

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 5.01.1948 г.
Выходит 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ (գլխավոր խմբագիր), Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ (գլխ. խմբ. տեղակալ),
Զ.Կ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ (պատասխանատու քարտուղար), Ս.Գ. ԱԴԲԱԼՅԱՆ, Ռ.Վ. ԱՌՈՅԱՆ,
Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ, Ա.Խ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ժ.Դ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ,
Ս.Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ռ.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ,
Վ.Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ, Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Ա.Թ. ՔՈՒՉՈՒԿՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. МАРТИРОСЯН (главный редактор), А.А. ТЕРЗЯН (зам. глав. редактора),
З.К. СТЕПАНЯН (ответственный секретарь), С.Г. АГБАЛЯН, Р.В. АТОЯН,
В.В. БУНИАТЯН, А.Х. ГРИГОРЯН, Ж.Д. ДАВИДЯН, С.П. ДАВТЯН, С.М. КАЗАРЯН,
А.Т. КУЧУКЯН, В.З. МАРУХЯН, Ю.Л. САРКИСЯН, В.С. САРКИСЯН,
В.С. САФАРЯН, С.О. СИМОНЯН, М.Г. СТАКЯН

EDITORIAL BOARD

R.M. MARTIROSSYAN (editor-in-chief), H.A. TERZYAN (vice-editor-in-chief),
Z.K. STEPANYAN (executive secretary), S.G. AGHBALYAN,
R.V. ATOYAN, V.V. BUNIATYAN, Zh.D. DAVIDYAN,
S.P. DAVTYAN, S.M. GHAZARYAN, A.Kh. GRIGORYAN, A.T. KUCHUKYAN,
V.Z. MARUKHYAN, YU.L. SARGSYAN, V.S. SARKISSYAN, V.A. SAFARYAN,
S.H. SIMONYAN, M.G. STAKYAN

Հրատ. խմբագիր՝

Ժ.Ս. ՍԵՅՐԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝

Հ.Յ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

Ա.Կ. ՊՈՂՈՍՅԱՆ, Ա.Ն. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Կ.Վ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՊՈԼԻՄԵՐԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՇՓԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Հակաշփական պոլիմերային նյութերի շփման ընթացքում մակերևութային շերտերում ընթացող շփաքիմիական պրոցեսների վերլուծությամբ հաստատված է, որ դրանց ջերմա- և շփակազմալուծումն ընթանում է հիմնականում միամոլեկուլային մասնիկների առաջացմամբ, որոնք պոլիմերների շղթայում ապապոլիմերացման կամ ցածրամոլեկուլային բեկորների արդյունք են, ինչն ուժգնանում է սահքի արագության աճի հետ մեկտեղ:

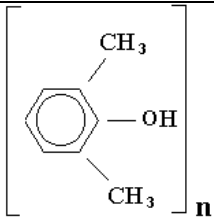
Առանցքային բառեր. պոլիմեր, շփաքիմիական պրոցես, ջերմա- և շփակազմալուծում, մաշակայունություն:

Պոլիմերային նյութերի շփագիտության բնագավառում կատարված հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ գոյություն ունի ֆունկցիոնալ փոխադարձ կապ պոլիմերների կարևորագույն շահագործման բնութագրերի և մակերևութների շփահպման տեղամասում ընթացող շփաքիմիական պրոցեսների միջև: Այդ պրոցեսների օրինաչափությունների բացահայտումն ու դրանց հիման վրա պոլիմերների կառուցվածքի և հատկությունների կառավարման մեթոդների զարգացումը գիտական մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում ժամանակակից մաշակայուն հակաշփական կոմպոզիտային պոլիմերային նյութերի նպատակային մշակման տեսանկյունից [1-4]:

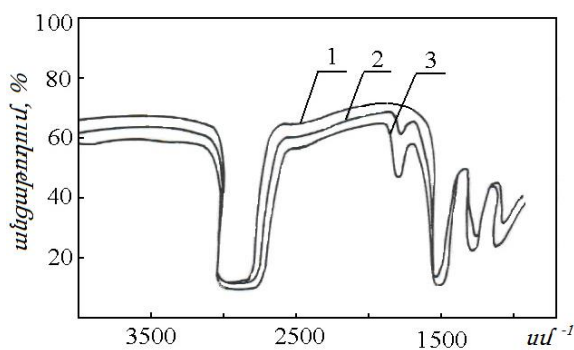
Որպես հետազոտման առարկա ընտրվել են հետևյալ ջերմապլաստիկ հակաշփական պոլիմերային նյութերը (աղ.1), որոնք արտադրվում են մեծ քանակներով և ունեն լայն կիրառություն մեքենաշինության ու սարքաշինության մեջ որպես սահքի առանցքակալներ, փոքրամոդուլ ատամնանիվներ, ուղղորդիչներ և այլն:

Պոլիմերային նյութերի մակերևութային շերտերում ընթացող շփաքիմիական պրոցեսների ուսումնասիրությունն իրականացվել է կառուցվածքային շփամեխանիկայի մեթոդներով: ՖԴՀ մակերևութային շերտերի վիճակային վերլուծությունը ցույց է տալիս (նկ. 1), որ ինֆրակարմիր սպեկտրում, մինչև շփումը, առկա է զգալի կլանման շերտ 1050 սմ^{-1} տիրույթում, ինչը համապատասխանում է պոլիֆորմալդեհիդի C–O–C վալենտային տատանմանը:

Հետազոտվող հակաշփական պոլիմերների կառուցվածքային բանաձևերը

Պոլիմեր	Շղթայի կառուցվածքը
Ֆորմալդեհիդի և դիօքսոլանի համապոլիմեր (ՖԴՀ)	$\text{CH}_2 - (\text{O} - \text{CH}_2)_n - \text{O} (\text{CH}_2 - \text{CH}_2)_m - \text{O} - \text{CH}_2\text{OH}$
Պոլիամիդ 6 (ՊԱ-6)	$[- \text{NH} - (\text{CH}_2)_5 - \text{CO} -]_n$
Պոլիամիդ 66 (ՊԱ-66)	$[\text{NH} - (\text{CH}_2)_6 - \text{NH} - \text{CO} - (\text{CH}_2)_4 - \text{CO}]_n$
Պոլիֆենիլօքսիդ (ՊՖՕ)	

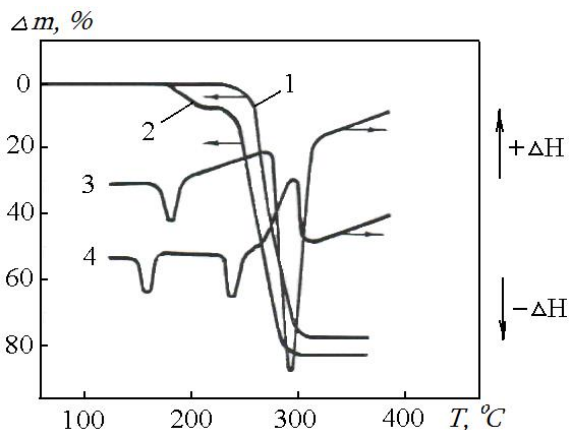
Շփումից հետո, նույնիսկ համեմատական փոքր արագությունների ($V \leq 1$ մ/վ) պայմաններում, նկատվում է այդ շերտի ուժգնության նվազում և նոր կլանման շերտի առաջացում 1720 սմ^{-1} տիրույթում, ինչը համապատասխանում է կարբոնալ խմբերի վալենտային տատանմանը և վկայում է շփաօքսիդացման պրոցեսների առկայությունը, որոնք ավելի են ակտիվանում շփման արագության աճի հետ մեկտեղ ($V \geq 1,5$ մ/վ): Ուստի և շփման բարձր արագությունների պայմաններում ընթանում են շփաօքսիդացման պրոցեսներ, որոնք նպաստում են պոլիմերի մակրոմոլեկուլի տրոհմանն ու կարբոնալ միացությունների առաջացմանը, ինչը հանգեցնում է պոլիմերի մաշման զգալի աճին:



Նկ. 1. ՖԴՀ ինֆրակարմիր սպեկտրները մինչև շփումը (1) և շփումից հետո (2, 3) սահմի 1,0 և 1,5 մ/վ արագությունների պայմաններում

ՖԴՀ մակերևութային շերտերի ջերմաձանրաչափային և դիֆերենցիալ ջերմալին ուսումնասիրությունը (նկ. 2) բացահայտում է նախնական փորձանմուշի (կոր 3) էնդոթերմային երկու գագաթների առկայությունը համապատասխանաբար 170 $^{\circ}\text{C}$ և

295 °C ջերմաստիճանների համար: Համեմատաբար կոշտ շփման պայմաններում ($V = 1,5$ մ/վ) դիտվում է ջերմաձանրաչափական երևույթների և զանգվածի կորստի տեղաշարժ դեպի ցածրաջերմաստիճանային տիրույթ (4 և 3 կորեր): Սա կարող է վկայել ցածրամոլեկուլային մասնիկների առկայության, իսկ էկզոթերմիկ գագաթի առաջացումը 280 °C դեպքում՝ պոլիմերի քիմիական զգալի փոփոխության մասին:



Նկ. 2. ՖԴՀ մակերևութային շերտերի ջերմաձանրաչափային (1, 2) և դիֆերենցիալ ջերմային (3, 4) կորերը մինչև շփումը (1, 3) և շփումից հետո (2, 4) ($V = 1,5$ մ/վ և $P_a = 0,2$ ՄՊա)

Պոլիմերների մակերևութային շերտերում ընթացող շփաքիմիական պրոցեսների հետագա ուսումնասիրությունը կատարվել է մինչև շփումը և 6 ժամ շփումից հետո, իսկ ջերմա- և շփակազմալուծման մասնիկներն ու միացության կառուցվածքը բերված են աղ. 2-ում:

Աղյուսակ 2

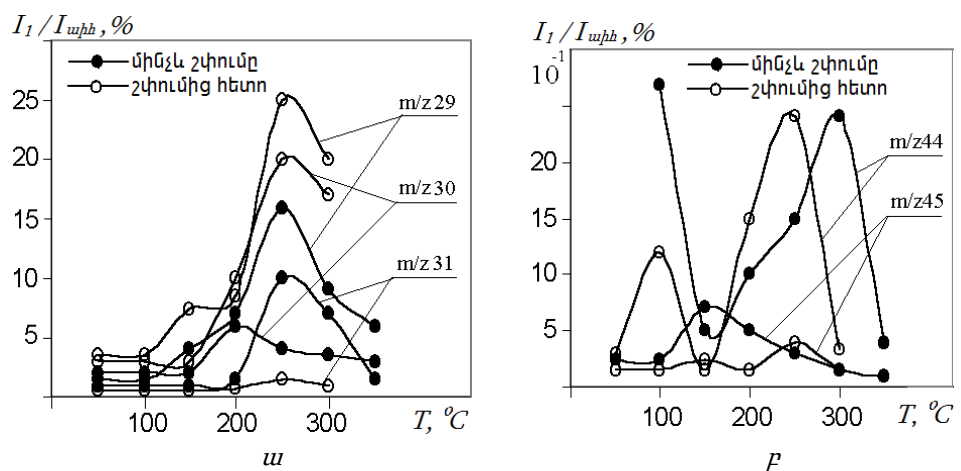
ՖԴՀ ջերմա- և շփակազմալուծման մասնիկներն ու միացության կառուցվածքը	
Մասնիկ (m/z)	Միացության կառուցվածքը
29	- CH - O
30	- CH ₂ - O
31	- CH ₂ - OH
44	- CH ₃ - O - CH
45	- CH ₃ - OH - CH
100	CH = CH ₂ - O - CH ₂ - OCH = CH ₂
104	OH - (CH ₂ - O) ₂ - CH = CH ₂
177	-CH ₂ - O - (CH ₂ - O) ₄ - CH = CH ₂

ՖԴՀ ջերմա- և շփակազմալուծման պրոցեսն ընթանում է հիմնականում միամոլեկուլային մասնիկների (m/z 29, 30, 31, 44, 45) առաջացմամբ, որոնք համապոլիմերի շղթայում օքսիմեթիլային (m/z 29, 30, 31) և օքսիէթիլային (m/z 44, 45) բեկորների

ապապոլիմերացման, ինչպես նաև ցածրամոլեկուլային (m/z 100, 104, 177) բեկորների առաջացման արդյունք են: Նշված մասնիկների առավելագույն անջատումը դիտվում է 200...250 °C:

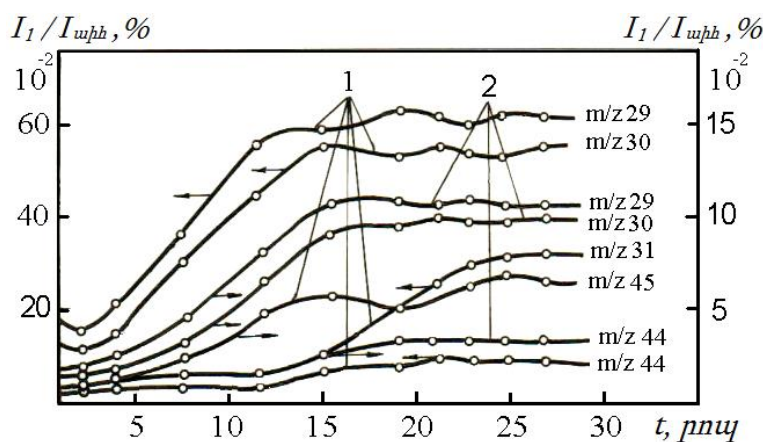
Մակերևութային շերտի վիճակային վերլուծությունը 6 ժամ շփումից հետո վկայում է, որ մասնիկների ուժգին անջատման պրոցեսը տեղաշարժվում է դեպի ցածրաջերմաստիճանային տիրույթ, ինչպես նաև նկատվում է m/z 29 և m/z 30 մասնիկների քանակի ավելացում՝ նախնական փորձանմուշի հետ համամատասած: Դա նշանակում է, որ շփման ժամանակ առաջանում է ցածրամոլեկուլային մասնիկներ պարունակող «երկրորդային» կառուցվածք, իսկ m/z 31 մասնիկների առաջացման ուժգնության զգալի նվազումը կարող է պայմանավորված լինել ցածրամոլեկուլային մասնիկների քայքայման առանձնահատկություններով, մասնավորապես՝ դիտվում է -CH₂-OH մասնիկների քանակական նվազում: Միևնույն ժամանակ, օքսիդիլային բեկորների (m/z 44, 45) առաջացման ուժգնությունը պահպանվում է նախնական նմուշի մակարդակին, ինչը կարող է բացահայտվել քայքայման նկատմամբ դրանց ավելի բարձր կայունությամբ: Նշված մասնիկների առաջացման բնութագրերը պատկերված են նկ. 3-ում:

Կատարված հետազոտությունները բացահայտում են շփաքիմիական պրոցեսների բնույթը՝ պայմանավորված հիմնականում պոլիմերների ապապոլիմերացման երևույթով, ինչն ուժգնանում է սափքի արագության աճի հետ մեկտեղ: Ընտրված շփման պայմաններում համապոլիմերի շփակազմալուծման m/z 29 և 30 մասնիկները վկայում են օքսիմեթիլային կապերի ապապոլիմերացման մասին: Շփման ցածր արագությունների դեպքում ($V = 0,2$ մ/վ) նկատվում է օքսոլանային մասնիկների անջատման ուժգնության համեմատական աճ (նկ. 4):



Նկ. 3. ՖՂՇ ջերմակազմալուծման մասնիկների m/z 29, 30, 31 (ա) և m/z 44, 45 (բ) առաջացման կինետիկան մինչև շփումը և շփումից հետո

Կարելի է ենթադրել, որ շփման համեմատաբար փափուկ պայմաններում շփաքիմիական պրոցեսներն ընթանում են հիմնականում համապոլիմերի ամորֆ կառուցվածքում: Ավելի կոշտ շփման պայմաններում, երբ նվազում են պոլիմերային մակերևութային շերտի ջերմաֆիզիկական և ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները, m/z 29 և 30 մասնիկների անջատման ուժգնությունն աճում է, ինչը նպաստում է m/z 44 և m/z 29, 30 հարաբերակցության մեծացմանը մինչև 1:6: Վերը նկարագրված շփակազմալուծման մեխանիզմը, կոշտ շփման պայմաններում, նպաստում է ցածրամոլեկուլային մասնիկներ պարունակող մակերևութային շերտերի «երկրորդային» կառուցվածքի առաջացմանը [5]:



Նկ. 4. Համապոլիմերի շփակազմալուծման հիմնական մասնիկների անջատման կինետիկան 0.6 (1) և 0.2 մ/վ (2) արագությունների դեպքում

Այսպիսով, պոլիմերային նյութերի շփման ժամանակ մակերևութային շերտերում ընթացող շփաքիմիական պրոցեսների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ֆորմալդեհիդի և դիօքսուլանի համապոլիմերի ջերմա- և շփակազմալուծումն ընթանում է հիմնականում միամոլեկուլային մասնիկների (m/z 29, 30, 31, 44, 45) առաջացմամբ, որոնք համապոլիմերի շղթայում օքսիմեթիլային և օքսիէթիլային բեկորների ապապոլիմերացման կամ ցածրամոլեկուլային բեկորների (m/z 100, 104, 177) առաջացման արդյունք են: Պոլիամիդների մաշման ուժգնությունը կախված է ամիդային կապի α -մեթիլային խմբով ընթացող շփակազմալուծման արագությունից, իսկ $\text{NH}-\text{CH}_2$ - կապի կազմալուծման հավանականության իջեցումը նպաստում է նյութերի մաշակայունությանը: Պոլիֆենիլօքսիդի ջերմա- և շփակազմալուծումն ընթանում է հիմնականում երկփուլային ջերմաստիճանային (200 և 450 °C) տիրույթներում. 200 °C դեպքում պրոցեսն ուղեկցվում է քսիլոլի (m/z 106) և տոլուոլի (m/z 91) անջատումով, իսկ 450 °C դեպքում՝ m/z 107 և m/z 122 մասնիկների առաջացմամբ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Трение и износ материалов на основе полимеров / В.А. Белый, А.И. Свириденко и др. - Минск: Наука и техника, 1976.- 431 с.
2. Полимеры в узлах трения машин и механизмов: Справочник / Под ред. А.В. Чичинадзе.- М: Машиностроение, 1980.- 208 с.
3. **Погосян А.К.** Трение и износ наполненных полимерных материалов. – М.: Наука, 1977. - 138 с.
4. **Ениколопян Н.С., Вольфсон С.А.** Химия и технология полиформальдегида.- М.: Химия, 1968.- 279 с.
5. **Погосян А.К., Карапетян А.Н., Оганесян К.В.** Трибохимические процессы и их влияние на фрикционные свойства антифрикционных полимеров // Тр. Межд. конф. ПОЛИКОМТРИБ-2013. - Гомель, 2013. - С.184.

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութեր ներկայացվել է խմբագրություն 30.01.2014:

А.К. ПОГОСЯН, А.Н. КАРАПЕТЯН, К.В. ОГАНЕСЯН **ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ** **АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Анализом протекающих в поверхностных слоях трибохимических процессов при трении антифрикционных полимерных материалов установлено, что их термо- и трибораспад происходит в основном при возникновении мономолекулярных продуктов, являющихся результатом деполимеризации или низкомолекулярных фрагментов в цепи полимера, что усиливается одновременно с повышением скорости скольжения.

Ключевые слова: полимер, трибохимический процесс, термо- и трибораспад, износостойкость.

A.K. POGOSIAN, A.N. KARAPETYAN, K.V. HOVHANNISYAN **INVESTIGATING THE TRIBOCHEMICAL PROCESSES OF** **ANTIFRICTION POLYMER MATERIALS**

By the study of tribochemical processes in superficial layers at the friction of antifriction polymer materials, it is determined that their thermal and tribodestruction mostly takes place in case of formation of monomolecular particles which are, the result of depolymerization or low molecular fragments in the polymer chain which intensifies simultaneously with the increase in the sliding velocity.

Keywords: polymer, tribochemical process, thermal and tribodestruction, wear resistance.

Հ.Վ. ԾՈՒՂՈՒՆՅԱՆ, Լ.Ս. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՆԵՐԿԱ ՎԻՃԱԿԸ ԵՎ
ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՈՒՂՂՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՏԱՐԱԾԱՇՐՋԱՆԱՑԻՆ
ԻՆՏԵԳՐՄԱՆ ՆԱԽԱԳԾԵՐԻ ՀԱՄԱՏԵՔՍՈՒՄ**

Վերլուծված են Հայաստանի էլեկտրաէներգետիկական համակարգի զարգացման հարցերը, բացահայտվել են ՀՀ էներգետիկ ոլորտի երկարաժամկետ զարգացման հիմնական նախադրյալները տարածաշրջանային ինտեգրացման համատեքստում, և առաջարկվել են դիտարկվող խնդիրների լուծման ուղղություններ:

Առանցքային բառեր. էլեկտրաէներգետիկա, էներգետիկական անվտանգություն, էներգետիկական ռեսուրսներ:

Հայաստանի Հանրապետության էլեկտրաէներգետիկական համակարգում էլեկտրաէներգիայի արտադրությունը հիմնականում ապահովվում է ՋԷԿ-երի, ԱԷԿ-ի և ՀԷԿ-երի շնորհիվ: Ընդ որում՝ հայկական ԱԷԿ-ի մասնաբաժինն էներգիայի արտադրության մեջ կազմում է 40...43%, Հրազդանի և Երևանի ՋԷԿ-երի գումարային մասնաբաժինը՝ 25...30%, ՀԷԿ-երին (Միջազգային էներգետիկական կորպորացիա (ՄԷԿ), Որոտան, ՁորաՀԷԿ) բաժին է ընկնում էներգիայի ընդհանուր արտադրության 27%-ը: Վերջին տարիներին շահագործման են հանձնվել Երևանի նոր և Հրազդանի 5-րդ էներգաբլոկների շոգեգազային տեղակայանքները: 2008թ. շահագործման է հանձնվել Լուսակերտի կենսագազային էլեկտրակայանը, գործում են նաև փոքր ՀԷԿ-եր և «Լոռի-1» հողմակայանը (աղ.):

Հանրապետության էլեկտրաէներգետիկական համակարգի հետագա զարգացումը կախված է նաև տարածաշրջանային ինտեգրացման և էլեկտրաէներգիայի արտահանման/ներկրման հնարավորություններից: Խնդրի նման դրվածքի պարագայում փորձենք վերլուծել և գնահատել մեր տարածաշրջանի երկրների էլեկտրաէներգետիկական համակարգերի և ՀՀ էլեկտրաէներգետիկական համակարգի ներկա իրավիճակը:

Հարավային Կովկասի երկրներին, Իրանին և Թուրքիային վերաբերող նյութերի վերլուծությունը վկայում է այն մասին, որ այդ երկրներն ընտրել են էլեկտրաէներգետիկական համակարգերի զարգացման ինքնաբավարարման սկզբունքը, որը անխուսափելիորեն կհանգեցնի ներկայիս էներգահաշվեկշռի մեզ համար անցանկալի փոփոխությանը [1]: Բացի դրանից, Կասպից ծովի ավազանի էներգետիկ ռեսուրսները կարտահանվեն Հայաստանի տարածքը շրջանցող արևելք-արևմուտք վառելիքատրանսպորտային մայրուղիներով՝ հանգեցնելով Հայաստանի դերակատարության նվազմանը՝ էլեկտրաէներգիայի արտահանման տեսանկյունից:

Ապագայում տարածաշրջանում ի հայտ կգա բավականին կոշտ մրցակցություն՝ էներգետիկ շուկայում գործունեություն ծավալելու համար, և ակնհայտ է, որ քաղաքական ու տնտեսական առավելություն կստանա այն երկիրը, որը բարձր տեմպերով կկարողանա իրականացնել իր զարգացման ծրագրերը՝ հատկապես արտահանման կողմնորոշում ունեցող և բարձր ավելացված արժեք ստեղծող ճյուղերում: Այլ կերպ ասած, այդ երկրների վարած քաղաքականության հիմքում պետք է դրված լինի արտասահմանյան ներդրումների համար գրավիչ քաղաքական-տնտեսական միջավայրի ստեղծումը: Վերջինս առանձնահատուկ նշանակություն է ստանում այնպիսի կապիտալատար ոլորտի զարգացման դեպքում, ինչպիսին էլեկտրաէներգետիկան է [2]: Գոյություն ունի տարածաշրջանային ինտեգրացմանը վերաբերող մեկ նկատառում ևս, համաձայն որի ապագայում տարածաշրջանային էներգետիկ շուկաների սպասարկման համար ծավալվելիք մրցակցության մեջ առաջնային տեղ կարող է զբաղեցնել այն երկիրը, որը կունենա ատոմային էլեկտրակայանում ոչ թանկարժեք բազիսային էլեկտրաէներգիա արտադրելու հնարավորություն, դրանով իսկ նվազեցնելով ՋԷԿ-երից օրգանական վառելիքի այրման արդյունքում արտանետվող վնասակար միացություններով շրջակա միջավայրի աղտոտումը և այդ արտանետումների համար բնապահպանական պարտադիր վճարների մեծությունը: Ակնհայտ է, որ տարածաշրջանում քաղաքական ու տնտեսական առավելություններ ստանալու նպատակով Հայաստանն առավել բարձր տեմպերով պետք է իրականացնի իր էներգետիկ զարգացման ծրագրերը: Հարևան Վրաստանը, որն այսօր ստեղծել է լայն հնարավորություններ թե՛ էլեկտրաէներգիայի արտահանման և թե՛ տարանցիկ արտահանման ծառայություններ մատուցելու գործում, հարուստ է սեզոնային հիդրոէներգետիկական ռեսուրսներով, բացառությամբ երկու խոշոր ՀԷԿ-երի, որոնց համար նախատեսվում է զգալի տարողությամբ ջրամբարների կառուցում: Սակայն, անգամ այս պարագայում, այդ ՀԷԿ-երի տարեկան աշխատաժամերի թիվը կկազմի 4000...5000 ժամ և հետևաբար՝ դրանք առավելագույնը կարող են հանդիսանալ կիսաբազիսային կայաններ: Այս վերջին դրույթները ևս մեկ անգամ ապացուցում են էլեկտրաէներգիայի արտադրության բազիսային հզորությունների ստեղծման անհրաժեշտությունը ՀՀ-ում՝ միննույն ժամանակ ապահովելով Հայաստանի էներգահամակարգի ներգրավումը ինչպես Կասպյան, այնպես էլ Սևծովյան երկրների միացյալ էներգահամակարգերում: Հայաստանի էլեկտրաէներգետիկական համակարգի արտադրող հզորությունները հիմնականում կառուցվել են՝ սկսած նախորդ դարի 60-ական թվականներից (բացառությամբ որոշ ՀԷԿ-երի): Ադ. 1-ում բերված են էլեկտրակայանների նախագծային և մնացորդային ռեսուրսների վերաբերյալ տվյալներ, որոնցից կարելի է եզրակացնել, որ այսօրվա դրությամբ մնացորդային ռեսուրսը կազմում է 1910 ՄՎտ՝ 3949 ՄՎտ նախագծային հզորության փոխարեն: Ընդ որում, Հայկական ԱԷԿ-ի մնացորդային ռեսուրսը, որը կազմում է 392 ՄՎտ, սպառվում է 2016թ.-ին: Փաստորեն, եթե անմիջապես չսկսվի

նոր արտադրող հզորությունների կառուցումը ՀՀ-ում, ապա 2016թ.-ին կունենաք միայն 1518 ՄՎտ տեղակայված հզորություն:

Հայաստանում էներգետիկայի զարգացումը հիմնված է մի շարք ռազմավարական ծրագրերի վրա, այդ թվում՝ էներգետիկայի ոլորտի զարգացման ռազմավարության (2007թ.), որը ձևակերպում է կայուն զարգացման և ազգային անվտանգության հայեցակարգերը՝ հաշվի առնելով հեռահար ռազմավարական նպատակները և ընդհանուր ուղղությունները:

Աղյուսակ

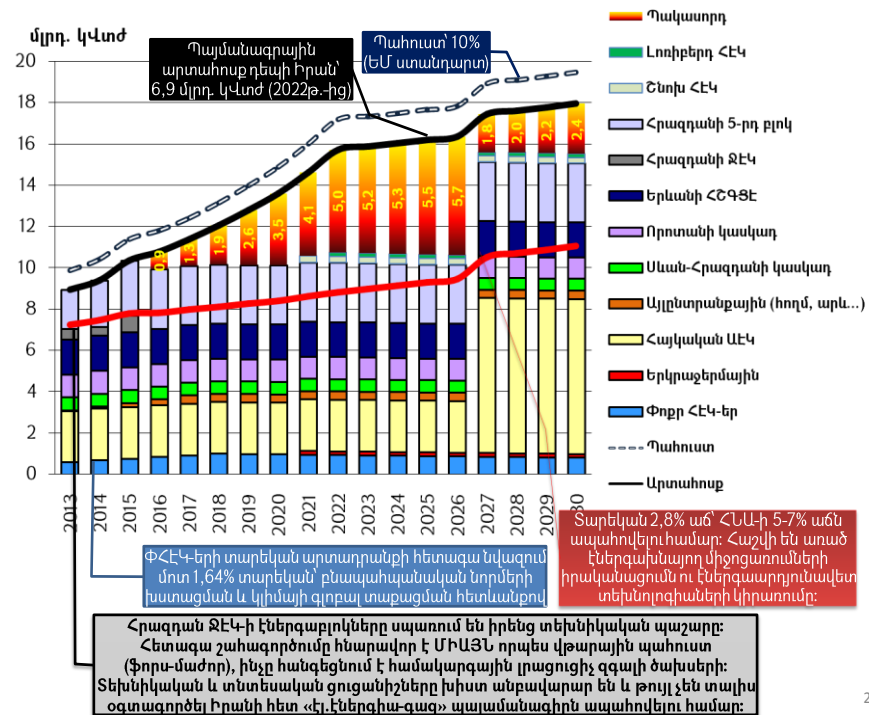
Էլեկտրակայանների նախագծային և մնացորդային ռեսուրսներ

Էլեկտրակայանների անվանումը		Գործարկման տարեթիվ	Նախագծային ռեսուրս	Մնացորդային ռեսուրս	Նախագծային տնօրինելի ռեսուրս	Մնացորդային հզորություն
ՀԱԷԿ		1980/1995	30	3	392	392
Հրազդանի ՋԷԿ հին ագրեգատներ		1966-1974	30	0	1110	0
Հրազդանի ՋԷԿ 5-րդ նոր բլոկ		2011	30	28	448	448
Երևանի ՋԷԿ հին ագրեգատներ		1963-1966	30	0	550	0
Երևանի ՋԷԿ նոր էներգաբլոկ		2009	30	27	220	220
Որոտան ՋԷԿ-երի կապիտալ	Տաթևի ՋԷԿ	1970	55	12	404	404
	Շամբի ՋԷԿ	1978	55	10		
	Սպանդարյանի ՋԷԿ	1989	55	21		
Մեծ Հրազդանի ՋԷԿ-երի կապիտալ	Քանաքեռի ՋԷԿ	1936	55	0	554	0
	Սևանի ՋԷԿ	1951	55	40		50
	Արգելի ՋԷԿ	1953	55	0		0
	Արզնի ՋԷԿ	1956	55	0		0
	Հրազդանի ՋԷԿ	1959	55	1		81
	Երևանի ՋԷԿ	1962	55	4		44
Փոքր ՋԷԿ-երի և այլ վերականգնվող ռեսուրսներ		2006	30	25	271	271
Ընդամենը					3949	1910

Այժմ դիտարկենք Էլեկտրաէներգիայի սպառման կանխատեսումները ՀՀ-ի ներքին շուկայում՝ հաշվի առնելով նաև տարածաշրջանային կապերը: Նկ. 1-ում բերված են մինչև 2030թ. Էլեկտրաէներգիայի սպառման կանխատեսումները ՀՆԱ-ի 5...7% աճի պայմաններում: Ըստ միջազգային փորձի՝ նման ՀՆԱ-ի և ոչ լավատեսա-

կան մոտեցման դեպքում էլեկտրաէներգիայի սպառման տեմպն ըստ տարիների չի գերազանցում 2,8 տոկոսը [3]:

Նկ.1-ից երևում է, որ 2030թ.-ին, 10% համակարգային պաշարի առկայության պայմաններում, էլեկտրաէներգիայի արտադրությունը կկազմի 18,0 մլրդ.կՎտժ, և կլինի 1,8 մլրդ.կՎտժ համակարգային պաշար արտադրելու հնարավորություն:



Նկ. 1. ՀՀ-ում էլեկտրաէներգիայի սպառման կանխատեսումները մինչև 2030թ.

Միայն ներքին շուկայի սպառման համար անհրաժեշտ է լինելու շուրջ 11,0 մլրդ.կՎտժ էլեկտրաէներգիա: Ի դեպ, 10% պաշարային հզորությունը ԵՄ երկրների համար ընդունված չափորոշչային մեծություն է, ինչը պայմանավորված է ԵՄ երկրների միջալեռական էլեկտրահաղորդման հզոր գծերի առկայությամբ: Մեր երկրի դեպքում, եթե չհաջողվի ստեղծել ՌԴ-Վրաստան-ՀՀ-ԻԻՀ, այսպես կոչված, «Հյուսիս-Հարավ» 400/500 կՎ լարման բարձր թողունակությամբ (նախատեսվում է մինչև 1000 ՄՎտ հզորության տարանցում) էլեկտրահաղորդման գիծը, ապա էլեկտրամատակարարման հուսալիությունն ապահովելու համար անհրաժեշտ կլինի նախատեսել մոտ 20% համակարգային պաշար (նկ. 2):

Կարևոր նախադրյալ է հարևան երկրների հետ փոխհարաբերությունների զարգացումը: Էներգետիկայի ոլորտում ՀՀ հիմնական գործընկերները ԻԻՀ և Վրաստանն են, որոնց հետ մեզ կապում են էլեկտրահաղորդման 3 բարձր լարման գծեր (մեկ 220 կՎ

և երկու 110 *կՎ*), որոնցով մինչև 2007թ.-ը Վրաստան էր արտահանվում տարեկան միջին հաշվով 350 մլն *կՎտ-ժ* էլեկտրաէներգիա:

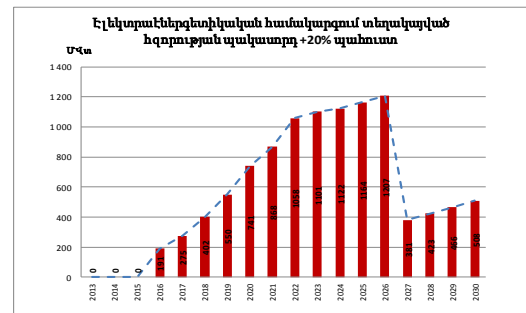
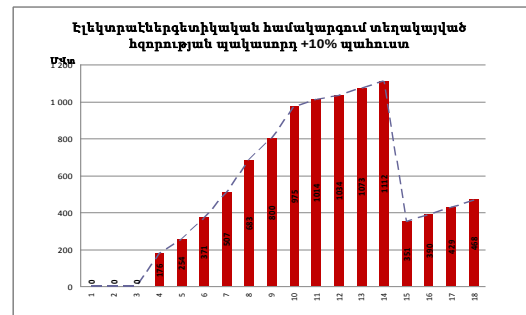
2007թ.-ից մինչև այժմ երկու երկրների միջև համագործակցությունն իրականացվել է միայն սեզոնային փոխանակումներով, սակայն այժմ Հայաստանը և Վրաստանը պետք է սկսեն 400/500 *կՎ* էլեկտրահաղորդման գծի կառուցումը, որը կկապի Վրաստանի Մառնեուլի ենթակայանը Հայաստանի Հրազդան ՋԷԿ-ի հետ, և տեղափոխվող էլեկտրաէներգիայի ծավալը 400 *կՎ* լարման առաջին շրջայի կառուցումից հետո կարող է աճել մինչև 650 *ՄՎտ*: Բարձր լարման գծերը կապահովեն նաև Վրաստանում արտադրված էլեկտրաէներգիայի մատակարարումը Հայաստանով Իրանին: Ներկայումս մեր ռազմավարական գործընկերը էլեկտրաէներգետիկայի ոլորտում Իրանն է, որը էլեկտրաէներգիա է արտահանում Հայաստան, Թուրքիա, Պակիստան, Իրաք, Աֆղանստան և ներկրում է Հայաստանից ու Ադրբեջանից: Հայաստանին և Իրանին կապում են 220*կՎ* էլեկտրահաղորդման երկու գծերը, որոնց առավելագույն գումարային հզորությունը կազմում է 450 *ՄՎտ*: Սկսվել է նաև 400 *կՎ* լարման էլեկտրահաղորդման երրորդ գծի կառուցումը: Էլեկտրահաղորդման երրորդ գծի հետ համատեղ գումարային հզորությունը կկազմի 1200 *ՄՎտ*:

Հայաստանից Իրան արտահանման հիմնական ծավալը կատարվում է մայիսից մինչև սեպտեմբեր և նոյեմբեր ամիսներին, մինչդեռ մնացած ժամանակահատվածում ներկրումը գերազանցում է արտահանումը: Իրանի և ՀՀ կառավարության միջև էլեկտրաէներգիայի դիմաց գազի մատակարարման վերաբերյալ պայմանագրի ստորագրումից հետո Իրան արտահանվող էլեկտրաէներգիայի քանակությունն աճեց 4 անգամ: 2010թ. ապրիլին թողարկվեց ԵրՋԷՑ-ի նոր էներգաբլոկը, որն աշխատում է Իրանի Իսլամական Հանրապետության հետ գազով-էլեկտրաէներգիայի ապրանքափոխանակման սխեմայով: Էլեկտրաէներգիայի արտահանման ևս մի հեռանկարային շուկա (տնտեսական շրջափակումը հանելուց հետո) կարող է հանդիսանալ Թուրքիան:

Հաշվարկների արդյունքները վկայում են այն մասին, որ սկսած 2016թ.-ից մինչև 2030թ. էլեկտրաէներգետիկական համակարգի հզորությունը պետք է աճի 1518 *ՄՎտ*-ից մինչև 3800 *ՄՎտ*, առանց պաշարային հզորության, կամ շուրջ 4200 *ՄՎտ*, 10% պաշարի ապահովման պարագայում: Նման պայմաններում, իհարկե, առաջնահերթորեն պետք է օգտագործվեն տեխնիկապես և տնտեսապես արդարացված հիդրոէներգետիկ ռեսուրսները, որոնց դեռևս չօգտագործված հզորությունը գնահատվում է շուրջ 450 *ՄՎտ*, տարեկան 1,6 մլրդ. *կՎտ-ժ* արտադրանքով: Առաջնային պետք է համարել նաև վերականգնվող այլ ռեսուրսների ներգրավումը, ինչը տարբեր աղբյուրների հավաստմամբ՝ ՀՀ-ի համար չի գերազանցում 1,0 մլրդ. *կՎտ-ժ*-ը: Այսպիսով, Հայաստանի էլեկտրաէներգետիկական համակարգում, սկսած 2016թ.-ից, պետք սկսել կառուցել նոր սերնդի, ժամանակակից տեխնոլոգիաներով հագեցած էներգաարդյունավետ միջուկային և ջերմային էներգատեղակայանքներ, որոնք կարտադրեն տարեկան մոտ 9,0 մլրդ. *կՎտ-ժ* էլեկտրաէներգիա: Անհրաժեշտ ենք համարում նշել, որ միջուկային և ջերմային էներգատեղակայանքների մասնաբաժինները կախված կլինեն թե՛ բնական գազի գներից և թե՛ էներգետիկական սարքավորումների միջազ-

գային շուկայում մոտակա 2...3 տարիների ընթացքում գոյություն ունեցող միջուկային տեղակայանքների միավոր հզորություններից, դրանց մանրային բնութագրերից, անվտանգության աստիճանից և այլ անհրաժեշտ գործոններից:

տարի	Էլեկտրաէներգիայի արտադրանքի պակասորդ, մլրդ կՎտ	տեղական հզորության պակասորդ, ՄՎտ	տեղական հզորության պակասորդ +10% պահուստ, ՄՎտ	տեղական հզորության պակասորդ +20% պահուստ, ՄՎտ
2013	0,0	0	0	0
2014	0,0	0	0	0
2015	0,0	0	0	0
2016	0,9	150	176	191
2017	1,3	217	254	275
2018	1,9	317	371	402
2019	2,6	433	507	550
2020	3,5	583	683	741
2021	4,1	683	800	868
2022	5,0	833	975	1058
2023	5,2	867	1014	1101
2024	5,3	883	1034	1122
2025	5,5	917	1073	1164
2026	5,7	950	1112	1207
2027	1,8	300	351	381
2028	2,0	333	390	423
2029	2,2	367	429	466
2030	2,4	400	468	508



Նկ. 2. ՀՀ Էլեկտրաէներգետիկական համակարգում տեղակայված հզորության պակասորդ +10% և +20% պահուստների դեպքում

Ցավոք, ՀՀ-ն վերջին երկու տասնամյակներում կորցրեց կենտրոնական ջերմամատակարարման համակարգերը, ուստի այս հոդվածի շրջանակներում հնարավոր չէ կապակցել ջերմային (ջեռուցման նպատակով) և էլեկտրական էներգիաների համատեղ արտադրության առնչվող հիմնախնդիրները, ինչը, մեր կարծիքով, շատ ավելի խոր ուսումնասիրության կարիք ունի՝ պայմանավորված ներկայումս այդ դաշտի գրեթե ամբողջությամբ լիբերալացված լինելու և գոյություն ունեցող բնական մենաշնորհների հետ կոշտ մրցակցության հանգամանքներով:

Վերը շարադրվածի հիման վրա հանգում ենք հետևյալին.

