

Տ.Ա. БАБАЯН, Ր.Լ. АРУТЮНЯН, А.Р. ДАШТОЯН
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ ДЛЯ
ИСКУССТВЕННЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ ЛЕГКИХ

Разработаны алгоритм и программное обеспечение для искусственных вентиляторов легких для управления давлением подаваемого в легкие воздуха.

Ключевые слова: дыхательный аппарат, вентиляция с контролируемым давлением, алгоритм, дыхание.

S.H. BABAYAN, H.L. HARUTYUNYAN, H.R. DASHTOYAN
DEVELOPMENT OF PRESSURE CONTROL ALGORITHM FOR
VENTILATORS

An algorithm and software for ventilators to control the pressure of the air supplied to the lungs is developed.

Keywords: respiratory device, pressure-controlled ventilation, algorithm, respiration.

ՀՏԴ 621.377.6

Հ.Ռ. ԴԱՇՏՈՅԱՆ, Տ.Դ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Լ.Գ. ՌՈՒՍԱՄՅԱՆ, Մ.Լ.
ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ռ.Ա. ՄԿՐՏՉՅԱՆ

ԻՆՔՆՈՒՂՈՐԴՎԱԾ ՀՈՍՔՈՒՂՈՎ ՄԵՄԻՍՏՈՐՆԵՐԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Հետազոտվել են ինքնուղղորդված հոսքուղով (Self-Directed Channel) վոլֆրամե Knowm մեմրիստորների աշխատանքը և բնութագրերը մինչև 10 կՀց հաճախության տիրույթում: Այս մեմրիստորներն ունեն ցածր փոխանցատման լարում, բարձր միացման/ անջատման հարաբերակցություն, երկար ծառայության ժամկետ և կարող են տրամաբանությունն ինտեգրել հիշողության մեջ:

Առանցքային բաներ. մեմրիստոր, ինքնուղղորդված հոսքուղի, վոլտամպերային բնութագիր (ՎԱԲ), հիստերեզիս:

Ներածություն: Մեմրիստորները պինդամրմնային կառուցվածքներ են, որոնք էլեկտրական ազդակի հետևանքով փոխում են իրենց դիմադրությունը և էներգաանկախ կերպով երկարատև կայուն պահում այն: Մեմրիստորները հիմնականում ունեն դիմադրության երկու կայուն վիճակ (բարձր դիմադրության վիճակ՝ HRS, և ցածր դիմադրության վիճակ՝ LRS), որով ապահովվում է տվյալների պահպանումը երկուական տրամաբանությամբ: Կա նաև հնարավորություն՝ դրանց հիմքով ստանալու բազմամակարդակ հիշողություն: HRS-ն ընդունենք որպես տրամաբանական “0” վիճակ, LRS-ը՝ տրամաբանական “1”: Գրման գործողությամբ

յունը, որը մեմրիստորին HRS վիճակից փոխանջատում է LRS-ի, կոչվում է SET, իսկ LRS-ից HRS վիճակի բերման գործողությունը՝ RESET: Մեմրիստորներն ունեն պարզ կառուցվածք, փոքր չափսեր, արագագործ են և կարող են տրամաբանությունն ինտեգրել հիշողության մեջ [1-3]:

Մեմրիստորների հիմնական բնութագրերն են՝ $R_{LRS}(R_{ON})$ և $R_{HRS}(R_{OFF})$ դիմադրությունները, հարաբերական դիմադրությունը՝ R_{HRS}/R_{LRS} , $V_{SET}(V_F)$ և $V_{RES}(V_R)$ լարումները, դիմացկունությունը, փոխանջատման ժամանակը, երկարակեցությունը և այլն: Մեմրիստորների կառուցվածքների և դրանց բնութագրերի հետազոտումը կարևոր խնդիր է դրանց կիրառության տեսանկյունից:

Մեմրիստորները դասակարգվում են խմբերի՝ կախված այն բանից, թե ինչ երևույթի հիման վրա են աշխատում՝ մագնիսական էֆեկտով, էլեկտրաստատիկ էֆեկտով, օքսիդավերականգնման էֆեկտով և այլն: Դրանք էլ ունեն իրենց տարատեսակները:

Մեմրիստորների հիման վրա պատրաստվում են ռեգիստրիկ (RRAM) հիշող սարքեր, որոնք հեռանկարային են և կարող են փոխարինել ներկայումս գործածվող հիշասարքերին [4-6]: Կան նեյրոմորֆ թվային ճարտարապետությամբ համակարգեր, որտեղ հիշողությունը կատարում է նաև տրամաբանական գործողություններ:

