

Ն.Վ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Ն.Ա. ԱՎԱԳՅԱՆ, Ա.Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

**ԿԱՊԱԶԵՐՄՈՂ ՈՒՆԱԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՏԵՂԱԲԱՇԽՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ
ՄՇԱԿՈՒՄԸ ՄՆՄԱՆ ԴՈՂԵՐՈՒՄ ԴԻՆԱՄԻԿ ԼԱՐՄԱՆ ԱՆԿՄԱՆ
ՆՎԱԶԵՑՄԱՆ ԵՎ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՄԽԵՄԱՆԵՐԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ
ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ**

Ներկայացված է կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխման մեթոդ, որը դասական մոտեցման համեմատ ինտեգրալ սխեմայում ~14%-ով ավելացնում է դրանց քանակը, ինչի արդյունքում սխեմայում դինամիկ լարման անկումը նվազում է ~25%-ով: Մեթոդը նախնական փուլում նվազեցնում է ինտեգրալ սխեմայի ստատիկ էներգասպառումը, ինչի հաշվին էլ հենց հնարավոր է լինում հավելյալ կապագերծող ունակությունների ավելացումը: Կատարվել են որոշակի ինտեգրալ սխեմաների մոդելավորումներ ծերացված տրամաբանական բջիջների մոդելներով: Ստացված ստատիկ ժամանակային վերլուծության արդյունքները, ինչպես նաև էներգասպառման տվյալները ցույց են տալիս, որ առաջարկված մեթոդի կիրառումը չի ազդում ինտեգրալ սխեմայի երկարակեցության վրա: Առաջարկված մեթոդը առանց որևէ խափանման կարելի է ինտեգրել խառը ազդանշանային ինտեգրալ սխեմաների ավտոմատացված նախագծման գործընթացում:

Առանցքային բառեր. ինտեգրալ սխեմա, էներգասպառում, դինամիկ լարման անկում, կապագերծող ունակություններ, հուսալիություն:

Ներածություն: Ինտեգրալ սխեմաների (ԻՄ) տեխնոլոգիական չափերի շարունակական մասշտաբավորումը, ինչպես նաև էլեկտրոնային համակարգերում դյուրակիր մարտկոցների պահանջարկի ավելացումը վերջին մի քանի տարիների ընթացքում առաջնային են դարձրել ԻՄ-երում էլեկտրաէներգիայի կառավարման խնդրի ուսումնասիրությունը: Ուստի ներկայումս ձգտում են ԻՄ-երի նախագծման այնպիսի համակարգային լուծումների, որոնք կապահովեն վերջինիս փոքր էներգասպառումը: Էլեկտրաէներգիայի կառավարումը նպատակ ունի բարելավելու սարքի հուսալիությունը:

ԻՄ-երի հուսալիությանն առնչվող խնդիրներից են՝ ինքնատաքացումը, ծերացումը, էլեկտրամիգրացիան, սնման դողերում լարման անկումները և այլն [1,2]: Թվարկված բոլոր խնդիրները անմիջական կախվածության մեջ են ԻՄ-ի էներգասպառման հետ:

ԻՄ-երի նախագծման արդի գործընթացում սնման դոդերում լարման անկման խնդրի լուծման համար օգտագործվում են մեծ քանակով կապագերծող ունակություններ, ինչը զգալի կերպով մեծացնում է ԻՄ-ի էներգասպառումը՝ բացասաբար անդրադառնալով հուսալիության մյուս խնդիրների բարելավման վրա: Ուստի կարևոր է դառնում սնման դոդերում լարման անկման խնդրի լուծման այնպիսի մեթոդի մշակումը, որը հնարավորինս քիչ կանդրադառնա ԻՄ-ի էներգասպառման վրա:

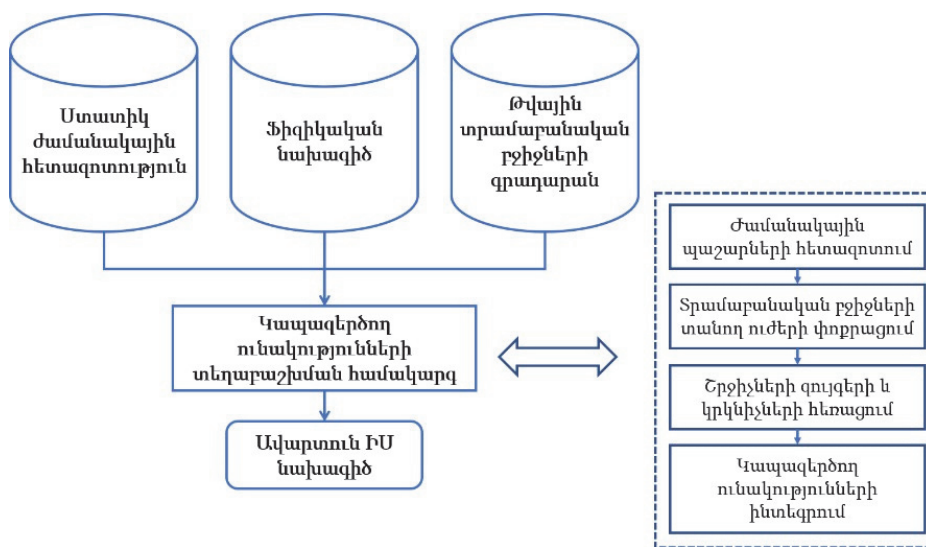
Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Սնման դոդերում լարման անկման ազդեցությունը շատ արագ աճում է ԻՄ-երի տեխնոլոգիական չափերի մասշտաբավորմանը զուգընթաց:

Սնման դոդերում լարման անկման խախտումների շտկման հնարավոր լուծումներից է ԻՄ-ում հավելյալ սնման դոդերի ավելացումը: Մեթոդը ԻՄ-ում ապահովում է սնման ցանցի ավելի մեծ ծածկողականություն, ինչը նվազեցնում է սնման հոսանքը տեղային հատվածի վրա և, որպես հետևանք, նվազեցնում նաև լարման անկումը տվյալ հատվածում: Այս մեթոդի թերությունն այն է, որ ավելացված սնման դոդերը ԻՄ-ում զբաղեցնում են միջմիացումների հավելյալ ռեսուրս, ինչը սահմանափակում է նշված մեթոդի կիրառումը խիտ միջմիացումների դեպքում: Նշված թերությունից խուսափելու համար կան մշակված որոշակի մեթոդներ, որոնցից են, օրինակ, ԻՄ-ի նախագծման սկզբնական փուլում ավելի նոսր սնման ցանցի օգտագործումը, և նախագծի վերջնական փուլում՝ բացահայտված խախտումների շրջակայքում, տեղային սնման դոդերի միջմիացման իրականացումը՝ միջմիացման հանգույցների (via) միջոցով [3] կամ խախտումների շրջակայքից տակտային ազդանշանի ծառի բաղադրիչ մաս հանդիսացող, մեծ հզորության ծախս պահաջող բջիջների տեղաբաշխման իրականացումը [4]: Սակայն նշված մեթոդների թերությունն այն է, որ դրանցով իրականացվում է խնդրի տեղային լուծում, ինչպես նաև նշված լուծումները չունեն այնպիսի բաղադրիչ, որը կազդի ընդհանուր սխեմայի էներգասպառման բարելավման վրա:

Մեկ այլ մեթոդի հիմքում ընկած է անցանկալի փոխանջատումների նվազեցման մեթոդաբանությունը [5,6]: Դինամիկ հզորության ծախսի և դինամիկ լարման անկման հիմնական պատճառը հենց տրամաբանական բջիջների մուտքային ազդանշանների ոչ ցանկալի փոխանջատումներն են: Դրանց նվազեցման համար կիրառվող հիմնական մեթոդներից է տրամաբանական բջիջների տարբեր մուտք-էլք հանգույցների միջև թույլատրելի ժամանակային շեղման առաջացումը: Նշված շեղումը հնարավոր է լինում ապահովել տրամաբանական բջիջների մոդելավորման գործընթացում հավելյալ տրանզիստորների կամ բեռների, ինչպես նաև պատրաստի մոդելավորված տրամաբանական բջիջների մուտքերին փոխանցման փականների կիրառմամբ: Նշված մեթոդների թերությունն այն է, որ երկարում է տրամաբանական բջիջների նախագծման գործընթացը:

Կապագերծող ունակությունների կիրառումը նույնպես լայն տարածում ունեցող մեթոդ է [7]: Դա հիմնականում կիրառվում է ԻՄ-ի այն հատվածներում, որտեղ տեղակայված են մեծ հզորության ծախսով տրամաբանական բջիջներ: Այս մեթոդի թերությունն այն, որ մեծ քանակությամբ կապագերծող ունակությունների կիրառումը ԻՄ-ում առաջացնում է մեծ էներգասպառում:

Առաջարկվում է սնման դոդերում դիսամիկ լարման անկման նվազեցման համար կիրառվող մեթոդ, որի հիմքում ընկած է կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխումը: Մեթոդը ներկայացված է նկ. 1-ում բերված բլոկ-սխեմայի տեսքով:



Նկ.1. Ալգորիթմի բլոկ-սխեման

Կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխման մեթոդի համար մուտքային տվյալներ են հանդիսանում ԻՄ-ի ստատիկ ժամանակային հետազոտության արդյունքները, ԻՄ-ի ֆիզիկական նախագիծը և թվային տրամաբանական բջիջների գրադարանը: Առաջարկվող մեթոդում ստատիկ ժամանակային հետազոտության արդյունքների հիման վրա կատարվում է ժամանակային պաշարների հետազոտում, որի հիման վրա իրականացվում է տրամաբանական բջիջների տանող ուժերի փոքրացում, տվյալների ուղիներում հավելյալ պաշար ստեղծող շրջիչների գույգերի և կրկնիչների հեռացում և վերջնական փուլում՝ լրացուցիչ կապագերծող ունակությունների ինտեգրում:

Նկ. 1-ից երևում է, որ կիրառված մեթոդը թույլ է տալիս ԻՄ-ում ավելացնել կապագերծող ունակությունների քանակը՝ չափելով վերջինիս էներգասպառման վրա: Հետազոտության ընթացքում կատարվել է նաև ԻՄ-ի էներգասպառման դիտարկում՝ տրամաբանական բջիջների ծերացված մոդելների կիրառմամբ:

Հետազոտության արդյունքները: Վերը նկարագրված մեթոդների, ինչպես նաև առաջադրված կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխման մեթոդի կիրառման առավելությունները և թերությունները հստակ տարանջատելու համար իրականացվել են մոդելավորումներ տարբեր քանակի տրամաբանական բջիջներ պարունակող ԻՄ-երի վրա:

Չափումների արդյունքները ներկայացված են աղ. 1-ում:

Աղյուսակ 1

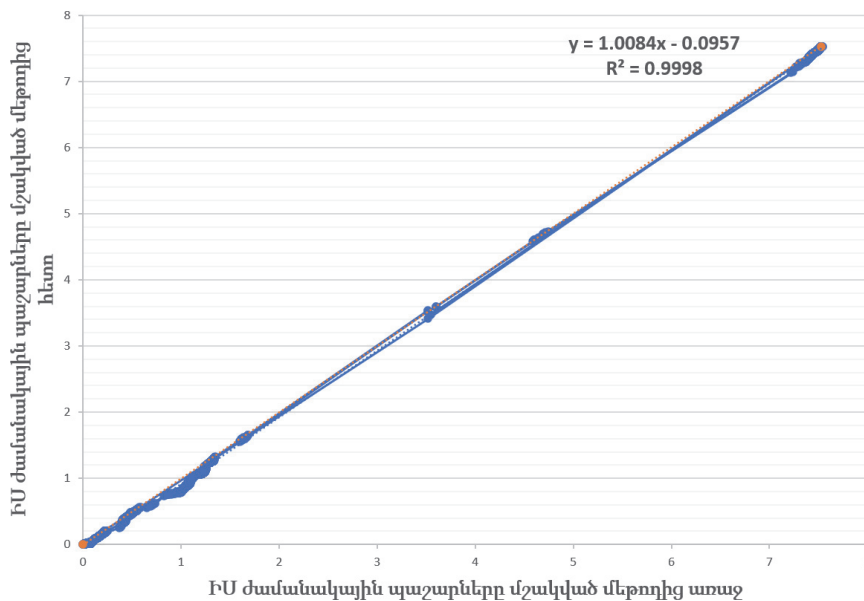
Չափումների արդյունքները

Մեթոդ Պարամետր	Մուտքյան ցանցի նոսրացում [3]	Բարձր հաճախականային տրամաբանական բջիջների վերաբաշխում [4]	Անցանկալի փոխանցատուների նվազեցման մեթոդ [5,6]	Կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխում [7]	Ներկայացված ազդրիթմ
Դինամիկ լարման անկում, Վ	0,009	0,005	0,0067	0,009	0,0041
Կապագերծող ունակությունների քանակ	32324	32324	32324	31791	36345
Ծրագծման երկարություն, մկմ	209,1	183,4	189,6	186,7	197,6

Աղ. 1-ում երևում է, որ նշված մեթոդը նպաստում է ԻՄ-երի ստատիկ էներգասպառման և դինամիկ լարման անկման նվազմանը, ինչպես և ենթադրվում էր: Մակայն մեթոդի ընդհանուր նկարագրից երևում է, որ ստատիկ էներգասպառման և դինամիկ լարման անկման դրական տեղաշարժերը դիտվում են ի հաշիվ ԻՄ-ում եղած ժամանակային պաշարների:

Նկ. 2-ում ցույց է տրված վերը դիտարկված ԻՄ1-ի վրա իրականացված ստատիկ ժամանակային հետազոտության արդյունքների համեմատությունը կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխման մեթոդի աշխատանքից առաջ-հետո: Արդյունքում պարզ է դառնում, որ մշակված մեթոդը թողնում է փոքր ազդեցություն ԻՄ-ի ժամանակային պաշարների վրա:

Նմանարկումները կատարվել են նաև տրամաբանական բջիջների ծերացված մոդելներով, քանի որ հայտնի է, որ ժամանակի ընթացքում տրամաբանական բջիջների թողունակությունը նվազում է, ուստի և նվազում է դրանց ստատիկ էներգասպառումը, ինչպես նաև մեծանում է հապաղումը: Աղ. 2-ում ներկայացված են վերը դիտարկված ԻՄ-ների էներգասպառման տվյալները տրամաբանական բջիջների ծերացված մոդելներով՝ 10 տարվա հաշվարկով:



Նկ. 2. Ստատիկ ժամանակային հետազոտության արդյունքների համեմատություն

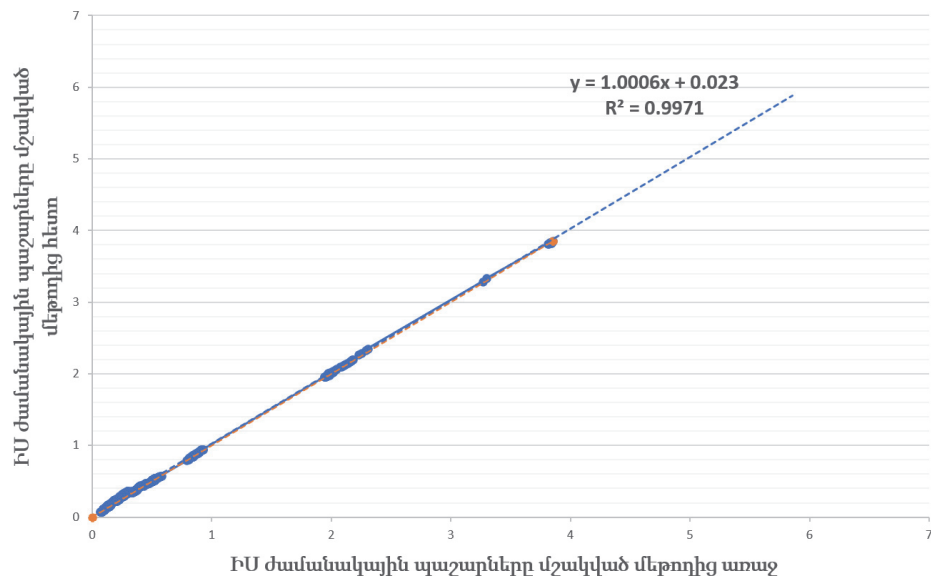
Աղյուսակ 2

ԻՍ-ների էներգասպառման տվյալները տրամաբանական բջիջների ծերացված մոդելներով՝ 10 տարվա հաշվարկով

ԻՍ	Չափման միավոր, մՎտ
1	0,5
2	0,03
3	0,026

Նկ. 3-ում ներկայացված է կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխման մեթոդի կիրառումից հետո ԻՍ1-ի վրա իրականացված տրամաբանական բջիջների ծերացված մոդելներով և դասական մոդելներով ստատիկ ժամանակային վերլուծության տվյալների համեմատությունը:

Պարզ է դառնում, որ կիրառված կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխման մեթոդը չի ազդում ԻՍ-ի կյանքի տևողության վրա:



Նկ. 3. Ստատիկ ժամանակային հետազոտության արդյունքների համեմատություն

Եզրակացություն: Աշխատանքում ներկայացված է կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխման մեթոդ, որը դասական մոտեցման համեմատ ԻՍ-ում կապագերծող ունակությունների քանակը ավելացնում է միջին չափով 14%-ով՝ ԻՍ-ում եղած ժամանակային պաշարների հաշվին: Մշակված մեթոդը նպաստում է նաև ԻՍ-ում ստատիկ էներգասպառման նվազեցմանը՝ միջին չափով 38%-ով: Ներկայացված մեթոդի կիրառման արդյունքում ԻՍ դինամիկ լարման անկումը նվազել է միջին չափով 25%-ով: Աշխատանքում կատարված ծերացման հետազոտությունները փաստում են, որ առաջարկված մեթոդը չի ազդում ԻՍ հուսալիության վրա:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Lorenz D.** Aging Analysis of Digital Integrated Circuits: Dissertation 2012 Chair of Design Automation of Technical University of Munich.- 2012.- 150p.
2. Self-heating on bulk FinFET from 14nm down to 7nm node / **J. Doyoung, et al** //2015 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM).- Washington, DC, USA, Dec. 2015 .- P. 11.6.1- 11.6.4.
3. **Mamikonyan N., Melikyan N., and Musayelyan R.** IR Drop Estimation and Optimization on DRAM Memory using Machine Learning Algorithms // 2020 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS).- Varna, Bulgaria, 2020.- P. 1-4.
4. **Lee D., Hwang H., Oh.H., and Ban Y.J.** Mitigating IR-Drop with Design Technology Co- Optimization for Sub-Nanometer Node Technology // 2021 18th International SoC Design Conference (ISOCC).- Republic of Korea, 2021.- P. 1-2.

5. **Raja T., Agrawal V. D., and Bushnell M.L.** Variable Input Delay CMOS Logic for Low Power Design // IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems. – 2009.- P. 1534 - 1545.
6. **Kumar B.V. P.V., Sharma N.S.M., Kishore K.L., and Rajakumari A.** Variable input delay CMOS logic for dynamic IR drop reduction // 2012 Asia Pacific Conference on Postgraduate Research in Microelectronics and Electronics.- India, 2012.- P. 79-84.
7. **Yeh C. and Merek-Sadowska M.** Timing-Aware Power-Noise Reduction in Placement // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. – 2007.- P. 527-541.

Երևանի պետական համալսարան: «Մինոփսիս Արմենիա» ուսումնական դեպարտամենտ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 09.09.2022:

Н.В. МЕЛИКЯН, Н.А. АВАКЯН, А.А. КАЗАРЯН

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БУФЕРНЫХ ЕМКОСТЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ШИНАХ ПИТАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Представлен метод распределения буферных емкостей, который увеличивает их количество в интегральной схеме (ИС) на ~14% по сравнению с классическим подходом, в результате чего динамическое падение напряжения в схеме уменьшается на ~25%. На начальном этапе метод снижает статическое энергопотребление ИС, за счет чего возможно увеличение дополнительных буферных емкостей. Проведено моделирование некоторых ИС с использованием стареющих моделей логических ячеек. Полученные результаты статического временного анализа, а также данные по энергопотреблению показывают, что применение предложенного метода не влияет на долговечность ИС. Предлагаемый метод может быть легко интегрирован в автоматизированный процесс проектирования ИС со смешанными сигналами.

Ключевые слова: интегральная схема, энергопотребление, динамическое падение напряжения, буферные емкости, надежность.

N.V. MELIKYAN, N.A. AVAGYAN, A.A. GHAZARYAN

**DEVELOPING A METHOD FOR DISTRIBUTION OF DECAP CELLS TO
REDUCE THE DYNAMIC IR DROP IN THE POWER SUPPLY AND THE
INCREASE IN RELIABILITY**

A method is presented for distribution of decap cells, which increases their number in the integrated circuit by ~14% compared to the classical approach, as a result of which the dynamic IR drop in the circuit is reduced by ~25%. At the initial stage, the method reduces the static power consumption of the integrated circuit, due to which it is possible to increase the additional decap cells. Some integrated circuits are simulated using the aging logic cell models. The obtained results of static time analysis, as well as data on energy consumption, show that the application of the proposed method does not affect the durability of the integrated circuit. The proposed method can be easily integrated into the automated design process of integrated circuits with mixed signals.

Keywords: integrated circuit, power, dynamic IR drop, decap cells, reliability.