1. Էներգետիկ անվտանգության ապահովմանն ուղղված միջոցառումների իրականացման համար պահանջվում են կազմակերպչական, նյութական և ֆինանսական նշանակալի ռեսուրսներ, այդ թվում՝ նաև ֆիզիկապես ու բարոյապես մաշված արտադրական հզորությունների ու էլեկտրական ցանցերի սերնդափոխության համար, որոնք, անշուշտ, գերազանցում են Հայաստանի սեփական հնարավորությունները: Հետևաբար, կարևոր է առաջին հերթին իրականացնել այն բոլոր միջոցա-

ռումները, որոնք ապահովում են հնարավորինս փոքր ծախսումներով էներգետիկ անվտանգության բավարար մակարդակ:

2. Էներգամատակարարման բացարձակ անվտանգությունը հասանելի չէ ոչ մի երկրի, իսկ վերջինիս երաշխավորված ապահովման գինն անընդունելի բարձր է: Էներգամատակարարման անվտանգությունը կառավարության և հասարակության միջև գոյություն ունեցող հիմնական փոխզիջումներից մեկն է, որը տարբեր աստիճանի էներգամատակարարման հասնելու համար պետք է կապակցի անհրաժեշտ ծախսերը և հանրության կողմից դրանք վճարելու հնարավորությունը և ցանկությունը [2]:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Organization of the black sea economic cooperation. Report of the meeting of the BSEC working group on energy BSEC headquarters, 8-9 april 2014. Sinem Çaynak, General Overview of the Turkish Energy Sector.
2. ՀՀ նախագահի 2013 թվականի հոկտեմբերի 23-ի «Հայաստանի Հանրապետության էներգետիկ անվտանգության ապահովման հայեցակարգը հաստատելու մասին» N ՆԿ-182-ն կարգադրություն:
3. ՀՀ կառավարության 2014 թվականի մարտի 27-ի «Հայաստանի Հանրապետության 2014-2025 թթ հեռանկարային զարգացման ռազմավարական ծրագիր» N 442-Ն որոշում:

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.06.2014:

Г.В. ЦУГУНЯН, Л.С. ОГАННИСЯН

СОСТОЯНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АРМЕНИИ И ОСНОВНЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ В КОНТЕКСТЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ

Проанализированы вопросы развития электроэнергетической системы Армении. Выявлены основные предпосылки долгосрочного развития энергетического сектора РА в контексте регионального интегрирования. Предложены пути решения рассматриваемых проблем.

Ключевые слова: электроэнергетика, энергетическая безопасность, энергетические ресурсы.

H.V. TSUGHUNYAN, L.S. HOVHANNISYAN

THE STATE OF THE ELECTROPOWER SYSTEM OF ARMENIA AND THE BASIC WAYS OF DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF REGIONAL INTEGRATION

Issues on the electropower system development in Armenia are analysed. The basic prerequisites of the long-term development of the RA power sector are revealed in the context of regional integration. Ways of solving the considered problems are proposed.

Keywords: electropower, power safety, power resources.

Ա.Ս. ՇԱՂԳԱՍՅԱՆ, Լ.Կ. ԲԵԳՈՑԱՆ

ԹՎԱՅԻՆ ՋԵՐՄԱՉԱՓ ՋԵՐՄԱԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԿԵՐԱՎԱՓՈԽՉՈՎ

Մշակվել է ջերմաէլեկտրական կերպափոխիչով աշխատող թվային ջերմաչափի կառուցվածքային սխեման, առաջարկված է ջերմաէլեկտրական կերպափոխիչի (ՋԿ) ստատիկ բնութագրի գծայնացման եղանակ, բերված են գծայնացման պարամետրերի հաշվարկի բանաձևերը և $TTP(R)$ տիպի ՋԿ-ի գծայնացման պարամետրերի հաշվարկների արդյունքները:

Առանցքային բառեր. թվային ջերմաչափ, ջերմաէլեկտրական կերպափոխիչ, գծայնացում:

Ջերմաստիճանի չափման համակարգերում լայն տարածում են ստացել ջերմաէլեկտրական կերպափոխիչները (ՋԿ), որոնք օգտագործվում են հիմնականում բարձր ջերմաստիճանների չափման համար: Շահագործման ընթացքում առաջանում է լրացուցիչ սխալանք՝ կախված շահագործման պայմաններից, այդ պատճառով անհրաժեշտ է իրականացնել ՋԿ-ի պարբերական ստուգաչափում: Սովորաբար այդ նպատակով ՋԿ-ները հանվում են օբյեկտից և ուղարկվում չափագիտական լաբորատորիա, ինչը պահանջում է լրացուցիչ ծախսեր, իսկ որոշ դեպքերում հանգեցնում է նաև օբյեկտի տեխնոլոգիական ռեժիմի խախտման: Նշված թերությունների վերացման համար նպատակահարմար է ՋԿ-ների ստուգաչափումն իրականացնել տեղում՝ օբյեկտի նույն ջերմաստիճանային դաշտում տեղադրելով համապատասխան ճշգրտությամբ տվիչ՝ ստուգաչափվող ՋԿ-ի հարևանությամբ: Ներկայումս արտադրվում են $KTXA$, $KTXK$, $KTHH$, $KTXA$, $KTJK$ տիպերի ՋԿ-ներ, որոնց պահպանիչ պատյանում նախատեսված է լրացուցիչ անցք՝ ճշգրիտ մալուխային տվիչ տեղադրելու համար: Մալուխային տվիչներն ունեն համեմատաբար բարձր չափագիտական բնութագրեր ու փոքր չափսեր և ներկայումս լայն տարածում են ստանում ջերմաստիճանի չափման ու հսկման համակարգերում [1]: Արդյունաբերական օբյեկտներում տեղադրված ՋԿ-ների ստուգաչափման նպատակով առաջարկվում է մշակել մալուխային տվիչներով աշխատող բարձր ճշգրտության թվային ջերմաչափ: Գործնականում $600^{\circ}C$ -ից բարձր ջերմաստիճանների չափման համար հիմնականում օգտագործվում են ՋԿ-ներ, որոնց սխալանքները մեծ են $1,5^{\circ}C$ -ից: Աղ. 1-ում բերված են արդյունաբերությունում օգտագործվող ՋԿ-ների թույլատրելի սխալանքների սահմանային արժեքներն ըստ ԳՕՍՏ 3044-94-ի [2]: Համաձայն ԳՕՍՏ 8.558-2009-ի [3]՝ ջերմաստիճանի 3-րդ կարգի աշխատանքային էտալոնի և աշխատանքային ՋԿ-ի վստահելի սխալանքների սահմանների հարաբերությունը պետք է լինի փոքր $0,5$ -ից, հետևաբար՝ մշակվող թվային ջերմաչափում օգտագործվող ՋԿ-ի ազատ ծայրերի ջերմաէլեկտրիկ համակշռման սխալանքը նպատակահարմար է ընտրել փոքր $0,25^{\circ}C$ -ից:

Թվային ջերմաչափների մշակման հիմնական խնդիրներից է տվիչների ոչ գծային ստատիկ բնութագրի գծայնացումը: Ներկայումս օգտագործվում են գծայնացման տարբեր եղանակներ: Մշակվող թվային ջերմաչափում նպատակահարմար է օգտագործել տվիչի ստատիկ բնութագիրը բեկյալով մոտարկելու եղանակը (նկ. 1): Մոտարկման ճշգրտությունը կախված է մոտարկման քայլից: Թվային ջերմաչափի սխեմայի պարզեցման նպատակով մոտարկումը կատարվում է հաստատուն քայլով՝ ըստ ջերմաէլշուի: Մոտարկող բեկյալի գազաթնթին համապատասխանող ջերմաստիճանների արժեքները գրանցվում են միկրոկոնտրոլերի հիշողությունում, իսկ մոտարկման j-րդ տեղամասի ներսում ջերմաստիճանի արժեքը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\theta_{jx} = \theta_{j-1} + K_j(E_{jx} - E_{j-1}), \quad (1)$$

որտեղ θ_{j-1} -ը բեկյալի j-րդ տեղամասի սկզբնակետին համապատասխանող ջերմաստիճանն է, K_j -ն՝ բեկյալի թեքությունը j-րդ տեղամասում, E_{jx} -ը՝ բեկյալի j-րդ տեղամասի ներսում գտնվող չափվող ջերմաստիճանի ջերմաէլշուն, E_{j-1} -ը՝ բեկյալի j-րդ տեղամասի սկզբնակետին համապատասխանող ջերմաէլշուն:

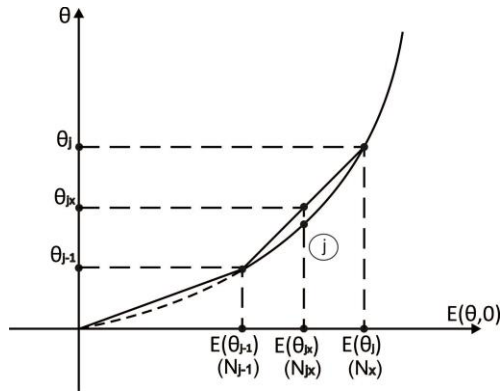
Աղյուսակ 1

ՋԿ-ների սխալանքների սահմանային արժեքները

Ջերմաստիճանը, °C	ՋԿ-ների սխալանքի սահմանը, °C															
	BP (A-2)	ПР(В) 2-րդ դաս	ПП(С) 2-րդ դաս	ХА(К)		ХК(Е)		МК _и (Т)		ЖК(І)		СС(І)		НН(Н)		
				1-ին դաս	2-րդ դաս	1-ին դաս	2-րդ դաս	1-ին դաս	2-րդ դաս	1-ին դաս	2-րդ դաս	1-ին դաս	2-րդ դաս	1-ին դաս	2-րդ դաս	
100	-	-	1,5	1,5	2,5	1,5	2,5	0,5	1,0	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	
200	-	-	1,5	1,5	2,5	1,5	2,5	0,8	1,5	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	
300	-	-	1,5	1,5	2,5	1,5	2,5	1,2	2,25	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	
400	-	-	1,5	1,6	3,0	1,6	3,0	1,6	3,0	1,6	3,0	1,6	3,0	1,6	3,0	
600	-	1,5	1,5	2,4	4,5	2,0	4,5	-	-	2,4	4,5	2,4	4,5	2,4	4,5	
750	-	1,87	1,9	3,0	5,6	3,2	5,6	-	-	3,0	5,0	3,0	5,0	3,0	5,6	
800	-	2,0	2,0	3,2	6,0	4,0	6,0	-	-	3,2	6,0	3,2	6,0	3,2	6,0	
1000	7,0	2,5	2,5	4,0	7,5	-	7,5	-	-	-	-	-	-	4,0	7,5	
1200	8,4	3,0	3,0	-	9,0	-	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	
1600	11,2	4,0	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1700	11,9	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1800	12,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2200	15,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Ներկայումս արտադրվող ՋԿ-ներից ամենաբարձր ճշգրտությունն ունեն պլատինային խմբի ՋԿ-ները: Նպատակահարմար է ընտրել պլատին-պլատինառողիումային ТПП (R) տիպի ՋԿ, որը նախատեսված է մինչև 1800 °C ջերմաստիճան չափելու համար: ՋԿ-ի ստատիկ բնութագրի մոտարկման ֆունկցիայի գազաթնթին արժեքների

օպտիմալ ընտրության համար նպատակահարմար է մոտարկման քայլն ըստ ջերմա-
էջուի ընտրել այնպիսին, որ դրա ուժեղացված արժեքն արտահայտվի 2^k թվով:



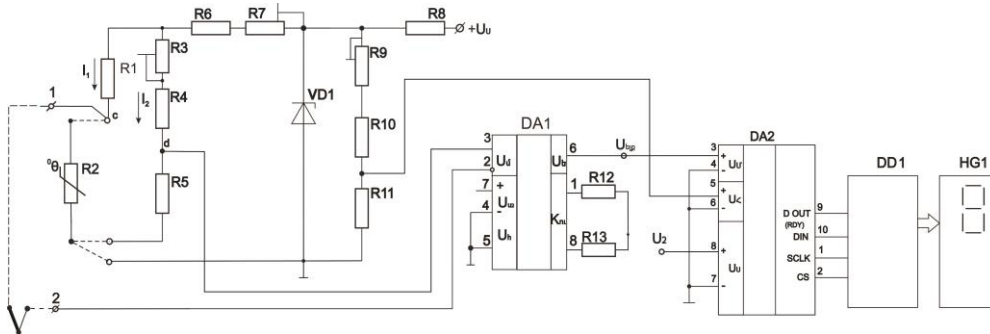
Նկ. 1. ՋԿ-ի ստատիկ բնութագրի մոտարկումը բեկյալով

Մոտարկման սխալանքը թույլատրելի սահմաններում ստանալու նպատակով ընտրում ենք $k=13$, որը $\theta > 600^\circ\text{C}$ տիրույթում համապատասխանում է մոտավորապես 68°C ջերմաստիճանին: Նկատի ունենալով, որ ՋԿ-ները հիմնականում օգտագործվում են բարձր ջերմաստիճանների չափման համար, կարելի է ստատիկ բնութագրի մոտարկումը բեկյալով սկսել $N_x=2048$ թվին համապատասխան ջերմաստիճանից ($112,33^\circ\text{C}$), իսկ մոտարկման քայլն ընտրել $\Delta N=2048$: Աղ. 2-ում բերված են պլատին-պլատինառողիումային ՋԿ-ի (R տիպի) ստատիկ բնութագրի մոտարկման տվյալները:

Թվային ջերմաչափի կառուցվածքային սխեման բերված է նկ. 2-ում: ՋԿ-ի ջերմաէջուն ուժեղացվում է DA1 սարքային ուժեղարարով (ՄՈւ) և միաժամանակ կատարվում է ջերմագույգի ազատ ծայրերի ջերմաէջուի ավտոմատ համակշռում R1-R5 ռեզիստորներով կառուցված կամրջակային սխեմայով: ՄՈւ-ի ելքային լարումը տրվում է DA2 անալոգաթվանշանային կերպափոխիչին (ԱԹԿ), որի ելքում ստացվում են ջերմաէջուի երկուսկան կոդերը: Ներկայումս չափիչ սարքերում լայնորեն օգտագործվում են սիգմա-դելտա ԱԹԿ-ները, որոնք ունեն բարձր ճշգրտություն և աղմկապաշտպանվածություն: Այդ ԱԹԿ-ների հիմնական բնութագրերից են ելքային կոդի կարգերի թիվը, աղմուկից գերծ կոդի կարգերի թիվը, մուտքային լարման դինամիկ տիրույթը, հենային լարման արժեքը, ներքին աղմուկների միջին քառակուսային արժեքը: Սիգմա-դելտա ԱԹԿ-ի ելքային կոդին համապատասխան թիվը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$N_x = \frac{U_{\text{ս}}}{q} = \frac{U_{\text{ս}}}{U_{\text{հ}}/2^n} = 2^n U_{\text{ս}}/U_{\text{հ}}, \quad (2)$$

որտեղ $U_{\text{ս}}$ -ն ԱԹԿ-ի մուտքային լարումն է, $U_{\text{հ}}$ -ն՝ ԱԹԿ-ի հենային լարումը, q -ն՝ ԱԹԿ-ի մուտքային լարման քվանտը, n -ը՝ ԱԹԿ-ի կոդի կարգերի թիվը:



Նկ. 2. Թվային ջերմաչափի կառուցվածքային սխեման

Եթե ԱԹԿ-ի կողի կարգերի թիվն ընտրենք $n=16$, ապա ԱԹԿ-ի կողին համապատասխան ամենամեծ թիվը կստացվի՝ $N_{xm}=65536$: Հետևաբար՝

$$N_x = 65536 U_0/U_h: \quad (3)$$

Եթե ԱԹԿ-ի հենային լարումն ընտրենք հավասար $U_h=2,62144$ Վ, ապա կստանանք՝ $q=40$ մկՎ, $N_x=U_0/40$ (որտեղ U_0 -ը արտահայտվում է մկՎ-ով): Քանի որ ԱԹԿ-ի մուտքային լարումն ուժեղացվում է K_m ուժեղացման գործակցով, ապա ԱԹԿ-ի էլքային կողին համապատասխան թիվը կստացվի՝

$$N_x = K_m E(\theta, 0)/40, \quad (4)$$

որտեղ $E(\theta, 0)$ -ն ՋԿ-ի ջերմաէլեկտրի ստանդարտացված արժեքն է ըստ ԳՕՍՍ 3044-ի [2]:

Գործիքային ուժեղարարն ընտրվել է INA333 տիպի: Եթե ուժեղարարի ուժեղացման գործակիցն ընտրենք $K_m=100$, իսկ $E(\theta, 0)$ -ն արտահայտվի մկՎ-ով, ապա կստանանք՝

$$N_x = 2,5 E(\theta, 0): \quad (5)$$

Աղ. 2-ում բերված են պլատին-պլատինառողիումային ՋԿ-ի ստատիկ բնութագրի մոտարկման բեկյալի գագաթներին համապատասխան ջերմաստիճանների և դրանց համապատասխան էլքային կողի թվային արժեքներն ու դրանց երկուական կոդերը, ինչպես նաև մոտարկման տեղամասերի K_j^* զգայնությունները (բեկյալների թեքությունները): Մոտարկման տեղամասերի K_j^* զգայնությունները որոշվել են հետևյալ բանաձևով՝

$$K_j^* = (\theta_j - \theta_{j-1}) / (N_j - N_{j-1}) = (\theta_j - \theta_{j-1}) / 2048, \quad (6)$$

որտեղ N_{j-1} -ը և N_j -ն մոտարկման j -րդ տեղամասի սկզբնական և վերջնական համապատասխան թվային արժեքներն են (աղ. 2):

Պլատին-պլատինառողիումային ՋԿ-ի ստատիկ բնութագրի մոտարկման տվյալները և բեկյալի զագաթների ջերմաստիճանների ջերմաէլշունների երկուական կոդերը

j	N _j	Θ _j , °C	E _j ,մՎ	N _j -ի 2-ական կոդը					K _j [*] , °C	ΔΘ _j , °C
				2 ¹⁵	2 ¹⁴	2 ¹³	2 ¹²	2 ¹¹		
1	2048	122,33	0,8192	0	0	0	0	1	0,05973	0,09
2	4096	218,95	1,6384	0	0	0	0	0	0,04717	0,08
3	6144	305,86	2,4576	0	0	0	1	1	0,04243	0,07
4	8192	387,38	3,2768	0	0	0	1	0	0,03981	0,06
5	10240	465,35	4,096	0	0	1	0	1	0,03807	0,06
6	12288	540,45	4,9152	0	0	1	0	0	0,03667	0,06
7	14336	613,25	5,7344	0	0	1	1	1	0,03555	0,10
8	16384	683,03	6,55360	0	0	1	1	0	0,03407	0,06
9	18432	752,50	7,37280	0	1	0	0	1	0,03392	0,08
10	20480	819,50	8,19200	0	1	0	0	0	0,03271	0,02
11	22528	880,50	9,01120	0	1	0	1	1	0,02978	0,06
12	24576	948,50	9,83040	0	1	0	1	0	0,03320	0,04
13	26624	1010,5	10,6496	0	1	1	0	1	0,03027	0,08
14	28672	1070,5	11,4688	0	1	1	0	0	0,02929	0,08
15	30720	1132,0	12,2880	0	1	1	1	1	0,03002	0,02
16	32768	1196,0	13,1072	0	1	1	1	0	0,03125	0,10
17	34816	1250,0	13,9264	1	0	0	0	1	0,02637	0,02
18	36864	1309,0	14,7456	1	0	0	0	0	0,02881	0,06
19	38912	1367,2	15,5648	1	0	0	1	1	0,02842	0,01
20	40960	1425,2	16,3840	1	0	0	1	0	0,02832	0,04
21	43008	1483,8	17,2032	1	0	1	0	1	0,02861	0,02
22	45056	1541,4	18,0224	1	0	1	0	0	0,02812	0,04
23	47104	1600,8	18,2416	1	0	1	1	1	0,02900	0,00
24	49152	1659,0	19,6608	1	0	1	1	0	0,02841	0,04
25	51200	1719,8	20,4800	1	1	0	0	1	0,02968	0,02
26	53248	1779,8	21,2992	1	1	0	0	0		

Եթե K_j^* զգայնության արժեքները կլորացնենք 5 նշվող թվանշանով, ջերմաստիճանի չափման սխալանքը կստացվի փոքր 0,1 °C-ից (ամենամեծ արժեքները կստացվեն մոտարկող բեկյալի զագաթներին մոտ կետերում, դրանք բերված են աղ .2-ի ΔΘ_j սյունակում):

Ընտրված պարամետրերի դեպքում մոտարկման տեղամասերի միջանկյալ արժեքների համար կստանանք՝

$$\theta_{jx} = \theta_{j-1} + \Delta\theta_{jx} = \theta_{j-1} + K_j(E_{jx} - E_{j-1}) = \theta_{j-1} + K_j^*(N_{jx} - N_{j-1}), \quad (7)$$

որտեղ $\Delta\theta_{jx} = K_j^*(N_j - N_{j-1})$ –մոտարկման j-րդ տեղամասի ներսի կոդին համապատասխանող լրացուցիչ ջերմաստիճանային աճի արժեքն է, N_{jx}-ը՝ մոտարկման j-րդ տեղամասի ներսի կոդին համապատասխանող թիվը:

Օրինակ, եթե N_{jx}=11240, ապա j=6, եթե Θ_{j-1}=465,35 °C, $K_j^*=0,03667$ °C, N_{jx} - N_{j-1}=1000, ապա կստանանք՝ Θ_{jx}=36,67 °C, Θ_{jx}=502,02 °C:

Միկրոկոնստրուկտի (DD1) միջոցով ԱԹԿ-ի ելքային կոդի 2^{11} -ից մինչև 2^{15} կշռային գործակիցների կարգերով կորոշվեն մոտարկման տեղամասի j համարը, այդ տեղամասի սկզբի գագաթի ջերմաստիճանն ու K_j^* զգայնությունը, իսկ 2^0 -ից մինչև 2^{10} կշռային գործակիցների կարգերով՝ մոտարկման տեղամասի ներսում $\Delta\theta_{jx}$ ջերմաստիճանների արժեքները, և բանաձև (7)-ով կորոշվի չափվող ջերմաստիճանը:

Միկրոկոնստրուկտում հաշվարկները ամբողջ թվերով կատարելու համար կարելի է 10^5 անգամ մեծացնել θ_j ջերմաստիճանների ու K_j^* զգայնության արժեքները, հետո՝ վերջնական արժեքը բաժանել 10^5 -ի:

ԱԹԿ-ի ընտրությունը կատարվում է՝ ելնելով ադմոկից գերծ կոդի ցածր կարգի միավորի պահանջվող արժեքից, որը տվյալ դեպքում 40 մկՎ է: Արտադրվող ԱԹԿ-ներից նպատակահարմար է ընտրել AD7715 տիպի սիգմա-դելտա ԱԹԿ (DA2), որի հենային լարումը 2,5 Վ է, իսկ կերպափոխման հաճախությունն ընտրվում է 2 կերպ/վրկ [4]: ՋԿ-ի ազատ ծայրերի ջերմաէլեկտրիկ ավտոմատ համակշռման կամրջակային սխեման սնվում է բարձր ճշգրտության լարման պարամետրական կայունարարից, որը կառուցված է КЦ108В տիպի ստաբիլիտրոնի վրա (կայունացման լարման ջերմաստիճանային գործակիցը փոքր է 0,0005 %/°C-ից): Հետևաբար՝ ԱԹԿ-ի հենային լարումը նպատակահարմար է ստանալ ստաբիլիտրոնին միացված լարման բաժանիչից (R9-R11):

ԳՐԱԿՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Каржавин В.А., Каржавин А.В. Методика периодической поверки термоэлектрических преобразователей непосредственно на термометрируемом объекте. temperatures.ru/pdf/tesey.pdf
2. ГОСТ 3044-94. Преобразователи термоэлектрические. Номинальные статические характеристики преобразования. - 200 с.
3. ГОСТ 8.558-2009. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры. - 10 с.
4. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7715.pdf

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.04.2014:

А.С. ШАХКАМЯН, Л.К. БЕГОЯН

ЦИФРОВОЙ ТЕРМОМЕТР С ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Разработана структурная схема цифрового термометра, работающего с термоэлектрическим преобразователем (ТП). Предложен метод линеаризации статической характеристики ТП. Приведены формулы для расчета параметров линеаризации и результаты расчета для ТП статической характеристики ПП (R).

Ключевые слова: цифровой термометр, термоэлектрический преобразователь, линеаризация.

A.S. SHAGHGAMYAN, L.K. BEGOYAN

A DIGITAL THERMOMETER WITH A THERMOELECTRIC TRANSDUCER

The block diagram of a digital thermometer is developed operating with a thermoelectric transducer. A method for linearizing the static characteristics of TT is proposed. Formulae for calculating the linearization parameters and the calculation results for TT static R characteristics are introduced.

Keywords: digital thermometer, thermoelectric transducer, linearization.

AFRA MOSATAFAEI

**MODELING THE ENERGY MANAGEMENT SYSTEM TAKING INTO
ACCOUNT THE LOAD CHARACTERISTICS AND ECONOMIC
PERFORMANCE**

Electrical load management (ELM)[3] is one of the most basic and most important branches of demand side management (DSM)[3]. Energy management in the proposed system is carried out by load management. Load management techniques divided into three main categories - load shading, valley filling and load shifting. However, these methods are used depending on the load type and the desired policy of the government and also considering the possibility of the methods used, taking into account that the most effective and popular method is load shading. In the proposed method, the outputs of the optimal sizing using the algorithm of Particle Swarm Optimization (PSO)[2] allowing to choose the number of wind generator (WG)s, modules of photovoltaic (PV) and batteries. The number of variables must be optimized in such a way that the ultimate 20-year cost of using the system is equal to the lowest possible value.

Keywords: load management, hybrid system, energy efficiency, PSO algorithm (Particle Swarm Optimization).

Introduction. Because of the discontinuous characteristic of wind and solar radiation, the most important issue in designing such systems is to supply reliable load under different atmospheric conditions according to the costs involved. Due to the diversity in types of commercially available of the PVs, WGs and batteries, the aim to select the number and type of equipment intended to supply continuous load with minimum costs will be achieved.

The purpose of this study is selecting the combination from among existing commercial equipment's of the hybrid system studied for a complete coverage of the load in a period of 20 years. The best combination is a compound that has the lowest cost during the study period. These costs will include the cost of investment and maintenance. Optimization variables are the number of PV modules, number of WG turbines and the battery capacity needed. There are various algorithms and optimization techniques, but we suggest using PSO algorithm having in our opinion, a great potential. This algorithm is a relatively new algorithm and its introduction goes back to 1995 [1]. This algorithm is based on Social Intelligence of the organisms that live in mass. The advantages of PSO to the genetic algorithm, in terms of speed and in terms of not being stuck in local extremes are shown. The above interpretations were motivated that in the present study, instead of using a genetic algorithm a PSO

algorithm is used. For organizing the simulation of the system energy management, we need to create formal models of the investigated object, the formulations of the system consist of the modeling systems.

Load management and methods of its application. A method applied to this system in the energy management is described below [3].

Dimensions of demand side management: 1. Load management. 2. Energy efficiency. 3. Energy revival. 4. Virtual power plant

Now, we'll explain these cases:

1. Load management

The goal of load management is to adjust the load curve with one of the following methods:

- Load Shading - Valley Filling - Load Shifting

The tools needed to achieve these goals include:

Load clipping programs. This includes the following items:

1. Interruptible demands: load of this kind of clients will be disconnected remotely or other methods under the previous agreements by receiving a payment.
2. Direct load management control: in this method of operation, the system will disconnect certain loads of customers in accordance with the prior notice to the customer's address and prior agreement and pay him with this load clipping which is related to regional conditions and load curve is the final goal of the network.
3. Demand bidding/buy-back: In this way, according to previous agreements of the large customers who previously had won the bid, we do not use their capacity during the peak and get a higher price from the entity responsible.
4. Emergency demand response: These programs create incentives for customers to reduce load in the events when the load cutoff can also optionally be included. On the whole, this program is voluntary, and customers will not be fined if they do not interrupt their load and the final group of power network for its planning on these programs does not count.
5. Load reduction proportional to the capacity: in this program, customers are obliged to reduce their load with the receipt of funds in some events and otherwise are fine. But customers for this case offer a fixed price and accordingly the resources that are quickly exploited, are predicted.
6. Utilities: This program focuses on operational reliability as a source of great possibilities with regard to this issue that programmers extend the ideas of measuring the long-term and seasonal reliability in time of criteria development.

- **Dynamic pricing program:**

1. Pricing based on consumption of the Time Of Use (TOU)

2. Critical Peak Pricing (CPP).

3. Real Time Pricing (RTP).

Other load management tools can be mentioned the following:

- Storage techniques such as Ice storage, Heat Storage, Pump Storage
- Production relocation planning
- Voluntary load reduction programs
- Attachment work programs included daily and weekly

2. Energy efficiency

The goal of energy efficiency is the following figure, showing the increase in the electric energy efficiency both in production and consumption.

However, this aspect of consumption management includes the following ways:

1. Low consumption lamps
2. Lighting Control Systems
3. Water pumps and motors with adjustable speed
4. Transformers with high efficiency
5. Storage in the final consumer devices: furnishings and buildings and boiling engines and pumps and ventilation systems, etc.

3. Energy revival

In this section, methods such as the following can be considered:

1. Changing the settings of the thermostats
2. Reducing work hours

4. Virtual power plants:

1. CHP (combined Heat and power)
2. DG (Distribute Generation)

With regard to the descriptions in this section, we can say that load management techniques are the three main categories of load shading, valley filling and load shifting. However, these methods are used depending on the load type and the desired policy of the government and also considering the possibility of developing whichever method is possible, but an effective and popular method is load shading. The comparison of the energy management with the load management and without applying the load management is done by this procedure.

Modeling and simulation of system performance PV/WG (photovoltaic/Wind generator). In the study conducted as shown in [4], the system performance is simulated with time steps of 1 hour for one year. Power generated by PV and WG during each time step is assumed constant. Thus, the power generated by renewable energy sources will be numerically equal to the energy produced during the time step. Characteristics of the current – voltage and power - voltage of a PV array for each production unit shown in Figure 1[4] is composed of parallel modules NP and series modules NS. The maximum power output of the PV array $P_M^i(t)$, on the i-th day

($1 \leq i \leq 365$) and at the t -th hour ($1 \leq t \leq 24$), using the module specification in the standard test conditions (STC, cell temperature of 25°C and radiation of 1 kW/m^2) provided by the manufacturer, is calculated. Using the ambient temperature and solar radiation, following equations[4] clearly express the behavior of a module.

$$P_M^i(t) = N_s \cdot N_p \cdot V_{OC}^i(t) \cdot I_{SC}^i(t) \cdot FF^i(t), \quad (1)$$

$$I_{SC}^i = \{I_{SC,STC} + K_I [T_C^i(t) - 25^\circ\text{C}]\} \frac{G^i(t)}{1000}, \quad (2)$$

$$V_{OC}^i(t) = V_{OC,STC} - K_V \cdot T_C^i(t), \quad (3)$$

$$T_C^i(t) = T_A^i(t) + \frac{NCOT - 20^\circ\text{C}}{800} G^i(t), \quad (4)$$

where $I_{SC}^i(t)$ is the short-circuit current of module(A), $I_{SC,STC}$ is the short-circuit current of module in the standard test conditions (A), $G^i(t)$ is the amount of radiation that treats with the PV module level (W/m^2), K_I is the temperature coefficient of short circuit current ($\text{A}/^\circ\text{C}$), $V_{OC}^i(t)$ is the open circuit voltage (V), $V_{OC,STC}$ is the open circuit voltage in the standard test conditions (V), K_V is the temperature coefficient of open circuit voltage ($\text{V}/^\circ\text{C}$), $T_A^i(t)$ is the ambient temperature ($^\circ\text{C}$), $NCOT$ is the nominal cell operating temperature ($^\circ\text{C}$) and $FF^i(t)$, all these are provided by the manufacturer.

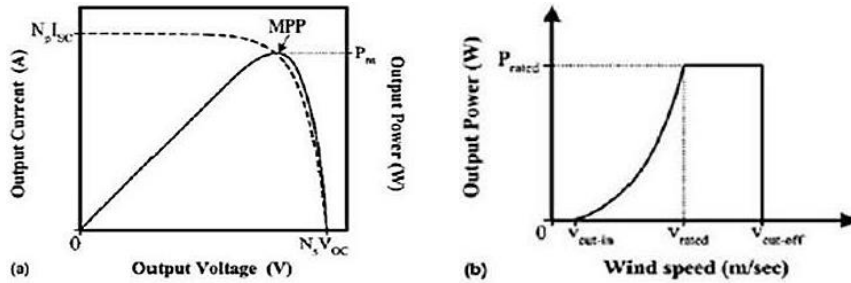


Fig. 1. The output power characteristics WG and PV: (a) current - voltage and power - voltage characteristic of the PV module and (b) power characteristic based on the wind speed WG

Real power transferred from the PV to the battery bank, $P_{PV}^i(t)(w)$, to the maximum output power of the PV array, $P_{PV}^i(t)(w)$ is calculated after the passage of the conversion factor of the charger battery, n_s , which is obtained from the following equation[4]:

$$n_s \equiv \frac{P_{PV}^i(t)}{P_M^i(t)} = n_1 \cdot n_2, \quad (5-1)$$

where n_1 is the efficiency of power electronics devices that are specified by the manufacturer and n_2 is the conversion factor that is related to the battery charging

algorithm and shows the deviation of the actual power generated by PV from the maximum obtainable power.

The output power Graph based on wind speed WG is shown in Figure 1-b. Such a graph is drawn by the manufacturer and typically represents real power transferred from WG to the battery bank and includes the effectiveness of the charger battery efficiency, and if it exists, the functioning MPPT. (Maximum Power Point Tracker) Consequently, there is no need to model the charger battery characteristics in the WGs. This diagram, in the form of a lookup table in the optimization algorithm, is introduced relating the turbine output to the wind speed. The Input power to the battery bank from the wind turbine at an hour of the t-th from the day of the i-th, $P_{WG}^i(t)(W)$ is calculated from the following equation [2]:

$$P_{WG}^i(t) = P_1 + [V^i(t) - V_1] \frac{P_2 - P_1}{V_2 - V_1}, \quad (5-2)$$

where $V^i(t)$ is the wind speed (m/s) at the turbine installation place, and (P_1, V_1) , (P_2, V_2) are the pairs of speed and power stored in a lookup table, with the condition that $v_1 < v^i(t) < v_2$. The average minimum and maximum wind speed in your region is $V_2 - V_1$ and average minimum and maximum power in your region is $p_2 - p_1$. [3] the total transmitted power from PV and WG to the battery bank, $P_{re}^i(t)(W)$, during the day of i-th $1 \leq i \leq 365$ and hour of t-th $1 \leq t \leq 24$, is calculated from the following equation [2]:

$$P_{re}^i(t) = N_{PV} \cdot P_{PV}^i(t) + N_{WG} \cdot P_{WG}^i(t), \quad (5-3)$$

where N_{PV} is the total number of PV modules and N_{WG} is the total number of WGs.

Minimizing costs using intelligent algorithm PSO (particle swarm optimization). Evolutionary computation techniques (EC) benefit from a set of acceptable solutions called population and determines the optimum solution through cooperation and competition among the individual members of this population. In difficult optimization problems, these techniques often find optimal point faster than traditional optimization methods. The most common techniques of EC involve the evolution strategies, genetic algorithms, genetic programming and evolutionary programming, inspired by the natural evolutionary mechanisms [5].

Particle Swarm Optimization algorithm (PSO) is placed in the set of swarm intelligence methods. Over the past decade, PSO has become increasingly popular due to the high potential for solving difficult optimization problems.

The ideas of PSO, instead of being encouraged by the evolutionary mechanisms of natural selection, are influenced by social behavior of flock's organs like those of birds and fish. It was observed that the behavior of the constituent members of a flock is formed by a set of basic rules such as speed coordination with the nearest neighbor and acceleration based on distance. In this context, it has been claimed that the PSO is the mutation which is instinctively done.

PSO is a population algorithm, where members search for a desired area. In this bunch of population, the swarm and each member is called particle. Each particle moves with adjustable speed in the search space and keeps the best previous position itself in its memory. In the whole space of the algorithmic search, the best position achieved by the whole series is to inform all other particles.

Of course, different techniques and many approaches have been proposed to increase the efficiency of the algorithm while dealing with various problems depending on the type of issues that may affect algorithm (approaches such as the use of the constriction factor, multi start technique, deflection technique, stretching technique, ...) but since in this study, there is no need to have more approaches than the mentioned ones, the further details can be avoided in this case. More information about the efficiency of the solutions mentioned is available in reference [5]. What will be applied in the present study is a simple algorithm PSO using the inertia weight that will ensure the optimized solutions obtained, the problem will be addressed to several times and with different initial populations (multi start technique).

The minimization problem using PSO. In the proposed method, the outputs of the optimal sizing using the algorithm PSO are the number of WGs, modules PV and batteries. The number of variables must be optimized so that the ultimate 20-year cost of the system should be equal to the lowest possible value.

