

**Յ.Տ. ՄԿՐՏՄՅԱՆ, Դ.Ա. ԿԱՐԴԱՏՅԱՆ**

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
ПАРАМЕТРОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ**

Исследована задача измерения электрических параметров биологических жидкостей. Кратко представлен объект измерения. Проведен сравнительный анализ методов измерения электрических параметров биологических жидкостей.

**Ключевые слова:** биологические жидкости, физико-химический анализ, рефрактометрия, электропроводимость.

**Z.S. MKRTUMYAN, G.A. KARDASHYAN**

**THE CURRENT STATE OF MEASURING THE ELECTRICAL  
PARAMETERS OF BIOLOGICAL FLUIDS**

The problem of measuring the electrical parameters of biological fluids has been investigated. The measurement object has been introduced briefly. A comparative analysis of the methods for measuring the electrical parameters of biological fluids is carried out.

**Keywords:** biological fluids, physical and chemical analysis, refractometry, electrical conductivity.

ՀՏԴ. 621.3.083

**Ջ.Ս. ՄԿՐՏՈՒՄՅԱՆ, Գ.Ա. ԿԱՐԴԱՇՅԱՆ**

**ՓՈՔՐ ՀՈՍԱՆՔՆԵՐԻ ՃՇԳՐԻՏ ՉԱՓՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ ԵՎ ՍԱՐՔԵՐ**

Ուսումնասիրվել են փոքր հոսանքների չափման մեթոդները: Ներկայացվել են փոքր հոսանքների գոյություն ունեցող չափիչ սարքերի պարամետրերն ու հնարավորությունները: Գնահատվել է կենսաբանական հեղուկների էլեկտրական պարամետրերի ճշգրիտ չափման մեթոդների մշակման անհրաժեշտությունը:

**Առանցքային բաներ.** փոքր հոսանքներ, կենսաբանական հեղուկներ, էլեկտրահաղորդականություն, հոսանք, լարում, դիմադրություն:

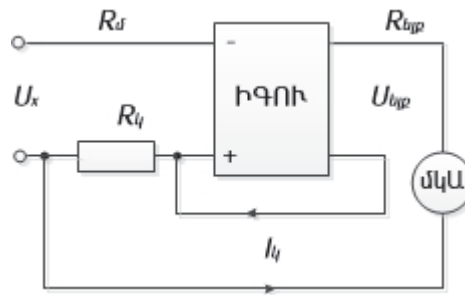
**Ներածություն:** Փոքր հոսանքների չափումը մեծ նշանակություն ունի գիտության և տեխնիկայի տարբեր ոլորտներում՝ ջերմության չափման, կուլոնաչափական, մեկուսացման դիմադրությունների չափման և այլն: Փոքր հոսանքների չափման առանձնահատկություններից է ազդանշանի աղբյուրի շատ փոքր հզորությունը [1]:

Փոքր հոսանքների աղբյուրներն ունեն բավականին մեծ ներքին դիմադրություն՝  $10^{16}$ -ից մինչև  $10^{18}$  Օմ, որոնք ստեղծում են  $10^{-6}$ -ից  $10^{-16}$  Ա հոսանք: Գործ-

նականում փոքր են համարվում այն հոսանքները, որոնց արժեքը չի գերազանցում 1 մկԱ [2]:

Փոքր հոսանքների չափման սարքերի՝ էլեկտրամետրերի կատարելագործման խնդիրը արդիական է մինչ օրս: Պիկոամպերների կարգի հոսանքների չափման դեպքում կիրառում են գալվանաչափներ, որոնք ունեն բարդ կառուցվածք, կարող են վնասվել տեղափոխման ընթացքում և դժվարությամբ են կարգաբերվում: Ուստի, ֆեմտոամպերներ չափելիս այս սարքերից հրաժարվեցին: Փորձել են ստեղծել ֆեմտոամպերաչափներ՝ կիրառելով հատուկ էլեկտրոնային լամպեր և, ավելի ուշ՝ տրանզիստորներ:

Ներկայումս փոքր հոսանքների չափման համար լայն տարածում են ստացել ինտեգրալային օպերացիոն ուժեղարարներով, բացասական հետադարձ կապով կոմպենսացիոն սխեմաները: Նկ. 1-ում բերված է հաջորդական հետադարձ կապով փոքր հոսանքների չափման կոմպենսացիոն սխեման [3]:

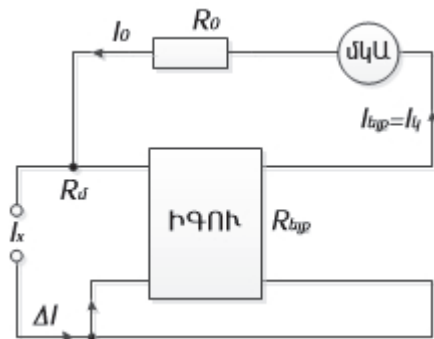


Նկ. 1. Հաջորդական հետադարձ կապով փոքր հոսանքների չափման կոմպենսացիոն սխեման

Երբ այս սխեմայում ուժեղարարը համարվի իդեալական՝ անվերջ մեծ ուժեղացման գործակցով,  $\Delta U_x=0$  և չափվող հոսանքի համար կստանանք.

$$I_{\text{էլ}} = U_x / R_{\text{դ}}:$$

Փոքր հոսանքների չափման համար առավել հաճախ օգտագործում են բացասական հետադարձ կապով միկրոամպերների (նկ.2) կերպափոխման սխեմաները [3]:



Նկ. 2. Փոքր հոսանքները միկրոամպերների կերպափոխման սխեման

Ներկայումս կան մի շարք սարքավորումներ, որոնցով կարելի է իրականացնել բարձր զգայնությամբ և ճշգրտությամբ չափումներ:

Օրինակ՝ Keithley, Keysight Technologies, Sefelec և այլ կազմակերպություններ կարողացել են ստեղծել փոքր հոսանքներ չափող սարքերի՝ պիկոամպերաչափների սերունդ, որոնք ունեն բարձր ճշգրտություն և զգայնություն մինչև 10 ֆեմտոամպեր ( $1 \cdot 10^{-15}$ ): Այդ բոլոր սարքերն ունեն մուտքային շատ փոքր լարում և չափման լայն տիրույթ: Այդ ամենից բացի, այս սարքերը արագագործ են (օրինակ՝ Keithley 6485 մոդելը հնարավորություն ունի մեկ վայրկյանում իրականացնելու 1000 չափում):

Պիկոամպերաչափները հիմնականում օգտագործվում են հետևյալ ոլորտներում.

1. նյութագիտություն և էլեկտրոնային բաղադրիչների ուսումնասիրություն, այդ թվում՝ նաև տեսակարար դիմադրության և արտահոսքի հոսանքի չափումները,

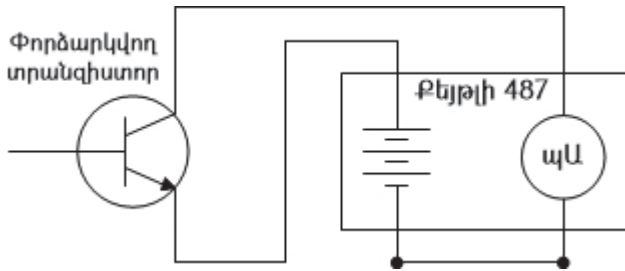
2. մեկուսացման դիմադրությունների չափումը,
3. էլեկտրոնային սարքերի վոլտ-ամպերային բնութագրի որոշումը,
4. ֆոտոդիոդների հոսանքների չափումը,
5. սպեկտաչափների և ֆյուրաչափների հոսանքների չափումը,
6. տվիչների բնութագրերի ստացումը,
7. ուսումնական լաբորատորիաներ և այլն:

Աղյուսակում բերված է ժամանակակից պիկոամպերաչափների համեմատական վերլուծությունը [4,5,6]:

№	Մոդել	Չափման տիրույթ	Չափման ճշգրտություն,	Չանգված, կգ	Չափսեր(մմ),	Գին, \$
1	Keithley 6485	10 ՖԱ – 20 մԱ	0,1 %	2,8	90x214x369	1930
2	Keithley 6487	10 ՖԱ – 20 մԱ	0,1 %	4,7	90x214x369	4330
3	Keithley 6482	1 ՖԱ – 20 մԱ	0,1 %	23,1	90x214x369	4420
4	Keithley 2500	1 ՖԱ – 20 մԱ	0,1 %	23,1	89x213x 370	8140
5	Keithley 6430	10 աԱ – 100մԱ	0.055%	5,9	89x213x460	15100
6	Keithley 6514	100 աԱ – 20մԱ	0,1 %	4,6	90x214x369	5310
7	Keithley 6517B	100 աԱ – 20մԱ	0,1 %	5,4	90x214x369	8110
8	Keithley 2000	10 նԱ – 3 Ա	0.1 %	2,9	89x213x 370	1140
9	МНИПИ А2-4	10 ՖԱ – 1 սԱ	0,1 %	3,5	105x284x366	2269
10	МНИПИ А2-1	3 ՖԱ – 1 մԱ	0,15%	1,6	87x220x300	-
11	ПРИНЦИП В7-49	1 ՖԱ – 1 սԱ	0,1 %	3,2	340x240x100	1413
12	ПРИНЦИП В7-45	10 ՖԱ – 100 նԱ	0,05%	14	495x140x390	1,099
13	ПРИНЦИП В7-57/1	2 ՖԱ – 10 սԱ	0,15%	3,8	240x100x350	6085
14	ПРИНЦИП В7-57/2	10 աԱ – 10 մկԱ	0,25 %	3,8	240x340x100	1392
15	ПРИНЦИП В7-57/3	10 ՖԱ – 10 սԱ	0,15 %	3,8	240x340x100	1078
16	ПРИНЦИП В7Э-45	1 ՖԱ – 0,1 Ա	0,25%	12	480x475x120	6217
17	ПРИНЦИП В727-А	1 նԱ – 200 մԱ	0,4 %	6	228x120x307	188
18	ПРИНЦИП В7-78/1	10 նԱ – 3 Ա	0,05 %	4,3	210x85x350	1093
19	ПРИНЦИП В7-41	100 նԱ – 10 Ա	0,4 %	0,5	50x90x178	188
20	GDM 78255A	10 նԱ – 10 Ա	0,012%	2,6	265x107x350	894
21	АВМ 4402	10 նԱ – 10 Ա	0,012%	3,5	353x210x99	829
22	AGILENT 34410A	0,1 նԱ – 3 Ա	0,15 %	3,7	88,5x213x272	1911
23	МНИПИ В7-77	100 նԱ – 10 Ա	0,25 %	2,2	80x220x300	712
24	Keysight B2981A	0,01 ՖԱ – 20 մԱ	0,01 %	4,3	88x213x348	6334
25	Keysight B2983A	0,01 ՖԱ – 20 մԱ	0,01 %	4,9	88x213x348	8446
26	Keysight B2985A	0,01 ՖԱ – 20 մԱ	0,01 %	4,5	88x213x348	9185
27	Keysight B2987A	0,01 ՖԱ – 20 մԱ	0,01 %	5,1	88x213x348	11274
28	Sefelec M1501M	0,01 սկԱ – 20 մԱ	0,2 %	10	131x344x332	-
29	Sefelec M1501P	0,01 սկԱ – 20 մԱ	0,2 %	10	131x343x332	-
30	Sefelec M1501U	50 սկԱ – 3 մԱ	0,2 %	10	131x343x332	-

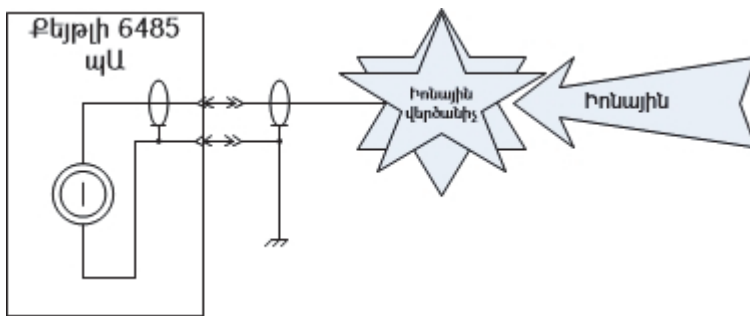
Ստորև բերված են պիկոամպերաչափների կիրառման տիպային օրինակներ:  
 Դաշտային տրանզիստորների արտահոսքի հոսանքներն են՝ բաց բազայի դեպքում կոլեկտորի ու էմիտորի միջև հոսանքը և բաց էմիտորի դեպքում՝ բա-

զայի ու կոլեկտորի հոսանքը: Այս հոսանքները չափելու համար տրանզիստորի երկու բնիկներին հաղորդում են լարում, ընդ որում, երրորդ մուտքը մնում է բաց, այնուհետև չափում են առաջացած հոսանքը (նկ.3) [4]:



Նկ. 3. Տրանզիստորների արտահոսքի հոսանքների սպուգումը

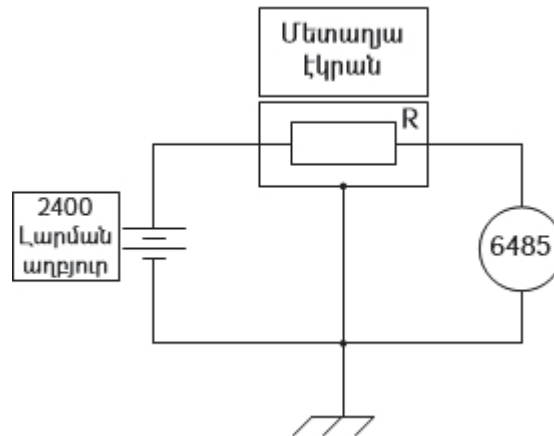
Կիսահաղորդիչների արտադրությունում հաճախ օգտագործվում են իոնային խրձերը, որոնք կիրառվում են նանոմակարդակների վրա պատկերներ ստանալիս և թիթեղների նախագծման ու միկրոմշակման դեպքում: Այդ տեխնոլոգիաների համար կրիտիկական է իոնային խրձերի հոսանքի արժեքի մոնիթորինգը իոնային դետեկտորների միջոցով: Իոնային դետեկտորը առաջացնում է երկրորդային հոսանք, որն ուղիղ համեմատական է իոնային խրձի առաջնային հոսանքին: Երկրորդային հոսանքի չափումը հնարավորություն է տալիս կառավարել իոնային խրձի առաջնային հոսանքը (նկ.4) [4]: Սակայն երկրորդային հոսանքի արժեքը լինում է շատ փոքր՝ պիկոամպերների կարգի: Հետևաբար, չափիչ սարքին ներկայացվող պահանջները խստանում են, այդ թվում՝ չափման ճշգրտությունը և բարձր կարգայնությունը:



Նկ. 4. Կենտրոնացված իոնային խրձերի մոնիթորինգը և հսկումը

Մեծ դիմադրությունների չափումն իրականացվում է նկ.5-ում բերված սխեմայով: Պիկոամպերաչափի վրա լարման անկումը կարելի է անտեսել, հետևաբար՝ շղթայում լարման անկումը կարելի է համարել միայն անհայտ դիմադրության վրա: Շղթայով անցնող հոսանքը չափվում է պիկոամպերաչափով, իսկ

դիմադրությունը որոշվում է Օհմի օրենքի համաձայն: Էլեկտրաստատիկ հոսանքներից խուսափելու համար անհայտ դիմադրությունը էկրանավորվում է:



Նկ. 5. Մեծ դիմադրությունների չափումը

**Եզրակացություն:** Չնայած գոյություն ունեցող սարքերի մեծ տեսականուն, դրանք հարմարեցված չեն կենսաբանական հեղուկների ուսումնասիրման համար: Բոլոր սարքերը կիրառվում են տարբեր խնդիրների հետազոտման համար: Այդ պատճառով կենսաբանական հեղուկների հետազոտման համար ներկայումս հիմնականում կիրառում են ֆիզիկաքիմիական մեթոդները, ուստի արդիական է նոր մեթոդների և միջոցների ստեղծման անհրաժեշտությունը, որոնք ճշգրիտ չափումների միջոցով հնարավորություն կտան ուսումնասիրել կենսաբանական հեղուկների հատկությունները:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Александров В.С., Прянишников В.А.** Приборы для измерения малых напряжений и тока.- Л.: Энергия, 1974.- 184с.
2. **Александров В.С., Прянишников В.А.** Электронные гальванометры постоянного тока.- Л.: Энергия, 1974. -168с.
3. **Афонский А.А., Дьяконов В.П.** Электронные измерения в нанотехнологиях и в микроэлектронике/ Под ред. проф. В.П. Дьяконова.- М.: ДМК пресс, 2011.- 541с.
4. <http://www.tek.com/keithley>
5. <http://www.keysight.com/main/home.jsp?cc=AM&lc=eng>
6. <http://www.sefelec.com/>

**Յ.Տ. ՄԿՐՏՄՅԱՆ, Դ.Ա. ԿԱՐԺԱՏՅԱՆ**

**ՏՈՇՆԻԵ ՄԵՏՈԴՆԵ Ի ՔՐԻԲՈՐՆԵ ԴՐՅԱ ԻՅՄԵՐԵՆԻԱ ՄԱԼՅՆ ԽՕՔՈՎ**

ԻՅՏԵԴՈՎԱՆ ՄԵՏՈԴՆԵ ԻՅՄԵՐԵՆԻԱ ՄԱԼՅՆ ԽՕՔՈՎ. ՔՐԵՏԱՎԱՆԵՆ ՔԱՐԱՄԵՐՆԵ Ի ՎՕՅՄՈՋՈՒՄՆԻ ՏՍԵՑՏՎՈՅՈՒՄՆԻ ԻՅՄԵՐԻՏԵԼԵՆ ՄԱԼՅՆ ԽՕՔՈՎ. ՕԲՏՈՎՈՎԱՆ ՆԵՕԲԽՈԴԻՄՈՒՄՆԵ ՐԱԶՐԱԲՈՒԿԻ ՏՈՇՆԻԵ ՄԵՏՈԴՆԵ ԻՅՄԵՐԵՆԻԱ ԷԼԵՔՏՐԻՇԵՍԿԻ ՔԱՐԱՄԵՐՆՈՎ ԲԻՕԼՈԳԻՇԵՍԿԻ ՋԻԴՔՈՏԵԻՆ.

**ԿլոՇեՎե ՏՎՈՎԱ:** մալե ռոՕԻ, ԲԻՕԼՈԳԻՇԵՍԿԻ ՋԻԴՔՈՏԻ, ԷԼԵՔՏՐՈՎՐՈՎԻԴՈՒՄՆԵ, ռոՕ, ՆԱՐՅՈՋԵՆԻԵ, ՏՐՈՒՎԻԼԵՆԻԵ.

**Z.S. MKRTUMYAN, G.A. KARDASHYAN**

**ACCURATE METHODS AND DEVICES FOR THE LOW CURRENT MEASUREMENT**

Methods for the low current measurements are investigated. The parameters and capabilities of the existing low current measuring devices are introduced. The need to develop accurate methods for measuring the electrical parameters of biological fluids is substantiated.

**Keywords:** low currents, biological fluids, electric conductivity, current, voltage, resistance.