

ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ, ՄԻԿՐՈԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ ԵՎ
ՆԱՆՈԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ

ՀՏԴ 621.377.6

Հ.Ռ. ԴԱՇՏՈՅԱՆ, Տ.Դ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

**ԻՆՔՆՈՒՂՈՐԴՎԱԾ ՀՈՍՔՈՒՂՈՎ ՄԵՄՐԻՍՏՈՐԱՅԻՆ ՀԻՇՈՂ ՏԱՐՐԵՐԻ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Հետազոտվել են ինքնուղղորդված հոսքուղով մեմրիստորային հիշող տարրերը և սխեմաները: Հետազոտվել են մեմրիստորների իմպուլսային բնութագրերը, որոնցից երևում է, որ դրանք ցուցաբերում են բազմամակարդակ հիշողության հատկություն: Կատարվել են երկու մեմրիստորով հնարավոր 4 տեսակի սխեմաների մուտք-ելք փոխանցման բնութագրերի հետազոտություն և դրանց կատարած տրամաբանական գործողությունների վերլուծություն:

Առանցքային բաներ. հիշող տարր, մեմրիստոր, ինքնուղղորդված հոսքուղի, իմպուլսային բնութագիր, փոխանցման բնութագիր:

Ներածություն: Ներկայիս հիշող տարրերը ունակ են՝ պահելու երկու տրամաբանական վիճակ: Այդ պատճառով անալոգային տվյալները նախ թվայնացվում են, ապա մշակվում և պահվում երկուական հիշողությունում: Մեկ այլ տարբերակ է ազդանշանների մշակումն ու պահպանումը անալոգային ձևով: Անալոգային էներգաանկախ հիշող սարքեր մշակելու նախադրյալներից են բազմարժեք տրամաբանական տարրերի ստեղծումը և զարգացումը, որոնք ընդլայնում են հաշվարկային արագագործության սահմանները [1, 2]: Անալոգային հիշողության կարևոր կիրառությունը նեյրոմորֆային համակարգերում է՝ արհեստական նեյրոնային ցանցերի սինափսների կշիռների պահպանման նպատակով: Այդպիսի օրինակ է նեյրոնային ցանցերում անալոգային հիշողության օգտագործումը, որի հիշող տարրերը կազմված են մեմրիստորներից: Մեմրիստորները պինդամրմնային կառուցվածքներ են, որոնք էլեկտրական ազդակի հետևանքով փոխում են իրենց դիմադրությունը և էներգաանկախ կերպով երկարատև կայուն պահում այն [3, 4]:

Մեմրիստորները նոր հնարավորություններ են ընձեռել նեյրոմորֆային հաշվարկներ կատարելու համար, որն առաջարկվել է Կ. Մեադի կողմից 1990թ.-ին: Մեմրիստորները նման են կենսաբանական սինափսներին. մեմրիստորի հաղորդականությունը կարող է փոփոխվել կիրառվող ծրագրավորող իմպուլսներին համապատասխան: Այս բնութագրերը նեյրոնային կիրառություններում մեմրիստորը դարձնում են սինափսներին ֆունկցիոնալ համարժեք [5]:

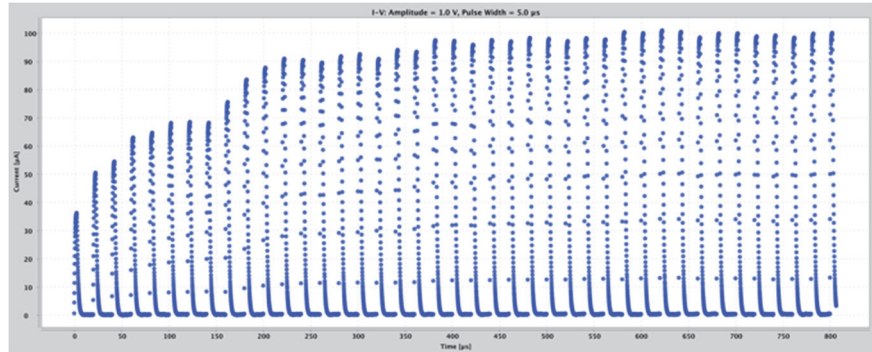
Կատարվել են ինքնուղղորդված հոսքուղով մեմրիստորների՝ որպես բազմամակարդակ հիշող տարրերի և դրանց հիման վրա սխեմաների հետազոտում՝ պարզելու համար նեյրոմորֆ համակարգիչներում դրանց կիրառման հնարավորությունը:

Հետազոտության առարկան: Knowm կազմակերպությունն արտադրում է ինքնուղղորդված հոսքուղով (SDC – Self-Directed Channel) մեմրիստորներ, ինչպես նաև դրանց հետազոտման ապարատային և ծրագրային գործիքներ: Knowm SDC մեմրիստորներին բնորոշ են ցածր փոխանջատման լարումը, բարձր միացման/անջատման հարաբերակցությունը, անալոգային վիճակի պահպանումը և երկարակեցությունը [6]:

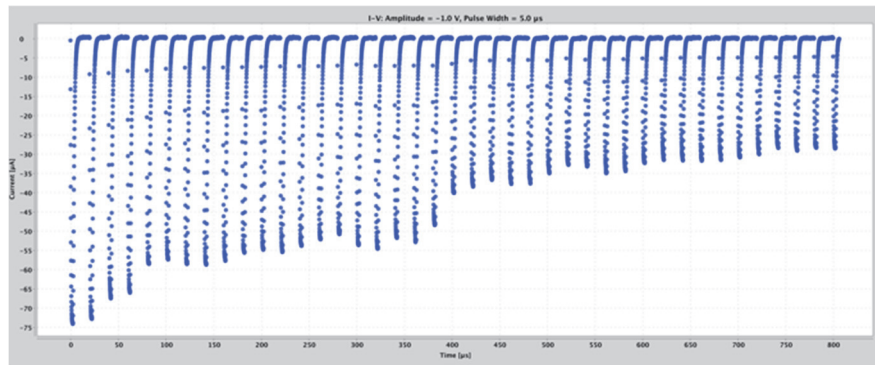
Knowm SDC մեմրիստորների դիմադրության փոփոխությունը պայմանավորված է կառուցվածքի ակտիվ շերտում գտնվող հոսքուղիների միջով արծաթի իոնների տեղաշարժով: Ակտիվ շերտում մետաղի կատալիզացված ռեակցիան գեներացնում է մշտական հաղորդիչ հոսքուղիներ, որոնք պարունակում են արծաթի ազլոմերացիայի մասեր: Արծաթի քանակությունը հոսքուղում որոշում է սարքի դիմադրությունը [7]: Հետազոտվել են մեմրիստորների իմպուլսային բնութագրերը, ինչպես նաև՝ մեմրիստորային սխեմաների մուտք-ելք փոխանցման բնութագրերը:

Հետազոտությունները կատարվել են Analog Discovery 2 հարթակի և Memristor Discovery ծրագրի միջոցով:

Հետազոտության արդյունքները և դրանց վերլուծությունը: Մեմրիստորային բազմամակարդակ հիշող տարրերի հետազոտման համար դրանց կիրառվել է իմպուլսային ազդանշան: Նկ.1-ում բերված I-T բնութագրերում պատկերված են մեմրիստորի հոսանքի կախվածությունը ժամանակից, որը ցույց է տալիս, թե ինչպես է իմպուլսների կիրառման ընթացքում հոսանքի արժեքը փոփոխվում, ինչը համապատասխանում է հաղորդականության փոփոխությանը: Մեմրիստորով անցնող հոսանքը ուղիղ համեմատական է մեմրիստորի հաղորդականությանը: Դրական բևեռականությամբ իմպուլսներ կիրառելիս հաղորդականությունը աստիճանաբար մեծանում է, իսկ բացասական բևեռականությամբ իմպուլսներ կիրառելիս՝ աստիճանաբար փոքրանում: Հաղորդականության արժեքը կախված է մեմրիստորով անցած իմպուլսների քանակից: Կարելի է առանձնացնել հաղորդականության 10 և ավելի արժեքներ, ինչը հնարավորություն է տալիս այս մեմրիստորներն օգտագործել որպես բազմամակարդակ հիշող տարրեր:



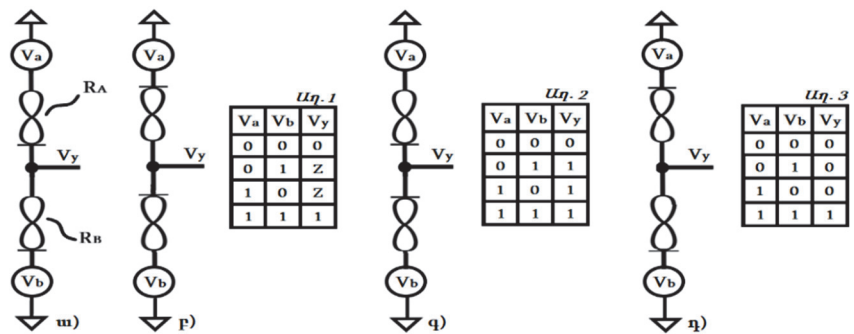
ա)