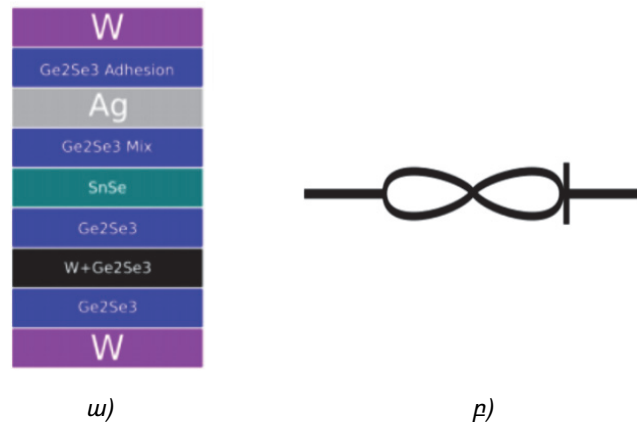
Knownm կազմակերպությունը, որը զբաղվում է մեմրիստորների կիրառությունների ուսումնասիրությամբ, արտադրում է ինքնուղղորդված հոսքուղով (SDC – Self-Directed Channel) մեմրիստորներ և մեմրիստորների հետազոտման ապարատային և ծրագրային գործիքներ: Մշակում է նեյրոմորֆ թվային kT-RAM ճարտարապետությունը, որը մեմրիստային «սինապսների» դիֆերենցիալ զույգերի հավաքածու է, որոնք գործում են և՛ որպես տրամաբանական տարր, և՛ որպես հիշողություն [7]:

Այժմ կատարվում են SDC դասին պատկանող մեմրիստորների և դրանց հիման վրա սարքերի ինտենսիվ հետազոտություններ [8]:

Հետազոտության առարկան: SDC մեմրիստորները համեմատաբար նոր են և «օքսիդային» ու «փուլի փոփոխումով» մեմրիստորների նման ունեն բազմաթիվ տեսակներ: Knownm SDC մեմրիստորների կառուցվածքի դիմադրության փոփոխությունը պայմանավորված է 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:

Knownm SDC մեմրիստորներն ունեն բարձր դիմացկունություն, ցածր փոխանջատման լարում, անալոգային վիճակի պահպանում, բարձր միացման/ անջատման հարաբերակցություն և երկար (գրեթե անսահման) ծառայության ժամ-

կետ: Knowm մեմրիստորի կառուցվածքը և պայմանական նշանը բերված են նկ.1-ում: Այս նշանն արտացոլում է մեմրիստորին բնորոշ բնութագիծը: Ուղղահայաց գիծը նշանակում է ակտիվ հալոգենիդային շերտին հարակից էլեկտրոդը, որն ամենահեռու է սկզբնական Ag-ի շերտից:



Նկ.1. Knowm W-SDC մեմրիստորի կառուցվածքը (ա) և պայմանական նշանը (բ)

HRS-ը և LRS-ը չեն հանդիսանում մեմրիստորի բացարձակ հատկություններ, այլ հարաբերական և դինամիկ հատկություններ են: Կա դրա երեք հիմնական պատճառ: Նախ, մեմրիստորի միջով հոսող հոսանքը պետք է սահմանափակվի՝ այն պաշտպանելու համար: Այս հոսանքը սահմանափակելը սահմանափակում է LRS սխեմային: Առանց այս սահմանափակման՝ LRS-ը կհասնի 100 կամ նույնիսկ 10 Օմ, և մեմրիստորը կայրվի: Երկրորդ, HRS-ի վրա ազդում է մեմրիստորի օգտագործման պատմությունը: Որքան ավելի ծանրաբեռնված և երկար օգտագործվի մեմրիստորը, այնքան ցածր կլինի HRS-ը: Նոր (չօգտագործված) սարքը կարող է ունենալ 1 ԳՕմ-ից մեծ դիմադրություն, բայց այն սկսում է փոքրանալ, երբ ձևավորում է իր առաջին հաղորդիչ հոսքուղիները: Եթե կիրառենք մեծ հոսանքներ, օրինակ՝ 1 մԱ կամ ավելի, HRS-ը կփոքրանա մինչև 100 կՕմ կամ ավելի ցածր: Երրորդ, կախված սխեմայի հաճախականությունից, մեմրիստորների փոխանջատման արագությունը կորոշի HRS-ն և LRS-ը:

Փորձնական մաս: Analog Discovery 2 և Memristor Discovery 2 հարթակների միջոցով ուսումնասիրվել են ինքնուղղորդված հոսքուղով վոլֆրամե Knowm մեմրիստորները: Դրանց կիրառելով 0.8 Վ ամպլիտուդով և 500 մՎ տևողությամբ եռանկյունաձև ազդանշան՝ հետազոտվել են վոլֆրամե մեմրիստորների վոլտամպերային և հաղորդականություն-լարում բնութագրերը (նկ.2): Բացի այդ, փոփոխելով կիրառված եռանկյունաձև ազդանշանի հաճախությունը (աստիճան-

նաբար մեծացնելով այն)՝ համեմատվել են այդ մեմրիստորների ՎԱԲ-երը տարբեր հաճախությունների դեպքում (նկ.3):

ՎԱԲ-երը չափելու համար լարումը կիրառվում է մեմրիստորին և հաջորդաբար միացված ռեզիստորին: Չափելով հաջորդաբար միացված ռեզիստորի վրա լարման անկումը ($V = V_2 - V_1$), Օհմի օրենքով՝ $I = V/R$, հաշվարկվում է հոսանքը:

Հետազոտության արդյունքները և դրանց վերլուծությունը: Չափման արդյունքները բերված են նկ. 2-ում: ՎԱԲ-ից (նկ.2 ա) երևում է հետևյալը.

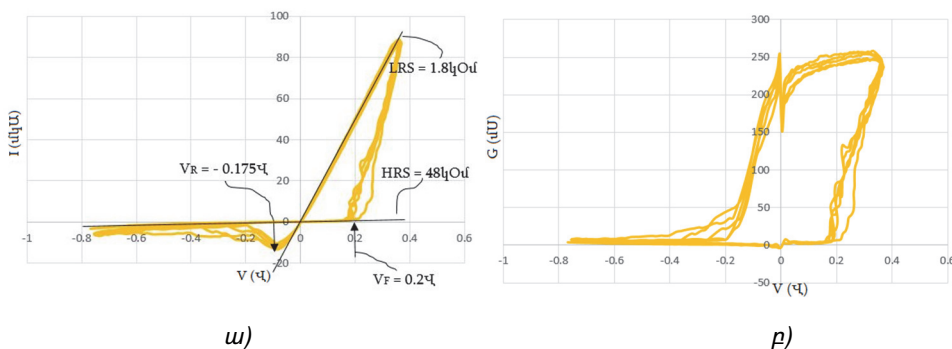
1. Սկզբում մեմրիստորը գտնվում է բարձր դիմադրության վիճակում (HRS): HRS-ը սովորաբար կազմում է 1 ՄՕմ, և հետևաբար՝ հոսանքը փոքր է, մոտավորապես 1 մկԱ:

2. V1-ը մեծանում է, հոսանքի արժեքը մնում է փոքր, մինչև մեմրիստորի առաջին շեմին՝ V_F -ին հասնելը: Այդ պահին հոսանքի արժեքը կտրուկ աճում է, քանի որ մեմրիստորի դիմադրությունը նվազում է:

3. Երբ V1-ը հասնում է 0,8 Վ ամպլիտուդի մաքսիմալ արժեքին, այն սկսում է աստիճանաբար նվազել, և հոսանքի արժեքը աստիճանաբար փոքրանում է: Երբ մեմրիստորի դիմադրությունը փոքրացել է, յուրաքանչյուր կիրառվող լարման արժեքի համար հոսանքը ավելի բարձր է, ուստի ունենք երկտակված բնութագրի դրական ճյուղը:

4. Հոսանքը շարունակում է նվազել՝ հասնելով զրոյի, երբ V1-ը ձգտում է զրոյի՝ «զրոյով հատում»: Սա ցույց է տալիս, որ սարքում էներգիա չկա որպես կոնդենսատոր կամ ինդուկտիվություն: Սակայն մեմրիստորը պահպանում է իր դիմադրության վիճակը:

5. Երբ կիրառվող լարումը դառնում է բացասական, և մեմրիստորի վրայի լարման անկումը գերազանցում է նրա հակառակ հարմարվողության V_R շեմը, դիմադրությունը մեծանում է՝ վերադառնալով HRS-ին:



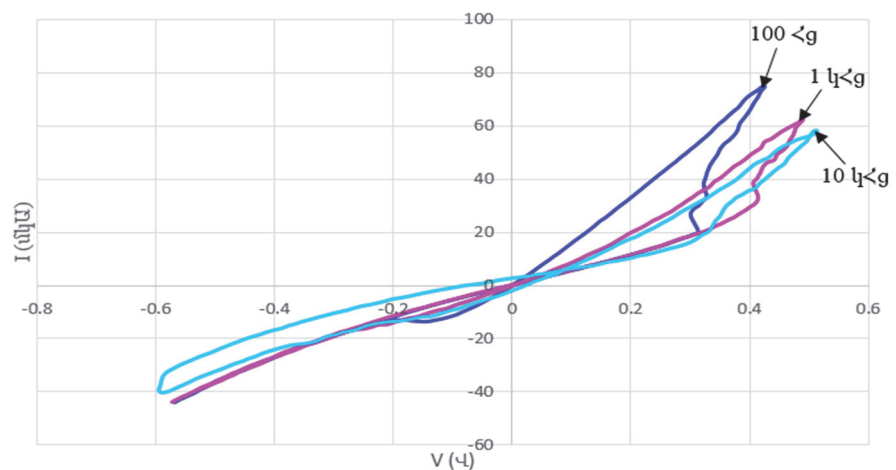
Նկ.2. Մեմրիստորի ՎԱԲ-ը (ա) և G-V գրաֆիկը (բ)

Այս ցիկլը կրկնվում է մի քանի անգամ, որոնց բնութագծերը հիմնականում համընկնում են:

Նկ.2բ-ում բերված G-V գրաֆիկը ցույց է տալիս ստացված տվյալներով հաշվարկված հաղորդականության կախվածությունը կիրառված լարումից: Հստակ երևում է հաղորդականության հիստերեզիսի օղակը:

Կա երկու առանձնահատկություն. նախ զրոյից 0,2 Վ տիրույթում հաղորդականությունը մնում է ցածր, մինչև ուղիղ հարմարվողականության շեմը (forward adaptation threshold)՝ $V_F = 0,2$ Վ: Քանի որ մեմբիստորը HRS-ում է, լարման անկման մեծ մասն ընկած է իր վրա, հետևաբար, հաղորդականության մեծացում նկատվում է, երբ հասնում ենք ուղիղ հարմարվողականության շեմին: Այդ պահից մեմբիստորի դիմադրությունը, ինչպես նաև նրա վրայի լարման անկումը կնվազեն: Արդյունքում, հաղորդականությունը կմեծանա այնքան, որ մեմբիստորի վրայի լարման անկումը հավասար լինի V_F -ին: 0,3-ից 0,8 Վ տիրույթում շղթայի հաղորդականությունը մոտավորապես գծային մեծանում է: Երկրորդ առանձնահատկությունն այն է, որ երբ հասնում ենք հաղորդականության մաքսիմալ արժեքին և լարումը նվազեցնում ենք, հաղորդականությունը կայուն չի մնում: Այն մի փոքր նվազում է: Դա պայմանավորված է մեմբիստորի հանգստացմամբ: Երբ մեմբիստորը բարձր հաղորդականության վիճակի ենք բերում, իսկ հետո հեռացնում գրգռման լարումը, այն մի փոքր հանգստանում է. նվազում է հաղորդականությունը:

Մեմբիստորի ՎԱԲ-երը չափվել են կիրառված եռանկյունաձև լարման 100 Հg, 1 Հg և 10 Հg հաճախությունների դեպքում (նկ.3):



Նկ. 3. Վոլֆրամե մեմբիստորի ՎԱԲ-երը՝ տարբեր հաճախությունների դեպքում

Հիստերեզիսի պատկերը, կախված HRS-ի և LRS-ի փոփոխությունից, որն իր հերթին պայմանավորված է հաճախությունով, փոփոխվում է: Սա անալոգային մեմրիստորին բնորոշ գիծ է, այսինքն այդ մեմրիստորը ունակ է պահելու միջանկյալ վիճակներ: Բոլոր դեպքերում կիրառված են նույն լարման ամպլիտուդը և ազդանշանի ձևը, բայց անկախ այդ ամենից՝ մեմրիստորի արձագանքը տարբեր է: Դա նշանակում է, որ մեմրիստորի հաղորդականության փոփոխությունը կախված է ոչ միայն կիրառված լարումից, այլ նաև տևողությունից (հաճախությունից): Երբ կիրառվում է մեմրիստորի շեմային լարումից բարձր լարում, այն արձագանքում է հաղորդականության մեծացմամբ կամ նվազմամբ: Դա պահանջում է ժամանակ, և այդ պատճառով, եթե աշխատանքային ազդանշանը փոխվում է մինչև մեմրիստորի փոփոխման ավարտը, ապա մեմրիստորի հաղորդականությունը գրեթե չի փոխվի: Մեծ հաճախությունների դեպքում, եթե մեմրիստորը չհասցնի մշակել այն, «հիստերեզիսի սեղմված օղակը» կվերածվի գծի:

Եզրակացություն: Հետազոտվել են M+SDC վոլֆրամե մեմրիստորները, դրանց վոլտամպերային և հաղորդականություն-լարում բնութագրերը տարբեր հաճախությունների դեպքում: Որոշվել են դրանց հիմնական բնութագրերը՝ $R_{HRS} \approx 48333 \text{ } \Omega$, $R_{LRS} \approx 1818 \text{ } \Omega$, $R_{HRS}/R_{LRS} \approx 26.58$, $V_{SET} = 0.2 \text{ V}$ և $V_{RESET} \approx -0.175 \text{ V}$: Առավելագույն աշխատանքային հաճախությունը 10 կՀց է: Այս մեմրիստորները կարող են կիրառվել թվային հիշողություններում, տրամաբանական սխեմաներում, նեյրոնային ցանցերում, kT-RAM-ում և այլ նեյրոմորֆ թվային ճարտարապետություններում:

Երախտագիտություն: Հեղագրությունը կատարվել է ՀՀ ԿԳՄՍ Գիտության կոմիտեի N. 19YR-2J050 դրամաշնորհի և EIF-PMI Science Faculty Research Funding Program ծրագրի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Chua L.** Memristor-the missing circuit element// IEEE Trans. Circuit Theory.- 1971.- 18.- P. 507–519.
2. **Chua L.O., Sung Mo Kang.** Memristive devices and systems // Proc. IEEE.- 1976.- 64.- P. 209–223.
3. **Chua L.** Resistance switching memories are memristors // Appl. Phys. A.- 2011.- 102.- P. 765.
4. **Waser R., Wuttig M.** Memristive Phenomena - from fundamental physics to neuromorphic computing: Lecture notes of the 47th IFF Spring School.- Forschungszentrum Jülich, Zentralbibliothek, Jülich, 2016.- 1027 p.
5. **Tetzlaff R.** Memristors and memristive systems.- Springer, New York, 2014.- 409 p.
6. **Vourkas I., Sirakoulis G.Ch.** Memristor-Based Nanoelectronic Computing Circuits and Architectures/- Springer, Switzerland, 2016.- 241 p.

7. **Nugent M. Alexander & Molter Timothy W.** Thermodynamic-RAM technology stack // International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems. - 2018. - 33:4. - P. 430-444.
8. **Campbell K.A.** The Self-directed Channel Memristor: Operational Dependence on the Metal-Chalcogenide Layer. - Handbook of Memristor Networks, 2019. - 1357p.

**А.Р. ДАШТОЯН, Т.Д. ГРИГОРЯН, Л.Г. РУСТАМЯН,
М.Л. КАРАПЕТЯН, Р.А. МКРТЧЯН**

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕМРИСТОРОВ С САМОНАПРАВЛЕННЫМИ КАНАЛАМИ

Исследованы принцип работы и характеристики вольфрамовых мемристоров с самонаправленными каналами Known в диапазоне частот до 10 *кГц*. Эти мемристоры имеют низкое напряжение переключения, высокое соотношение включения/выключения, длительное время эксплуатации и могут интегрировать логику в память.

Ключевые слова: мемристор, самонаправленный канал, вольт-амперная характеристика (ВАХ), гистерезис.

**H.R. DASHTOYAN, T.D. GRIGORYAN, L.G. RUSTAMYAN,
M.L. KARAPETYAN, R.A. MKRTCHYAN**

INVESTIGATING THE CHARACTERISTICS OF SELF-DIRECTED CHANNEL MEMRISTORS

The operation and characteristics of the self-directed channel (SDC) tungsten Known memristors, and their characteristics in the frequency range upto 10 *kHz* are studied. The mentioned memristors are characterized by low switching voltages, high on/off ratios, long shelf life and are able to integrate logic in memory.

Keywords: memristor, self-directed channel, I-V characteristic, hysteresis.