

G.M. TRAVAJYAN, K.A. MELIQYAN

**A METHOD FOR CONTROLLING THE EDGE DURATION OF THE
OUTPUT SIGNAL OF THE TRANSMITTING NODE OF THE
INPUT/OUTPUT ELEMENTS**

The methods of controlling the output signal edge duration of the transmitter node used in the input/output elements of integrated circuits are considered. The presented method allows to control the duration edge of the output signal, which ensures the uninterrupted operation of the system. The proposed scheme can also be used in special elements of input /output.

Keywords: input/output element, signal, edge duration, voltage drop.

ՀՏԴ 621.317.334

Տ.Ն. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

**ՀԻՇՈՂՈՒԹՅԱՆ ԲՋՋԻ ՖԵՐՈՒԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐԻ
ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ**

Դիտարկվել են էներգաանկախ ֆերոէլեկտրական հիշողության կոնդենսատորի բնութագրերը և մոդելավորման խնդիրները: Նկարագրվել է կոնդենսատորի ունակության հաշվարկի գործնական արտահայտությունը: Մոդելավորվել են ֆերոէլեկտրական կոնդենսատորի վոլտ-ֆարադային բնութագրերի եռաչափ պատկերները պարամետրերի փոփոխության լայն սահմաններում:

Առանցքային բաներ. ֆերոէլեկտրական, կոնդենսատոր, հիշողություն, մոդելավորում, մոդել, ունակություն, վոլտ-ֆարադային բնութագիր:

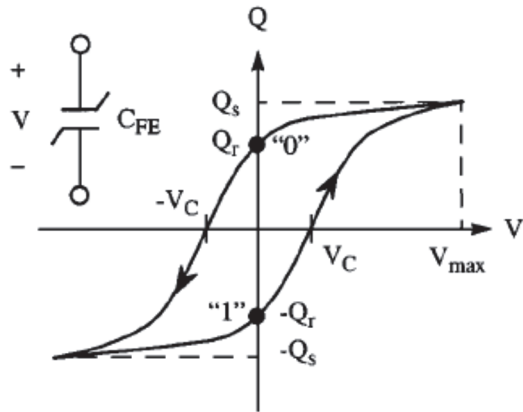
Ինֆորմացիոն տեխնոլոգիաների և հեռահաղորդակցության համակարգերի աննախադեպ զարգացումը նոր պահանջներ է առաջադրում պինդամրանային էներգաանկախ (ԷԱ) հիշողության սարքեր նախագծողներին: Այս տեսակետից միկրոէլեկտրոնիկայի առաջնահերթ խնդիրներից է դառնում գրանցման ու ընթերցման բարձր արագությամբ, տվյալների պահպանման մեծ ժամանակով (էներգաանկախությամբ) և բարձր ինֆորմացիոն խտությամբ վերածրագրավորվող հիշող սարքերի ստեղծումը: Հիմնավորված է, որ հաջորդ սերունդների բարձր խտությամբ արագագործ ԷԱ հիշողությունների համար ֆերոէլեկտրական հիշողության սարքերը (FeRAM) ամենահեռանկարային թեկնածուներից են: Այս դասի սարքերի հիմնական կառուցվածքային տարրը ֆերոէլեկտրական (ՖԷ) կոնդենսատորն է [1], որի բնութագրերը, առաջին հերթին, որոշվում են ՖԷ նյութերին բնորոշ հատկություններով: ՖԷ հիշողությունների հիմնական առավելություններն են ավելի ցածր աշխատանքային լարումները, հետևաբար՝ ցածր սպառման

հզորությունը, բարձր արագագործ գրանցման բնութագիրը, գրանցում/ջնջում ցիկլերի ավելի մեծ թիվը (գերազանցում է 1015-ը), նաև համատեղելիությունը ԿՄՕԿ տեխնոլոգիայի հետ: Չնայած ՖԷ հիշողության տարրերի պարամետրերի զգալի բարելավումներին՝ պայմանավորված կոնստրուկտորա-տեխնոլոգիական իրականացմամբ և չափերի փոքրացումով, դրանց բնորոշ են որոշակի թերություններ: Ընդ որում, հիմնական խնդիրները կապված են հիշողության բջիջների ինտեգրման խտության բարձրացման և բնութագրերի բարելավման հետ, որոնք մեծ մասամբ պայմանավորված են ՖԷ կոնդենսատորի բնութագրերով: Հետևաբար, զարգացումների ներկա փուլում ԷԱ ՖԷ հիշողության տարրերի նոր կառուցվածքների մշակումը, բնութագրերի ուսումնասիրությունը ու մոդելավորումը կարևոր արդիական խնդիրներ են: Աշխատանքում հետազոտված և մոդելավորված են ֆերոէլեկտրական կոնդենսատորի ունակային բնութագրերը հիմնական պարամետրերի փոփոխման լայն սահմաններում:

