

Պ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

**ԻՆՔՆԱՏԱՔԱՑՄԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ԵՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ԾԱԽՄԻ
ԿԱԽՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՑԱԾԻ ԷՆԵՐԳԱՍՊԱՌՄԱՍԲ ԱՆԱԼՈԳԱ-
ԹՎԱՅԻՆ ԿԵՐՊԱՓՈԽՉԻ ՕՐԻՆԱԿՈՎ**

Կատարվել է ինտեգրալ սխեմաներում ինքնատաքացման երևույթի և հզորության ծախսի կախվածության հետազոտումը: Որպես օրինակ օգտագործվել է ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչը: Կերպափոխիչի համար ցույց է տրվել ինքնատաքացման էֆեկտների լավացումը:

Առանցքային բառեր. ինքնատաքացում, ինտեգրալ սխեմա, ՄՕԿ, տրանզիստոր, անալոգա-թվային կերպափոխիչ, էներգասպառում:

Ներածություն. Ինտեգրալ սխեմաների հուսալիությունը դառնում է ավելի ու ավելի կարևոր խնդիր՝ շնորհիվ դրանց օգտագործման ընդլայնման և տեխնոլոգիաների արագ զարգացման:

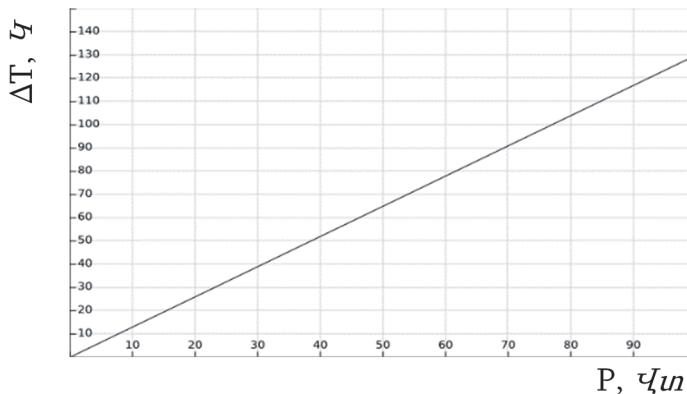
Ինտեգրալ սխեմաների հուսալիության հիմնական խնդիրներից է ինքնատաքացումը, որը տեխնոլոգիական գործընթացի զարգացմանը զուգահեռ դառնում է առավել նշանակալի դրանց նախագծման ժամանակ: Մա տեղի է ունենում տեխնոլոգիական գործընթացի զարգացման հետևանքով ինտեգրալ սխեմայում էլեմենտների փոքրացման և հետևաբար՝ քանակի շատացման արդյունքում, ինչը հանգեցնում է ավելի մեծ էներգիայի ծախսի, որից և անմիջապես կախված է ինքնատաքացումը: Բացի էլեմենտների քանակից, տեխնոլոգիական գործընթացի զարգացումը ապահովում է նաև էլեմենտների արագագործություն, ինչը նույնպես հանգեցնում է ավելի մեծ էներգասպառման: Քանի որ ինքնատաքացումը ուղիղ կախված է էներգասպառումից, հետևաբար՝ ինքնատաքացման երևույթների նվազեցման մեթոդներից է էներգասպառման նվազեցումը:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Ինքնատաքացումը ինտեգրալ սխեմաներում կարելի է բաժանել երկու ենթահատվածների: Առաջինը ինքնատաքացումն է հաղորդիչներում, որը հաշվարկվում է Ջոուլի բանաձևով, իսկ երկրորդը՝ տրանզիստորների ինքնատաքացումը: Անալոգա-թվային կերպափոխիչը ուսումնասիրելու համար բավարար է միայն տրանզիստորների ինքնատաքացման հաշվարկը: ՄՕԿ տրանզիստորներում ջերմաստիճանը ուղիղ կախված է հզորությունից [1, 2]: Եթե հաշվի առնենք այն, որ ջերմաստիճանի փոփոխությունը տեղի չի ունենում ակնթարթորեն, կարելի է ասել, որ ջերմաստիճանի փոփոխությունը գծայնորեն կախված է հզորության միջին քառակուսայինից:

$$\Delta T = R_{th} * P_{rms},$$

որտեղ R_{th} կոչվում է ջերմաստիճանային գործակից կամ ջերմաստիճանային դիմադրություն: Որքան մեծ է ծախսված հզորությունը, այնքան բարձր է կանալի ջերմաստիճանը: R_{th} գործակիցը, որը կախված է սարքի կառուցվածքի պարամետրերից, հավասար է ջերմաստիճան-հզորություն կախվածությունը ցույց տվող ուղղի կորությանը: R_{th} կարելի է հեշտությամբ հաշվարկել՝ ունենալով տրանզիստորի կառուցվածքի պարամետրերը:

Նկ. 1-ում ցույց է տրված ջերմաստիճանի կախումը հզորության միջին քառակուսայինից: Ծախսված հզորության նույն արժեքի դեպքում, ավելի նոր տեխնոլոգիական գործընթացում օգտագործվող տրանզիստորի համար, ավելի մեծ ջերմաստիճանի փոփոխություն է ստացվում [3]: Այս հանազամանքը ավելի է կարևորում ինքնատաքացման երևույթի ճշգրիտ գնահատումը, քանի որ ավելի նոր տեխնոլոգիական գործընթացների դեպքում ինքնատաքացումով պայմանավորված փոփոխություններն ավելի մեծ են:



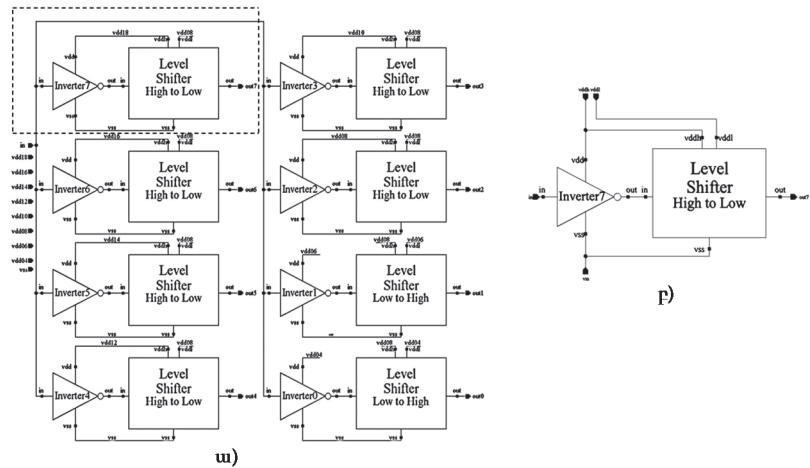
Նկ.1. Ջերմաստիճանի կախումը հզորության միջին քառակուսայինից

Աշխատանքում օգտագործված FinFet տրանզիստորի մոդելի համար ջերմաստիճանային գործակիցը հաշվվում է հետևյալ բանաձևով [4].

$$R_{th} = \frac{RTH0}{NF * (WTH0 + FPITCH * NFIN)},$$

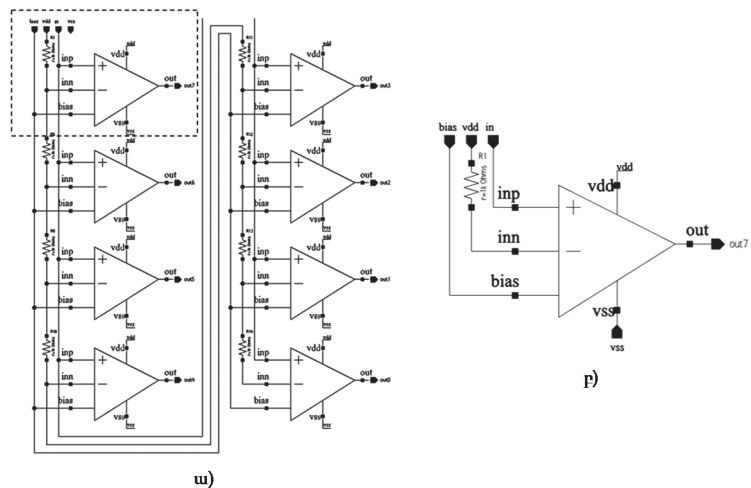
որտեղ RTH0-ն և WTH0-ն գործակիցներ են, որոնք կախված են տրանզիստորի տիպից, ձևից և օգտագործվող նյութերից, NF-ը իրար հետ համակցված տրանզիստորների քանակն է, FPITCH-ը՝ ֆինի կամ ֆինների քայլը, իսկ NFIN-ը՝ ֆինների քանակը: Օգտվելով այս տվյալներից՝ կարելի է ուսումնասիրել ինքնատաքացման երևույթի կախումը հզորության ծախսից անալոգա-թվային կերպափոխիչի օրինակով:

Հետազոտության արդյունքները: Ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչի և դասական անալոգա-թվային կերպափոխիչի ջերմաստիճանային հատկությունների տարբերությունը էներգախնայության արդյունքն է [5]:



Նկ.2. Ցածր էներգասպառմամբ գոլգահեռ անալոգային-թվային կերպափոխիչի սխեման (ա), շրջիչի և լարման մակարդակի փոխարկիչի կառուցվածքը (բ)

Ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչի ջերմաստիճանային հատկությունների ուսումնասիրությունը կատարվում է դասական անալոգա-թվային կերպափոխիչի հետ համեմատելու միջոցով: Կերպափոխիչների սխեմաները ներկայացված են նկ. 2-ում և 3-ում: Որպես անալոգա-թվային կերպափոխիչի դասական մոդել է ընտրված գոլգահեռ անալոգա-թվային կերպափոխիչը:



Նկ. 3. Դասական գոլգահեռ անալոգային-թվային կերպափոխիչի սխեման (ա), դիմադրության և համեմատիչի կառուցվածքը (բ)

Ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչի և դասականի պարամետրերի տարբերությունը ներկայացված է աղյուսակում: Ընդհանուր առմամբ կարող ենք ասել, որ ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչը մոտ 100 անգամ ավելի քիչ հզորության ծախս ունի, քան դասականը:

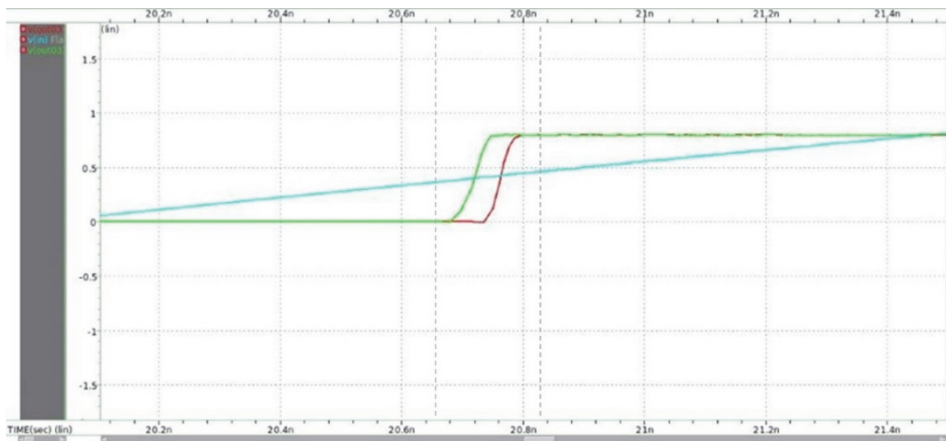
Աղյուսակ

Դասական և ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչների էներգիայի սպառման համեմատություն

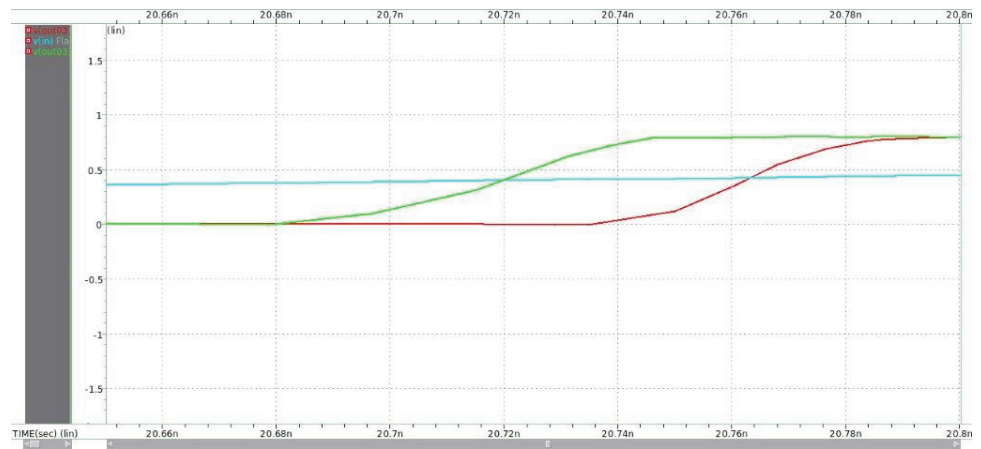
	Դասական կերպափոխիչ	Ցածր էներգասպառմամբ կերպափոխիչ
Էներգասպառում	8.033e-03W	7.358e-05W