The total cost of the system $J(X)(\$)$ is the sum of capital costs $C_c(X)(\$)$ and maintenance costs $C_m(X)(\$)$. [5]

$$\min_x \{J(X)\} = \min_x \{C_c(X) + C_m(X)\}, \quad (6)$$

where X is the vector of decision variables mentioned above.

Therefore, the aim of this multi-variable optimization is minimizing a function including the initial and ongoing 20-year costs of each of the parts used in the system.

$$\begin{aligned} J(X) = & N_{PV} \cdot (C_{PV} + 20M_{PV}) + N_{WG} \cdot (C_{WG} + 20M_{WG}) + N_{BAT} \cdot [C_{BAT} \cdot (y_{BAT} + 1) + \\ & + M_{BAT} \cdot (20 - y_{BAT} - 1)] + N_{ch}^{PV} \cdot [C_{ch}^{PV} \cdot (y_{ch}^{PV} + 1) + M_{ch}^{PV} \cdot (20 - y_{ch}^{PV} - 1)] + \\ & + N_{INV} \cdot [C_{INV} \cdot (y_{INV} + 1) + M_{INV} \cdot (20 - y_{INV} - 1)], \end{aligned} \quad (7)$$

wherein:

$$X = [N_{PV}, N_{WG}, N_{BAT}], \quad (8)$$

According to the conditions:

$$N_{PV} \geq 0, \quad (9)$$

$$N_{WG} \geq 0, \quad (10)$$

$$N_{BAT} \geq 0, \quad (11)$$

$$P_{\text{Supply}}(i, t, X) \geq P_{\text{Demand}}(i, t) \text{ for } \begin{cases} i = 1, 2, 3, \dots, 365 \\ t = 1, 2, 3, \dots, 24 \end{cases} \quad (12)$$

where CPV is the cost of photovoltaic, CWG is the cost of wind energy, CBAT is the cost of battery, C_{ch}^{PV} are respectively the capital cost of a PV module, WG, battery and PV charger battery and CINV is the capital cost of inverter DC/AC required for the system. Similarly, MPV, MWG, MBAT and M_{ch}^{PV} are respectively the maintenance cost (\$/year) of a PV module, WG, battery and PV charger battery and MINV is the maintenance cost of inverter DC/AC required for the system. $y_{INV}, y_{ch}^{PV}, y_{BAT}$ are respectively the number of replacement frequency of the inverter DC/AC and each of the PV chargers battery and batteries during 20 years of the system is performance. The number of inverter replacement frequency during the system lifetime (20 years) is equal to that of the system divided by the mean time between the failures of the power electronic converter. (Note that the initial installation is considered as a replacement.

The last condition is the ability or inability of the composition obtained for the system to meet the load requirement. This condition is tested at each step of simulation and even if in one step, it fails, the composition obtained is known to be inappropriate and will be removed from the possible plans.

The simulation results. To evaluate the proposed method, a hybrid power plant of wind - solar is simulated whose results can be seen below. This plant is simulated based on the data related to the wind and radiation survey of the East region of Iran .It should be noted that the costs obtained are based on the prices in the [4] and based on the dollar (\$) and the load profiles under study to test the reliability of a variable load profiles with a maximum value are 20Kw. Annual profiles of wind speed sampled at a height of 40 meters and intervals of 1-hour, an average of 24 hours in a 52-week year is shown in Figure 2. Since wind is a random phenomenon, the probability that the annual wind profiles in one year will be repeated identically next year is very low and, in fact, equal to zero. Therefore, in order to enhance the credibility of the simulation results, from the 24-hour profiles of the wind at intervals of a week are averaged. Thus, for instance, the wind speed is averaged at 12 o'clock, during the days of the first week of March, and 4.9 m/s are obtained. Now, it is assumed that in the coming years as well, at 12 o'clock of the days of the first week of March, the wind will be blowing at a speed of 4.9 m/s. This has two major advantages: first the results would be more valid because each hour, the probability of the wind blowing at a speed equal to the weekly average of the wind speed over the past year and at the same time much greater than the probability of wind blowing at a speed exactly equal to the speed for the same time of the previous year.

In conclusion, the results of simulation in terms of working with the weekly average will have more credibility than the results obtained from the simulation with exact duplicate data. Second, instead of the simulation during time step 8760 (one

year of 365 days is assumed to be equal to 8760 hours), the simulation can be done in time step $52 \times 24 = 1248$ (one year is equal to 52 weeks and each week will also include a 24 hour profiles).

Thus, the volume and time of computations and memory requirements are reduced about 7 times. Profiles of blowing and horizontal-vertical radiation of the wind and load consumption during one year that are obtained by taking the average of 24 hours over 52 weeks are shown in Figures 2 and 3.

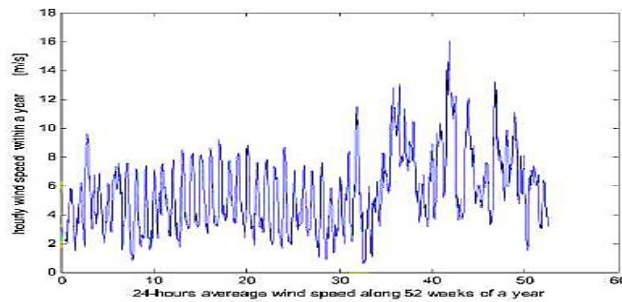


Fig. 2. 24-hour average of the wind over the 52 weeks of the year

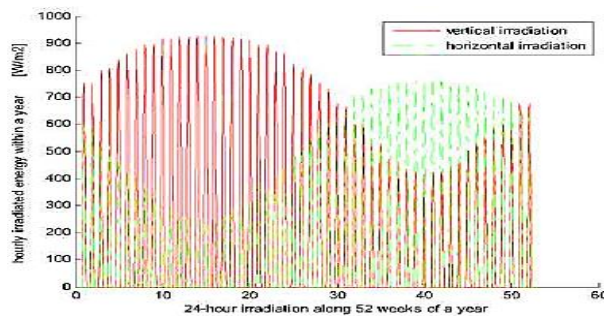


Fig. 3. 24 -hour average of the horizontal and vertical radiation over the 52 weeks of the year

An optimum combination of solar-wind a hybrid power plant. Technical and economic characteristics of equipment used in a hybrid power plant studied are as follows:

- Wind turbines with nominal power 50000W, installation height 15m, low cutoff speed 2.5 m/s, nominal speed 11 m/s, high cutoff speed 24 m/s, price 200000\$.
- a PV module with nominal power 6000W, price 30000\$.
- a Battery with a nominal capacity 2000 Ah, DODmax = 80%, charge and discharge efficiency 85%, lifetime 3 years, price 6000\$.

The annual maintenance cost of any equipment is considered to be equal to 1% of the initial cost of buying them.

The main functions of the optimization are as follows:

Generation production. Each generation comprises a bunch containing several particles that each particle actually shows a particular combination for the hybrid power plant intended. Each particle is shown with a three-dimensional vector containing a number of WGs, PV modules and batteries (8).

Compare the particles (compounds)-conditions (9 to 12)

Determine the suitability of each combination. If a composition violates the maximum one of the conditions (9 to 12), it actually becomes an unacceptable composition for the system and very large fines are charged for it. But if, the combination is correct according to the conditions above, it is recognized as an acceptable combination for the system and based on Equation 7, the suitability (cost) of the combination is calculated.

Next generation production, and repetition of the above steps.

The algorithm stops after producing a limited number of generations (100 generations) and the best answer obtained is known as the most optimal possible combination. In the simulation part, as its name implies, to simulate the compounds produced in each generation are paid, as desired combination for one year, with data on blowing, radiation and load shown in Figures 2 and 3 are simulated. If even, in one of the steps of simulation, the system is unable to meet the load, then the condition is violated, condition (12) is violated and the combination with getting a large fine actually becomes an unacceptable combination. But if the system is able to supply the load at all stages of simulation, the simulation is over successfully and this would mean that the combination is correct in condition (12).

The above program runs with the initial population equal to 60 individuals and for 500 generations.

The operation time of the above program is approximately 3 minutes on a Pentium IV with 1024 MB RAM. Figure 4 shows the trend of convergence of the above program in five independent executions. It can be seen that almost all executions in less than 150 generations will converge to the optimal answer.

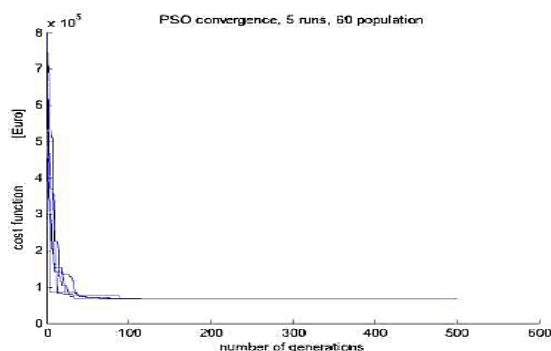


Fig. 4. The convergence trend of the program written in five independent executions (Populations equal to 60 individuals and for 500 generations)

An interesting thing is that the program execution with population of 30 individuals and 100 generations to reach the optimal solution will suffice. This, with the same previous system lasts 60 seconds, just in order to ensure the convergence program to the global optimal answer, the program had better be run several times (5 times) consecutively (multistate technique).

The last thing is, since the final composition should include correct arrays, it is better to surround the space to obtain results which are real and non-integer, the search is performed to obtain the best combination. Since, this problem has only three variables, it will be easy to do.

Conclusions. The main purposes of combining wind and solar units are to provide more reliable load consumption under different climate conditions and on the other hand, to reduce the required costs of the system and also effects of load management on the economic and energy management issue. This study focuses on a detailed examination of the costs of a wind-solar hybrid power plant independently over a 20 year period. The storage system used is a lead - acid battery bank and in addition to the cost of production and storage units, costs related to power electronic equipments such as battery systems and charger and DC/AC inverter are also considered in calculations.

Choosing the optimal combination of a power plant has been conducted using particle-bunch optimization algorithm. The condition that in the process of problem solving has always been considered is the full coverage of the load in the whole year. It seems that, since the new algorithm is used, and the effects of various factors are considered, this work is unique in its kind. Features of this algorithm include simplicity, speed and convergence to the global optimum point.

REFERENCES

1. **James Kennedy and Russell Eberhart.** Particle Swarm Optimization // IEEE. - 1995.
2. **Xiahui Hu, Russel Eberhart** // Solving Constrained Nonlinear Optimization Problems with Particle Swarm Optimization".- 2002.
3. **Demand side Management in China:** Power sector program.- June.1, 2010. <http://china.nrdc.org/library/2010@smtra>. Ining-en accessed march 3, 2011, www.nrds.org/.
4. **Eftichios Koutroulis, Dionissia Kolokotsa, Antonis Potirakis, Kostas Kalaitzakis,** //Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms // Solar Energy xxx (2006) xxx-xxx (ARTICLE IN PRESS).
5. **Konstantinos E. Parsopoulos and Michael N. Vrahatis,** "On the Computation of All Global Minimizers Through Particle Swarm Optimization // IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION.- June 2004. -Vol.8, No.3.

SEUA (POLYTECHNIC). The material is received 25.08.2014.

ԱՖՐԱ ՄՈՒՍՏԱՖԱՅԵԻ

ԷՆԵՐԳԱԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՈՂԱԼԱՎՈՐՈՒՄԸ՝ ՀԱՇՎԻ ԱՌԱՍ ԲԵՌԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ ԵՎ ՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Պահանջարկի կառավարման տեսանկյունից ամենահիմնականը և կարևորը բեռի էլեկտրական կառավարումն է: Առաջարկվող համակարգում կառավարումը էներգասնուցման ապարեզում իրականացվում է բեռի կառավարմամբ: Բեռի կառավարման մեթոդները ներկայանում են երեք հիմնական դասերով՝ բեռի անջատում, տարածքում բեռի բաշխում, բեռի փոխանջատում: Սակայն այդ մեթոդներն օգտագործվում են՝ կախված բեռի տեսակից և կառավարության վարած քաղաքականությունից, և դիտարկվում են օգտագործվող մեթոդների հնարավորությունները՝ հաշվի առնելով այն, որ արդյունավետ ու տարածված մեթոդ է բեռի անջատումը: Առաջարկվող տարբերակում էլքերի օպտիմալ չափերը, օգտագործելով մասնակի խմբավորմամբ օպտիմալացման ալգորիթմը, հնարավորություն է տալիս որոշելու հողմագեներատորների քանակը, ֆոտովոլտային տարրերի և ակումուլյատորների քանակը: Փոփոխականների քանակը օպտիմալացված է այնպես, որ համակարգի 20 - ամյա օգտագործման արժեքը վերջնականապես ստացվի նվազագույնը:

Առանցքային բառեր. բեռի կառավարում, հիբրիդ համակարգ, էներգետիկ արդյունավետություն, մասնակի խմբավորմամբ օպտիմալացման (ՄԽՕ) ալգորիթմ:

АФРА МУСТАФАЕИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Электрическое управление нагрузкой (ELM) является одним из основных и наиболее важных для управления спросов (DSM). В предлагаемой системе менеджмент в энергоснабжении осуществляет управление нагрузкой. Методы управления нагрузкой разделяются на три основные категории - затенение нагрузки, распределение нагрузки по территории и переключение нагрузки. Однако эти методы используются в зависимости от типа нагрузки и проводимой правительством политики. Рассматриваются возможности используемых методов с учетом того, что столь же эффективным и популярным методом является затенение нагрузки. В предлагаемом способе выходы оптимальных размеров с использованием алгоритма оптимизации с частичным группированием (Particle Swarm Optimization) (PSO) дают нам возможность выбрать количество ветрогенератора (WG), модули из фотовольтаик (PV) и батареи. Число переменных оптимизировано таким образом, чтобы в конечном итоге стоимость использования системы за 20 лет была минимальной.

Ключевые слова: управление нагрузкой, гибридная система, энергетическая эффективность, алгоритм оптимизации с частичным группированием (PSO).

А.А. АГАДЖАНИЯН, А.А. АХУМЯН, Т.В. ЗАКАРЯН, А.К. МЕЛИКЯН,
Н.Г. ПОГОСЯН

**СИСТЕМА ДВУМЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И МОНИТОРИНГА
ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Разработана и исследована система для двумерного мониторинга действующего значения индукции переменного магнитного поля в горизонтальной плоскости камеры плазменной обработки. Для увеличения скорости измерений был использован метод параллельных измерений датчиками с чувствительностью к переменному магнитному полю порядка $1.8 \cdot 10^{-8} \text{ Т}$. Измерения в камере травления позволяют производить мониторинг однородности электромагнитного поля и корректировать ее положением высокочастотного (ВЧ) излучателя.

Ключевые слова: плазменная обработка материалов, индукция магнитного поля, двумерная визуализация, переменное магнитное поле.

Введение. Для травления и нанесения различных материалов на подложку, очистки и модификации их поверхностей используется относительно новый метод плазменной обработки полупроводниковых материалов. Плазменная обработка применяется в производстве микроэлектронных приборов, микромеханике и других областях нанотехнологии [1]. Данный метод был впервые внедрен в процесс производства полупроводниковых приборов в восьмидесятых годах, после чего были поэтапно разработаны более целенаправленные и избирательные методы плазменной обработки. Применение плазмы в процессе производства интегральных схем резко уменьшило уровень загрязнения окружающей среды. Плазмохимическое травление обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами травления (например, фотолитографическим). Однако на практике данный метод не может быть использован во всех случаях. Плазма и явления, связанные с ее поведением при различных условиях, имеют значительно сложную структуру и в настоящее время полностью не объясняются в рамках существующих моделей.

Плазма, используемая для обработки полупроводниковых материалов, возбуждается под воздействием ВЧ сигналов с частотой от единиц до нескольких десятков мегагерц в специальных вакуумных камерах, наполненных инертными газами. В настоящее время получили распространение методы создания плазмы как с ёмкостными, так и с индуктивными связями. При разработке систем возбуждения для использования в процессе плазменной обработки полупроводниковых материалов необходимо решить две основные задачи: согласование комплексных

сопротивлений ВЧ излучателя и плазмы для обеспечения максимальной передачи энергии от генератора к плазме, а также создание однородного поля в камере. Первая задача решается измерением магнитных и электрических компонент электромагнитного поля, а также временного фазового сдвига между последними и, при необходимости, дальнейшей корректировки с помощью специальных согласующих цепей и алгоритмов адаптивного согласования. С целью же создания максимально однородного электромагнитного поля во всем объеме камеры травления применяются разнообразные системы возбуждения, которые, по существу, представляют собой ВЧ антенны.

Целью настоящей работы является создание и исследование системы для двумерного мониторинга действующего значения напряженности переменного магнитного поля в горизонтальной плоскости камеры плазменной обработки.

Метод измерения. Измерение переменного магнитного потока в камере травления сводится к измерению потока магнитного поля в различных точках исследуемой поверхности и может быть произведено с помощью единого датчика, передвигающегося с помощью подвижного механизма по исследуемой поверхности. Процесс измерения в определенных точках исследуемой плоскости выполняется поочередно для всех точек исследуемой поверхности, далее посредством специальных методов цифровой обработки выполняется реконструкция полной картины распределения потока магнитного поля.

Очевидно, что разрешающую способность измерения потока магнитного поля в исследуемой поверхности можно увеличить, лишь уменьшив размер шага перемещения подвижного механизма, и поэтому измерительные системы, основанные на данном методе, не отличаются высокой производительностью с точки зрения скорости измерения.

С целью увеличения скорости измерения можно использовать метод, основанный на параллельных измерениях [2,3]. Разрешающая способность таких измерительных систем зависит от количества датчиков, которые фиксируются в определенных точках плоскости исследования. Матрица датчиков подключается к многоканальной системе сбора данных, которая при каждом такте измеряет показания всех датчиков, расположенных в плоскости исследования.

Описание системы. Учитывая особенности, преимущества и недостатки методов, на которых основаны системы двумерного мониторинга напряженности переменного магнитного поля в камере травления, в разработанной системе используется метод параллельных измерений. Система состоит из матрицы датчиков магнитного поля, системы сбора данных и блока управления, обработки и визуализации результатов. Структурная схема системы приведена на рис. 1.

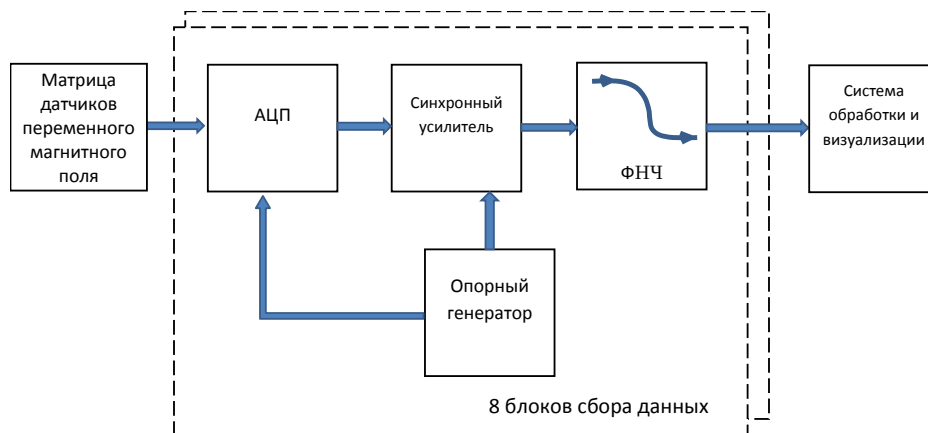


Рис. 1. Структурная схема системы двумерного мониторинга

Матрица датчиков магнитного поля. Для исследования и использования плазмы в различных целях, в том числе при производстве полупроводниковых приборов, необходимо измерить и исследовать параметры плазмы. Самыми главными параметрами плазмы являются температура, давление и однородность электромагнитного поля.

Существуют различные методы измерения переменного магнитного поля. Одним из эффективных является метод простого электрического контура. Принцип его работы основан на законе Фарадея, согласно которому для любого замкнутого контура индуцированная электродвижущая сила (ЭДС) пропорциональна скорости изменения магнитного потока, проходящего через этот контур:

$$V = -N \frac{d\Phi_B}{dt}, \quad (1)$$

где Φ_B – магнитный поток через контур, а N – количество витков контура.

Матрица датчиков магнитного поля реализована на платформе круглой формы с диаметром 500 мм, на которой расположены контурные датчики магнитного поля. Структура и расположение датчиков матрицы, реализованной на 4-слойной печатной плате и состоящей из 64 одноконтурных точечных элементов, приведены на рис. 2. Идентичность датчиков, однородность изолятора печатной платы и нулевой наклон плоскостей контуров относительно плоскости печатной платы обеспечивают идентичность измерений во всех исследуемых точках. Точность исполнения печатной платы составляет единицы микрометров.

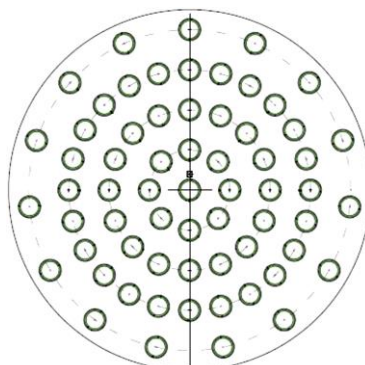


Рис. 2. Структура матрицы датчиков магнитного поля

Система сбора данных. Детектированные сигналы с помощью кабелей с малыми потерями передаются в блок сбора данных. Система сбора данных состоит из 8 блоков сбора данных. Один из блоков является управляющим и обеспечивает сигналом синхронизации всю систему. Остальные 7 блоков являются ведомыми. Каждый блок имеет 8 каналов аналогового входа. Количество блоков практически ограничивается нагрузочной способностью опорного генератора. В случае необходимости увеличения количества датчиков возможно параллельное подключение нового блока сбора данных. Каждая подсистема допускает подключение до 8 точечных датчиков. Структурная схема системы сбора данных приведена на рис. 1. Каждый блок имеет внутренний опорный тактовый генератор, синхронизированный с генератором управляющего блока сбора данных.

Блок сбора данных состоит из аналого-цифрового преобразователя (АЦП), опорного генератора и микропроцессора, на котором реализованы алгоритмы синхронного усиления и фильтра нижних частот.

Система обработки и визуализации данных. Система обработки и визуализации (СОВ) предназначена для сбора, цифровой обработки и представления графических результатов обработки, гистограмм и распределения в различных плоскостях сечения. СОВ реализована на персональном компьютере (ПК). Система сбора данных подключена к СОВ через многоканальный USB-разветвитель, что дает возможность подключения большого количества подсистем сбора данных к СОВ, используя только один USB -канал. Схема потока информации от блоков сбора данных к СОВ приведена на рис. 3.

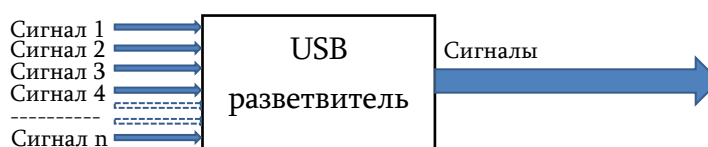


Рис. 3. Схема потока информации от блоков сбора данных к СОВ

Поток чередующихся сигналов всех блоков сбора данных поступает в СОВ. Программа обработки и визуализации накапливает результаты измерений от всех блоков сбора данных для текущего фрейма, и по его завершении выполняется обработка пакета данных. Количество датчиков на исследуемой плоскости равно 64. При таких условиях возможно получить информацию только в точках, где установлены контурные датчики. Увеличением количества датчиков можно увеличить разрешающую способность системы. Но из-за конструктивных ограничений существует максимальное возможное количество точечных датчиков. В таких случаях с целью увеличения виртуальной разрешаемой способности подобных систем используются специальные математические аппроксимирующие алгоритмы. В данной системе применяется метод кубической интерполяции. Программное обеспечение выполняет статистическую обработку результатов измерения для оценки однородности магнитного поля. При этом рассчитываются среднее значение, среднеквадратическое отклонение, минимальное и максимальное значения и нормированная гистограмма результатов измерения (рис. 4). С целью детального исследования результатов измерения исследуемая плоскость условно разделяется на 4 concentric rings (рис. 5), для каждого из которых по отдельности выполняется статистический анализ.

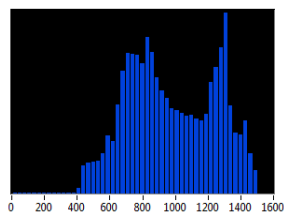


Рис. 4. Нормированная гистограмма результатов измерения

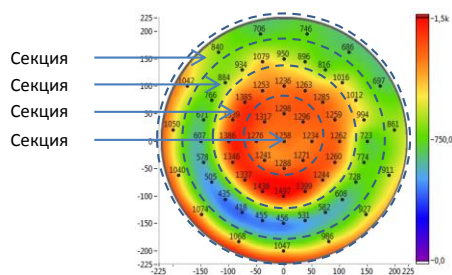


Рис. 5. Расположение секции в плоскости исследования

Программное обеспечение также дает возможность создания плоскости сечения для любого произвольного угла наклона. На рис. 6 приведены результаты сечения для 0, 90 и 180 градусов наклона.

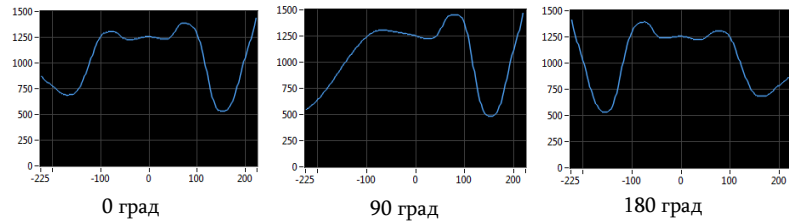


Рис. 6. Результаты сечения при разных углах наклона

Для визуализации профиля магнитного поля выполняется экспоненциальное усреднение во времени результатов измерений. На рис. 7 приведен вид графического интерфейса управляющего программного обеспечения.

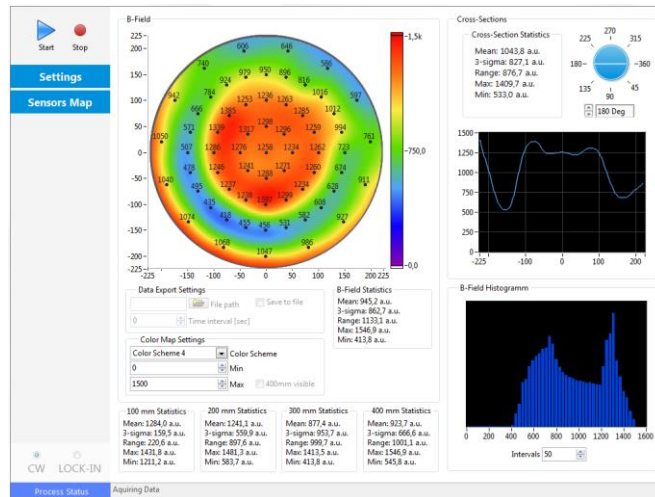


Рис. 7. Графический интерфейс управляющего программного обеспечения

Оценка чувствительности датчиков и результаты измерений. Как уже отмечалось, матрица датчиков состоит из 64 элементов, реализованных на многослойной плате с использованием фотолитографической технологии, что обеспечивает идентичность габаритных размеров датчиков. Согласно (1), при воздействии переменного магнитного поля индуцированная на свободных концах каждого датчика ЭДС равна

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt}, \quad (2)$$

где Φ_B – магнитный поток через контур, а N – количество витков контура, которое для данного датчика равно единице.

Поток переменного магнитного поля по контуру датчика равен

$$\Phi_B(t) = BA \cos \omega t, \quad (3)$$

где B – магнитная индукция; A – площадь датчика; ω – угловая частота.

Сигнал с каждого датчика поступает на детектор, на выходе которого напряжение пропорционально действующему значению (RMS) входного сигнала и равно

$$\varepsilon_{RMS} = \frac{1}{\sqrt{2}} BA\omega. \quad (4)$$

Выходной сигнал детектора подается на вход АЦП с разрядностью 12 бит и динамическим диапазоном

$$\varepsilon_{RMSmax} = FSR_{ADC} = 3B, \quad (5)$$

где FSR_{ADC} – динамический диапазон АЦП;

$$B_{RMSmax} = \frac{\varepsilon_{RMSmax}}{2\pi Af}, \quad (6)$$

а f – частота сигнала ВЧ генератора.

На рис. 8 приведены геометрические размеры контура датчика магнитного поля, согласно которым площадь контура датчика равна

$$A \approx 4,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

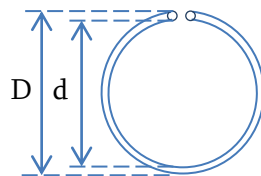


Рис. 8. Геометрические размеры контура датчика магнитного поля

Чувствительность измерительного тракта к действующему значению индукции магнитного поля при использовании 12 - разрядного АЦП равна

$$B_{RMS0} = \frac{B_{RMSmax}}{2^{12} - 1} \approx 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ Тл.}$$

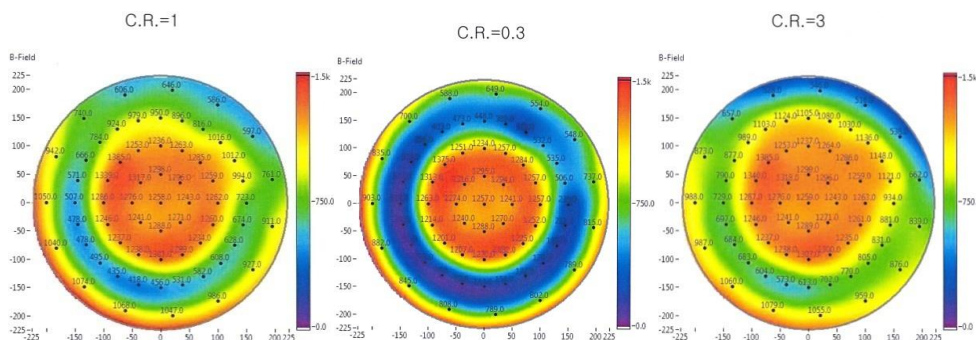


Рис. 9. Типичные результаты измерения при различных отношениях токов антенн

В заключение отметим, что ВЧ сигнал на излучатель в камере травления, состоящий из двух антенн, подается через разветвитель мощности, коэффициент деления которого (С.Р.) меняется от 0,3 до 3. Типичные результаты измерений при различных отношениях токов антенн представлены на рис. 9. Очевидно, что посредством геометрического перемещения излучателя, а также его формы можно добиться максимальной однородности электромагнитного поля в камере плазменной обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kakiuchi, Hiroaki.** Atmospheric-pressure low-temperature plasma processes for thin film deposition // Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films. – 2013. – 32, no 3. - P. 030801 - 030801-16.
2. **Black, D.C., Mayo, R.M.** High sensitivity, inductively coupled miniature magnetic probe array for detailed measurement of time varying magnetic field profiles in plasma flows // Review of Scientific Instruments. – 1996. – 67, no 4. - P.1508-1516.
3. **Kanamaru, Yuki.** Magnetic probe array with high sensitivity for fluctuating field // Review of Scientific Instruments. – 2007. – 78, no 3. - P. 036105

ИРФЭ НАН РА. Материал поступил в редакцию 06.10.2014.

**Ա.Ա. ԱՂԱԶԱՆՅԱՆ, Ա.Ա. ՀԱՌՈՒՄՅԱՆ, Տ.Վ. ԶԱՔԱՐՅԱՆ, Հ.Կ. ՄԵԼԻԿՅԱՆ,
Ն.Գ. ՊՈԴՈՍՅԱՆ**

**ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԵՐԿԶՈՓ ԱՐՏԱՊԱՏԿԵՐՄԱՆ ԵՎ ԴԻՏԱՐԿՄԱՆ
ՀԱՍՏԱԿԱՐԳ**

Մշակվել և հետազոտվել է պլազմային մշակման խցիկի մագնիսական դաշտի գործող արժեքի երկչափ դիտարկման համակարգ: Չափման արագագործությունը մեծացնելու նպատակով օգտագործվել է զուգահեռ չափումների մեթոդը: Մագնիսական տվիչների սեփական զգայնությունը կազմում է մոտավորապես $1.8 \cdot 10^{-8}$ Տ: Ներկայացված են կատարված տիպային չափումները, որոնք թույլ են տալիս դիտարկել մագնիսական դաշտի համասեռությունը պլազմային մշակման խցում:

Առանցքային բառեր. նյութերի պլազմային մշակում, մագնիսական դաշտի ինդուկցիա, երկչափ արտապատկերում, փոփոխական մագնիսական դաշտ:

**A.A. AGHAJANYAN, A.A. HAKHOUMIAN, T.V. ZAKARYAN, H.K. MELIKYAN,
N.G. POGHOSYAN**

**A TWO-DIMENSIONAL VISUALIZATION AND MONITORING SYSTEM FOR AN
ALTERNATING MAGNETIC FIELD**

A system for two-dimensional monitoring of the effective induction value of the alternating magnetic field in the horizontal plane of the plasma processing chamber is developed and investigated. In order to increase the measurement speed, the method of parallel measurement is used by sensors sensitive to the alternating magnetic field of the order $1.8 \cdot 10^{-8}$ T. The measurements in the plasma processing chamber allow to carry out monitoring of the uniformity of the electromagnetic field in the plasma processing chamber.

Keywords: plasma processing of materials, induction of magnetic field, two-dimensional visualization, monitoring, alternating magnetic field.

Ռ.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Ն.Դ. ԵԶԱԿՅԱՆ, Ա.Գ. ՂՈՒԼՅԱՆ

ԱՐՏԱՔԻՆ ՇՆՀԱՌՈՒԹՅԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԶԱՓԻՉ ՍԱՐՔ

Նկարագրված է հաստատուն ջերմաստիճանի՝ հողմաչափի սկզբունքով աշխատող արտաքին շնչառության պարամետրերի չափիչ սարքը: Բերված է չափիչի կառուցվածքային սխեման, բացատրված է որոշ հանգույցների աշխատանքը, և տրված են հիմնական տեխնիկական պարամետրերը:

Առանցքային բառեր. հողմաչափ, ջերմաչափ, ներշնչում, արտաշնչում, արագություն, ծավալ, օդային հոսք:

Շնչառության պարամետրերի չափող սարքերը կիրառվում են բժշկության մեջ (օրինակ՝ շնչառական հիվանդությունների, ասթմայի մոնիթորինգի դեպքերում, ինչպես նաև առողջ մարդու շնչառությունը ստուգելու համար): Սարքերն օգտագործվում են ինչպես ամբուլատոր, այնպես էլ ստացիոնար պայմաններում: Շնչառական պարամետրերի հետազոտման շնորհիվ հնարավոր է լինում գնահատել նախավիրահատական վիճակը և վիրահատական միջամտության անհրաժեշտությունը: Դրանից բացի, շնչառական պարամետրերի չափիչները լայնորեն կիրառվում են սպորտային բժշկությունում և գիտական հետազոտություններում:

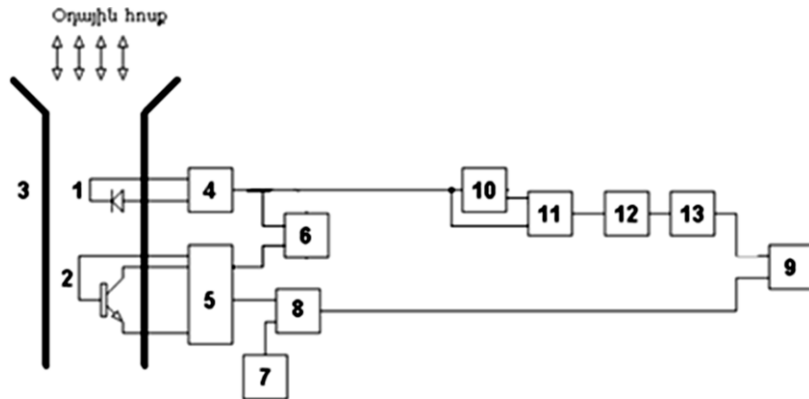
Գոյություն ունեն շնչառության պարամետրերի չափման տարբեր եղանակներ՝ ջերմային, մեխանիկական, հիդրոդինամիկական և այլն [1]: Այս եղանակներով մեծ մասամբ չափվում են շնչառական պարամետրերի փոքր տիրույթը, որի պատճառով լայն կիրառություն չեն ստացել:

Նշենք լայն տարածում ստացած հիդրոդինամիկական տիպի չափիչները, որոնց տվիչն աշխատում է դիֆերենցիալ ճնշաչափի սկզբունքով, իսկ չափիչ սարքը հասցված է կատարելության: Տվիչի կառուցվածքը (Ֆլեյշայի խողովակ) և սարքում տեղադրված միկրոկառավարչային համակարգն ապահովում են ավելի քան 43 պարամետրերի չափումը և ցուցադրումը, ըստ որում, սարքն ունի համեմատաբար փոքր չափսեր: Թերություններից նշենք, որ սարքը չի չափում ջերմային որևէ պարամետր, ունի վաճառքի բարձր գին, իսկ սարքի սպասարկման համար պահանջվում է բարձր որակավորում ունեցող անձնակազմ:

Արտաշնչման պարամետրերի չափման տեսանկյունից մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում հոսքի արագության ջերմային սկզբունքով աշխատող չափիչները [2-5]:

Աշխատանքում նկարագրված սպիրոմետրի պատրաստման համար հիմք են հանդիսացել [2, 4, 6] արտոնագրերը, որտեղ նկարագրված են արագագործ օդային հոսքի ջերմաչափը [2], օդային հոսքի արագության չափիչը [3], համապարփակ ջերմակայունացնող մոդուլը [4]:

Մշակված հողմաչափն ունի հետևյալ պարզեցված կառուցվածքային սխեման (նկ. 1):



Նկ. 1. Հողմաչափի կառուցվածքային սխեման.

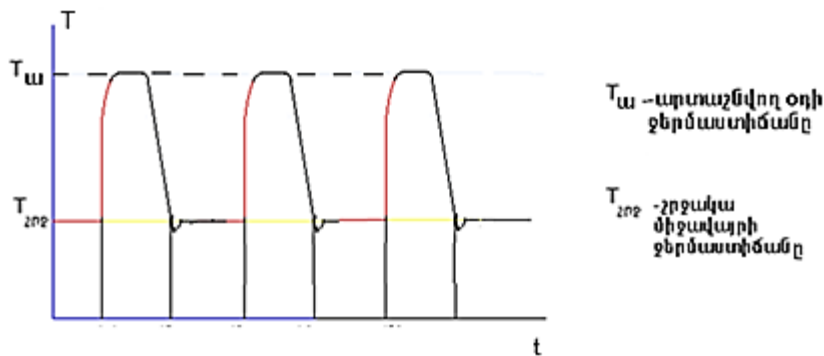
1. ջերմաստիճանի (դիոդ), 2. ջերմակայունացվող իրանով տրանզիստոր, 3. շնչառական փողորակ, 4. էլեկտրոնային ջերմաչափ, 5. օդային հոսքի արագաչափ, 6. լարման կարգավորվող մեկուսացված աղբյուր, 7. լարման աղբյուր, 8. անալոգային բազմապատկիչ, 9. ներշնչման (արտաշնչման) օդի ծավալաչափ, 10. օդային հոսքի միջին ջերմաստիճանը որոշող հանգույց, 11. դիֆերենցիալ ուժեղարար, 12. կոմպարատոր, 13. ներշնչման (արտաշնչման) ժամանակը որոշող հանգույց

Շնչաչափը բաղկացած է հետևյալ հիմնական հանգույցներից.