Փորձարարական մաս. Հայտնի է, որ ՖԷ բարակ թաղանթային կոնդենսատորի լիցք-լարում բնութագիրը ցուցաբերում է հիստերեզիսի օղակի ($<O$) հատկություններ [2,3,4], իսկ ՖԷ հիշողության սկզբունքը հիմնված է լիցքի բևեռացման հիստերեզիսային վարքի վրա: Նկ.1-ում ցույց են տրված ՖԷ կոնդենսատորի տիպային հիստերեզիսի օղակի տեսքը և հիմնական քանակական պարամետրերը՝

- մնացորդային լիցքը (Q_r) կամ բևեռացումը (Pr),
- հագեցման լիցքը (Q_s) կամ բևեռացումը (Ps),
- կոէրցիտիվ լարումը (V_c):

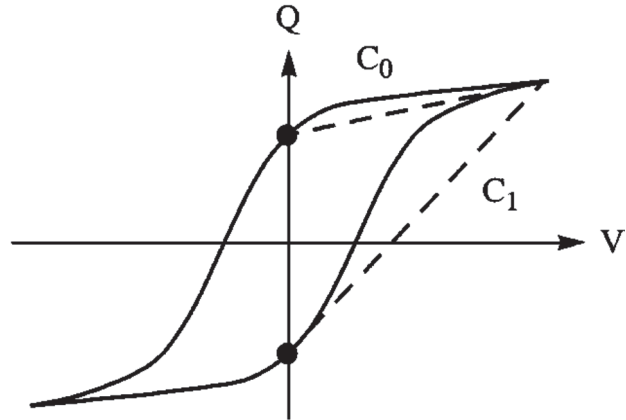
Ինչպես երևում է նկարից, զրոյի հավասար էլեկտրական դաշտում ՖԷ բյուրեղում գոյություն ունեն բևեռացման երկու կայուն վիճակներ ($\pm Pr$), որոնք կողավորվում են որպես տրամաբանական մակարդակներ: Սովորաբար, տվյալների պահպանման յուրաքանչյուր բջջում երկուական տրամաբանական վիճակները ('0' և '1') հիշվում են որպես ՖԷ-ի բևեռացման երկու հնարավոր ուղղություններ: Օրինակ, բացասական մնացորդային- Pr բևեռացումը կողավորում է '1' տրամաբանական վիճակը, իսկ դրական $+Pr$ բևեռացումը '0' վիճակը:



Նկ. 1. Ֆերոէլեկտրական կոնդենսատորի հիստերեզիսի օղակը [5]

Սխեմատեխնիկայի տեսանկյունից ՖԷ կոնդենսատորը հիշողությամբ օժտված ոչ գծային տարր է և մոդելավորվում է մի քանի կտոր առ կտոր գծային կորերով Q-V հարթության վրա: Յուրաքանչյուր կոր ներկայացնում է ոչ գծային կոնդենսատոր, որը համապատասխանում է հիշողության կոնդենսատորի վիճակին: Այսպիսի ՖԷ կոնդենսատոր պարունակող նախագծման համար անհրաժեշտ են համապիտանի մոդելներ: Սակայն ՖԷ կոնդենսատորի բնութագրերի բարդության հետևանքով այդպիսի ընդհանրական մոդելներ դեռևս վերջնականապես մշակված չեն: Հետևաբար, հիշողության բջիջների բնութագրերի բարելավման համար կարևորվում են ՖԷ կոնդենսատորի նոր մոդելների մշակումը և հետազոտման ժամանակակից մոդելավորման գործիքային միջոցների օգտագործումը: Ներկայումս ՖԷ հիշողության ավանդական կիրառություններում (օրինակ, 1T-1C FeRAM) նպատակահարմար է ՖԷ կոնդենսատորի մոդելավորման համար օգտագործվել է Ramtron International Corporation-ի մշակած LEVEL=6 մոդելը [6]: Մոդելում ՖԷ կոնդենսատորը ներկայացվում է որպես ոչ գծային կոնդենսատոր: Ընդ որում, հիստերեզիսի օղակը բնութագրվում է Սոյեր-Թաուերի համարժեք սխեմայի միջոցով [4,6], որը նկարագրվում է SPICE մոդելավորման ծրագրի բաղադրամասերով:

Հիշողությամբ օժտված ոչ գծային ՖԷ կոնդենսատորը սովորաբար մոդելավորվում է մի քանի գծային կորերով, ընդ որում, յուրաքանչյուր կոր ներկայացնում է կոնդենսատորի վիճակին համապատասխանող ոչ գծային տարր, ինչպես ցույց է տրված նկ.2-ում:



Նկ. 2. Հիստերեզիսի օղակի մոտարկումը C_0 և C_1 գծային կոնդենսատորներով

Կախված պահպանվող տվյալներից՝ ՖԷ կոնդենսատորի ունակությունը կարելի է մոտարկել C_0 -ով կամ C_1 -ով: Սակայն այսպիսի մոտարկումը թույլ չի տալիս ստանալ ունակության արտաքին դաշտից ունեցած կախվածության ամբողջական պատկերը: Այդ բնութագիրը ստանալու համար անհրաժեշտ է լուծել Պուասսոնի հավասարումը ՖԷ նյութի համար [5]՝ կիրառված դաշտի տարբեր լարումների դեպքում: Սակայն ունակության մեծության այս ($C_1 > C_0$) հաշվարկային եղանակը կապված է որոշակի բարդությունների հետ և հիշողության տարրերի նախագծման համար թվում է ոչ գործնական: Հիշողության տարրում ՖԷ կոնդենսատորի ունակության գնահատման համար գործնական տեսակետից նպատակահարմար է օգտվել մոդելավորման կիսափորձարարական բանաձևերից: Հիմնվելով ՖԷ կոնդենսատորի LEVEL=5 և LEVEL=6 մոդելների վրա՝ ունակություն-լարում C - V բնութագիրը ստանալու համար կարելի է օգտագործել հետևյալ հաշվարկային բանաձևը [6]՝

$$CFE = C_0(0,15 + 0,85 \cdot 10^{-|V_f|/5}) \text{ և } C_0 = 8,85421 \cdot 10^{-12} \cdot \varepsilon \cdot A/d,$$

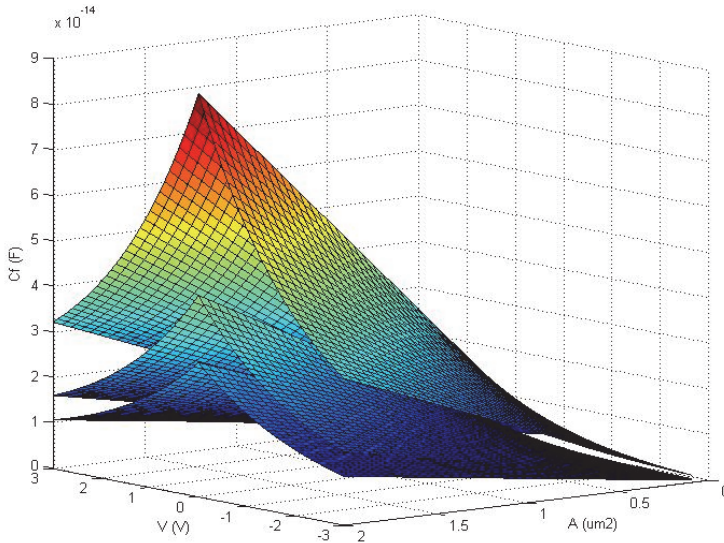
որտեղ V_f -ը կիրառված լարումն է, d -ն՝ ՖԷ թաղանթի հաստությունը, ε -ը՝ ՖԷ-ի դիէլեկտրական թափանցելիությունը (500), A -ն՝ ՖԷ թաղանթի մակերեսը:

Տեղադրելով հաստատունների հայտնի արժեքները և պարզ ձևափոխություններից հետո կստացվի ՖԷ ունակության հաշվարկային բանաձևը.

$$C_{FE} = \frac{4427 \cdot 10^{-15} \cdot A}{d} \left(0,15 + \frac{0,85}{10^{\frac{|V_f|}{5}}} \right) [\text{Ֆ}]:$$

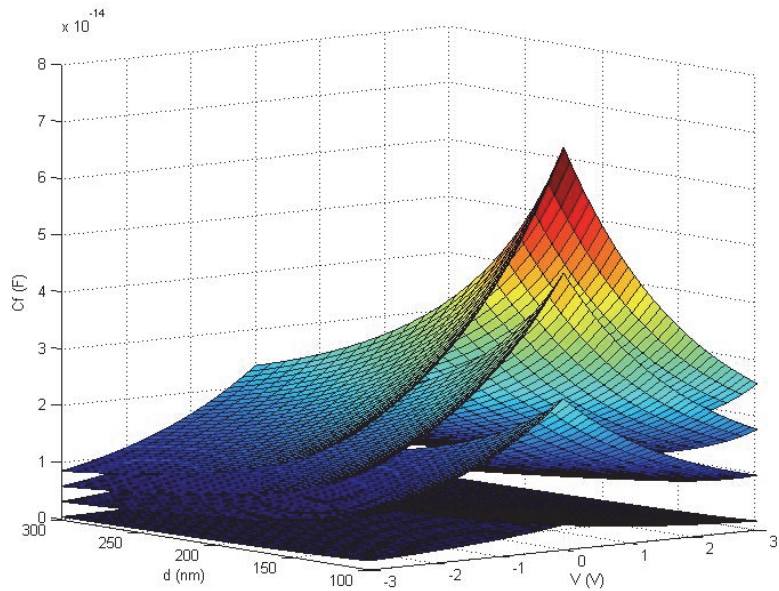
Հաշվարկներում ընդունված են թվային արժեքների փոփոխման հետևյալ սահմանները՝ d - (50.....300) նմ, A -(0,1.....2) մկմ 2, V_f -(-3...+3) Վ:

ՖԷ կոնդենսատորի վոլտ-ֆարադային C-V բնութագրերը հետազոտվել են MatLab ծրագրային փաթեթի միջոցով: Նկ.3-ում և 4-ում ներկայացված են այդ բնութագրերի եռաչափ հաշվարկային պատկերները:



Նկ. 3. ՖԷ կոնդենսատորի ունակության կախումը կիրառված դաշտից և կոնդենսատորի մակերեսից թաղանթի տարբեր հաստությունների դեպքում

Հաշվարկային C-V կորերն ունեն առավելագույն արժեք 0Վ լարման դեպքում և համաչափ նվազում են կիրառված լարման մեծացման հետ: ՖԷ կոնդենսատորի մոդելավորված բնութագրերը և հաշվարկային արդյունքները կօգտագործվեն պահանջվող պարամետրերով հիշողության բջիջների նախագծման գործընթացում:



Նկ. 4. ՖԷ կոնդենսատորի ունակության կախումը կիրառված դաշտից և թաղանթի հասարկությունից, կոնդենսատորի մակերեսից՝ տարբեր արժեքների դեպքում

Եզրակացություն. Հիմնվելով ՖԷ կոնդենսատորի հայտնի մոդելների վերլուծության վրա՝ ներկայացվել է ՖԷ կոնդենսատորի ունակության հաշվարկի գործնական արտահայտություն, և մոդելավորվել են ունակության փոփոխության եռաչափ պատկերները պարամետրերի փոփոխության լայն սահմաններում: ՖԷ կոնդենսատորի մոդելավորված բնութագրերը և հաշվարկային արդյունքները կարող են օգտագործվել պահանջվող պարամետրերով հիշողության բջիջների նախագծման գործընթացում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Петросян О.А., Меликян Г.Ш., Траваджян Л.М., Буниатян В.В.** Принципы построения ферроэлектрических запоминающих устройств// Вестник ГИУА. Сер. Моделирование, Оптимизация, Управление.-Ереван, 2009. - Вып.12, т.2. – С.66-76.
2. **Ferroelectric random access memories/H. Ishiwara, M. Okuyama, and Y. Arimoto (Eds.)** // Fundamentals and applications, Topics in applied physics.- Publisher: Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG, 2004.- V. 93.
3. **Kato Y., Kaneko Y., Tanaka H.** Overview and future challenge of ferroelectric random access memory technologies// Jpn. J. Appl. Phys.- 2007.- V. 46, pt. 1, № 4B. - P. 2157–2163.

4. **Տրավաջյան Լ.Մ.** Ֆերոէլեկտրական կոնդենսատորի հիստերեզիսի օղակի մոդելավորումը//Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի (Պոլիտեխնիկ) Լրաբեր. Գիտական և մեթոդական հոդվածների ժողովածու: - Երևան 2011. - Հատոր 3, N1. - էջ 296-300:
5. Device modelling of ferroelectric capacitors/**S.L. Miller, R.D. Nasby, J.R. Schwank** et al // J. Appl. Phys.- 1990.- V.68, №12.- P. 6463-6471.
6. Temperature Effects in Smart Spice LEVEL=6 Ferroelectric Capacitance Model From Ramtron International Corporation. Simulation Standard.- November, 2002.- V.12, Silvaco International.

Т.Н. ПЕТРОСЯН

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНДЕНСАТОРА ЯЧЕЙКИ ПАМЯТИ

Рассмотрены основные характеристики конденсатора энергонезависимой ферроэлектрической памяти и проблемы его моделирования. Описано выражение для расчета емкости конденсатора. Моделированы трехмерные изображения вольт-фарадных характеристик ферроэлектрического конденсатора в широком диапазоне изменения параметров.

Ключевые слова: ферроэлектрик, конденсатор, память, моделирование, модель, емкость, вольт-фарадная характеристика.

T.N. PETROSYAN

MODELING THE CHARACTERISTICS OF THE MEMORY CELL FERRO-ELECTRIC CAPACITOR

The principle characteristics, and the modeling problems of an energy-independent ferro-electric memory capacitor have been considered. The practical expression for calculating the capacitance of the capacitor has been described. Three dimensional images of volt-farad characteristics of a ferro-electric capacitor at a wide range of parameter changes have been modelled.

Keywords: ferro-electric, capacitor, memory, modeling, model, capacitance, volt-farad characteristics.