բ)

Նկ. 1. Մեմրիստորային հիշող փարրի հոսանքի կախվածությունը ժամանակից. ա) դրական և բ) բացասական բևեռականությամբ իմպուլսային ազդանշանների դեպքում

Ներդրված տրամաբանությամբ մեմրիստորային հիշող տարրերի ստեղծման համար հետազոտվել են 2 մեմրիստորով հնարավոր 4 սխեմաները (նկ. 2):



Նկ. 2. Երկու մեմրիստորով հիշող փարրերի հնարավոր չորս սխեմաները և դրանց իսկության աղյուսակները

Հետազոտությունը ցույց տվեց որ, նկ. 2-ի ա) և բ) սխեմաներն ունեն Z (բարձրահոմ) վիճակ (նկ.2, աղ.), գ) սխեման կատարում է տրամաբանական «ԿԱՄ», իսկ դ) սխեման՝ «ԵՎ» գործողություն:

Մուտքային լարման երեք (-1 Վ, 0 Վ, 1 Վ) արժեքների դեպքում նկ. 2-ի գ) և դ) սխեմաների մուտք-ելք փոխանցման լարումները բերված են աղյուսակում:

Աղյուսակ

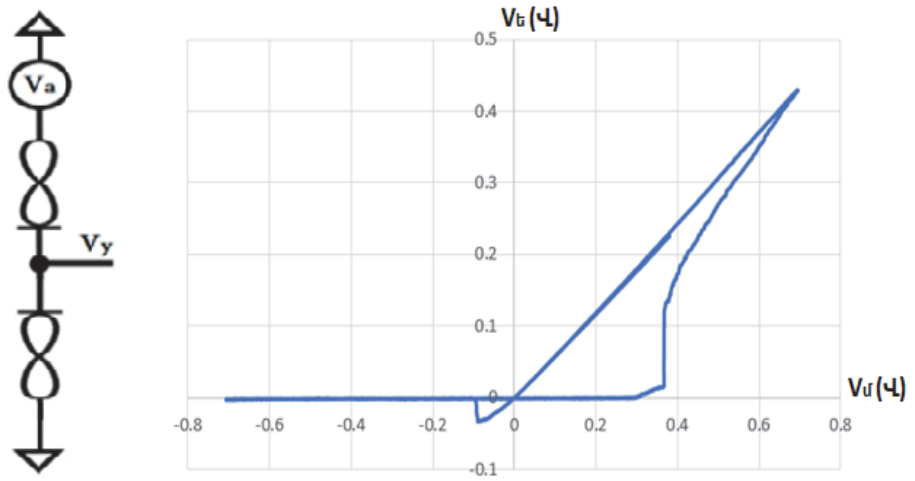
Տրամաբանական «ԿԱՄ», «ԵՎ» սխեմաների մուտք-ելք լարումները

Va (V)	Vb (V)	ԿԱՄ Vy (V)	ԵՎ Vy (V)
0	0	0	0
-1	0	0	-0.7
1	0	0.7	0
0	-1	0	-0.7
0	1	0.7	0
-1	-1	0	-0.7
1	1	0.7	0
-1	1	0.7	-0.7
1	-1	0.7	-0.7

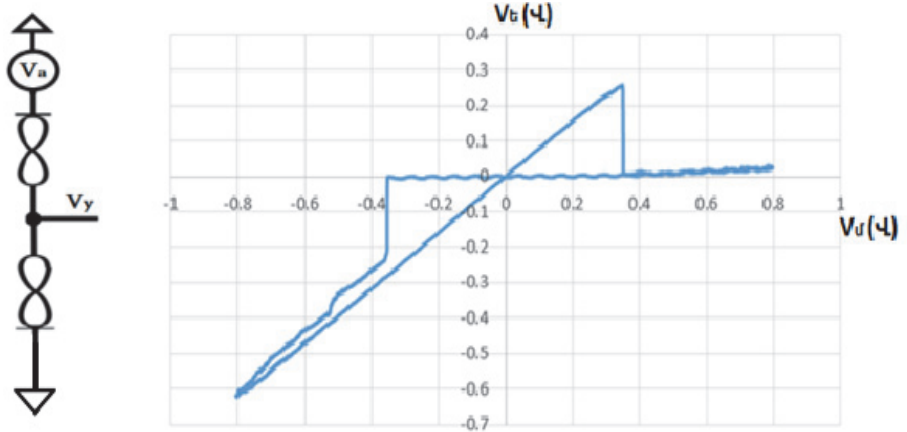
Աղյուսակից երևում է, որ «ԿԱՄ» սխեմայի դեպքում ելքը ստացվում է $\text{Max}(Va, Vb)$ օպերատորին, իսկ «ԵՎ» սխեմայի դեպքում $\text{Min}(Va, Vb)$ -ին համապատասխան: Դա համապատասխանում է անորոշ տրամաբանության (fuzzy logic) օպերատորներին:

Կատարվել է «ԿԱՄ» և «ԵՎ» սխեմաների մուտք-ելք փոխանցման բնութագրերի չափում երկբևեռ եռանկյունաձև 0.8 Վ ամպլիտուդով Va մուտքային լարման դեպքում, երբ $Vb=0$ (նկ.3): Փոխանցման բնութագրերն ունեն վիճակների միջև կտրուկ անցումներ, ինչը ցույց է տալիս հիշող տարրերի հատկությունների բարելավումը առանձին մեմրիստորի համեմատ: Բնութագրերը հիստերեզիսային են, ինչի արդյունքում ելքը որոշվում է մուտքի արժեքով և տարրի վիճակով: Նկ.3-ի ա-ից երևում է, որ 0.38 Վ շեմային արժեքից մեծ լարման դեպքում ելքը հավասար է $\text{Max}(Va, 0)$, իսկ փոքր լարումների դեպքում՝ $\text{Min}(Va, 0)$: Նկ.3-ի բ-ից երևում է, որ -0.38 Վ և 0.38 Վ շեմային արժեքներից մեծ լարումների դեպքում ելքը հավասար է $\text{Max}(Va, 0)$, իսկ դրանցից փոքրերի դեպքում՝ $\text{Min}(Va, 0)$:

Այս սխեմաներով հիշող տարրերով կարելի է իրականացնել անորոշ տրամաբանության գործողություններ:



ա)



բ)

Նկ. 3. Մեմբրիստորային հիշող փարրերի սխեմաները և փոխանցման բնութագրերը

Եզրակացություն: Հետազոտվել են SDC մեմբրիստորային հիշող տարրերը, դրանց իմպուլսային բնութագրերը: Դրանք կարող են կիրառվել որպես բազմամակարդակ հիշող տարրեր:

Կատարվել են երկու մեմբրիստորով հնարավոր 4 տեսակի սխեմաների հետազոտություն և վերլուծություն: Հետազոտվել են մուտք-ելք փոխանցման բնութագրերը: Արդյունքները ցույց են տալիս, որ դրանք կատարում են համապատասխան տրամաբանական գործողություններ և կարող են ինտեգրել տրամաբանությունը հիշողության մեջ: Դրանք կարող են օգտագործվել եռավիճակ և անորոշ տրամաբանությամբ սարքերում:

Մեմրիստորային հիշող տարրերի և սխեմաների հետազոտումը ցույց տվեց դրանց կիրառման հնարավորությունները՝ ներկառուցված տրամաբանությամբ հիշող սարքերի ու նեյրոմորֆային համակարգիչների ստեղծման համար:

Հեղափոխությունը կապարվել է ՀԱՊՀ «Միկրո և նանոէլեկտրոնիկա» բազային գիտահեղափոխական լաբորատորիայում ՀՀ ԿԳՄՍ Գիտության կոմիտեի N.19YR-2J050 դրամաշնորհի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Irmanova A. and James A.P.** Multi-level memristive memory with resistive networks //IEEE Asia Pacific Conference on Postgraduate Research in Microelectronics and Electronics (PrimeAsia).- 2017.- P. 69-72.
2. **Vourkas I., Sirakoulis G.Ch.** Memristor-Based Nanoelectronic Computing Circuits and Architectures.- Springer, Switzerland, 2016.- 241 p.
3. **Nugent M. Alexander & Molter Timothy W.** Thermodynamic-RAM technology stack // International Journal of Parallel, Emergent, and Distributed Systems. - 2018. - 33:4. - P. 430-444.
4. **Le M. and Truong S.N.** Neuromorphic Character Recognition using The Single Memristor Crossbar Array //International Conference on System Science and Engineering (ICSSE).- 2021.- P. 433-436.
5. **Campbell K.A.** The Self-directed Channel Memristor: Operational Dependence on the Metal-Chalcogenide Layer. - Handbook of Memristor Networks, 2019. - 1357 p.
6. Ինքնուղղորդված հոսքուղղվ մեմրիստորների բնութագրերի հետազոտումը / **Հ.Ռ. Դաշտոյան, Տ.Դ. Գրիգորյան, Լ.Գ. Ռուստամյան, Մ.Լ. Կարապետյան, Ռ.Ա. Մկրտչյան** // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու.- Երևան: Ճարտարագետ, 2021.- Մաս 2.- էջ 368-374:
7. **Դաշտոյան Հ.Ռ., Գրիգորյան Տ.Դ.** W, Sn, C, Cr ինքնուղղորդված հոսքուղղվ մեմրիստորների վոլտ-ամպերային բնութագրերի համեմատական հետազոտումը // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու.- Երևան: Ճարտարագետ, 2022.- Մաս 1.- էջ 170-177:

А.Р. ДАШТОЯН, Т.Д. ГРИГОРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПАМЯТИ С САМОНАПРАВЛЕННЫМИ КАНАЛЬНЫМИ МЕМРИСТОРАМИ

Исследованы элементы памяти и схемы с самонаправленными канальными мемристорами. Исследованы импульсные характеристики мемристоров, из которых видно, что мемристоры обладают свойством многоуровневой памяти. Проведено исследование передаточных характеристик входа/выхода 4-ех видов возможных схем подключения двух мемристоров и дан анализ выполненных ими логических операций.

Ключевые слова: элемент памяти, мемристор, самонаправленный канал, импульсная характеристика, передаточная характеристика.

H.R. DASHTOYAN, T.D. GRIGORYAN

STUDY OF SELF-DIRECTED CHANNEL MEMRISTOR MEMORY ELEMENTS

The memory elements and circuits of self-directed channel memristors are studied. The impulse characteristics of the memristors are studied. It is shown that they have property of multilevel memory. The research of input-output transfer characteristics of 4 possible types of circuits comprised of two memristors and analysis of their logic operations are performed.

Keywords: memory element, memristor, self-directed channel, impulse characteristic, transfer characteristic.

ՀՏԴ 004.032.26:621.382.049.77

Ա.Է. ՋՁՄԵՉՅԱՆ

ԱՐՎԵՍՏԱԿԱՆ ՆԵՅՐՈՆԱՅԻՆ ՑԱՆՑԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ՍԿԶԲՈՒՆՔՆԵՐԸ ԵՎ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ԿԱՆՈՆՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

Հետազոտվել են արհեստական նեյրոնային ցանցերի կառուցման սկզբունքները և առանձնահատկությունները: Կատարվել է ցանցերի դասակարգում, ներկայացվել են դրանցում նեյրոնների քանակի հաշվարկի անալիտիկ արտահայտությունները, դիտարկվել են նախագծման ժամանակ լուծվող հիմնական խնդիրները: Կատարվել է նախագծման կանոնների վերլուծություն:

Առանցքային բառեր. նեյրոն, նեյրոնային ցանց, ուսուցման ալգորիթմ, նախագծում, թաքնված շերտ, հետադարձ կապ:

Ներածություն: Արհեստական նեյրոնային ցանցերը (ԱՆՑ) տեղեկույթ մշակող ամբողջապես զուգահեռ համակարգեր են: Ներկայումս լայն տարածում են գտել բազմաշերտ ուղիղ տարածմամբ ԱՆՑ-երը, ինչը պայմանավորված է իրականացման պարզությամբ, զարգացած ուսուցման մեթոդների առկայությամբ և հաշվարկումների զուգահեռ կատարմամբ [1]: Այս ցանցերում հաշվողական բարդությունն աճում է տվյալների չափի քառակուսուն համեմատական, որը հանգեցնում է արագագործության նվազմանը և ապարատային ծախսերի աճին: ԱՆՑ-երի ապարատային իրականացումը հնարավորություն է տալիս առցանց օգտագործել արհեստական բանականության ծրագրեր, փոքրացնել ուսուցման սխալի տոկոսը, նախագծել տեղեկատվության մշակման նոր սկզբունքներ, ստեղծել ցածր հզորությամբ և բարձր հուսալիությամբ ու արտադրողականությամբ համակարգեր:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Աշխատանքի նպատակն է ուսումնասիրել ԱՆՑ-երի կառուցման սկզբունքները և հետազոտել դրանց նախագծման կանոնները: