

Մ.Գ. ՏՐԱՎԱԶՅԱՆ, Հ.Գ. ԱՍԱՏՐՅԱՆ

**ԵՐԿՓԱԿԱՆԱՅԻՆ ԴԱՇՏԱՅԻՆ ՏՐԱՆԶԻՍՏՈՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ ԵՎ
ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄ**

Դիտարկվել է կենսաբանական միջավայրերում էլեկտրական դաշտի լարվածության գրանցման դաշտային տրանզիստորի տարբերակը: Քննարկվել են տրանզիստորի կառուցվածքը, համարժեք սխեման, ներկայացվել է ելքային լարման բանաձևային արտահայտությունը: Մոդելավորվել են էլեկտրական դաշտի նկատմամբ զգայուն երկփական տրանզիստորի հիմնական հաճախականային և փոխանցման բնութագրերը:

Առանցքային բառեր. կենսաբանական միջավայր, էլեկտրական դաշտ, լարվածություն, դաշտային տրանզիստոր, սենսոր, մոդելավորում, հաճախություն, բնութագրեր:

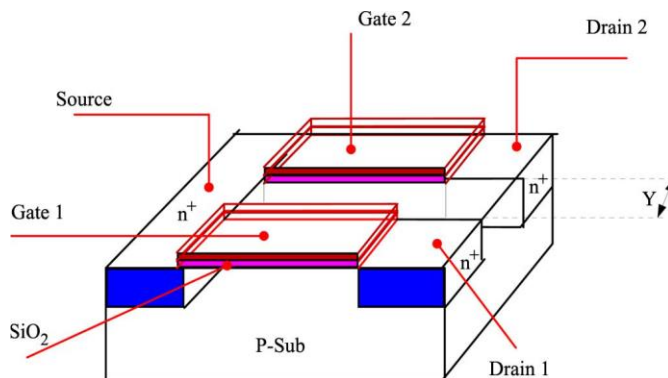
Ներածություն: Ժամանակակից միկրոէլեկտրոնիկայի և գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների տեխնոլոգիայի աննախադեպ առաջընթացը էական ազդեցություն ունեցավ նաև կենսաբանական միջավայրերի վարքի ուղղակի հետազոտման ու դրանց գործնական կիրառության, ինչպես նաև շրջակա միջավայրի պահպանության ոլորտներում [1,2]: Միկրոէլեկտրոնային տեխնոլոգիայի նվաճումների հիման վրա կենսաբանական հետազոտությունների և սինթեզման համակարգերի չափերի փոքրացումը կարող է զգալիորեն բարելավել այդպիսի համակարգերի արտադրողականությունը և մատչելիությունը, ավելի ճշգրիտ կդառնան բնութագրերը՝ հանգեցնելով ինքնարժեքի զգալի նվազման: Գրականության տվյալների վերլուծությունը [2,3] ցույց է տալիս, որ կենսաբանական համակարգերում զգալիորեն նվազում է հզորության սպառումը, հետազոտությունների համար պահանջվում են շահագործման ավելի փոքր մակերեսներ, իսկ սինթեզման սարքերը դառնում են դյուրակիր՝ շարժական օբյեկտներում շահագործման համար: Այս առավելություններն առավելագույնի հասցնելու համար համակարգերը պետք է մասշտաբավորվեն շատ փոքր չափերով՝ իրականացնելու համար «լաբորատորիա չիփի վրա» (Lab-on-a-chip) համակարգեր [4], որոնք դարձել են հետազոտությունների կարևոր գիտագործնական բնագավառ:

Կենսաքիմիական գործընթացներում տարբեր տեսակի կենսաբջջիչների հետ կատարվող մանիպուլացիաները, հսկողությունը, զգայնությունը և տեսակավորումը առաջնային կարևորության խնդիրներն են: Դրանց բնութագրման համար մշակվել են բազմաթիվ մեթոդներ և եղանակներ [3,4], մասնավորապես, օպտիկական, կենսաբջջիչների գերձայնային և մագնիսական տեսակավորումը, իհարկե, նաև էլեկտրական դաշտի ազդեցության վրա հիմնված մոտեցումները: Սակայն գոյություն ունեցող մեթոդների սահմանափակումները պահանջում են կենսաբանական համակարգերի վարքի հետազոտման նոր եղանակների մշակումներ: Ընդ որում, արդիական