- արագագործ էլեկտրոնային ջերմաչափ՝ ներշնչվող (արտաշնչվող) օդի ջերմաստիճանի չափման համար,
- հաստատուն ջերմաստիճանի հողմաչափի հանգույց, որի մեջ մտնում են ջերմակայունացվող իրանով 2 տրանզիստորը և լարման կարգավորվող աղբյուրը,
- ներշնչման (արտաշնչման) գործընթացի տևողությունները որոշող հանգույցները (10-13),
- ներշնչման (արտաշնչման) գործընթացի ծավալները որոշող հանգույցները (7-9):

Նշենք, որ 1 դիոդը և 2 տրանզիստորը անհրաժեշտ կառուցվածքով են և գտնվում են 3 շնչառական փողորակում և ամրացված են արտանցումների միջոցով: Բացի դրանից, 6 լարման աղբյուրն ապահովում է անհրաժեշտ ջերմային դրական թոփաքը 2 տրանզիստորի իրանի և օդային հոսքի ջերմաստիճանների միջև:

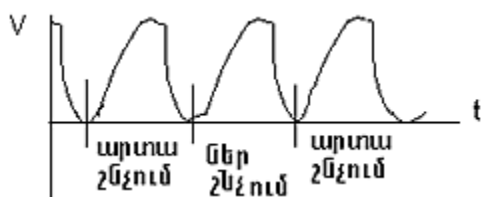
Սարքն աշխատում է հետևյալ կերպ: Հետազոտվողին հազցնում են շնչառական փողորակը, և միացվում է ընդհանուր սնուցումը: 4 ջերմաչափի էլքում ստանում ենք լարման փոփոխության հետևյալ պատկերը (նկ. 2՝ արտատպած օսցիլոգրաֆի էկրանից):



Նկ. 2. Ջերմաչափի ելքային լարման տեսքը

Նկ. 2-ից երևում է, որ արտաշնչման ընթացքում օդի ջերմաստիճանը բարձր է ներշնչման (փաստորեն շրջապատի) ջերմաստիճանից: Դրանից բացի, որոշակի են շնչելու (արտաշնչելու) տևողությունները: Երևում է, որ արտաշնչումից ներշնչում անցնելիս տեղի ունի ջերմության ավելի կտրուկ անկում, քան ներշնչումից արտաշնչում կատարելիս: Դա պետք է բացատրել արտաշնչման ընթացքում օդի մեջ պարունակվող ջրային գոլորշիների առկայությամբ:

4 էլեկտրոնային ջերմաչափի ելքային լարմանը գումարվում է 6 աղբյուրի լարումը (համարժեք է 20...40°C ջերմային հավելման 2 տրանզիստորի իրանի վրա) և տրվում է 5 արագաչափի առաջնադրիչի մուտքին: Սրա հետևանքով 2 տրանզիստորը լրացուցիչ հզորություն է ծախսում իրանի ջերմակայուն վիճակը պահելու համար շրջանցող օդի նկատմամբ ինչպես ներշնչման, այնպես էլ արտաշնչման ժամանակ (քանի որ տվիչը շրջանցող օդը ավելի սառն է, և օդային հոսքը սառեցնում է տրանզիստորի իրանը): Այդ լրացուցիչ հզորության մեծությամբ էլ որոշվում է հոսքի արագության մեծությունը: Նկ. 3-ում բերված է 5 հանգույցի արագության ելքային ազդանշանի տեսքը բնականոն շնչառության ժամանակ (նկ. 3)՝



Նկ. 3. Արագության ելքային ազդանշանի տեսքը

Նկ. 3-ից երևում է, որ օդի արագությունը հավասարվում է 0-ի, երբ վերջանում է ներշնչման գործողությունը և սկսվում է արտաշնչումը, և հակառակը: Նշենք նաև այն, որ, շնորհիվ փոքր իներցիայի, 5 հանգույցի ելքում ունենք արագության ակնթարթային արժեքը:

4 էլեկտրոնային ջերմաչափի ելքային լարումը տրվում է 10 ազդանշանի միջինացնող հանգույցի մուտքին և միաժամանակ 11 դիֆերենցիալ ուժեղարարի մի մուտքին, որի մյուս մուտքին տրվում է 10 հանգույցի ելքի լարումը: Արդյունքում՝ 11-ի ելքում ունենք 4 հանգույցի ելքի ջերմության կախվածությունը ժամանակից՝ առանց շրջապատի ջերմաստիճանի հաստատուն բաղադրիչի: Այս կախվածությունը 12 կոմպարատորի ելքում վերածվում է տրամաբանական մակարդակների, և 13 հանգույցի միջոցով որոշվում են ներշնչման և արտաշնչման տևողությունները:

5 արագաչափի ելքային լարումը 8 անալոգային բազմապատկիչի միջոցով տրվում է 9 օդային հոսքի ներշնչման (արտաշնչման) ծավալաչափին: Անալոգային բազմապատկիչի մյուս մուտքին տրվում է լարում, որը համարժեք է 3 շնչառական փողորակի լայնական կտրվածքի մակերեսի մեծությանը: 9 հանգույցը տարանջատում է ներշնչման և արտաշնչման արագությունները, որոշում է ներշնչման (արտաշնչման) ծավալների մեծությունները՝ ինտեգրելով ներշնչելու (արտաշնչելու) ընթացքում առկա ծավալները:

Սարքի մակետային տարատեսակի պատրաստման ժամանակ օգտագործվել է КИТ201И դաշտային տրանզիստորի փական-ակունք անցումը: Ուղիղ շեղված կայունացված հոսանքը ջերմության չափման ժամանակ $8,2 \cdot 10^{-6}$ Ա է, տվիչի ինքնատաքացման հզորությունը՝ $3,28 \cdot 10^{-6}$ Վտ, ինքնատաքացման ջերմաստիճանի մեծությունը փողորակի ծավալում անշարժ հոսքի դեպքում՝ $2,3^{\circ}\text{C}$, իսկ ջերմաստիճանի ապահովում է 10 մկրկ-ից ոչ ավելի ժամանակի հաստատուն:

Որպես հոսքի արագության սովիչ օգտագործվել է 2Т384АМ2 տիպի անիրան տրանզիստորը, որի р-ո անցումի ջերմաստիճանի ամենամեծ արժեքը 408°C է, կոլեկտոր - էմիտեր և էմիտեր - բազա անցումների լարումների ամենամեծ արժեքը 30°C , իսկ ցրման առավելագույն հզորությունը՝ $0,3$ Վտ: Այս տրանզիստորի հիման վրա ստեղծված է ջերմակայունացուցիչ [4], որում որպես ջերմատվիչ օգտագործվել է բազա-էմիտեր անցումը, իսկ որպես ջերմակարգավորիչ՝ կոլեկտոր-էմիտեր անցումը: Տրանզիստորի կոլեկտորի ջերմաստիճանը կարգավորվում է նկ. 1-ի 6-րդ հանգույցի ելքի լարմամբ: Դա նշանակում է, որ եթե շրջապատի օդի ջերմաստիճանը 22°C է, իսկ ջերմաստիճանային հավելումը՝ 40°C , որը համապատասխանում է 6 աղբյուրի $80 \cdot 10^{-3}$ Վ լարման մակարդակին, ապա կոլեկտորի ջերմաստիճանը պետք է լինի՝ ներշնչում՝ $T_{կնրշ}=22+40=62^{\circ}\text{C}$,

արտաշնչում՝ $T_{կարտ}=35,9+40=75,9^{\circ}\text{C}$:

Փաստորեն օդային հոսքի արագությունը որոշելիս շրջապատի օդի և տաքացվող տրանզիստորի ջերմաստիճանների տարբերությունը նույնն է, որը և անհրաժեշտ է օդային հոսքի ներշնչման և արտաշնչման կիսապարբերությունների ճշգրիտ որոշման համար:

Շնչաչափի մշակված մակետն ունի հետևյալ տեխնիկական պայմանները.

- օդի ջերմաստիճանի չափման տիրույթը՝ $0 \dots 50^{\circ}\text{C}$,

- օդի ջերմաստիճանի չափման թույլատրելի սխալը՝ $\leq 0.2^{\circ}\text{C}$,
- օդի ջերմաստիճանի չափման ժամանակի հաստատունը՝ ≤ 10 մվրկ,
- հողմաչափի տրանզիստորի իրանի առավելագույն ջերմաստիճանը՝ 100°C ,
- հողմաչափի ծախսած հզորությունը, երբ օդի հոսքը բացակայում է՝ 15 մՎտ,
- հողմաչափի ծախսած հզորությունը, երբ օդի հոսքը առավելագույն արագությունների դեպքում՝ 200 մՎտ,
- չափվող ներշնչման (արտաշնչման) տևողությունները տարբեր շնչառական ռեժիմների և հետազոտվողների համար՝ $0.3...5$ վրկ,
- չափված տևողությունների թույլատրելի սխալը՝ $\leq 1\%$:

Այսպիսով, մշակված մակետային տարատեսակի փորձարկումը ցույց տվեց, որ մշակված շնչաչափն ունի շնչառական պարամետրերի չափման լայն հնարավորություն:

Սաքքը չափում է շնչառության տևողությունները, ընթացիկ արագությունները, ծավալները, ջերմությունները և այլն, արագագործությունը բավարարում է շնչառական գործողության չափման համար: Չի պարունակում նաև նույն մեխանիկական մշակում պահանջող հանգույցներ, ներշնչման (արտաշնչման) ժամանակ սարքի փողոցակը օդի հոսքին դիմադրություն ցույց չի տալիս: Այն կարող է պատրաստվել դյուրակիր սկզբունքով, ունենալ համեմատաբար ցածր գին և սպասարկման պարզ տեխնիկա:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Монсеев А.В., Соколенко А.В., Ульянычева В.Ф.** Анализ, разработка и исследование оптимального метода измерения скорости воздушного потока в процессе дыхания // Информатика и системы управления. - 2009. - N 4 (22). - С. 187-191.
2. А.с. 1557458 АрмССР. Устройство для измерения температуры / **Р.А. Симонян, Э.Г. Везирян.** - Оpubл. 15.04.1990.- Бюл. 14.
3. А.с. 1504006 АрмССР. Устройство для регулирования и измерения температуры/ **Р.А. Симонян, Д.Э. Торикян.** - Оpubл. 18.08.1989.-Бюл. 30.
4. **Симонян Р.А., Саноян А.А., Гулян А.Г.** Универсальный модуль // Proceedings of international conference on “The technique of Microwave and THZ Waves and its application in biomedical and radar technologies and in remote sensing”.- Ashtarak, 2010.- 187-189.
5. А.с. 1569719 АрмССР. Устройство для одновременного измерения температуры и скорости потоков / **Р.А. Симонян, Д.Э. Торикян** - Оpubл. 07.06.1990. - Бюл. 21.
6. Патент РФ № 2064777. Устройство для измерения параметров дыхания / **Г.И. Максимов, А.В. Сивачев, Н.Т. Шубин, Г.А. Корчагина.** - Оpubл. 10.08.1996.

ՀՀ ԳԱԱ ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտ (ՌՖԷԻ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 05.05.2014:

Р.Г. СИМОНЯН, Н.Д. ЕЗАКЯН, А.Г. ГУЛЯН

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ

Описано устройство для измерения внешнего дыхания на основе анемометра постоянной температуры. Приведены структурная схема и основные технические параметры. Дается описание работы нескольких узлов.

Ключевые слова: анемометр, термометр, вдох, выдох, скорость, объем, воздушный поток.

R.H. SIMONYAN, N.D. YEZAKYAN, A.G. GHULYAN

A DEVICE FOR MEASURING THE PARAMETERS OF EXTERNAL RESPIRATION

A device for measuring the parameters of external respiration based on the operation principle of a constant temperature anemometer is described. The block diagram and the main technical parameters are introduced. The operations of some nodes are described.

Keywords: anemometer, thermometer, inhalation, exhalation, speed, air flow, volume.

G.A. PILAWJIAN

**LENS REFRACTING COST EFFECTIVE PHOTOVOLTAIC SOLAR
ENERGY CONCENTRATING SYSTEMS**

The overall cost reduction task is studied for photovoltaic (PV) solar energy systems. For that purpose, a new, cost effective lens refracting system is developed. The concentrating system consists of Fresnel lenses placed under different facet angles refracting the sun light onto the solar cells placed along a line. The developed photovoltaic concentrating system uses the mathematical model of Fresnel lens concentrating optics for photovoltaic systems used to optimize the system by cost. A computer program FLCPVSys2.1 for the new concentrating system is developed allowing to design a photovoltaic system of the required power with the minimum cost. The program can be used for designing a cost effective photovoltaic solar concentrating system.

Keywords: Photovoltaic; Concentrator; Lens; Refraction; Cost; Effective.

Introduction. The high cost of photovoltaic (PV) modules makes the use of concentrators desirable and very demanded, because concentrators decrease the total cost of PV modules. Optical concentration offers an excellent and effective approach to the reduction of the PV system's high cost by substituting the solar cells by concentrator area. At present, different types of sun concentration systems are used to reduce the high cost of flat PV modules. For concentration, solar energy designers can use either light refraction (using Fresnel Lens) or light reflection (using mirrors). The Fresnel lens can either be circular lens to focus the sun light on a single cell, or linear lens to focus sun light on a row of cells. Amonix (US, California) uses an array of point-focus Fresnel lens [1, 2], Fraunhofer ISE (Freiburg, Germany) and Loffe institute (St. Petersburg, Russia) also use point-focus Fresnel lens in the concentrator PV systems' design [3]. The US company ENTECH has developed line-focus Fresnel lens modules [4]. Each module uses rows of silicon cells operating at 20-suns concentration.

Besides the use of lenses, it is also possible to use mirrors to concentrate the sun light. Solar systems in Australia have developed a dish concentrating PV systems [5]. The EUCLIDES concentrating array consists of a mirror reflecting parabolic trough tracking the sun around the horizontal axis [6].

All the previously mentioned designs are different having various structures, concentrating optics, concentrating ratio, tracking system, solar cells' cooling designs and also they have a wide variety of designs. It is worth to mention that the cost reduction of PV concentrating systems is a must because most existing PV concentrating systems are still expensive, moreover concentrating systems are very clean, noiseless and belong to Green technology.

Structure of Photovoltaic Concentrating Systems. The basic disadvantage while dealing with solar energy is to efficiently collect this energy and cost effectively convert it into electricity. The existing solar generating systems are still too expensive. Electricity from solar electric systems is more expensive than that produced by conventional electric generation systems. For this reason and not only, it is extremely important to develop cost-effective solar electric systems. The structure of the new cost effective photovoltaic (PV) concentrating system is a lens refracting linear focus type. The concentrating system consists of Fresnel lens placed under different Fresnel facet angles which are refracting the sun light onto the solar cells mounted along a line. The Fresnel lens is placed at a specific distance from the cell called focus distance. To design the new Fresnel lens refracting cost effective photovoltaic system with different powers, a special computer program is developed. The program allows to optimize the concentration ratio and to design a cost effective photovoltaic system having an optimized cost.

Computer program for optimization and a cost effective PV system design. In order to develop a computer program capable of designing an optimized and cost effective PV concentrated system, we need to develop a mathematical model competent of giving the computer program the ability to calculate the Fresnel lens facet angles based on the given parameters [7].

In addition to the mathematical model, and in order to determine the optimal concentration rate of Fresnel lens refracting linear focus PV concentration system, a cost optimized algorithm is also developed. The algorithm is based on optimal concentration rate needed in order to get most effective and minimal cost. The algorithm passes through many calculation iterations to determine the cost of the concentration system by increasing the concentration by 2 facets per iteration, starting from one sun.

By increasing the number of facets by 2, we are increasing the concentration rate, and, at the same time, the cost of the concentration system starts decreasing, and after some iterations, the cost starts to increase due to the ineffective addition of the facets due to the total internal reflection which will not be able to refract the sun light effectively to reach the solar cell, this causes an increase in the concentration system cost, without being effective. Realizing the fact of the cost change from a low cost to a higher one will help to determine which cost to select, which is the main goal of this article. The effective cost of Fresnel lens linear focus PV concentrating system picks up one iteration before the cost starts increasing. To realize this optimization and the automated design of PV system, the computer program FLCPVSys2.1 is developed. The home page of the computer program is presented in Fig. 1.

For the given values of generated electric power, temperature (ambient and permissible working temperature of the solar cell), solar radiation (based on the location of the solar concentrating system's manufacturing), parameters of the solar

cell, focus distance, constructive material; transportation; solar array installation; heat sink; Fresnel lens manufacturing prices in addition to many other parameters, the computer program calculates the costs of the concentrating system by changing the concentration rate and shows the value of concentration rate when the minimum cost is obtained.

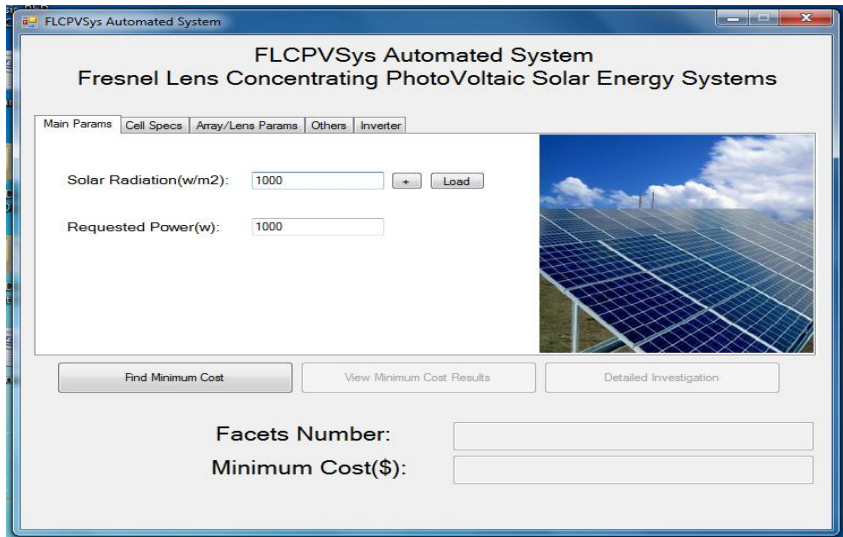


Fig. 1. Computer program home page

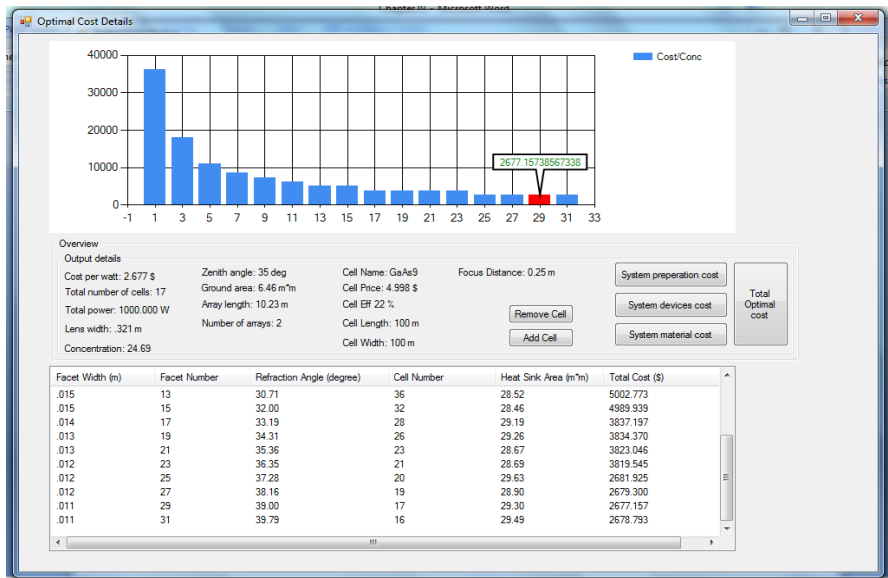


Fig. 2. Dependence of the PV concentrator system cost on the concentration rate and all the required data (Current option)

As an example, the concentration rate optimization curve obtained for the 1 kW photovoltaic system in addition to all details needed for manufacturing the Lens (Facets number, Facet width, Refraction angles), the number of cells needed to generate the required power, cost per watt, and heat sink temperature change are presented in Fig. 2.

For solar array manufacturing, installing and transporting convenience the solar cells implanted per solar array does not cause the array to be very long so that it should be used for both small (home) and large (company) efficiently. Based on these facts each solar array will consist of 20 solar cells only. The developed program is not cost affected while determining the optimal facet refraction angles of the Fresnel lens (based on the focus distance) by the critical angle of the Fresnel lens because the program finds the critical angle of incidence which causes total internal reflection causing no more concentration but cost. Therefore finding the critical angle helps to determine the cost effective photovoltaic system.

The computer program does not only calculate Fresnel lens refracting PV solar energy concentrating system optimized cost based on the required power, but also gives the designer an opportunity to get a more optimized cost per watt based on implanting the missing solar cells in the last solar array. This technique will reduce the cost per watt generated as shown in Fig. 3 and Tables 1, 2.

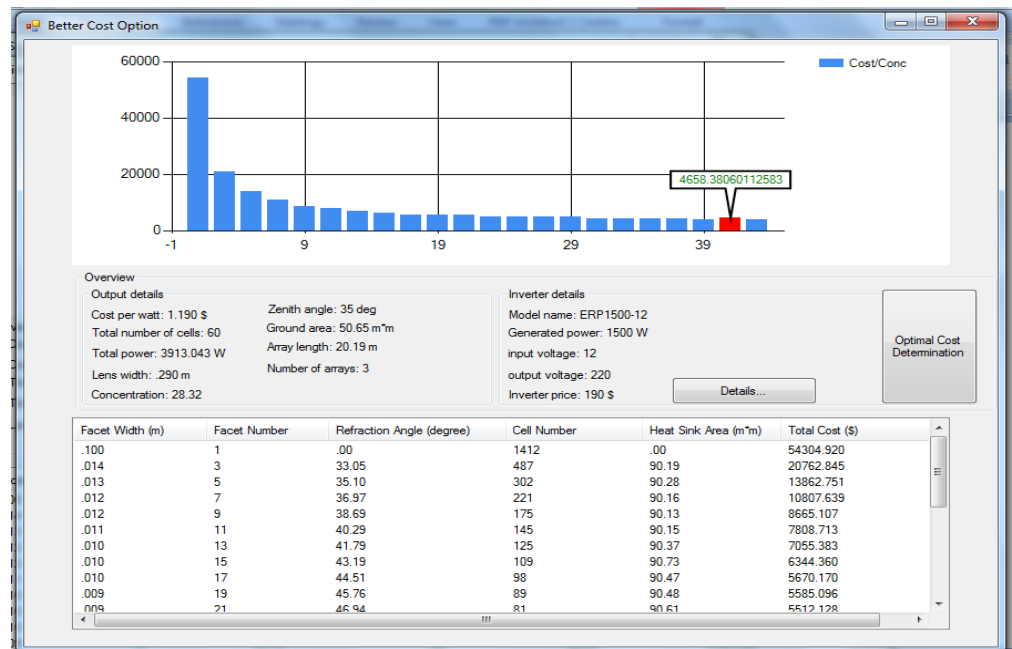


Fig. 3. Better dependence of the PV concentrator system cost on the concentration rate and all the required data (Better option)

Table 1

Dependence of the required and generated powers on the cost per watt when the last solar array misses solar cells

Required Power (KW)	Solar cells required	Lens Width (m)	Cost per watt (\$/w)	Power Generated (KW)
1	25	0.226	1.649	1
2	35	0.271	1.249	2
10	97	0.379	0.971	10
12	111	0.391	0.962	12
15	128	0.412	0.939	15

Table 2

Dependence of the required and generated powers on the cost per watt when the last solar array is saturated

Required Power (kW)	Solar cells required	Lens Width (m)	Cost per watt (\$/w)	Power Generated (kW)
1	40	0.226	1.168	1.6
2	40	0.271	1.125	2.28
10	100	0.379	0.946	10.31
12	120	0.391	0.9	12.97
15	140	0.412	0.869	16.41

The program allows to determine the optimal concentration rate which provides the minimum cost of Fresnel lens refraction linear focus PV concentration system.

It is obvious from tables 1, 2 that the Fresnel lens refraction linear focus PV concentration system cost per watt decreases with increasing the required power of the system, and that the cost per watt calculated by FLCPVSys2.1 program is competitive in comparison with other well known PV concentration systems as shown in Table 4.

All input parameters and some results obtained from the computer program are presented in Table 3.

Table 3

Input Parameters and obtained results

Required Power (kW)	1	10	100
Solar Radiation (W/m^2)	850	850	850
Solar cell efficiency (%)	25	25	25
Max. Allowable solar cell temp. (Cent.)	60	60	60
Ambient solar cell temp. (Cent.)	40	40	40
Cell Price (\$)	15	15	15
Lens Price (\$)	20	20	20

Table 3(continued)

Array Installation (\$)	25	25	25
Array Transportation (\$)	20	20	20
Array Fabrication (\$)	25	25	25
Constructive Material (\$)	100	100	100
Inverter Price (\$)	50	50	50
Convertor Price (\$)	150	150	150
RESULTS OBTAINED			
Cost/watt (\$/W)	1.168	0.946	0.866
Power Produced (KW)	1.604	10.31	100.74
Array Width (m)	0.226	0.379	0.477
Concentration rate	23	77	155
Cells required	40	100	680
Arrays required	2	5	34

The program allows not only to determine the optimal concentration rate, but also determine the heat sink area needed to keep the solar cells per array in their best efficiency, moreover, the program determines all the necessary parameters to manufacture the Fresnel lens per solar array. In addition, the program gives the designer all details per one solar array (solar cells cost, Fresnel lens area and cost, the power produced and the total array cost).

Table 4

Results for cost per watt of FLCPVSys2.1 compared to well known PV concentrating systems

Software/Institute	Required Power (W)	Solar Radiation (W/m^2)	Focus Distance (m)	Cost of watt (\$/W)	FLCPVSys2.1 cost of watt (\$/W)
CPVCAD/ SEUA [8]	500	1000	0.3	2.88	1.168
PVCsyst1.2/ SEUA [8]	1000	850	0.5	1.48	0.920
Germany Spain Project [9]	1000	850	0.5	2.02	0.920

The results obtained in Table 4 by the new cost effective Fresnel lens refraction type PV solar energy concentration system FLCPVSys2.1 (costs in red) under the same conditions of temperature, solar radiation, constructing materials cost, and focus distance are competitive compared to the projects mentioned.

Conclusion. At present, several companies have developed and installed reliable PV concentrating solar energy systems. The price of the existing PV concentrating systems is high. The developed new cost effective Fresnel lens refraction type PV solar energy concentration system has several advantages in comparison with the well known systems.

The developed optimized method, algorithm and computer program allow to design cost effective Fresnel lens refracting linear focus PV solar energy systems.

REFERENCES

1. **Stone K., Garboushian V., Dutra D., Hayden H.** Field Performance and Reliability Issues of High Concentration PV Systems // 19th European PVSEC.- Paris, 2004.- P. 2552-2555.
2. **Garboushian V., Hayden H., Johnston P., Roubideaux D.** ASP Installation and Operation of 300 kw of Amonix High Concentrating PV Systems // 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference.- New Orleans, 2002.- P. 1362-1365.
3. **Rumyantsev V., Chalov A., Ionova E., Larionov V., Andreev V.** Concentrator PV Modules with Multi-Junction Cells and Primary/Secondary Refractive Optical Elements // 19th European PVSEC.- Paris, 2004.- P. 2090-2093.
4. **Fraas L., McConnell B.** High Power Density Photovoltaics // Renewable Energy World.- 2002.-V. 5, n. 5. -P. 99-110.
5. www.solarsystems.com.au/downloads/solar-systems-news/1237713, 2013.
6. The EUCLIDES Prototype: An Efficient Parabolic Trough for PV Concentration. Photovoltaic Specialists Conference / **J.C. Luque, G. Sala, J.C. Arboiro, A. Zamorano, J.C. Minano, C. Dramsch** (Instituto de Energia Solar.Universidad Politecnica de Madrid), **Bruton T., Cunningham D.** (BP Solar. Middlesex, U.K.) // Conference Record of the Twenty Fifth IEEE.- 1996.- P. 1207-1210.
7. **Pilavjyan G.H.** Development of mathematical model of Fresnel lens concentrating optics for photovoltaic systems // BULLETIN. - 76 of State Engineering University of Armenia (Polytechnic). Collection of Scientific and Methodical papers. Part 1.- 2009.- 1.- P. 298-301.
8. “SolVar Systems” research laboratory of “Photovoltaic and Semiconductor Devices” of the State Engineering University of Armenia (SEUA).- 2011.
9. The development and testing of small concentrating PV systems / **G. R. Whitfield, R. W. Bentley, C. K. Weatherby et al.**- July, 1999.- Vol. 67, issues 1-3.-P.-23-24.

SEUA (Polytechnic). The material is received 25.09.2014.

Գ.Ա. ՓԻԼԱՎՅԱՆ

ԱՐԵՎԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻՆ՝ ՈՍՊԼԱՅԱԿԱՅԻՆ ՏՆՏԵՍԱԴԵՍ ԴԱՀԱՎԵՏ ՖՈՏՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ
ԿՈՆՑԵՆՏՐԱՏՈՐԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ

Ուսումնասիրված է արևային ֆոտոէլեկտրական էներգետիկ համակարգերի ընդհանուր ինքնաբերական իջեցման խնդիրը: Մշակվել է նոր, արդյունավետ ուսայնակային համակարգ: Ուսայնակային կոնցենտրատորը կազմված է տարբեր անկյուններով տեղադրված ֆրենելային ուսայնակներից, որոնք բեկում են արևի ճառագայթները դեպի ուղիղ գծով տեղաբաշխված արևային մարտկոցները: Մշակված ֆոտոէլեկտրական կոնցենտրատորային համակարգի հիմքում ընկած է ֆրենելային ուսայնակների օպտիկական համակարգի մաթեմատիկական

մոդելը, որն օգտագործված է որպես ինքնարժեքի օպտիմալացմանն ուղղված հիմնական գործիքամիջոց: Կոնցենտրատորային նոր համակարգի համար մշակվել է քոմփյուտերային ծրագիր, որը թույլ է տալիս նախագծել ֆոտոէլեկտրական արդյունավետ համակարգ՝ պահանջվող էլեկտրական հզորությամբ և նվազագույն ինքնարժեքով: Ծրագիրը կարող է օգտագործվել տնտեսապես շահավետ ֆոտոէլեկտրական արևային էներգիայի կոնցենտրատորային համակարգեր նախագծելու համար:

Առանցքային բաներ. ֆոտոէլեկտրական, կոնցենտրատոր, ուսանյակ, բեկում, գին, արդյունավետ:

Г.А. ПИЛАВДЖЯН

ЛИНЗОВЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНЦЕНТРАТОРНЫЕ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Исследована задача снижения общей себестоимости фотоэлектрических солнечных энергетических систем. С этой целью разработана новая, экономически эффективная линзовая система. Концентраторная система состоит из расположенных под различными углами линз Френеля, которые преломляют солнечный свет на солнечные батареи, расположенные вдоль линии. В разработанной фотоэлектрической концентраторной системе используется математическая модель френельной линзовой концентраторной оптики, которая позволяет оптимизировать систему по себестоимости. Разработана компьютерная программа для новой концентраторной системы, позволяющая спроектировать фотоэлектрическую систему данной требуемой мощности с минимальной стоимостью. Программа может быть использована для проектирования экономически эффективных фотоэлектрических солнечных концентраторных систем.

Ключевые слова: фотоэлектрический, концентратор, линза, преломление, цена, эффективный.

Л.Х. ХАЧАТРЯН**ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕЗЭХОВОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ В ЛАБОРАТОРИИ АНТЕНН ГИУА**

Рассматривается возможность проектирования безэховой камеры в лаборатории антенн Государственного инженерного университета Армении (ГИУА). Основываясь на методах геометрической оптики, при разработке безэховой камеры применено модульное конструирование. Наличие безэховой камеры в лаборатории позволит активизировать как учебную, так и научно-исследовательскую деятельность в университете.

Ключевые слова: антенные измерения, диаграмма направленности, длина волны, безэховая камера, радиопоглощающий материал.

Введение. Измерения параметров антенн производят на специально оборудованных полигонах, которые в зависимости от задач и состава измерительного оборудования можно разделить на научно-исследовательские, испытательные (заводские) и учебные. Научно-исследовательские полигоны предназначены для проведения разнообразных исследований как с реальными антеннами разных типов, так и с моделями; испытательные или заводские – для контрольных измерений серии однотипных антенн; учебные – для исследования в учебных целях заранее известных по характеристикам антенн. Часто одни и те же полигоны используются для выполнения научно-исследовательских работ, заводских испытаний и для учебных целей.

По устройству полигоны делятся на открытые и закрытые.

Измерения в закрытых помещениях проводить удобнее, чем на открытых площадках. Однако в первом случае образуются паразитные связи между испытуемыми антеннами за счет побочных полей, возникающих при отражении от стен, пола и потолка помещений.

Ослабление паразитных связей между испытуемыми антеннами обеспечивается применением безэховых камер.

Типы безэховых камер. Безэховой камерой называется помещение, облицованное изнутри радиопоглощающим материалом с целью уменьшения отражений от стен камеры и создания в некотором объеме камеры (безэховой зоне) условий, приближающихся к условиям "свободного пространства" [1].

К преимуществам безэховых камер относятся: не зависящие от погоды условия измерений, надежность, отсутствие электромагнитных помех. Широкий диапазон рабочих частот, заранее заданный и стабильный уровень сигналов, а также удобный доступ в камеру дают им дополнительные преимущества по сравнению с открытыми полигонами.

К недостаткам безэховых камер относится сравнительная сложность их постройки. Эти камеры обычно используются для исследования антенн сравнительно небольших размеров, поскольку стоимость камеры возрастает с увеличением ее габаритов. Несмотря на эти недостатки, постройка закрытых полигонов с безэховыми камерами экономически целесообразнее, чем сооружение открытых полигонов.

Широкое применение безэховых камер связано с тенденцией увеличения и усложнения точности стендовых испытаний радиокомплексов и антенных измерений, а также разработкой поглотителей электромагнитных волн, новейших широкополосных радиопоглощающих материалов, методов и теорий проектирования безэховых камер.

Современные безэховые камеры делятся в основном на камеры прямоугольного и рупорообразного типов (рис. 1).

Амплитуда волнового фронта

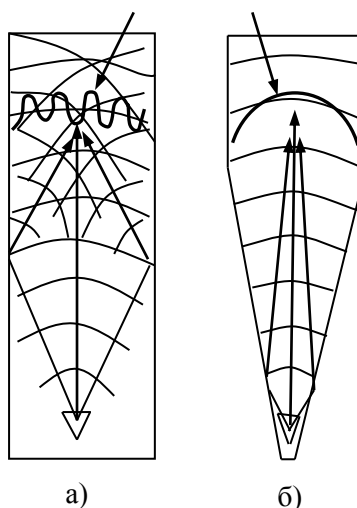


Рис. 1. Зеркальные отражения от боковых стенок в безэховых камерах:
а - прямоугольная камера; б - рупорообразная камера

Наиболее распространенной и естественной является прямоугольная форма, так как она проще всего вписывается в конфигурацию здания.

Прямоугольная безэховая камера обычно предназначена для имитации условий свободного пространства. Боковые стены, пол и потолок безэховых камер покрываются поглощающим материалом. Несмотря на это, от них могут наблюдаться значительные отражения (рис. 1а), особенно при больших углах падения. Предельные углы падения обычно ограничиваются углами, при которых уровень энергии отраженной волны оказывается значительно меньше значения, необхо-

димого для обеспечения заданной точности измерений, проводимых в данной камере. При использовании высококачественных поглотителей этот предел достигается при условии, что угол падения изменяется от 0 до 70° (угол измеряется относительно нормали к поверхности стены). Для прямоугольной камеры это приводит к критерию, согласно которому полная ширина и высота камеры должны удовлетворять соотношению [2]

$$W \geq \frac{R}{\operatorname{tg} \alpha_{\max}} \geq \frac{R}{\operatorname{tg} 70^\circ} \geq \frac{R}{2,75}, \quad (1)$$

где R – расстояние между облучающей и испытуемой антеннами; W – полная высота или ширина камеры.

Фактически выбранные значения ширины и высоты зависят от предельных значений погрешности и измеренных характеристик поглощающего материала, применяемого для облицовки стен.

Для камер больших по сравнению с длиной волны, в которых выполняются условия геометрической оптики, возможно покрыть радиопоглощающим материалом стены, пол и потолок лишь частично в местах зеркальных и двукратных отражений (рис. 2).

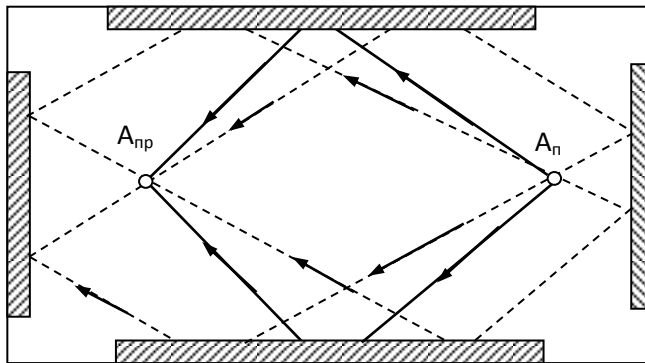


Рис. 2. Отражения радиоволн от стен безэховой камеры

В зависимости от требований к качеству камеры могут использоваться различные типы радиопоглощающего материала.

Радиопоглощающие материалы, используемые в безэховых камерах, должны обладать следующими свойствами:

- ✓ интенсивное поглощение электромагнитных волн, проникающих в глубину материала;
- ✓ минимальный коэффициент отражения для волн, падающих на ее поверхность;
- ✓ высокая механическая прочность, малый вес и габариты;
- ✓ малая стоимость.

Для того чтобы радиопоглощающий материал поглощал электромагнитную волну в широком диапазоне частот и углы отражения падающей волны были малы, необходимо выполнение следующих условий [3]:

1. Радиопоглощающий материал должен быть хорошо согласован со свободным пространством, чтобы на границе материала отражение было минимальным и энергия падающей волны максимально проходила внутрь материала.

1. Энергия волны, проходящей в материал, должна им поглощаться.

Поглощение энергии в толще материала оценивается коэффициентом поглощения

$$\alpha_M = 10 \lg \frac{P_{\Pi} - P_T}{P_{\Pi}}, \quad (2)$$

где P_T - мощность волны, поглощенной в материале; P_{Π} - мощность волны, падающей на поверхность из поглощающего материала.

Обычно величина коэффициента поглощения меньше -30 дБ.

Отражение энергии от поверхности материала оценивается коэффициентом отражения

$$k_{omp} = 10 \lg \frac{P_o}{P_{\Pi}}, \quad (3)$$

где P_o - мощность отраженной волны. Обычно коэффициент отражения бывает меньше -25 дБ.

Проектирование безэховых камер является сложной инженерной задачей, включающей радиотехнический расчет с учетом характера предлагаемых измерений.

При проектировании прямоугольной безэховой камеры опираются на основные положения геометрической оптики. При этом в расчет принимаются зеркальные отражения от материала, применяемого для облицовки стен, причем используется то значение коэффициента отражения, которое приводится в технической документации фирмы - изготовителя поглощающего материала.

Описание эксперимента. Настоящая работа посвящена проектированию безэховой камеры в лаборатории антенн Государственного инженерного университета Армении. Для снижения до минимума уровней взаимовлияния между антеннами и паразитных переотражений между стенами и обеспечения необходимой высокой точности проводимых измерений внутреннюю поверхность лаборатории с размещенными в ней антеннами и аппаратурой необходимо покрыть радиопоглощающим покрытием. Наличие радиопоглощающего материала обеспечит подавление отраженных сигналов и, как следствие, равномерное поле в зоне измерений.

Современные радиоэкранирующие и радиопоглощающие материалы отличаются легким весом и простотой монтажных работ. Радиопоглощающие материалы крепятся механически пластиковым крепежом [4,5].

Важным фактором при разработке безэховых камер является форма сечения камеры и ее размеров. Именно от этих параметров зависят материальные затраты, которые необходимы для оборудования камеры; типы испытаний, проводимых в них; максимальные габариты устройств, которые можно испытывать. Камеры с постоянным поперечным сечением наиболее просты в реализации.

В проекте разрабатывается камера прямоугольного сечения для лаборатории антенн ГИУА. Размеры лаборатории: длина – 9 м, ширина – 6 м, высота – 3,30 м. Однако необязательно всю лабораторию покрыть радиопоглощающим материалом. Достаточно покрыть только рабочую зону камеры. Рабочая зона камеры имеет следующие размеры: длина – 7 м, ширина – 5 м, высота – 3 м (рис. 3).

Лаборатория антенн оборудована комплектом генераторов и измерительных приемников, перекрывающих диапазон частот от 3 до 10 ГГц.



Рис. 3. Примерный вид лаборатории антенн

Оптимальные углы наклонной стены составляют 25° и меньше [3]. При таком наклонном угле лучи, падающие на стенку, отражаются в потолок и претерпевают еще одно отражение до попадания в рабочую зону. При разработке безэховой камеры в лаборатории антенн выбирается наклон задней стенки на угол 15° (рис. 4).

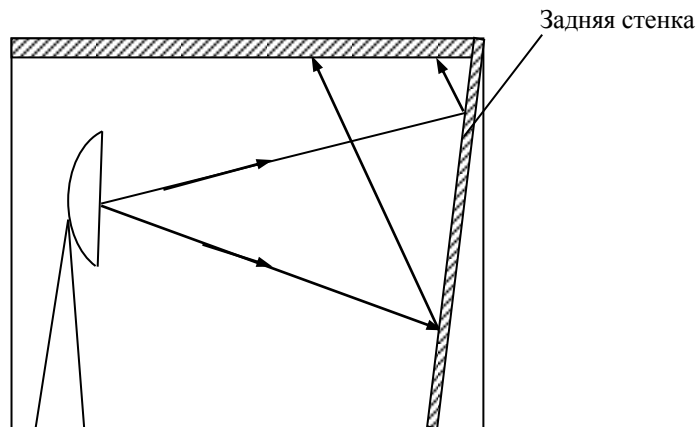


Рис. 4. Вид наклонной задней стенки

Для проведения инженерных расчетов безэховых камер используются методы геометрической оптики, т.е. построение хода лучей внутри камеры с учетом отражения их от стенок камеры (рис. 5). В основе расчета лежит построение лучей, выходящих из излучателя и отражающихся от стенок камеры. Лучи строятся так, чтобы в точке отражения выполнялся закон Снеллиуса.

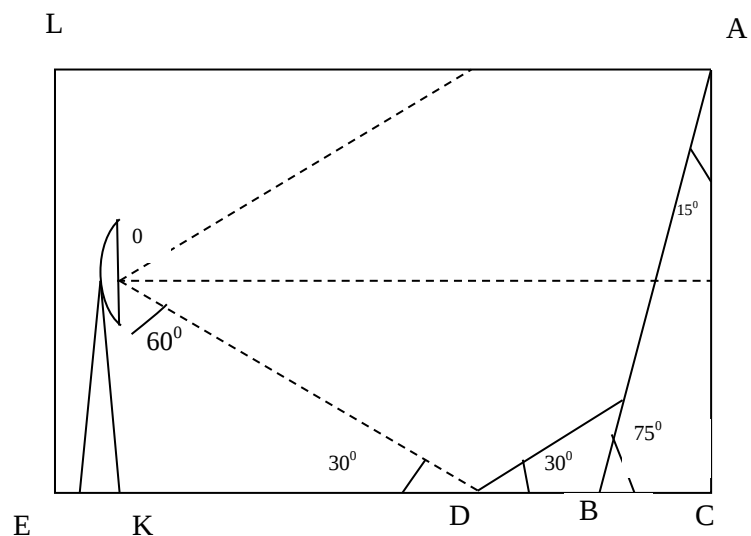


Рис. 5. Распространение лучей в камере

Из рис. 5 видно, что угол $KOD = 60^\circ$ является критическим. Следует исключить случаи малых углов, т.к. луч, переотразивший несколько раз от пола и потолка, все равно попадает в рабочий объем, но мощность сигнала будет мала, и сам переотраженный сигнал не будет иметь сильного влияния на основной сигнал.

Зону AVEL необходимо покрыть радиопоглощающим материалом. При создании безэховой камеры применено модульное конструирование, которое обеспечивает повышенную монтажную гибкость конструированных креплений. Для покрытия стенок лаборатории радиопоглощающим материалом необходимо разместить в ней модульные конструкции, которые обеспечивают высокие радиотехнические характеристики безэховых камер, более низкие затраты на их создание и выгодны как при изготовлении новых сборно-разборных безэховых камер, так и при реконструкции существующих. Например, пол и потолок лаборатории могут быть собраны на модулях размером 1 м×1 м, на которых будет натянут радиопоглощающий материал. Боковые стены лаборатории будут выполнены в виде занавесей-жалюзи из радиопоглощающего материала. Наклонная стена фиксируется на полу под предусмотренным углом с помощью специальных крепежных планок. На основе стандартизированных компонентов можно реализовать различные конструкции с учетом возможных размеров. Для лаборатории антенн был выбран радиопоглощающий материал "Крона", технические характеристики которого приведены в таблице [5].

Таблица

Технические характеристики радиопоглощающего материала "Крона"

Диапазон длин волн эффективной работы	0,8 ... 23 см
Коэффициент отражения при нормальном падении электромагнитной волны на плоскую, закрытую радиопоглощающим материалом металлическую поверхность	17...41 дБ
Вес варьируется	от 250 до 700 г/м ²
Водопоглощение покрытия	не более 20%

Для безэховой камеры лаборатории антенн ГИУА, основываясь на математических расчетах, при погонном размере 1 м потребуется 58 ...60 м радиопоглощающего материала.

Заключение. Разработанная безэховая камера в лаборатории антенн ГИУА позволит:

- ✓ повысить точность результатов измерений;
- ✓ проводить аттестацию антенн различного назначения совместно с Национальным институтом метрологии;
- ✓ измерять параметры более крупных по габаритам антенн, фазированных антенных решеток (ФАР) и активных ФАР в ближней зоне;
- ✓ измерять параметры малогабаритных антенн, мобильных телефонов, а также антенных устройств ближней связи, таких как Bluetooth и WiFi;
- ✓ существенно расширить объем поставленных лабораторных работ по антеннам СВЧ диапазона в учебном процессе ГИУА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование теоретических вопросов электродинамики, связанных с созданием расчетных эталонов по антенным измерениям и проектированием безэховых камер: Отчет ВНИИРИ. – Ереван, 1982. – 115 с.
2. Куммер В.Х., Джиллесси Э.С. Антенные измерения // ТИИЭР. - 1978. - Т.66, N4.- С.143-174.
3. Фрадин А.З., Рыжов Е.В. Измерение параметров антенно-фидерных устройств. - М.: Связь, 1972. - 314 с.
4. <http://www.emci.ru/anechoic.html>
5. <http://ckbrm.ru/index.php?products=61>.

ГИУА (Политехник). Материал поступил в редакцию 10.07.2014.

L.Խ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ԱՆԱՐՁԱԳԱՆՔ ՍԵՆՅԱԿԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ ՀՊՃՀ ԱՆՏԵՆԱՆԵՐԻ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐԻԱՅՈՒՄ ԱՆՏԵՆԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳԵՐԻ ԶԱՓՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Դիտարկվում է անարձագանք սենյակի նախագծումը ՀՊՃՀ անտենաների լաբորատորիայում: Հիմնվելով երկրաչափական օպտիկայի մեթոդների վրա՝ անարձագանք սենյակ նախագծելիս կիրառված է մոդուլային կառուցում: ՀՊՃՀ լաբորատորիայում անարձագանք սենյակի առկայությունը թույլ կտա ակտիվացնել ինչպես ուսումնական, այնպես էլ գիտահետազոտական գործունեությունը համալսարանում:

Առանցքային բառեր. անտենային չափումներ, ուղղվածության դիագրամ, ալիքի երկարություն, անարձագանք սենյակ, ռադիոկլանիչ նյութ:

L.KH. KHACHATRYAN

DESIGNING AN ANECHOIC CHAMBER FOR PARAMETER MEASUREMENT IN THE ANTENNA LABORATORY OF SEUA

The possibility of designing an anechoic camera in the Antenna laboratory of State Engineering University is considered. Based on the methods of geometrical optics, at developing an anechoic camera, modular design is applied. The presence of an anechoic chamber in the laboratory will allow to activate the educational and research activity at the university.

Keywords: antenna measurements, radiation pattern, wavelength, anechoic chamber, radioabsorbing material.

С.О. СИМОНЯН, Г.В. АДАМЯН, А.С. СИМОНЯН, Л.В. ПРАЗЯН

ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ
ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОБОБЩЕННЫХ ОБРАТНЫХ МАТРИЦ (II)

Предложены конструктивные декомпозиционные аналитические и численно-аналитические матрично-векторные методы определения комплексных однопараметрических обобщенных обратных матриц Мура-Пенроуза. Численно-аналитические методы основаны на дифференциальных преобразованиях Пухова.

Ключевые слова: комплексная однопараметрическая матрица, декомпозиция, дифференциальные преобразования, обобщенная обратная матрица, конструктивные матрично-векторные методы.

Введение. В работе [1] для определения комплексных однопараметрических обобщенных обратных матриц $X(t)_{n \times m} = A^+(t)$ при матрицах $A(t) \in C^{m \times n}$ с аналитическими элементами $a_{ij}(t)$, $i=1, m$, $j=1, n$ на основе использования первого условия Мура-Пенроуза [2]

$$A(t) \cdot X(t) \cdot A(t) = A(t) \quad (1)$$

и дифференциальных преобразований Пухова [3] были предложены конструктивные декомпозиционные аналитические и численно-аналитические матрично-векторные методы. В настоящей работе предлагаются аналогичные методы определения тех же матриц $X(t)$, основанные на втором условии Мура-Пенроуза [2]:

$$X(t) \cdot A(t) \cdot X(t) = X(t) \quad (2)$$

и дифференциальных преобразованиях Пухова [3].

Заметим, что в обоих случаях должны быть выполнены также следующие третье и четвертое условия Мура-Пенроуза [2]:

$$[A(t) \cdot X(t)]^* = A(t) \cdot X(t), \quad (3)$$

$$[X(t) \cdot A(t)]^* = X(t) \cdot A(t), \quad (4)$$

где символ $*$ – знак комплексного сопряжения.

Известно [4], что соотношения (1)-(4) всегда имеют место, вне зависимости от выполнения следующих четырёх возможных двойных условий:

$$1. \text{ а) } A(t) \cdot X(t) = E_{m \times m}, \quad \text{б) } X(t) \cdot A(t) = E_{n \times n}; \quad (5)$$

$$2. \text{ а) } A(t) \cdot X(t) = E_{m \times m}, \quad \text{б) } X(t) \cdot A(t) \neq E_{n \times n}; \quad (6)$$

$$3. a) A(t) \cdot X(t) \neq E_{m \times m}, \quad б) X(t) \cdot A(t) = E_{n \times n}; \quad (7)$$

$$4. a) A(t) \cdot X(t) \neq E_{m \times m}, \quad б) X(t) \cdot A(t) \neq E_{n \times n}. \quad (8)$$

Математический аппарат. Представив исходную матрицу в виде

$$A(t)_{m \times n} = B(t)_{m \times n} + j \cdot C(t)_{m \times n}, \quad (9)$$

где $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица, а соответствующую ей обобщенную обратную матрицу – в виде

$$X(t)_{n \times m} = A^+(t)_{n \times m} = G(t)_{n \times m} + j \cdot H(t)_{n \times m}, \quad (10)$$

в котором $B(t)$ и $G(t)$ – матрицы действительных частей, а $C(t)$ и $H(t)$ – матрицы мнимых частей матриц $A(t)$ и $X(t)$ соответственно, будем оперировать условием Мура–Пенроуза (2), при котором

$$\begin{aligned} X(t) = G(t) + j \cdot H(t) &= X(t) \cdot A(t) \cdot X(t) = [G(t) + j \cdot H(t)] \cdot [B(t) + j \cdot C(t)] \cdot [G(t) + j \cdot H(t)] = \\ &= G(t) \cdot B(t) \cdot G(t) - G(t) \cdot C(t) \cdot H(t) - H(t) \cdot B(t) \cdot H(t) - H(t) \cdot C(t) \cdot G(t) + \\ &+ j \cdot (G(t) \cdot B(t) \cdot H(t) + G(t) \cdot C(t) \cdot G(t) + H(t) \cdot B(t) \cdot G(t) - H(t) \cdot C(t) \cdot H(t)). \end{aligned} \quad (11)$$

Далее, имеем следующую систему матричных уравнений второго порядка с неизвестными матрицами $G(t)$ и $H(t)$, порождённую приравнованием действительных и мнимых слагаемых в левой и правой частях соотношения (11):

$$\begin{cases} G(t) = G(t) \cdot B(t) \cdot G(t) - G(t) \cdot C(t) \cdot H(t) - \\ \quad - H(t) \cdot B(t) \cdot H(t) - H(t) \cdot C(t) \cdot G(t), \\ H(t) = G(t) \cdot B(t) \cdot H(t) + G(t) \cdot C(t) \cdot G(t) + \\ \quad + H(t) \cdot B(t) \cdot G(t) - H(t) \cdot C(t) \cdot H(t). \end{cases} \quad (12)$$

Аналитическое решение (1-й вариант). Легко можно убедиться, что систему матричных уравнений (12) можно представить в виде следующего матрично–блочного–столбцевого эквивалента:

$$\begin{bmatrix} G(t) \cdot B(t) - H(t) \cdot C(t) & -G(t) \cdot C(t) - H(t) \cdot B(t) \\ G(t) \cdot C(t) + H(t) \cdot B(t) & G(t) \cdot B(t) - H(t) \cdot C(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(t) \\ H(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G(t) \\ H(t) \end{bmatrix} \quad (13)$$

или

$$\begin{bmatrix} G(t) & -H(t) \\ H(t) & G(t) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} \cdot \begin{bmatrix} B(t) & -C(t) \\ C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2m \times 2n} \cdot \begin{bmatrix} G(t) \\ H(t) \end{bmatrix}_{2n \times m} = \begin{bmatrix} G(t) \\ H(t) \end{bmatrix}_{2n \times m}, \quad (14)$$

откуда

$$\begin{bmatrix} G(t) & -H(t) \\ H(t) & G(t) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} \cdot \begin{bmatrix} B(t) & -C(t) \\ C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2m \times 2n} = E_{2n \times 2n} \quad (15)$$

или

$$\begin{bmatrix} \overline{G(t)} & \vdots & -\overline{H(t)} \\ \overline{H(t)} & \vdots & \overline{G(t)} \end{bmatrix}_{2nx2m} = \begin{bmatrix} \overline{B(t)} & \vdots & -\overline{C(t)} \\ \overline{C(t)} & \vdots & \overline{B(t)} \end{bmatrix}_{2nx2m}^+, \quad (16)$$

что полностью совпадает с решением (16) работы [1], полученным на основе использования условия Мура–Пенроуза (1).

Аналитическое решение (2-й вариант). Систему матричных уравнений (12) можно представить в виде следующего матрично-блочного строчного эквивалента:

$$\begin{aligned} [G(t) \vdots H(t)] \cdot \begin{bmatrix} \overline{B(t) \cdot G(t) - C(t) \cdot H(t)} & \vdots & \overline{C(t) \cdot G(t) + B(t) \cdot H(t)} \\ -\overline{C(t) \cdot G(t) - B(t) \cdot H(t)} & \vdots & \overline{B(t) \cdot G(t) - C(t) \cdot H(t)} \end{bmatrix} = \\ = [G(t) \vdots H(t)] \end{aligned} \quad (17)$$

или

$$\begin{aligned} [G(t) \vdots H(t)]_{nx2m} \cdot \begin{bmatrix} \overline{B(t)} & \vdots & \overline{C(t)} \\ -\overline{C(t)} & \vdots & \overline{B(t)} \end{bmatrix}_{2mx2n} \cdot \begin{bmatrix} \overline{G(t)} & \vdots & \overline{H(t)} \\ -\overline{H(t)} & \vdots & \overline{G(t)} \end{bmatrix}_{2nx2m} = \\ = [G(t) \vdots H(t)]_{nx2m}, \end{aligned} \quad (18)$$

откуда

$$\begin{bmatrix} \overline{B(t)} & \vdots & \overline{C(t)} \\ -\overline{C(t)} & \vdots & \overline{B(t)} \end{bmatrix}_{2mx2n} \cdot \begin{bmatrix} \overline{G(t)} & \vdots & \overline{H(t)} \\ -\overline{H(t)} & \vdots & \overline{G(t)} \end{bmatrix}_{2nx2m} = E_{2mx2m} \quad (19)$$

или

$$\begin{bmatrix} \overline{G(t)} & \vdots & \overline{H(t)} \\ -\overline{H(t)} & \vdots & \overline{G(t)} \end{bmatrix}_{2nx2m} = \begin{bmatrix} \overline{B(t)} & \vdots & \overline{C(t)} \\ -\overline{C(t)} & \vdots & \overline{B(t)} \end{bmatrix}_{2nx2m}^+, \quad (20)$$

что полностью совпадает с решением (20) работы [1], полученным на основе использования условия Мура–Пенроуза (1).

Численно-аналитические решения. Теперь перейдём к рассмотрению численно-аналитических методов решения исходной задачи, предположив, что для матриц $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ и $X(t)$, $G(t)$, $H(t)$ с аналитическими элементами имеют место матричные дифференциальные преобразования

$$A(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K A(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \underline{\pm} B(t) = \mathcal{H}_1(t, t_v, H, A(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (21)$$

$$B(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K B(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \underline{\pm} B(t) = \mathcal{H}_2(t, t_v, H, B(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (22)$$

$$C(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K C(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \underline{\pm} C(t) = \mathcal{H}_3(t, t_v, H, C(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (23)$$

$$X(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K X(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \underline{\pm} G(t) = \mathcal{H}_4(t, t_v, H, X(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (24)$$

$$G(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K G(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \underline{\pm} G(t) = \mathcal{H}_5(t, t_v, H, G(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (25)$$

$$H(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K H(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \underline{\pm} H(t) = \mathcal{H}_6(t, t_v, H, H(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (26)$$

где $A(K)$, $B(K)$, $C(K)$ и $X(K)$, $G(K)$, $H(K)$ – матричные изображения (дискреты) матричных функций $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ и $X(t)$, $G(t)$, $H(t)$ (оригиналов); $K = \overline{0, \infty}$ – целочисленный аргумент; H – масштабный коэффициент; t_v – центр аппроксимации; символ $\underline{\pm}$ – знак перехода из области оригиналов в область изображений (прямые преобразования); $\mathcal{H}_1(\cdot)$ – $\mathcal{H}_6(\cdot)$ – некоторые аппроксимирующие функции, восстанавливающие оригиналы-матрицы $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ и $X(t)$, $G(t)$, $H(t)$ соответственно.

1-й вариант. Перевод полученного в соответствии с (13) и (14) матрично-блочного уравнения (15) из области оригиналов в область дифференциальных изображений с учётом (21) – (26) приводит к следующему представлению:

$$\sum_{l=0}^K \begin{bmatrix} G(l) & -H(l) \\ H(l) & G(l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(K-l) & -C(K-l) \\ C(K-l) & B(K-l) \end{bmatrix} = E \cdot \delta(K), K = \overline{0, \infty}, \quad (27)$$

где $\delta(K)$, $K = \overline{0, \infty}$ – тейлоровская единица [3]:

$$\delta(K) = \begin{cases} 1, & \text{если } K = 0, \\ 0, & \text{если } K \geq 1. \end{cases}$$

Из матрично-блочного спектрального соотношения (27) получим:
при $K = 0$:

$$\begin{bmatrix} G(0) & -H(0) \\ H(0) & G(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} \cdot \begin{bmatrix} B(0) & -C(0) \\ C(0) & B(0) \end{bmatrix}_{2m \times 2n} = E_{2n \times 2n},$$

откуда

$$\begin{bmatrix} G(0) & -H(0) \\ H(0) & G(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} = \begin{bmatrix} B(0) & -C(0) \\ C(0) & B(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m}^+, \quad (28)$$

что полностью совпадает с решением (20) работы [1];

при $K = 1$:

$$\begin{bmatrix} G(0) & -H(0) \\ H(0) & G(0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(1) & -C(1) \\ C(1) & B(1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G(1) & -H(1) \\ H(1) & G(1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(0) & -C(0) \\ C(0) & B(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

откуда

$$\begin{bmatrix} G(1) & -H(1) \\ H(1) & G(1) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} G(0) & -H(0) \\ H(0) & G(0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(1) & -C(1) \\ C(1) & B(1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(0) & -C(0) \\ C(0) & B(0) \end{bmatrix}^+, \quad (29)$$

что должно полностью совпасть с решением (29) работы [1];

при $K > 1$:

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} G(K) & -H(K) \\ H(K) & G(K) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(0) & -C(0) \\ C(0) & B(0) \end{bmatrix} = \\ & = - \sum_{l=0}^{K-1} \begin{bmatrix} G(l) & -H(l) \\ H(l) & G(l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(K-l) & -C(K-l) \\ C(K-l) & B(K-l) \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

откуда

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} G(K) & -H(K) \\ H(K) & G(K) \end{bmatrix} = \\ & = - \left[\sum_{l=0}^{K-1} \begin{bmatrix} G(l) & -H(l) \\ H(l) & G(l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(K-l) & -C(K-l) \\ C(K-l) & B(K-l) \end{bmatrix} \right] \times \begin{bmatrix} B(0) & -C(0) \\ C(0) & B(0) \end{bmatrix}^+, \quad (30) \end{aligned}$$

что должно полностью совпасть с решением (29) работы [1].

2-й вариант. Перевод полученного в соответствии с (17) и (18) матрично-блочного уравнения (19) из области оригиналов в область дифференциальных изображений с учётом (21) - (26) приводит к следующему представлению:

$$\sum_{l=0}^K \begin{bmatrix} B(l) & -C(l) \\ -C(l) & B(l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(K-l) & -H(K-l) \\ -H(K-l) & G(K-l) \end{bmatrix} = E \cdot \delta(K), K = \overline{0, \infty}. \quad (31)$$

Из матрично-блочного спектрального соотношения (31) получим:

при $K = 0$:

$$\begin{bmatrix} B(0) & -C(0) \\ -C(0) & B(0) \end{bmatrix}_{2m \times 2n} \cdot \begin{bmatrix} G(0) & -H(0) \\ -H(0) & G(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} = E_{2m \times 2m},$$

откуда

$$\begin{bmatrix} G(0) & H(0) \\ -H(0) & G(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} = \begin{bmatrix} B(0) & C(0) \\ -C(0) & B(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m}^+, \quad (32)$$

что полностью совпадает с решением (33) работы [1];

при $K = 1$:

$$\begin{bmatrix} B(0) & C(0) \\ -C(0) & B(0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(1) & H(1) \\ -H(1) & G(1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B(1) & C(1) \\ -C(1) & B(1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(0) & H(0) \\ -H(0) & G(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

откуда

$$\begin{bmatrix} G(1) & H(1) \\ -H(1) & G(1) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} B(0) & C(0) \\ -C(0) & B(0) \end{bmatrix}^+ \cdot \begin{bmatrix} B(1) & C(1) \\ -C(1) & B(1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(0) & H(0) \\ -H(0) & G(0) \end{bmatrix}; \quad (33)$$

при $K > 1$:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} B(0) & C(0) \\ -C(0) & B(0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(K) & H(K) \\ -H(K) & G(K) \end{bmatrix} = \\ = - \sum_{l=1}^K \begin{bmatrix} B(l) & C(l) \\ -C(l) & B(l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(K-l) & H(K-l) \\ -H(K-l) & G(K-l) \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

откуда

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} G(K) & H(K) \\ -H(K) & G(K) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} B(0) & C(0) \\ -C(0) & B(0) \end{bmatrix}^+ \times \\ \times \sum_{l=1}^K \begin{bmatrix} B(l) & C(l) \\ -C(l) & B(l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(K-l) & H(K-l) \\ -H(K-l) & G(K-l) \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (34)$$

что полностью совпадает с решением (36) работы [1].

Замечание 1. Аналитические решения (16) и (20), естественно, могут быть практически использованы при малых значениях m и n и сравнительно простых элементах матриц $B(t)$ и $C(t)$. В общем случае эффективно могут быть использованы численно-аналитические решения (27) - (30) и (31) - (34) при восстанавливающих соотношениях – правых частях (22), (23) и (25), (26).

Замечание 2. Декомпозиционные рекуррентные вычислительные схемы (27)-(30) и (31)-(34) обладают двойной избыточностью из-за подлежащих определению неизвестных матричных дискрет $G(K), H(K)$; $K = \overline{0, \infty}$, дважды входящих в левые части этих схем. Такой же избыточностью обладают и аналитические решения (16) и (20) с точностью до однопараметрических матриц $G(t)$ и $H(t)$. Этими обстоятельствами обусловлена необходимость использования двойного объёма памяти при программировании соответствующих вычислительных схем, что является их очевидным недостатком. Однако это является и эффективным

контрольным условием правильного и точного определения неизвестных матричных дискрет $G(K), H(K)$; $K = \overline{0, \infty}$, или матриц $G(t)$ и $H(t)$, и, следовательно, неизвестной обобщенной обратной матрицы $X(t)$.

Замечание 3. С учётом (9) и (10) двойные условия (5) приобретают следующий вид:

$$\begin{aligned} 1. \text{ а) } A(t) \cdot X(t) &= [B(t) + j \cdot C(t)] \cdot [G(t) + j \cdot H(t)] = \\ &= [B(t) \cdot G(t) - C(t) \cdot H(t)] + j \cdot [B(t) \cdot H(t) + C(t) \cdot G(t)] = E_{mxm}, \end{aligned}$$

откуда

$$\begin{cases} B(t) \cdot G(t) - C(t) \cdot H(t) = E_{mxm}, \\ B(t) \cdot H(t) + C(t) \cdot G(t) = 0, \end{cases}$$

или в матрично-блочном-столбцовом виде:

$$\begin{bmatrix} B(t) & -C(t) \\ C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2mx2n} \cdot \begin{bmatrix} G(t) \\ H(t) \end{bmatrix}_{2n \times m} = \begin{bmatrix} E_{mxm} \\ 0_{mxm} \end{bmatrix}_{2mxm}; \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \text{б) } X(t) \cdot A(t) &= [G(t) + j \cdot H(t)] \cdot [B(t) + j \cdot C(t)] = \\ &= [G(t) \cdot B(t) - H(t) \cdot C(t)] + j \cdot [G(t) \cdot C(t) + H(t) \cdot B(t)] = E_{n \times n}, \end{aligned}$$

откуда

$$\begin{cases} G(t) \cdot B(t) - H(t) \cdot C(t) = E_{n \times n}, \\ G(t) \cdot C(t) + H(t) \cdot B(t) = 0, \end{cases}$$

или в матрично-блочном-строчном виде:

$$[G(t) \ H(t)]_{n \times 2m} \cdot \begin{bmatrix} B(t) & C(t) \\ -C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2mx2n} = [E_{n \times n} \ 0_{n \times n}]_{n \times 2n}. \quad (36)$$

Таким образом, двойные условия (5) для аналитических решений (16) и (20) трансформируются в условия (35) и (36). Аналогично для двойных условий (6) - (8) соответственно будем иметь

$$\begin{aligned} 2. \text{ а) } \begin{bmatrix} B(t) & -C(t) \\ C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2mx2n} \cdot \begin{bmatrix} G(t) \\ H(t) \end{bmatrix}_{2n \times m} &= \begin{bmatrix} E_{mxm} \\ 0_{mxm} \end{bmatrix}_{2mxm}, \\ \text{б) } [G(t) \ H(t)]_{n \times 2m} \cdot \begin{bmatrix} B(t) & C(t) \\ -C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2mx2n} &\neq [E_{n \times n} \ 0_{n \times n}]_{n \times 2n}. \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ а) } \begin{bmatrix} B(t) & -C(t) \\ C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2mx2n} \cdot \begin{bmatrix} G(t) \\ H(t) \end{bmatrix}_{2n \times m} &\neq \begin{bmatrix} E_{mxm} \\ 0_{mxm} \end{bmatrix}_{2mxm}, \\ \text{б) } [G(t) \ H(t)]_{n \times 2m} \cdot \begin{bmatrix} B(t) & C(t) \\ -C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2mx2n} &= [E_{n \times n} \ 0_{n \times n}]_{n \times 2n}. \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned}
4. \text{ а) } & \begin{bmatrix} B(t) & -C(t) \\ C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2m \times 2n} \cdot \begin{bmatrix} G(t) \\ H(t) \end{bmatrix}_{2n \times m} \neq \begin{bmatrix} E_{m \times m} \\ 0_{m \times m} \end{bmatrix}_{2m \times m}, \\
\text{ б) } & [G(t) \ H(t)]_{n \times 2m} \cdot \begin{bmatrix} B(t) & -C(t) \\ -C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2m \times 2n} \neq [E_{n \times n} \ 0_{n \times n}]_{n \times 2n}.
\end{aligned} \quad (39)$$

Что касается численно–аналитических решений (28)–(30), (25), (26) и (32), (34), (25), (26), то двойные условия ((35), (36)) и (37); (38); (39) остаются в силе и здесь, однако лишь с точностью до аппроксимирующих соотношений $\mathcal{H}_5(\cdot)$ и $\mathcal{H}_6(\cdot)$, вместо точных решений $G(t)$ и $H(t)$, полученных в соответствии с матрично–блочными представлениями (16) и (20).

Замечание 4. Третье и четвертое условия Мура–Пенроуза (3) и (4) при действительных однопараметрических матрицах, очевидно, трансформируются в условия симметричности. В обоих случаях и при действительных, и при комплексных однопараметрических матрицах они служат эффективными контрольными условиями правильности выполненных вычислительных процедур.

Закключение. Предложенные декомпозиционные матрично–векторные методы достаточно просты и легко реализуемы средствами современных информационных технологий. Они обладают достаточно высокой вычислительной эффективностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Симонян С.О.** Декомпозиционные методы определения комплексных одно-параметрических обобщенных обратных матриц (I) // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2014. - Т. LXVII, №3. - С. 336-344.
2. **Гантмахер Ф.Р.** Теория матриц. – М.: Физматлит, 2010. – 560 с.
3. **Пухов Г.Е.** Дифференциальные преобразования функций и уравнений. – Киев: Наукова думка, 1984. – 420 с.
4. **Ben-Israel A., Greville T.N.E.** Generalized Inverses. Theory and Applications. – A. Willey – Interscience Publication, 2002. – 371p.

ГИУА (Политехник). Материал поступил в редакцию 12.09.2014.

Ս.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Գ.Վ. ԱԴԱՄՅԱՆ, Ա.Ս. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Լ.Վ. ՊՐԱԶՅԱՆ

**ԿՈՄՊԼԵՔՍ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ԸՆԴՀԱՆՐԱՑՎԱԾ ՀԱԿԱԴԱՐՁ ՄԱՏՐԻՑՆԵՐԻ
ՈՐՈՇՄԱՆ ԴԵԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ (II)**

Առաջարկվել են Մուր-Պենրոուզի կոմպլեքս միապարամետրական ընդհանրացված հակադարձ մատրիցների որոշման կոնստրուկտիվ դեկոմպոզիցիոն անալիտիկ և թվա-անալիտիկ մատրիցա-վեկտորային մեթոդներ: Վերջինները հիմնված են Պուխովի դիֆերենցիալ ձևափոխությունների վրա:

Առանցքային բառեր. կոմպլեքս միապարամետրական մատրից, դեկոմպոզիցիա, դիֆերենցիալ ձևափոխություններ, ընդհանրացված հակադարձ մատրից, կոնստրուկտիվ մատրիցա-վեկտորային մեթոդներ:

S.H. SIMONYAN, G.V. ADAMYAN, A.S. SIMONYAN, L.V. PRAZYN

**DECOMPOSITION METHODS FOR DETERMINING COMPLEX
ONE-PARAMETRIC GENERALIZED INVERSE MATRICES (II)**

Constructive decomposition analytical and numerical-analytical matrix-vector methods for determining Moor-Penrose's one-parametric generalized-inverse matrices are proposed. The above mentioned methods are based on Pukhov's differential conversions.

Keywords: complex one-parametric matrix, decomposition, differential conversions, generalized-inverse matrix, constructive matrix-vector methods.

UDC. 62-50

AUTOMATION AND
CONTROL SYSTEMST.N. HOVHANNISYAN, N.H. VARDANYAN, E.R. KHARISOV,
O.N. GASPARYAN, N.V. HOVAKIMYANON APPLICATION OF L_1 ADAPTIVE CONTROL TO MULTIVARIABLE
CONTROL SYSTEMS

Part 1. General-Type Multivariable Systems

Some issues concerning the stability of multivariable square (i.e. having the same number of inputs and outputs) adaptive control systems for rejection of external disturbances are discussed. Based on the properties of positive real transfer matrices, it is shown that such systems are stable for arbitrary large values of the adaptation gain, even in the case of systems with right half plane zeros.

Keywords: multivariable control system, adaptive control, reference model, stability, positive real system.

The paper examines application of L_1 adaptive control to multivariable control systems [1]. L_1 adaptive control was developed to address some of the deficiencies apparent in *Model Reference Adaptive Control* (MRAC), as loss of robustness in the presence of fast adaptation [2, 3]. The first part of the paper is devoted to application of L_1 adaptive control to general-type *square*, i.e. having the same number of inputs and outputs, *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) control systems [4, 5], subjected to external disturbances. Some essential dynamic features of that class of adaptive systems are specified and discussed. A special class of the so-called *uniform* MIMO systems [5] will be discussed in Part 2.

General-Type MIMO Systems. As a basic model of linear N -dimensional, i.e. having N inputs and N outputs, MIMO systems with constant parameters let us consider the system that can be expressed in the following standard state-space form:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) &= Cx(t),\end{aligned}\tag{1}$$

where $x(t)$ is an n_x -dimensional state vector; $u(t)$ and $y(t)$ are N -dimensional vectors of inputs and outputs; A, B, C are constant matrices of appropriate sizes. In what follows, we will assume that system completely controllable and observable, strictly stable (i.e. the matrix A is Hurwitz), and, maybe, with *Right Half Plane* (RHP) transmission zeros.

The MIMO system (1) can also be described in the operator form by the $N \times N$ transfer function matrix $W(s) = \{w_{ij}(s)\}$, where $w_{ij}(s)$ ($i, j = 1, 2, \dots, N$) are scalar strictly proper rational functions in complex variable s . The elements $w_{ii}(s)$ on the principal diagonal of $W(s)$ are the transfer functions of *separate* (or *direct*) channels, and the non-diagonal elements $w_{ij}(s)$ ($i \neq j$) are the transfer functions of *cross-connections* from the j th channel to the i th.

Generally, the transfer matrix $W(s)$ is connected with the matrices A, B, C in (1) by the formula [4]

$$W(s) = C(sI - A)^{-1}B, \quad (2)$$

where I is an identity matrix.

Square MIMO systems can be divided into *classes* (or *types*) depending on their structural properties. In this respect, if no conditions are imposed on the form of the transfer matrix $W(s)$ (2), we will refer to that system as a *general-type* (or just *general*) MIMO system [5].

Disturbance Rejection by Means of Adaptive Control. In this section, we will adhere to the L_1 architecture with *state predictor* and low-pass matrix filter presented in [1]. Let an N -dimensional *strictly stable* MIMO system be described in state-space by the following equations:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + B(u(t) + \sigma(t)), \quad x(0) = x_0, \\ y(t) &= Cx(t), \end{aligned} \quad (3)$$

where $\sigma(t)$ is an N -dimensional time-dependent vector of unknown externally bounded ($|\sigma(t)| \leq \Delta_0$) disturbances that should be rejected by adaptive control, and all other matrices and vectors have the dimensions as in (1).

The state predictor has the same structure as the system in (3):

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}(t) &= A\hat{x}(t) + B(u(t) + \hat{\sigma}(t)), \quad \hat{x}(0) = x_0, \\ \hat{y}(t) &= C\hat{x}(t), \end{aligned} \quad (4)$$

and the only difference is that the unknown disturbance vector $\sigma(t)$ is replaced by its estimate $\hat{\sigma}(t)$.

The disturbance rejection process is governed by the following adaptation law [1]

$$\dot{\hat{\sigma}}(t) = \Gamma B^T P \varepsilon(t), \quad (5)$$

where $\varepsilon(t) = x(t) - \hat{x}(t)$ is the *prediction error*, P ($P = P^T > 0$) is the solution of the Lyapunov equation

$$A^T P + PA = -Q \quad (6)$$

for an arbitrary symmetric positive definite matrix Q ($Q = Q^T > 0$), and the positive scalar Γ is called the *adaptation gain* [1].

The control signal $u(t)$ of the system is given in operator form as

$$u(s) = Q(s)(k_g r(s) - \hat{\sigma}(s)), \quad (7)$$

where $r(s)$ is an N -dimensional reference signal, k_g is an $N \times N$ static (gain) matrix, and $Q(s)$ is the transfer matrix of a low-pass filter. In the simplest case, the matrix $Q(s)$ is chosen in the form

$$Q(s) = q(s)I, \quad (8)$$

where $q(s)$ is a strictly proper scalar transfer function, usually, satisfying the DC gain condition $q(0) = 1$. Its state-space realization assumes zero initialization.

The block diagram of the control system with the state predictor (4), the adaptive disturbance rejection law (5), and control signal $u(s)$ (7), is shown in Figure 1.

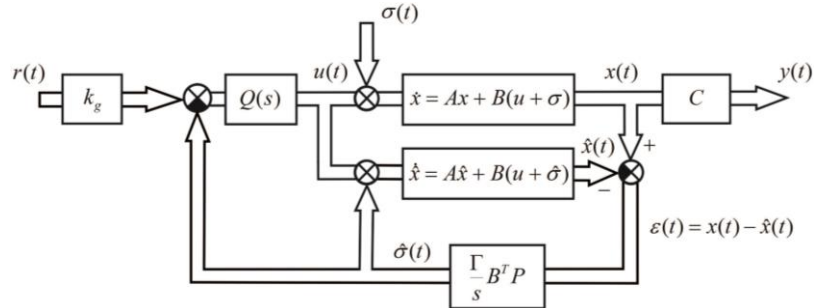


Fig. 1. Block diagram of the adaptive MIMO control system with the state predictor and the adaptive disturbance rejection law (5)

Thus, the architecture of the discussed adaptive control system represents a linear MIMO system with integral feedback and therefore can be investigated by the methods and approaches of linear multivariable feedback control [4, 5]. It should be noted that due to the adopted L_1 scheme with the state predictor, the transfer matrix $Q(s)$ (8) in the control signal $u(s)$ (7) is not present in the disturbance rejection law (5). Let us consider in more detail the structure and performance characteristics of the adaptive system in Figure 1. Toward that end, we introduce the $n_x \times N$ transfer matrix

$$W_x(s) = (sI - A)^{-1}B \quad (9)$$

relating the input to the system (1) with the state vector $x(t)$, and the corresponding (the same) matrix $\hat{W}_x(s) = W_x(s)$ for the state predictor. Then, the block diagram in Figure 1 can be recast to an equivalent form in Figure 2.

