «1» վիճակում՝ անկախ այդ մուտքի արժեքից), դրա ԿՑ-ն չի տարածվում դեպի ՏՓ-ի ելքը: Ալգորիթմում

կիրառված են երկու մոտեցումներ, որոնք նպատակաուղղված են ԿՑ-ի չափի փոքրացմանը: Նախ՝ օգտագործողին հնարավորություն է ընձեռված՝ սահմանելու ԿՑ-ի չափը: Բացի այդ, դիտարկվում են միայն վերջին **n** գազաթները, ընդ որում, **n**-ը նույնպես սահմանվում է օգտագործողի կողմից: Դա հնարավորություն է տալիս, առանց համապատասխան ճանապարհների դիտարկման, իմանալ այն բոլոր գազաթները, որոնք ազդում են տվյալ գազաթում ազդանշանի ստացման պահի վրա:

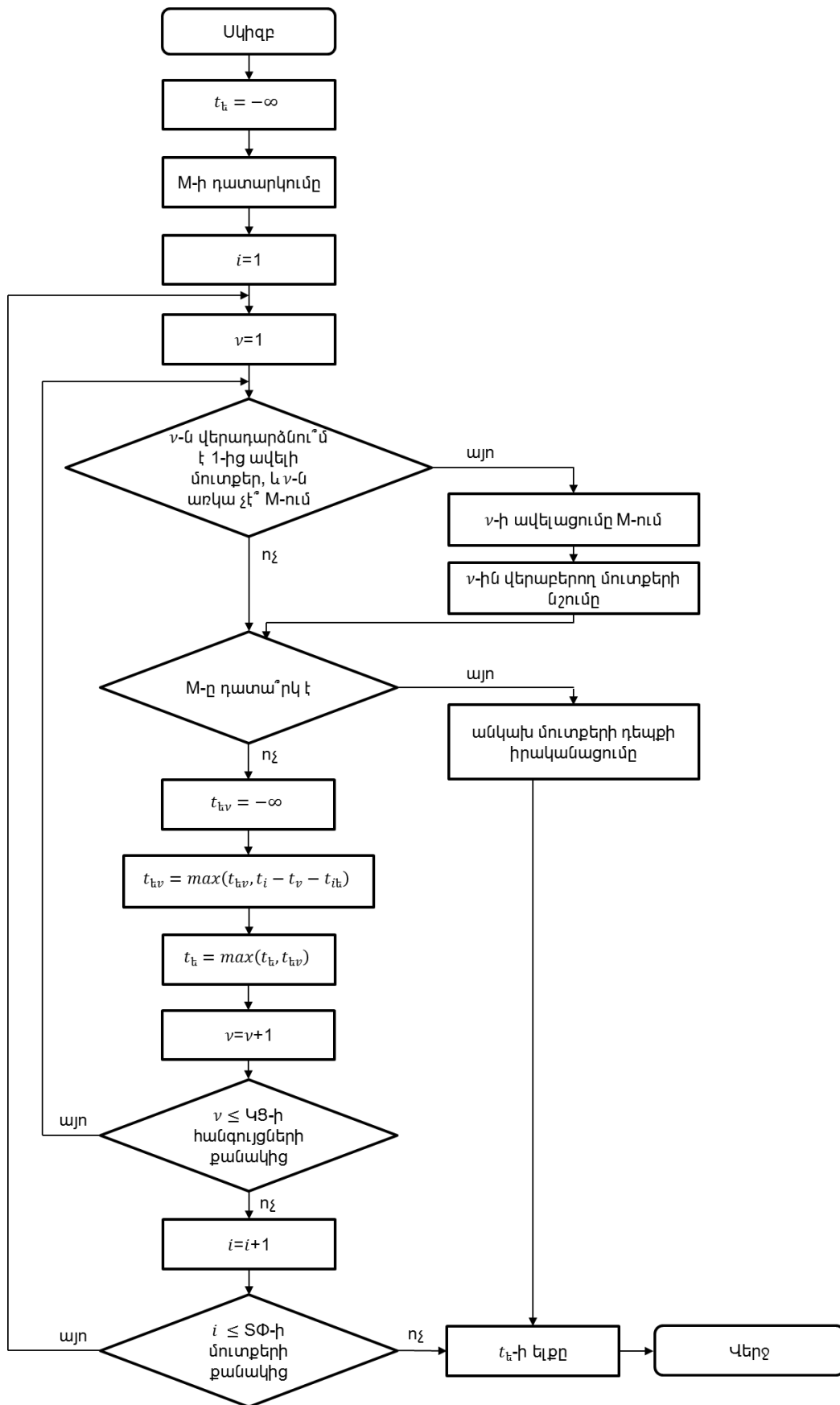
Այն դեպքում, երբ անհրաժեշտ է հաշվարկել բազմամուտքանի ՏՓ-ի ելքային ազդանշանի ստացման պահը, երբ դրա յուրաքանչյուր մուտքն ունի հավանական ոչ դատարկ ԿՑ, օգտագործվում է մշակված [71] ալգորիթմը (նկ. 2.12): Առաջարկվող ալգորիթմի հիմնական առանձնահատկությունն այն է, որ յուրաքանչյուր մուտքի կախվածությունը եզակի գազաթից փոքրացվում է՝ նպատակ ունենալով (2.13)-ն կիրառելի դարձնել: Ալգորիթմում **t_k**-ն ելքում, **t_i**-ն **i**-րդ մուտքում, **t_v**-ն **v**-րդ գազաթում ազդանշանների ստացման պահերն են: Երբ որևէ ՏՓ-ի ելքում առավելագույնը հաշվարկվում է, դրամուտքերի ԿՑ-երն այլևս չեն տարածվում: Օրինակ, չնայած այն հանգամանքին, որ ՏՓ5-ի (նկ. 2.10) ելքը կախված է **a**-ից, **b**-ից, **c**-ից և **d**-ից, նկ. 2.12-ում բերված ալգորիթմում կնշվի, որ 1 և 2 մուտքերը կախված են **b**-ից (քանի որ **b**-ի մակարդակը բարձր է **a**-ից), իսկ 3-րդ և 4-րդ մուտքերը՝ **c**-ից: Ուստի 1-ի և 2-ի, ինչպես նաև 3-ի և 4-ի պատճառով առաջացող ազդանշանի ստացման պահերը

կհաշվարկվեն (2.13)-ի կիրառմամբ, արդյունաբերական ազդանշանների ստացման պահերը կդիտարկվեն միմյանցից անկախ և կհամակցվեն (2.5)-ի միջոցով: Արդյունքում՝ կորոշվի ելքային ազդանշանի ստացման պահը: ՏՓ5-ի մուտքերի ԿՑ-երը հետագահաշվարկներում չեն օգտագործվի:

Այսպիսով, մշակված պարամետրերի անորոշումը թյուրմեկնությունները հաշվի առնող ՎԺՎ նորեղանակում, ազդանշանների ստացման պահերը որպես ԲԿՖ, իսկ ՏՓ-ների հապաղումները՝ որպես ՅԲՖ ներկայացնելու, ինչպես նաև այդ \$ ունկցիաները հատված առ հատված մոտարկելու շնորհիվ, ստացվում է արդյունքների զգալիորեն ավելի մեծ (դրա մասին վկայում են նաև 3.3-ում բերված փորձարկումների արդյունքները) և կարգավորվող ճշտություն, իսկ գումարման և առավելագույնի \$ ունկցիաները գործում են նաև սխեմայում առկա վերազուգամիտվող ճյուղավորումների դեպքում:



Նկ. 2.11. Կախված ու թյուն ներքին ցանցի տարածման ալգորիթմը



Նկ .2.12. Վերագրված ամիտվող ճյուղավորման առկայության դեպքում ելքային

2.2. Պարամետրերի անորոշությունները հաշվի առնող սխեմատեխնիկական մակարդակի վերլուծության առաջարկվող եղանակը

Ստորև ներկայացվում է պարամետրերի անորոշությունները հաշվի առնող սխեմատեխնիկական մակարդակի վերլուծության մշակված եղանակը [70,71]: Այն ներկայացնում է ընդհանրացված բազմանդամային քառսի (ԸԲՔ) վրա հիմնված ստոխաստիկ սպեկտրալ սխեմատեխնիկական մոդելավորման մոտեցում, որը հաշվի է առնում ինչպես Գաուսյան, այնպես էլ ոչ Գաուսյան պատահական պարամետրերը: Դրա հաշվին, Մոնտե-Կառլոյի մեթոդի [64] համեմատ, էականորեն կրճատում են հաշվարկների համար անհրաժեշտ մեքենայական ժամանակի ծախսերը, հատկապես, երբ սխեման բնութագրվում է փոքրաթիվ կամ միջին քանակի պարամետրերով: Առաջարկվող մեթոդը իրենից ներկայացնում է ստոխաստիկ թեստավորման մոտեցում, և ուղղորդված է ավանդական ստոխաստիկ հաշվարկային մեթոդների կիրառմանը ոչ գծային սխեմաների դեպքի համար:

Չայտնի է, որ հանգուցային պոտենցիալների մեթոդից [58] ստացվող ստոխաստիկ դիֆերենցիալ հավասարումն ունի հետևյալ տեսքը [73]՝

$$\frac{d\vec{Q}(\vec{y}(t, \vec{\Delta}), \vec{\Delta})}{dt} + \vec{h}(\vec{y}(t, \vec{\Delta}), \vec{\Delta}) = c\vec{U}_i(t), \quad (2.23)$$

որտեղ $\vec{U}_i(t)$ -ն մոլտքային ազդանշանն է, $\vec{y} \in \mathbb{N}^n$ -ով նշանակված են հանգուցների լարումները և

ճյուղերի հոսանքները, N -ը՝ իրական թվերի բազմությունը, $\vec{Q} \in N^n$ և $\vec{h} \in N^n$ -ը՝ համապատասխանաբար լիցքի /հոսքի և հոսանքի /լարման բաղադրիչները: $\vec{\Delta} = |\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_f| \in \omega (\omega \in N^f)$ -ով նշանակված են Գաուսյան և /կամ ոչ Գաուսյան f պարամետրերը, որոնք նկարագրում են կիսահաղորդչային սարքերի մակարդակի շեղումներով պայմանավորված անորոշությունները: Յամարելով, որ բոլոր պատահական պարամետրերն անկախ են, դրանց ընդհանուր հավանականությունների բաշխման Φ նկցիան (ՐԲՖ) կարող է ներկայացվել որպես՝

$$\gamma(\vec{\Delta}) = \prod_{m=1}^f \gamma_m(\Delta_m), \quad (2.24)$$

որտեղ $\gamma_m(\Delta_m)$ -ը $\Delta_m \in \omega_m$ -ի ՐԲՖ-ն է: Առաջարկվող մեթոդում (2.23) հավասարումը լուծվում է ստոխաստիկ սպեկտրալ մեթոդներով՝ նպատակ ունենալով ստանալ վիճակի $\vec{y}(t, \vec{\Delta})$ վեկտորի վիճակագրական տեղեկատվությունը:

Միաջափ դեպքում $\Delta_m \in \omega_m \subseteq N$ -ի համար բազմանդամային Φ նկցիաների հավաքածուն իրենից կներկայացնի՝

$$\{F_{\rho}^m(\Delta_m), F_v^m(\Delta_m)\} = \int_{\omega_m} F_{\rho}^m(\Delta_m) \cdot F_v^m(\Delta_m) \gamma_m(\Delta_m) d\Delta_m = v_{\rho, v}, \quad (2.25)$$

որտեղ $\{F_{\rho}^m(\Delta_m), F_v^m(\Delta_m)\}$ -ով նշանակված է ներքին արդյունքը, $v_{\rho, v}$ -ն դեկտա Φ նկցիա է, ρ և v ամբողջ թվերը՝ համապատասխանաբար $F_{\rho}^m(\Delta_m)$ և $F_v^m(\Delta_m)$ բազմանդամների աստիճանները: $\gamma_m(\Delta_m)$ -ի և ω_m -ի հայտնի լինելու պարագայում այդպիսի բազմանդամների կառուցումը հնարավոր է: Որպես օրինակ աղ. 2.1-ում բերված են որոշ ԸԲՖ Φ նկցիաներ:

Որոշ տիպական պատահական պարամետրերի լժՖ
բազմանդամային հենքը

Δ_m -ի բաշխումը	$\Delta_m[\gamma_m(\Delta_m)]$ -ի լժՖ-ն	$F_v^m(\Delta_m)$ -ի միաչափ լժՖ հենքը	ω_m
Գաուսյան	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(\frac{-\Delta_m^2}{2}\right)$	Հերմիտ-քառսային բազմանդամը	$(-\infty, +\infty)$
Գամմա	$\frac{\Delta_m^{\rho-1} \exp(-\Delta_m)}{G(\rho)}, \rho > 0$	Լագուեր-քառսային բազմանդամը	$[0, +\infty)$
Բետտա	$\frac{\Delta_m^{\alpha-1}(1-\Delta_m)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)}, \alpha, \beta > 0$	Յակոբիի քառսային բազմանդամը	$[0, 1]$
Ստանդարտ	0,5	Լեգենդրի քառսային բազմանդամը	$[-1, 1]$

Հատկանշական է, որ միաչափ լժՖ հենքային ֆունկցիաները սահմանափակված չեն միայն աղ. 2.1-ում բերված դեպքերով: Բացի այդ, երբ Δ_m -ը Գաուսյան փոփոխական է, դրա լժՖ-ն պարզեցվում է, և ստացվում է Հերմիտի քառսային բազմանդամը:

Երբ $\vec{\Delta}$ -ի բաղադրիչները հանդիսանում են փոխադարձաբար անկախ, բազմաչափ լժՖ-ն կարող է ստացվել յուրաքանչյուր Δ_m -ի լժՖ-ի հիման վրա: Ունենալով $\vec{\alpha} = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_f]$ ինդեքսների վեկտորը, համապատասխան բազմաչափ լժՖ-ն կստացվի՝

$$H_{\vec{\alpha}}(\vec{\Delta}) = \prod_{m=1}^f F_{\alpha_m}^m(\Delta_m): \quad (2.26)$$

Ստացված բազմաչափ լժՖ-ն օրթոգոնալ է, այսինքն՝

$$\{H_{\vec{\alpha}}(\vec{\Delta}), H_{\vec{\beta}}(\vec{\Delta})\} = \int_{\omega} H_{\vec{\alpha}}(\vec{\Delta}) H_{\vec{\beta}}(\vec{\Delta}) \gamma(\vec{\Delta}) d\vec{\Delta} = \nu_{\vec{\alpha}, \vec{\beta}}: \quad (2.27)$$

Հատկանշական է, որ $H_{\vec{\alpha}}(\vec{\Delta})$ -ն տարբեր տիպերի միաչափ լժՖ-ների արդյունք է, երբ $\vec{\Delta}_m$ -երն ունենն տարբեր խտություն ֆունկցիաներ:

Երբ $\vec{y}(t, \vec{\Delta})$ -ն երկրորդ կարգի ստոխաստիկ գործընթաց է (այսինքն՝ $\vec{y}(t, \vec{\Delta})$ -ն սահմանափակված է

երկրորդ կարգի մոմենտով), այն մոտարկվում է վերջավորանդամներով լ.բ.ժ-ի ընդլայնմամբ՝

$$\vec{y}(t, \vec{\Delta}) \approx \sum_{\vec{\alpha} \in \gamma} X_{\vec{\alpha}}(t) H_{\vec{\alpha}}(\vec{\Delta}), \quad (2.28)$$

որտեղ $X_{\vec{\alpha}}(t) \in \mathbb{N}^n$ -ով նշանակված է $\vec{\alpha}$ ինդեքսով լ.բ.ժ-ի գործակիցը:

Համարելով, որ $\gamma \in \mathbb{N}$, հնարավոր են γ -ի ընտրություններ կոնճանապարհներ [68]:

Դրանցից մեկում $G = \{\vec{\alpha} | 0 \leq \alpha_m \leq \gamma\}$ հավաքածոն ենք ը հանգեցնում են ընդհանուր $(\gamma+1)^f$ լ.բ.ժ հետքերի: Հենքային ֆունկցիաների ընդհանուր քանակի փոքրացման նպատակով ընդհանուր սխեմաների $G = \{\vec{\alpha} | \alpha_m \in \mathbb{N}, 0 \leq \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_m \leq \gamma\}$ հավաքածոն ենք ը հանգեցնում են

$$M = \binom{\gamma+m}{\gamma} = \frac{(\gamma+m)!}{\gamma!m!} \quad (2.29)$$

ընդհանուր թվով լ.բ.ժ-երի: m -ի $(1 \leq m \leq M)$ և $\vec{\alpha}$ ինդեքսով եկտորի միջև առկա է միանշանակ համապատասխանություն և այնպես, որ (2.28)-ը հնարավոր է ներկայացնել հետևյալ կերպ՝

$$\vec{y}(t, \vec{\Delta}) \approx \sum_{m=1}^M X^m(t) \cdot H_m(\vec{\Delta}): \quad (2.30)$$

Որոշ անալիտիկ ֆունկցիաների դեպքում լ.բ.ժ-ի լրացումները գույքամիտում են էքսպոնենցիալ ձևով: Լ.բ.ժ-ն բավականին արագ գույքամիտում է, երբ ֆունկցիան ունի ուժեղ կախվածություն $\vec{\Delta}$ -ից: $H_m(\vec{\Delta})$ -երի օրթոնորմալությունն պատճառով լ.բ.ժ-ի մոտարկմամբ վիճակագրական որոշ արժեքներ (օրինակ՝ միջինը և շեղումը) կարող են հեշտությամբ հաշվարկվել: Քառակուսային

մեթոդով ինտեգրալը հաշվելիս սովորաբար [71] օգտագործվում է հետևյալ արտահայտությունը՝

$$\int_{\omega_m} P(\Delta_m) \gamma_m(\Delta_m) d\Delta_m \approx \sum_{j=1}^n P(\Delta_m^j) w_m^j, \quad (2.31)$$

որտեղ $P(\Delta_m)$ -ը ողորկ ֆունկցիա է: Քառակուսացման Δ_m^j կետերը և w_m^j քառային գործակիցներն ընտրվում են ըստ ω_m -ի և $\gamma_m(\Delta_m)$ -ի: Օգտագործվում են քառակուսացման երկու տիպի կանոններ՝ Գաուսյան [56] և [59]-ում բերվածը: n կետերի դեպքում Գաուսյան քառակուսացման կանոնով ստացվում են $(2n-1)$ -ի ցփոքր աստիճանի բոլոր բազմանդամների ճշգրիտ արդյունքները: [59]-ում բերված կանոններով ստացվում են ճշգրիտ արդյունքներ այն դեպքում, երբ $P(\Delta_m)$ -ի աստիճանը չի գերազանցում $(n-1)$ -ը: [53]-ում ենթադրվում է, որ սահմանափակումների տիրույթում Δ_m -ը ստանդարտ բաշխում ունի:

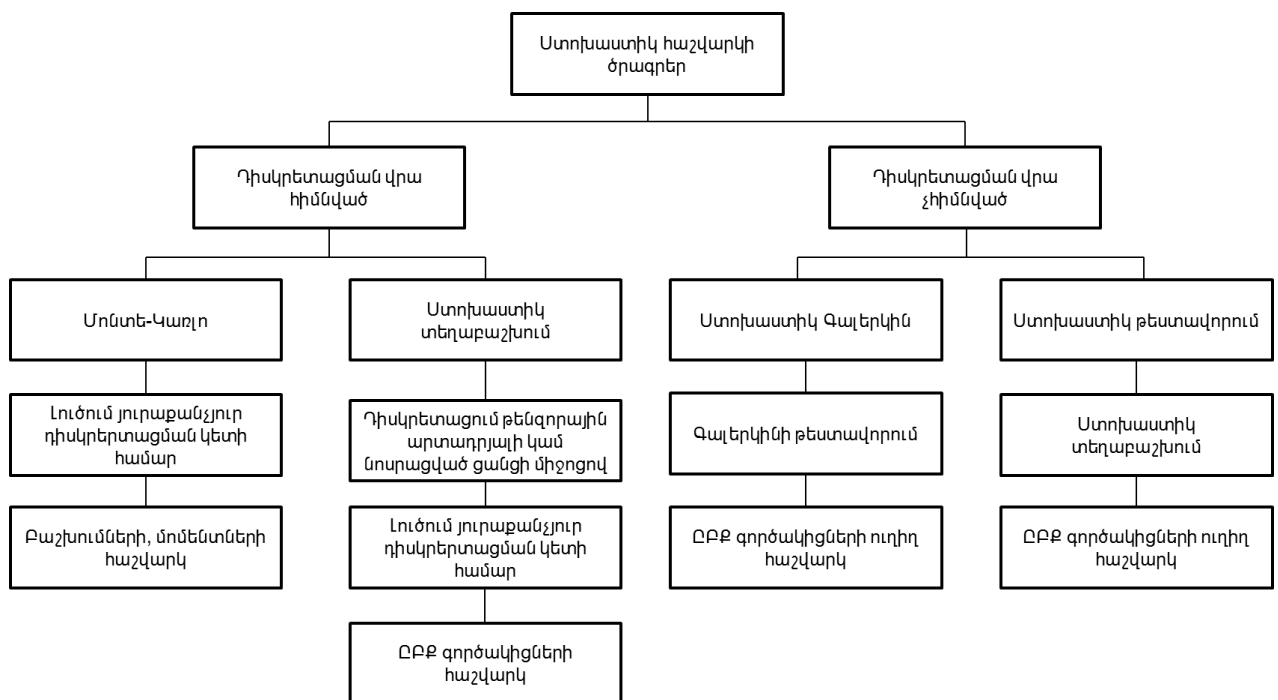
$\omega \in N^f$ -ում բազմաչափ ինտեգրալի գնահատման համար օգտագործվում է հետևյալ բանաձևը՝

$$\int_{\omega} P(\vec{\Delta}) \gamma(\vec{\Delta}) d\vec{\Delta} \approx \sum_{j=1}^n P(\vec{\Delta}^j) w^j, \quad (2.32)$$

որտեղ N -ը քառակուսացման կետերի ընդհանուր քանակն է, w^j -ն՝ քառակուսացման $\vec{\Delta}^j$ կետին համապատասխան քառային գործակիցը: Յուրաքանչյուր Δ_m -ի համար ունենալով քառակուսացման կետերը, $\vec{\Delta}^j$ -երը և w^j -երը կարող են ստացվել թեև գորային բազմապատկման կանոններով [56] կամ նոսրացված ցանցի օգտագործմամբ [60]: Նոսրացված ցանցի օգտագործման դեպքում քառակուսացման կետերի քանակը զգալիորեն ավելի

փոքր է՝ թենզորային բազմապատկման դեպքի համեմատ:

Ըստ ստոխաստիկ հաշվարկի ծրագրերի դասակարգման (նկ. 2.13 [60]), ինչպես Մոնտե-Կառլոյի, այնպես էլ ստոխաստիկ տեղաբաշխման մեթոդների դեպքում (2.23)-ը դիսկրետացման կետերի հավաքածուի վրա լուծվում է որպես դետերմինիստական խնդիր: Դրանց հիմնական տարբերությունը կապված է դիսկրետացման փուլերի հետ: Մոնտե-Կառլոյի մեթոդի դեպքում դիսկրետացումը հիմնված է $\gamma(\Delta)$ -ի պատահական դիսկրետացման վրա, իսկ ստոխաստիկ տեղաբաշխման պարագայում օգտագործվում են դիսկրետացման թենզորային արտադրյալի կամ նոսրացված ցանցի միջոցով ստացվող այնպիսի կետեր, որոնց դեպքում ԸԲՔ-ները կարող են լավագույնս վերկառուցվել:



Նկ. 2.13. Ստոխաստիկ հաշվարկի ծրագրերի

Ստոխաստիկ Գալերիկները կամ ստոխաստիկ թեստավորումը դիսկրետացման վրա չհիմնված մեթոդներ են: Դրանց պարագայում հանրահաշվական հավասարումներին լուծման միջոցով ուղղակիորեն հաշվարկվում են ԸԲՔ գործակիցները:

Առաջարկվող ստոխաստիկ թեստավորման մեթոդի [71] դեպքում ընտրվում են թեստավորման M կետեր՝ $\vec{\Delta}_1, \vec{\Delta}_2, \dots, \vec{\Delta}_M$: Նախ՝ քառակուսացման որևէ սխեմա (թեստորային արտադրյալ կամ նորացված ցանցի կանոն) է կիրառվում պարամետրերի ω տարածությունում N քառակուսացման $\vec{\Delta}^j$ կետեր ստեղծելու նպատակով: Դրանք կոչվում են թեկնածու հանգույցներ: Այնուհետև՝ ամենակարևոր M հատ թեկնածու հանգույցներն ընտրվում են այնպես, որ ձևափոխման $V \in \mathbb{N}^{M \times M}$ մատրիցը՝

$$V_{i,j} = H_j(\vec{\Delta}_i) \quad (2.33)$$

լինի շրջելի և և՛ պայմանավորված: Սահմանելով $\vec{H}(\vec{\Delta}) = [H_1(\vec{\Delta}), H_2(\vec{\Delta}), \dots, H_M(\vec{\Delta})]$ վեկտոր-ֆունկցիան, թեստավորման կետերը կարելի է ընտրել ըստ համապատասխան ալգորիթմի (նկ. 2.14): Արդյունքում՝ միայն թեկնածու հանգույցների փոքր բաժինն է ընտրվում որպես թեստավորման կետեր:

Ենթադրվում է, որ $\vec{y}(t) = [y^1(t); y^2(t); \dots; y^M(t)]$ -ն նշանակում է ԸԲՔ գործակիցները, $\vec{Q}(\vec{y}(t), \Delta) = \vec{Q}(\vec{y}(t, \vec{\Delta}), \vec{\Delta})$ և $\vec{h}(\vec{y}(t), \vec{\Delta}) = \vec{h}(\vec{y}(t, \vec{\Delta}), \vec{\Delta})$. (2.23)-ում $\vec{y}(t, \vec{\Delta})$ -ն փոխարինելով (2.30)-ից ստացվող արժեքով, կառուցվում է մնացորդային ֆունկցիան՝

$$R(\vec{y}(t), \vec{\Delta}) = \frac{d\vec{Q}(\vec{y}(t), \vec{\Delta})}{dt} + \vec{h}(\vec{y}(t), \vec{\Delta}) - \vec{C}\vec{U}_u(t): \quad (2.34)$$

Թե ստավորման բոլոր կետերում մնացորդային ֆունկցիան ձգտեցնելով 0-ի, ստոխաստիկ թեստավորման դեպքում առաջանում է հետևյալ դիֆերենցիալ հավասարումը՝

$$\frac{d\vec{Q}(\vec{y}(t))}{dt} + \vec{h}(\vec{y}(t)) = \vec{C}\vec{U}_d(t), \quad (2.35)$$

որտեղ $\vec{Q}(\vec{y}(t))$ -ի, $\vec{h}(\vec{y}(t))$ -ի և C -ի m -րդ բլոկները համապատասխանաբար $\vec{Q}(\vec{y}(t), \vec{\Delta}_m)$ -ը, $\vec{h}(\vec{y}(t), \vec{\Delta}_m)$ -ը և C -ն են:

Առաջարկվող ստոխաստիկ թեստավորման մեթոդը պատկանում է դիսկրետացման վրա չհիմնված եղանակներին, այսինքն՝ $\vec{y}(t)$ -ի ԸԲՔ գործակիցներն ուղղակիորեն հաշվարկվում են (2.35)-ի մոդելավորմամբ, այնուհետև պարամետրերից կախված՝ հոսանքի/լարման փոփոխականները ստացվում են ԸԲՔ-ների մոտարկմամբ: Անցողիկ գործընթացի վերլուծության դեպքում ժամանակային քայլի չափերն ընտրվում են հարմարվողական եղանակով՝ համաձայն (2.35)-ի տեղային կրճատման սխալի (S Կ Ս): Ստոխաստիկ թեստավորման մյուս առավելությունը դիսկրետացման վրա չհիմնված ալգորիթմում առկա տրոհման ընթացակարգն է: Ենթադրվում է, որ (2.35)-ի մոդելավորման ժամանակ $\vec{J}$ -ն Նյուտոնի իտերացիայի ներքին Յակոբիանն է (քանի որ ինչպես ստատիկ, այնպես էլ անցողիկ ռեժիմների հաշվարկի ժամանակ օգտագործվում է Էյլերի հետադարձ բանաձևը): Այդ դեպքում $\vec{J}$ -ն կարող է որոշվել որպես՝

$$\vec{J} = \Psi(J_1, J_2, \dots, J_M)(\vec{V} \otimes \vec{I}_n), \quad (2.36)$$

որտեղ Ψ -ն բլոկ-անկյուն նագծային օպերատոր է, $\otimes$ -ը՝
 Կրոնեկերի բազմապատկման գործողությունը,
 $\vec{I}_n \in N^{n \times n}$ -ը՝ նույնականացման մատրիցը: $J_m \in N^{n \times n}$ մատրիցը
 կարող է մեկնաբանվել որպես (2.33)-ի
 համապատասխանող Յակոբիան, որոնք $\vec{\Delta} = \vec{\Delta}_m$: Քանի որ $\vec{V}$
 մատրիցը հեշտը չէլի է, ապա Նյուտոնի
 յուրաքանչյուր իտերացիայի ներքին գծային
 համակարգի լուծումը կարող է տրոհվել M հատփոք
 չափի խնդիրների: Յետևաբար՝ ընդհանուր
 հաշվարկային բարդությունը, կախված M -ից,
 գծայնորեն փոխվում է:

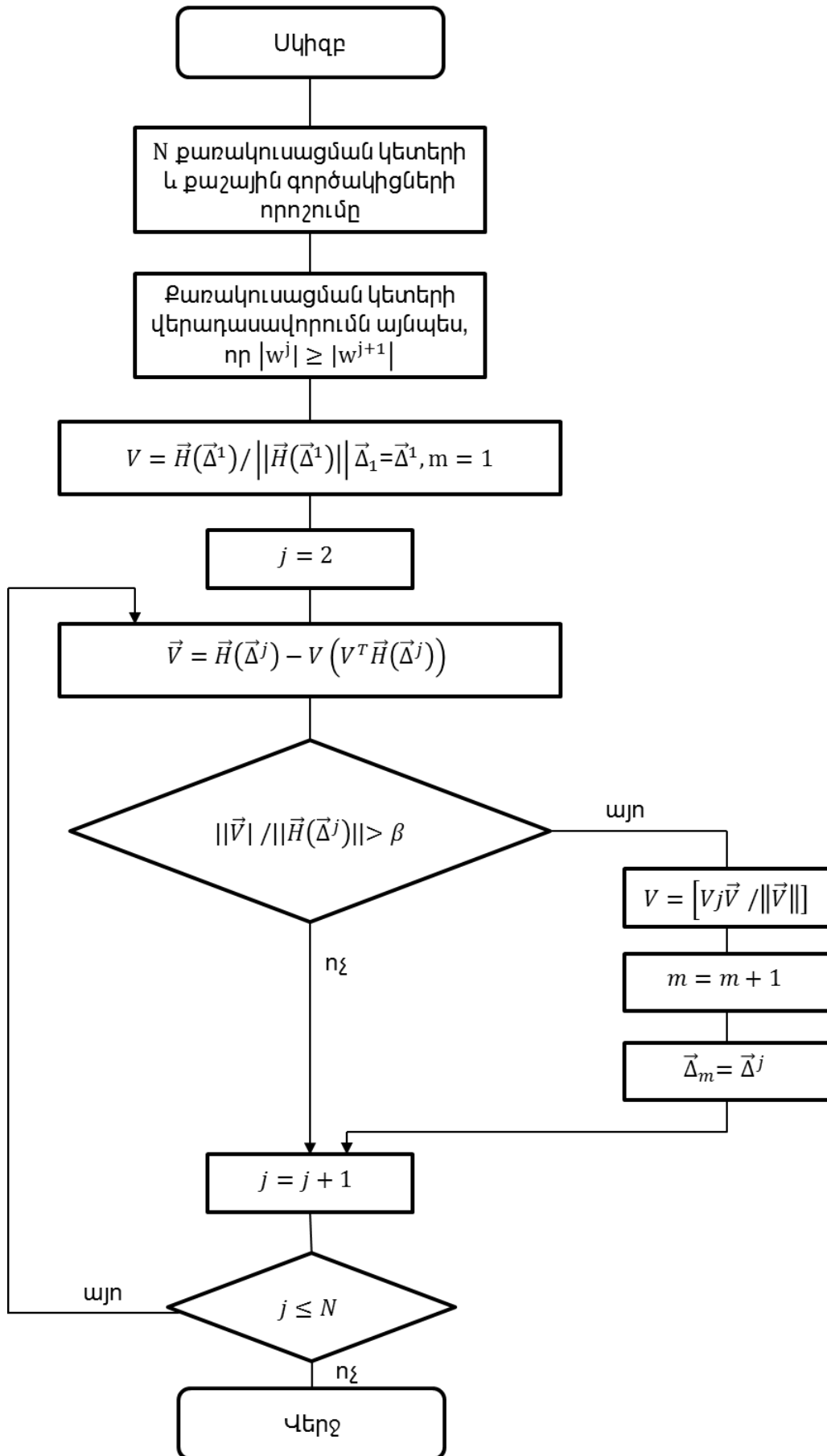
Կիրառելով Գալերկինի հետևյալ
 թեստավորումը՝

$$\{R(\vec{y}(t), \vec{\Delta}), H_m(\vec{\Delta})\} = \int_{\omega} R(\vec{y}(t), \vec{\Delta}) H_m(\vec{\Delta}) \gamma(\vec{\Delta}) d\vec{\Delta} = 0 \quad (2.37)$$

$m = 1, 2, \dots, M$ -ի համար, ստոխաստիկ Գալերկինը
 ձևավորվում է որպես (2.35)-ի տեսքի հավասարում: $\vec{Q}(\vec{y}(t))$ -
 ի, $\vec{h}(\vec{x}(t))$ -ի և $\vec{C}$ -ի m -րդ բլոկները համապատասխանաբար
 հանդիսանում են $\{\vec{Q}(\vec{y}(t), \vec{\Delta}), H_m(\vec{\Delta})\}$ -ն, $\{\vec{h}(\vec{y}(t), \vec{\Delta}), H_m(\vec{\Delta})\}$ -ն և $\{\vec{C}, H_m(\vec{\Delta})\}$ -ն:
 Ներքին արդյունքը կարող է գնահատվել՝
 օգտագործելով վերը նկարագրված քառակուսացման
 կանոնները կամ Մոնտե-Կառլոյի մեթոդի
 ներառմամբ:

Գալերկինի թեստավորմամբ (2.35)-ը ձևավորելուց
 հետո $\vec{y}(t)$ -ն նույնպես հաշվարկվում է դիսկրետացման
 վրա չհիմնված մոտեցմամբ: Ժամանակային մոդելա-
 վորման դեպքում ժամանակային քայլերի
 մեծությունները նույնպես հարմարվողական ձևով
 կարգավորվում են, ինչպես ստոխաստիկ

թե ստավորման դեպքում: Ստոխաստիկ թե ստավորման համեմատ Գալերկինի թե ստավորումն ունի երկու թերու թյուն: Նախ՝ ներքին արդյունքի գնահատման համար պահանջվում են M -ից մեծ թվով քառակուսացման կետեր, ինչը նշանակում է, որ յուրաքանչյուր ժամանակային կետում ստոխաստիկ Գալերկինը պահանջում է ավելի մեծ թվով սխեմայի/կիսահաղորդչային սարքի գնահատումներ: Հետևապես կիսահաղորդչային սարքերի բարդ մոդելների կիրառման պարագայում դա կարող է հանգեցնել մեքենայական ժամանակի ծախսերի նշանակալի մեծացման: Մյուս կողմից՝ ստոխաստիկ Գալերկինի վրա հիմնված հաշվարկների պարագայում արդյունարար Յակոբիանը չի կարող տարանջատվել, չնայած գծային սխեմաների դեպքում այն կարող է տարանջատվել, երբ օգտագործվում է $\mathcal{CFP}$ -ների վրա հիմնված թե նգորային մեթոդը: Սա հանգեցնում է ստոխաստիկ թե ստավորման համեմատ մեքենայական ժամանակի ծախսերի էական մեծացման: Ստոխաստիկ համատեղման դեպքում (2.23)-ը նախ՝ լուծվում է դիսկրետացման N կետերում՝ նպատակ ունենալով ստանալ $\vec{y}(t, \vec{\Delta}^m)$ լուծումների հավաքածուն: Այնուհետև՝ $\mathcal{CFP}$ գործակիցները վերահաշվարկվում են հետհաշվարկա-



Նկ .2.14. Ստորիստի կ թ ե ս տա վ ո ղ մ ա ն
դ ե պ թ ո լ մ թ ե ս տա վ ո ղ մ ա ն կ ե տ ե ղ ի

յի ն թվային սխեմաներով: Դրանցում դիսկրետներն ընտրվում են թենզորային արտադրյալի կամ նոսրացված ցանցով քառակուսացման եղանակով: Այդ պատճառով j -րդ ԸԲՔ վեկտորը կարող է գնահատվել հետևյալ կերպ՝

$$\vec{y}^j(t) = \{\vec{y}(t, \vec{\Delta}), H_j(\vec{\Delta})\} \approx \sum_{m=1}^N w^m H_j(\vec{\Delta}^m) \vec{y}(t, \vec{\Delta}^m): \quad (2.38)$$

Գործնական ժամանակային մոդելավորման դեպքում յուրաքանչյուր $\vec{y}(t, \vec{\Delta}^m)$ հաշվարկվում է դիսկրետացված ժամանակային կետերի հավաքածուի վրա: ԸԲՔ գործակիցների վերահաշվարկման համար դիսկրետացման բոլոր կետերում ստացված դետերմինիստական լուծումները պետք է տեղակայվեն նույն ժամանակային ցանցի վրա: Քանի որ դետերմինիստական հաշվարկներին պարագայում դժվար է նախապես ընտրել հարմարվողական ժամանակային ցանց, սովորաբար օգտագործվում է քայլի ֆիքսված փոքր չափը, ինչն էապես մեծացնում է մեքենայական ժամանակի ծախսերը:

Ստոխաստիկ համատեղման համեմատ՝ ստոխաստիկ թեստավորման արագաց -

ման չափը որոշվում է հետևյալ կերպ՝

$$M = M_{\text{ըիսկր}} \cdot M_{\text{եկարգ}}, \quad (2.39)$$

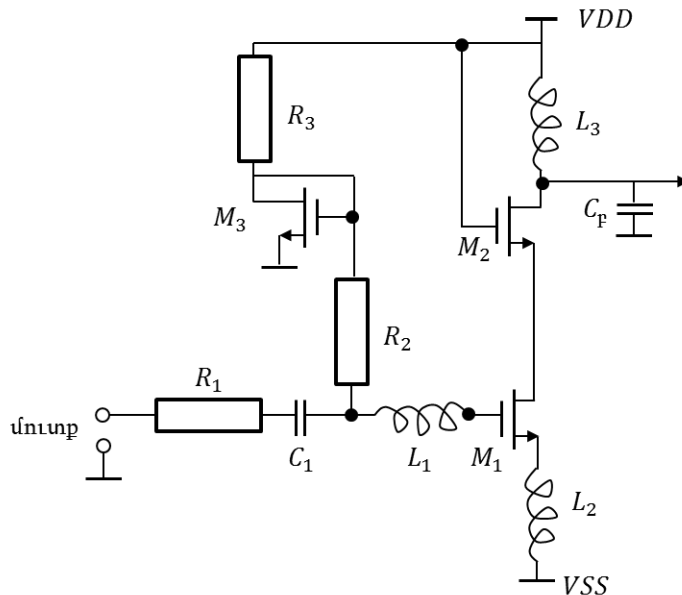
որտեղ $M_{\text{ըիսկր}} = \bar{N}/M > 1$, քանի որ ստոխաստիկ թեստավորման դեպքում օգտագործվում են ավելի փոքր թվով դիսկրետացման կետեր, քան ստոխաստիկ համատեղման դեպքում: Եթե ստոխաստիկ համատեղման դեպքում օգտագործվում են թենզորային արտադրյալի քառակուսացման կետերը, ապա $M_{\text{ըիսկր}}$ -ը

ստացվում է չափազանց մեծ, քանի որ d -ն մեծանում է: Երբ ստոխաստիկ համատեղման դեպքում օգտագործվում է նոսրացված ցանց, ապա ԸԲՔ ընդլայնման ընդհանուր աստիճանը մոտավորապես հավասար է 2^Y -ի, երբ $d \gg 1$: (2.39)-ում երկրորդ բազմապատկիչը՝ $M_{\text{էլարգ}} > 1$ ՝ ստոխաստիկ թեստավորման ժամանակային քայլի հարմարվողական ընտրության պատճառով: Սխեմայի ստատիկ ռեժիմի հաշվարկի դեպքում $M_{\text{էլարգ}} = 1$:

Պարամետրերի անորոշությունները հաշվի առնող սխեմատեխնիկական մակարդակի վերլուծության առաջարկվող եղանակի արդյունավետության գնահատման նպատակով այն փորձարկվել է ստատիկ և անցողիկ ռեժիմներում՝ անալոգային և թվային տարբեր ԻՍ-երի մոդելավորմամբ: Փորձարկումները կատարվել են տարբեր՝ Գաուսյան և ոչ Գաուսյան պատահական պարամետրերով: ԸԲՔ ընդլայնումների արագ գոլգամիտման պատճառով առաջարկված եղանակը, Մոնտե-Կառլոյի մեթոդի համեմատ, $100 \div 1000$ անգամ արագացրել է հաշվարկները: Առաջարկվող մեթոդը ստոխաստիկ Գալերկիսի համեմատ 10 անգամ, իսկ ստոխաստիկ համատեղման համեմատ մոտ 100 անգամ արագ է: Դա հատկապես նկատվում է ԸԲՔ-ի կարգի՝ Y -ի մեծացման դեպքում:

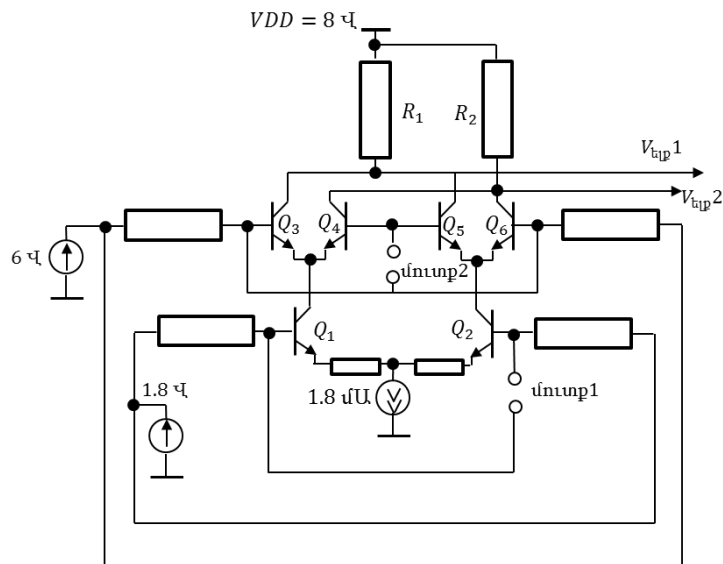
Չորս պատահական պարամետրերով և ոգարիթմական նեղ շերտով ուժեղարարի (նկ. 2.15) վերլուծությունը ցույց է տվել, որ ստոխաստիկ թեստավորման դեպքում հաշվարկների սխալները մի

փոքր ավելի մեծ են՝ ստոխաստիկ Գալերկիևի և ստոխաստիկ համատեղման համեմատ, բայց այդ դեպքում ստացվում են մեքենայական ժամանակի նվազագույն ծախսերը: Երեք պատահական պարամետրերով երկբևեռ կրկնակի բալանսավորմամբ խառնիչի պարագայում (նկ. 2.16) հաշվարկված ԸԲՔ գործակիցների սխալները երեք մեթոդների դեպքում էլ (նկ. 2.17) նույն կարգի մեծություններ են, բայց ստոխաստիկ թեստավորման դեպքում ստացվում են մեքենայական ժամանակի նվազագույն ծախսեր: Ընդ որում, ստացվել է,



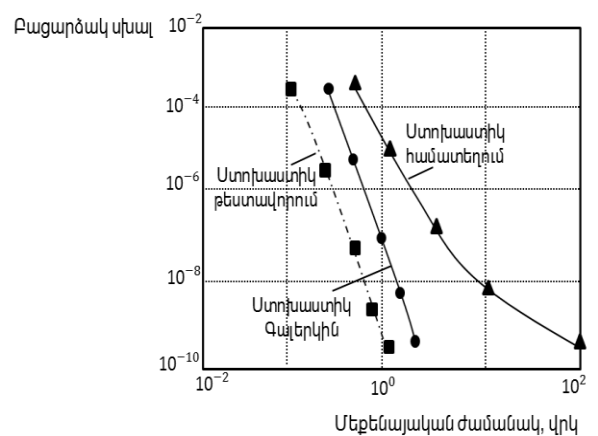
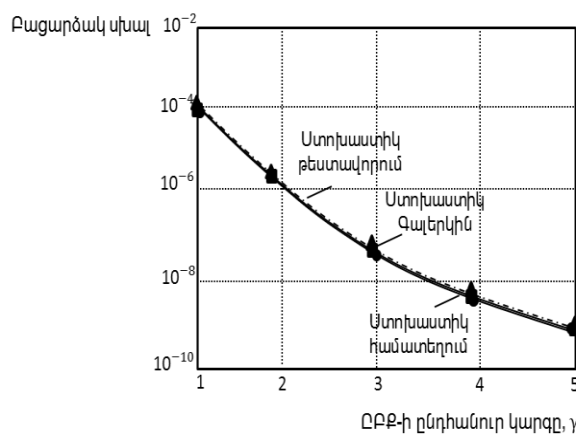
Նկ. 2.15. Լողարիթմական նեղ շերտով

որ սխեմաների մեծ մասի դեպքում բավարար է ԸԲՔ-ի երրորդ կարգի լայնացման ($\gamma = 3$) օգտագործումը:



Նկ. 2.16. Երկրորդական կրկնակի

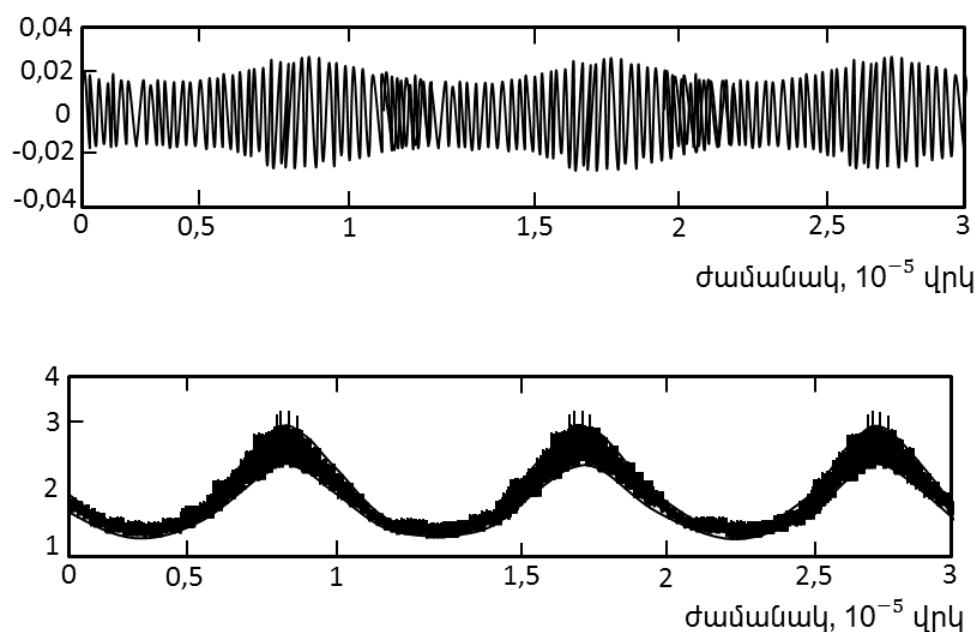
Լոգարիթմական նեղ շերտով ուժեղարարի և երկրորդական կրկնակի բաղանսավորմամբ խառնիչի անցողիկ գործընթացների մոդելավորումները ցույց են տվել, որ առաջարկվող ստոխաստիկ թեստավորման եղանակը, ստոխաստիկ Գալերկինի և ստոխաստիկ համատեղման համեմատ, 10-ից 100 անգամ արագ է, ինչը հատկապես կարևոր է մեծ թվով տարրեր պարունակող սխեմաների դեպքում:



Նկ. 2.17. Առաջարկված եղանակի ճշտության և արդյունավետության գնահատումը

Անալոգային սխեմաների դեպքում արագացման չափը, որը պայմանավորված է ժամանակային քայլի հարմարվողական ընտրությամբ, հասնում է ընդհուպ մինչև 10-ի: Թվային սխեմաների պարագայում առաջարկվող ստոխաստիկ թեստավորման եղանակն ապահովում է մեկրոպեից ավելի փոքր մեքենայական ժամանակի ծախսեր այն դեպքում, երբ ստոխաստիկ համատեղումը պահանջում է մեկ ժամից ավելի՝ ստանդարտ ժամանակային քայլի պատճառով:

Երկբևեռ կրկնակի բալանսավորմամբ խառնիչի (նկ. 2.16) ստոխաստիկ թեստավորումը, երբ անորոշությունները տրված են R_1 -ի և R_2 -ի համար, ապահովել է միջին արժեքի և ստանդարտ շեղումներով ազդանշանների (նկ. 2.18) ստացումը 25 անգամ արագ՝ ստոխաստիկ Գալերկիին և 48 անգամ արագ ստոխաստիկ համատեղման համեմատ, արդյունքների ճշտությունը ընդամենը $1,5 \pm 2,7\%$ կորստի հաշվին:



Նկ. 2.18. Երկբևեռ կրկնակի
բալանսավորմամբ խառնիչի

Այս պիսով, պարամետրերի անորոշությունները հաշվի առնող սխեմատեխնիկական մակարդակի վերլուծության եղանակն արդյունավետ է, քանի որ մի շարք սխեմաների փորձարկման արդյունքում ստացվում է, որ այն, հայտնի մեթոդների համեմատ, ապահովում է հաշվարկների համար անհրաժեշտ մեքենայական ժամանակի ծախսի կրճատում $10 \div 1000$ անգամ՝ արդյունքների ճշտության ընդամենը $1,5 \div 2,7\%$ կորստի հաշվին:

Եզրակացություններ

1. Մշակվել է պարամետրերի անորոշությունները հաշվի առնող վիճակագրական ժամանակային վերլուծության նոր եղանակ, որի դեպքում, ազդանշանի ստացման պահերը որպես հավանականության բաշխման կոտակման ֆունկցիաներ, իսկ տրամաբանական փականների հապաղումները որպես հավանականության բաշխման ֆունկցիաներ ներկայացնելու, ինչպես նաև այդ ֆունկցիաները հատված առ հատված մոտարկելու շնորհիվ, ստացվում է արդյունքների զգալիորեն մեծ և կարգավորվող ճշտություն:

2. Ստացվել են պարամետրերի անորոշությունները հաշվի առնող ինչպես ստատիկ, այնպես էլ վիճակագրական ժամանակային վերլուծության գլխավոր՝ գումարման և առավելագույնի ֆունկցիաների հաշվարկման նոր արտահայտություններ, որոնք գործում են նաև

սխեմայում առկա վերագրված անհատական
ճյուղավորումների դեպքում:

3. Իրագործվել է պարամետրերի
անորոշումը թյունները հաշվի առնող
սխեմատեխնիկական մակարդակի վերլուծության
նոր ստոխաստիկ սպեկտրալ մեթոդ, որը, հայտնի
մեթոդների համեմատ, ընդհանրացված
բազմանդամային քառսի վրա հիմնված է ինքնուրույն
շնորհիվ, ապահովում է հաշվարկների համար
մեքենայական անհրաժեշտ ժամանակի ծախսի $10 \div 1000$
անգամ կրճատում՝ արդյունքների ճշտության
ընդամենը $1,5 \div 2,7\%$ կորստի հաշվին:

ԳԼՈՒԽ 3. ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԱՆՈՐՈՇՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒ ՄԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ՄԻՋՈՑԻ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ

3.1. Պարամետրերի անորոշումը և պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման ծրագրային միջոցի կառուցվածքը և աշխատանքի սկզբունքը

Նախորդ գլուխներում ներկայացված մեթոդները և մոտեցումներն իրականացված են Uncertainty Designer ծրագրային գործիքային միջոցում, որի ծրագրային տեքստի մի հատվածը բերված է Հավելված 2-ում : Uncertainty Designer ծրագրային գործիքն իրագործված է Eclipse [110] ծրագրավորման միջավայրում՝ Java, Python ծրագրավորման և սկրիպտավորման լեզուներով, և նախատեսված է Windows XP և ավելի նոր օպերացիոն համակարգերի համար :

Ծրագրային միջոցը նախատեսված է պարամետրերի անորոշումը և ներքին հաշվառմամբ վիճակագրական ժամանակային կամ սխեմատիկական վերլուծության համար :

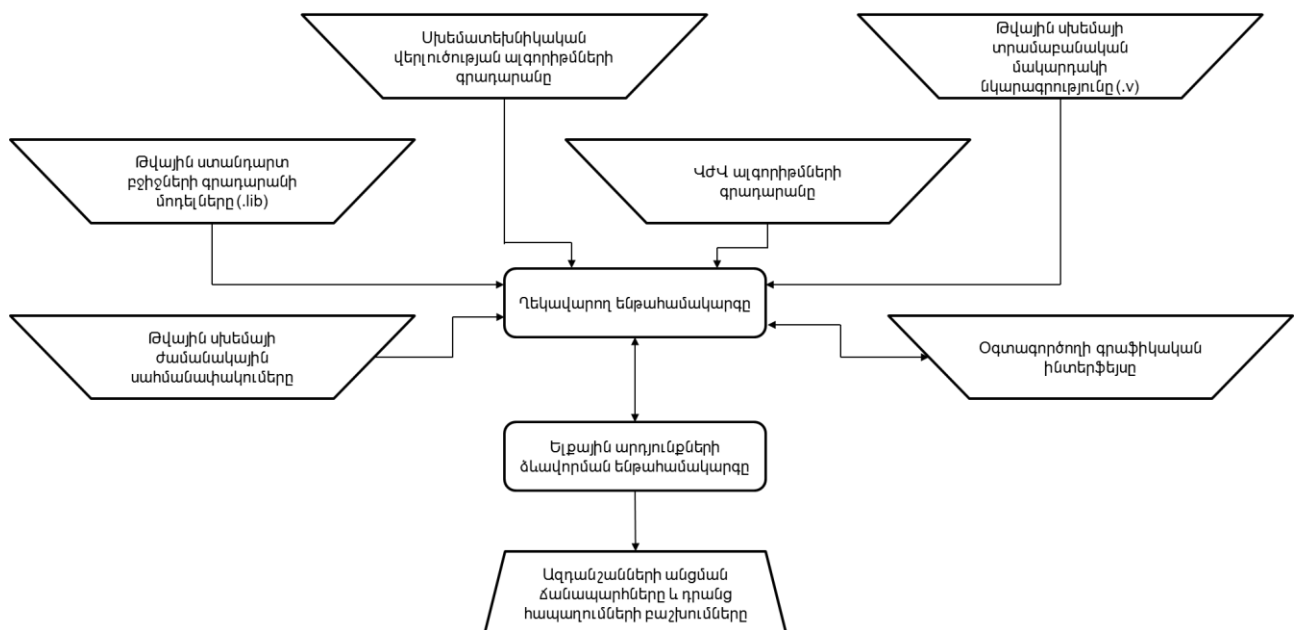
Uncertainty Designer ծրագրային գործիքային միջոցի կիրառման դեպքում 21-29%-ով մեծանում է ստացվող արդյունքների ճշտությունը :

Մշակված ծրագրային գործիքային միջոցն աշխատանքի ընթացքում օգտագործում է «Սինոփսիս»

ը ն կ ե ր ու թ յ ա ն Hspice [98,99], Design Compiler [111], Liberty NCX [112], Prime Time [113], VCS[114] ծ ր ա գ ր ա յ ի ն գ ո ղ ծ ի ք ն ե ր ը :

Uncertainty Designer ծ ր ա գ ր ա յ ի ն գ ո ղ ծ ի ք ա յ ի ն մ ի ջ ո ճ ի ի ր ա կ ա ն ա ց վ ո ղ ֆ ու ն կ ց ի ա ն ե ր ը և ք ա յ լ ե ր ի հ ա ջ ո ղ ա կ ա ն ու թ յ ու ն ը ք լ ո կ -դ ի ա գ ր ա մ ի տ ե ս ք ո վ ք ե ր վ ա ծ ե ն ն կ .3.1-ու մ :

Ծ ր ա գ ր ա յ ի ն գ ո ղ ծ ի ք ա յ ի ն մ ի ջ ո ճ ի մ ու տ ք ա յ ի ն տ վ յ ա լ ն ե ր ն ե ն թ վ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ու մ ա գ դ ա ն շ ա ն ն ե ր ի տ ա ր ա ծ մ ա ն ճ ա ն ա պ ա ր հ ն ե ր ի հ ա պ ա ղ ու մ ն ե ր ի վ ր ա ա ճ ա ջ ա դ ր վ ո ղ ժ ա մ ա ն ա կ ա յ ի ն ս ա հ մ ա ն ա փ ա կ ու մ ն ե ր ը ` .sdc ձ և ա չ ա փ ո վ , թ վ ա յ ի ն ս տ ա ն դ ա ր տ ք ջ ի ջ ն ե ր ի գ ր ա դ ա ր ա ն ի մ ո դ ե լ ն ե ր ը ` .lib ձ և ա չ ա փ ո վ , թ վ ա յ ի ն ս խ ե մ ա յ ի տ ր ա մ ա ք ա ն ա կ ա ն



Ն կ . 3.1. Uncertainty Designer ծ ր ա գ ր ա յ ի ն գ ո ղ ծ ի ք ա յ ի ն

մ ի ջ ո ճ ի ա շ խ ա տ ա ն ք ը ն ե ր կ ա յ ա ց ն ո ղ ք լ ո կ -

մ ա կ ա ր դ ա կ ի ն կ ա ր ա գ ր ա մ ա յ ու ն ը ` ս ա ր ք ե ը ի ն կ ա ր ա գ ր ա մ ա ն Verilog լ ե գ վ ո վ (.v ձ և ա չ ա փ ո վ), Վ ժ Վ և ս խ ե մ ա տ ե խ ն ի կ ա կ ա ն մ ա կ ա ր դ ա կ ի վ ե ր լ ու ծ ու թ յ ու ն ն ե ր ի ա լ գ ո ղ ծ ի ք մ ն ե ր ի

գրադարանները (նկ. 3.1): Յատկանշական է, որ թվային սխեմայի Verilog լեզվով նկարագրողական համար օգտագործվում է ֆիզիկական նախագծման փուլից հետո դրա տարբերակը, ինչն արդեն ընդգրկում է ազդանշանների տարածման ճանապարհների կարճացման նպատակով ավելացվող տրամաբանական կրկնիչները և շրջիչները:

Uncertainty Designer համակարգն ընդգրկում է ղեկավարող և ելքային արդյունքների ձևավորման ենթահամակարգերը, ինչպես նաև օժտված է օգտագործողի գրաֆիկական ինտերֆեյսով:

Uncertainty Designer ծրագրային գործիքային միջոցը կառուցելիս հաշվի են առնվել նման դասի համակարգերի առաջադրվող հետևյալ պահանջները.