Ինքնատաքացման հետևանքները հետազոտելու համար դիտարկվել է նույն մուտքային ազդանշանի դեպքում երկու անալոգա-թվային կերպափոխիչների ելքային ազդանշաններից մեկը: Որպես մուտքային ազդանշան օգտագործվել է սինուսոիդային ազդանշան 50 *ՄՀ* հաճախականությամբ և 1,8 *Վ* լարման ամպլիտուդով:

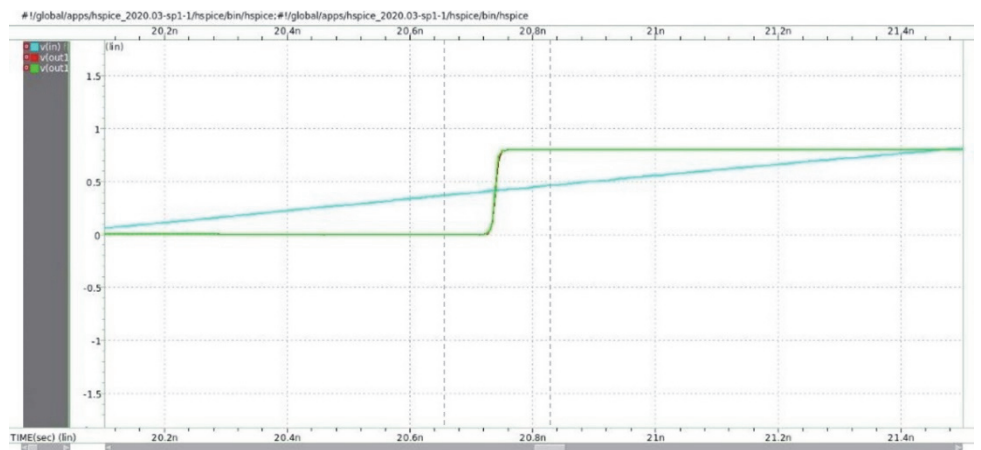
Նկ.4-ում և 5-ում ներկայացված է դասական անալոգա-թվային կերպափոխիչի մուտք-ելք բնութագիրը՝ մեկ ելքային ազդանշանի համար: Նկ. 4-ում կետագծված հատվածը ավելի խոշորացված ներկայացված է նկ. 5-ում: Նույնպիսի բնութագրեր պատկերված են նկ. 6-ում և 7-ում ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչի համար:



Նկ.4. Դասական անալոգա-թվային կերպափոխիչների մուտք-ելք բնութագիրը մեկ ելքային ազդանշանի դեպքում

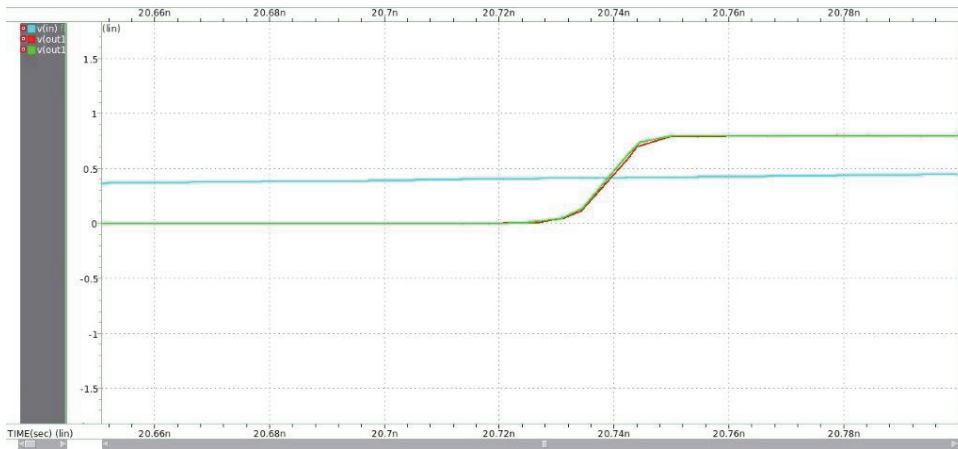


Նկ. 5. Դասական անալոգա-թվային կերպափոխիչների մուտք-ելք բնութագիրը փոխանջատման պահին մեկ ելքային ազդանշանի դեպքում



