

Մ.Կ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

ԹՎԱՅԻՆ ՍՏԱՆԴԱՐՏ ԲԶԻՋՆԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՕԳՏԻՄԱԼԱՅՈՒՄԸ
ԳԵՆԵՏԻԿ ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՍԲ

Առաջարկվում է եռաչափ փականով տրանզիստորներով (ԵՓՏ) նախագծված թվային սխեմաների գենետիկ ալգորիթմների օգտագործմամբ պարամետրական օպտիմալացման մեթոդ, որը կիրառելի է ինչպես համակցական, այնպես էլ հաջորդական սխեմաների դեպքում: Այն թույլ է տվել մոտ 10 անգամ արագացնել պարամետրական օպտիմալացումը: Նախագծվել է թվային ստանդարտ բջիջների գրադարան՝ կազմված 25 տեսակի տարրերից, որոնց պարամետրերի շեղումները մոտ 10%-ով ավելի քիչ են՝ առանց մեթոդի կիրառմամբ ստացված տվյալներից: Մեթոդը կարելի է կիրառել ԵՓՏ համակարգերում նախագծված թվային սխեմաների ժամանակային պարամետրերի օպտիմալացման գործընթացում:

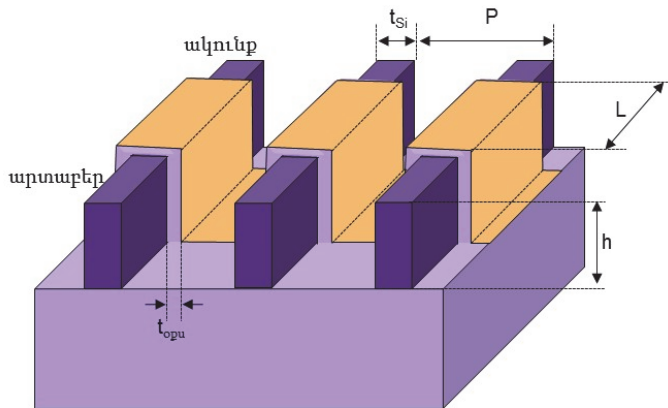
Առանցքային բառեր. գենետիկ ալգորիթմ, պարամետրական օպտիմալացում, նպատակային ֆունկցիա, էվոլյուցիոն ալգորիթմ, թվային սխեմաներ, եռաչափ փականների տեխնոլոգիա:

Ներածություն: Ներկայումս թվային ինտեգրալ սխեմաները (ԻՍ) պարունակում են ընդհուպ մինչև միլիարդավոր տրանզիստորներ և նախագծվում են ավտոմատ եղանակով: Այդ դեպքում օգտագործվում են թվային ստանդարտ բջիջների պատրաստի գրադարաններ [1], որոնց պարունակության մեջ մտնում են թվային տարրերի ժամանակային մոդելները [2]: Մինչ այդ մոդելները ստեղծելը՝ անհրաժեշտ է կատարել առանձին բջիջների սխեմատիկական նախագծում և օպտիմալացում: Օպտիմալացման համար ծախսվում է բավականին մեծ ժամանակ, որը ենթադրում է, որ այդ փուլի ավտոմատացումը կնվազեցնի ընդհանուր նախագծման տևողությունը: Շատ հաճախ նման տեսակի ավտոմատացման խնդիրները ներկայացվում և լուծվում են էվոլյուցիոն ալգորիթմներով (ԷԱ):

Հայտնի է [3], որ գենետիկ ալգորիթմները (ԳԱ) օգտագործվում են որոնողական և օպտիմալացման խնդիրների լուծման ընթացքում: Սխեմաների պարամետրական օպտիմալացման ընթացքում այդ խնդիրը բերվում է պարամետրերի այնպիսի արժեքների որոնմանը, որոնց դեպքում տվյալ սխեման կաշխատի տեխնիկական առաջադրանքում սահմանված չափանիշներին համապատասխան:

Քանի որ եռաչափ փականներով տրանզիստորների (ԵՓՏ) միջոցով նախագծված թվային սխեմաներում օպտիմալացման դեպքում հիմնականում վերցվում են եռաչափ փականների (ԵՓ) քանակները՝ որպես մուտքային պարամետր (նկ. 1),