1. Օգտագործողի համար հարմարավետ և պարզ գրաֆիկական ինտերֆեյսի կազմակերպումը: Քանի որ ԻՍ-երը նախագծելիս միաժամանակ կիրառվում են տարաբնույթ ենթահամակարգեր, ապակարևորվում է դրանց միջև համապատասխան հղումների կազմակերպումը, ինչպես նաև դրանց արդյունքների տեսանելիացումը:
2. Ընդլայնման հնարավորությունը: ԻՍ-երի նախագծման ծրագրային գործիքային միջոցների արագ զարգացումը հանգեցնում է դրանց պարամետրերի անորոշությունները հաշվի առնող նոր եղանակների, սինթեզի և վերլուծության ալգորիթմների ու մեթոդների մշակմանը: Յետևաբար, կարևոր է, որ պարամետրերի անորոշության պայմաններում

ԻՍ-էրի նախագծման ծրագրային միջոցն ունենա
առանց օգտագործողի կողմից ծրագրավորման
նոր ալգորիթմների ներառման
հնարավորություն:

3. Երկխոսության ռեժիմում աշխատելու
հնարավորությունը: Կարևորվում է ԻՍ-էրի
նախագծողներին օպերատիվ կերպով ցանկացած
տեղեկությունների ներկայացումը:
Օգտագործողը ցանկացած պահի պետք է ՎԺՎ կամ
սխեմատեսիկակա
վերլուծության
գործընթացի ընդհատման, իսկ
անհրաժեշտության դեպքում՝ նաև որոշակի
շտկումներ
իրականացնելու
հնարավորություն ունենա:

4. Օգտագործվող մեքենայական միջոցների
խնայումը: Ճախսվող օպերատիվ հիշողության և
մեքենայական ժամանակի փոքրացումը
կարևորագույն խնդիրներից է, սակայն այն
հակասության մեջ է ստացվող արդյունքների
ճշտությունն ապահովելու պահանջի հետ:
Պարամետրերի անորոշության պայմաններում
ԻՍ-էրի նախագծման ծրագրային միջոցը
սովորաբար համեմատաբար փոքր տեղ է
զբաղեցնում օպերատիվ հիշողությանում,
սակայն դրա աշխատանքի ընթացքում գործող ԻՍ-
էրի նախագծման այլ ենթահամակարգերը
հիշողության բավական մեծ ծավալ են
պահանջում: Հետևաբար, կարևորվում է
ծրագրային ապահովման սերվերների հետ

օպերատիվ աշխատելու հնարավորությունը: Դա հանգեցնում է մեքենայական ժամանակի զգալի փոքրացմանը:

5. ԻՍ-երի նախագծման այլ ենթահամակարգերի հետ համատեղելիությունը: Քանի որ կիրառվում են ԻՍ-երի նախագծման մի շարք այլ ծրագրային գործիքներ, ապա ստեղծվող ծրագրային ապահովումը պետք է նախատեսված լինի աշխատելու նույն օպերացիոն համակարգում, ինչ որ դրանում կիրառվող մյուս ծրագրերը: Այս դեպքում զգալիորեն պակասում է համակարգչային ցանցի մտցրած հապաղումը, ինչն էլ, իր հերթին, հանգեցնում է մեքենայական ժամանակի փոքրացման:

3.2. Պարամետրերի անորոշություն

պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների

նախագծման ծրագրային միջոցի

հնարավորությունները

ՎժՎ գործընթացը ժամանակատար է և նախագծողից պահանջում է նախագծման ժամանակակից տեխնիկական գործընթացներին տիրապետելու հմտություններ: Uncertainty Designer ծրագրային միջոցի հիմնական նպատակը ազդանշանների տարածման ճանապարհներին հապաղումներին վիճակագրական ժամանակային վերլուծությունն է, ինչը հնարավորություն է տալիս պատկերացում կազմել

սարքի բնութագրերի մասին՝ կատարելով պահանջված մոլտքային տվյալների ներմուծումը:

Այսպիսով, նախագծման գործընթացում կտրուկ փոքրանում է տեխնիկական գործողությունների քանակը, ինչպես նաև նվազագույնի է հասցվում վերջիններիս ընթացքում նախագծողի կողմից բացթողնվող սխալների հավանականությունը: **Uncertainty Designer** ծրագրային միջոցը պարունակում է չորս հիմնական պատուհաններ (նկ.3.2)՝

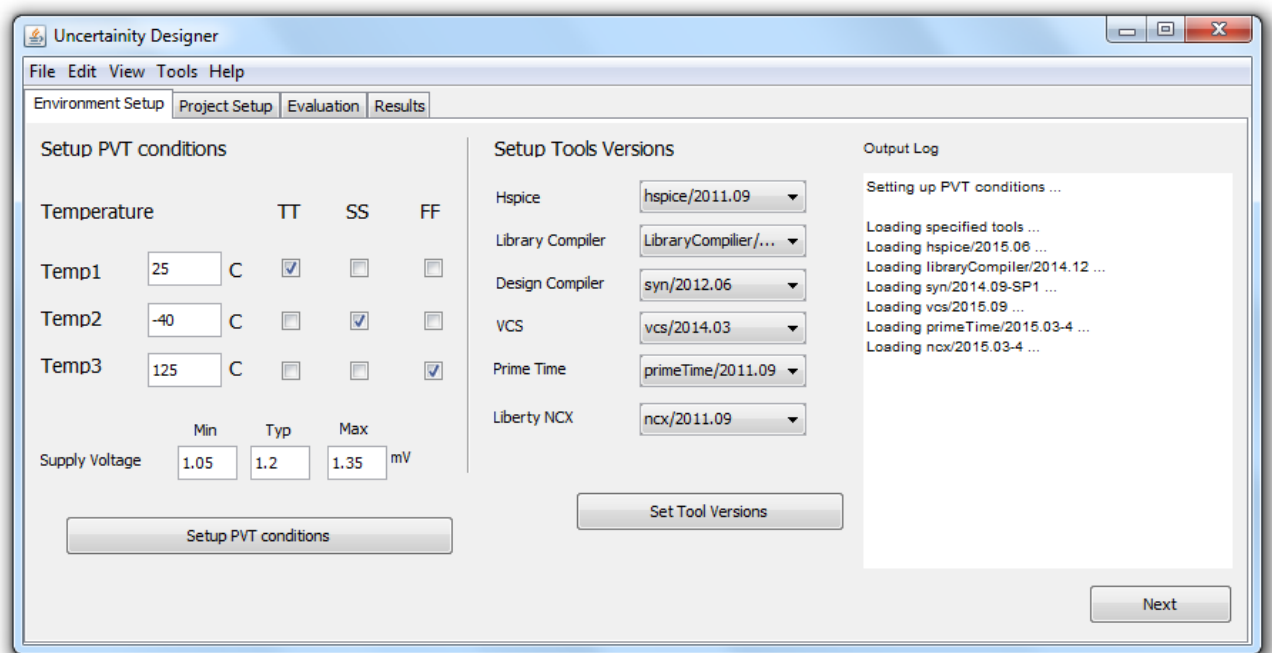
1. Environment Setup,
2. Project Setup,
3. Evaluation,
4. Results:

«Environment Setup» պատուհանը պարունակում է ընթացիկ նախագծի համար անհրաժեշտ ծրագրային միջոցների և աշխատանքային պայմանների մոլտքագրման, ինչպես նաև արդեն գոյություն ունեցող նախագծերի օգտագործման համար նախատեսված դաշտեր (նկ. 3.2): Դաշտերի և գործողությունների անանցնող այլ տարրերի հակիրճ բնութագրերը բերված են ստորև.

ա) «Setup PVT Conditions» դաշտում ընտրվում են նախագծանալ մոդելավորման համար անհրաժեշտ գործընթաց-լարում-ջերմաստիճան (ԳԼՋ) պայմանները: «Temperature» դաշտում սահմանվում է յուրաքանչյուր գործընթացի հատուկ աշխատանքային ջերմաստիճանը: Այնուհետև համապատասխան կոճակով ընտրվում են յուրաքանչյուր ջերմաստիճանի համապատասխանող

գործընթացները: Յնարավոր է կազմել շերմաստիճան-գործընթաց երեք հավաքածու:

բ) «Supply Volage» դաշտում մոտեքավորում են սնման լարման համապատասխանաբար նվազագույն, տիպային և առավելագույն արժեքները: Ծրագրի գործարկման համար պահանջվող բոլոր այն տեսքերի հավաքածուները, որոնք կախում ունեն գԼՋ պայմաններից, որոշվում են տվյալ դաշտի միջոցով:



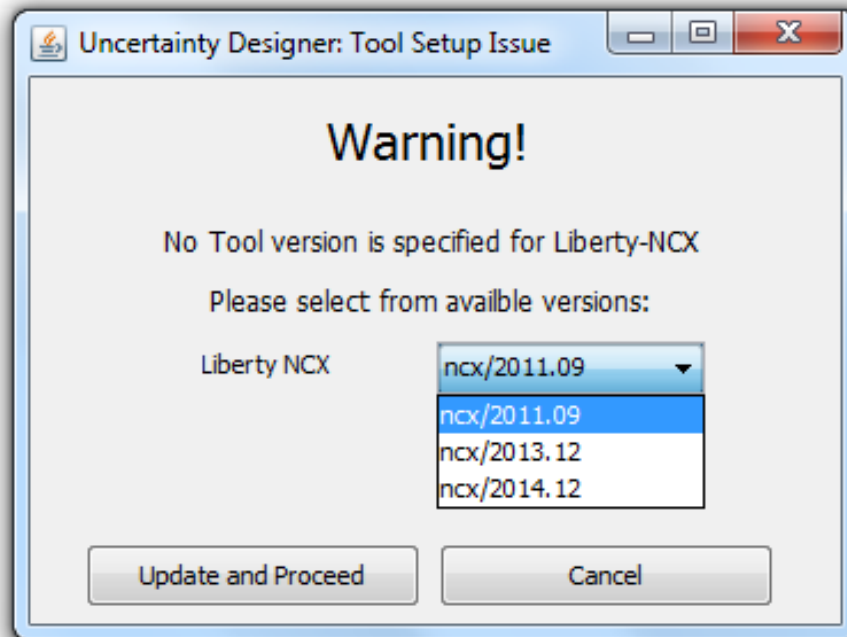
Նկ . 3.2. Uncertainty Designer ծրագրային միջոցի աշխատանքային պայմաններին

գ) «Setup Tool Versions» դաշտում մարկային տարբերակները նախագծանում ուղեկցվում են համար անհրաժեշտ ծրագրային միջոցների հասանելի տարբերակները: Վերջիններս ծրագրի կողմից հայտնաբերվում են ավտոմատ եղանակով՝ նախագծողին ապահովելով յուրաքանչյուր ծրագրային միջոցի տվյալ պահին հասանելի բոլոր տարբերակները: «Set Tool Versions» կոճակով կատարվում է ընտրված արժեքների հաստատում,

ինչն օգտագործվելու է նախագծման հետագա քայլերի ընթացքում: Այն դեպքում, երբ նախագծողի կողմից բաց է թողնվում ծրագրային միջոցներից որևէ մեկի ընտրությունը, արտածվում է համապատասխան զգուշացման պատուհանը (նկ. 3.3), ինչը հնարավորություն է տալիս տեղում թարմացնել անհրաժեշտ մոլտքային տվյալը՝ ընտրելով առաջարկվող տարբերակներից մեկը և սեղմելով «Update and Proceed» կոճակը, կամ, սեղմելով «Cancel» կոճակը, դադարեցնել տվյալ գործընթացը և վերադառնալ աշխատանքային պայմանների մոլտքագրման պատուհանը:

դ) «Output Log» պատուհանում հաղորդագրություններով արտածվում է ծրագրի կողմից նախագծողի գործողություններին տրված արձագանքի և ընթացիկ գործընթացների մասին անհրաժեշտ տեղեկատվությունը:

ե) «Next» կոճակով կատարվում է անցում նախագծի մոլտքային տվյալների փուլին:

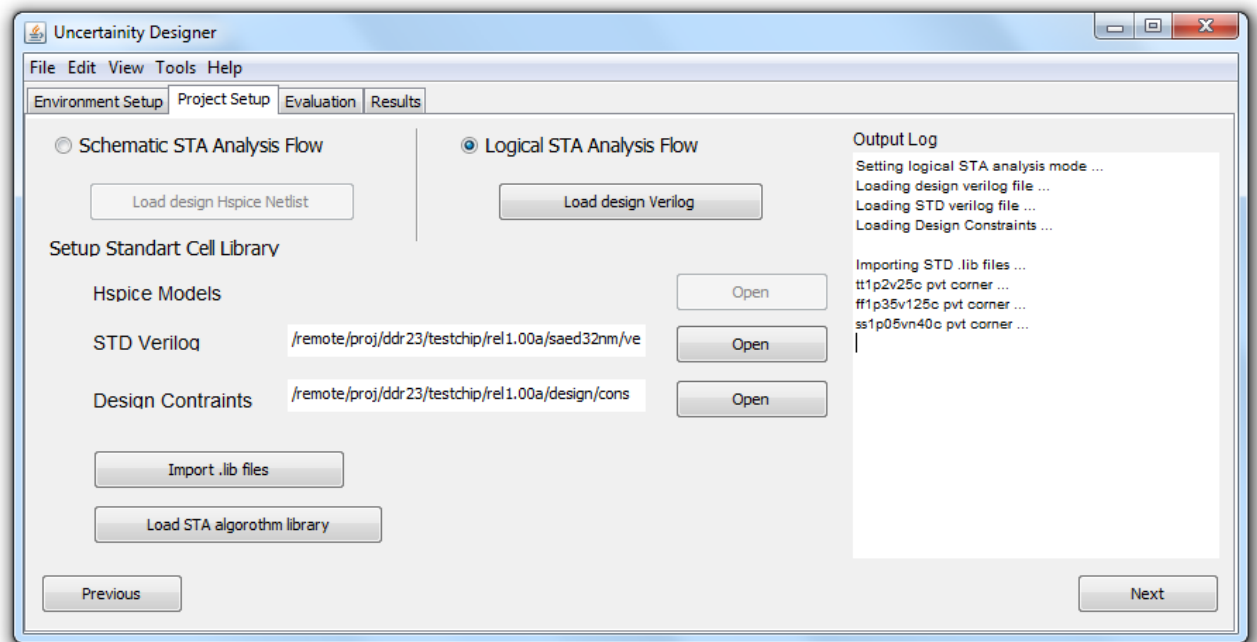


Նկ. 3.3. Ծրագրային միջոցի ընտրություն

բացակայություն դեպքում Uncertainty Designer

ծնանալիս միջոցի անհամապատասխան

Գլխավոր պատուհանի «Project Setup» կոճակով ակտիվանում է նախագծի աշխատանքային տվյալներին մոտեցարման պատուհանը (նկ. 3.4): Ծրագրի ընդհանրավորությունն է տալիս աշխատել ինչպես նախագծի սխեմատիկական, այնպես էլ տրամաբանական նկարագրությունների հետ: Յուրաքանչյուրի համար նախատեսված է մոտեցարմային ֆայլերի և ՎԺՎ գործընթացի դեպքում օգտագործվող ծրագրային միջոցների համապատասխան հավաքածու:



Նկ. 3.4. Uncertainty Designer ծրագրային գործիքի

միջոցով տրամաբանական մակարդակի

Հիմնականում, այս գործիքը օգտագործվում է ռադիո արագրված և ստորև.

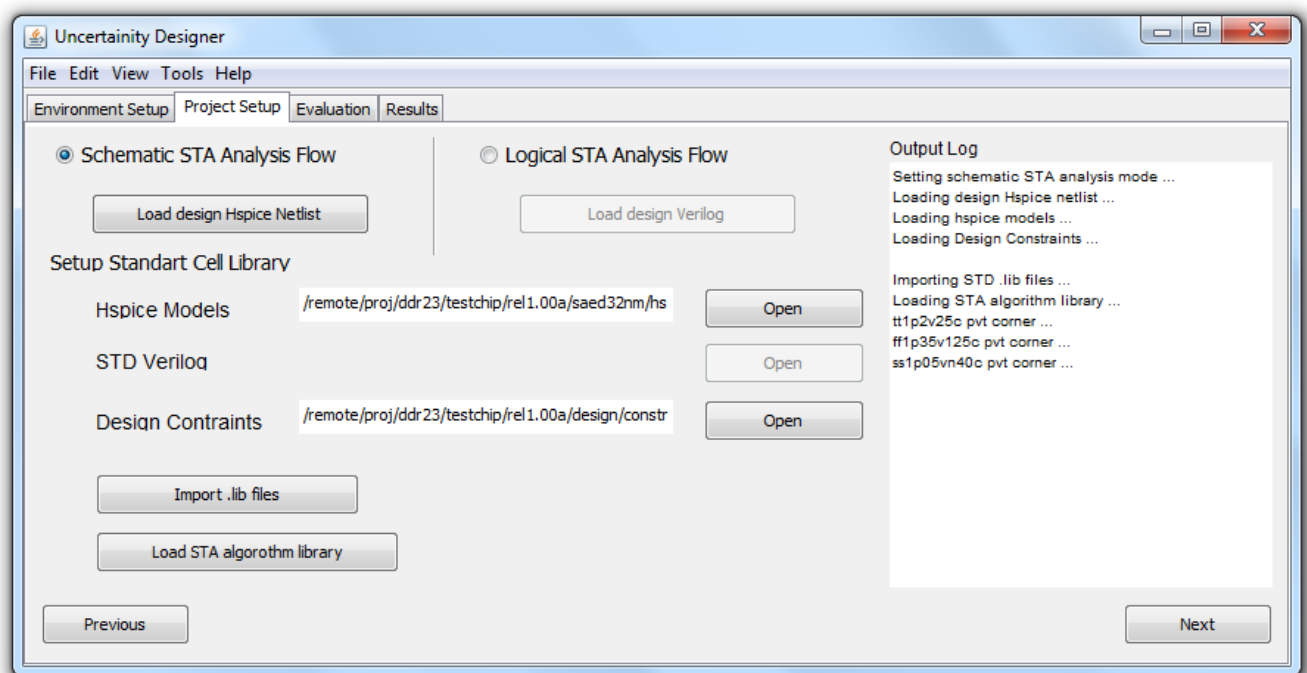
ա) «Schematic STA Analysis Flow» և «Logical STA Analysis Flow» կոճակներով ընտրվում են նախագծի համապատասխան արսիտեմատեխնիկական և տրամաբանական տեսքով նկարագրող յոլ ներքին համար ՎԺՎ գործընթացները:

բ) «Hspice Models» դաշտում մոլտքագրվում են ստանդարտ տարրերի գրադարանի համապատասխան Hspice մոդելները, որոնք օգտագործվում են սիտեմատեխնիկական ՎԺՎ-ի դեպքում: Տրամաբանական ՎԺՎ գործընթացի ընտրման դեպքում տվյալ դաշտը գտնվում է պասսիվ լիճակում (նկ. 3.5):

գ) «STD Verilog» դաշտում մոլտքագրվում են ստանդարտ տարրերի գրադարանի համապատասխան Verilog մոդելները, որոնք օգտագործվում են տրամաբանական ՎԺՎ-ի դեպքում: Սիտեմատեխնիկական

ՎԺՎ գործընթացի ընտրման դեպքում տվյալ դաշտը գտնվում է պասսիվ վիճակում:

Հատկանշական է, որ թվային սխեմայի Verilog-ը գվով նկարագրող թյան համար օգտագործվում է ֆիզիկական նախագծման փուլից հետո դրա տարբերակը, ինչն արդեն ընդգրկում է ազդանշանների տարածման ճանապարհների կարճացման նպատակով ավելացվող տրամաբանական կրկնիչները և շրջիչները (նկ. 3.6):



Նկ. 3.5. Uncertainty Designer-ի թվային գործիքի

միջոցով սխեմատիկական

դ) «Design Constraints» դաշտում բեռնվում է ն համապատասխան թվային սխեմայում ազդանշանների տարածման ճանապարհների հապաղումների առաջադրվող ժամանակային սահմանափակումները՝ .sdc և աչափով:

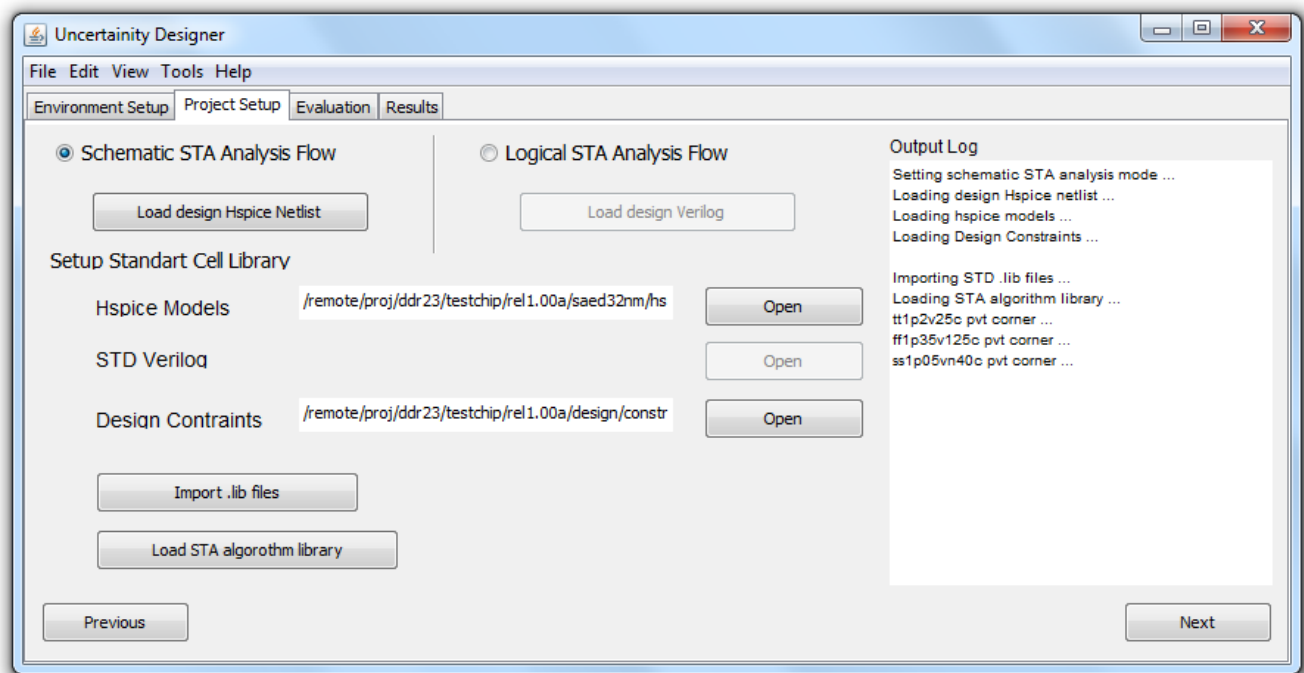
ե) «Import .lib files» կոճակով հնարավորություն է տրվում բեռնել ընտրված ԳԼՋ պայմաններին

համապատասխանող ստանդարտ տարրերի գրադարանի ժամանակային մոդելները:

զ) «Load STA algorithm library» կոճակով բեռնվում է ՎԺՎ ալգորիթմների գրադարանը:

է) «Next» կոճակով կատարվում է անցում ՎԺՎ գործարկման պատուհանին:

ը) «Previous» կոճակով կատարվում է անցում նախորդ՝ աշխատանքային պայմանների մուտքագրման պատուհանին:



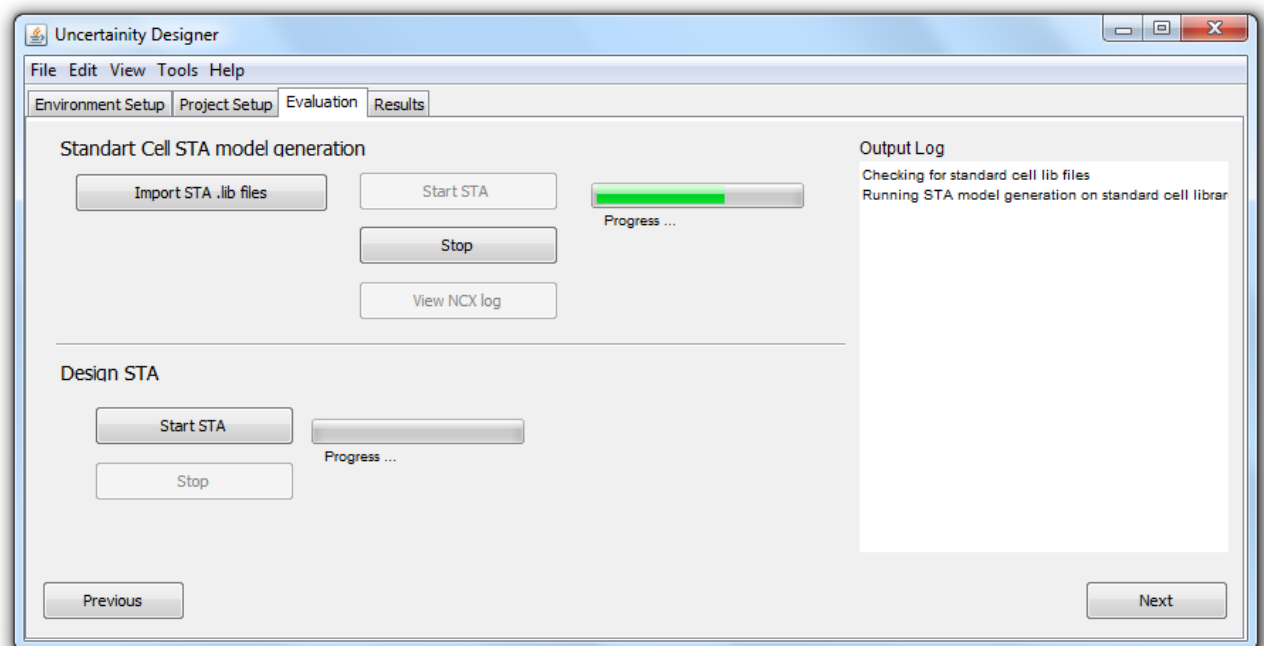
Նկ . 3.6. Uncertainty Designer ծրագրային գործիքի

միջոցով սխեմատիկ հսկման մակարդակի

Գլխավոր նախագծի ՎԺՎ պատուհան «Evaluation» կոճակով ակտիվանում է ՎԺՎ գործարկման պատուհանը (նկ . 3.7): Այն բաղկացած է 2 դաշտերից՝

ա) «Standard Cell STA model generation» դաշտում NanoTime ծրագրային գործիքի միջոցով իրագործվում է ստանդարտ տարրերի վիճակագրական մոդելներ գեներացում:

ՎԺՎ կատարելու համար անհրաժեշտ է ունենալ թվային ստանդարտ բջիջների վիճակագրական գրադարան: Այդ նպատակով տրամաբանական տարրերի համար կատարվել է Մոնտե-Կառլոյի մոդելավորում, որպեսզի ստացված գրադարանում ամեն տարր պարունակի տեխնոլոգիական պարամետրերի շեղումներին համապատասխանող հապաղման վիճակագրական բաշխումները: Գրադարանի բնութագրումը կատարվել է «Սինոփսիս» ընկերության NanoTime միջոցի կիրառմամբ (նկ. 3.8), որի արդյունքում ստացված նկարագրության ֆայլը պահվում է լայն տարածում գտած Liberty ձևաչափով: Վերջինս պարունակում է հետևյալ տարրերը.



Նկ. 3.7. *Uncertainty Designer* ծրագրային գործիքի միջոցով ՎԺՎ գործարկման պատուհանը

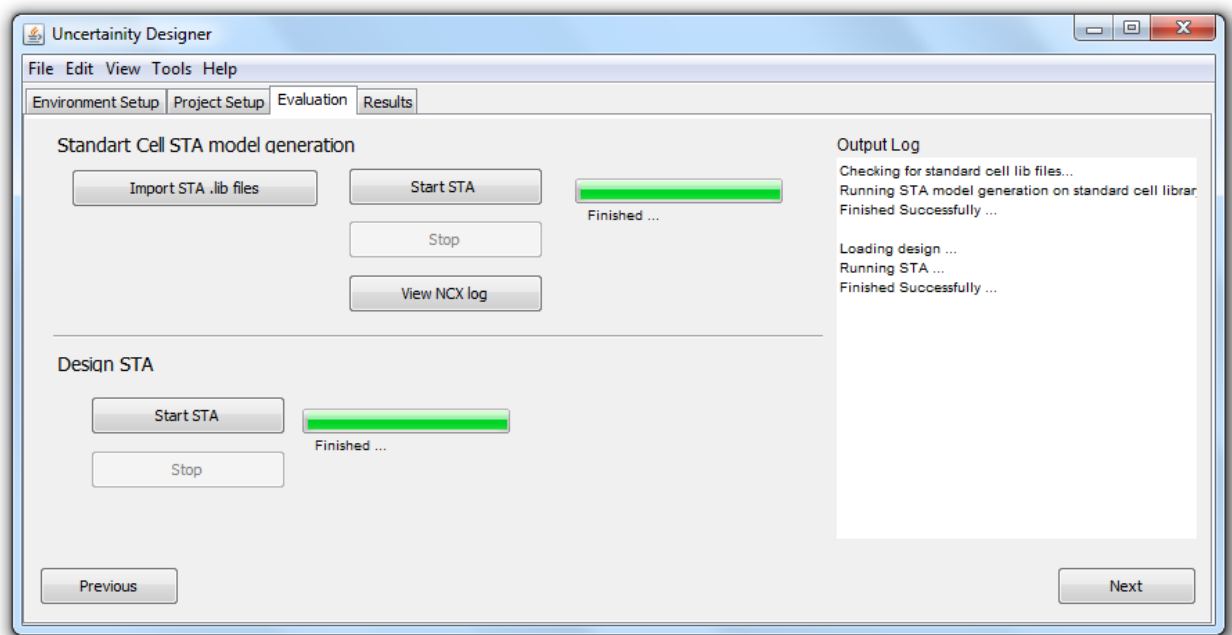
- «Import STA .lib files» կոճակով հնարավորություն է տրվում մոլտքագրելու ստանդարտ տարրերի

արդեն իսկ գոյություն ունեցող վիճակագրական մոդելները :

- «Start STA» կոճակով գործարկվում է վիճակագրական մոդելների գեներացման գործընթացը :
- «Stop» կոճակով նախագծողին , որոշակի ճշգրտումներ մտցնելու նպատակով , հնարավորություն է տրվում ցանկացած պահի դադարեցնել գեներացիայի գործընթացը :
- «View NCX Log» կոճակով բացվում են գեներացիայի գործընթացի ընթացքում NanoTime ծրագրային միջոցի ստեղծած ընթացիկ տեղեկատվական ֆայլերը :

բ) «Design STA» դաշտում , համաձայն տրված ալգորիթմների գրադարանի , իրագործվում է նախագծի ՎԺՎ-ն : Վերջինս պարունակում է հետևյալ տարրերը .

- «Start STA» կոճակով գործադրվում է ՎԺՎ գործընթացը :



Նկ . 3.8. Uncertainty Designer ծրագրային գործիքի

միջոցով գործընթացի ավարտից հետո ՎԺՎ

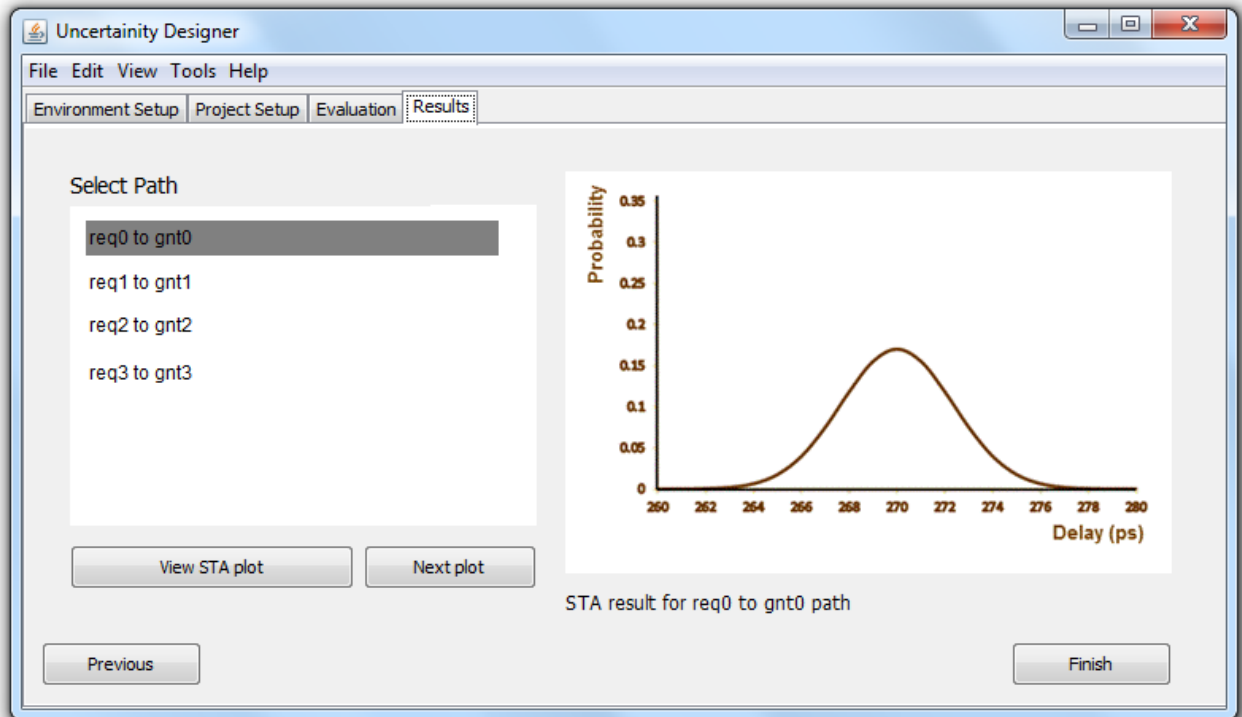
- «Stop» գործիքով ավարտելով համապատասխան ախաղժողին հնարավորություն է տրվում ցանկացած պահի դադարեցնել գեներացիայի գործընթացը՝ որոշակի ճշգրտումներ մտցնելու նպատակով:

գ) «Next» կոճակով կատարվում է անցում արդյունքների գնահատման պատուհանին:

դ) «Previous» կոճակով կատարվում է անցում նախորդ ՎԺՎ գործարկման պատուհանին:

Գլխավոր պատուհանի «Results» կոճակով ակտիվանում է ՎԺՎ գործընթացի արդյունքների գնահատման պատուհանը (նկ . 3.9), որտեղ հնարավորություն է տրվում՝ գրաֆիկորեն արտապատկերելու նախադժոխս ադանշանների տարածման ճանապարհների հապաղումների հավանականային բաշխումները: Պատուհանը բաղկացած է հետևյալ դաշտերից.

ա) «Select Path» դաշտում տրվում է նախագծում առկա ճանապարհներից ուղղակի, որոնց համար իրագործվել է ՎԺՎ՝ նշելով ճանապարհի սկզբնակետը և վերջնակետը :



Նկ .3.9. Uncertainty Designer-ի ինտերֆեյսի միջոցով ՎԺՎ գործընթացի արդյունքների գնահատման

Որոշակի ճանապարհի ՎԺՎ արդյունքը դիտելու նպատակով անհրաժեշտ է ընտրել համապատասխան տողը :

բ) «View STA Plot» կոճակով արտածվում է համապատասխան ճանապարհի համար ստացված հապաղման հավանականային կորի գրաֆիկը :

գ) «Next Plot» կոճակով կատարվում է անցում ցուցակում նշված հաջորդ ճանապարհի ՎԺՎ գրաֆիկին :

դ) «Previous» կոճակով կատարվում է անցում նախորդ ՎԺՎ գործարկման պատուհանին :

է) «Finish» կոճակով ստացված գրաֆիկները պահվում են տվյալ նախագծի համար սահմանված թղթապանակի մեջ, և փակվում է ծրագրային միջոցը:

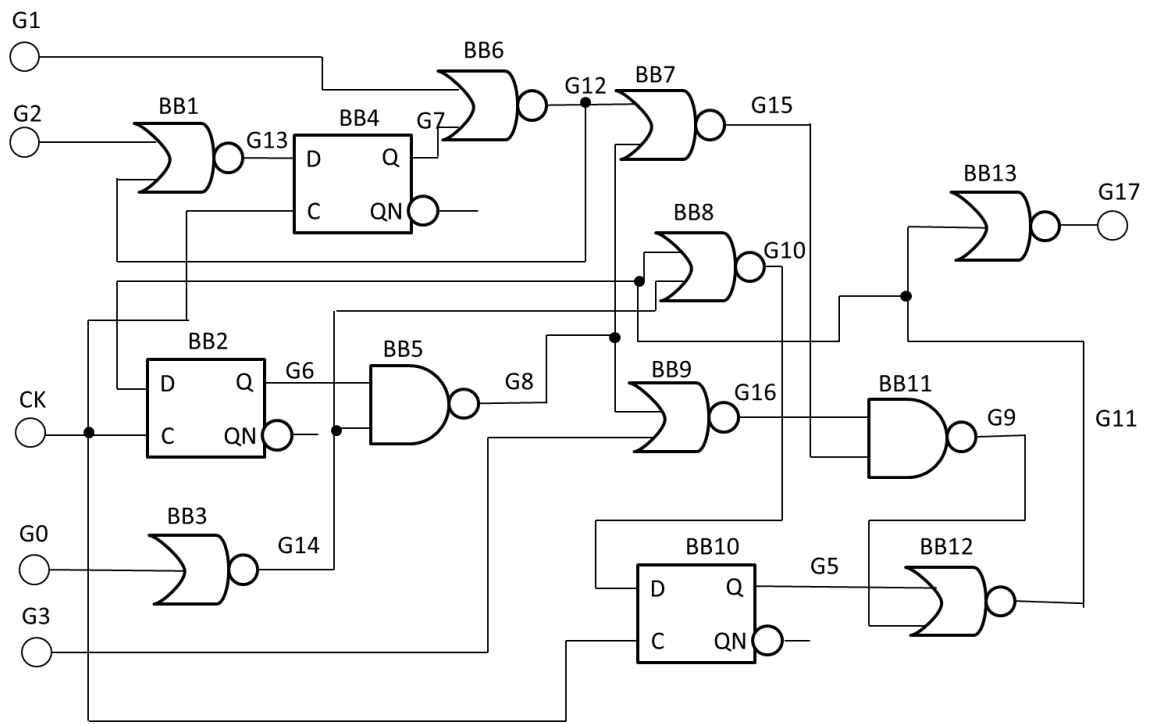
3.3. Պարամետրերի անորոշումը

պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների

նախագծման ծրագրային միջոցի

արդյունավետության գնահատումը

Մշակված Uncertainty Designer ծրագրային գործիքային միջոցի արդյունավետության գնահատման նպատակով այն փորձարկվել է ISCAS թեստային սխեմաների շարքի բազմաթիվ օրինակներով (աղ. 3.1-ում բերված են փորձարկված սխեմաների տվյալները, նկ. 3.10-ում, որպես օրինակ, դրանցից մեկի՝ C27-ի սխեման, իսկ նկ. 3.11-ում՝ դրա Verilog նկարագրումը):



Նկ .3.10. Փոքր ձար կված C27 սխեմայի օրինակը

Փոքր ձար կոմպենտի ժամանակ օգտագործվել է թվային ստանդարտ բջիջների SAED 32/28 [104] գրադարանը, որի կազմը բերված է հավելված 3-ում:

Այն ստեղծվել է 32/28 նմանոց, 1 կիսահաղորդչային և 9 մետաղական շերտերով տեխնոլոգիայի համար: Սնման լարումներն են՝ 1,5Վ/1,8Վ/2,5Վ: Գրադարանի կազմում ընդգրկված են ինչպես սովորական բջիջներ՝ տարատեսակ պարզագույն տրամաբանական փականներ (բջիջներ, տրամաբանական կրկնիչներ, եՎ, եՎ-ՈՉ,

```

module C27(CK,G0,G1,G17,G2,G3);
input CK,G0,G1,G2,G3;
output G17;
wire G5,G10,G6,G11,G7,G13,G14,G8,G15,G12,G16,G9;
dffs2_taa DFF_0 ( .CLK(CK), .Q(G5), .DIN(G10) );
dffs1_taa DFF_1 ( .CLK(CK), .Q(G6), .DIN(G11) );
dffs2_taa DFF_2 ( .CLK(CK), .Q(G7), .DIN(G13) );
i1s1_taa NOT_0 ( .Q(G14), .DIN(G0) );
i1s3_taa NOT_1 ( .Q(G17), .DIN(G11) );
and2s1_taa AND2_0 ( .Q(G8), .DIN1(G14), .DIN2(G6) );
or2s1_taa OR2_0 ( .Q(G15), .DIN1(G12), .DIN2(G8) );
or2s1_taa OR2_1 ( .Q(G16), .DIN1(G3), .DIN2(G8) );
nnd2s1_taa NAND2_0 ( .Q(G9), .DIN1(G16), .DIN2(G15) );
nor2s1_taa NOR2_0 ( .Q(G10), .DIN1(G14), .DIN2(G11) );
nor2s1_taa NOR2_1 ( .Q(G11), .DIN1(G5), .DIN2(G9) );
nor2s1_taa NOR2_2 ( .Q(G12), .DIN1(G1), .DIN2(G7) );
nor2s1_taa NOR2_3 ( .Q(G13), .DIN1(G2), .DIN2(G12) );
endmodule

```

Կատարված են հետևյալ նշանակումները՝

BB1=NOR2_3	BB7=OR2_0
BB2=DFF_1	BB8=NOR2_0
BB3=NOT_0	BB9=OR2_1
BB4=DFF_2	BB10=DFF_0
BB5=AND2_0	BB11=NAND2_0
BB6=NOR2_2	BB12=NOR2_1
	BB13=NOT_1

Նկ .3.11. Փոքր ձևով վաճ C27 սխեմայի օրինակ

Verilog լիարագրող լեզուն

Փորձարկված սխեմաների տվյալները

Սխեմայի անվանումը	Տրամաբանական փականների քանակը	Մուտքերի քանակը	Ելքերի քանակը
C27	13	5	1
C298	244	26	10
C344	292	24	8
C349	284	12	10
C382	308	34	12
C386	314	38	6
C400	104	46	8
C420	118	42	10
C432	132	36	12
C444	125	45	8
C499	544	75	33
C510	556	74	28
C526	428	76	38
C641	486	78	31
C713	580	82	32
C820	604	86	36
C832	518	74	35
C880	365	88	27
C953	488	76	29
C1908	495	60	26
C2670	657	299	65
C3540	1120	74	23
C6288	2727	66	33
C7552	2608	316	108

ԿԱՄ, ԿԱՄ-ՈՉ, ԲԱՑԱՌՈՂ ԿԱՄ, ԲԱՑԱՌՈՂ ԵՎ ԱՅԼՆ), ավելի
բարդ տրամաբանական փականներ (2/1 ԵՎ-ԿԱՄ, 2/2/1 և 2/2/2

ԵՎ-ԿԱՄ, 2/2/1 և 2/2/2 ԵՎ-ԿԱՄ-ՇՐՋԻՉ և այլն), այնպես էլ ավելի բարդ տարրեր՝ մոլիտիպլեքսորներ, վերծանիչներ, գումարիչներ, հանիչներ, տրիգերներ և այլն:

Ակնհայտ է, որ ՎԺՎ կատարելու համար անհրաժեշտ են նաև թվային ստանդարտքիչներին վիճակագրական գրադարան: Այդ նպատակով տրամաբանական տարրերի համար կատարվել է Մոնտե-Կառլոյի մոդելավորում, որպեսզի ստացված գրադարանում ամեն տարր պարունակի տեխնոլոգիական պարամետրերի շեղումներին համապատասխանող հապաղման վիճակագրական բաշխումները: Գրադարանի բնութագրումը կատարվել է «Սինոփսիս» ընկերության Liberty-NCX [114] միջոցի կիրառմամբ, որի արդյունքում ստացված նկարագրումը \$այլը պահվում է լայն տարածում գտած Liberty ձևաչափով: Ստորև բերված է օգտագործված թվային ստանդարտ քիչներին գրադարանի [104] նկարագրումը \$այլից մի հատված:

```
library (variation) {
  technology (cmos);
  delay_model : table_lookup;
  date : "2016 (INF CREATED ON 17-JAN-2016)";
  revision : 1.000000;
  time_unit : "1ns";
  capacitive_load_unit(1000.000,ff);
  power_supply() {
    power_rail(vdd, 0.95);
  }
  operating_conditions {
    process : 1.0;
    temperature : 25;
    voltage : 1.5;
  }
  cell(INVX1) {
    pin (A) {
      direction: input;
```

```

    area: 1.20;
    pin_based_variation {
        va_parameters(channel_length, threshold_voltage);
    /* all parameters nominal */
        nominal_va_values(0.7, 0.7);
        va_receiver_capacitance1_rise (LUT5) {
            va_values(0.7, 0.6);
        }
        va_receiver_capacitance1_rise (LUT5) {
            va_values(0.7, 0.6)
        }
    } /* end of pin */
    pin (N) {
        direction: output;
        function : "(!I)";
        timing () {
            related_pin: "A";
            compact_ccs_rise(LUT4x4) {
            }
            compact_ccs_fall(LUT4x4) {
            }
        }
    /* channel_length = -2 */
        timing_based_variation() {
            va_parameters(channel_length, threshold_voltage);
            nominal_va_values(0.7, 0.7);
            va_compact_ccs_rise (LUT4x4) { /* without optional fields */
                va_values(0.7, 0.5);
                values("0.2, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 5", \
                    "0.19, 0.67, 0.71, 0.86, 4, 9", \
                    ...
                    "1.7, 2.7, 0.6, 0.8, 17, 45");
            }
            va_compact_ccs_rise (LUT4x4) {
                va_values(0.45, 0.5);
            }
            va_compact_ccs_fall (LUT4x4) {
                va_values(0.6, 0.6);
            }
        } /* end of timing_based_variation */
    } /* end of timing */
} /* end of cell INVX1 */:

```

Այս տեղ, որպես օրինակ, բերված են INVX1 բջջի նկարագրումը և տրանզիստորների հոսքում դիտվող երկարությունների 3σ արժեքի դեպքում ժամանակային պարամետրերի բաշխումը: Նմանատիպ տեղեկություն է պարունակվում նաև բոլոր

հաշվառված պարամետրերի շեղումների համար :
 Հաշվառվել են հոսքունդուներկարողության ու
 լայնության, փականի օքսիդի հաստության և
 շեմային լարման շեղումները :

Փորձարկումների ժամանակ ՏՓ-ների
 շեղումների մոդելավորման նպատակով
 օգտագործվել է հավանականության լենների նորմալ
 բաշխումը : Նորմալ կամ Գաուսյան բաշխում է
 համարվում հավանականության լենների այն
 բաշխումը , որը նկարագրվում է հետևյալ
 արտահայտությամբ [69]`

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.1)$$

որտեղ μ -ն միջին արժեքն է , σ -ն `ստանդարտ շեղումը :

Հայտնի է [66], որ եթե մեկ բջջի համար հապաղումն
 ունի Գաուսյան (նորմալ) բաշխում , ապա ազդանշանի
 տարածման ամբողջ ուղու հապաղումը կարող է
 մոդելավորվել որպես այդ նորմալ բաշխումների
 գումար և նույնպես կարող է ներկայացվել որպես
 նորմալ բաշխում :

$$X \sim N(\mu_x, \sigma_x^2), \quad (3.2)$$

$$Y \sim N(\mu_y, \sigma_y^2), \quad (3.3)$$

$$Z = X + Y, \quad (3.4)$$

$$Z \sim N(\mu_x + \mu_y, \sigma_x^2 + \sigma_y^2): \quad (3.5)$$

Հետևաբար , միմյանցից անկախ նորմալ
 բաշխումների գումարն իրենից ներկայացնում է
 նորմալ բաշխում , որի միջին արժեքը հավասար է
 գումարվող նորմալ բաշխումների միջին
 արժեքների գումարին , իսկ ստանդարտ շեղումը`

ստանդարտ շեղումների գումարին: Բնութագրված գրադարանում [104] բոլոր տարրերի բաշխումները վերցվել են որպես նորմալ բաշխումներ: Յետևաբար, սխեմայում որևէ ուղղումիջին արժեքը կլինի՝

$$\mu_{\text{սխ}} = \mu_{\text{S}\Phi 1} + \mu_{\text{S}\Phi 2} + \dots + \mu_{\text{S}\Phi n}, \quad (3.6)$$

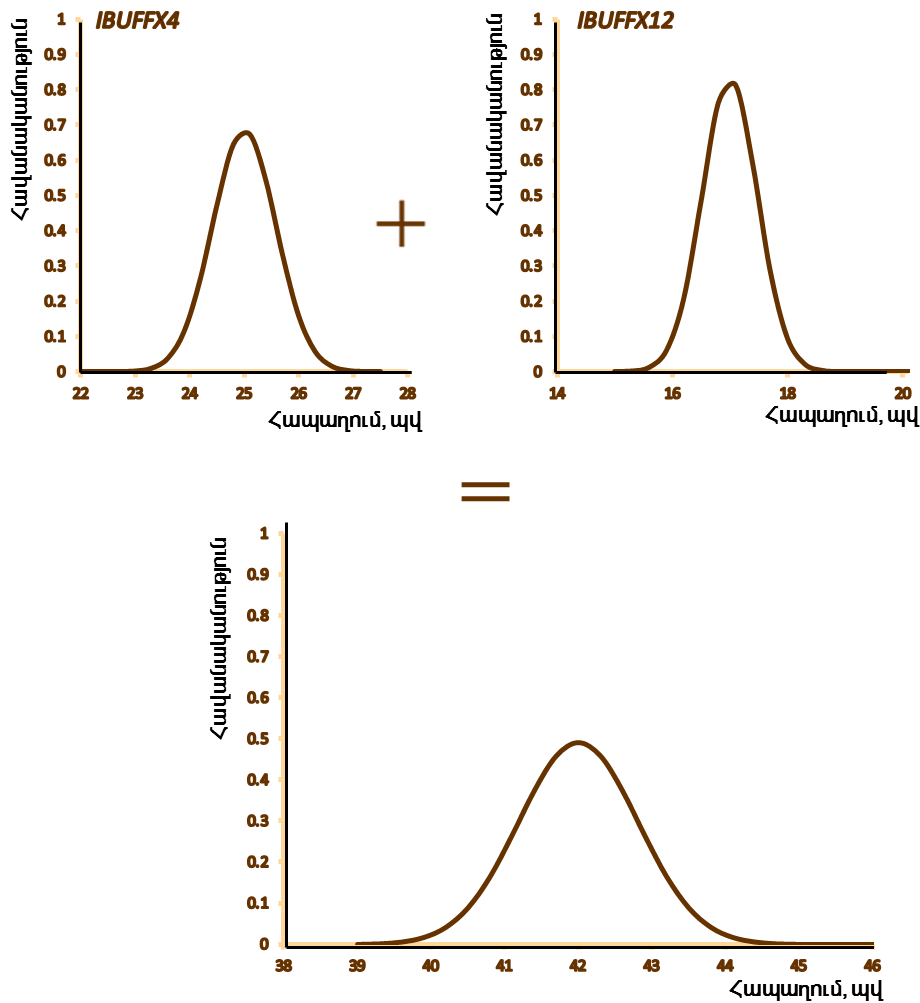
իսկ տեխնոլոգիական շեղումներով պայմանավորված տատանումը կորոշվի հետևյալ կերպ՝

$$\sigma_{\text{սծօ}} = \sqrt{\sigma_{\text{S}\Phi 1}^2 + \sigma_{\text{S}\Phi 2}^2 + \dots + \sigma_{\text{S}\Phi n}^2}: \quad (3.7)$$

Գրադարանում բնութագրված տարրերի նորմալ բաշխումները կախված ության մեջ են տարրի հապաղումներից և այդ հապաղումների հանդես գալու հավանականություններից: Բաշխված ությունների գումարման դեպքում օրդինատների առանցքի թվերը բազմապատկվում են (հավանականությունների միաժամանակ հանդես գալու դեպքում հավանականությունները բազմապատկվում են [64]): Ստորև որպես օրինակ (նկ. 3.12) ներկայացված է IBUFFX4 և IBUFFX12 բջիջների նորմալ բաշխումների գումարումը: Միջին արժեքի և ստանդարտ շեղումների արժեքները վերցվել են բնութագրված գրադարանից [104]:

2.2-ում առաջարկվող պարամետրերի անորոշ ությունները հաշվի առնող ՎԺՎ եղանակը համեմատվել է ինչպես Մոնտե-Կառլո մեթոդի (10000 անգամ հաշվարկների դեպքի համար), այնպես էլ վատագույն դեպքի հաշվարկների հետ: Վատագույն

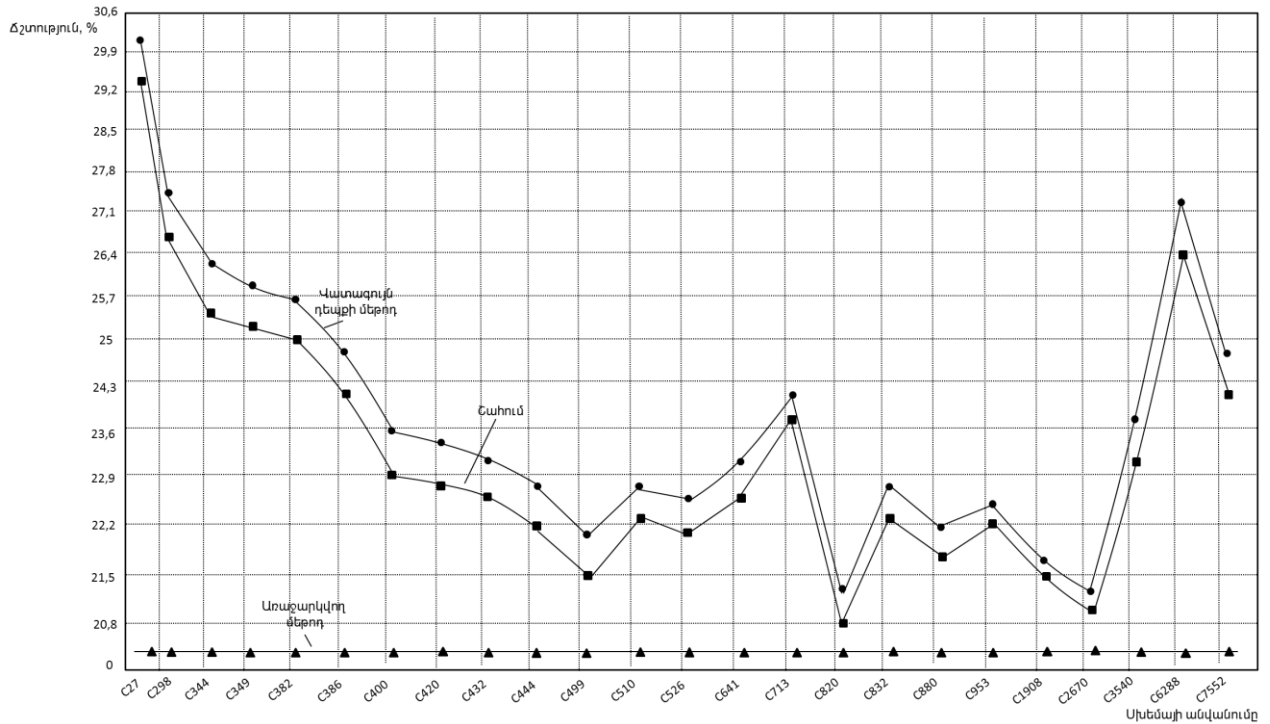
դեպքի հաշվարկի ընթացքում կատարվել է դետերմինիստական ՍԺՎ, և ՏՓ-երի հապաղում -



Նկ . 3.12. Վիճակագրական հապաղումների

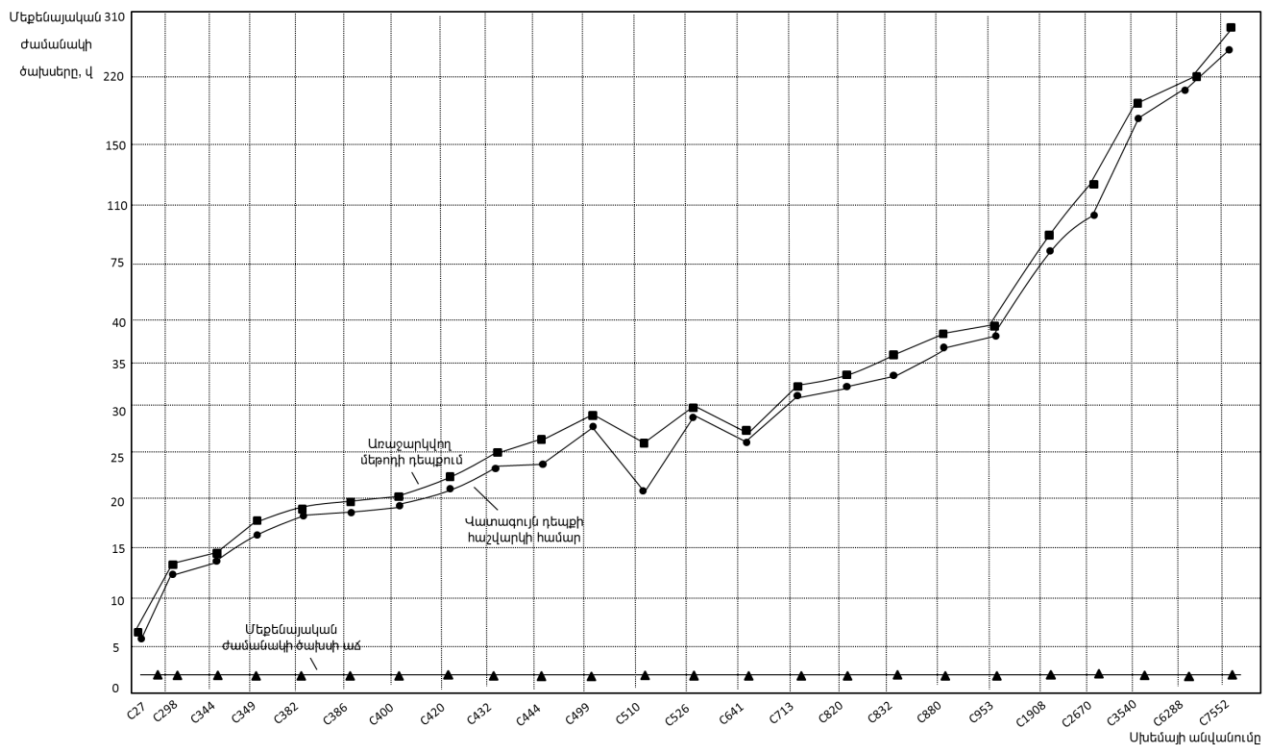
ների համար օգտագործվել են դրանց միջին արժեքներից 3σ -ով շեղված մեծություններ: Ինչպես երևում է ստացված արդյունքներից (աղ. 3.2, նկ . 3.13), առաջարկվող մեթոդում ճշտությունը միջինում մեծանում է 21÷29%-ով այն դեպքում, երբ մեքենայական ժամանակի ծախսն աճում է ընդամենը 1,7÷2,5%-ով (աղ. 3.3, նկ. 3.14): Դա վկայում է 2.2-ում առաջարկված պարամետրերի անորոշությունները հաշվի առնող ՎԺՎ մեթոդի բարձր արդյունավետության մասին:

Քանի որ 2.2-ում առաջարկված պարամետրերի անորոշությունները հաշվի առնող ՎԺՎ եղանակը կարող է կատարվել ԲԿՖ-ի հատվածագծային մոտարկման



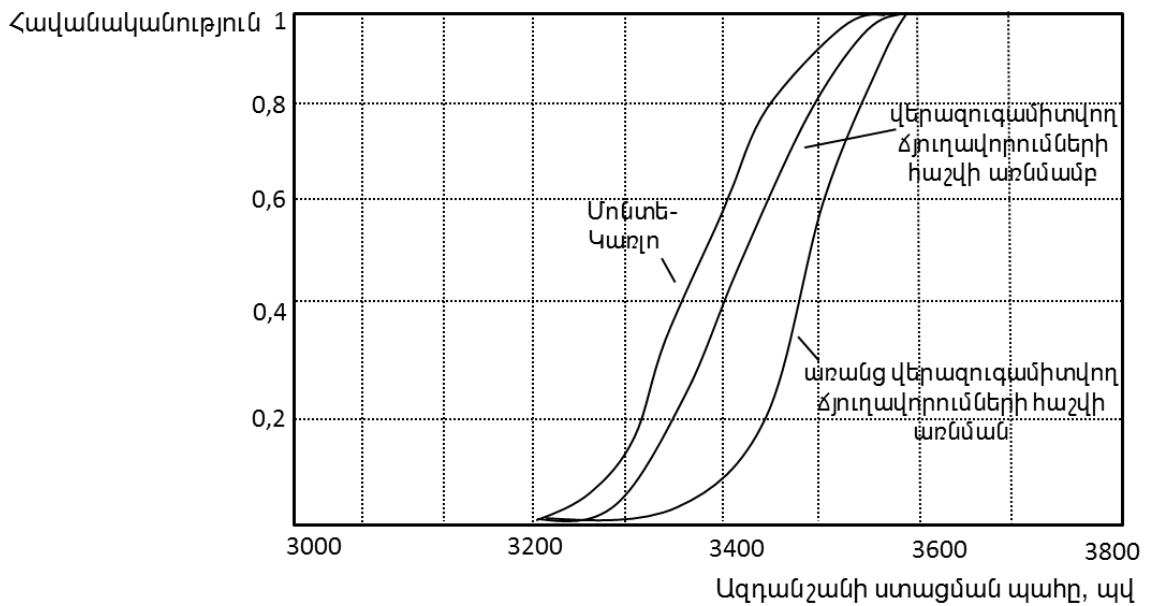
Նկ.3.13. Արդյունքների ճշտության

տարբեր դեպքերի համար, ուստի ISCAS թեստային սխեմաների շարքի դիտարկված բոլոր սխեմաները հաշվարկվել են այդ հատվածների քանակների 3, 5 և 7 դեպքերի համար, և դրանց ճշտությունները համեմատությունը բերված է աղ.3.4-ում:



Բնական աբար, մոտարկման հատվածների քանակի մեծացմանը՝ զուգընթաց՝ ստացվող արդյունքների ճշտությունը մեծանում է, սակայն այդ հատվածների քանակի նույնիսկ 3 արժեքի դեպքում ստացվում են ԻՍ-երի նախագծման գործնական պահանջները լիովին բավարարող ճշտությամբ արդյունքներ:

Համեմատվել է նաև ՎԺՎ արդյունքների ճշտությունը՝ վերագրվող դյուրավորումները հաշվի առնելու և հաշվի չառնելու դեպքերում (նկ. 3.15-ում որպես օրինակ ցուցադրված են ISCAS շարքի C832 սխեմայի հաշվարկի արդյունքները):



Նկ . 3.15. C832 սխեմայի F4S-ի ճշտություն

Ինչպես երևում է նկ . 3.15-ում բերված արդյունքներից, ճյուղավորումները հաշվի առնելու դեպքում ստացվող արդյունքները բավարար չափով մոտեն Մոնտե-Կարլոյի մեթոդով ստացված արդյունքներին:

Մշակված Uncertainty Designer ծրագրային գործիքային միջոցի արդյունավետությունը գնահատվել է նաև OrCA [104] պրոցեսորում օգտագործված արբիտրի սխեմայի օրինակի (նկ . 3.16) վրա, որը լայն կիրառություն ունի միկրոէլեկտրոնիկայում: Այն հիմնականում կիրառվում է ասինքրոն սխեմաներում: Ասինքրոն հարցումների ժամանակ այս սխեմայի միջոցով ընտրվում է հարցումների րականացման հերթականությունը: Յետևաբար, արբիտրի սխեման կանխում է գործողությունների միաժամանակ տեղի ունենալը՝ դրանով նվազեցնելով մետաստա-

**Արդյունքների ճշտության
համեմատումը**

Սխեմայի անվանումը	Մոնտե- Կարլո մեթոդը (99%)	Վատագույն դեպքի մեթոդը		Առաջարկվող մեթոդը (99%)		Շահում (%)
	Հապաղում (պվ)	Հապաղում (պվ)	Սխալ (%)	Հապաղում (պվ)	Սխալ (%)	
C27	864	1124	30,1	871	0,81	29,3
C298	1064	1356	27,4	1072	0,75	26,7
C344	2012	2541	26,3	2027	0,75	25,5
C349	2024	2548	25,9	2039	0,74	25,1
C382	2047	2573	25,7	2062	0,73	25,0
C386	2364	2950	24,8	2390	1,10	23,7
C400	3436	4247	23,6	3459	0,67	22,9
C420	3510	4335	23,5	3534	0,68	22,8
C432	3588	4426	23,4	3610	0,61	22,7
C444	3564	4377	22,8	3585	0,59	22,2
C499	3505	4283	22,2	3525	0,57	21,6
C510	3468	4259	22,8	3486	0,52	22,3
C526	3441	4219	22,6	3459	0,52	22,1
C641	3434	4227	23,1	3451	0,50	22,6
C713	3392	4213	24,2	3408	0,47	23,7
C820	3387	4108	21,3	3403	0,47	20,8
C832	3352	4066	21,3	3367	0,45	20,9
C880	3344	4088	22,2	3359	0,45	21,8
C953	3418	4190	22,6	3431	0,38	22,2
C1908	3574	4355	21,9	3587	0,36	21,5
C2670	2549	3094	21,4	2557	0,31	21,1
C3540	5251	6500	23,8	5280	0,55	23,2
C6288	20704	26351	27,3	20868	0,79	26,5
C7552	5262	6565	24,8	5299	0,70	24,1

բիլոթյան հավանականությունը :

Արբիտրի սխեմայում օգտագործված է
նախապատվություն կոդավորիչ , որը
հնարավորություն է տալիս որոշել հարցումների
նախապատվությունները :

Կատարվել է սխեմայի վարքային
նկարագրությունը՝ Verilog սարքերի նկարագրման

լ Ե զ Վ ո Վ : Ս տ ո թ և ք Ե թ Վ ա ծ Ե ն ա թ Բ ի տ թ ի Վ ա թ ք ա յ ի ն
ն կ ա թ ա գ թ ո ւ թ յ ո ւ ն ն Ե թ ք :

```
//-----
// A four level, round-robin arbiter.
//-----
module arbiter(
    clk,
    rst,
    req3,
    req2,
    req1,
    req0,
    gnt3,
    gnt2,
    gnt1,
    gnt0
);
// -----Port Declaration-----
input    clk;
input    rst;
input    req3;
input    req2;
input    req1;
input    req0;
output   gnt3;
output   gnt2;
output   gnt1;
output   gnt0;

//-----Internal Registers-----
wire [1:0] gnt  ;
wire   comreq  ;
wire   beg     ;
wire [1:0] lgnt ;
wire   lcomreq ;
reg    lgnt0   ;
reg    lgnt1   ;
reg    lgnt2   ;
reg    lgnt3   ;
reg    lasmask ;
reg    lmask0  ;
reg    lmask1  ;
reg    ledge   ;

//-----Code Starts Here-----
always @(posedge clk)
if (rst) begin
    lgnt0 <= 0;
    lgnt1 <= 0;
    lgnt2 <= 0;
```

```

    lgnt3 <= 0;
end else begin
    lgnt0 <=(~lcomreq & ~lmask1 & ~lmask0 & ~req3 & ~req2 & ~req1 & req0)
        | (~lcomreq & ~lmask1 & lmask0 & ~req3 & ~req2 & req0)
        | (~lcomreq & lmask1 & ~lmask0 & ~req3 & req0)
        | (~lcomreq & lmask1 & lmask0 & req0 )
        | (lcomreq & lgnt0);
    lgnt1 <=(~lcomreq & ~lmask1 & ~lmask0 & req1)
        | (~lcomreq & ~lmask1 & lmask0 & ~req3 & ~req2 & req1 & ~req0)
        | (~lcomreq & lmask1 & ~lmask0 & ~req3 & req1 & ~req0)
        | (~lcomreq & lmask1 & lmask0 & req1 & ~req0)
        | (lcomreq & lgnt1);
    lgnt2 <=(~lcomreq & ~lmask1 & ~lmask0 & req2 & ~req1)
        | (~lcomreq & ~lmask1 & lmask0 & req2)
        | (~lcomreq & lmask1 & ~lmask0 & ~req3 & req2 & ~req1 & ~req0)
        | (~lcomreq & lmask1 & lmask0 & req2 & ~req1 & ~req0)
        | (lcomreq & lgnt2);
    lgnt3 <=(~lcomreq & ~lmask1 & ~lmask0 & req3 & ~req2 & ~req1)
        | (~lcomreq & ~lmask1 & lmask0 & req3 & ~req2)
        | (~lcomreq & lmask1 & ~lmask0 & req3)
        | (~lcomreq & lmask1 & lmask0 & req3 & ~req2 & ~req1 & ~req0)
        | (lcomreq & lgnt3);
end

```

```

//-----
// lasmask state machine.
//-----
assign beg = (req3 | req2 | req1 | req0) & ~lcomreq;
always @(posedge clk)
begin
    lasmask <= (beg & ~ledge & ~lasmask);
    ledge <= (beg & ~ledge & lasmask)
        | (beg & ledge & ~lasmask);
end

```

```

encoder encoder (
    .lgnt0(lgnt0), .lgnt1(lgnt1), .lgnt2(lgnt2), .lgnt3(lgnt3),
    .req0(req0), .req1(req1), .req2(req2), .req3(req3),
    .lgnt(lgnt), .lcomreq(lcomreq)
);
//-----
// lmask register.
//-----
always @(posedge clk)
if(rst) begin
    lmask1 <= 0;
    lmask0 <= 0;
end else if(lasmask) begin
    lmask1 <= lgnt[1];
    lmask0 <= lgnt[0];
end else begin

```

```

lmask1 <= lmask1;
lmask0 <= lmask0;
end

assign comreq = lcomreq;
assign gnt   = lgnt;
//-----
// Drive the outputs
//-----
assign gnt3 = lgnt3;
assign gnt2 = lgnt2;
assign gnt1 = lgnt1;
assign gnt0 = lgnt0;

endmodule

```

Աղյուսակ 3.3

Մեքենայական ժամանակի ծախսերի համեմատումը

Միջենայի անվանումը	Մեքենայական ժամանակի ծախսերը (վ)		Մեքենայական ժամանակի ծախսի աճը (%)
	Վատագույն դեպքի հաշվարկի համար	Առաջարկվող մեթոդի դեպքում	
C27	5,4	5,5	1,9
C298	12,6	12,9	2,4
C344	14,6	14,9	2,1
C349	15,7	16,0	1,9
C382	17,2	17,6	2,3
C386	17,6	18,0	2,3
C400	19,6	20,0	2,0
C420	21,4	21,8	1,9
C432	24,4	25,0	2,5
C444	24,8	25,3	2,0
C499	27,6	28,2	2,2
C510	20,1	20,5	2,0
C526	28,7	29,2	1,7
C641	25,2	25,7	2,0
C713	30,9	31,5	1,9
C820	32,4	33,0	1,9
C832	34,7	35,4	2,0
C880	36,4	37,1	1,9
C953	37,5	38,2	1,9
C1908	75,2	76,5	1,7
C2670	109,7	111,7	1,8
C3540	154,8	157,6	1,8
C6288	217,5	221,2	1,7
C7552	298,3	303,7	1,8

Աղյուսակ 3.4

Մոտարկման հատվածների քանակների
համեմատումը

Սխեմայի անվանումը	Սխալը (%)		
	Մոտարկման հատվածների քանակը		
	3	5	7
C27	1,84	1,14	0,82
C298	1,28	0,98	0,78
C344	1,24	0,96	0,76
C349	1,15	0,84	0,73
C382	1,16	0,85	0,74
C386	1,07	0,76	0,69
C400	1,04	0,74	0,68
C420	1,04	0,72	0,68
C432	1,03	0,73	0,67
C444	0,98	0,69	0,61
C499	0,96	0,68	0,60
C510	0,94	0,64	0,57
C526	0,92	0,62	0,53
C641	0,91	0,61	0,52
C713	0,90	0,60	0,50
C820	0,88	0,58	0,48
C832	0,87	0,57	0,47
C880	0,84	0,54	0,46
C953	0,82	0,52	0,44
C1908	0,78	0,48	0,38
C2670	0,76	0,38	0,27
C3540	0,74	0,36	0,31
C6288	0,70	0,72	0,55
C7552	1,26	0,94	0,79

Ստորև ներկայացված է արբիտրում օգտագործված նախընտրելի ության կոդավորիչի վարքայի նկարագրությունը.

```

module encoder (lgnt0,lgnt1,lgnt2,lgnt3,req0,req1,req2,req3,
lcomreq, lgnt);
input    req3;
input    req2;
input    req1;
input    req0;
input    lgnt0;
input    lgnt1;
input    lgnt2;
input    lgnt3;
output   lcomreq;
output   [1:0] lgnt;
//-----
// comreq logic.
//-----

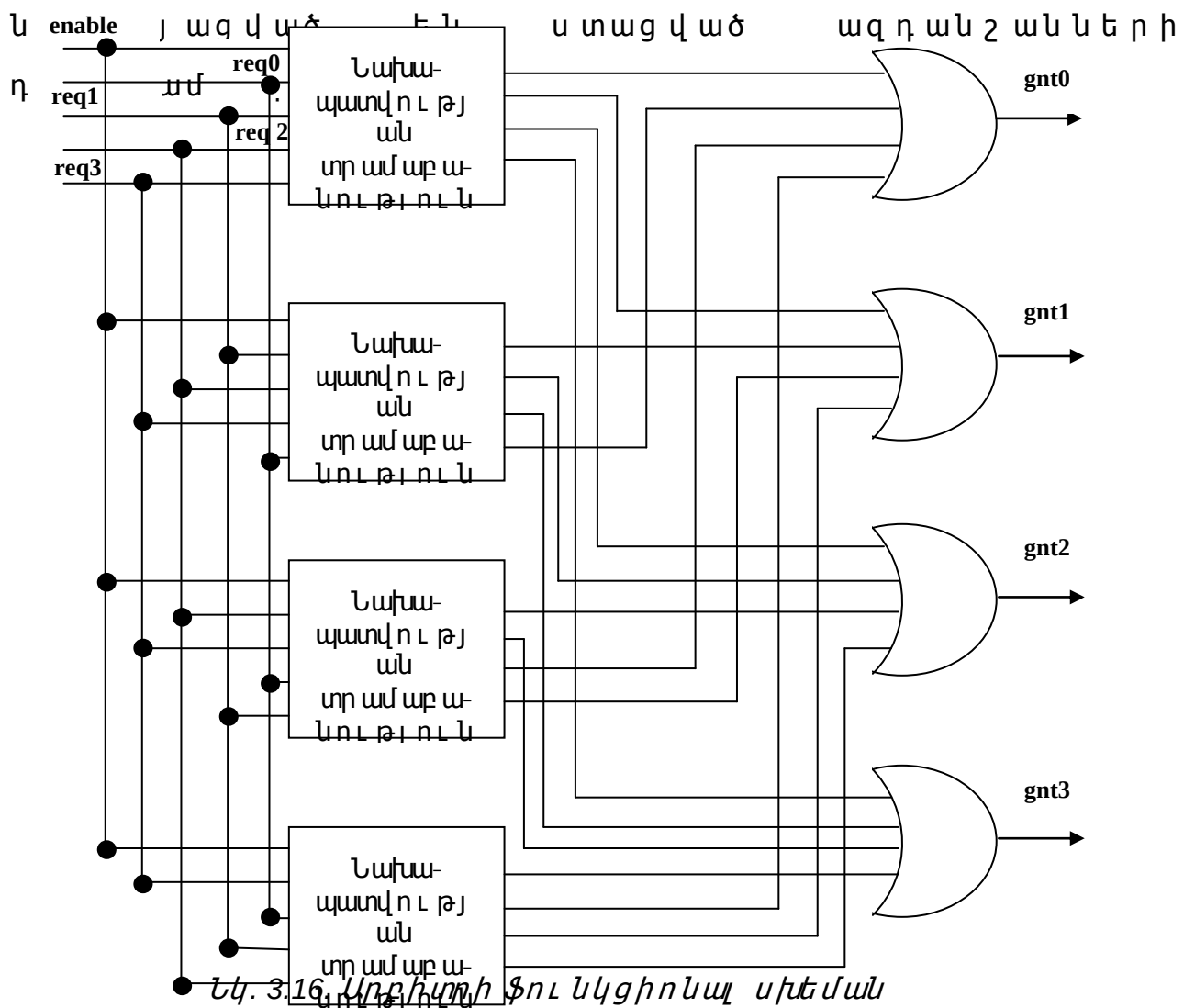
```

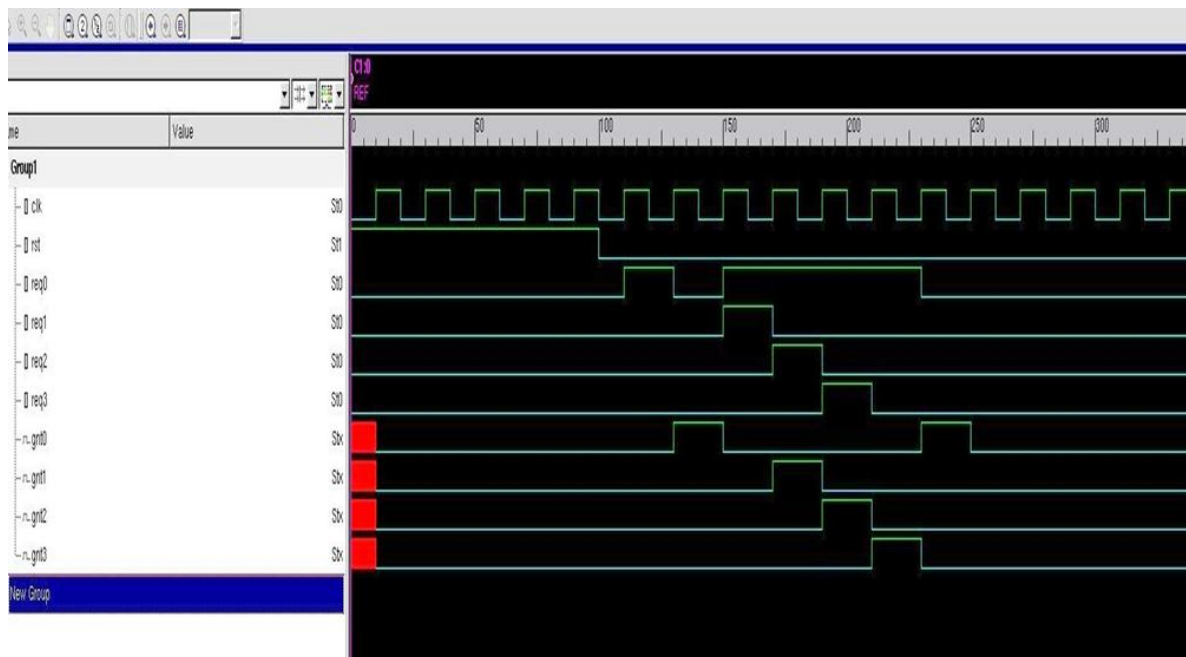
```

assign lcomreq = (req3 & lgnt3)
                / (req2 & lgnt2)
                / (req1 & lgnt1)
                / (req0 & lgnt0);
//-----
// Encoder logic.
//-----
assign lgnt = {(lgnt3 / lgnt2), (lgnt3 / lgnt1)};
endmodule:

```

Սխեմայի մոդելավորումը կատարվել է VCS [114] ծրագրային գործիքի միջոցով: Նկ. 3.17-ում





Նկ .3.17. Արբիտրի ազդանշաններ

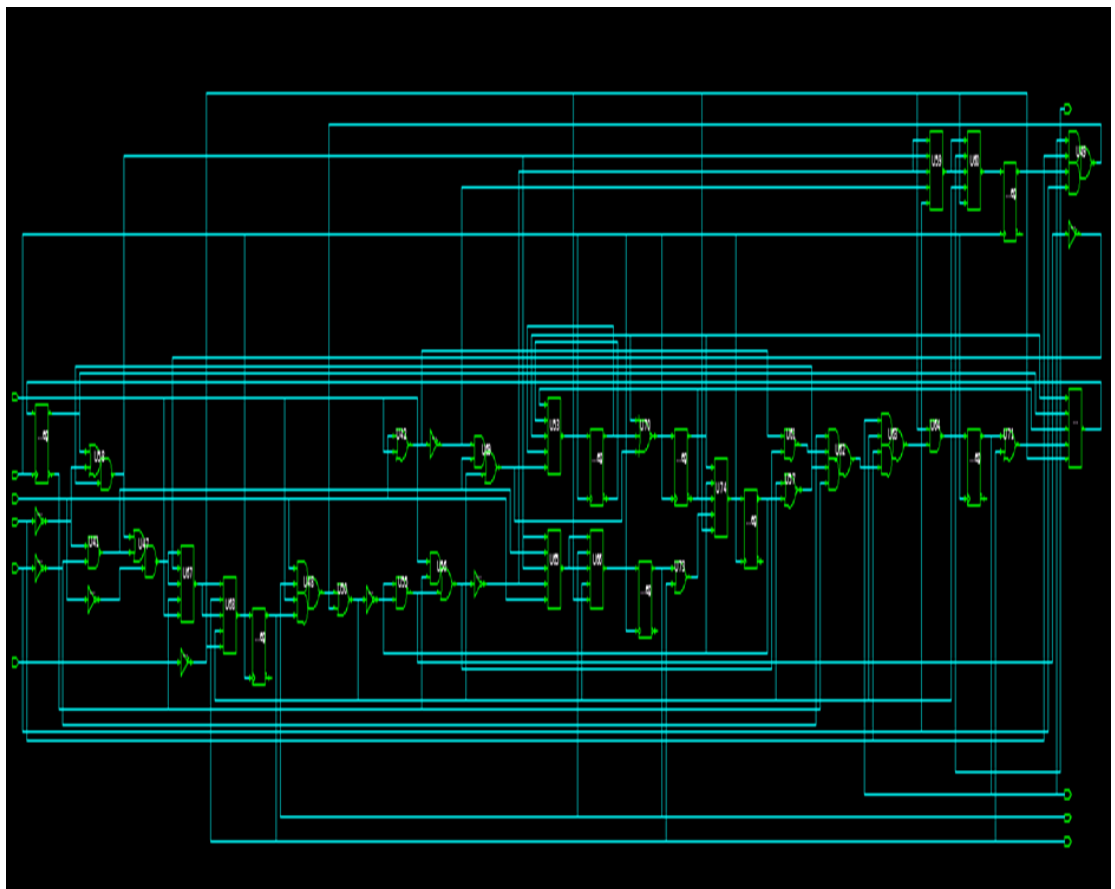
Տրամաբանական մակարդակի սխեման (նկ . 3.18) սինթեզվել է SAED 32/28 նմ [104] տեխնոլոգիական գրադարանի հենքի վրա: Որպես աշխատանքային հիմնական սնման լարում ընտրվել է 0,95Վ-ը: Տրվել է մակերեսի սահմանափակումը՝ 150մկմ^2 , սինթրոազդանշանի հաճախությունն ընտրվել է 50ՄՀց:

ՎժՎ մեթոդով հաշվվել է req0 մուտքից gnt0 ելք տարրերի գումարային վիճակագրական հապաղումը:

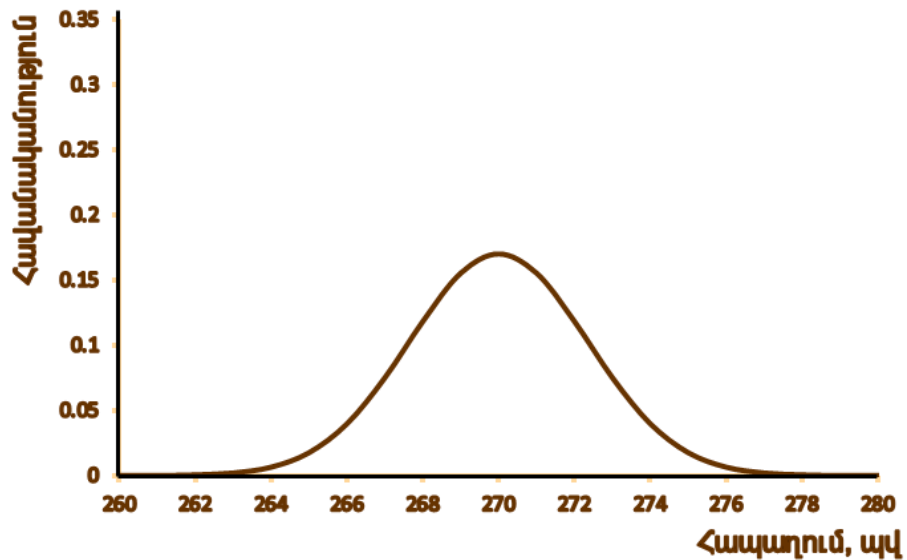
Սինթեզի Design Compiler [111] ծրագրային գործիքին որպես մուտքային տվյալ տրվել է 0,95Վ լարման համարքնությունագրված գրադարան:

Այս դեպքում սխեման սպառում է 32,3մկՎտ հզորություն, req0 մուտքից gnt0 ելք վիճակագրական հապաղման միջին արժեքը 270պվ է, իսկ ստանդարտ շեղումը՝ 2,345պվ:

Արբիտրի սխեմայի req0 մուտքից gnt0 ելք
 վիճակագրական հապաղման հաշվարկի (նկ. 3.19)
 ճշտությունը և դրա ստացման համար ծախսվող
 մեքենայական ժամանակը նույնպես համեմատվել են
 վատագույն հաշվարկի դեպքի հետ: Այս դեպքում
 ստացվել է արդյունքների ճշտության մեծացում
 28,4%-ով, մեքենայական ժամանակի ծախսի ընդամենը 2,3%-
 ով աճի պարագայում: Այսպիսով, պարամետրերի



Նկ. 3.18. Արբիտրի սխեմայի ձևաչափը



Նկ. 3.19. Արբիտրի $req0$ մոլ տքի $gnt0$ ելք

վիճակագրական հապաղումը

անորոշությունները հաշվի առնող ՎԺՎ առաջարկված եղանակն ապահովում է ստացվող արդյունքների ճշտության $21\div 29\%$ -ով մեծացում՝ անհրաժեշտ մեքենայական ժամանակի ծախսի ընդամենը $1,7\div 2,5\%$ -ով աճի պարագայում, ինչը վկայում է դրա քարծր արդյունավետության մասին:

Եզրակացություններ

1. Առաջարկվել է ն պարամետրերի անորոշության պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման ծրագրային միջոցի ներկայացվող պահանջները, որոնք թույլ են տալիս կառուցել ժամանակակից պահանջները բավարարող համակարգ:

2. Մշակվել է ն պարամետրերի անորոշության պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման ծրագրային միջոցի կառուցման սկզբունքները,

որոնք թույլ են տալիս էապես բարձրացնել այդ դասի փաթեթների արդյունավետությունը:

3. Մշակված համակարգի գրաֆիկական ինտերֆեյսը բավարարում է ներկայացվող ժամանակակից պահանջները և հնարավորություն է տալիս հարմարավետ կերպով հաղորդակցվել ու ծրագրային գործիքային միջոցին:

4. Պարամետրերի անորոշության պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման մշակված ենթահամակարգի փորձարկումը ISCAS շարքի բազմաթիվ թվային սխեմաների, ինչպես նաև մի շարք ստանդարտ պրոցեսորների դեպքում (OrCA և այլն) ցույց է տրվել դրա էական արդյունավետությունը այդ տիպի այլ համակարգերի համեմատ: Մեքենայական ժամանակի ծախսի ընդամենը $1,7\% \div 2,5\%$ աճի հաշվին այն միջինում $21 \div 29\%$ -ով մեծացնում է ստացվող արդյունքների ճշտությունը:

ԵԶՐԱՅ ԱՆԳՈՒՄ

1. Առաջարկվել է նաև անորոշ ության պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման նոր սկզբունքներ, որոնք մեքենայական անհրաժեշտ ժամանակի ծախսի թույլատրելի արժեքների դեպքում ապահովում են ստացվող արդյունքների գործնական պահանջները բավարարող ճշտություն:

2. Մշակվել է պարամետրերի անորոշ ությունները հաշվի առնող վիճակագրական ժամանակային վերլուծության նոր եղանակ, որի դեպքում, ազդանշանի ստացման պահերը որպես հավանականություն բաշխման կոտակման ֆունկցիաներ, իսկ տրամաբանական փականների հապաղումները որպես հավանականություն բաշխման ֆունկցիաներ ներկայացնելու, ինչպես նաև այդ ֆունկցիաները հատված առ հատված մոտարկելու շնորհիվ, ստացվում է արդյունքների զգալիորեն մեծ և կարգավորվող ճշտություն:

3. Ստացվել է նաև պարամետրերի անորոշ ությունները հաշվի առնող ինչպես ստատիկ, այնպես էլ վիճակագրական ժամանակային վերլուծության գլխավոր գումարման և առավելագույնի ֆունկցիաների հաշվարկման նոր արտահայտություններ, որոնք գործում են նաև սխեմայում առկա վերագուգամիտվող ճյուղավորումների դեպքում:

4. Իրագործվել է պարամետրերի անորոշ ությունները հաշվի առնող

սխեմատեխնիկական մակարդակի վերլուծության նոր ստոխաստիկ սպեկտրալ մեթոդ, որը, հայտնի մեթոդների համեմատ, ընդհանրացված բազմանդամային քառսի վրա հիմնված լինելու շնորհիվ, ապահովում է հաշվարկների համար մեքենայական անհրաժեշտ ժամանակի ծախսի $10 \div 1000$ անգամ կրճատում՝ արդյունքների ճշտության ընդամենը $1,5 \div 2,7\%$ կորստի հաշվին:

5. Սխեմաների ստատիկ և անցողիկ ռեժիմների հաշվարկի համար առաջարկվել են պարամետրերի անորոշությունների քանակականացման ալգորիթմներ, որոնք, առկա միջոցների համեմատ, օժտված են զգալիորեն ավելի բարձր արդյունավետությամբ:

6. Պարամետրերի անորոշության պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման մշակված սկզբունքները, եղանակները և մեթոդներն իրագործվել են Uncertainty Designer ծրագրային գործիքային միջավայրում, որն օժտված է օգտագործողի համար հարմարավետ ինտերֆեյսով և ունի լուծվող խնդիրներին առավելագույնս հարմարեցված կառուցվածք: ISCAS շարքի բազմաթիվ թվային սխեմաների, ինչպես նաև մի շարք ստանդարտ պրոցեսորների (OrCA և այլն) դեպքում ծրագրային միջոցի փորձարկումը վկայում է վերջինիս բարձր արդյունավետության մասին, քանի որ վիճակագրական ժամանակային վերլուծության դեպքում մեքենայական ժամանակի ծախսի ընդամենը $1,7 \div 2,5\%$ աճի հաշվին միջինում $21 \div 29\%$ -ով մեծանում է

ստացվող արդյունքների ճշտությունը :
 Սխեմատեխնիկական վերլուծության ստոխաստիկ
 մեթոդի կիրառման դեպքում մեքենայական
 ժամանակի ծախսը կրճատվում է $10 \div 1000$ անգամ՝
 արդյունքների ճշտության ընդամենը $1,5 \div 2,7\%$ կորստի
 հաշվին :

ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Mack C. A. Fifty years of Moore's law // IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 24(2). – 2011. – 202-207p.
2. Horowitz M., Alon E., Patil D., Naffziger S., Kumar R., Bernstein K. Scaling, power, and the future of CMOS // Proc. IEEE Int. Electron Devices Meeting, Dec, 2005.
3. Moore G.E. Cramming more components onto integrated circuits/ Electronics.-Vol. 38, No. 8, 1965.
4. Lundstrom, Mark. Along for the ride: Reflections on the past, present, and future of semiconductor electronics // 71st Annual: IEEE Device Research Conference. – 2013. – 7-8p.
5. TSMC Updates: 20nm, 16nm, and 10nm, 2014, <https://www.semiwiki.com/>
6. The SOI papers at VLSI '14 (part 1): breakthroughs in 14nm FD-SOI, 10nm SOI-FINFETS, July, 2014, <http://www.advancedsubstratenews.com/>
7. Integrated Device Technology, Inc. Jitter Specifications for Timing Signals.- May, 2014.- 18p.
8. Springer S.K., Lee S., Lu N., Nowak E.J., Plouchart J.-O., Watts J.S., Williams R.O., Zamdmer N. Modeling of variation in submicrometer CMOS VLSI technologies // IEEE Trans. Electron Devices, Sep, 2006.-Vol. 53.- 2168-2006p.
9. Pileggi L., Strojwas A.J. Regular fabrics for nano-scaled CMOS technologies // Proc. IEEE Int. Solid State Circuits Conference, Feb, 2006.
10. Boning D.S. Variation // IEEE Trans. Semiconductor Manufacturing. Feb, 2008.-Vol. 21, No. 1. - 63-71p.
11. Tega N., Miki H., Pagette F., Frank D.J., Ray A., Rooks M.J., Haensch W., Torii K. Increasing threshold voltage variation due to random telegraph noise in FETs as gate lengths scale to 20 nm // Proc. Intl. Symp. VLSI Technology. Jun, 2009.- 50-51p.
12. Moselhy T., Daniel L. Stochastic integral equation solver for efficient variation aware interconnect extraction // Proceeding Design Automation Conference, Jun, 2008.- 415-420p.

13. Wang J., Ghanta P., Vruthula S. Stochastic analysis of interconnect performance in the presence of process variations // Proc. Design Auto Conference, 2004.- 880-886p.
14. Tao J., Zeng X., Cai W., Su Y., Zhou D., Chiang C. Stochastic sparse-grid collocation algorithm (SSCA) for periodic steady-state analysis of nonlinear system with process variations // Proc. Asia and South Pacific Design Automation Conference, 2007.- 474-479p.
15. Zheng R., Velamala J., Reddy V., Balakrishnan V., Mintarno E., Mitra S., Krishnan S., Cao Y. Circuit aging prediction for low-power operation // Proc. IEEE Custom Integr. Circuit Conference, Sep, 2009. - 427-430p.
16. Chandra S., Lahiri K., Raghunathan A., Dey S. Variation-tolerant dynamic power management at the system-level // IEEE Trans. Very Large Scale Integr. (VLSI) Syst., Sep, 2009.-Vol. 17, No. 9.- 1220-1232p.
17. Rabaey J. Low Power Design Essentials. – Berlin: Springer, 2009. – 288 p.
18. Keating M., Flynn D., Aitken R. Low power methodology manual. – Berlin: Springer, 2007. – 300 p.
19. Synopsys' Low Power Design Educational Platform / R. Goldman, K. Bartleson, T. Wood et al // Proceedings of the 9th European Workshop on Microelectronics Education (EWME 2012). – Grenoble, France, 2012.– 23-26p.
20. Xiu D. Numerical Methods for Stochastic Computations: A Spectral Method Approach/ Princeton University Press, 2010.
21. Le Maitre O., Knio O. Spectral methods for uncertainty quantification: with application to computational fluid dynamics/ Springer, 2010.
22. Bhardwaj S., Vruthula S., Blaauw D. TAU: Timing analysis under uncertainty // International Conference on Computer-Aided Design, Nov, 2003.- San Jose, CA, USA.- 615-620p.
23. Okada K., Yamaoka K., Onodera H. A statistical gate delay model for intra-chip and intra-chip variabilities // Proc. of 40th IEEE/ACM Proc. Design Automation Conference, Jun, 2003.- Anaheim,

CA.- 31-36p.

24. Razavi B. Fundamentals of Microelectronics. -2006. - 833 p.
25. Baker Jakob R., Li Harry W., Boyce David E. CMOS: Circuit Design Layout and Simulation. 2nd edition. - Wiley -IEEE Press, 2004. - 1080 p.
26. Մելիքյան Վ.Շ., Ջաբրուկյան Ա.Գ. Ինտեգրալ սխեմաների միջմիացումների ասնական դերը մոդելավորում. - Երևան: Ճարտարագետ, 2012. - 180 էջ:
27. Fujita S. Nano-electronics challenge // Design, Automation and Test in Europe. - Nice, 2009.- 431-432p.
28. Hoefflinger B. Chips 2020: A Guide to the Future of Nanoelectronics. - Berlin: Springer, New York, 2012. - 505 p.
29. Ayala J., Alonso A. VLSI-SoC: Forward-Looking Trends in IC and Systems Design // 18th IFIP WG 10,5/IEEE International Conference on Very Large Scale Integration. - New York: Springer, 2012.- 365p.
30. Хауэр Й., Пятенко А. Пути развития полупроводниковых технологий в Европе // Технологии в электронной промышленности. - 2011. - № 6 - 4-5с.
31. Global Semiconductor Alliance (GSA).- 2014, <http://www.gsaglobal.org/>
32. The International Technology Roadmap for Semiconductors, ITRS, 2009, <http://public.itrs.net/>
33. Orshansky M., Milor L., Hu C. Characterization of spatial intrafield gate CD variability, its impact on circuit performance and spatial mask-level correction // IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Feb, 2004.- 2-11p.
34. Меликян В.Ш. Теория моделирования и оптимизации цифровых схем с учетом дестабилизирующих факторов. - Ереван: Изд-во ГИУА “Чартарагер”, 2011. - 348 с.
35. Григорян Д., Меликян Н., Степанян А. Анализ особенностей радиационного поведения цифровых

устройств методом скалярных индексов сравнения в рамках модели автомата Брауэра // Электроника и связь. - Киев, 2010.- N5.- С. 90-93.

36. Меликян В., Григорян Д., Степанян А., Меликян Н. Нечеткий автомат Брауэра комбинационных цифровых устройств со статическими и динамическими критериальными параметрами // Моделирование, оптимизация, управление / ГИУА. – Ереван, 2009. – Вып.12, Том 2. – С.59-65.
37. Abovyan S., Petrosyan G., Poghosyan A., Melikyan N. Statistical Static Timing Analysis Methodology for Components of Microprocessors // Յ Յ Գ Ա Ա Ա Յ Պ Ճ Յ Տ Ե Ղ Ե Կ Վ Ի Ր . Տ Ե Խ Ա Ի Կ Վ Կ Վ Ա Գ Ի Ս Ո Ա Ք Յ Ն Ա Ա Ե Ր Ի Ս Ե Ր Ի Վ .-2011.- Յ . 64, No 3.- Է ջ 284-291:
38. Меликян В., Бабаян Э., Арутюнян А., Меликян Н., Заргарян Г. Метод снижения температурной зависимости временных задержек цифровых интегральных схем // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2012: Сборник научных трудов/ Под общ. ред. А.А. Стемпковского. – М.: ИППМ РАН, 2012. – С. 409-412.
39. Zhao W., Cao Y. Predictive technology model for nano-CMOS design exploration/ ACM J. Emerging Technol. Comput. Syst., Apr, 2007.-Vol. 3, No. 1.- 1-17p.
40. Kheterpal V., Hersan T., Rovner V., Motiani D., Takagawa Y., Pileggi L., Strojwas A. Design methodology for IC manufacturability based on regular logic-bricks // Proc. ACM/IEEE Design Automat. Conference, Jun, 2005.- 353-358p.
41. Li X., Le J., Pileggi L. Projection-based statistical analysis of full-chip leakage power with non-log-normal distributions // Proc. ACM/IEEE Design Automat. Conference, Jun, 2006.- 103-108p.
42. Melikyan V., Sahakyan A., Shishmanyen A., Melikyan N., Zargaryan G. Data - Clock Setup and Hold Times Margins Correction Method in High Speed Serial Links // Proceedings of the Computer Science and Information Technologies Conference - CSIT. - 2013. Yerevan, Armenia. - P. 356-359.
43. Agarwal K., Nassif S. Characterizing Process Variation in Nanometer CMOS // 44th Design Automation Conference. - San Diego, 2007. - 396-399p.

44. Pang L.-T., Nicolic B. Measurements and Analysis of Process Variability in 90 nm // IEEE Journal of Solid-State Circuits. - 2009. - Vol. 44. - 1655-1663p.
45. Liu Q., Sapatnekar S. Confidence Scalable Post-Silicon Statistical Delay Prediction under Process Variations // 44th Design Automation Conference. - San Diego, 2007. - 497-502p.
46. Agarwal K., Sylvester D., Blaauw D., Liu E., Nassif S., Vrudhula S. Variational delay metrics for interconnect timing analysis // ACM Press, DAC '04: Proceedings of the 41st annual conference on Design automation, 2004.- New York, NY, USA.- 381-384p.
47. Babayan E., Khazhakyany T., Melikyan N., Beglaryan N. High PSRR Bandgap Reference Circuit based on SAED 32/28nm EDK // Semiconductor micro- and nanoelectronics: Proc. 9-th International conference. - Yerevan, 2013. - P. 187-189.
48. Gevorgyan A., Baghdasaryan A., Melikyan N., Fatyan R. Parallel clustered simulation for IC // Semiconductor Micro-and Nanoelectronics. Proceedings of the 9th International Conference. - Yerevan, 2013. - P. 214-216.
49. Melikyan V., Mirzoyan D., Karapetyan Sh., Babayan E. Stable Current and Voltage Generation under Process Variation // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'10). - St. Petersburg, Russia, 2010.- 40-42p.
50. Chang H., Sapatnekar S. Statistical timing analysis under spatial correlations // IEEE Trans. Computer-Aided Design Integr. Circuits Syst., Sep, 2005.-Vol. 24.- 1467-1482p.
51. Visweswariah C., Ravindran K., Kalafala K., Walker S., Narayan S., Beece D., Piaget J., Venkateswaran N., Hemmett J. First-order incremental block-based statistical timing analysis // IEEE Trans. Computer-Aided Design Integr. Circuits Syst., Oct, 2006.-Vol. 25.- 2170-2180p.
52. Srivastava A., Shah S., Agarwal K., Sylvester D., Blaauw D., Director S. Accurate and efficient gate-level parametric yield estimation considering correlated variations in leakage power and performance // Proc. ACM/IEEE Design Automat. Conference, Jun, 2005.- 535-540p.
53. Li X., Li P., Pileggi L. Parameterized interconnect order reduction with explicit-and-implicit multi-

- parameter moment matching for inter/intra-die variations // Proc. ACM/IEEE Int. Conf. Computer-Aided Design, Nov, 2005.- 806-812p.
54. Li X., Le J., Pileggi L., Strojwas A. Projection-based performance modeling for inter/intra-die variations // Proc. ACM/IEEE Int. Conf. Computer-Aided Design, Nov, 2005.- 721-727p.
 55. Le J., Li X., Pileggi L. STAC: Statistical timing analysis with correlation // Proc. ACM/IEEE Design Automat. Conference, Jun, 2004.- 343-348p.
 56. Zhan Y., Strojwas A., Li X., Pileggi L., Newmark D., Sharma M. Correlation aware statistical timing analysis with non-Gaussian delay distributions // Proc. ACM/IEEE Design Automat. Conference, Jun, 2005. - 77-82p.
 57. Dighe S., Vangal S., Aseron P., Kumar S., Jacob T., Bowman K., Howard J., Tschanz J., Erraguntla V., Borkar N., De V., Borkar S. Within-die variation-aware dynamic-voltage-frequency scaling core mapping and thread hopping for an 80-core processor // Proc. IEEE Int. Solid-State Circuit Conference, Feb, 2010.- 174-175p.
 58. Pant A., Gupta P., Schaar M. v.-d. AppAdapt: Opportunistic application adaptation to compensate hardware variation // IEEE Trans. Very Large Scale Integr. (VLSI) Syst., Nov, 2012.-Vol. 20, No. 11. - 1986-1996p.
 59. Singh P., Karl E., Sylvester D., Blaauw D. Dynamic NBTI management using a 45 nm multi-degradation sensor // Proc. IEEE Custom Integr. Circuits Conference, Sep, 2010.- 1-4p.
 60. Bowman K., Tschanz J., Kim N.S., Lee J., Wilkerson C., Lu S.-L., Karnik T., De V. Energy-efficient and metastability-immune resilient circuits for dynamic variation tolerance // IEEE J. Solid State Circuits, Jan, 2009.-Vol. 44, No. 1.- 49-63p.
 61. Lin D., Hong T., Fallah F., Hakim H., Mitra S. Quick detection of difficult bugs for effective post-silicon validation // Proc. IEEE/ACM IEEE Conf. Dependable Syst. Netw., 2012.- 561-566p.
 62. Mintarno E., Skaf E., Zheng J.R., Velamala J., Cao Y., Boyd S., Dutton R., Mitra S. Self-tuning for maximized lifetime energy-efficiency in the presence of circuit aging // Proc. IEEE Trans. Comput.

Aided Design Integrated Circuit Syst., May, 2011.-Vol. 30, No. 5.- 760-773p.

63. Bathen L., Dutt N., Nicolau A., Gupta P. VaMV: Variability-aware memory virtualization // Proc. IEEE/ACM Design, Automat. Test Eur. Conf. Exhib., Mar, 2012. - 284-287p.
64. Borkar S., Karnik T., Narendra S., Tschanz J., Keshavarzi A., De V. Parameter variations and impact on circuits and microarchitecture // Proc. IEEE/ACM Design Automat. Conference, Jun, 2003.- 338-342p.
65. Ghosh S., Bhunia S., Roy K. CRISTA: A new paradigm for low-power, variation-tolerant, and adaptive circuit synthesis using critical path isolation // IEEE Trans. Comput.-Aided Design Integr. Circuit Syst., Nov, 2007.-Vol. 26, No. 11.- 1947-1956p.
66. Teodorescu R., Torrellas J. Variation-aware application scheduling and power management for chip multiprocessors/ Proc. Int. Symp. Comput. Archit., Jun, 2008.- 363-374p.
67. Friedberg P., Cao Y., Cain Y., Wang R., Rabaey J., Spanos C. Modeling within-die spatial correlation effects for process-design co-optimization // Sixth International Symposium on Quality of Electronic Design (ISQED'05), 2005.- 516-521p.
68. Orshansky M., Milnor L., Hu C. Characterization of spatial intrafield gate CD variability, its impact on circuit performance, and spatial mask-level correction // Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on, 17(1):2-11, Feb, 2004.
69. Bhunia S., Mukhopadhyay S. Low-Power Variation-Tolerant Design in Nanometer Silicon. – New York: Springer, 2011. – 440 p.
70. Melikyan N. IC design techniques for parameter uncertainty conditions // Semiconductor micro- and nanoelectronics: Proc. 10-th International conference. - Yerevan, 2015. - P. 128-131.
71. Melikyan N. Method of Statistical Timing Analysis with Uncertainty // Small Systems Simulation: Proc. 6-th International Symposium. - Nis, Serbia, 2016. - P. 121-124.
72. Statistical compact modeling of process variations in nano MOSFETs / Ch. Lin, V. Dunga, D. Lu et al //

VLSI Technology, Systems and Applications. - 2008. - 165 – 166p.

73. Orshansky M., Nassif S. Design for Manufacturability and Statistical Design. - Springer, 2007. - 330 p.
74. Aftabjahani S.-A. Compact Variation-Aware Standard Cell Models for Statistical Static Timing Analysis: Ph.D. dissertation / Georgia Institute of Technology. -Atlanta, 2011. - 214p.
75. Mohta N., Thompson S.E. Mobility enhancement: The next vector to extend Moore's law // IEEE Circuits Devices Mag, Sep-Oct, 2005.-Vol. 21, No. 5.- 18-23p.
76. Szi S.M., Kwok K.Ng. Physics of Semiconductor Devices. – New Jersey: John Wiley and Sons, 2007. – 823 p.
77. Xu H., Jone W., Vemuri R. Aggressive runtime leakage control through adaptive light-weight hopping with temperature and process variation // IEEE transactions on very large scale integration (VLSI) systems. – July, 2011. – Vol. 19, No 7. – 1319-1323p.
78. Melikyan V., Balabanyan A., Babayan E., Durgaryan A. Decreasing of Frequency Variation in High-Speed Ring Oscillator using Bandgap Reference // Proceedings of the 32th International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology (ELNANO 2012). – Kiev, Ukraine, 2012.– 79-81p.
79. Weste, Neil, and David Harris. CMOS VLSI design: a circuits and systems perspective. – Addison-Wesley Publishing Company, 2010. – 864p.
80. Process-Variation Statistical Modeling for VLSI Timing Analysis / J.-H. Liu, J.-K. Zeng, A.-S. Hong et al // 9th International Symposium on Quality Electronic Design. - Washington, 2008. - 730-733p.
81. Statistical Timing Analysis: From Basic Principles to State of the Art /D. Blaauw, K. Chopra, A. Srivastava et al // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. - 2008. - Vol. 27. - 589-607p.
82. Melikyan V., Durgaryan A., Petrosyan H., Melikyan N. Automatic PLL Activation Mechanism from Power Gated State // Semiconductor micro- and nanoelectronics: Proc. 8-th International conference. - Yerevan, 2011. - P. 214-217.

83. Mangassarian H., Anis M. On statistical timing analysis with inter and intra-die variations // Design, Automation and Test in Europe, DATE '05. - 2005. - 132 – 137p.
84. Melikyan V., Balabanyan A., Hayrapetyan A., Melikyan N. Receiver/Transmitter Input/Output Termination Resistance Calibration Method // IEEE XXXIII International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology, Apr. 16-19, 2013.- Kyiv, Ukraine, 2013.- P. 126-130.
85. Stage-based on-chip variation analysis and optimization, Application Note, TSMC Reference Flow 9.0. - June, 2008.
86. Tiwary S., Phillips J. WAVSTAN: Waveform based Variational Static Timing Analysis // Design, Automation and Test in Europe, DATE '07. - 2005. - 1000 – 1006p.
87. Bhasker J., Chadha R. Static Timing Analysis for Nanometer Designs: A Practical Approach. - Springer, 2009. - 592 p.
88. Melikyan V., Sahakyan A., Dingchyan H., Melikyan N., Aleksanyan A., Sahakyan A., Babayan V. High PSRR and Accuracy Receiver Active Equalizer // Proceedings of IEEE 34th International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology - ELNANO. - 2014. Kyiv, Ukraine. - P.194-197.
89. Aftabjahani S.-A., Milor L. Fast Variation-Aware Statistical Dynamic Timing Analysis // World Congress on Computer Science and Information Engineering. - Los Angeles, 2009. - 488-492p.
90. Jess J.A. Statistical Timing for Parametric Yield Prediction of Digital Integrated Circuits, et al // Proceedings of ACM Design Automation Conference, 2003.
91. Zhang Z., El-Moselhy T.A., Maffezzoni P., Elfadel I.A.M., Daniel L. Efficient uncertainty quantification for the periodic steady state of forced and autonomus circuits // IEEE Trans. Circuits Syst. II: Exp. Briefs. Oct, 2013.-Vol. 60, No. 10.
92. Chan S.C., Shepard K.L., Restle P.J. Uniform-phase, uniform-amplitude, resonant-load global clock distributions // IEEE J. Solid-State Circuits, Jan, 2005.-Vol. 40.- 102-109p.
93. Melikyan V., Galstyan V., Melikyan N., Aleksanyan A., Jovanović B. Adjustable Low-Power Non-Overlap Clock Generator for Switched-Capacitor Circuits // Proceedings of 2nd International Conference on

Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN) 2015. - Silver Lake, Serbia, June 8-11, - P. ELI1.5.1-4.

94. Statistical Static Timing Analysis Considering Process Variation Model Uncertainty / G. Yu, W. Dong, Z. Feng et al // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. - 2008. - Vol. 27. - 1880-1890p.
95. Zargaryan G., Aharonyan V., Melikyan N., Dimitrijević M. USB HW/SW Co-Simulation Environment with Custom Test Tool Integration // Annual Journal of Electronics. - Sofia, 2014. - VOL. 18, No. 1. - P. 23 - 28.
96. Agarwal A., Paul B.C., Mukhopadhyay S., Roy K. Process variation in embedded memories: Failure analysis and variation aware architecture // IEEE J. Solid-State Circuits, Sep, 2005.-Vol. 40.- 1804-1814p.
97. Efficient smart sampling based full-chip leakage analysis for intra-die variation considering state dependence / V. Vineeth, S. Dennis, B. David et al // 46th Design Automation Conference. - Anaheim, 2009. - 154-159p.
98. HSPICE. Reference Manual. - Synopsys, 2013.
99. HSPICE. Simulation and Analysis User Guide. - Synopsys, 2013.
100. Khudaverdyan S., Hovhannisyan T., Melikyan N., Mehrabyan N., Tsaturyan S., Khachatryan M., Vaseashta A. On the Model of Spectral Analysis of Optical Radiation // Journal of Electromagnetic Analysis and Applications. - 2016. - No 8.- P. 23-32.
101. Walia S. PrimeTime Advanced OCV Technology: Easy-to-Adopt, Variation-Aware Timing Analysis for 65-nm and below // White Paper. - 2009.
102. Kursun Volkan. Supply and Threshold Voltage Scaling Techniques in CMOS Circuits/ University of Rochester. - Rochester, New York, 2004.- 363p.
103. Fischer T., Anderson F., Patella B., Naffziger S. A 90 nm variable-frequency clock system for a power-managed itanium-family processor // Proc. IEEE Int. Solid-State Circuits Conference, Feb, 2005.-

294-599p.

104. SAED 32/28nm Educational Design Kit Databook / V.Sh. Melikyan, E.H. Babayan, S.M. Aghabekyan, D.A. Petrosyan et al. // SEUA Chartaraget, – Yerevan, 2013. – 204p.
105. Bhardwaj S., Wang W., Vattikonda R., Cao Y., Vruthula S. Predictive modeling of the NBTI effect for reliable design // Proc. IEEE Custom Integr. Circuits Conference, Sep, 2006.- 189-192p.
106. Balasinski A. Design for Manufacturability: From 1D to 4D for 90-22 nm Technology Nodes. – Springer, 2014. – 278p.
107. Agarwal A., Blaauw D., Zolotov V. Statistical timing analysis for intra-die process variations with spatial correlations // IEEE Computer Society, ICCAD '03: Proceedings of the 2003 IEEE/ACM international conference on Computer-aided design, 2003.- Washington, DC, USA.- 900p.
108. Tiwari A., Sarangi S.R., Torrellas J. Recycle: Pipeline adaptation to tolerant process variation/ Proc. Int. Symp. Comput. Archit., 2007. - 323-334p.
109. Մելիքյան Վ., Խոլովալերով Ս., Գալստյան Վ., Մելիքյան Ն., Ալեքսանյան Ա., Խաչատրյան Ա. Լայն հաճախականային բացվածքով, թվային կառավարմամբ տակտային ազդանշանի գեներատորի մշակման եղանակ // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխնիկական գիտություններ և ներքին տեղեկատվություն.- 2015.- Հ. 68, No 4. - Էջ 442-453:
110. Eclipse 2015 Reference Manual // www.eclipse.org/documentation/
111. Snell M., Powers L. Microsoft Visual Studio Unleashed. – Sams, 2015. – 426 p.
112. Synopsys, Inc., Design Compiler User Guide. – 2005. – 863 p.
113. Synopsys, Inc., Liberty NCX, User Guide. – 2013. – 1152 p.
114. Physical Compiler and PrimeTime. – Springer, 2001. – 360 p.
115. VCS User Guide.- March 2009.