Նկ. 6. Ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչների մուտք-ելք բնութագիրը մեկ ելքային ազդանշանի դեպքում

Նկ. 4, 5, 6 և 7-ում ներկայացված են մուտքային ազդանշանը, ելքային ազդանշանը և նրա տեղաշարժը ինքնատաքացման հետևանքով: Դասական ճարտարապետության դեպքում ազդանշանի տեղաշարժը դեպի աջ բավականին զգալի է, իսկ ցածր էներգասպառմամբ աշխատող ճարտարապետության դեպքում՝ աննշան:



Նկ. 7. Ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչների մուտք-էլքրնութագիրը փոխանջատման պահին մեկ էլքային ազդանշանի դեպքում

Փոխանջատման կետի խոշորացված հատվածից պարզ երևում է, որ հզորության քիչ ծախսի հետևանքով ինքնատաքացման երևույթները գրեթե բացակայում են: Դասականի դեպքում ինքնատաքացման հետևանքով դիտարկվում է կորի տեղաշարժ, ինչը կարող է հանգեցնել ընդհանուր սխեմայի աշխատանքի խնդիրների: Եթե նույնիսկ ընդունել, որ այս փոփոխությունները փոքր են, չի կարելի հաշվի չառնել ընդհանուր երևույթի առկայությունը, քանի որ մուտքային ազդանշանի մեծացումը հանգեցնում է հզորության ծախսի աճի՝ էքսպոնենցիալ օրենքով:

Եզրակացություն: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ ինքնատաքացման հետևանքների դեմ պայքարի ամենաարդյունավետ մեթոդներից մեկը հզորության ծախսի նվազեցումն է: Անալոգա-թվային կերպափոխիչների օրինակով երևում է էներգասպառման նվազեցման ազդեցությունը ինքնատաքացման վրա:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Zhang X., Mehr P., Vasileska D., Thornton T.** Self-Heating in SOI MOSFETs at the 45nm Node // 2018 IEEE 13th Nanotechnology Materials and Devices Conference (NMDC).–USA, 2018.–P. 1–4.
2. Self-heating effect in FinFETs and its impact on devices reliability characterization / **S. Liu, J. Wang, Y. Lu, D. Huang, et al** // 2014 IEEE International Reliability Physics Symposium.–USA, 2014.–P. 4A.4.1–4A.4.4.
3. Self-heating on bulk FinFET from 14nm down to 7nm node / **D. Jang, E. Bury, R. Ritzenthaler, M. Bardon, et al** // International Electron Devices Meeting (IEDM).–USA, 2015.–P. 11.6.1–11.6.4.
4. BSIM-CMG 107.0.0: Multi-gate MOSFET compact model: technical manual / **V. Sriramkumar, N. Paydavosi, J. Duarte, D. Lu, et al** // Department of Electrical Engineering and Computer Sciences University of California.–USA, 2013.–1st edn.–P. 122.

5. Low Power Analogue-Digital Converter Model / **V.S. Melikyan, G.A. Abgaryan, P.S. Petrosyan, et al** // Journal of Contemporary Physics.–2021.–56.–P. 275–279

Երևանի պետական համալսարան: «Մինոփսիս Արմենիա» ուսումնական դեպարտամենտ: Զայլինքս Արմենիա: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.07.2022:

П.С. ПЕТРОСЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЯВЛЕНИЯ САМОНАГРЕВА ОТ
РАСХОДА МОЩНОСТИ НА ПРИМЕРЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ**

Проведено исследование зависимости явления самонагрева от расхода мощности в интегральных схемах. В качестве примера был использован аналого-цифровой преобразователь с низким энергопотреблением. Показано улучшение эффектов самонагрева для преобразователя.

Ключевые слова: самонагрев, интегральная схема, металл-оксид-полупроводник (МОП), транзистор, аналого-цифровой преобразователь, энергопотребление.

P.S. PETROSYAN

**STUDYING THE DEPENDENCE OF SELF-HEATING AND ENERGY
CONSUMPTION ON THE EXAMPLE OF ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH LOW POWER CONSUMPTION**

The relationship between the phenomenon of self-heating and power consumption in integrated circuits is studied. A low power analog-to-digital converter is used as an example. The improvement in self-heating effects has been demonstrated for the converter.

Keywords: self-heating, integrated circuit, MOS, transistor, analog-to-digital converter, power consumption.