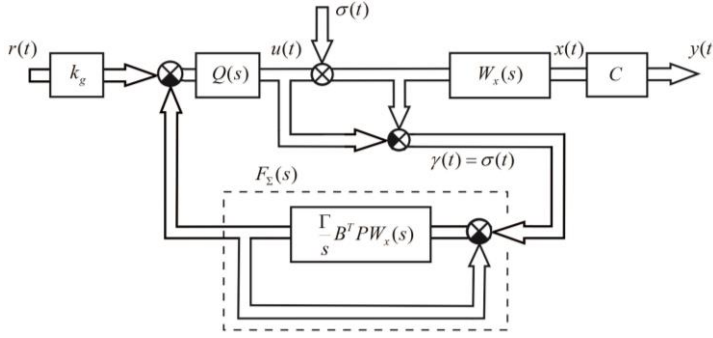


Fig. 2. Equivalent block diagram of the adaptive system in Fig. 1

Based on the block diagram in Figure 2, it is easy to derive the following matrix equations of the adaptive system with the state predictor:

$$y(s) = CW_x(s)Q(s)k_g r(s) + CW_x(s) \left[I - Q(s)[I + W_0(s)]^{-1} W_0(s) \right] \sigma(s), \quad (10)$$

or, since $CW_x(s) = W(s)$ [see equations (2) and (9)],

$$y(s) = W(s)Q(s)k_g r(s) + W(s) \left[I - Q(s)[I + W_0(s)]^{-1} W_0(s) \right] \sigma(s), \quad (11)$$

where

$$W_0(s) = \frac{\Gamma}{s} W_B(s); \quad W_B(s) = B^T P W_x(s). \quad (12)$$

As can be seen from (10), the output signal of the system $y(s)$ consists of two components generated, respectively, by the input reference signal $r(s)$ and by the disturbance $\sigma(s)$. Since the adaptive MIMO system in Figures 1 and 2 is linear, the superposition principle holds and, according to the equation (10), the dynamics of the system can be represented by two independent block diagrams in Figures 3 and 4.

Let us proceed to the stability analysis of the adaptive system in Figure 1. From the block diagram in Figure 3, it is evident that it represents, since both transfer matrices $Q(s)$ and $W(s)$ are assumed stable, a stable open-loop MIMO system, which does not depend on the adaptation gain Γ . Therefore, no problem with stability can arise here.

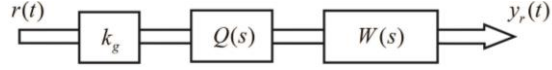


Fig. 3. Equivalent block diagram of the adaptive system with respect to the input reference signal $r(t)$

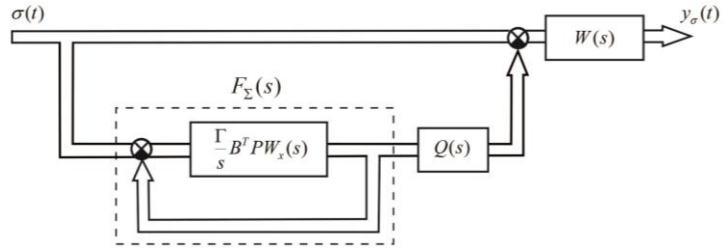


Fig. 4. Equivalent block diagram of the adaptive system with respect to the disturbance $\sigma(t)$

On the contrary, the block diagram in Figure 4 contains a negative feedback loop with the open-loop transfer matrix $W_0(s)$ (12) and the following closed-loop transfer matrix:

$$F_{\Sigma}(s) = [I + W_0(s)]^{-1} W_0(s) = \left[I + \frac{\Gamma}{s} W_B(s) \right]^{-1} \frac{\Gamma}{s} W_B(s). \quad (13)$$

The characteristic equation of that system is

$$\det[I + W_0(s)] = \det \left[I + \frac{\Gamma}{s} W_B(s) \right] = 0, \quad (14)$$

and, clearly, the poles of the adaptive system depend on the adaptation gain Γ , which can be considered as the gain of the open-loop transfer matrix $W_0(s)$ (12).

Note now that, allowing for (9), the system with the $N \times N$ transfer matrix $W_B(s)$ in (12) can be written in state-space form as

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t), \\ y_e(t) &= C_e x(t), \end{aligned} \quad (15)$$

where

$$C_e = B^T P. \quad (16)$$

Taking into account the form of the matrix C_e (16) and recalling the Kalman-Yakubovich lemma [1-3, 6], we come to a conclusion that $W_B(s)$ belongs to the so-called *Positive Real* (PR) transfer matrices for which the Hermitian matrix

$$\operatorname{Re} W_B(j\omega) = \frac{1}{2} \left[W_B(j\omega) + W_B^T(-j\omega) \right] \quad (17)$$

is positive semi-definite (for brevity we shall write $\operatorname{Re} W_B(j\omega) \geq 0$) for all real ω , for which $j\omega$ is not a pole of any element of $W_B(s)$.

To get some additional insight in that issue, we invoke the characteristic transfer functions method [4, 5], on the basis of which the transfer matrix $W_B(s)$ can be represented in the following canonical form:

$$W_B(s) = L(s) \operatorname{diag}\{q_i^B(s)\} L^{-1}(s), \quad (18)$$

where the functions $q_i^B(s)$ ($i=1, 2, \dots, N$) are called *Characteristic Transfer Functions* (CTF) (we will assume them *distinct*), and the *modal* matrix $L(s)$ is composed of the linearly independent eigenvectors $l_i(s)$ of the matrix $W_B(s)$. As shown in [5], the condition $\operatorname{Re} W_B(j\omega) \geq 0$ implies that all scalar CTFs $q_i^B(s)$ are also PR, that is $\operatorname{Re}[q_i^B(j\omega)] \geq 0$ for all real ω . This also means that all $q_i^B(s)$ are strictly stable and minimum-phase, have *relative degree* (the excess of number of poles over the number of zeros) 0 or 1, and the Nyquist plots of $q_i^B(j\omega)$ lie entirely in the right half complex plane or, equivalently, the phases of $q_i^B(j\omega)$ are always less or equal to $\pm 90^\circ$.

Inspection of equations (12) shows that the matrices $W_0(s)$ and $W_B(s)$ differ by a scalar multiplier Γ/s . Since the multiplication of transfer matrices (for $s = \text{const}$) by a scalar multiplier does not change the eigenvectors and results in multiplication of all eigenvalues by the same multiplier [5], the canonical representation of the matrix $W_0(s)$ (12) will have, allowing for (18), the form

$$W_0(s) = L(s) \operatorname{diag}\{q_i^0(s)\} L^{-1}(s), \quad (19)$$

where

$$q_i^0(s) = \frac{\Gamma}{s} q_i^B(s) \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (20)$$

are the CTFs of the transfer matrix $W_0(s)$ (12), which differ from the CTFs $q_i^B(s)$ of $W_B(s)$ by the multiplier Γ/s . Therefore, the CTFs $q_i^0(s)$ have relative degree 1 or 2 and are minimum-phase, even if the initial system $W(s)$ (2) has RHP transmission zeros. Besides, the phases of $q_i^0(j\omega)$ are always less or equal to $\pm 180^\circ$ (since the phase shift of the pure integrator in $q_i^0(s)$ is constant and equal to $\pm 90^\circ$), which

implies that the Nyquist plots of $q_i^0(j\omega)$ cannot encircle the critical point $(-1, j0)$, irrespectively of the value of the gain Γ . In turn, the root loci of the CTFs $q_i^0(s)$ (20) will tend to infinity, as $\Gamma \rightarrow \infty$, along the negative real semi-axis or along the asymptotes that are parallel to the imaginary axis and lie in the left half plane.

Summarizing, we have shown that the adaptive system in Figure 1 is stable for any strictly stable transfer matrix $W(s)$ and any value of the adaptation gain Γ . That feature ensues from the fact that the transfer matrix $W_B(s)$ (12) of the equivalent MIMO system in Figures 2 and 3 always belongs to the class of PR matrices.

Example. Consider a two-dimensional ($N = 2$) MIMO system with the transfer matrix

$$W(s) = \begin{bmatrix} \frac{500}{(s+2)(s+5)} & \frac{18.75}{(s+0.5)(s+10)} \\ \frac{25}{s+4} & \frac{112.5}{(s+1)(s+2)} \end{bmatrix} \quad (21)$$

and the matrix $Q(s) = [1/(0.1s+1)]I$.

The matrices A , B , and C of the state-space representation of that system are

$$A = \begin{bmatrix} -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.5 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 16 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 4 \\ 4 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 8 \end{bmatrix}, \quad (22)$$

$$C = \begin{bmatrix} 31.25 & 0 & 4.6875 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6.25 & 14.0625 & 0 \end{bmatrix}. \quad (23)$$

The solution P of the Lyapunov equation (6) for $Q = I$ is

$$P = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.0357 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0357 & 0.1071 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.0000 & 0.0952 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0952 & 0.0595 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.125 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5000 & 0.1667 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1667 & 0.3333 \end{bmatrix}. \quad (24)$$

The transfer matrix $W_0(s)$ (12) for the system in (21)-(23) and the matrix P (24) is diagonal (see Appendix A) and equal to

$$W_0(s) = \frac{\Gamma}{s} \begin{bmatrix} \frac{272(s+4.059)}{(s+5)(s+4)} & 0 \\ 0 & \frac{80(s+8.4)}{(s+10)(s+2)} \end{bmatrix}. \quad (25)$$

The Nyquist plots, as well as the root loci of the diagonal elements $w_{11}^0(s)$ and $w_{22}^0(s)$ of the matrix $W_0(s)$ (25) are shown in Figure 5. As can be seen from the graphs in Figure 5, the two-dimensional adaptive system with the transfer matrix $W(s)$ (21) is stable for any value of the adaptation gain $\Gamma > 0$.

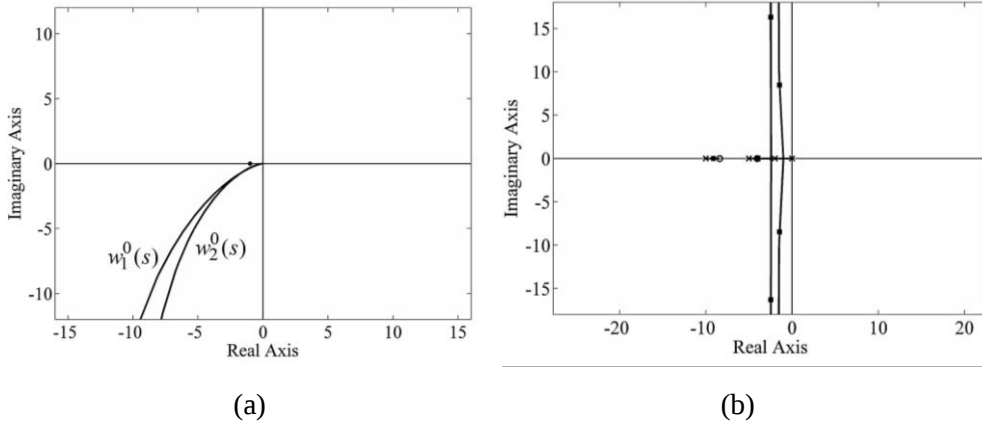


Fig. 5. Nyquist plots (a) and root loci (b) of $w_{11}^0(s)$ and $w_{22}^0(s)$

The results of simulation of the two-dimensional adaptive system with the help of *Simulink* for $r(t)=[0,0]^T$, sinusoidal disturbances with unit amplitudes in both channels and the period $T=6.28$ s, where the oscillations in the second channel are shifted by $+90$ degrees, and three different values of the adaptation gain Γ ($\Gamma=50$, $\Gamma=250$, and $\Gamma=1000$), are shown in Figure 6. As can be seen from the transient responses, the behavior of the adaptive system agrees with the frequency and root characteristics of $W_0(s)$ (25).

The examination of the root loci in Figure 5(b) and of the graphs in Figure 6 allows one to reveal another specific feature of adaptive systems designed for rejection of external disturbances. From Figure 5(b), it is clear that if the relative degree of any of the CTFs $q_i^0(s)$ of the matrix $W_0(s)$ is 2, then, as the value of the adaptation gain Γ

increases indefinitely, the corresponding root loci tend to infinity along the asymptotes that are parallel to the imaginary axis and lie in the left half plane. In other words, the imaginary parts and, consequently, the natural frequencies of the poles of the closed-loop system with the transfer matrix $F_{\Sigma}(s)$ in Figure 4 increase as the gain Γ increases. However, these poles do not have the opportunity to cross the imaginary axis to the right-half plane. Because the estimation loop is decoupled from the control loop, the external disturbance and noise cannot affect this pattern of the poles and have no opportunity to lead to instability.

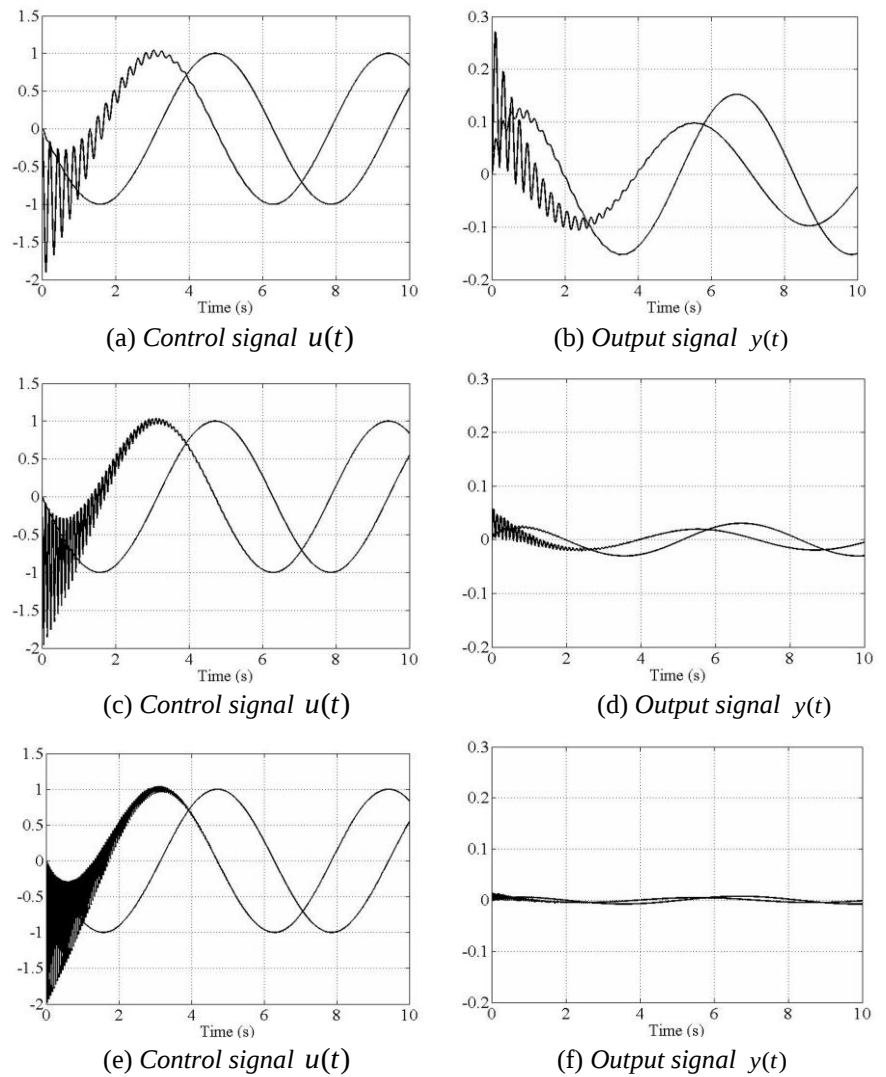


Fig. 6. Simulation results: (a),(b) $\Gamma = 50$; (c),(d) $\Gamma = 250$; (e),(f) $\Gamma = 1000$

Note now that the output signal $y(t)$ of the adaptive system represents, since $r(t) = 0$, an undesirable (or error) motion, which is due to external disturbances. In this respect, as can be seen from Figure 6, the increase in Γ brings to smaller deviations of $y(t)$ from zero, i.e. to the higher performance of the L_1 adaptive system (the absolute maximum deviation of the output signals for $\Gamma = 1000$ is more than 20 times as small as for $\Gamma = 50$). The further increase in Γ will result in smaller errors tending to zero as $\Gamma \rightarrow \infty$.

Appendix A. The state vector $x(t)$ in (1) can be chosen as a combination of state spaces $x_{ij}(t)$ of all transfer functions $w_{ij}(s)$ forming the transfer matrix $W(s) = \{w_{ij}(s)\}$ (2). Let us assume that each scalar transfer function $w_{ij}(s)$ has the state-space representation

$$\dot{x}_{ij}(t) = A_{ij}x_{ij}(t) + b_{ij}u_j(t), \quad y_{ij}(t) = c_{ij}^T x_{ij}(t), \quad (i, j = 1, 2, \dots, N), \quad (\text{A.1})$$

where the orders of the vectors $x_{ij}(t)$ are n_{ij} , the matrices A_{ij} are of size $n_{ij} \times n_{ij}$, and the sizes of column vectors b_{ij} and c_{ij} are $n_{ij} \times 1$. The system matrix A in that case has a block-diagonal structure with the diagonal matrix blocks A_{ij} , i.e. $A = \text{diag}\{A_{ij}\}$, and the positive definite matrix Q ($Q = Q^T > 0$) in the Lyapunov equation (6) can be chosen block-diagonal and matching the structure of the matrix A , i.e. $Q = \text{diag}\{Q_{ij}\}$, where $Q_{ij} = Q_{ij}^T > 0$ ($i, j = 1, 2, \dots, N$).

Under such conditions, the Lyapunov equation (6) reduces to the following set of N^2 equations

$$A_{ij}^T P_{ij} + P_{ij} A_{ij} = -Q_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, N). \quad (\text{A.2})$$

It can be shown that, in such a case, the matrix $W_0(s)$ (12) is diagonal:

$$W_0(s) = \text{diag}\{w_{kk}^0(s)\}, \quad (\text{A.3})$$

with the diagonal elements

$$w_{kk}^0(s) = \frac{\Gamma}{s} \sum_{i=1}^N b_{ik}^T P_{ik} (sI - A_{ik})^{-1} b_{ik} \quad (k = 1, 2, \dots, N). \quad (\text{A.4})$$

Correspondingly, the transfer matrix $F_\Sigma(s)$ (13) also takes on the diagonal form:

$$F_\Sigma(s) = \text{diag}\left\{\frac{w_{kk}^0(s)}{1 + w_{kk}^0(s)}\right\}. \quad (\text{A.5})$$

and the characteristic equation (14)

$$\det \left[I + \text{diag} \left\{ w_{kk}^0(s) \right\} \right] = \prod_{k=1}^N \left[1 + w_{kk}^0(s) \right] = 0 \quad (\text{A.6})$$

splits up into N “one-dimensional” equations:

$$1 + \frac{\Gamma}{s} \sum_{i=1}^N b_{ik}^T P_{ik} (sI - A_{ik})^{-1} b_{ik} = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, N). \quad (\text{A.7})$$

These equations allow to investigate the stability of the N -dimensional adaptive system in Figure 1 on the basis of standard methods of classical feedback control.

REFERENCES

1. **Hovakimyan N. and Cao. C.** L_1 Adaptive Control Theory - Guaranteed Robustness with Fast Adaptation. - SIAM, Philadelphia, 2010. – 340 p.
2. **Astrom K. and Wittenmark B.** Adaptive Control. - Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, 1994. -575 p.
3. **Ioannou P. and Sun J.** Robust Adaptive Control. - Prentice Hall, 1996. – 834 p.
4. **Skogestad S. and Postlethwaite I.** Multivariable Feedback Control. Analysis and Design. -John Wiley and Sons Ltd., Chichester, Sussex, UK, 2005. - 595 p.
5. **Gasparyan O. N.** Linear and Nonlinear Multivariable Feedback Control: A Classical Approach. - John Wiley & Sons, UK, 2008. - 354 p.
6. **Slotine J.-J. E. and Li W.** Applied Nonlinear Control. - Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA, 1991. - 476 p.

SEUA (Polytechnic). The material is received 21.08.2014.

Տ.Ն. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ն.Հ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ե.Ռ. ԽԱՐԻՍՈՎ, Օ.Ն. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Ն.Գ. ՀՈՎԱԿԻՄՅԱՆ

ԲԱԶՄԱԶՍՓ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ L_1 ՀԱՐՄԱՐՎՈՂ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Մաս 1. Ընդհանուր տեսքի բազմաչափ համակարգեր

Դիտարկված են որոշ հարցեր, որոնք առնչվում են արտաքին վրդովմունքները չեզոքացնելու համար նախատեսված հարմարվող քառակուսի (այսինքն՝ մուտքերի և ելքերի միևնույն քանակն ունեցող) բազմաչափ կառավարման համակարգերի կայունությանը: Հիմնվելով դրական իրական փոխանցման մատրիցների հատկությունների վրա՝ ցույց է տրված, որ այդպիսի համակարգերը կայուն են հարմարման գործակցի կամայական մեծ արժեքների, նույնիսկ աջակողմյան զրոներով համակարգերի դեպքում:

Առանցքային բառեր. կառավարման բազմաչափ համակարգ, հարմարվող կառավարում, չափանմուշային մոդել, կայունություն, դրական իրական համակարգ:

**Т.Н. ОГАННИСЯН, Н.А. ВАРДАНЯН, Е.Р. ХАРИСОВ, О.Н. ГАСПАРЯН,
Н.Г. ОВАКИМЯН**

**О ПРИМЕНЕНИИ L1 АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В МНОГОМЕРНЫХ
СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ**

Часть 1. Многомерные системы общего вида

Рассмотрены некоторые вопросы, связанные с устойчивостью адаптивных квадратных (т.е. имеющих равное число входов и выходов) многомерных систем управления, предназначенных для компенсации внешних возмущений. Основываясь на свойствах положительных действительных передаточных матриц, показано, что подобные системы устойчивы при произвольно больших значениях коэффициента адаптации, даже в случае систем с правосторонними нулями.

Ключевые слова: многомерная система управления, адаптивное управление, эталонная модель, устойчивость, положительная действительная система.

Т.А. НАЛЧАДЖЯН, Г.С. БАГРАМЯН

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ И
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОСТУПЛЕНИЙ В ГОСБЮДЖЕТ**

Обсуждаются вопросы количественной оценки бюджетных поступлений от налогов и возможности построения кривых и поверхностей Лаффера. Показано, что предлагаемый интегральный критерий налоговых поступлений создает необходимые условия для автоматизации оценки при всевозможных вариациях параметров налоговых законов и структуры базы налогообложения. Рассмотрен численный пример.

Ключевые слова: модель, бюджетные поступления, структура зарплаты, кривые Лаффера.

Известно [1], что американский экономист Лаффер при анализе налоговых поступлений в государственный бюджет сделал теоретическое предположение, что при увеличении процентной ставки налогового закона в пределах от 0 до 100% сначала бюджетные поступления возрастают, достигая максимального значения при некотором числовом значении процентной ставки, а затем постепенно уменьшаются до нуля при стопроцентном значении процентной ставки, образуя “параболовидную” кривую, причем им рассмотрен случай, когда налоговый закон имеет только одну процентную ставку.

Однако реальные налоговые законы часто имеют не одну, а несколько процентных ставок. Для реальных многопараметрических налоговых законов выводы Лаффера практически неприменимы.

Предлагается метод оценки налоговых поступлений в госбюджет по линии многопараметрических налоговых законов, допускающий непрерывное либо дискретное изменение процентных ставок, или деление шкалы базы налогообложения в разумных пределах.

Метод допускает не только построение отдельных участков кривых Лаффера для любых налоговых законов при вариации любых параметров (процентных ставок или деления шкалы) в отдельности и одновременном изменении двух и более параметров, но и построение “поверхностей” Лаффера, одновременно рассматривая сотни и более вариантов изучаемого налогового закона с выявлением их возможностей.

Суть метода заключается в следующем.

Пусть x – база налогообложения. Для любого налогоплательщика величина этой базы является постоянной за расчетный период времени (допустим, за

месяц, когда в качестве базы налогообложения рассматривается заработная плата). Но в масштабах всей страны, отрасли хозяйства и крупной организации множество величин x_i образуют множество реализаций некоторой случайной величины, подчиненной некоторому дифференциальному закону $f(x)$ распределения вероятностей [2]. Эту функцию будем называть математической моделью структуры базы налогообложения. Обозначив через $c(x)$ математическое представление налогового закона (обычно это кусочно- линейная функция x), укажем, что оно зависит от нескольких числовых параметров $k_1, k_2, \dots$ и $a_1, a_2, \dots$ где величины k_i – процентные ставки налогового закона, а величины $a_1, a_2, \dots$ – деление шкалы базы x .

Следуя [3], в качестве объема бюджетного поступления по линии одного среднего виртуального налогоплательщика в месяц рассмотрим определенный интеграл

$$I(k_1, k_2, \dots, a_1, a_2, \dots) = \int_0^{x_{max}} c(x_1, k_1, k_2, \dots, a_1, a_2, \dots) dx, \quad (1)$$

где x_{max} – максимальное возможное значение величины базы налогообложения. Теоретически можно рассмотреть случай, когда $x_{max} \rightarrow +\infty$.

Известно [4], что этот интеграл является математическим ожиданием налогового закона $c(x)$, т.е.

$$I = M[c(x)], \quad (2)$$

что экономически является величиной налога от одного налогоплательщика в месяц (или в рассматриваемый период времени, в зависимости от типа налогового закона).

Взаимное расположение подынтегральных функций $c(x)$ и $f(x)$ показано на рис. 1, где в качестве примера (без сохранения масштабов реальных величин) $c(x)$ – действующий с 1-го января 2013г. в РА подоходный налог, а $f(x)$ – дискретная структура заработной платы в РА.

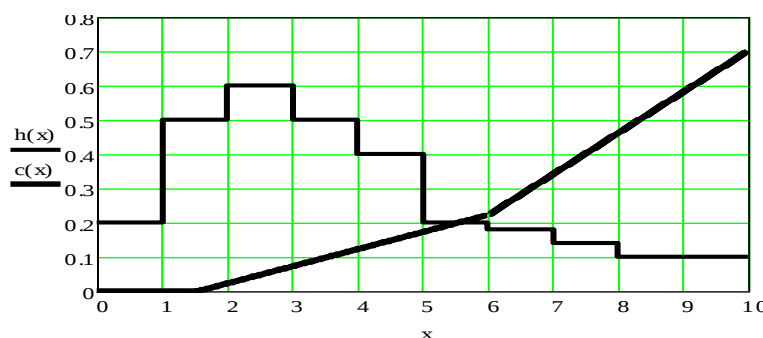


Рис. 1. Взаимное расположение моделей подоходного закона и структуры зарплаты в РА

Математические выражения этих моделей следующие:

$$c(x) = \begin{cases} k_1 x & \text{при } 0 \leq x \leq a, \\ k_2(x - a) + k_1 a & \text{при } a < x \leq b, \\ k_3(x - b) + k_2(b - a) + k_1 a & \text{при } x > b, \end{cases} \quad (3)$$

$$f(x) = \frac{0,85 \cdot x \cdot e^{-\frac{x^2}{2M^2}}}{M^2} + 0,15 \frac{e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}}}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}}, \quad (4)$$

где $k_1 = 0,244$; $k_2 = 0,26$; $k_3 = 0,36$;

$a_1 = 120$; $a_2 = 2000$;

$M \approx 91,312$; $m_2 = 800$; $\sigma_2 = 500$.

Здесь m_2 - среднее значение зарплаты налогоплательщиков второй группы; σ_2 - среднеквадратическое отклонение зарплаты этой же группы; M - мода зарплаты первой группы налогоплательщиков.

Численные значения указанных параметров определены на основе обработки официальных статистических данных Национальной статистической службы за последние годы. Коэффициенты 0,85 и 0,15 в формуле (4) также оценены обработкой официальных данных и введены в (4) в качестве “весовых коэффициентов” двух составляющих модели заработной платы для обеспечения нормированности закона распределения:

$$\int_0^{\infty} f(x) dx \equiv 1. \quad (5)$$

Причем численные значения 0,85 и 0,15 означают, что в РА в настоящее время около 85% налогоплательщиков по линии подоходного налога получают зарплату до 120 *тыс. драм*, а остальные 15% - больше 120 *тыс. драм*.

С целью представления возможностей интегральной оценки (1) рассмотрим численный пример.

Допустим, что Правительство РА решило облегчить налоговое бремя трудящихся первой группы и рассматривает возможность уменьшения процентной ставки $k_1 = 0,244$ в пределах от 25 до 15% с шагом 1%, одновременно увеличивая процентную ставку k_2 в пределах от 26 до 35% с шагом 1%.

В среде программного пакета Mathcad – 14 [5,6] исследованы объемы (1) бюджетных поступлений. Результаты представлены в таблице.

Таблица

Дискретное представление кривых Лаффера на плоскости k_1, k_2

$k_1 \backslash k_2$	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15
0,26	56,00	55,05	54,09	53,13	52,18	51,22	50,27	49,31	48,35	47,4	46,44
0,27	57,24	56,28	55,32	54,37	53,41	52,458	51,501	50,54	49,58	48,63	47,67
0,28	58,47	57,51	56,55	55,60	54,64	53,68	52,73	51,77	50,82	49,86	48,90
0,29	59,70	58,74	57,79	56,83	55,87	54,92	53,96	53,00	52,05	51,09	50,13
0,30	60,93	59,97	59,02	58,06	57,10	56,15	55,19	54,25	53,28	52,32	51,37
0,31	62,16	61,21	60,25	59,29	58,34	57,38	56,42	55,47	54,51	53,55	52,60
0,32	63,39	62,44	61,48	60,52	59,57	58,61	57,65	56,70	55,74	54,79	53,83
0,33	64,63	63,67	62,71	61,76	60,804	59,84	58,891	57,93	56,97	56,02	55,06
0,34	65,86	64,90	63,94	62,99	62,03	61,07	60,123	59,16	58,21	57,25	56,29
0,35	67,09	66,13	65,18	64,22	63,26	62,31	61,35	60,39	59,44	58,48	57,52

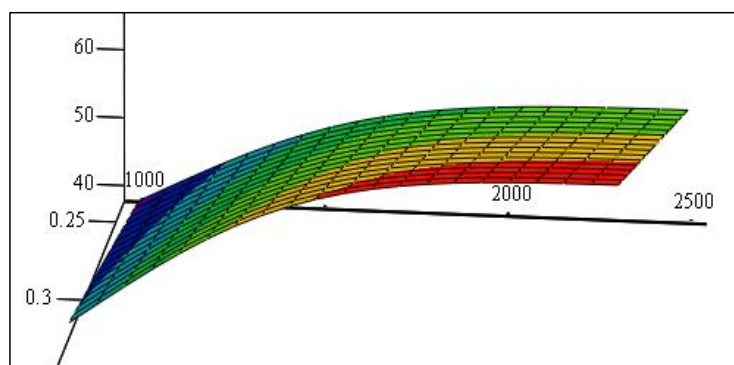
Каждый элемент таблицы показывает величину бюджетных поступлений в месяц по линии одного налогоплательщика. В итоге за несколько минут анализируется 110 вариантов рассматриваемого налогового закона. Жирным шрифтом в таблице указаны варианты подоходного закона, при которых объемы бюджетных поступлений остаются на сегодняшнем уровне. Варианты налогового закона, расположенные выше этой линии безразличия, невыгодны с точки зрения госбюджета, а варианты, расположенные ниже, – выгодны. Отметим, что любая строка или любой столбец таблицы являются дискретным представлением кривых Лаффера.

Отметим также, что величины бюджетных поступлений линейно зависимы от изменений процентных ставок, а при изменении параметров шкалы a_i эта зависимость нелинейная.

Если в интегральной модели (1) вместо численных значений M, m_2 или σ_2 подставить их выражения, зависящие от времени ($m_2(t) = 10,2t + 1000$, $\sigma_2(t) = 5,98t + 300$, $M(t) = 8,16t - 0,128$), то получим динамическую модель структуры базы налогообложения. Подставляя в (1) $t = 15, 16, 17 \dots$, получим прогнозируемые величины бюджетных поступлений $I(15, I(16))$ в 2015 -2017 гг.

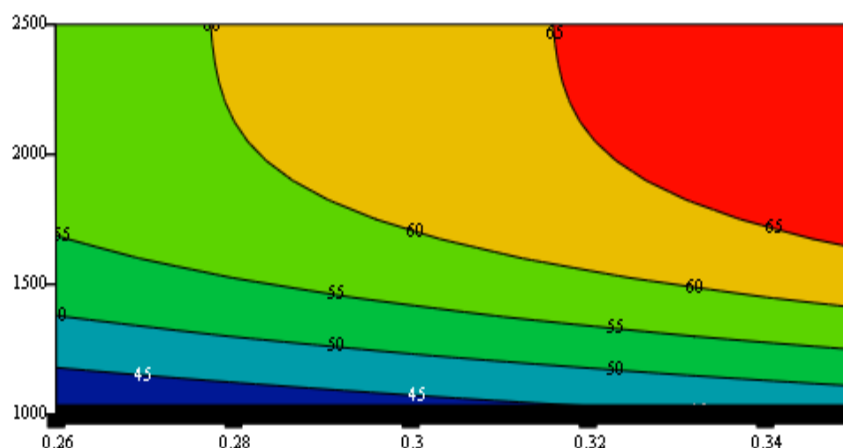
Предлагаемую интегральную модель бюджетных поступлений можно исследовать также в случае, когда параметры налогового закона или структуры зарплаты непрерывно меняются во времени. В таких случаях можно получить участки непрерывных поверхностей и их горизонталей (линии равных уровней – линии безразличия).

В качестве примера на рис. 2 показана трехмерная поверхность Лаффера $I(a, k_2)$, а на рис. 3 - линии безразличия на плоскости (k_2, a) с соответствующими отметками их уровней.



I

Рис. 2. Поверхность Лаффера $I(a, k_2)$



I

Рис. 3. Линии безразличия на плоскости (k_2, a)

Выводы. При помощи предлагаемой интегральной модели можно автоматизировать получение кривых и поверхностей Лаффера при любых изменениях численных значений параметров налоговых законов, одновременно исследуя сотни вариантов налогового закона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ходов Л.** Основы государственной экономической политики. – М.: БЕК, 1997. – 476 с.
2. **Налчаджян Т.А., Папоян В.А.** Математическое моделирование налоговых поступлений в госбюджет // Вестник Инженерной академии Армении. – 2008. – Т.5, N3. – С. 401 – 403.
3. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей. – М.: Наука, 2000. – 576 с.

4. **Арешян Г.Л., Захарян С.С., Налчаджян Т.А.** Два метода повышения экономической эффективности сложных технологических процессов. – Ереван: Айастан, 1985. – 161с.
5. **Охорзин В.А.** Прикладная математика в системе Mathcad. – СПб., М., Краснодар, 2008. - 352с.
6. **Салманов О.Н.** Математическая экономика с применением Mathcad и Excel. - СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 464с.

ГИУА (Политехник). Материал поступил в редакцию 14.06.2014.

Թ.Ա. ՆԱԼՉԱԶՅԱՆ, Գ.Ս. ԲԱՂՐԱՄՅԱՆ

**ՊԵՏԱԿԱՆ ԲՅՈՒՋԵԻ ՄՈՒՏՔԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԵՎ ԿԱՆԽԱՏԵՍՄԱՆ
ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄՆ ՈՒ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՈՒՄՆ**

Քննարկվում են պետական բյուջեի հարկային մուտքերի քանակական գնահատման և Լաֆֆերի կորերի և մակերևույթների կառուցման հարցերը: Ցույց է տրված, որ բյուջեի հարկային մուտքերի գնահատման առաջարկվող ինտեգրալային չափանիշը ստեղծում է անհրաժեշտ պայմաններ այդ մուտքերի գնահատման ավտոմատացման համար հարկային օրենքների պարամետրերի և հարկման բազայի կառուցվածքի ամենատարբեր փոփոխությունների դեպքում: Դիտարկված է օրինակ:

Առանցքային բառեր. մոդել, բյուջեի մուտքեր, աշխատավարձի կառուցվածք, Լաֆֆերի կորեր:

T.A. NALCHAJYAN, G.S. BAGHRAMYAN

**MODELING AND AUTOMATION OF ESTIMATING AND PREDICTING THE
ENTRIES INTO THE STATE BUDGET**

The issues on quantitative estimation of the tax entries into the budget, and the possibilities of developing Laffer's curves and surfaces are discussed. It is shown that the proposed integral criterion of the tax entries creates the required conditions for automating the estimation at possible variations of the taxing law parameters, and the structure of the taxing basis. A numerical example is considered.

Keywords: model, budget entries, salary structure, Laffer's curves.

Г.С. СУКИАСЯН

**ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ СВОЙСТВО ТРИАНГУЛЯЦИИ ДЕЛОНЕ И ЕГО
ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ ПОЛЕВЫХ ЗАДАЧ**

При решении полевых задач методом конечных элементов применяются треугольные дискретизационные сетки. Сходимость автоматизированного процесса последовательных приближений к решению нелинейных задач сильно зависит от конфигурации сетки. В настоящей работе исследован важный класс треугольных сеток – триангуляции Делоне. Доказано, что триангуляция Делоне минимизирует сумму котангенсов углов всех своих треугольников. Это экстремальное свойство применено при анализе процесса решения систем линейных уравнений, зависящих от сетки. Показано, что для задачи автоматизированного нахождения электромагнитного поля методом конечных элементов при заданном наборе узлов из всех возможных сеток наилучшей (в смысле скорости сходимости процесса последовательных приближений) является триангуляция Делоне.

Ключевые слова: электромагнитное поле, метод конечных элементов, треугольные сетки, триангуляция Делоне.

Введение. Автоматизированное решение нелинейных полевых задач методом конечных элементов сводится к построению дискретизационной сетки и нахождению минимума энергетического функционала путем приравнивания нулю его производных. В результате получается система уравнений с неизвестными значениями потенциала в узлах сетки, причем количество уравнений равно количеству неизвестных и количеству некраевых узлов сетки.

Сходимость процесса последовательных приближений к решению нелинейных полевых задач сильно зависит от конфигурации сетки. Известно (см. [1, 2]), что на скорость сходимости процесса последовательных приближений к решению нелинейных полевых задач отрицательно влияет наличие в сетке тупоугольных треугольников.

В настоящей работе исследован особый вид треугольных сеток – так называемая триангуляция Делоне (см. [3]). Показано, что триангуляция Делоне минимизирует сумму котангенсов углов всех своих треугольников. Из этого экстремального свойства получено утверждение, что при заданном наборе узлов из всех возможных сеток наилучшей (в смысле скорости сходимости процесса последовательных приближений) является триангуляция Делоне.

Треугольные сетки. Пусть $\{P_i\}_{i=1}^n$ – заданное множество точек (узлов) на плоскости. Множество $\{D_j\}_{j=1}^m$ выпуклых многоугольников на плоскости называется сеткой с системой узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$, если выполнены следующие условия:

- внутренности многоугольников попарно не пересекаются;
- вершины всех многоугольников принадлежат системе узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$;
- объединение $\bigcup_{j=1}^m D_j$ заполняет всю выпуклую оболочку точек $\{P_i\}_{i=1}^n$.