ՀԱՎԵԼ ՎԱՃ 1.ՆԵՐԴՐՄԱՆ ԱԿՏԸ

№ 298/16



Նազելի Վազգենի Մելիքյանի «Պարամետրերի անորոշության պայմաններում
ինտեգրալ սխեմաների նախագծման միջոցների մշակում և հետազոտում» թեմայով
թեկնածուականատենախոսության արդյունքների

ՆԵՐԴՐՄԱՆ ԱԿՏ

ՀԱՊՀ «Էլեկտրոնիկա, միկրո և մանոէլեկտրոնիկա» մասնագիտությամբ 3-րդ կուրսի
ասպիրանտ Ն. Վ. Մելիքյանի կողմից մշակված պարամետրերի անորոշության
պայմաններում ինտեգրալ սխեմաների նախագծման Uncertainty Designer ծրագրային
գործիքային միջոցը ներդրված է «ՍԻՆՈՓՍԻՍ ԱՐՄԵՆԻԱ» ՓԲԸ-ում: Այդ ծրագրային
միջոցն օգտագործվում է տարաբնույթ ԻՍ-երի և դրանց առանձին հանգույցների
նախագծման ընթացքում սխեմաների բնութագրերի վրա պարամետրերի
անորոշությունների ազդեցության գնահատման և նվազեցման նպատակով: Uncertainty
Designer ծրագրային միջոցի կիրառմամբ նախագծվել և վերլուծվել են մի շարք
ստանդարտ պրոցեսորներ (ChipTop, OrCA և այլն): Uncertainty Designer ծրագրային
միջոցն ընդգրկված է ընկերության ծրագրային գործիքային միջոցների կազմում և
բավարարում է ժամանակակից էլեկտրոնային նախագծման բնագավառում կիրառվող
ծրագրային գործիքային միջոցին ներկայացվող բոլոր պահանջներին:

Թվային և մուտքի/ելքի հանգույցների

նախագծման դեպարտամենտի տնօրեն՝

Յ. Մովսիսյան Վ. Մովսիսյան

"ՍԻՆՈՓՍԻՍ ԱՐՄԵՆԻԱ" ՓԲԸ
0026, ՀՀ, ԵՐԵՎԱՆ, ԱՐՇԱԿՈՒՆՅԱՏ 41
Հեռ.՝ (+374) 10 492100, ֆաքս՝ (+374) 10 492696
ՀՎՀՀ 02236362

"SYNOPSIS ARMENIA" CJSC
41 ARSHAKUNYATS AVE., YEREVAN, ARMENIA, 0026
TEL.: (+374) 10 492100, FAX: (+374) 10 492696
TAX PAYER'S ID 02236362

Հ Ա Վ Ե Լ Վ Ա Ճ 2.Ծ Ր Ա Գ Ր Ա Յ Ի Ն Կ Ո Դ Ի Հ Ա Տ Վ Ա Ճ Ը

import java.awt.EventQueue;

```

import javax.swing.JFrame;
import javax.swing.JMenuBar;
import javax.swing.JMenu;
import javax.swing.JMenuItem;
import javax.swing.JLabel;
import java.awt.Font;
import javax.swing.JTextArea;
import javax.swing.JButton;
import javax.swing.JPanel;
import javax.swing.JTabbedPane;x
import javax.swing.JComboBox;
import javax.swing.JSeparator;
import javax.swing.SwingConstants;
import javax.swing.JRadioButton;
import javax.swing.JCheckBox;
import javax.swing.JTextField;
import javax.swing.JEditorPane;
import java.awt.Label;
import java.awt.Panel;
import javax.swing.JProgressBar;
import javax.swing.ImageIcon;
import javax.swing.JList;
import java.awt.List;
import javax.swing.JSpinner;
import java.awt.ScrollPane;
import java.awt.Scrollbar;
import java.awt.Choice;
import javax.swing.DefaultComboBoxModel;
import org.python.util.PythonInterpreter;
import org.python.core.*;

public class UncertaintyDesigner {

    private JFrame mframe;
    private JTextField mtextField;
    private JTextField mtextField_1;
    private JTextField mtextField_2;
    private JTextField mtextField_3;
    private JTextField mtextField_4;
    private JTextField mtextField_5;

    /**
     * Launch the application.
     */
    public static void main(String[] args) {
        EventQueue.invokeLater(new Runnable() {
            public void run() {
                try {
                    Uncertainty Designer window = new Uncertainty Designer();
                    window.mframe.setVisible(true);
                } catch (Exception e) {

```

```

        e.printStackTrace();
    }
}

});

}

/**
 * Create the application.
 */
public Uncertainty Designer() {
    initialize();
}

/**
 * Initialize the contents of the frame.
 */
private void initialize() {
    mframe = new JFrame();
    mframe.setTitle("Uncertainty Designer ");
    mframe.setBounds(100, 100, 774, 449);
    mframe.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);

    JMenuBar menuBar = new JMenuBar();
    mframe.setJMenuBar(menuBar);

    JMenu mnNewMenu = new JMenu("File");
    menuBar.add(mnNewMenu);

    JMenuItem mntmOpenSession = new JMenuItem("Open Session");
    mnNewMenu.add(mntmOpenSession);

    JMenu mnNewMenu_1 = new JMenu("Edit");
    menuBar.add(mnNewMenu_1);

    JMenuItem mntmPaste = new JMenuItem("Paste");
    mnNewMenu_1.add(mntmPaste);

    JMenuItem mntmCopy = new JMenuItem("Copy");
    mnNewMenu_1.add(mntmCopy);

    JMenu mnView = new JMenu("View");
    menuBar.add(mnView);

    JMenu mnTools = new JMenu("Tools");
    menuBar.add(mnTools);

    JMenuItem mntmSetupToolVersions = new JMenuItem("Setup Tool Versions");
    mntmSetupToolVersions.python.exec(set_tool_versions);
    mnTools.add(mntmSetupToolVersions);

    JMenu mnHelp = new JMenu("Help");
    menuBar.add(mnHelp);

```

```

mnHelp.python.exec(print_toop_help);
mframe.getContentPane().setLayout(null);

JTabbedPane tabbedPane = new JTabbedPane(JTabbedPane.TOP);
tabbedPane.setBounds(0, 0, 861, 390);
mframe.getContentPane().add(tabbedPane);

JPanel panel = new JPanel();
panel.setToolTipText(" ");
tabbedPane.addTab(" Environment Setup", null, panel, null);
panel.setLayout(null);

JLabel label = new JLabel(" Output Log");
label.setFont(new Font(" SansSerif", Font.PLAIN, 10));
label.python.exec(generate_output_log);
label.setBounds(587, 10, 128, 14);
panel.add(label);

JTextArea txtSettingUpPvt = new JTextArea();
txtSettingUpPvt.setFont(new Font(" SansSerif", Font.PLAIN, 10));
txtSettingUpPvt.setBounds(587, 35, 259, 277);
panel.add(txtSettingUpPvt);

JButton button = new JButton("Next");
button.function ( start_project_setup );
button.setBounds(745, 323, 101, 28);
panel.add(button);

JLabel label_1 = new JLabel(" Setup Tools Versions");
label_1.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
label_1.setBounds(328, 10, 171, 14);
panel.add(label_1);

JLabel label_2 = new JLabel("Hspice");
label_2.setBounds(330, 45, 101, 14);
panel.add(label_2);

JComboBox comboBox = new JComboBox();
comboBox.setModel( python.exec(get_hspice_available_versions));
comboBox.setToolTipText("");
comboBox.setBounds(430, 40, 117, 23);
panel.add(comboBox);

JLabel lblLibraryCompiler = new JLabel(" Library Compiler");
lblLibraryCompiler.setBounds(330, 75, 101, 14);
panel.add(lblLibraryCompiler);

JComboBox comboBox_1 = new JComboBox();
comboBox_1.setModel( python.exec(get_lc_available_versions));
comboBox_1.setToolTipText("");
comboBox_1.setBounds(430, 71, 117, 23);
panel.add(comboBox_1);

```

```
JComboBox comboBox_2 = new JComboBox();
comboBox_2.setModel(python.exec(get_design_compiler_available_versions()));
comboBox_2.setToolTipText(" ");
comboBox_2.setBounds(430, 102, 117, 23);
panel.add(comboBox_2);
```

```
JLabel label_4 = new JLabel("Design Compiler");
label_4.setBounds(330, 105, 101, 14);
panel.add(label_4);
```

```
JLabel label_5 = new JLabel("VCS");
label_5.setBounds(330, 135, 101, 14);
panel.add(label_5);
```

```
JLabel lblPrimeTime = new JLabel("Prime Time");
lblPrimeTime.setBounds(328, 165, 101, 14);
panel.add(lblPrimeTime);
```

```
JComboBox comboBox_3 = new JComboBox();
comboBox_3.setModel(python.exec(get_prime_time_available_versions()));
comboBox_3.setToolTipText(" ");
comboBox_3.setBounds(430, 162, 117, 23);
panel.add(comboBox_3);
```

```
JComboBox comboBox_4 = new JComboBox();
comboBox_4.setModel(python.exec(get_vcs_available_versions()));
comboBox_4.setToolTipText(" ");
comboBox_4.setBounds(430, 132, 117, 23);
panel.add(comboBox_4);
```

```
JButton button_1 = new JButton("Set Tool Versions");
button_1.python.exec(set_tool_versions);
button_1.setBounds(385, 258, 189, 28);
panel.add(button_1);
```

```
JSeparator separator = new JSeparator();
separator.setOrientation(SwingConstants.VERTICAL);
separator.setBounds(309, 10, 9, 235);
panel.add(separator);
```

```
JButton btnSetupPvtConditions = new JButton("Setup PVT conditions");
btnSetupPvtConditions.python.exec(set_pvt_conditions);
btnSetupPvtConditions.setBounds(27, 275, 273, 28);
panel.add(btnSetupPvtConditions);
```

```
JLabel label_9 = new JLabel("Temperature");
label_9.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
label_9.setBounds(10, 54, 79, 14);
panel.add(label_9);
```

```
JLabel label_10 = new JLabel("TT");
```

```
label_10.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
label_10.setBounds(176, 54, 24, 14);
panel.add(label_10);
```

```
JLabel label_11 = new JLabel("SS");
label_11.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
label_11.setBounds(224, 54, 24, 14);
panel.add(label_11);
```

```
JLabel label_12 = new JLabel("FF");
label_12.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
label_12.setBounds(276, 54, 24, 14);
panel.add(label_12);
```

```
JCheckBox checkBox = new JCheckBox("");
checkBox.setBounds(275, 90, 24, 23);
panel.add(checkBox);
```

```
JCheckBox checkBox_1 = new JCheckBox("");
checkBox_1.setBounds(275, 127, 24, 23);
panel.add(checkBox_1);
```

```
JCheckBox checkBox_2 = new JCheckBox("");
checkBox_2.setBounds(223, 127, 24, 23);
checkBox_2.function (python.exec(set_tmp1));
panel.add(checkBox_2);
```

```
JCheckBox checkBox_3 = new JCheckBox("");
checkBox_3.setBounds(175, 127, 24, 23);
checkBox_3.function (python.exec(set_tmp2));
panel.add(checkBox_3);
```

```
JLabel label_13 = new JLabel("C");
label_13.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
label_13.setBounds(142, 131, 27, 14);
panel.add(label_13);
```

```
JLabel label_14 = new JLabel("C");
label_14.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
label_14.setBounds(142, 95, 27, 14);
panel.add(label_14);
```

```
JCheckBox checkBox_4 = new JCheckBox("");
checkBox_4.setBounds(175, 90, 24, 23);
checkBox_4.function (python.exec(set_tmp4));
panel.add(checkBox_4);
```

```
JCheckBox checkBox_5 = new JCheckBox("");
checkBox_5.setBounds(223, 90, 24, 23);
checkBox_5.function (python.exec(set_tmp5));
panel.add(checkBox_5);
```

```

JCheckBox checkBox_6 = new JCheckBox(" ");
checkBox_6.setBounds(275, 162, 24, 23);
checkBox_6.function (python.exec(set_tmp6));
panel.add(checkBox_6);

JCheckBox checkBox_7 = new JCheckBox(" ");
checkBox_7.setBounds(223, 162, 24, 23);
checkBox_7.function (python.exec(set_tmp7));
panel.add(checkBox_7);

JCheckBox checkBox_8 = new JCheckBox(" ");
checkBox_8.setBounds(175, 162, 24, 23);
checkBox_8.function (python.exec(set_tmp8));
panel.add(checkBox_8);

JLabel label_15 = new JLabel("C");
label_15.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
label_15.setBounds(142, 164, 27, 14);
panel.add(label_15);

mtextField = new JTextField();
mtextField.setColumns(10);
mtextField.setBounds(85, 161, 52, 24);
panel.add(mtextField);

mtextField_1 = new JTextField();
mtextField_1.setColumns(10);
mtextField_1.setBounds(85, 126, 52, 24);
panel.add(mtextField_1);

mtextField_2 = new JTextField();
mtextField_2.setColumns(10);
mtextField_2.setBounds(85, 90, 52, 24);
panel.add(mtextField_2);

JLabel label_16 = new JLabel("Temp1");
label_16.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
label_16.setBounds(10, 96, 79, 14);
panel.add(label_16);

JLabel label_17 = new JLabel("Temp2");
label_17.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
label_17.setBounds(10, 129, 79, 14);
panel.add(label_17);

JLabel label_18 = new JLabel("Temp3");
label_18.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
label_18.setBounds(10, 162, 79, 14);
panel.add(label_18);

JLabel lblSetupPvtConditions = new JLabel("Setup PVT conditions");
lblSetupPvtConditions.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));

```

```

lblSetupPvtConditions.setBounds(10, 10, 171, 14);
panel.add(lblSetupPvtConditions);

JLabel label_8 = new JLabel("Supply Voltage");
label_8.setBounds(10, 229, 92, 14);
panel.add(label_8);

JLabel label_21 = new JLabel("Min");
label_21.setBounds(118, 208, 30, 14);
panel.add(label_21);

mtextField_3 = new JTextField();
mtextField_3.setText("1.05");
mtextField_3.setColumns(10);
mtextField_3.setBounds(106, 226, 42, 24);
panel.add(mtextField_3);

JLabel label_22 = new JLabel("Typ");
label_22.setBounds(168, 208, 31, 14);
panel.add(label_22);

mtextField_4 = new JTextField();
mtextField_4.setText("1.2");
mtextField_4.setColumns(10);
mtextField_4.setBounds(157, 226, 42, 24);
panel.add(mtextField_4);

JLabel label_23 = new JLabel("Max");
label_23.setBounds(220, 207, 33, 14);
panel.add(label_23);

mtextField_5 = new JTextField();
mtextField_5.setText("1.35");
mtextField_5.setColumns(10);
mtextField_5.setBounds(211, 226, 42, 24);
panel.add(mtextField_5);

JLabel label_24 = new JLabel("mV");
label_24.setBounds(256, 227, 33, 14);
panel.add(label_24);

JLabel lblLibertyNcz = new JLabel("Liberty NCX");
lblLibertyNcz.setBounds(328, 199, 101, 14);
panel.add(lblLibertyNcz);

JComboBox comboBox_5 = new JComboBox();
comboBox_5.setModel(python.exec(get_ncx_available_versions));
comboBox_5.setToolTipText("");
comboBox_5.setBounds(430, 196, 117, 23);
panel.add(comboBox_5);

JPanel panel_1 = new JPanel();

```

```

tabbedPane.addTab("Project Setup", null, panel_1, null);
panel_1.setLayout(null);

JLabel label_7 = new JLabel("Output Log");
label_7.setFont(new Font("SansSerif", Font.PLAIN, 12));
label_7.setBounds(586, 7, 128, 14);
panel_1.add(label_7);

JTextArea textArea_1 = new JTextArea();
textArea_1.setFont(new Font("SansSerif", Font.PLAIN, 10));
textArea_1.setBounds(586, 24, 260, 288);
panel_1.add(textArea_1);

JButton button_2 = new JButton("Next");
button_2.setBounds(745, 323, 101, 28);
panel_1.add(button_2);

JSeparator separator_1 = new JSeparator();
separator_1.setOrientation(SwingConstants.VERTICAL);
separator_1.setBounds(276, 7, 9, 80);
panel_1.add(separator_1);

JButton btnLoadDesignVerilog = new JButton("Load design Verilog");
btnLoadDesignVerilog.setBounds(334, 45, 189, 28);
panel_1.add(btnLoadDesignVerilog);

JButton btnLoadDesignHspice = new JButton("Load design Hspice Netlist");
btnLoadDesignHspice.setEnabled(false);
btnLoadDesignHspice.setBounds(44, 45, 189, 28);
panel_1.add(btnLoadDesignHspice);

JButton btnLoadConstraints = new JButton("Load STA algorithm library");
btnLoadConstraints.setBounds(47, 274, 206, 28);
panel_1.add(btnLoadConstraints);

JRadioButton rdbtnNewRadioButton = new JRadioButton("Schematic STA Analysis Flow");
rdbtnNewRadioButton.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
rdbtnNewRadioButton.setBounds(16, 7, 234, 23);
panel_1.add(rdbtnNewRadioButton);

JRadioButton rdbtnLogicalAnalysisFlow = new JRadioButton("Logical STA Analysis Flow");
rdbtnLogicalAnalysisFlow.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
rdbtnLogicalAnalysisFlow.setBounds(304, 7, 234, 23);
panel_1.add(rdbtnLogicalAnalysisFlow);
JLabel lblSetupStandartCell = new JLabel("Setup Standart Cell Library");
lblSetupStandartCell.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
lblSetupStandartCell.setBounds(16, 84, 227, 14);
panel_1.add(lblSetupStandartCell);

JButton btnOpen_1 = new JButton("Open");
btnOpen_1.setEnabled(false);
btnOpen_1.setBounds(460, 109, 109, 28);

```

```

panel_1.add(btnOpen_1);

JButton btnOpen_2 = new JButton(" Open");
btnOpen_2.setBounds(460, 146, 109, 28);
panel_1.add(btnOpen_2);

JButton btnOpen_3 = new JButton(" Open");
Button_3.python.exec(open_file , );
btnOpen_3.setBounds(460, 185, 109, 28);
panel_1.add(btnOpen_3);

JEditorPane editorPane_1 = new JEditorPane();
editorPane_1.setEnabled(false);
editorPane_1.setBounds(185, 109, 254, 23);
panel_1.add(editorPane_1);

JEditorPane editorPane_2 = new JEditorPane();
editorPane_2.setBounds(185, 146, 254, 23);
panel_1.add(editorPane_2);

JEditorPane editorPane_3 = new JEditorPane();
editorPane_3.setBounds(185, 185, 254, 23);
panel_1.add(editorPane_3);

JButton button_3 = new JButton(" Import .lib files");
Button_3.python.exec(import_lib_files);
button_3.setBounds(47, 235, 179, 28);
panel_1.add(button_3);
JLabel lblConstraints = new JLabel(" Design Constraints");
lblConstraints.setFont(new Font(" SansSerif" , Font.PLAIN, 14));
lblConstraints.setBounds(47, 192, 128, 14);
panel_1.add(lblConstraints);

JLabel lblStdVerilog = new JLabel(" STD Verilog");
lblStdVerilog.setFont(new Font(" SansSerif" , Font.PLAIN, 14));
lblStdVerilog.setBounds(47, 151, 128, 14);
panel_1.add(lblStdVerilog);

JLabel lblHspiceModels = new JLabel(" Hspice Models");
lblHspiceModels.setFont(new Font(" SansSerif" , Font.PLAIN, 14));
lblHspiceModels.setBounds(47, 116, 128, 14);
panel_1.add(lblHspiceModels);

JButton btnPrevious = new JButton(" Previous");
btnStopGeneration .python.exec(start_evaluation);
btnPrevious.setBounds(10, 323, 101, 28);
panel_1.add(btnPrevious);

JPanel panel_3 = new JPanel();
tabbedPane.addTab(" Evaluation" , null, panel_3, null);
panel_3.setLayout(null);

```

```

JTextArea textArea_2 = new JTextArea();
textArea_2.setFont(new Font("SansSerif", Font.PLAIN, 10));
textArea_2.setBounds(586, 28, 260, 275);
panel_3.add(textArea_2);

JLabel label_3 = new JLabel("Output Log");
label_3.setFont(new Font("SansSerif", Font.PLAIN, 12));
label_3.setBounds(586, 11, 128, 14);
panel_3.add(label_3);

JButton button_4 = new JButton("Next");
button_4.setBounds(745, 323, 101, 28);
panel_3.add(button_4);

JLabel lblStaGenerationFor = new JLabel("Standart Cell STA model generation");
lblStaGenerationFor.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
lblStaGenerationFor.setBounds(23, 11, 260, 14);
panel_3.add(lblStaGenerationFor);

JButton btnStartSta = new JButton("Start STA");
btnStartSta.setBounds(47, 200, 141, 28);
panel_3.add(btnStartSta);

JProgressBar progressBar = new JProgressBar();
progressBar.setMinimum(20);
progressBar.setMaximum(40);
progressBar.setValue(70);
progressBar.setBounds(200, 209, 150, 19);
panel_3.add(progressBar);

JLabel lblFinished_1 = new JLabel("Finished ... ");
lblFinished_1.setFont(new Font("SansSerif", Font.PLAIN, 10));
lblFinished_1.setBounds(209, 228, 128, 14);
panel_3.add(lblFinished_1);

JProgressBar progressBar_1 = new JProgressBar();
progressBar_1.setMaximum(10);
progressBar_1.setValue(70);
progressBar_1.setBounds(397, 43, 150, 19);
panel_3.add(progressBar_1);
JLabel lblFinished = new JLabel("Finished ... ");
lblFinished.setFont(new Font("SansSerif", Font.PLAIN, 10));
lblFinished.setBounds(406, 62, 128, 14);
panel_3.add(lblFinished);

JButton btnStartStaGenertaion = new JButton("Start STA ");
btnStopGeneration .python.exec(start_sta);
btnStartStaGenertaion.setBounds(233, 35, 141, 28);
panel_3.add(btnStartStaGenertaion);

JButton btnStop = new JButton("Stop");
btnStop.setEnabled(false);

```

```

btnStop.setBounds(47, 239, 141, 28);
panel_3.add(btnStop);
JButton btnStopGeneration = new JButton("Stop");
btnStopGeneration.python.exec(stop_process);
btnStopGeneration.setEnabled(false);
btnStopGeneration.setBounds(233, 73, 141, 28);
panel_3.add(btnStopGeneration);

JButton btnPrevious_1 = new JButton("Previous");
btnPrevious_1.setBounds(10, 323, 101, 28);
panel_3.add(btnPrevious_1);

JSeparator separator_2 = new JSeparator();
separator_2.setBounds(20, 156, 556, 2);
panel_3.add(separator_2);

JButton button_6 = new JButton("Import STA .lib files");
Button_6.python.exec(import_sta_libs);
button_6.setBounds(33, 36, 179, 28);
panel_3.add(button_6);

JLabel lblDesignSta = new JLabel("Design STA");
lblDesignSta.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
lblDesignSta.setBounds(23, 169, 260, 14);
panel_3.add(lblDesignSta);

JButton btnViewNcxLog = new JButton("View NCX log");
btnViewNcxLog.python.exec(view_ncx_log);
btnViewNcxLog.setBounds(233, 112, 141, 28);
panel_3.add(btnViewNcxLog);

JPanel panel_2 = new JPanel();
tabbedPane.addTab("Results", null, panel_2, null);
panel_2.setLayout(null);

JLabel lblNewLabel = new JLabel("");
lblNewLabel.setIcon(new ImageIcon("C:\\\\Users\\\\vache\\\\Desktop\\\\Presentation1.gif"));
lblNewLabel.setBounds(340, 21, 382, 264);
panel_2.add(lblNewLabel);

JButton btnViewStaPlot = new JButton("View STA plot");
btnFinish.python.exec(view_plot);
btnViewStaPlot.setBounds(28, 262, 179, 28);
panel_2.add(btnViewStaPlot);

JButton button_5 = new JButton("Previous");
button_5.setBounds(10, 323, 101, 28);
panel_2.add(button_5);
List list = new List();
list.setBounds(28, 55, 293, 197);
panel_2.add(list);

```

```

JLabel lblSelectPath = new JLabel("Select Path ");
lblSelectPath.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
lblSelectPath.setBounds(28, 21, 227, 28);
panel_2.add(lblSelectPath);

JButton btnFinish = new JButton("Finish");
btnFinish.python.exec(exit_program);
btnFinish.setBounds(621, 323, 101, 28);
panel_2.add(btnFinish);

JButton btnNextPlot = new JButton("Next plot");
btnNextPlot.python.exec(show_next_plot);
btnNextPlot.setBounds(213, 262, 109, 28);
panel_2.add(btnNextPlot);

JLabel label_6 = new JLabel("Select Path ");
label_6.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
label_6.setBounds(340, 284, 227, 28);
panel_2.add(label_6);
    }
}

```

ՀԱՎԵԼ ՎԱԾ 3. ԹՎԱՅԻՆ ՍՏԱՆԴԱՐՏ ԳՐԱԴԱՐԱՆԻ ՏԱՐԲԵՐԻ ՑԱՆԿԸ

	Նկարագրություն	Բջջի անվանում
Շրջիչներ, կրկնիչներ		
1	Շրջիչ	INVX0
...	...	...
7	Շրջիչ	INVX32
8	Շրջող կրկնիչ	IBUFFX2
...	...	...
12	Շրջող կրկնիչ	IBUFFX32
13	Չշրջող կրկնիչ	NBUFFX2
...	...	...
17	Չշրջող կրկնիչ	NBUFFX32
18	Բարձր մակարդակով ակտիվացմամբ, եռավիճակ չշրջող կրկնիչ	TNBUFFX1
...	...	...
23	Բարձր մակարդակով ակտիվացմամբ, եռավիճակ չշրջող կրկնիչ	TNBUFFX32
Տրամաբանական փականներ		

24	2-մուտքանի ԵՎ	AND2X1
...	...	...
26	2-մուտքանի ԵՎ	AND2X4
27	3-մուտքանի ԵՎ	AND3X1
...	...	...
29	3-մուտքանի ԵՎ	AND3X4
30	4-մուտքանի ԵՎ	AND4X1
...	...	...
32	4-մուտքանի ԵՎ	AND4X4
33	2-մուտքանի ԵՎ-ՈՉ	NAND2X0
...	...	...
36	2-մուտքանի ԵՎ-ՈՉ	NAND2X4
37	3-մուտքանի ԵՎ-ՈՉ	NAND3X0
...	...	...
40	3-մուտքանի ԵՎ-ՈՉ	NAND3X4
41	4-մուտքանի ԵՎ-ՈՉ	NAND4X0
42	4-մուտքանի ԵՎ-ՈՉ	NAND4X1
43	2-մուտքանի ԿԱՄ	OR2X1
...	...	...
45	2-մուտքանի ԿԱՄ	OR2X4
46	3-մուտքանի ԿԱՄ	OR3X1
...	...	...
48	3-մուտքանի ԿԱՄ	OR3X4
49	4-մուտքանի ԿԱՄ	OR4X1
...	...	...
51	4-մուտքանի ԿԱՄ	OR4X4
52	2-մուտքանի ԿԱՄ-ՈՉ	NOR2X0
...	...	...
55	2-մուտքանի ԿԱՄ-ՈՉ	NOR2X4
56	3-մուտքանի ԿԱՄ-ՈՉ	NOR3X0
...	...	...

59	3-մուտքանի ԿԱՄ-ՈՉ	NOR3X4
60	4-մուտքանի ԿԱՄ-ՈՉ	NOR4X0
61	4-մուտքանի ԿԱՄ-ՈՉ	NOR4X1
62	2- մուտքանի ԲԱՑԱՌՈՂ ԿԱՄ	XOR2X1
63	2- մուտքանի ԲԱՑԱՌՈՂ ԿԱՄ	XOR2X2
64	3- մուտքանի ԲԱՑԱՌՈՂ ԿԱՄ	XOR3X1
65	3-մուտքանի ԲԱՑԱՌՈՂ ԿԱՄ	XOR3X2
66	2-մուտքանի ԲԱՑԱՌՈՂ ԿԱՄ-ՈՉ	XNOR2X1
67	2-մուտքանի ԲԱՑԱՌՈՂ ԿԱՄ-ՈՉ	XNOR2X2
68	3-մուտքանի ԲԱՑԱՌՈՂ ԿԱՄ-ՈՉ	XNOR3X1
69	3-մուտքանի ԲԱՑԱՌՈՂ ԿԱՄ-ՈՉ	XNOR3X2
Բարդ տրամաբանական փականներ		
70	2/1 ԵՎ-ԿԱՄ	AO21X1
71	2/1 ԵՎ-ԿԱՄ	AO21X2
72	2/2 ԵՎ-ԿԱՄ	AO22X1
73	2/2 ԵՎ-ԿԱՄ	AO22X2
74	2/2/1 ԵՎ-ԿԱՄ	AO221X1
75	2/2/1 ԵՎ-ԿԱՄ	AO221X2
76	2/2/2 ԵՎ-ԿԱՄ	AO222X1
77	2/2/2 ԵՎ-ԿԱՄ	AO222X2
78	2/1 ԵՎ-ԿԱՄ-ՇՐՋԻՉ	AOI21X1
79	2/1 ԵՎ-ԿԱՄ-ՇՐՋԻՉ	AOI21X2
80	2/2 ԵՎ-ԿԱՄ-ՇՐՋԻՉ	AOI22X1
81	2/2 ԵՎ-ԿԱՄ-ՇՐՋԻՉ	AOI22X2
82	2/2/1 ԵՎ-ԿԱՄ-ՇՐՋԻՉ	AOI221X1
83	2/2/1 ԵՎ-ԿԱՄ-ՇՐՋԻՉ	AOI221X2
84	2/2/2 ԵՎ-ԿԱՄ-ՇՐՋԻՉ	AOI222X1

85	2/2/2 ԵՎ-ԿԱՄ-ՇՐՋԻՉ	AOI222X2
86	2/1 ԿԱՄ-ԵՎ	OA21X1
87	2/1 ԿԱՄ-ԵՎ	OA21X2
88	2/2 ԿԱՄ-ԵՎ	OA22X1
89	2/2 ԿԱՄ-ԵՎ	OA22X2
90	2/2/1 ԿԱՄ-ԵՎ	OA221X1
91	2/2/1 ԿԱՄ-ԵՎ	OA221X2
92	2/2/2 ԿԱՄ-ԵՎ	OA222X1
93	2/2/2 ԿԱՄ-ԵՎ	OA222X2
94	2/1 ԿԱՄ-ԵՎ-ՇՐՋԻՉ	OAI21X1
95	2/1 ԿԱՄ-ԵՎ-ՇՐՋԻՉ	OAI21X2
96	2/2 ԿԱՄ-ԵՎ-ՇՐՋԻՉ	OAI22X1
97	2/2 ԿԱՄ-ԵՎ-ՇՐՋԻՉ	OAI22X2
98	2/2/1 ԿԱՄ-ԵՎ-ՇՐՋԻՉ	OAI221X1
99	2/2/1 ԿԱՄ-ԵՎ-ՇՐՋԻՉ	OAI221X2
100	2/2/2 ԿԱՄ-ԵՎ-ՇՐՋԻՉ	OAI222X1
101	2/2/2 ԿԱՄ-ԵՎ-ՇՐՋԻՉ	OAI222X2
Մուլտիպլեքսորներ		
102	Մուլտիպլեքսոր 2-1	MUX21X1
103	Մուլտիպլեքսոր 2-1	MUX21X2
104	Մուլտիպլեքսոր 4-1	MUX41X1
105	Մուլտիպլեքսոր 4-1	MUX41X2
Վերծանիչներ		
106	Վերծանիչ 2-4	DEC24X1
107	Վերծանիչ 2-4	DEC24X2
Գումարիչներ և հանիչներ		
108	1 կարգանի կիսագումարիչ	HADDX1
109	1 կարգանի կիսագումարիչ	HADDX2