են այն հետազոտությունները և նորագույն մշակումները, որոնք հնարավորություն կտան ժամանակի իրական մասշտաբում իրականացնել ուղղակի չափումներ, նաև համատեղելի են ժամանակակից ԻՍ-երի տեխնոլոգիայի հետ: Ներկայումս կենսաբջջիչների վարքի նկարագրության համար շատ հեռանկարային են դաշտային տրանզիստորների լրիվ դիմադրության փոփոխության վրա հիմնված մոտեցումները [3,4]: Կենսաբանական համակարգերում օգտագործվող «լաբորատորիա-չիփի-վրա» կառուցվածքների զգայուն տարրերը հիմնված են հենց տրանզիստորի լրիվ դիմադրության զգայնության մեթոդների վրա: Հետազոտությունների այս կարևոր ոլորտը համեմատաբար նոր է և դեռևս բավականաչափ ուսումնասիրված չէ:

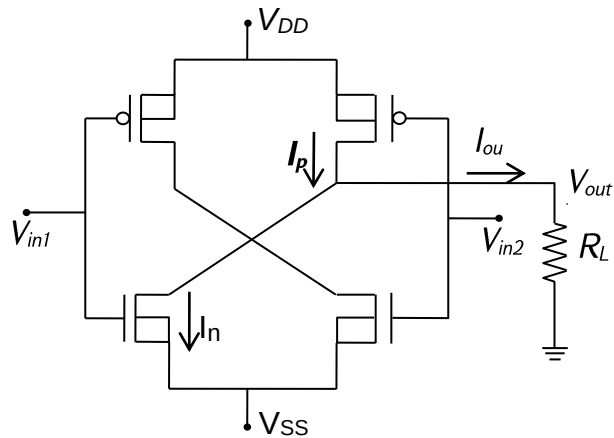
Աշխատանքի նպատակն է հետազոտել լրիվ դիմադրության զգայնության մեթոդի վրա հիմնված էլեկտրական դաշտի նկատմամբ զգայուն երկփականային դաշտային տրանզիստորի տարբերակը և մոդելավորել դրա հիմնական բնութագրերը պարամետրերի փոփոխման լայն սահմաններում:

Փորձարարական մաս: Կենսաբջջիչների էլեկտրական դաշտը կարելի է զգալ՝ օգտագործելով երկփականային դաշտային տրանզիստորը որպես էլեկտրական դաշտի զգայուն սենսոր: Էլեկտրական դաշտի փոփոխությունները զգալու համար առաջարկվել է մետաղ-օքսիդ-կիսահաղորդիչ (ՄՕԿ) տրանզիստորի ձևափոխված տարբերակ [3], որի ֆիզիկական կառուցվածքը բերված է նկ.1-ում: Կառուցվածքով այն նման է ավանդական ՄՕԿ դաշտային տրանզիստորին, սակայն ունի տոպոլոգիական առանձնահատկություններ: Դրանք հիմնականում պայմանավորված են տրանզիստորի կառուցվածքում համապատասխան տիրույթների քանակությամբ և դասավորվածությամբ: Երկփականային տրանզիստորը բաղկացած է երկու հարևան արտաբերներից, «Y» հեռավորության վրա գտնվող երկու լողացող փականներից և մեկ ընդհանուր ակունքի տիրույթից: Այս կառուցվածքը համաժեռ է ուժեղացման միանման բնութագրեր ունեցող երկու ՄՕԿ դաշտային տրանզիստորների կառուցվածքին: Սա նշանակում է, որ տրանզիստորների երկու արտաբերների հոսանքները հավասար են, եթե փականներին տրված են նույն մեծությամբ լարումներ: Տրանզիստորի երկու արտաբերներում հոսանքների ոչ հավասարակշռությունը տեղի է ունենում արտաքին էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ, հետևաբար, սարքը կարող է զգալ երկու փականների միջև լարումների տարբերությունը, այսինքն՝ էլեկտրական դաշտի լարվածությունը: Այսպիսի կառուցվածքում չափումների միջակայքն ընդարձակելու համար կիրառվում է տրանզիստորի կառուցման ԿՄՕԿ սկզբունքը, որը հայտնի է որպես էլեկտրական դաշտի զգայուն դիֆերենցիալ սենսոր [3,4]: Այսպիսի կառուցվածքը, ի տարբերություն նախորդի, հնարավորություն կտա զգալ նաև էլեկտրական դաշտի լարվածության բևեռականությունը:



Նկ. 1. Էլեկտրական դաշտի նկարմամբ զգայուն դաշտային տրանզիստորի ֆիզիկական կառուցվածքը

Էլեկտրական դաշտի լարվածության դիֆերենցիալ սենսորի համարժեք էլեկտրական սխեման ցույց են տրված նկ.2-ում: Նկարից երևում է, որ այն բաղկացած է երկու միմյանց լրացնող (կոմպլեմենտար) դաշտային տրանզիստորներից, որոնց փականները միացված են իրար, և սարքի ելքում տարբեր հաղորդականությամբ տրանզիստորների երկու արտաբերների միջև գոյություն ունի խաչվող միացում: Համարժեք սխեմայի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ տրանզիստորի արդյունաբար ելքային I_{out} հոսանքը հավասար է $I_{out} = I_p - I_n$, որտեղ I_p -ն p-հոսքուղով դաշտային տրանզիստորի արտաբերի հոսանքն է, I_n -ը՝ n-հոսքուղով տրանզիստորի արտաբերի հոսանքը: Այս հոսանքները կախված են տրանզիստորների փականներին կիրառված V_{in1} և V_{in2} մուտքային լարումներից: Տրանզիստորների տուպոլոգիական չափերի (փականների լայնության և երկարության) կարգավորումով կարելի է ստանալ I_{out} ելքային հոսանք, որի մեծությունը ուղղակի կապված է փականներին կիրառված մուտքային լարումների $\Delta V = V_{in1} - V_{in2}$ տարբերության հետ: Ընդ որում, այդ տարբերությունը հավասար է երկու փականների վերևում կիրառված էլեկտրական դաշտի լարվածության և ճեղքված փականների միջև եղած «Y» հեռավորության արտադրյալին՝ $\Delta V = -EY$: Հետևաբար, տրանզիստորների խաչածն միացման դեպքում I_{out} հոսանքը ուղղակի կապված է էլեկտրական դաշտի լարվածության հետ, իսկ արտաբերների հոսանքների հավասարակշռության նույնիսկ շատ փոքր խախտումը հանգեցնում է ելքային լարման զգալի փոփոխությունների: Երկփականային կառուցվածքով դիֆերենցիալ դաշտային տրանզիստորի ելքային V_0 լարման համար դուրս է բերված էլեկտրական դաշտի լարվածությունից կախված արտահայտություն [3]՝

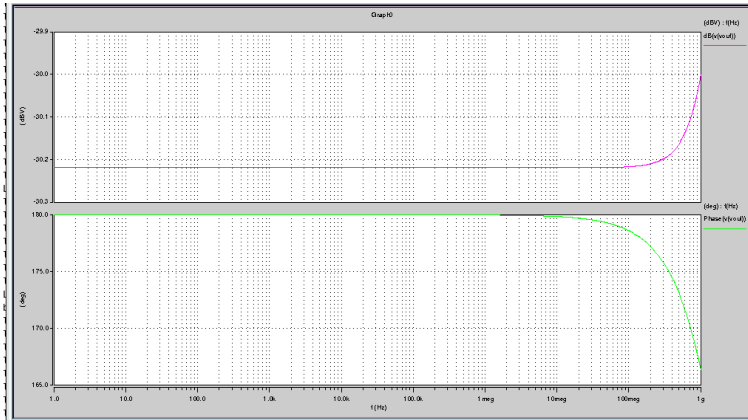


Նկ. 2. Դիֆերենցիալ դաշտային տրանզիստորի համարժեք սխեման

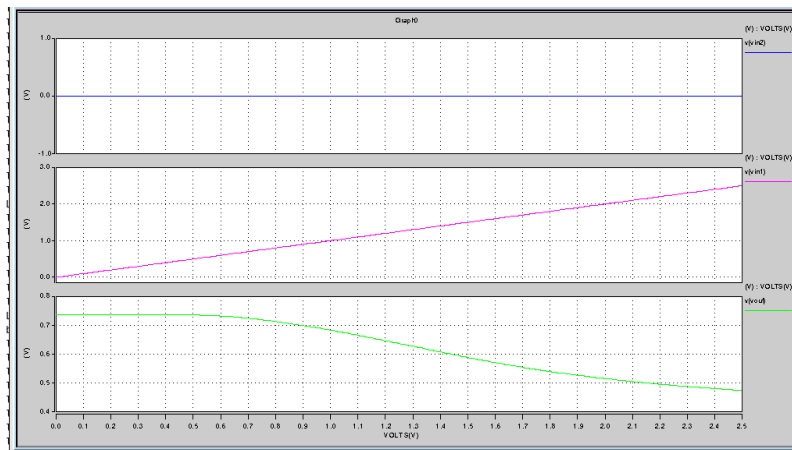
$V_0 = g_m Y R_L + V_{null}$, կամ ավելի գործնական՝ $V_0 = -g_m R_L \Delta V + V_{null}(V_{in1}, V_{in2})$, որտեղ R_L -ը բեռի դիմադրությունն է, g_m -ը՝ տրանզիստորի միջանցիկ հաղորդականությունը, V_{null} -ը՝ ելքային լարումը էլեկտրական դաշտի գրոյական լարվածության դեպքում, այսինքն՝ $V_{in1} = V_{in2}$:

Հավասարումներից հետևում է, որ գոյություն ունի գծային հարաբերակցություն ելքային լարման և էլեկտրական դաշտի լարվածության միջև: Չափելով ելքային հոսանքը (կամ համարժեք ելքային V_0 լարումը)՝ կարելի է գրանցել էլեկտրական դաշտի լարվածությունը օբյեկտի հետազոտվող տիրույթում:

Դիֆերենցիալ դաշտային տրանզիստորի բնութագրերի հետազոտումը կատարվել է Smart Spice ծրագրային փաթեթի միջոցով: Հետազոտվել են տրանզիստորի ելքային բնութագրերը պարամետրերի փոփոխության լայն սահմաններում: Կատարված են տրանզիստորի բնութագրերի DC և AC վերլուծություններ: Նկ.3-ում ցույց են տրված AC վերլուծություն արդյունքները: Ներքևի կորը ցույց է տալիս տրանզիստորի փուլա-հաճախականային բնութագիծը: Մուտքային ազդանշանի հաճախությունը փոփոխվել է լայն սահմաններում ($1 < g - 1 < g$): Մոդելավորված բնութագրերից հետևում է, որ բավական լայն հաճախականային տիրույթում ելքային լարման մեծությունը գործնականում մնում է անփոփոխ: Մուտքային և ելքային ազդանշանների միջև փուլային տարբերությունը մնում է հաստատուն (0 կամ 180°) հաճախության փոփոխության լայն միջակայքում: Նկ.4-ում ցույց են տրված DC վերլուծության մոդելավորված ստատիկ բնութագրերը:



Նկ. 3. Երկփականային դաշտային տրանզիստորի հաճախականային բնութագրերը



Նկ. 4. Տրանզիստորի ելքային լարման ընթացքը (ներքևի գրաֆիկ) մուտքային լարումների տարբերվող փոփոխությունների դեպքում