При решении задачи нахождения электромагнитного поля методом конечных элементов внутри каждого элемента индукция предполагается постоянной, а следовательно, величина векторного магнитного потенциала предполагается линейной. Так как количество неизвестных параметров у линейной функции двух переменных равно трем, то количество узлов в каждом элементе также должно быть равно трем. Следовательно, при решении полевых задач методом конечных элементов дискретизационная сетка $\{D_j\}_{j=1}^m$ должна состоять исключительно из треугольников. Такие сетки называются треугольными.

Триангуляция Делоне. Важным классом треугольных сеток являются триангуляции Делоне. Треугольная сетка $\{D_j\}_{j=1}^m$ называется триангуляцией Делоне на базе системы узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$, если выполнено следующее условие: для каждого треугольника D_j внутри описанного вокруг него круга нет ни одной точки из $\{P_i\}_{i=1}^n$.

Утверждение 1. Для любой конфигурации узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$ триангуляция Делоне обладает минимальной суммой котангенсов углов всех своих треугольников среди всех возможных треугольных сеток с данным множеством узлов.

Вначале докажем это свойство для четырехугольника ABCD (см. рис.).

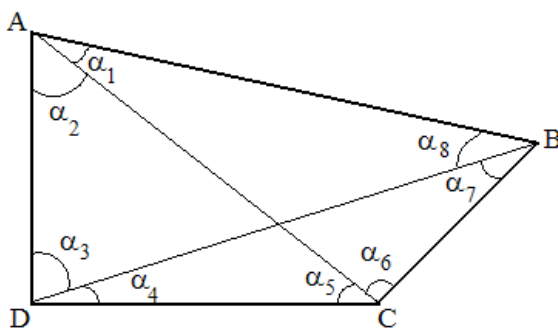


Рис.

Возможны две сетки: триангуляция T_{BD} с диагональю BD и треугольниками ABD и BDC, а также триангуляция T_{AC} с диагональю AC и треугольниками ABC и ADC. У триангуляции T_{BD} сумма S_{BD} котангенсов всех углов обоих своих треугольников равна

$$S_{BD} = \operatorname{ctg}(\alpha_1 + \alpha_2) + \operatorname{ctg} \alpha_3 + \operatorname{ctg} \alpha_8 + \operatorname{ctg}(\alpha_5 + \alpha_6) + \operatorname{ctg} \alpha_4 + \operatorname{ctg} \alpha_7. \quad (1)$$

У триангуляции T_{AC} сумма S_{AC} котангенсов всех углов обоих своих треугольников равна

$$S_{AC} = \operatorname{ctg}(\alpha_3 + \alpha_4) + \operatorname{ctg} \alpha_2 + \operatorname{ctg} \alpha_5 + \operatorname{ctg}(\alpha_7 + \alpha_8) + \operatorname{ctg} \alpha_1 + \operatorname{ctg} \alpha_6. \quad (2)$$

Если

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_5 + \alpha_6 > \pi,$$

то точка D лежит вне окружности, описанной вокруг треугольника ABC, триангуляция T_{AC} является триангуляцией Делоне и $S_{AC} < S_{BD}$.

Если же

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_5 + \alpha_6 < \pi,$$

то точка C лежит вне окружности, описанной вокруг треугольника ABD, триангуляция T_{BD} является триангуляцией Делоне и $S_{AC} > S_{BD}$. Следовательно, в обоих случаях триангуляция Делоне обладает меньшей суммой котангенсов углов.

Теперь докажем это свойство для большого количества узлов. Так как количество возможных сеток конечно, то существует сетка T с минимальной суммой котангенсов углов всех своих треугольников среди всех возможных триангуляций с данным множеством узлов. Предположим, что T не является триангуляцией Делоне. Тогда существует треугольник ABD, внутри описанной окружности которого лежит узел C. Заменяя в четырехугольнике ABCD диагональ BD на AC, получим $S_{AC} < S_{BD}$, что противоречит условию минимальности сетки T . Итак, утверждение 1 доказано.

Приложение к решению систем уравнений. Вышеприведенное утверждение можно применить при анализе процесса решения одного класса систем линейных уравнений, зависящих от сетки. Пусть на плоскости задана треугольная сетка $T = \{D_j\}_{j=1}^m$ с системой узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$. Если узел принадлежит выпуклой оболочке сетки, то он называется граничным, в противном случае – внутренним. Обозначим через $I(T)$ множество внутренних узлов сетки T , а их количество – через N . Введем также обозначения: $V(D_j)$ – множество вершин треугольника D_j и E_i – совокупность треугольников сетки T , содержащих вершину P_i , т.е.

$$E_i = \{D_j \in T : P_i \in V(D_j)\}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Рассмотрим следующую систему линейных уравнений относительно неизвестных $x_1, \dots, x_N$, их количество равно числу внутренних узлов N :

$$\sum_{D \in E_i} \sum_{v \in V(D) \cap I(T)} \operatorname{ctg} \alpha(v, D) x_k = b_i, \quad P_i \in I(T), \quad i = 1, \dots, N. \quad (3)$$

Здесь $\alpha(v, D)$ - внутренний угол треугольника D при вершине v , имеющей номер k , т.е. $v = P_k$. Отметим, что система линейных уравнений (3) зависит от геометрии сетки T . Предположим, что мы собираемся численно решать систему уравнений (3) методом последовательных итераций. Тогда сходимость процесса последовательных приближений к решению системы (3) зависит от конфигурации сетки. Согласно известному принципу доминирования диагонали, скорость сходимости процесса последовательных итераций увеличивается при уменьшении недиагональных элементов матрицы системы линейных уравнений. Отсюда, используя Утверждение 1, приходим к следующему результату.

Утверждение 2. Для любой конфигурации узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$ при решении системы линейных уравнений (3) методом последовательных итераций триангуляция Делоне является наилучшей среди всех возможных треугольных сеток с данным множеством узлов.

Приложение к решению полевых задач. При решении задачи нахождения электромагнитного поля методом конечных элементов возникает следующая система линейных уравнений относительно неизвестных значений векторного магнитного потенциала A_k в узле k :

$$\sum_{D \in E_i} \sum_{v \in V(D) \cap I(T)} \operatorname{ctg} \alpha(v, D) \frac{A_k}{\mu(D)} = b_i(\delta), \quad P_i \in I(T), \quad i = 1, \dots, N. \quad (4)$$

Здесь $\mu(D)$ - величина магнитной проницаемости, принимаемая постоянной внутри треугольника D , правая часть $b_i(\delta)$ зависит от плотности тока δ . Количество уравнений в системе (4) равно числу внутренних узлов N .

Сравнивая системы (3), (4) и используя Утверждение 2, приходим к следующему результату.

Утверждение 3. Для любой конфигурации узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$ при решении задачи нахождения электромагнитного поля методом конечных элементов и последующем решении возникающей системы линейных уравнений (4) методом последовательных итераций триангуляция Делоне является наилучшей среди всех возможных треугольных сеток с данным множеством узлов.

Заключение. Сходимость автоматизированного процесса последовательных приближений к решению нелинейных задач сильно зависит от конфигурации

сетки. Триангуляция Делоне минимизирует сумму котангенсов углов всех своих треугольников. Это экстремальное свойство применено при анализе процесса решения систем линейных уравнений, зависящих от сетки. Для задачи автоматизированного нахождения электромагнитного поля методом конечных элементов при заданном наборе узлов из всех возможных сеток наилучшей (в смысле скорости сходимости процесса последовательных приближений) является триангуляция Делоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Пароникян А.Е. Об углах треугольной сетки для расчета магнитных полей методом конечных элементов // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2007. - Т. 60, №3. – С. 523-532.
2. Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Акопян А.Э., Об оптимизации тетраэдральной сетки для расчета трехмерных магнитных полей методом конечных элементов. // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2008. - Т. 61, №2. – С. 305-317.
3. Делоне Б.Н., О пустоте сферы // Изв. АН СССР. ОМОН. - 1934.- №4. - С.793–800.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 20.09.2014.

Հ.Ս. ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ

ԴԵԼՈՆԵԻ ԵՌԱՆԿՈՒՆԱՊԱՏՄԱՆ ԷՔՍՏՐԵՄԱԼ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՆՐԱ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԴԱՇՏԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Վերջավոր տարրերի մեթոդով էլեկտրամագնիսական դաշտի ավտոմատացված որոշման համար կիրառվում են եռանկյունային դիսկրետացիոն ցանցեր: Ոչ գծային դաշտային խնդիրների համար հաջորդական մոտարկումների զուգամիտման գործընթացը կախված է ցանցի երկրաչափական հատկություններից: Ուսումնասիրված է եռանկյունային ցանցերի մի կարևոր դաս՝ Դելոնեի եռանկյունապատումները: Ապացուցված է, որ Դելոնեի եռանկյունապատումը մինիմալացնում է իր բոլոր եռանկյունների բոլոր անկյունների կոտանգենսների գումարը: Այդ էքստրեմալ հատկությունը կիրառված է ցանցից կախված գծային հավասարումների համակարգերի լուծման գործընթացի վերլուծության համար: Ցույց է տված, որ վերջավոր տարրերի մեթոդով էլեկտրամագնիսական դաշտի որոշման խնդրի դեպքում հանգույցների տվյալ բազմության համար բոլոր հնարավոր ցանցերից Դելոնեի եռանկյունապատումն է ամենալավը՝ հաջորդական մոտարկումների զուգամիտման գործընթացի արագության իմաստով:

Առանցքային բառեր. էլեկտրամագնիսական դաշտ, վերջավոր տարրերի մեթոդ, եռանկյունային ցանցեր, Դելոնեի եռանկյունապատում:

H. S. SUKIASYAN

**THE EXTREMAL PROPERTY OF DELAUNAY TRIANGULATION AND ITS
APPLICATIONS IN FIELD PROBLEMS**

At solving field problems by the finite-elements method, the triangular digitized meshes are applied. The convergence of the automated process of successive approximation aimed at solving nonlinear problems strongly depends on the mesh configuration. In this paper, an important class of triangular meshes is investigated - the Delaunay triangulation. It is proved that the Delaunay triangulation minimizes the sum of the cotangent angles of all its triangles. This extremal property is applied at analyzing the solving process for systems of linear equations depending on the mesh. It is shown that for the problem of numerical determination of the electromagnetic field by the finite-elements method at the given set of knots, the optimal mesh is the Delaunay triangulation (in respect of the speed of successive approximation process).

Keywords: electromagnetic field, finite-elements method, triangular meshes, Delaunay triangulation

ՀՏԴ 621.52

ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՈՒՄ ԵՎ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ

Կ.Ս. ԱՄԻՐՊԱՆՅԱՆ

ՀԻՇՈՂՈՒԹՅԱՆ ՆՍՈՒՇՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ ՄՈՂԵԼԻ ԱՎՏՈՄԱՏ
ԴՈՒՐՄԲԵՐՈՒՄԸ ԳՐԱՖԻԿԱԿԱՆ GDSII ՁԵՎԱԶԱՓԻ ՖԱՅԼԻՑ

Տրված է ծրագրային հոսքի (ՕՀ) նկարագրությունը (program flow), որը հնարավորություն է տալիս ավտոմատ կերպով ստանալ ստատիկ պատահական դիմումով հիշողության (ՄՊԴՀ) նմուշի կառուցվածքային մոդելը այդ հիշողության նմուշի արտադրության մեջ օգտագործվող **GDSII** (Graphic Database System) ձևաչափով ներկայացված ֆայլից: Ներկայացված են ծրագրային միջավայրի ֆունկցիոնալ, կառուցվածքային սխեմաները, մոդելի դուրսբերման առնչվող հիմնախնդիրները, բարդությունները և սահմանափակումները: Բերված են փորձերի արդյունքները:

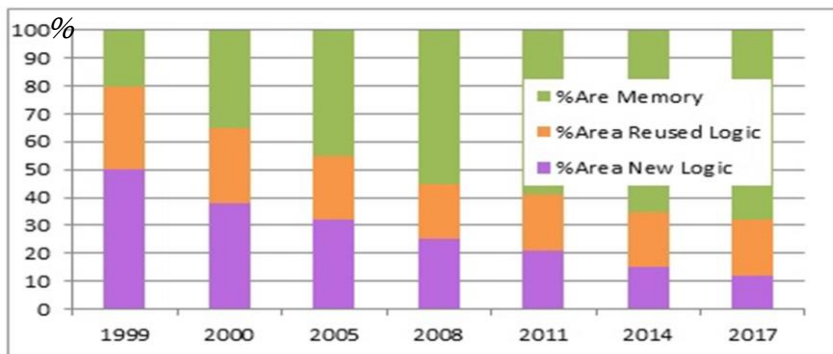
Առանցքային բառեր. կառուցվածքային մոդել, հիշողության նմուշ, նմուշի **GDSII** ձևաչափ, ծրագրային միջավայր, ՄՊԴՀ, կառուցվածքային տիպեր:

Ներածություն. Ժամանակակից կիսահաղորդչային սարքերի բնորոշ հատկություններից մեկն այն է, որ դրանք ընդգրկում են մեծ քանակությամբ ներդրված հիշողության սարքեր (ՀՄ)՝ ՄՊԴՀ-ներ: Հետագա շարադրանքում, ասելով ՀՄ, նկատի կունենանք միայն ՄՊԴՀ տիպի հիշողությունները: Այդ ՀՄ-երի քանակը կարող է հասնել հազարների, որոնք բազմաթիվ գործառնություններ են կատարում սարքավորումներում: Ներդրված հիշողության բջիջների (ՆՀԲ) գումարային քանակը շատ դեպքերում կազմում է մի քանի միլիոն: Ընդ որում, հիշողության բջիջների քանակը սարքերում տարեցտարի անընդհատ աճում է և ըստ վիճակագրական տվյալների [1]՝ 2015 թ. ՆՀԲ-երը կգրադենեն էլեկտրոնային սարքերի ֆիզիկական մակերեսի մոտ 70-80%-ը (նկ. 1): Որպեսզի առավելագույնս նվազեցվի հիշողության բջիջներով զբաղված սարքերի թիթեղի մակերեսը, այդ բջիջների կառուցվածքը՝ տոպոլոգիան (layout), նախագծվում է առավելագույնս խիտ:

Այսպիսով, հիշողության բջիջների երկու առանձնահատկությունները՝ կառուցվածքի խտությունը և զբաղեցրած մակերեսը, նախագծվող սարքերի հիշողություն պարունակող տարածքում արտադրության ընթացքում առաջացած անսարքությունների (արատների) բարձր հավանականության պատճառներն են:

Հաշվի առնելով այն փաստը, որ նույնիսկ կատարյալ պայմաններում անհնար է ստանալ արտադրվող միկրոսխեմաների 100% արտադրության օգտակար ելք, դժվար չէ կռահել, որ արտադրության խտանի հիմնական պատճառը հիշողության սարքերի մասում առաջացած արտադրական և շահագործման անսարքություններն են: Հիշողության սարքերի արտադրության օգտակար ելքի ավելացման նպատակով վերջին

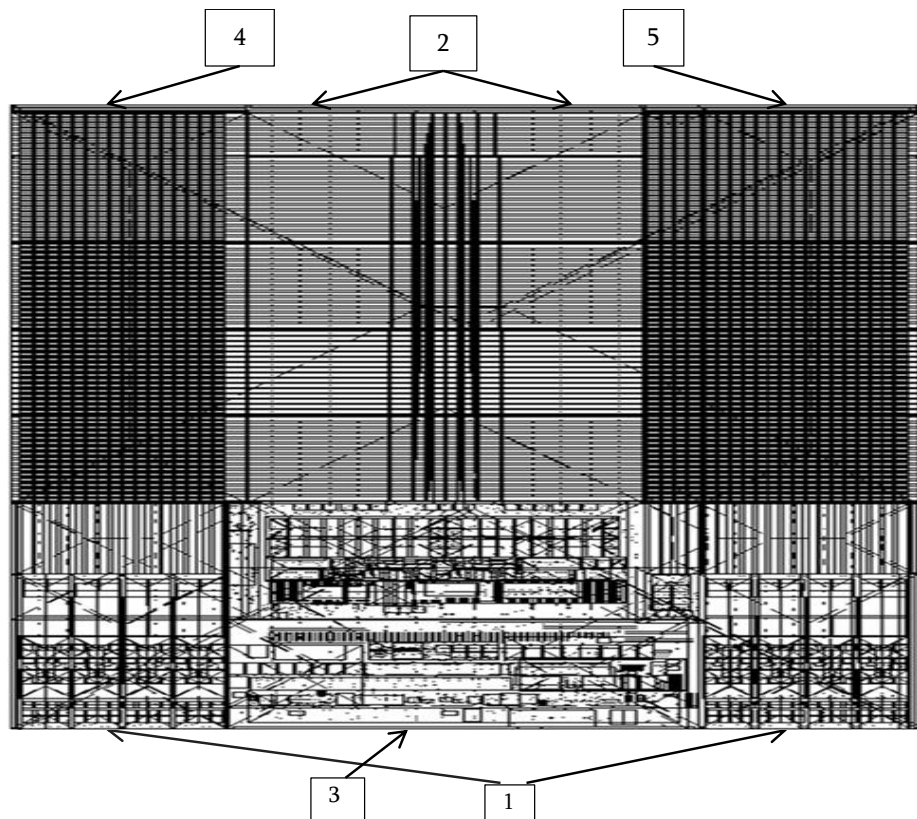
տարիներին հիշողության սարքերում տեղադրվում են լրացուցիչ այսպես կոչված, ավելցուկային հիշողության բջիջներ պարունակող տողեր և սյուներ: Հետագայում դրանք օգտագործվում են անսարք բջիջների աշխատանքը (տողերը կամ սյուները) վերականգնելու նպատակով (Built-in Repair Algorithm-BIRA):



Նկ. 1. Հիշողության մասնաբաժնի քանակը էլեկտրոնային սարքերում (կանխագուշակում՝ ըստ ITRS.net կայքի)

Նույն նպատակով հիշողության սարքերում տեղադրվում են ներկառուցված (embedded), հիշողության հետ միաժամանակ պատրաստվող, լրացուցիչ էլեկտրոնային սխեմաներ, որոնց նպատակն է հիշողության հանգույցների ինքնաթեստավորումը, անսարքությունների հայտնաբերումը (Built-in Self Test –BIST) [1-3], և, հնարավորության դեպքում, հիշողության աշխատունակության վերականգնումը:

ՀՄ-երի աշխատանքի ընթացքում ի հայտ են գալիս մի շարք ավտոմատացման խնդիրներ, ինչպիսիք են՝ հիշողության թեստավորումը, հիշողության բջիջների կոորդինատների հաշվարկը, նախագծի մեջ օգտագործվող հիշողության սարքերի օպտիմալ տեսակների և կոնֆիգուրացիաների որոշումը, նախագծի և, մասնավորապես, հիշողության սարքի արտադրության օգտակար ելքի կանխատեսման հաշվարկը և վերլուծումը: Նշված խնդիրները պահանջում են տիրապետել և համապատասխան ծրագրային միջոցներում օգտագործել հիշողության կառուցվածքի վերաբերյալ տեղեկությունները: Հիշողության կառուցվածքային տեղեկատվությունը (ՀԿՏ) գտնվում է հիշողության արտադրության մուտքային տեղեկություն պարունակող կառուցվածքային ֆայլում, որը ստեղծվում և պահվում է համակարգիչներում գրաֆիկական GDSII ձևաչափով: Նկ. 2-ում ներկայացված է հիշողության սարքի նմուշի գրաֆիկական GDSII ձևաչափի օրինակը: GDSII տեսակի գրաֆիկական ձևաչափը ծավալուն է, և այդ ֆայլի մշակումը այլ ծրագրային միջոցներով անչափ անհարմար է ու ժամանակատար:



Նկ. 2. Հիշողության սարքի նմուշի օրինակ՝ GDSII ձևաչափ.

1. միացման Մուտքային/Ելքային բջիջներ, 2. տողերի ապակողավորման սխեմա, 3. սյուների ապակողավորման սխեմա, 4. հիշողության բջիջներ՝ խմբավորված ՀՄ-ի աջ մասում, 5. հիշողության բջիջներ՝ խմբավորված ՀՄ-ի ձախ մասում

Ծրագրային այլ միջոցներով աշխատանքի ժամանակը էապես պակասեցնելու նպատակով ստեղծվում է հիշողության նմուշի GDSII ձևաչափի պարզեցված կառուցվածքային մոդելը: Մոդելը կառուցված է տեքստային TXT ձևաչափով և, համապատասխան ստուգումից հետո [4], հետագայում օգտագործվում է այլ կիրառական ծրագրերում [5,6]:

Հիշողության մոդելը բաղկացած է երկու՝ հիշողության վարքագծային և կառուցվածքային մասերից [4]: Աշխատանքում ներկայացվող ծրագրային միջավայրը հնարավորություն է տալիս ավտոմատ ձևով ստանալ *կառուցվածքային մոդելը*: Կառուցվածքային մոդելը կազմող կառուցվածքային տիպերը և դրանց հատկությունները մանրամասնորեն ներկայացված են [4]-ում: Այստեղ պարզապես կթվարկենք այդ կառուցվածքային տիպերից հիմնականները.

1. հասցեի խճողման ծածկագրում (address scrambling),

2. բանկերի ապակողավորման ֆունկցիա (banks scrambling),
3. տողերի ապակողավորման ֆունկցիա (rows scrambling),
4. սյուների ապակողավորման ֆունկցիա (columns scrambling),
5. Մուտքային/Ելքային ելուստների բաշխում (I/Os distribution),
6. True և Bar բիթային լարերի դասավորություն (True and Bar bit line ordering),
7. բիթային լարերի ոլորումների բաշխում (bit line twisting distribution),
8. սյուների ոլորումների բաշխում (column twisting distribution),
9. բառային լարերի ոլորումների բաշխում (word line twisting distribution),
10. տողերի ոլորումների բաշխում (rows twisting distribution),
11. տրամաբանական սխեմաների բաշխում (straps distribution),
12. ավելցուկային տողերի և սյուների բաշխում (redundancy rows and columns distribution),
13. դատարկ՝ պաշտպանիչ, հավասարակշռող տողերի և սյուների բաշխում (dummy rows and columns distribution):

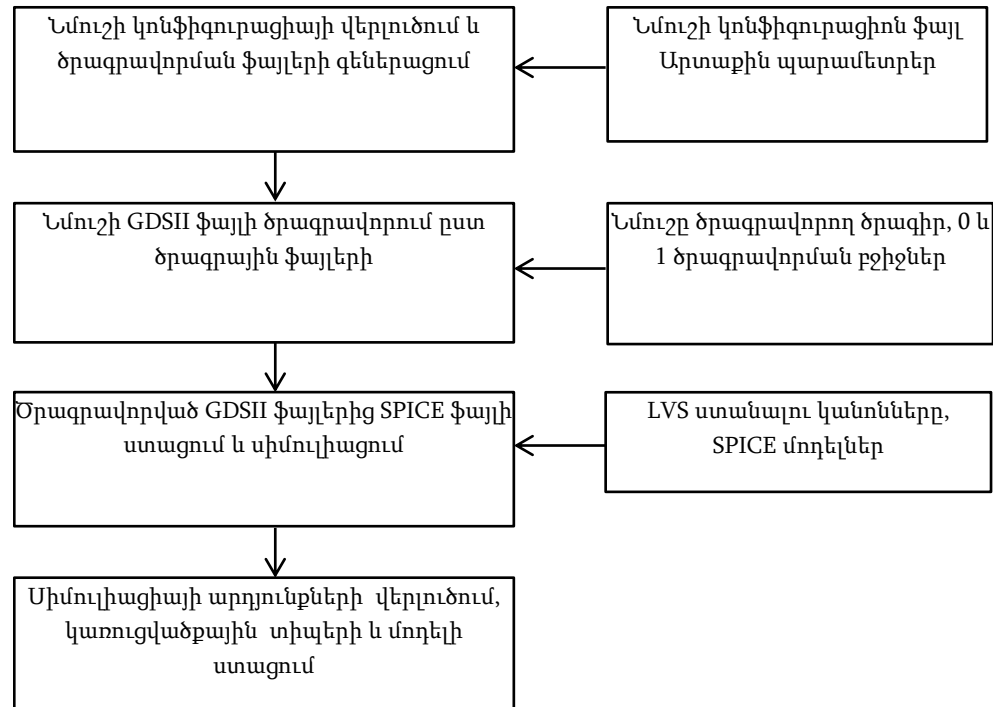
Ակնհայտ է, որ ՀՄ-երի զարգացման հետ միասին թվարկված կառուցվածքային տիպերի տեսակները ենթակա են փոփոխման և լրացման:

Կառուցվածքային մոդելի ավտոմատ դուրսբերման ծրագրային միջավայրի ֆունկցիոնալությունը և հիմնական դրույթները: Այսպիսով, կառուցվածքային մոդելը բոլոր ՆՀՄ սարքերում աշխատող ծրագրային միջոցների պարտադիր բաղադրամաս է: Մեկ այլ բարդ և կարևորագույն խնդիր է այդ մոդելի ճշտության ստուգումը: Ներկայումս էլեկտրոնային սարքերը նախագծելիս ՆՀՄ-երի կառուցվածքային մոդելը գեներացվում է ՀՄ-ն նախագծողի կողմից (manual method) կամ էլ՝ ավտոմատ կերպով մի շարք ծրագրային մեթոդներով: Կառուցվածքային մոդելի՝ նախագծողի կողմից գեներացված մեթոդի բացասական կողմերից են՝ 1. ճարտարագետից պահանջվում է ունենալ բարձր որակավորում և սպառիչ, լիարժեք տեղեկություն ՀՄ կառուցվածքի մասին, 2. ստացված մոդելը պարտադիր կերպով պետք է անցնի ստուգման (վավերացման) փուլ, որն էլ հանգեցնում է լրացուցիչ ռեսուրսների ծախսերի:

Կառուցվածքային մոդելի ավտոմատ գեներացման մեթոդը գերծ է վերոնշյալ թերություններից, բայց պահանջում է ավտոմատ ծրագրային միջոցների՝ միջավայրի ստեղծում: ՄՊՀ-երի հատկություններից է այդ սարքերի կանոնավոր կառուցվածքը, որը մեծ խոչընդոտ է կառուցվածքային մոդելի ավտոմատ դուրսբերման համար: Այդ խոչընդոտը շրջանցելու նպատակին է ծառայում հիշողության բջիջների «ծրագրավորման»՝ բջիջների անորոշ պարունակությունը հարկադրաբար, նախապես որոշված տրամաբանությամբ հաստատուն զրո կամ մեկ արժեքներից որևէ մեկի մեջ ձևափոխման գաղափարը [7]:

Նկ. 3-ում բերված է ՀՄ-երի նմուշի գրաֆիկական GDSII ձևաչափից կառուցվածքային մոդելը դուրս բերող ծրագրային միջավայրի ֆունկցիոնալ սխեման: ՀԿՄ-ը

ստանալու նպատակով նախագծված ծրագրային միջավայրը կատարում է հետևյալ գործողությունների հաջորդականությունը.



Նկ. 3. Կառուցվածքային մոդելը դուրս բերող ծրագրային միջավայրի ֆունկցիոնալ սխեմա

1. Նմուշի կոնֆիգուրացիայի վերլուծությունը, որի արդյունքում գեներացվում են նմուշի ծրագրավորման ֆայլերը (ՄՖ): Գեներացված ՄՖ-երն ունեն տեքստային ձևաչափ և պարունակում են տեքստային տեղեկություն հիշողության մեջ ծրագրավորվող օրինակների (ՄՕ) (programmed pattern) վերաբերյալ: Այդ օրինակների քանակը փոփոխական է և կախված է հիշողության նմուշի ֆիզիկական չափերից: Լավագույն տարբերակում այդ քանակը հավասար է երկուսի՝ զրոյական և անկյունագծային (նկ. 4), իսկ վատագույն դեպքում կարող է հասնել մինչև հինգի: Լավագույն դեպք է համարվում հիշողության նմուշի այն ֆիզիկական կառուցվածքը, երբ հիշողության բջիջներով զբաղեցված մակերեսը քառակուսի է, այսինքն՝ ֆիզիկական տողերի և սյուների քանակը նույնն է: Այս դեպքում հնարավոր է դառնում մեկ ծրագրավորող «անկյունագծային» օրինակով ծածկել հիշողության ողջ մակերեսը: Նկ. 4-ում ներկայացված են օրինակներ զրոյական և անկյունագծային ՄՕ-երը 8 տող և 8 սյուն պարունակող հիշողության նմուշի համար: Զրոյական ՄՕ-ն պարտադիր է նմուշների բոլոր տարբերակների համար: ՄՕ-երը մանրամասնորեն նկարագրված են [7]-ում:

2. Օգտագործելով ստացված ԾՕ-երը՝ ծրագրային հոսքը կատարում է նմուշի

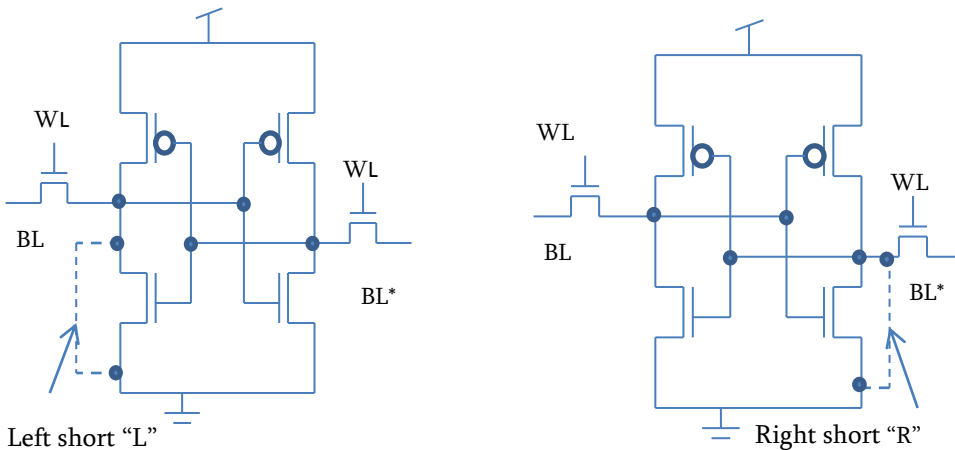
00000000	11111111	գրաֆիկական GDSII ֆայլի ծրագրավորում ծրագրավորող բջիջներով (նկ. 5), որի արդյունքում ստացվում են ԾՕ-ի քանակությամբ ծրագրավորված GDSII ֆայլեր:
00000000	01111111	
00000000	00111111	
00000000	00011111	
00000000	00001111	
00000000	00000111	
00000000	00000011	
00000000	00000001	

ա. գրայական բ. անկյունագծային

Նկ. 4. Ծրագրային օրինակները 8x8 հիշողության նմուշի համար

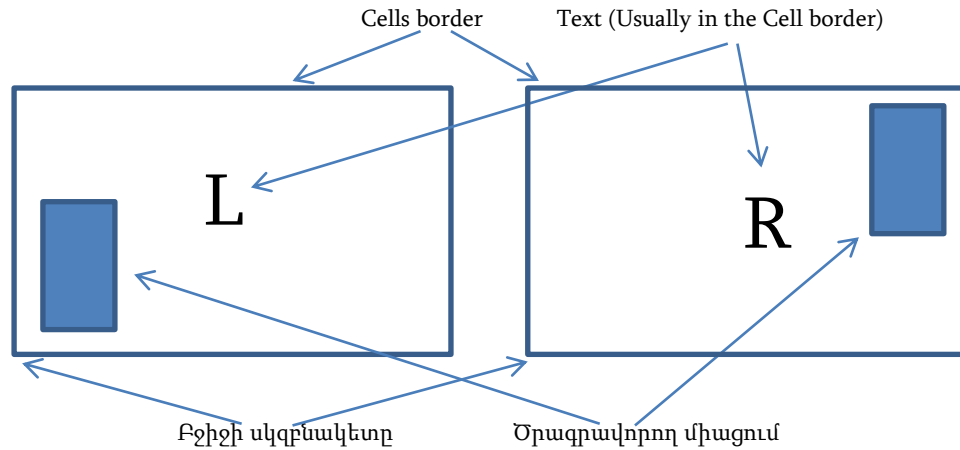
3. Օգտվելով GDSII ֆայլից՝ SPICE ձևաչափի ֆայլեր ստանալու կանոններով 463 (LVS rule deck) ԾՀ-ն դուրս է բերում համապատասխան SPICE ֆայլերը և կատարում այդ ֆայլերի մոդելավորումը: Մոդելավորման ընթացքում ԾՄ կատարում է հիշողության նմուշից «կարդալ» գործողությունը, որի արդյունքում ստացված և համապատասխան ձևով մշակված տեքստային ձևաչափով ֆայլերը

պարունակում են նմուշի մոդելը ստանալու համար անհրաժեշտ կառուցվածքային տարրերի, տիպերի մասին տեղեկություն:



Նկ. 5. Հիշողության ծրագրավորող բջիջների էլեկտրական սխեման

Հիշողության նմուշի 0 և 1 վիճակը ծրագրավորող բջիջների էլեկտրական սխեման ներկայացված է նկ. 5-ում: Հիշողության բջիջն ունի սիմետրիկ կառուցվածք, և հարկադրաբար 0 և 1 վիճակ ստանալու համար բավական է խախտել սիմետրիկությունը՝ ավելացնելով կարճ հոդակցում սխեմայի աջ կամ ձախ մասերում: Նկ. 6-ում ներկայացված է հիշողության բջիջների ծրագրավորումն ապահովող սխեմայի տուպոլոգիան: Ծրագրային հոսքը տեղադրում է ծրագրավորող բջիջները հիշողության բջիջների վրա՝ փոխելով բջիջների արժեքները, ապահովելով հիշողության ծրագրավորումը ըստ ԾՕ-ի ֆայլերի:



Նկ. 6. Հիշողության ծրագրավորման բջջերի տապալուզիան

Փորձնական արդյունքներ: Կառուցվածքային մոդելը ավտոմատ կերպով դուրս բերող ծրագրային հոսքը հաջողությամբ օգտագործվել է տարբեր տեխնոլոգիաների (45 նս, 28 նս) հիշողությունների կառուցվածքային մոդելները ստանալու նպատակով: ԾՀ-ի աշխատանքի միջին տևողությունը կես ժամ է, և կարող է տևել մինչև մի քանի ժամ: ԾՀ-ի հիմնական ժամանակի մեջ մտնում են SPICE ֆայլերի ստացումը և դրանց մոդելավորումը: SPICE ֆայլերի մոդելավորման ժամանակը ուղղակիորեն կախված է (ուղիղ համեմատական է) հիշողության նմուշի մեծությունից՝ բջջերի քանակից: Բացի այդ, միջավայրի աշխատանքի ժամանակը կախված է նմուշի երկրաչափական տեսքից՝ ԾՕ-ի քանակից: Աղյուսակում բերվում են փորձնական արդյունքներ տարբեր տեխնոլոգիաների և կոնֆիգուրացիաների հիշողության նմուշների համար:

Աղյուսակ

NW	NB	CM	PR	PC	NPP	ST	TT
2048	24	4	512	96	4	30	120
2048	32	8	256	256	2	30	60
1536	24	16	96	384	4	30	120
2048	192	4	512	768	3	30	90
1536	16	8	192	128	3	30	90
192	256	4	48	1024	5	30	150
2048	12	4	512	48	5	30	150

NW (Number of Words) – բառերի քանակը հիշողությունում,
 NB (Number of Bits) – հիշողության Մուտքերի/Ելքերի քանակը,
 CM (Column Mux) – սյուների փոխանցատիչ,
 PR, PR=NW/CM - ֆիզիկական տողերի քանակը հիշողությունում,

PC, $PC = NB \times CM$ - ֆիզիկական սյուների քանակը հիշողությունում,
 NPP (Number of Programing Patterns) - ծրագրավորման օրինակների քանակը,
 ST (Simulation Time in minutes) - նմուշի SPICE ֆայլի մոդելավորման ժամանակը,
 TT (Total Time in minutes) $TT = NPP \times ST$ - ընդհանուր ժամանակը:

Փորձերի ընթացքում նկատվեց, որ մոդելի դուրսբերման ժամանակը կախված
 չէ հիշողության պատրաստման տեխնոլոգիայից, և ՄՀ-ի աշխատանքի տևողությունը
 հիմնականում կախված է նմուշի կոնֆիգուրացիայի պարամետրներից (NW, NB,
 CM) և կատարվող մոդելավորման ժամանակից:

Իհարկե, ՄՀ-ում աշխատանքի ընդհանուր ժամանակը գնահատելիս անհրաժեշտ
 է նախապես հաշվի առնել նախապատրաստական աշխատանքների վրա ծախսված
 ժամանակը, որը կարող է տևել 4-ից 8 ժամ: Ավտոմատ կերպով դուրսբերման միջա-
 վայրում ստացված կառուցվածքային մոդելը վավերացված է և պատրաստ է անմի-
 ջական օգտագործման:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Advanced Test Methods for SRAMs. Effective Solution for Dynamic Fault Detection in Nanoscaled Technologies / **A. Bosio, L. Dilillo, P. Girard, et al.**-Springer. 2010. -171 p.
2. **Amirkhanyan K.** Defect injection and a memory test algorithms verification flow // CSIT. - 2011 -P. 283-286.
3. Application of defect injection flow for fault validation in memories / **K. Amirkhanyan, A. Davtyan, G. Harutyunyan, et al** // EWDTS. – 2012.- P. 19-22.
4. US Patent 7786840 Memory Modeling Using an Intermediate Lave Structural Description/ **Y. Zorian, V. Vardanian, K. Aleksanyan, K. Amirkhanyan.** - August 3, 2010.
5. US patent 8112730 Various methods and apparatuses for memory modeling using a struc- tural primitive verification for memory compilers/ **K. Amirkhanyan, K. Aleksanyan, S. Karapetyan, A. Shubat, S. Shoukourian, V. Vardanian, Y. Zorian.** - Feb.7, 2012.
6. US 8850277 B2 DETECTING RANDOM TELEGRAPH NOISE INDUCED FAILURES IN AN ELECTRONIC MEMORY/ **K. Amirkhanyan, A. Davtyan, G. Harutyunyan, T. Melkumyan, S. Shoukourian, V. Vardanian, A. Shubat, Y. Zorian.** - Sep. 30, 2014.
7. Generation of Memory Structural Model Based on Memory Layout / **K. Amirkhanyan, K. Darbinyan, A. Davtyan, G. Harutyunyan, S. Shoukourian, V. Vardanian, Y. Zorian;** US Patent application number: 20130346056 Publication date: 2013-12-26 (<http://www.faqs.org/patents/app/20130346056>)

Մինոփսիս Արմենիա ՓԲԸ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.05.2014:

К.С. АМИРХАНИЯН

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗЦА
ПАМЯТИ ИЗ ГРАФИЧЕСКОГО ФОРМАТА GDSII**

Представлена программная среда, которая позволяет в автоматическом режиме извлекать структурную модель образца статической памяти из используемого в производстве файла графического формата **GDSII**. Приведены функциональная и структурная блок-схемы программной среды. Рассмотрены проблемы, сложности и ограничения, связанные с извлечением структурной модели, а также некоторые результаты экспериментов.

Ключевые слова: структурная модель, образец памяти, **GDSII** формат образца, программная среда, статическая память произвольной выборки (СППВ), структурные типы.

K.S. AMIRKHANYAN

**AUTOMATIC STRUCTURAL MODEL EXTRACTION FROM THE MEMORY
INSTANCE GRAPHICAL FORMAT GDSII**

A program flow is presented which allows to automatically extract the structural model of SRAM instance from the graphical file GDSII. The functional and structural block diagrams are presented. Problems, difficulties and limitations connected with the extraction of the structural model as well as some results of experiments are considered.