110	1 կարգանի լրիվ գումարիչ	FADDX1
111	1 կարգանի լրիվ գումարիչ	FADDX2
D տրիգերներ		
112	Դրական ճակատով D տրիգեր	DFFX1
113	Դրական ճակատով D տրիգեր	DFFX2
114	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ, դրական ճակատով D տրիգեր	DFFASX1
115	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ, դրական ճակատով D տրիգեր	DFFASX2
116	Ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնմամբ, դրական ճակատով D տրիգեր	DFFARX1
117	Ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնմամբ, դրական ճակատով D տրիգեր	DFFARX2
118	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, դրական ճակատով D տրիգեր	DFFASRX1
119	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, դրական ճակատով D տրիգեր	DFFASRX2
120	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, դրական ճակատով D տրիգեր	DFFSSRX1
121	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, դրական ճակատով D տրիգեր	DFFSSRX2
122	Բացասական ճակատով D տրիգեր	DFFNX1
123	Բացասական ճակատով D տրիգեր	DFFNX2
124	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ, բացասական ճակատով D տրիգեր	DFFNASX1
125	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ, բացասական ճակատով D տրիգեր	DFFNASX2
126	Ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնմամբ, բացասական ճակատով D տրիգեր	DFFNARX1
127	Ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնմամբ, բացասական ճակատով D տրիգեր	DFFNARX2
128	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, բացասական ճակատով D տրիգեր	DFFNASRX1
129	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, բացասական ճակատով D տրիգեր	DFFNASRX2
130	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ բացասական ճակատով, միայն Q ելքով D տրիգեր	DFFNASRQX1
131	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ բացասական ճակատով, միայն Q ելքով D տրիգեր	DFFNASRQX2
132	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ բացասական ճակատով, միայն QN ելքով D տրիգեր	DFFNASRNX1

133	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ բացասական ճակատով, միայն QN ելքով D տրիգեր	DFFNASRX2
Թեստավորող D տրիգերներ		
134	Դրական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFX1
135	Դրական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFX2
136	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ, դրական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFASX1
137	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ, դրական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFASX2
138	Ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնմամբ, դրական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFARX1
139	Ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնմամբ, դրական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFARX2
140	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, դրական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFASRX1
141	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, դրական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFASRX2
142	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, դրական ճակատով, Q, QN, և S0 ելքերով թեստավորող D տրիգեր	SDFFASRSX1
143	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, դրական ճակատով, Q, QN, և S0 ելքերով թեստավորող D տրիգեր	SDFFASRSX2
144	Սինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, դրական ճակատով, թեստավորող D տրիգեր	SDFFSSRX1
145	Սինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, դրական ճակատով, թեստավորող D տրիգեր	SDFFSSRX2
146	Բացասական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFNX1
147	Բացասական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFNX2
148	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ, բացասական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFNASX1
149	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ, բացասական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFNASX2
150	Ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնմամբ, դրական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFNARX1
151	Ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնմամբ, դրական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFNARX2
152	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, բացասական ճակատով թեստավորող D տրիգեր	SDFFNASRX1
153	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, բացասական ճակատով թեստավորող D	SDFFNASRX2

	տրիգեր	
Մակարդակով ղեկավարվող տրիգերներ		
154	Մակարդակով ղեկավարվող RS-ԵՎ-ՈՉ տրիգեր	LNANDX1
155	Մակարդակով ղեկավարվող RS-ԵՎ-ՈՉ տրիգեր	LNANDX2
156	Բարձր մակարդակով ղեկավարվող տրիգեր	LATCHX1
157	Բարձր մակարդակով ղեկավարվող տրիգեր	LATCHX2
158	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ, բարձր մակարդակով ղեկավարվող տրիգեր	LASX1
159	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ, բարձր մակարդակով ղեկավարվող տրիգեր	LASX2
160	Ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնմամբ, բարձր մակարդակով ղեկավարվող տրիգեր	LARX1
161	Ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնմամբ, բարձր մակարդակով ղեկավարվող տրիգեր	LARX2
162	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, բարձր մակարդակով ղեկավարվող տրիգեր	LASRX1
163	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, բարձր մակարդակով ղեկավարվող տրիգեր	LASRX2
164	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, միայն Q ելքով, բարձր մակարդակով ղեկավարվող տրիգեր	LASRQX1
165	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, միայն Q ելքով, բարձր մակարդակով ղեկավարվող տրիգեր	LASRQX2
166	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, միայն QN ելքով, բարձր մակարդակով ղեկավարվող տրիգեր	LASRNX1
167	Ասինքրոն ցածր մակարդակի տեղակայմամբ և վերականգնմամբ, միայն QN ելքով, բարձր մակարդակով ղեկավարվող տրիգեր	LASRNX2
Տակտավորվող փականներ		
168	Դրական ճակատով հետղեկավարմամբ սինքրոնազդանշանի շրջափական բջիջ	CGLPPSX2
...	...	...
171	Դրական ճակատով հետղեկավարմամբ սինքրոնազդանշանի շրջափական բջիջ	CGLPPSX16
172	Բացասական ճակատով հետղեկավարմամբ սինքրոնազդանշանի շրջափական բջիջ	CGLNPSX2
...	...	...
175	Բացասական ճակատով հետղեկավարմամբ սինքրոնազդանշանի շրջափական բջիջ	CGLNPSX16
176	Դրական ճակատով նախաղեկավարմամբ սինքրոնազդանշանի շրջափական բջիջ	CGLPPRX2
177	Դրական ճակատով նախաղեկավարմամբ սինքրոնազդանշանի շրջափական բջիջ	CGLPPRX8

178	Բացասական ճակատով նախադեկավարմամբ սինքրոազդանշանի շրջափական բջիջ	CGLNPRX2
179	Բացասական ճակատով նախադեկավարմամբ սինքրոազդանշանի շրջափական բջիջ	CGLNPRX8
Հապաղման գծեր		
180	Չշրջող հապաղման գիծ, 250 նվ	DELLN1X2
181	Չշրջող հապաղման գիծ, 500 նվ	DELLN2X2
182	Չշրջող հապաղման գիծ, 750 նվ	DELLN3X2
Անցումային փականներ		
183	Անցումային փական	PGX1
184	Անցումային փական	PGX2
185	Անցումային փական	PGX4
Երկկողմանի փոխանջատիչներ		
186	Ցածր մակարդակի թույլտվությամբ երկկողմանի փոխանջատիչ	BSLEX1
187	Ցածր մակարդակի թույլտվությամբ երկկողմանի փոխանջատիչ	BSLEX2
188	Ցածր մակարդակի թույլտվությամբ երկկողմանի փոխանջատիչ	BSLEX4
Մեկուսացնող բջիջներ		
189	Մեկուսացնող բջիջ (տրամաբանական ԵՎ)	ISOLANDX1
...	...	...
192	Մեկուսացնող բջիջ (տրամաբանական ԵՎ)	ISOLANDX8
193	Միշտ միացված մեկուսացնող բջիջ (տրամաբանական ԵՎ)	ISOLANDAOX1
...	...	...
196	Միշտ միացված մեկուսացնող բջիջ (տրամաբանական ԵՎ)	ISOLANDAOX8
197	Մեկուսացնող բջիջ (տրամաբանական ԿԱՄ)	ISOLORX1
...	...	...
200	Մեկուսացնող բջիջ (տրամաբանական ԿԱՄ)	ISOLORX8
201	Միշտ միացված մեկուսացնող բջիջ (տրամաբանական ԿԱՄ)	ISOLORAOX1
...	...	...
204	Միշտ միացված մեկուսացնող բջիջ (տրամաբանական ԿԱՄ)	ISOLORAOX8
Լարման փոխակերպիչներ		
205	Ցածրից բարձր լարման փոխակերպիչ	LSUPX1
...	...	...

208	Ցածրից բարձր լարման փոխակերպիչ	LSUPX8
209	Բարձրից ցածր լարման փոխակերպիչ	LSDNX1
...	...	...
212	Բարձրից ցածր լարման փոխակերպիչ	LSDNX8
213	Նախնական բարձր մակարդակով, ցածրից բարձր լարման փոխակերպիչ	LSUPENX1
...	...	...
216	Նախնական բարձր մակարդակով, բարձրից ցածր լարման փոխակերպիչ	LSUPENX8
217	Նախնական բարձր մակարդակով, բարձրից ցածր լարման փոխակերպիչ	LSDNENX1
...	...	...
220	Նախնական բարձր մակարդակով, բարձրից ցածր լարման փոխակերպիչ	LSDNENX8
221	Նախնական ցածր մակարդակով, ցածրից բարձր լարման փոխակերպիչ	LSUPENCLX1
...	...	...
224	Նախնական ցածր մակարդակով, ցածրից բարձր լարման փոխակերպիչ	LSUPENCLX8
225	Նախնական ցածր մակարդակով, բարձրից ցածր լարման փոխակերպիչ	LSDNENCLX1
...	...	...
228	Նախնական ցածր մակարդակով, բարձրից ցածր լարման փոխակերպիչ	LSDNENCLX8
229	Եզակի սնմամբ, բարձրից ցածր լարման փոխակերպիչ	LSDNSSX1
...	...	...
232	Եզակի սնմամբ, բարձրից ցածր լարման փոխակերպիչ	LSDNSSX4
233	Բարձր մակարդակով թույլտվությունը, եզակի սնմամբ, բարձրից ցածր լարման փոխակերպիչ	LSDNENSSX1
...	...	...
236	Բարձր մակարդակով թույլտվությունը եզակի սնմամբ բարձրից ցածր լարման փոխակերպիչ	LSDNENSSX4
237	Նախնական ցածր մակարդակով, բարձր մակարդակով թույլտվությունը, եզակի սնմամբ բարձրից ցածր լարման փոխակերպիչ	LSDNENCLSSX1
...	...	...
240	Նախնական ցածր մակարդակով, բարձր մակարդակով թույլտվությունը, եզակի սնմամբ բարձրից ցածր լարման փոխակերպիչ	LSDNENCLSSX8
Պահպանող և թեստավորող տրիգերներ		
241	Դրական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RDFFX1
242	Դրական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RDFFX2
243	Թեստավորող դրական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RSDFFX1

244	Թեստավորող դրական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RSDDFFX2
245	Բացասական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RDFFNX1
246	Բացասական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RDFFNX2
247	Թեստավորող, բացասական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RSDDFFNX1
248	Թեստավորող, բացասական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RSDDFFNX2
249	Թեստավորող, ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ, դրական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RSDDFFARX1
250	Թեստավորող, ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ, դրական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RSDDFFARX2
251	Թեստավորող, ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ, բացասական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RSDDFFNARX1
252	Թեստավորող, ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ, բացասական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RSDDFFNARX2
253	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ, դրական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RDFFARX1
254	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ, դրական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RDFFARX2
255	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ, բացասական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RDFFNARX1
256	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ, բացասական ճակատով պահպանող D տրիգեր	RDFFNARX2
Գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգերներ		
257	Դրական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով պահպանող D տրիգեր	RDFFSRX1
258	Դրական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFSRX2
259	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով տեղակայմամբ, դրական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFSRASX1
260	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով տեղակայմամբ, դրական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFSRASX2
261	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ, դրական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFSRARX1
262	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ, դրական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFSRARX2
263	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ և տեղակայմամբ, դրական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFSRASRX1

264	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ և տեղակայմամբ, դրական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFSRASRX2
265	Սինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ և տեղակայմամբ, դրական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFSRSSRX1
266	Սինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ և տեղակայմամբ, դրական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFSRSSRX2
267	Բացասական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFNSRX1
268	Բացասական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFNSRX2
269	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով տեղակայմամբ, բացասական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFNSRASX1
270	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով տեղակայմամբ, բացասական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFNSRASX2
271	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ, բացասական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFNSRARX1
272	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ, բացասական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFNSRARX2
273	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ և տեղակայմամբ, բացասական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFNSRASRX1
274	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ և տեղակայմամբ, բացասական ճակատով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFNSRASRX2
275	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ և տեղակայմամբ, բացասական ճակատով, միայն Q ելքով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFNSRASRQX1
276	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ և տեղակայմամբ, բացասական ճակատով, միայն Q ելքով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFNSRASRQX2
277	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ և տեղակայմամբ, բացասական ճակատով, միայն QN ելքով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFNSRASRNX1
278	Ասինքրոն, ցածր մակարդակով վերականգնմամբ և տեղակայմամբ, բացասական ճակատով, միայն QN ելքով, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր	RDFFNSRASRNX2
Թեստավորող, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, պահպանող D տրիգեր		
279	Թեստավորող, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, դրական ճակատով D տրիգեր	RSDDFSRX1

296	Թեստավորող, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնման և տեղակայման, բացասական ճակատով D տրիգեր	RSDDFFNSRASRX2
297	Թեստավորող, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնման և տեղակայման, միայն Q ելքով, բացասական ճակատով D տրիգեր	RSDDFFNSRASRQX1
298	Թեստավորող, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնման և տեղակայման, միայն Q ելքով, բացասական ճակատով D տրիգեր	RSDDFFNSRASRQX2
299	Թեստավորող, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնման և տեղակայման, միայն QN ելքով, բացասական ճակատով D տրիգեր	RSDDFFNSRASRNX1
300	Թեստավորող, գրանցման և վերականգնման ելուստներով, ասինքրոն ցածր մակարդակի վերականգնման և տեղակայման, միայն QN ելքով, բացասական ճակատով D տրիգեր	RSDDFFNSRASRNX2
Սնման շրջափակման բջիջներ		
301	Գլխամասային բջիջ	HEADX2
...	...	
305	Գլխամասային բջիջ	HEADX32
306	SLEEPOUT ելքով գլխամասային բջիջ	HEAD2X2
...	...	
310	SLEEPOUT ելքով գլխամասային բջիջ	HEAD2X32
311	Վերջնամասային բջիջ	FOOTX2
...	...	
315	Վերջնամասային բջիջ	FOOTX32
316	SLEEPOUT ելքով վերջնամասային բջիջ	FOOT2X2
...	...	
318	SLEEPOUT ելքով վերջնամասային բջիջ	FOOT2X32
Միշտ միացված բջիջներ		
319	Միշտ միացված շրջիչ	AOINVX1
320	Միշտ միացված շրջիչ	AOINVX2
321	Միշտ միացված շրջիչ	AOINVX4
322	Միշտ միացված չշրջող կրկնիչ	AOBUFX1
323	Միշտ միացված չշրջող կրկնիչ	AOBUFX2

324	Միշտ միացված չշրջող կրկնիչ	AOBUFX4
325	Ասինքրոն, ցածր մակարդակի վերականգնմամբ, միշտ միացված, դրական ճակատով D տրիգեր	AODFFARX1
326	Ասինքրոն, ցածր մակարդակի վերականգնմամբ, միշտ միացված, դրական ճակատով D տրիգեր	AODFFARX2
327	Ասինքրոն, ցածր մակարդակի վերականգնմամբ, միշտ միացված, բացասական ճակատով D տրիգեր	AODFFNARX1
328	Ասինքրոն, ցածր մակարդակի վերականգնմամբ, միշտ միացված, բացասական ճակատով D տրիգեր	AODFFNARX2
Հավելյալ բջիջներ		
329	Սնման դողի պահպանիչ	BUSKP
330	P տիպի ՄՕԿ տրանզիստոր ($w=0.4$ մկմ, $l=0.03$ մկմ)	PMT1
331	P տիպի ՄՕԿ տրանզիստոր ($w=0.8$ մկմ, $l=0.03$ մկմ)	PMT2
332	P տիպի ՄՕԿ տրանզիստոր ($w=1.6$ մկմ, $l=0.03$ մկմ)	PMT3
333	N տիպի ՄՕԿ տրանզիստոր ($w=0.2$ մկմ, $l=0.03$ մկմ)	NMT1
334	N տիպի ՄՕԿ տրանզիստոր ($w=0.34$ մկմ, $l=0.03$ մկմ)	NMT2
335	N տիպի ՄՕԿ տրանզիստոր ($w=0.7$ մկմ, $l=0.03$ մկմ)	NMT3
336	Բարձր կապ	TIEH
337	Բարձր կապ	TIEL
338	Անտենա դիող	ANTENNA
339	Փոխազդեցության ունակություն	DCAP
340	Ունակային բեռ	CLOAD1
Ծածկող բջիջներ		
341	1 վանդակի լայնությամբ, եզակի բարձրությամբ, ծածկող բջիջ	SHFILL1
342	2 վանդակի լայնությամբ, եզակի բարձրությամբ, ծածկող բջիջ	SHFILL2
343	3 վանդակի լայնությամբ, եզակի բարձրությամբ, ծածկող բջիջ	SHFILL3
344	64 վանդակի լայնությամբ, եզակի բարձրությամբ, ծածկող բջիջ	SHFILL64
345	128 վանդակի լայնությամբ, եզակի բարձրությամբ, ծածկող բջիջ	SHFILL128
346	1 վանդակի լայնությամբ, կրկնակի բարձրությամբ, (բարձր-ցածր-բարձր) ծածկող բջիջ	DHFILLUP1
347	1 վանդակի լայնությամբ, կրկնակի բարձրությամբ, (ցածր-բարձր-ցածր) ծածկող բջիջ	DHFILLDN1
348	1 վանդակի լայնությամբ, կրկնակի բարձրությամբ, (միշտ միացված և պահպանող բջիջների համար) ծածկող բջիջ	DHFILLAO1

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 4. ՆԿԱՐՆԵՐԻ, ԱՂՅՈՒՍԱԿՆԵՐԻ ԵՎ ՀԱՊԱՎՈՒՄՆԵՐԻ ՑԱՆԿԵՐԸ

Նկարների ցանկ

- Նկ .1.1. ԻՍ-երի նախագծման մարտահրավերները . ա) ըստ
[1] աղբյուրի , բ) ըստ [26]
աղբյուրի 10
- Նկ .1.2. Հապաղմամբ սահմանափակված
Էներգապառման նվազարկումը 11
- Նկ .1.3. Տրամաբանական փականների և
միջմիացումների հապաղումների
հարաբերակցության
փոփոխությունը 12
- Նկ .1.4. Ազդանշանի հաճախությունից ARC 600
պրոցեսորի գլոբալ սինքրոնազդանշանի
հապաղման կախվածությունը 13
- Նկ .1.5. Թվային ԻՍ-երի ստեղծման
փուլերը 15

- Ն կ . 1.6. Ի Ս - ե ր ի պարամետրերի անորոշությունների
աղբյուրների դասակարգումը 16
- Ն կ . 1.7. Տեխնոլոգիական գործընթացների
շեղումների դասակարգումը 17
- Ն կ . 1.8. Կիսահաղորդչային սարքերի և
միջմիացումների տեսքերի աղավաղումը ..18
- Ն կ . 1.9. Օպտիկական նմանություն ճշգրտումը
..... 18
- Ն կ . 1.10. Տարբեր տեխնոլոգիաների դեպքում
տրանզիստորի հոսքուղու տիրույթում
լեզիրացնող խառնուրդի ատոմների քանակը
..... 20
- Ն կ . 1.11. Մետաղների քիմիական
հարթեցումը 21
- Ն կ . 1.12. Մետաղների անհամաձայնեցմամբ
պայմանավորված շեղումները 22
- Ն կ . 1.13. Միջմիացումների
շեղումները 23
- Ն կ . 1.14. Ազդանշանի տարածման ճանապարհի հապաղման
վրա գլոբալ շեղումների
ազդեցությունը 24
- Ն կ . 1.15. Ազդանշանի տարածման ճանապարհի հապաղման
վրա տեխնոլոգիական գործընթացների
տեղային շեղումների ազդեցությունը
..... 25
- Ն կ . 1.16. Աշխատանքային պայմանների
փոփոխությունների պայմանավորված

անորոշ ությունները

..... 26

- Նկ . Սնման Լարման
- 1.17. շեղումները 27
- Նկ . Սնման Լարումից ՏՓ-ի հապաղման
- 1.18. կախվածությունը 28
- Նկ . Ջերմաստիճանից ՏՓ-ի ժամանակային
- 1.19. պարամետրերի կախվածությունը 28
- Նկ . n-ՄՕԿ տրանզիստորի դեպքում տաք
- 1.20. Լիցքակիրների ժեկցիան 29
- Նկ . Արտաբերի հեղեղման տաք Լիցքակիրներով
- 1.21. պայմանավորված մեխանիզմը 30
- Նկ . Յոսքունը տաք Լիցքակիրներով
- 1.22. պայմանավորված մեխանիզմը 30
- Նկ . Արտաբերի հոսանքի
- 1.23. փոփոխությունը 31
- Նկ . n-ՄՕԿ տրանզիստորի դեպքում շեմային
- 1.24. ջերմաստիճանի անկայունությունները 31
- Նկ . Շեմային Լարման փոփոխությունը
- 1.25. 32
- Նկ . Թվային ԻՍ-երի նախագծման ավանդական
- 1.26. գործընթացը 35
- Նկ . Նախագծի անորոշ ությունները . ա)
- 1.27. տրանզիստորների դիրքը բջջում, բ) և գ) բջիջների դիրքը ավելի բարձր մակարդակի բջջում, դ) բջիջները նախադիր դիրքը ԻՍ-ում, ե)

	ԻՍ-ի դիրքը վեյ ֆերու մ	36
Նկ .	Թվային ԻՍ-ի աշխատանքի վատագույն	
1.28.	դեպքերի դիտարկումը	38
Նկ .	Թվային ԻՍ-ի վիճակագրական ժամանակային	
1.29.	վերլուծությունը	39
Նկ .	Ծերացումը հաշվի առնող իսկություն	
1.30.	աղյուսակի վրա հիմնված ՏՓ-ի մոդելը	43
Նկ .	ΔV_{2tu} -ի փոփոխությունը	
1.31.	45	
Նկ .2.1.	Երկմուտքանի տրամաբանական փականը	51
Նկ .2.2.	ԲԿՖ-ն երով ազդանշաններ ի ստացման պահերի մոդելավորումը	51
Նկ .2.3.	Սովորական դետերմինիստական ՍԺՎ-ի դեպքում ԲԿՖ-ն երով ազդանշաններ ի ստացման պահերի մոդելավորումը	52
Նկ .2.4.	Հատված առ հատված գծային ֆունկցիայով ԲԿՖ-ի մոտարկումը	52
Նկ .2.5.	ԲԿՖ-ն երի տարանջատումը	55
Նկ .2.6.	ՀԲՖ-ն երի տարանջատումը	56
Նկ .2.7.	Աստիճանի և ճառագայթի փաթաթը	56
Նկ .2.8.	Երկու ճառագայթներ ի բազմապատկումը	57
Նկ .2.9.	Վերագուգամիտվող ճյուղավորման օրինակը	58

Ն կ .	Վ ե ր ա զ ու զ ա մ հ տ վ ո ղ	ճ յ ու ղ ա վ ո Ր մ ա ն
2.10.	ը ն դ հ ա ն ու Ր դ ե պ թ ը	60
Ն կ .	Կ ա խ վ ա ծ ու թ յ ու ն ն եր ի	ց ու ց ա կ ի տ ա ր ա ծ մ ա ն
2.11.	ա լ գ ո Ր ի թ մ ը	62
Ն կ .	Վ ե ր ա զ ու զ ա մ հ տ վ ո ղ	ճ յ ու ղ ա վ ո Ր մ ա ն
2.12.	առ կ ա յ ու թ յ ա ն դ ե պ թ ու մ ե լ ք ա յ ի ն ա գ դ ա ն շ ա ն ի ս տ ա ց մ ա ն պ ա հ ի հ ա շ վ ա ր կ ի ա լ գ ո Ր ի թ մ ը	63
Ն կ .	Ս տ ո խ ա ս տ ի կ	հ ա շ վ ա ր կ ի ծ ր ա գ Ր ե Ր ի
2.13.	դ ա ս ա կ ա ր գ ու մ ը	68
Ն կ .	Ս տ ո խ ա ս տ ի կ	թ ե ս տ ա վ ո Ր մ ա ն դ ե պ թ ու մ
2.14.	թ ե ս տ ա վ ո Ր մ ա ն կ ե տ ե Ր ի ը ն տ Ր ու թ յ ա ն ա լ գ ո Ր ի թ մ ը	71
Ն կ .	Լ ո գ ա Ր ի թ մ ա կ ա ն	ն ե ղ շ ե Ր տ ո վ ու ժ ե ղ ա Ր ա Ր ի
2.15.	ս խ ե մ ա ն	73
Ն կ .	Ե Ր կ Բ Լ Ե Ռ	կ Ր կ ն ա կ ի Բ ա լ ա ն ս ա վ ո Ր մ ա մ Բ
2.16.	խ առ ն ի չ ի ս խ ե մ ա ն	74
Ն կ .	Առ ա ջ ա Ր կ վ ա ծ	ե ղ ա ն ա կ ի ճ շ տ ու թ յ ա ն և
2.17.	ա Ր դ յ ու ն ա վ ե տ ու թ յ ա ն գ ն ա հ ա տ ու մ ը	74
Ն կ .	Ե Ր կ Բ Լ Ե Ռ	կ Ր կ ն ա կ ի Բ ա լ ա ն ս ա վ ո Ր մ ա մ Բ
2.18.	խ առ ն ի չ ի	$V_{ե լ ք} = V_{ե լ ք 1} - V_{ե լ ք 2}$ -ի ա ն ո Ր ո շ ու թ յ ու ն ն եր ը
		75
Ն կ . 3.1.	Uncertainty Designer	ծ Ր ա գ Ր ա յ ի ն գ ո Ր ծ ի ք ա յ ի ն մ ի ջ ո ց ի ա շ խ ա տ ա ն ք ը ն ե Ր կ ա յ ա ց ն ո ղ Բ լ ո կ -դ ի ա գ Ր ա մ ը
		78
Ն կ . 3.2.	Uncertainty Designer	ծ Ր ա գ Ր ա յ ի ն մ ի ջ ո ց ի ա շ խ ա տ ա ն ք ա յ ի ն պ ա յ մ ա ն ն եր ի մ ու տ ք ա գ Ր մ ա ն

	պատոճակները	81
Նկ .3.3.	Ծրագրային միջոցի ընտրություններ բացակայություններ դեպքում Uncertainty Designer ծրագրային միջոցի զգուշացման պատոճակները	82
Նկ .3.4.	Uncertainty Designer ծրագրային գործիքի միջոցով տրամաբանական մակարդակի նախագծի ՎԺՎ պատոճակները	83
Նկ .3.5.	Uncertainty Designer ծրագրային գործիքի միջոցով սխեմատիկական մակարդակով նախագծի ՎԺՎ պատոճակները	84
Նկ .3.6.	Uncertainty Designer ծրագրային գործիքի միջոցով սխեմատիկական մակարդակի նախագծի ՎԺՎ պատոճակները	85
Նկ .3.7.	Uncertainty Designer ծրագրային գործիքի միջոցով ՎԺՎ գործարկման պատոճակները	86
Նկ .3.8.	Uncertainty Designer ծրագրային գործիքի միջոցով գործընթացի ավարտից հետո ՎԺՎ գործարկման պատոճակները	87
Նկ .3.9.	Uncertainty Designer ծրագրային միջոցով ՎԺՎ գործընթացի արդյունքների գնահատման պատոճակները	88
Նկ .3.10.	Փորձարկված C27 սխեմայի օրինակը	89
Նկ .3.11.	Փորձարկված C27 սխեմայի օրինակի Verilog նկարագրությունը	90
Նկ .3.12.	Վիճակագրական հապաղումների գումարման օրինակը	95

Նկ .	Արդյունքների ճշտության համեմատումը	
3.13.		96
Նկ .	Մեքենայական ժամանակի ծախսերի	
3.14.	համեմատումը	96
Նկ .	C832 սխեմայի ԲԿՖ-ի ճշտության	
3.15.	համեմատությունը	97
Նկ .	Արբիտրի \$ ունկցիոնալ սխեման	
3.16.		103
Նկ .	Արբիտրի ազդանշանների դիագրամները	
3.17.		104
Նկ .	Արբիտրի սինթեզված սխեման	
3.18.		105
Նկ .	Արբիտրի req0 մոլտքից gnt0 ելք վիճակագրական	
3.19.	հապադումը	105

Աղյուսակների ցանկ

Աղյուսակ	Տեխնոլոգիաների մասշտաբավորմանը	
1.1.	զուգընթաց անորոշ ճշտության ներքին աճը	 33
Աղյուսակ	Որոշ տիպական պատահական պարամետրերի	
2.1.	ԸԲՖ բազմանդամային հենքը	 65
Աղյուսակ	Փորձարկված սխեմաների տվյալները	
3.1.		91
Աղյուսակ	Արդյունքների ճշտության	
3.2.	համեմատումը	98
Աղյուսակ	Մեքենայական ժամանակի ծախսերի	
3.3.	համեմատումը	101
Աղյուսակ	Մոտարկման հատվածներին քանակներին	

Հապավումները

ԻՍ - ինտեգրալ սխեմա

ԿՍ - կիսահաղորդչային սարք

ԹՍ - թվային սխեմա

ՍԺՎ - ստատիկ ժամանակային վերլուծություն

ՏՓ - տրամաբանական փական

ՎԺՎ - վիճակագրական ժամանակային

վերլուծություն

ԲԿՖ - բաշխման կոտակման ֆունկցիա

ՀԲՖ - հավանականություն բաշխման ֆունկցիա

ՏԼՀ - տաքլիցքակիրներ ինժեկցիա

ԾՋԱ - շեղման ջերմաստիճանի անկայունություն

ԾՓՎ - ծերացման հետևանքով առաջացող

փոփոխություններ վերլուծություն

ԱՀ - ազդանշանի հավանականություն

ՏԿՍ - տեղային կրճատման սխալ

ԳԼՋ - գործընթաց-լարում-ջերմաստիճան

ԸԲՔ - ընդհանրացված բազմանդամային քառս