ՄՕԿ կառուցվածքի մուտքերից մեկին տրված է զրոյական պոտենցիալ, իսկ մյուսին՝ գծային օրենքով և հաստատուն քայլով փոփոխվող լարում: Մուտքային լարման մեծացման հետ p -հոսքուղով տրանզիստորի հոսանքը նվազում է, հետևաբար, սխեմայի ելքում փոքրանում է լարման անկումը, ինչը հստակ երևում է ելքային լարման բնութագրի վրա: Տրանզիստորի ելքային լարման արտահայտությունից կարելի է գնահատել էլեկտրական դաշտի լարվածության փոփոխությունը ($V_{out} = \Delta E \cdot Y$):

Եզրակացություն: Կենսաբանական համակարգերում բջջային մակարդակում էլեկտրական դաշտի լարվածության բևեռականությունը զգալու և չափման միջակայքը ընդարձակելու համար օգտագործվել է երկփականային դաշտային տրանզիստորի կառուցման ԿՄՕԿ սկզբունքը: Այս կառուցվածքի միջոցով ուղղակի չա-

փոմներով կարելի է ստանալ տեղեկություն էլեկտրական դաշտի փոփոխության մասին ժամանակի իրական մասշտաբում: Տրանզիստորի հետազոտված տարբերակը համատեղելի է կիսահաղորդչային ԻՍ-երի տեխնոլոգիայի հետ և կարող է ինտեգրվել Lab-on-a-chip համակարգերում: Երկփականային դաշտային տրանզիստորի մոդելավորված բնութագրերը ցույց են տալիս, որ այն կարելի է օգտագործել որպես էլեկտրական դաշտի լարվածության զգայուն տարր:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Բունիսթյան Վ., Տրավաջյան Մ.** Նանոէլեկտրոնիկայի ճարտարագիտական հիմունքներ. Ուսումնական ձեռնարկ. Առաջին մաս.- Եր.: ՀԴՃՀ, 2010.- 304 էջ:
2. **Clifford K. Ho, Alex Robinson, David R. Miller and Mary J. Davis.** Overview of Sensors and Needs for Environmental Monitoring// Sensors.- 2005.- 5.-P. 4-37.
3. **Ghallab Y.H., Badawy W.** DeFET: A novel CMOS Electric-Field Sensor for Lab-on-a-Chip and Biomedical Applications//IEEE SENSORS J.- 2006.-Vol.6, N.4.- P.1027-1037.
4. **Ghallab Y.H., Badawy W.** Sensing methods of dielectrophoresis from bulky instruments on Lab-on-a-Chip //IEEE Circuits Syst. Mag.- 2004. -Vol.4, N.3.- P.5-15.

Մ.Գ. ТРАВАДЖЯН, Г.Г. АСАТЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХЗАТВОРНОГО ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Представлен вариант двухзатворного полевого транзистора для регистрации напряженности электрического поля в биологических средах. Рассмотрены структура и эквивалентная схема транзистора, приведено выражение для выходного напряжения. Промоделированы основные частотные и амплитудные характеристики чувствительного к электрическому полю двухзатворного дифференциального транзистора.

Ключевые слова: биологическая среда, электрическое поле, напряженность, полевой транзистор, сенсор, моделирование, частота, характеристики.

M.G. TRAVAJYAN, H.G. ASATRYAN

INVESTIGATING A DUAL-GATE FIELD EFFECT TRANSISTOR AND MODELING ITS CHARACTERISTICS

A version of a dual-gate FET for the registration of the electric field in biological medium is presented. The structure and the equivalent circuit of the transistor are considered. An expression for the output voltage of the transistor is presented. The main frequency and amplitude response of the sensitive to the electric field differential double gate transistor are simulated.

Keywords: biological medium, electric field, voltage, field effect transistor, sensor, modeling, frequency, characteristics.