Keywords: structural model, SRAM, memory instance, instance GDSII format, program flow.

Լ.Գ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՊԱՏԱՀԱԿԱՆ ԹԵՍՏԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՐՄԱՐՎՈՂԱԿԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄ

Առաջարկվում է պատահական թեստավորման հարմարվողական մեթոդ, որը նախատեսված է ոչ կետային տեսակի ձախողման պատկերներ ունեցող մուտքային տիրույթներով ծրագրային միջոցների համար: Փորձարկման ժամանակ մուտքային տարածության մեջ թեստ-դեպքերի համաչափ բաշխման շնորհիվ առաջին սխալի բացահայտման հավանականությունը մեծանում է ավելի քիչ թեստ-դեպքերի օգտագործումով, քանի որ սովորական պատահական փորձարկման համար օգտագործվում են ավելի շատ թեստ-դեպքեր:

Առանցքային բառեր. պատահական թեստավորում, թեստ-դեպքերի գեներացում, հավասարաչափ բաշխում, մուտքային տվյալների ձախողումների պատկեր:

Ներածություն: Պատահական թեստավորման (ՊԹ) ավտոմատացումը հիմնվում է մուտքային տիրույթում պատահականության որևէ սկզբունքով թեստ-դեպքերի հաջորդական ընտրության՝ գեներացման վրա [1]: Հավասարաչափ կամ բաշխման այլ օրենքի կիրառմամբ թեստ-դեպքերի գեներացումը սովորաբար համարվում է ոչ միայն պարզ, այլ նաև դիմելու ինտուիտիվ ձև [1]: Մուտքագրման տիրույթի տարբերը հայտնի են որպես ձախողում պատճառող տվյալներ, եթե դրանք ստեղծում են սխալ արդյունքներ:

ՊԹ-ի արդյունավետությունը [2], վիճակագրական գնահատականների արտածման ունակությունն ու հուսալիությունը կարող են զգալիորեն բարելավվել՝ թեստային դրվագների արդյունավետ բաշխում կիրառելու և քիչ փորձարկմամբ առաջին ձախողումը բացահայտելու պարագայում: Թեստային դրվագների բաշխման տարբեր մոտեցումներ են առաջադրում հարմարվողական պատահական թեստավորման (ՀՊԹ) մեթոդները: Առկա են հարմարվողական պատահական թեստավորման շատ խնդիրներ [3], որոնք վերաբերում են, օրինակ, տարբեր չափանիշներով հավասարաչափ տարածմանը, թեկնածու թեստ-դեպքերի հավաքածուներ կազմելու ուղիներին: [3]-ում ապացուցվում է, որ թեստավորման ռազմավարության արդյունավետությունը կախված է ոչ միայն ձախողման չափից, այլև դա առաջացնող տվյալների երկրաչափական պատկերից: Սա նշանակում է, որ պատահական թեստավորման իրականացումը կարող է բարելավվել, եթե հաշվի առնվի ձախողում պատճառող մուտքային տվյալների երկրաչափական պատկերը:

Ըստ [4]-ի պատահական փորձարկումների՝ երկու ամենատարածված արդյունավետ չափումներն են առնվազն մեկ ձախողում հայտնաբերելու հավանականությունը (P-չափման միջոց) և հայտնաբերված ձախողումների ակնկալվող շարքը (E-չափ-

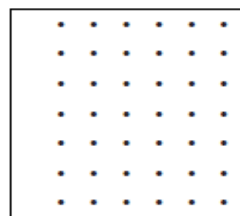
ման միջոց): Սակայն այդ միջոցները կատարյալ չեն, կան որոշ քննադատություններ դրանց վերաբերյալ՝ չնայած իրենց հանրաճանաչությանը: Այսինքն՝ երբեմն չկա E-չափման միջոցի կիրառության անհրաժեշտություն՝ ենթադրելով որոշ սխալներ, իսկ P-չափման միջոցը չի տարբերակում դեպքերը՝ ըստ խափանումների բացահայտման քանակի:

Ստորև P-չափման միջոցի ու E-չափման միջոցի փոխարեն առաջարկվում է արդյունավետության չափման մեկ այլ մեխանիզմ՝ առաջին ձախողումը բացահայտող դեպքերի անհրաժեշտ (ակնկալվող) քանակը՝ F-չափման միջոցը:

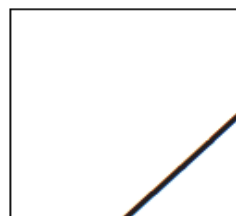
Եթե մուտքային D դոմենի չափը նշանակենք d-ով, իսկ m-ով և n-ով՝ համապատասխանաբար ձախողում պատճառող տվյալները և թեստերի ընդհանուր քանակը, ապա փորձարկման և խափանումների հաճախությունները կչափվեն համապատասխանաբար $\sigma = n/d$ և $\theta = m/d$ բանաձևերով:

Դեպքերի փոխարինմամբ պատահական փորձարկման դեպքում F-չափման միջոցը կորոշվի որպես $F=1/\theta$, կամ, որ համարժեք է, $F=d/m$: Այսինքն՝ F-չափման միջոցն արտացոլում է թեստավորման ռազմավարության արդյունավետությունը ավելի ուղղակիորեն և բնականորեն, քանի որ ստորին F-չափումը նշանակում է, որ ավելի քիչ թեստ-դեպքեր են պահանջվում առաջին ձախողումը բացահայտելու համար: Գործնականում, երբ ձախողում է հայտնաբերվում, փորձարկումը սովորաբար կանգ է առնում, և սկսվում է կարգաբերումը: Թեստավորման փուլը սովորաբար վերսկսվում է միայն այն բանից հետո, երբ ամրագրվում է ձախողում: Հետևաբար, F-չափման միջոցը ոչ միայն ավելի ինտուիտիվ ձև է, այլև ավելի իրատեսական է գործնական տեսանկյունից:

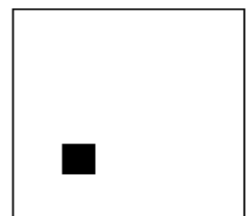
[3]-ում նշվում է, որ փորձարկման որոշ ռազմավարություններ բխում են ձախողում պատճառող մուտքային տվյալների երկրաչափական պատկերներից: Վերջինները դասակարգվում են ըստ երեք կատեգորիաների՝ կետային, շերտային և տեղամասային: Պարզության համար դիտարկվում են երկչափ մուտքային տիրույթների պատկերներ: Նկ.1-3-ում ցուցադրված են այդ պատկերները համապատասխանաբար կետային, շերտային և տեղամասային մոդելներով: Արտաքին սահմանները ներկայացնում են մուտքագրման տիրույթը, իսկ լրացված շրջանները մատնանշում են ձախողում պատճառող տվյալները՝ պատկերների կամ նախշերի տեսքով:



Նկ. 1. Կետային մոդել



Նկ. 2. Շերտային մոդել



Նկ. 3. Տեղամասային մոդել

Կետային օրինակում ձախողում պատճառող տվյալները միայնակ կետեր են, որոնք ձևավորում են շատ փոքր չափի շրջաններ՝ սփռված ամբողջ տիրույթով: Շերտի օրինակում ձախողում պատճառող տվյալները ձևավորում են նեղ շերտ [5], իսկ տեղամասային օրինակի հիմնական հատկանիշը ձախողում պատճառող տվյալների կենտրոնացումն է մեկ կամ մի քանի տարածաշրջաններում:

Դիտարկենք «կանոնավոր» երկրաչափություն ունեցող մուտքագրման մի D տիրույթ, որում հեշտ է գեներացնել ձախողում պատճառող տվյալներ՝ պատահական ձևով: Մասնավորապես, ենթադրենք D տիրույթը քառակուսի է, որի չափերն են՝ x -ը և y -ը, ընդ որում՝ $\{(x, y) \mid 0 \leq x, y \leq 10\}$: Ենթադրենք՝ սխալը ծրագրի $x+y>3$ պայմանական արտահայտության մեջ է, իսկ ճիշտ արտահայտությունը պետք է լինի $x+y > 4$:

Այդ դեպքում ցանկացած ձախողում պատկանում է $\{(x, y) \mid 3 < x + y \leq 4\}$ տեղամասին, որը D քառակուսային տիրույթում մեկ միավոր լայնությամբ շերտ է:

Պատահական փորձարկման կիրառումն այդ ծրագրում ենթադրում է այնպիսի կետերի գեներացում, որ թեստերի հաջորդականությունը լինի հնարավորինս ձգված, այսինքն՝ ընտրված հաջորդ թեստը գտնվի նախորդից առնվազն մեկ միավոր հեռավորության վրա:

Այսպիսով, առաջարկվում է պատահական փորձարկման ժամանակ նոր թեստի գեներացման դեպքում համոզվել, որ այն շատ մոտ չէ որևէ նախորդ թեստի: Նվազագույն F -ի հասնելու ճանապարհն է նախ՝ մի շարք պատահական թեստ-դեպքերի գեներացումը, ապա՝ դրանցից "լավագույն" մեկի ընտրությունը, որն ապահովում է դրանց հնարավորինս համաչափ տարածումը (սփռումը) ամբողջ մուտքային դաշտում:

Խնդրի դրվածքը և ալգորիթմի հիմնավորումը: Տրված են երկու՝ *գործարկված* $T = \{T_1, T_2, \dots, T_N\}$ և *թեկնածու* $C = \{C_1, C_2, \dots, C_K\}$ թեստ-դեպքերի հավաքածուներ, որոնք չեն հատվում $C \cap T = \emptyset$:

Գործարկված թեստ-դեպքը սահմանված է որպես ոչ մի ձախողում չբացահայտող արդեն կատարված թեստ, իսկ թեկնածուն սահմանված է որպես մուտքային տիրույթից պատահականորեն ընտրված որևէ թեստ:

Պահանջվում է գործարկված թեստ-դեպքերի հավաքածուն աստիճանաբար համալրել թեկնածու հավաքածուից ընտրված տարրով՝ մինչև ձախողման ի հայտ գալը: Թեկնածու հավաքածուի տարրը, որն ամենահեռուն է բոլոր կատարված թեստ-դեպքերից, ընտրվում է որպես հաջորդ թեստ-դեպք:

Հայտնի են հարմարվողական պատահական թեստավորման համար թեկնածու թեստ-դեպքերի հավաքածու գեներացնող և «ամենահեռուի» գաղափարն իրականացնող տարբեր ալգորիթմներ:

Առաջարկվող մեթոդը (թեկնածու թեստերի ընտրություն Հիլբերտի կորի կառուցմամբ՝ HT) հիմնավորելու համար այն համեմատության մեջ է դրված հարմարվողական պատահական թեստավորման (թեկնածու թեստերի ֆիքսված չափով՝

FSCST) ալգորիթի [4] և սովորական պատահական թեստավորման ալգորիթի (RT) հետ:

FSCST մեթոդի էությունը թեստ-դեպքերի հավասարաչափ տարածումն է գործարկված և մնացած թեստերի միջև հեռավորությունների մինիմումների մաքսիմումի չափանիշով:

Թեկնածու թեստերի բազմությունն ունի հաստատուն չափ (k), և յուրաքանչյուր անգամ, երբ ընտրվում է որևէ թեստ, ստեղծվում է թեկնածուների նոր հավաքածու: FSCST ալգորիթը նկարագրում է, թե ինչպես է գեներացվում հարմարվողական պատահական փորձարկման այս տարբերակում թեկնածու թեստերի շարքը և ընտրվում փորձարկման թեստ-դեպքը:

Թեկնածու թեստերի C հավաքածուից ընտրվում է c_h տարրն այնպես, որ բոլոր $j \in \{1, 2, \dots, k\}$ -ի համար տեղի ունենա հետևյալ պայմանը՝

$$\min_{i=1}^n \text{dist}(c_h, t_i) \geq \min_{i=1}^n \text{dist}(c_j, t_i),$$

որտեղ dist -ը սահմանվում է որպես էվկլիդեսյան հեռավորություն, այսինքն՝ m -չափանի մուտքային տիրույթում երկու՝ $a=(a_1, a_2, \dots, a_m)$ և $b=(b_1, b_2, \dots, b_m)$ կետերի միջև հեռավորությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\text{dist}(a, b) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (a_i - b_i)^2} :$$

Կատարված է նախնական ուսումնասիրություն՝ տեսնելու համար, թե ինչպես է թեկնածու հավաքածուի չափն ազդում հարմարվողական պատահական փորձարկման արդյունավետության վրա: Ընդհանուր առմամբ, որքան մեծ է k -ն՝ թեկնածու հավաքածուի չափը, այնքան փոքր թվով թեստ-դեպքեր են անհրաժեշտ առաջին ձախողումը բացահայտելու համար: Բացի այդ, $k \geq 10$ -ի դեպքում չկա առաջին ձախողումը բացահայտելու համար անհրաժեշտ թեստ-դեպքերի քանակի մեծ տարբերություն: Հետևաբար, հաստատված է $k = 10$ թիվը:

FSCS-ն ունի զգալիորեն ավելի փոքր F -չափ (ձախողում հայտնաբերելու համար կատարված թեստերի քանակ), քան RT-ն: Փորձնական արդյունքները ցույց են տալիս, որ FSCS-ն ունի RT-ին գերազանցելու լավ հնարավորություն (շատ զգալի չափով՝ ավելի քան 50%-ով): Մյուս կողմից, հաջորդ թեստ-դեպքն ընտրելիս FSCS-ին անհրաժեշտ են ավելի շատ ռեսուրսներ, քան պահանջում է RT-ն: Թող N -ը լինի առաջին ձախողում հայտնաբերելու համար կատարված թեստերի քանակը, իսկ K –ն՝ FSCS թեկնածու հավաքածուի չափը: Ընտրության բարդությունը KN^2 կարգի է:

Ալգորիթի FSCST

/*selected set := { test data already selected };

candidate set := {};

```

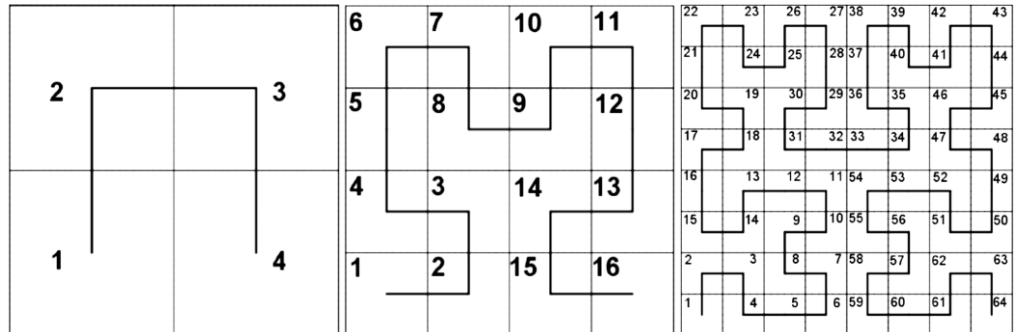
total number of candidates := M*M; */
function Select The Best Test Data(selected set, candidate set,
    total number of candidates);
    best distance := -1.0;
    for i := 1 to total number of candidates do
        candidate := randomly generate one test data from the program
            input domain, the test data cannot be in
            candidate set nor in selected set;
        candidate set := candidate set + { candidate };
        min candidate distance := Max Integer;
        foreach j in selected set do
            min candidate distance := Minimum(min candidate distance,
                Euclidean Distance(j, candidate));
        end foreach
        if (best distance < min candidate distance) then
            best data := candidate;
            best distance := min candidate distance;
        end if
    end for
    return best data;
end function

```

HT-մեթոդի էությունը թեկնածու թեստերի հավաքածուի ձևավորումն է Հիլբերտի կորի դիսկրետ մոտարկման կառուցմամբ և այդ հավաքածուից հերթական «հեռու» թեստի ընտրությունը:

Մաթանալիզի տեսության համաձայն՝ երկչափ միավոր քառակուսու (կամ ավելի ընդհանրական՝ N-չափանի հիպերխորանարդի) մեջ սահմանափակված տարածությունը կարելի է համաչափ լցնել շարունակական կորով: Երկչափ կամ եռաչափ (կամ ավելի բարձրչափանի) շարունակական կորը ինտուիտիվ կարող է դիտվել որպես անընդհատ շարժվող կետ: Սակայն այն սահմանվում է նաև որպես անսահմանափակ իրական առանցքի անընդհատ կոր կամ միավոր (0, 1) բաց միջակայքի կոր: Առավել լավ ուսումնասիրված են երկչափ կամ եռաչափ էվկլիդեսյան տարածությունը շարունակական կորով լցնելու դեպքերը (ալգորիթմները): Տարածությունը համաչափ լցնող անընդհատ ֆրակտալը՝ Հիլբերտի կորը, հայտնաբերել է գերմանացի մաթեմատիկոս Դավիթ Հիլբերտը 1891թ., որպես Գաուս-Պիանոյի հայտնաբերած տիեզերական տարածությունները լցնող կորերի մի տարբերակ:

Հիլբերտի կորի դիսկրետ մոտարկումները շատ օգտակար են երկչափ և եռաչափ տարածությունները «հսկելու» համար (նկ. 4) և կարող են կիրառվել նաև պատահական թեստավորման դեպքում:



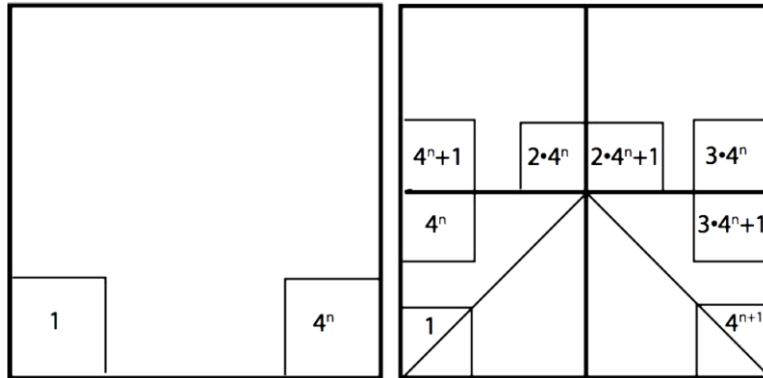
Նկ. 4. Հիլբերտի կորի երեք մակարդակները

Այս մեթոդով տարածությունը դիսկրետացվում է՝ յուրաքանչյուր չափը բաժանելով 2-ի աստիճան հանդիսացող m թվով բջիջների (բջիջ չափը կախված է ձախողման տիրույթի ենթադրյալ չափերից), և սկսվում է կորի կառուցումը $[m \times m]$ չափերով տիրույթի $P(0,0)$ բջիջ մինչև $P(m,m)$ բջիջը:

Կառուցելով մուտքային տիրույթում n -րդ աստիճանի կոր ($n = \log_2 m$), կարելի է այն դիտարկել որպես թեկնածու թեստերի վրայով անցնող ճանապարհ, որի կետերի քանակը 4^n է: Այսինքն՝ H_n կորի n -րդ դիսկրետ մոտարկման էվկլիդեսյան երկարությունը, կորի մակարդակից կախված, աճում է էքսպոնենցիալ օրենքով, միաժամանակ մնալով սահմանափակված վերջավոր տիրույթում:

Եթե $P(x, y)$ -ը որոշում է որևէ թեստ, իսկ այդ թեստի դիրքը կորի վրա d -ն է, ապա d -ին մոտ հեռավորության վրա կգտնվի $P(x, y)$ -ին մոտիկ որևէ այլ թեստ: Հակառակ պնդումը, սակայն, միշտ չէ ճշմարիտ: Նկ. 4-ում պարզ երևում է, որ կետերի բազմաթիվ զույգեր գտնվում են մեկ միավոր էվկլիդեսյան հեռավորության վրա, բայց կորի վրա գտնվում են միմյանցից շատ ավելի հեռու:

Պատահական հարմարվողական թեստավորման այս մեթոդում թեստի ընտրությունը (մինչև առաջին ձախողումը) կատարվում է Հիլբերտի կորի երկարությամբ (նկ. 5)՝ պահպանելով տեղաշարժի որոշակի հեռավորություն: n աստիճանի կորի դեպքում n իտերացիաներից հերթական i -րդը տեղի է ունենում i -րդ կետից $d=4^{n-i}$ քայլով, որպեսզի բացառվի «մոտակա-հեռու» թեստի փորձարկումը:



Նկ. 5. Հիլբերտի կորով փորձարկումների իտերացիաների քայլերը n և $n+1$ մակարդակներում

Այս ալգորիթմով փորձարկումներն իրականացնելիս վատագույն դեպքում կունենանք F - գնահատականի 4^n առավելագույն քանակ:

Ըստ այս մեթոդի՝ կիրառված են Հիլբերտի կորի կառուցման ռեկուրսիվ և կորի երկարությամբ իտերացիոն որոնումներ իրականացնող ալգորիթմները:

Հիլբերտի կորի կառուցման ընթացակարգը

/*Algorithm Hilbert-curve */

```

procedure hilbert(x, y, xi, xj, yi, yj, n) /*n-current level */
  if (n <= 0) then   LineTo(x + (xi + yi)/2, y + (xj + yj)/2);
  else
  {
    hilbert(x,      y,      yi/2, yj/2, xi/2, xj/2, n-1);
    hilbert(x+xi/2,  y+xj/2,  xi/2, xj/2, yi/2, yj/2, n-1);
    hilbert(x+xi/2+yi/2, y+xj/2+yj/2, xi/2, xj/2, yi/2, yj/2, n-1);
    hilbert(x+xi/2+yi,  y+xj/2+yj,  -yi/2, -yj/2, -xi/2, -xj/2, n-1); }
  end procedure

```

Իտերացիոն որոնումների ֆունկցիան

/*Algorithm recursiv search */

candidate set := {Hilbert curve};

total number of candidates := $M \cdot M$;

Nf=0;

function Select The Best Test Data(candidate set, total number of candidates);

level := n ;

for i := 1 **to** n **do**

for j := i **to** total number of candidates **step** 4^{n-i}
do

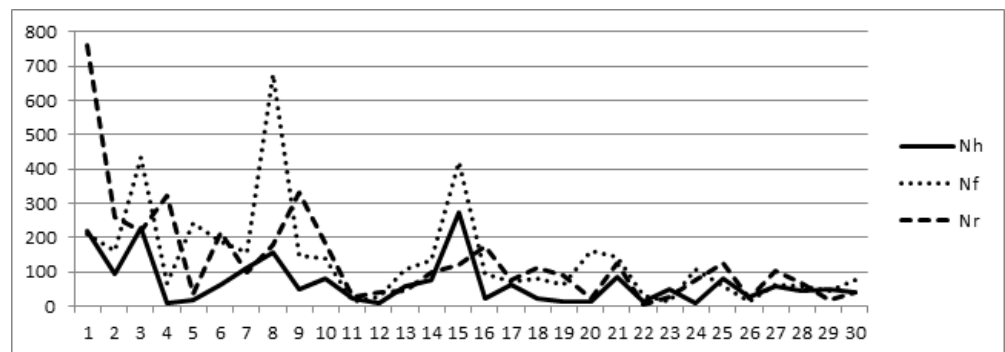
```

Nf++;
candidate := candidate set[j];
if (candidate is best test) then
    break; break;
end if
end for
return Nf;
end function

```

Վերլուծական ուսումնասիրության (մեթոդների համեմատության) իրականացման համար պատահականորեն ընտրված են մի քանի մուտքային դոմեններ՝ ձախողման տիրույթների տարբեր դիրքերով և չափերով: Յուրաքանչյուր մուտքային դոմենի համար ստացվել են (N_h , N_f , N_r) թվերը, որոնք համապատասխանում են HT, FSCST և RT ալգորիթներով փորձարկման դեպքերում առաջին ձախողումը բացահայտելու համար անհրաժեշտ փորձարկումների քանակներին: Արդյունքները, որոնք բերված են աղյուսակում և նկ.6-ում, ցույց են տալիս, որ միջին հաշվով $N_h < N_f < N_r$, այսինքն՝ առաջին ձախողումը բացահայտելու համար HT-ի համար պահանջվում են միջին հաշվով ավելի քիչ թեսթի-դեպքեր, քան FSCST-ի, առավել ևս՝ RT-ի դեպքում: Արտադրողականության բարելավման հաշվարկը կատարված է հետևյալ բանաձևերով՝

$$\frac{N_r - N_h}{N_r} \times 100, \quad \frac{N_f - N_h}{N_f} \times 100 :$$



Նկ. 6. Փորձական արդյունքների համեմատության դիագրամը

N₅, N_r, H_h արժեքների համեմատական ամփոփում

N	Ձախողման տիրույթի սկզբնական կոորդինատները		Ձախողման տիրույթի չափերը		N _h	N _f	N _r	N _h -ի բարելավման %-ը	N _r -ի համեմատ
	X	Y	W	H					
1	655	427	91	85	18	243	34	93%	47%
2	149	774	125	175	11	29	3	62%	-267%
3	748	14	118	153	20	79	112	75%	82%
4	634	282	80	174	76	134	100	43%	24%
5	72	141	63	51	92	163	259	44%	64%
6	709	24	122	103	20	12	27	-67%	26%
7	391	866	156	167	47	45	17	-4%	-176%
8	327	174	142	169	27	13	20	-108%	-35%
9	326	817	155	142	47	13	25	-262%	-88%
10	518	676	138	148	14	163	23	91%	39%
11	615	2	166	141	80	57	124	-40%	35%
12	271	796	125	148	11	63	87	83%	87%
13	666	874	176	78	59	107	44	45%	-34%
14	665	610	61	51	219	208	759	-5%	71%
15	436	230	57	171	111	157	97	29%	-14%
16	65	742	163	156	44	60	67	27%	34%
17	856	104	126	171	83	144	123	42%	33%
18	588	629	69	68	226	433	218	48%	-4%
19	127	546	167	163	38	75	39	49%	3%
20	293	244	87	85	7	67	323	90%	98%
21	101	132	174	92	23	95	175	76%	87%
22	802	444	130	114	271	419	119	35%	-128%
23	165	419	130	102	8	26	40	69%	80%
24	522	118	103	119	78	137	181	43%	57%
25	202	687	92	117	158	674	179	77%	12%
26	815	784	62	137	61	187	214	67%	71%
27	674	882	160	158	59	63	102	6%	42%
28	266	219	176	127	7	106	77	93%	91%
29	878	848	171	95	64	69	74	7%	14%
30	316	565	83	139	51	147	331	65%	85%

Եզրակացություն. Պատահական փորձարկումը հայեցակարգով պարզ է և հեշտ է իրականացնել: Բացի այդ, կարելի է անել հուսալիության և վիճակագրական հաշվարկներ: Հետևաբար, այն օգտագործվում է բազմաթիվ թեստավորողների կողմից: Քանի որ պատահական փորձարկման դեպքում չի օգտագործվում որևէ տեղեկություն գեներացված թեստ-դեպքերի մասին, այն չի կարող լինել թեստավորման հզոր մեթոդ, և դրա կատարումը կախված է միայն ձախողման ինտենսիվության չափերից:

Ոչ կետային ձախողման մոդելների համար պատահական հարմարվողական փորձարկումները՝ Հիլբերտի կորի երկարությամբ թեստ-դեպքերի համաչափ տա-

բաժմամբ, խափանումների արագ հայտնաբերման և դրանց օրինաչափությունը գտնելու լավ հնարավորություններ են տալիս:

Այս գաղափարի օգտակարությունը հիմնավորվել է բազմաթիվ փորձարկումների միջոցով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **White, L.J.** Software testing and verification // Advances in Computers. - 1987. - 26. - P. 335–391.
2. **Hamlet, R.** Random testing. Encyclopedia of Software Engineering / Edited by Marciniak.- J. Wiley, 1994.
3. **Chan, F.T., Chen, T.Y., Mak, I.K., Yu, Y.T.** Proportional sampling strategy: guidelines for software testing practitioners // Information and Software Technology. - 1996. - 38. - P. 775–782.
4. **Chen, T.Y., Yu, Y.T.** On the relationship between partition and random testing // IEEE Transactions on Software Engineering. - 1994. - 20. – P. 977–980.
5. **Chen, T.Y., Eddy, G., Merkel, R., Wong, P.K.** Adaptive random testing through dynamic partitioning // Proceedings of the 4th International Conference on Quality Software (QSIC 04), IEEE Computer Society Press. - 2004.

Եվրոպական տարածաշրջանային ակադեմիա: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 09.04.2014:

Л.Г. КАРАПЕТАН

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО СЛУЧАЙНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

Предлагается метод адаптивного случайного тестирования, который предназначен для тестирования программных средств с неточечным изображением отказов входной области. За счет равномерного распределения тестовых кейсов при тестировании во входном пространстве вероятность обнаружения первой ошибки увеличивается с меньшим использованием тестовых кейсов, так как для обычного случайного тестирования используется намного больше тестовых кейсов.

Ключевые слова: случайное тестирование, генерация тестовых кейсов, равномерное распределение, изображение неудачных входных данных.

L.G. KARAPETYAN

AN ALGORITHM FOR ADAPTIVE RANDOM TESTING

A method for adaptive random testing is proposed for testing softwares with non-point types of patterns of failure-causing inputs. At the expense of an even spread of test cases in the input space, the probability of finding the first error increases with little application of test cases, as for ordinary random testing, many more test cases are used.

Keywords: random testing, developing test cases, even distribution, failure input patterns.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՊՈԴՈՍԹԱՆ Ա.Կ., ԿԱՐԱՊԵՏՑԱՆ Ա.Ն., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Կ.Վ.

ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՊՈԼԻՄԵՐԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՇՓԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՊՐՈՑԵՄՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ..... 365

ԾՈՒՂՈՒՆՅԱՆ Հ.Վ., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Լ.Ս.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԷԼԵԿՏՐՈԼԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՆԵՐԿԱ ՎԻՃԱԿԸ ԵՎ ԶԱՐԳԱՅՄԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՈՒՂՂՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՏԱՐԱԾԱՇՐՋԱՆԱՅԻՆ ԻՆՏԵԳՐՄԱՆ ՆԱԽԱԳԾԵՐԻ ՀԱՄԱՏԵՔՍՏՈՒՄ 371

ՇԱՂԱՍՏԱՆ Ա.Ս., ԲԵԳՈՅԱՆ Լ.Վ.

ԹՎԱՅԻՆ ՋԵՐՄԱԶԱԺ ՋԵՐՄԱԷԼԵԿՏՐՈԼԱԿԱՆ ԿԵՐԱՓՈՒԽԻՉՈՎ..... 378

ԱՏՐԱ ՍՈՒՍԱՏԱՅՈՒՆԵՐ

ԷՆԵՐԳԱԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՈԴԱԼԱՎՈՐՈՒՄԸ՝ ՀԱՇՎԻ ԱՌԱՇ ԲԵՌԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ ԵՎ ՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅՈՒՆԸ 384

ԱՂԱՋԱՆՅԱՆ Ա.Ա., ՀԱԽՈՒՍՅԱՆ Ա.Ա., ԶԱՔԱՐՅԱՆ Տ.Վ., ՄԵԼԻՔՅԱՆ Հ.Կ., ՊՈԴՈՍԹԱՆ Ն.Գ.

ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԵՐԿԶԱՓ ԱՐՏԱՊԱՏԿԵՐՄԱՆ ԵՎ ԴԻՏԱՐԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ 395

ՄԻՍՈՆՅԱՆ Ռ. Հ., ԵԶԱԿՅԱՆ Ն. Դ., ՂՈՒՅԱՆ Ա. Գ.

ԱՐՏԱՔԻՆ ՇՆՉԱՌՈՒԹՅԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԶԱՓԻՉ ՄԱՐՔ 403

ՓԻԼԱՎՋՅԱՆ Գ.Ա.

ԱՐԵՎԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻՆ՝ ՈՍՊՆՅԱԿԱՅԻՆ ՏՆՏԵՍԱՊԵՍ ՇԱՀԱՎԵՏ ՖՈՏՈԷԼԵԿՏՐՈԼԱԿԱՆ ԿՈՆՑԵՆՏՐԱՏՈՐԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ..... 409

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Լ.Խ.

ԱՆԱՐՁԱԳԱՆՔ ՄԵՆՅԱԿԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ ՀՊՃՀ ԱՆՏԵՆԱՆԵՐԻ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐԻԱՅՈՒՄ ԱՆՏԵՆԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ԶՓՄԱՆ ՀԱՄԱՐ..... 417

ՄԻՍՈՆՅԱՆ Ս.Հ., ԱԴԱՍՅԱՆ Գ.Վ., ՄԻՍՈՆՅԱՆ Ա.Ս., ՊՈԱՋՅԱՆ Լ.Վ.

ԿՈՄՊԼԵՔՍ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ԸՆԴՀԱՆՐԱՅՎԱԾ ՀԱԿԱԴԱՐՁ ՄԱՏՐԻՑՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԴԵԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ (II)..... 425

ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Տ.Ն., ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Ն.Հ., ԽԱՐԻՍՈՎ Ե.Ռ., ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ Օ.Ն., ՀՈՎԱԿԻՍՅԱՆ Ն.Գ.

ԲԱԶՄԱԶԱԺ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ L1 ՀԱՐՄԱՐՎՈՂ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ..... 434

ՆԱԼՉԱՋՅԱՆ Թ.Ա., ԲԱՂՐԱՍՅԱՆ Գ.Ս.

ՊԵՏԱԿԱՆ ԲՅՈՒՋԵԻ ՄՈՒՏՔԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԵՎ ԿԱՆԽԱՏԵՍՄԱՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄՆ ՈՒ ԱՎՏՈՄԱՏԱՅՈՒՄԸ..... 446

ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ Հ.Ս.

ԴԵԼՈՆԵԻ ԵՌԱՆԿՈՒՆԱՊԱՏՄԱՆ ԷՔՍՏՐԵՄԱԼ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՆՐԱ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԴԱՇՏԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ..... 452

ԱՄԻՐԽԱՆՅԱՆ Կ.Ս.

ՀԻՇՈՂՈՒԹՅԱՆ ՆՄՈՒՇՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԻ ԱՎՏՈՄԱՏ ԴՈՒՐՄԲԵՐՈՒՄԸ ԳՐԱՖԻԿԱԿԱՆ GDSII ՋԵՎԱԶԱՓԻ ՖԱՅԼԻՑ..... 458

ԿԱՐԱՊԵՏՑԱՆ Լ. Գ.

ՊԱՏԱՀԱԿԱՆ ԹԵՍԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՐՄԱՐՎՈՂԱԿԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄ..... 467

СОДЕРЖАНИЕ

ПОГОСЯН А.К., КАРАПЕТЯН А.Н., ОГАНЕСЯН К.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	365
ЦУГУНЯН Г.В., ОГАННИСЯН Л.С. СОСТОЯНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АРМЕНИИ И ОСНОВНЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ В КОНТЕКСТЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ	371
ШАХКАМЯН А.С., БЕГОЯН Л.К. ЦИФРОВОЙ ТЕРМОМЕТР С ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ	378
АФРА МУСТАФАЕИ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	384
АГАДЖАНИЯН А.А., АХУМЯН А.А., ЗАКАРЯН Т.В., МЕЛИКЯН А.К., ПОГОСЯН Н.Г. СИСТЕМА ДВУМЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И МОНИТОРИНГА ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ	395
СИМОНЯН Р.Г., ЕЗАКЯН Н.Д., ГУЛЯН А.Г. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ	403
ПИЛАВДЖЯН Г.А. ЛИНЗОВЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНЦЕНТРАТОРНЫЕ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ.....	409
ХАЧАТРЯН Л.Х. ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕЗЭХОВОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ В ЛАБОРАТОРИИ АНТЕНН ГИУА	417
СИМОНЯН С.О., АДАМЯН Г.В., СИМОНЯН А.С., ПРАЗЯН Л.В. ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОБОБЩЕННЫХ ОБРАТНЫХ МАТРИЦ (II).....	425
ОГАННИСЯН Т.Н., ВАРДАНИЯН Н.А., ХАРИСОВ Е.Р., ГАСПАРЯН О.Н., ОВАКИМЯН Н.Г. О ПРИМЕНЕНИИ L1 АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ	434
НАЛЧАДЖЯН Т.А., БАГРАМЯН Г.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОСТУПЛЕНИЙ В ГОСБЮДЖЕТ	446
СУКИАСЯН Г.С. ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ СВОЙСТВО ТРИАНГУЛЯЦИИ ДЕЛОНЕ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ ПОЛЕВЫХ ЗАДАЧ.....	452
АМИРХАНИЯН К.С. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗЦА ПАМЯТИ ИЗ ГРАФИЧЕСКОГО ФОРМАТА GDSII	458
КАРАПЕТЯН Л. Г. АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО СЛУЧАЙНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ.....	467

CONTENTS

POGOSIAN A.K., KARAPETYAN A.N., HOVHANNISYAN K.V. INVESTIGATING THE TRIBOCHEMICAL PROCESSES OF ANTIFRICTION POLYMER MATERIALS.....	365
TSUGHUNYAN H.V., HOVHANNISYAN L.S. THE STATE OF THE ELECTROPOWER SYSTEM OF ARMENIA AND THE BASIC WAYS OF DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF REGIONAL INTEGRATION	371
SHAGHGAMYAN A.S., BEGOYAN L.K. A DIGITAL THERMOMETER WITH A THERMOELECTRIC TRANSDUCER	378
AFRA MOSATAFAEI MODELING THE ENERGY MANAGEMENT SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT THE LOAD CHARACTERISTICS AND ECONOMIC PERFORMANCE	384
AGHAJANYAN A.A., HAKHOUMIAN A.A., ZAKARYAN T.V., MELIKYAN H.K., POGHOSYAN N.G. A TWO-DIMENSIONAL VISUALIZATION AND MONITORING SYSTEM FOR AN ALTERNATING MAGNETIC FIELD	395
SIMONYAN R.H., YEZAKYAN N.D., GHULYAN A.G. A DEVICE FOR MEASURING THE PARAMETERS OF EXTERNAL RESPIRATION	403
PILAWJIAN G.A. LENS REFRACTING COST EFFECTIVE PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONCENTRATING SYSTEMS	409
KHACHATRYAN L.KH. DESIGNING AN ANECHOIC CHAMBER FOR PARAMETER MEASUREMENT IN THE ANTENNA LABORATORY OF SEUA	417
SIMONYAN S.H., ADAMYAN G.V., SIMONYAN A.S., PRAZYAN L.V. DECOMPOSITION METHODS FOR DETERMINING COMPLEX ONE-PARAMETRIC GENERALIZED INVERSE MATRICES (II).....	425
HOVHANNISYAN T.N., VARDANYAN N.H., KHARISOV E.R., GASPARYAN O.N., HOVAKIMYAN N.V. ON APPLICATION OF L1 ADAPTIVE CONTROL TO MULTIVARIABLE CONTROL SYSTEMS	434
NALCHAJYAN T.A., BAGHRAMYAN G.S. MODELING AND AUTOMATION OF ESTIMATING AND PREDICTING THE ENTRIES INTO THE STATE BUDGET	446
SUKIASYAN H. S. THE EXTREMAL PROPERTY OF DELAUNAY TRIANGULATION AND ITS APPLICATIONS IN FIELD PROBLEMS.....	452
AMIRKHANYAN K.S. AUTOMATIC STRUCTURAL MODEL EXTRACTION FROM THE MEMORY INSTANCE GRAPHICAL FORMAT GDSII	458
KARAPETYAN L. G. AN ALGORITHM FOR ADAPTIVE RANDOM TESTING	467