որն այդ տեխնոլոգիայում ընդունում է դիսկրետ արժեքներ, ուստի դա հնարավորություն է տալիս ՀԱ-երի կիրառմամբ կատարել մեծ քանակի փականներ պարունակող համակցական և հաջորդական սխեմաների պարամետրական օպտիմալացում:



Նկ.1. *ԵՓՏ-ի տեսքը*

Օպտիմալացման որոշ խնդիրներ հանգում են նվազագույն տրամաբանական փականների քանակի որոնմանը [4], որի դեպքում հնարավոր է իրականացնել տրված ֆունկցիոնալությունը: Այդ տեսակի խնդիրը կարելի է լուծել Քվայն-Մակլասկու [5] եղանակով, սակայն հարյուր հազարավոր փականների դեպքում նպատակահարմար է օգտագործել ՀԱ-ները: Վերջիններիս կիրառմամբ կարելի ստացված սխեմայում կատարել տարրերի փոխարինում և իսկության աղյուսակների համեմատման միջոցով գտնել նվազագույն քանակի փականները [6,7]:

[8]-ում ներկայացված մեթոդի օգտագործմամբ, երբ որպես նպատակային ֆունկցիա վերցված է տարածման հապաղման և մակերեսի արտադրյալը, հնարավոր է կատարել համակցական սխեմաների պարամետրական օպտիմալացում: Մակայն այս դեպքում հաշվի առնված չեն աճող և նվազող ճակատների տևողությունները:

Մակերեսի և սպառվող հզորության փոքրացման համար կարելի է փոքրացնել տրանզիստորների քանակները [9]: [10,11]-ում համակցական սխեման ներկայացվում է որպես քրոմոսոմի հաջորդական կարգեր, որի վրա էլ կիրառվում է ԳԱ-ը: Այս մեթոդով երկուական համակարգի փոխարեն օգտագործվում է տասականը, որը հնարավորություն է տալիս կրճատել օպտիմալացման տևողությունը: [12]-ում ներկայացված է [10,11]-ի բարելավման միջոցով տրանզիստորների քանակի և սխեմայի մակերեսի նվազեցման մեթոդը:

Առաջարկվում է նպատակային ֆունկցիան ներկայացնել ֆունկցիայի ընթացիկ և տեխնիկական առաջադրանքով տրված արժեքների տարբերության տեսքով: Այդ նպատակով ֆունկցիայի ընթացիկ արժեքը ներկայացված է հետևյալ տեսքով՝

$$Y=F_{ti}(nfin_0, nfin_1, \dots, nfin_k), \quad (1)$$

որտեղ $ti=(tr, tf, t_{plh}, t_{phl}, t_{setup}, t_{hold})$, tr -ը և tf -ը ելքային ճակատի աճման և նվազման ժամանակներն են, t_{plh} -ը և t_{phl} -ն՝ ցածրից բարձր և բարձրից ցածր տարածման հապաղումները, t_{setup} -ը և t_{hold} -ը՝ տեղակայման և պահպանման ժամանակները, $nfin_k$ -ն՝ k -րդ տրանզիստորի ԵՓ-ների քանակը:

$nfin_0, nfin_1, \dots, nfin_k$ -ն նշանակելով $nfin_{l,k}$ -ով (1)՝ արտահայտությունը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$Y=F_{ti}(nfin_{l,k}): \quad (2)$$

Նպատակային ֆունկցիա: Ունենալով ֆունկցիայի (2) տեսքը, ինչպես նաև տեխնիկական առաջադրանքով տրված արժեքը՝

$$Y=F(ti), \quad (3)$$

որը ցույց է տալիս ժամանակային պարամետրի ցանկալի արժեքները, կարելի է (3)-ի և (2)-ի տարբերությամբ սահմանել նպատակային ֆունկցիան հետևյալ տեսքով՝

$$a_{min} \leq F(ti) - F_{ti}(nfin_{l,k}) \leq a_{max}, \quad (4)$$

որտեղ a_{min} -ը և a_{max} -ը թույլատրելի նվազագույն և առավելագույն շեղումներն են:

Նպատակային ֆունկցիան ներկայացնում է (4) արտահայտությունը: Պահանջվում է գտնել այն $nfin_{l,k}$ -ն, որի դեպքում $F_{ti}(nfin_{l,k})$ -ի շեղումը $F(ti)$ -ից կլինի թույլատրելիի սահմանում:

Սահմանափակումներն են՝

$$nfin_{min} \leq nfin_k \leq nfin_{max}, \quad (5)$$

$$nfin_{k+1} - nfin_k = nfin_s, \quad (6)$$

որտեղ $nfin_{min}$ -ը և $nfin_{max}$ -ը ԵՓ-ների նվազագույն և առավելագույն քանակներն են, իսկ $nfin_s$ -ը՝ թույլատրելի նվազագույն քայլը:

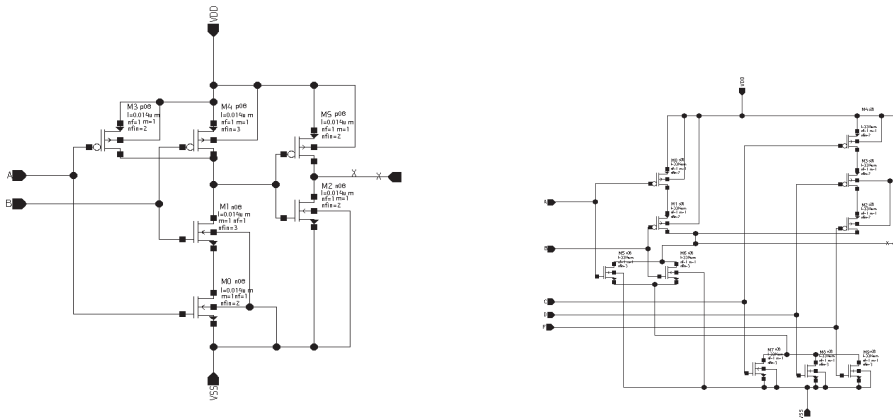
Ալգորիթմի նկարագրությունը: Պոպուլյացիան ներկայացնում է բոլոր տրանզիստորների ԵՓ-ների քանակների հնարավոր արժեքների կարգավորությունները՝ բազմությունը, որը կարելի է տալ $nfin_{l,k}$ տեսքով: Քրոմոսոմը այդ կարգավորություններից որևէ մեկն է, զենը՝ տվյալ տրանզիստորի ԵՓ-ների քանակը:

ԳԱ-ն իրականացվում է հետևյալ քայլերի հաջորդականությամբ.

1. Որոշվում է պոպուլյացիան:
2. Պատահական ընտրության եղանակով (ՊԸԵ) վերցվում են երկու քրոմոսոմներ:
3. Կատարվում է քրոմոսոմների խաչասերում: Առաջին քրոմոսոմի համար ՊԸԵ-ով վերցվում է դրա գենի ինդեքսը, որից աջ գտնվող գեները փոխարինվում են երկրորդ քրոմոսոմում եղածներով:
4. ՊԸԵ-ով վերցվում է որևէ գենի ինդեքս, և տվյալ գենը ենթարկվում է մուտացիայի. տրանզիստորի ԵՓ-ների քանակը փոխարինվում է մեկ այլ թույլատրելի արժեքով:
5. Հաշվարկվում է (2) ֆունկցիան:
6. Ստուգվում է (5) արտահայտությունը: Եթե վերջինս տեղի է ունենում, դադարեցվում է աշխատանքը, եթե ոչ, ապա վերցվում է մեկ այլ քրոմոսոմ, կատարվում է խաչասերում 4-րդ քայլում ստացված քրոմոսոմի հետ:
7. 6-րդ, 4-րդ և 5-րդ քայլերը կրկնվում են այնքան ժամանակ, մինչև (5)-ը տեղի ունենա, կամ պոպուլյացիայում առկա բոլոր քրոմոսոմները սպառվեն:
8. Եթե քրոմոսոմները սպառվում են, նշանակում է, տվյալ խնդիրը նշված սահմանափակումների պայմաններում անհնար է լուծել:

Ալգորիթմը իրականացվել է Python [13] ծրագրավորման լեզվի միջոցով:

Ստացված արդյունքներ: Նկ. 2-ում պատկերված են «ԵՎ» և «ԵՎ-կամ-ոչ» բջիջների սխեմաները, որոնց վրա կիրառվել է առաջարկված ալգորիթմը:



Նկ. 2. «ԵՎ», «ԵՎ-կամ-ոչ» բջիջների սխեմաները

Աղ. 1-ում բերված են «Բացառող կամ բջիջ» աճող և նվազող ճակատների տևողությունները տարբեր քրոմոսոմների դեպքում, որտեղից երևում է, որ ԷԱ-ի կիրառումը ԵՓՏ-ներով նախագծված սխեմաներում ունի մոտ 10 անգամ ավելի

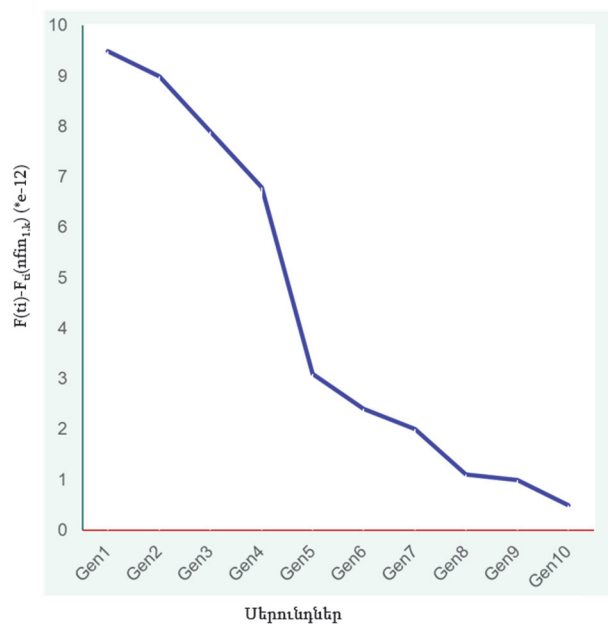
բարձր արդյունավետություն՝ ԿՄՕԿ-ովի համեմատ [14] և մոտ 10 %-ով քիչ տարբերություն ԵՓՏ համակարգերում՝ առանց այդ մեթոդի նախագծման համեմատ:

Աղյուսակ 1

Աճման և նվազման ճակատների տևողությունները

Սերունդ	tr	tf	Առանց մեթոդի tr	Առանց մեթոդի tf
1	3.238e-11	1.931e-11	-	-
2	2.158e-11	1.682e-11	-	-
...	...	...	-	-
10	2.171e-11	1.995e-11	2.215e-11	2.017e-11

Նկ. 3-ում կորի տեսքով պատկերված է (4) արտահայտությունում ներկայացված ֆունկցիայի արժեքը յուրաքանչյուր իտերացիայի ժամանակ: Հորիզոնական և ուղղաձիգ առանցքները ցույց են տալիս սերունդների քանակները և $F(t_i) - F_i(nfin1, k)$ արտահայտության արժեքները:



Նկ. 3. Պոպուլյացիայի էվոլյուցիան

Ալգորիթմի միջոցով կատարվել է 25 տեսակի տրամաբանական բջիջների պարամետրական օպտիմալացումը (աղ. 2):

Օպտիմալացված թվային բջիջները

Բջջի անվանումը	Նկարագրությունը
INV_*	Շրջիչ
AN2_*	Երկմուտքանի «և»
AN3_*	Եռամուտք «և»
ND2_*	Երկմուտքանի «և-ոչ»
MUX2_*	2-1 մուլտիպլեքսոր
...	...
ADDF_*	Ամբողջական գումարիչ
FDP_*	Տրիգեր
FDP4_*	Բազմաբիթանի տրիգեր
DFF_*	Ճակատով տակտավորվող տրիգեր

Եզրակացություն: ԷԱ-ների դասին պատկանող ԳԱ-ի միջոցով մշակվել է մեթոդ, որը թույլ է տալիս կատարել թվային ստանդարտ բջիջների պարամետրական օպտիմալացում: Այն, ի տարբերություն գոյություն ունեցողների, հնարավորություն է ընձեռել՝ դիտարկելու ինչպես համակցական, այնպես էլ հաջորդական սխեմաներ: Ալգորիթմը իրականացվել է Python ծրագրավորման լեզվի միջոցով, որում եղած գրադարանները հնարավորություն են տվել՝ դիտարկելու մեծ ծավալի պոպուլյացիաներ:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ ԿԳՆ գիտության պետական կոմիտեի տրամադրած ֆինանսավորմամբ՝ 18T-2B029 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Melikyan V., Martirosyan M., Melikyan A., Piliposyan G.** 14nm Educational Design Kit: Capabilities, Deployment and Future // Small Systems Simulation Symposium. - Niš, Serbia, 12th-14th February, 2018. - P. 37-41.
2. **Bhuvana B.P., Manohar B.R., Kanchana Bhaaskaran V.S.** Standard Cell Characterization for Reversible Logic // International Conference on Micro-Electronics and Telecommunication Engineering (ICMETE). - Ghaziabad, India, 2016. - P. 534-538.
3. **Chong K.H., Koh S.P., Tiong S.K. and Yeap K.H.** Design and Development of Automated Digital Circuit Structure on Evolutionary Algorithm Method // IJECCT. – 2011.
4. **Sharma P., Sasamal T.** Minimization of combinational digital circuit using genetic algorithm // IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICICR). - Madurai, India, 10-12 Dec. 2015.

5. **Brown S. and Vranesic Z.** Fundamentals of Digital Logic with Verilog Design. - McGraw-Hill Education, 2013. - 864 p.
6. **Karakatič S., Podgorelec V., Hericko M.** Optimization of Combinational Logic Circuits with Genetic Programming // Elektronika ir Elektrotehnika.- 2013. - P. 86-89.
7. **Koza J.R., Poli R.** Genetic Programming // Search Methodologies. – 2005.- P. 127–164.
8. **Slowik A., Bialko M.** Evolutionary design of combinational digital circuits: State of the art, main problems, and future trends // 1st International Conference on Information Technology.- Gdansk, Poland, 2008.
9. **Pradondet N., Nuchitphong O.** Logic Function Minimization Base on Transistor Count using Genetic Algorithm // Proc. Of the third ICEP. - Songka, Thailand, 2003.
10. **Slowik A., Bialko M.** Design and Multi-Objective Optimization of Combinational Digital Circuits Using Evolutionary Algorithm with Multi-Layer Chromosomes // Proc. of ICAISC, LNAI.- 2008. – P. 479-488.
11. **Ahmed T. Soliman and Hazen M.,** Combinational Circuit Design Using Evolutionary Algorithm // Proc. of Electrical and Computer Engineering. – 2003. – P. 251-254.
12. Evolutionary Multiobjective Design of Combinational Logic Circuits / **A.C. Coello, L. Nacional, I. Avanzada, et al** // Proc. of the Second NASA/DoD Workshop on Evolvable Hardware. – 2000. - P. 161–170.
13. **Beazley D., Brian K.** Python Cookbook. - O'Reilly Media, 2013. - 706 p.
14. **Anjomshoa M., Mahani A., Sadeghifard, Salahedin.** A new automated design and optimization method of CMOS logic circuits based on Modified Imperialistic Competitive Algorithm // Applied Soft Computing. - 2014. – P. 423 - 432.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 08.10.2019:

М.К. МАРТИРОСЯН

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СТАНДАРТНЫХ ЯЧЕЕК С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Предлагается метод параметрической оптимизации цифровых схем, разработанных по технологии трехмерных транзисторов, с использованием генетического алгоритма, применяемого в случае комбинационных и последовательных схем. Алгоритм позволяет улучшить параметрическую оптимизацию примерно в 10 раз. Цифровая стандартная библиотека ячеек, которая состоит из 25 типов ячеек, была разработана с отклонением параметров примерно на 10% меньше по сравнению с данными, полученными без использования метода. Метод может быть использован при оптимизации временных параметров в системе трехмерных транзисторов.

Ключевые слова: генетический алгоритм, параметрическая оптимизация, целевая функция, эволюционный алгоритм, цифровые схемы, технология транзисторов с трехмерным затвором.

M.K. MARTIROSYAN

**PARAMETRIC OPTIMIZATION OF DIGITAL STANDARD CELLS BY
APPLYING A GENETIC ALGORITHM**

A method of parametric optimization of digital circuits designed by the FinFET technology by using a genetic algorithm applied in case of combinational and sequential circuits is proposed. The algorithm allows to improve the parametric optimization by approximately 10 times. The digital standard cell library, consisting of 25 types of cells has been designed with deviation of parameters by approximately 10% less as compared with the data received without using the method. The method can be used at optimizing the timing parameters in the FinFET system.

Keywords: genetic algorithm, parametric optimization, objective function, evolutionary algorithm, digital circuits, FinFET technology.