

Բ Ա Ն Բ Ե Ր

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՃԱՐՏԱՐԱԳԻՏԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

Սերիա ԻՆՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐ,
ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ, ՌԱԴԻՈՏԵԽՆԻԿԱ

Թող. 15

№ 2

Երևան 2012

В Е С Т Н И К

ГОСУДАРСТВЕННОГО ИНЖЕНЕРНОГО
УНИВЕРСИТЕТА АРМЕНИИ

Серия ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА

Выпуск 15

№ 2

Ереван 2012

PROCEEDINGS

OF STATE ENGINEERING UNIVERSITY
OF ARMENIA

Series INFORMATION TECHNOLOGIES,
ELECTRONICS, RADIO ENGINEERING

Issue 15

№ 2

Yerevan 2012

Հանդեսը հրատարակվում է 1998 թվականից

Բանբերի խմբագրական խորհուրդ. Յու. Լ. Սարգսյան (գլխավոր խմբագիր, տ.գ.դ.), Հ.Ա. Թերզյան (գլխավոր խմբագրի տեղակալ, տ.գ.դ.), Ա.Խ. Գրիգորյան (գլխավոր խմբագրի տեղակալ, տ.գ.դ.), Ա.Գ. Ավետիսյան (պատասխանատու քարտուղար, տ.գ.թ.), Ա.Գ. Աղբալյան (տ.գ.դ.), Մ.Ք. Բաղդասարյան (տ.գ.դ.), Ս.Պ. Դավթյան (ք.գ.դ.), Ս.Հ. Սիմոնյան (տ.գ.դ.), Ա.Շ. Խրիստաֆորյան (տ.գ.դ.)

Սերիայի խմբագրական խորհուրդ. Ս.Հ. Սիմոնյան (սերիայի գլխավոր խմբագիր, տ.գ.դ.), Վ.Շ. Մելիքյան (սերիայի գլխավոր խմբագրի տեղակալ, տ.գ.դ.), Դ.Ա. Ղազարյան (սերիայի պատասխանատու քարտուղար, տ.գ.թ.), Ա.Հ. Առաքելյան (տ.գ.դ.), Վ.Ե. Առուստամյան (տ.գ.դ.), Վ.Ի. Հահանով (տ.գ.դ., Ուկրաինա), Վ.Ս. Հարությունյան (Ֆ.-մ.գ.դ.), Վ.Վ. Բունիատյան (տ.գ.դ.), Ռ.Ռ. Վարդանյան (տ.գ.դ.), Օ.Ն. Գասպարյան (տ.գ.դ.), Ա.Վ. Գավրիլով (տ.գ.դ., ՌԴ), Ա.Գ. Դուլյան (Ֆ.-մ.գ.դ.), Վ.Ս. Զաքարյան (Ֆ.-մ.գ.դ.), Թ.Ա. Նալչադյան (տ.գ.դ.), Ա.Խ. Խուրազմազյան (տ.գ.դ.), Օ.Վ. Ստուկաչ (տ.գ.դ., ՌԴ)

խմբագիրներ՝ Ժ.Ս. Սեյրանյան, Հ.Յ. Պետրոսյան, Հ.Գ. Պետրոսյան

© Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարան (ՀՊՃՀ), «Ճարտարագետ»
հրատարակչություն, հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան 105, ՀՊՃՀ, banber.seua.am

Журнал издается с 1998г.

Редакционная коллегия Вестника: Ю.Л. Саркисян (главный редактор, д.т.н.), А.А. Терзян (зам. главного редактора, д.т.н.), А.Х. Григорян (зам. главного редактора, д.т.н.), А.Г. Аветисян (ответственный секретарь, к.т.н.), С.Г. Агбальян (д.т.н.), М.К. Багдасарян (д.т.н.), С.П. Давтян (д.х.н.), С.О. Симонян (д.т.н.), С.Ш. Христафорян (д.т.н.)

Редакционная коллегия серии: С.О. Симонян (главный редактор серии, д.т.н.), В.Ш. Меликян (зам. главного редактора серии, д.т.н.), Д.А. Казарян (ответственный секретарь серии, к.т.н.), А.А. Аракелян (д.т.н.), В.Е. Арустамян (д.т.н.), В.М. Арутюнян (д.ф.-м.н.), В.В. Бунятыан (д.т.н.), Р.Р. Варданян (д.т.н.), С.В. Гаврилов (д.т.н., РФ), О.Н. Гаспарян (д.т.н.), А.Г. Гулян (д.ф.-м.н.), В.С. Захарян (д.ф.-м.н.), Т.А. Налчаджян (д.т.н.), О.В. Стукач (д.т.н., РФ), В.И. Хаханов (д.т.н., Украина), С.Х. Худавердян (д.т.н.)

Редакторы: Ж.С. Сейранян, А.Ц. Петросян, А.Г. Петросян

© Издательство Государственного инженерного университета Армении (ГИУА)
“Чартарагет”, адрес редакции: 0009, Ереван, ул. Теряна 105, ГИУА, banber.seua.am

The journal is published since 1998

Editorial Council of Proceedings: Yu.L. Sargsyan (editor-in-chief, doctor of tech. sciences), H.A. Terzyan (vice-editor-in-chief, doctor of tech. sciences), A.Kh. Grigoryan (vice-editor-in-chief, doctor of tech. sciences), A.G. Avetisyan (responsible secretary, cand. of tech. sciences), S.G. Aghbalyan (doctor of tech. sciences), M.K. Baghdasaryan (doctor of tech. sciences), S. P. Davtyan (doctor of chem. sciences), S.H. Simonyan (doctor of tech. sciences), S.Sh. Khristaphoryan (doctor of tech. sciences)

Editorial Council of series: S.H. Simonyan (Editor-in-chief of series, doctor of tech. sciences), V.Sh. Melikyan (vice-editor of series, doctor of tech. sciences), D.A. Ghazaryan (responsible secretary of series, cand. of tech. sciences), A.H. Arakelyan (doctor of tech. sciences), V.Ye. Arustamyan (doctor of tech. sciences), V.M. Aroutiounian (doctor of phys-math. sciences), V.V. Buniatyan (doctor of tech. sciences), O.N. Gasparyan (doctor of tech. sciences), S.V. Gavrilov (doctor of tech. sciences, RF), A.G. Ghulyan (doctor of phys-math. sciences), V.I. Hahanov (doctor of tech. sciences, Ukraine), S.Kh. Khudaverdyan (doctor of tech. sciences), T.A. Nalchagyan (doctor of tech. sciences), R.R. Vardanyan (doctor of tech. sciences), O.V. Stoukach (doctor of tech. sciences, RF), V.S. Zakaryan (doctor of phys-math. sciences)

Editors: Zh. S. Seyranyan, H.Ts. Petrosyan, H.G. Petrosyan

© State Engineering University of Armenia (SEUA) “Tchartaraget” Publishing House
Address: 0009, Yerevan, 105 Teryan, SEUA, banber.seua.am

ISSN 1829-3336

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Խմբագրի կողմից	6
<u>ԻՆՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐ</u>	
Սիմոնյան Ա.Հ., Ավետիսյան Ա.Գ., Սիմոնյան Ա.Ս., Ավինյան Վ.Ռ. Մուր-Պենրոուզի պարամետրական ընդհանրացված հակադարձ մատրիցների որոշման հանրանշանակ մեթոդ	9
Դարբինյան Վ. Հ., Վարդանյան Ռ. Հ. DDoS հարձակումների հայտնաբերում թվային ամսագրերի հոստինգային ծառայություններում	20
Ուլիկյան Ա.Թ. Հակացիրկուլյանտ կառավարման համակարգերի մատրիցային կարգավորիչի հաշվարկ	26
<u>ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ</u>	
Վարդանյան Ա.Ա. Մթնոլորտում բացասական իոնների գեներացումը	32
Պետրոսյան Օ.Հ., Ավդալյան Ն.Բ. Ցածր կորստի հզորությամբ և բարձր արագագործությամբ ասիմետրիկ հիշողության բջիջների մշակումը և մոդելավորումը	37
Այվազյան Կ.Գ., Խուրավերդյան Ս.Խ. Մասնակիորեն ստվերված մակերևույթով արևային կայանի բնութագրերի հետազոտումը	47
Բունիաթյան Վ.Վ., Մարտիրոսյան Ն.Վ., Մոհամմադ Ա. Խալիլի, Խաչատրյան Վ.Ռ. Ֆերոէլեկտրիկների սենսորային հատկությունները	53
Պետրոսյան Օ.Հ., Գրիգորյանց Վ.Պ. Տրամաբանական տարրերի մշակումը բազմաշեմ ֆորմալ նեյրոնի միջոցով	65
<u>ՌԱԴԻՈՏԵԽՆԻԿԱ</u>	
Այվազյան Դ.Մ., Այվազյան Մ.Ց. Ֆերիտային նմուշների ճշգրիտ համաձայնեցումը տերահերցային տիրույթի ոչ փոխադարձ տարրերի համար	73
Առուստամյան Վ.Ե., Խուրավերդյան Ս.Խ., Դոխոյան Ժ.Գ., Խուրավերդյան Ա.Ս. Բազմաֆունկցիոնալ ֆոտոդետեկտորի սխեմատեխնիկական մոդելը և բնութագրերը	79
Ջարգարյան Դ.Գ. Պտտուղների հասունացման աստիճանի որոշումը ինֆրակարմիր ճառագայթման միջոցով	85
Գրախոսություն Ա.Հ. Սիմոնյանի, Ա.Գ. Ավետիսյանի «Դիֆերենցիալ ձևափոխությունների կիրառական տեսություն» մենագրության վերաբերյալ	92
Հեղինակների ցուցակ	96
Հոդվածների ձևավորման կանոններ	99

СОДЕРЖАНИЕ

<i>От редактора</i>	7
<u>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</u>	
Симонян С.О., Аветисян А.Г., Симонян А.С., Авинян В.Р. Универсальный метод определения параметрических обобщенных обратных матриц Мура-Пенроуза	9
Дарбинян В.Г., Варданян Р.Г. Обнаружение DDoS атак на хостинговых сервисах цифровых журналов	20
Уликян А.Т. Расчет матричного регулятора антициркулянтных систем управления	26
<u>ЭЛЕКТРОНИКА</u>	
Варданян А.А. Генерация отрицательных ионов в атмосферу	32
Петросян О.А., Авдалян Н.Б. Разработка и моделирование асимметричных ячеек памяти с низкой мощностью утечки и высоким быстродействием	37
Айвазян К.Г., Худавердян С.Х. Исследование характеристик солнечной станции с частично затененной поверхностью	47
Буниатян В.В., Мартиросян Н.В., Могаммад А. Халили, Хачатрян В.Р. Сенсорные свойства ферроэлектриков	53
Петросян О.А., Григорянц В.П. Разработка логических элементов посредством многопорогового формального нейрона	65
<u>РАДИОТЕХНИКА</u>	
Айвазян Д.М., Айвазян М.Ц. Прецизионное согласование ферритовых образцов для невзаимных элементов терагерцового диапазона волн	73
Арустамян В.Е., Худавердян С.Х., Дохолян Ж.Г., Худавердян А.С. Схемотехническая модель и характеристики многофункционального фотодетектора	79
Заргарян Д.Г. Определение степени созревания плодов с использованием инфракрасного излучения	85
Рецензия на монографию С.О. Симоняна, А.Г. Аветисян "Прикладная теория дифференциальных преобразований"	92
Список авторов	97
Правила оформления статей	100

CONTENT

<i>Editorial</i>	8
<u>INFORMATION TECHNOLOGIES</u>	
Simonyan S.H., Avetisyan A.G., Simonyan A.S., Avinyan V.R. A universal method for determining Moore-Penrouse's parametric generalized inverse matrices	9
Darbinyan V.H., Vardanyan R.H. Detecting DdoS attacks on digital magazine hosting services	20
Ulikyan A.T. Calculation of a matrix regulator for anticirculant control systems	26
<u>ELECTRONICS</u>	
Vardanyan A.A. Generation of negatively charged ions in the atmosphere	32
Petrosyan O.H., Avdalyan N.B. Development and modeling of asymmetric memory cells with low leakage power and high speed	37
Ayvazyan K.G., Khudaverdyan S.Kh. Investigation of the partially shaded pv system performance	47
Buniatyan V.V., Martirosyan N.V., Khalili A. M., Khachatryan V.R. Sensorial properties of ferroelectrics	53
Petrosyan O.H., Grigoryants V.P. Design of logic elements by multi-threshold formal neurons	65
<u>RADIO ENGINEERING</u>	
Ayvazyan D.M., Ayvazyan M.TS. Method of precision matching of ferrite samples for nonreciprocal elements of terahertz waves	73
Arustamyan V.E., Khudaverdyan S.KH., Dokholyan Zh.G., Khudaverdyan A.S. Circuit model and characteristics of multifunctional photodetector	79
Zargaryan D.G. Fruit maturity degree determination using infrared radiation	85
Review on the monography S.H. Simonyan, A.G. Avetisyan "Applied theory of differential transformations"	92
<i>List of Authors</i>	98
<i>Rules for preparation of articles</i>	101

Խ Մ Բ Ա Գ Ր Ի Կ Ո Ղ Մ Ի Ց

Հարգելի ընթերցող

ՀՊՃՀ Բանբերը հիմնադրվել է 1998 թ. և լույս է տեսել տարին երկու անգամ՝ «Գիտական աշխատանքների ժողովածու. Մոդելավորում, օպտիմալացում, կառավարում» («ՄՕԿ») անվամբ (հիմնադիր և գլխավոր խմբագիր՝ տ.գ.դ. Ս.Հ. Սիմոնյան, պատասխանատու քարտուղար՝ տ.գ.թ. Ա.Գ. Ավետիսյան):

Ժողովածուի մասնագիտական բարձր որակի շնորհիվ այն 2004թ. ՀՀ ԲՈՀ-ի կողմից ընդգրկվել է գրախոսվող պարբերական հրատարակությունների ցանկում, որոնք ընդունելի են թեկնածուական և դոկտորական ատենախոսությունների արդյունքների հրատարակման համար:

2012 թվից ՀՊՃՀ-ի ղեկավարության կողմից այդ սերիայի հիման վրա կազմավորվել է **ՀՊՃՀ Բանբերը**՝ հինգ տարբեր սերիաներով, որոնց թվում է նաև «Մոդելավորում, օպտիմալացում, կառավարում» սերիայի իրավահաջորդը՝ «Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ, էլեկտրոնիկա, ռադիոտեխնիկա» («ՏՏԷՌ») սերիան: Այստեղ, ըստ գիտության նշված բաժինների, հրատարակվում են նորագույն արդյունքներ, ակնարկային նյութեր, որոնք բնութագրում են բնագավառի հիմնախնդիրների արդի վիճակը, նոր մշակումների օգտագործման և զարգացման հեռանկարները, գիտաժողովների վերաբերյալ հաղորդումներ, գիտական բանավեճերի նյութեր, նոր գրքերի վերաբերյալ գրախոսություններ և այլն:

Տեղեկացնում ենք նաև, որ ՀՀ Գիտական տեղեկատվական վերլուծության և մոնիթորինգի կենտրոնի տվյալների համաձայն «ՄՕԿ» սերիան, ըստ 2011թ. ազդեցության գործոնի, տեղ է զբաղեցրել ՀՀ ԲՈՀ-ի կողմից ընդունելի 63 գիտական հանդեսների ցանկի առաջին հնգյակում, իսկ ըստ վերջին երեք տարիների (2009-2011թթ.) գումարային ազդեցության գործոնի՝ առաջին քայակում:

Հրավիրում ենք ձեզ ակտիվորեն մասնակցելու **ՀՊՃՀ Բանբերի** աշխատանքներին:

Սերիայի գլխավոր խմբագիր Ս.Հ.Սիմոնյան

О Т Р Е Д А К Т О Р А

Многоуважаемый читатель!

Вестник ГИУА был основан в 1998г. и выходил в свет два раза в год под названием “Сборник научных трудов. Серия Моделирование, оптимизация, управление” (“МОУ”) (основатель и главный редактор - д.т.н. С.О. Симонян, ответственный секретарь - к.т.н. А.Г. Аветисян).

Ввиду высоких профессиональных качеств Сборника в 2004 г. ВАК-ом РА он был включен в список рецензируемых периодических изданий, приемлемых для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций.

С 2012г. руководством ГИУА (Политехник) на основе этой Серии был организован **Вестник ГИУА** с пятью различными Сериями, в числе которых – Серия “Информационные технологии, электроника, радиотехника” (ИТЭР), являющаяся преемником Серии “Моделирование, оптимизация, управление”. Здесь публикуются новейшие результаты по отмеченным разделам науки, обзорные материалы, характеризующие современное состояние их основных проблем, перспективы применения и развития новых разработок, сообщения о научных конференциях, материалы научных дискуссий, рецензии на новые книги и др.

Отменим также, что, согласно данным Научного информационного центра анализа и мониторинга РА, Серия “МОУ” по импакт-фактору 2011 г. входит в первую пятерку, а по суммарному импакт-фактору последних трех лет (2009-2011 гг.) - в первую четверку среди 63 научных изданий, включенных ВАК-ом РА в приемлемый для научных публикаций список 2012 г.

Приглашаем Вас принять активное участие в работе **Вестника ГИУА**.

Главный редактор серии С.О. Симонян

EDITORIAL

My most esteemed readers!

SEUA Proceedings was founded in 1998 and published twice a year under the title “Collections of scientific papers. Series Modelling, optimization, control” (MOC) (the founder and editor-in-chief-doctor of technical sciences S.H.Simonyan, the responsible secretary - candidate of technical sciences A.G. Avetisyan).

Due to high professional reputation of the Collection the RA Higher Attestation Commission in 2004 included it into the list of reviewed periodicals acceptable for the publication of the candidate and doctoral thesis materials.

Since 2012 by the leadership of SEUA on the basis of the Series **Proceedings of SEUA** with 5 different Series was organized, among which is “Information technologies, electronics, radio engineering” as the successor of the Series “Modelling, optimization, control”. The journal publishes the newest results in the corresponding areas of science, reviews, characterizing the modern state of basic problems, the perspectives of application and development of the new research products, reports on scientific conferences, materials of scientific discussions, reviews on new books, etc.

According to the data of Scientific information analysis and monitoring center Series “MOC” is in top 5 by its impact-factor in 2011 and in top 4 by total impact-factor in the last three years (2009-2011) among 63 scientific editions, included in RA Higher Attestation Commission’s acceptable scientific publications list in 2012.

We invite you to contribute actively in **SEUA Proceedings** publications.

Editor-in-chief of the series S.H. Simonyan

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 21.52+511.52

С.О. СИМОНЯН, А.Г. АВЕТИСЯН, А.С. СИМОНЯН, В.Р. АВИНЯН

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ
ОБОБЩЕННЫХ ОБРАТНЫХ МАТРИЦ МУРА-ПЕНРОУЗА**

Предлагается достаточно простой численно-аналитический метод определения параметрических обобщенных обратных матриц, основанный на методе Ф.Р. Гантмахера для определения числовых обобщенных обратных матриц и дифференциальных преобразованиях Г.Е. Пухова. Рассмотрена практическая задача компенсации обратной связи из области систем управления.

Ключевые слова: параметрические обобщенные обратные матрицы, дифференциальные преобразования, информационные технологии, системы управления.

Введение. Рассмотрим произвольную параметрическую матрицу $A(t)$ с размерами $n \times n$ и соответствующую ей обобщенную обратную матрицу $X(t) = A^+(t)$ с размерами $n \times n$ (аргумент t может быть временем, оператором Лапласа или другим параметром), для которых имеют место условия [1]

$$A^T(t) \cdot A(t) \cdot A^+(t) = A^T(t), \quad (1)$$

$$A^+(t) \cdot A(t) \cdot A^T(t) = A^T(t). \quad (2)$$

Обозначив

$$B_{n \times n}(t) = A^T(t)A(t), \quad (3)$$

$$C_{m \times m}(t) = A(t)A^T(t), \quad (4)$$

придем к представлениям

$$B(t) \cdot X(t) = A^T(t), \quad (5)$$

$$X(t) \cdot C(t) = A^T(t). \quad (6)$$

Теперь допустим, что $A(t)$ (и, следовательно, матрицы $B(t)$ и $C(t)$) и $X(t)$ - матрицы с аналитическими элементами, и воспользуемся дифференциальными преобразованиями [2]

$$A(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K A(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_0}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad A(t) = \mathfrak{N}_1(t, t_0, H, A(K)), \quad (7)$$

$$B(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K B(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad B(t) = \mathfrak{S}_2(t, t_v, H, B(K)), \quad (8)$$

$$C(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K C(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad C(t) = \mathfrak{S}_3(t, t_v, H, C(K)), \quad (9)$$

$$X(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K X(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad X(t) = \mathfrak{S}_4(t, t_v, H, X(K)), \quad (10)$$

где K – целочисленный аргумент; $A(K)$, $B(K)$, $C(K)$ и $X(K)$ – матричные дискреты параметрических матриц $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ и $X(t)$ соответственно; H – масштабный коэффициент; t_v – центр аппроксимации; $\mathfrak{S}_1(t, t_v, H, A(K))$, $\mathfrak{S}_2(t, t_v, H, B(K))$, $\mathfrak{S}_3(t, t_v, H, C(K))$ и $\mathfrak{S}_4(t, t_v, H, X(K))$ – некоторые матричные аппроксимирующие функции.

Перевод соотношений (3) и (4) из области оригиналов в область Д-изображений приводит к представлениям

$$B(K)_{n \times n} = A^T(K) * A(K) = \sum_{p=0}^K A^T(p) A(K-p), \quad \forall K = \overline{0, \infty}, \quad (11)$$

$$C(K)_{m \times m} = A(K) * A^T(K) = \sum_{p=0}^K A(p) A^T(K-p), \quad \forall K = \overline{0, \infty}, \quad (12)$$

где $*$ – знак матричной свертки [2].

Аналогично условия (5) и (6) приводят к следующим представлениям:

$$B(K) * X(K) = \sum_{p=0}^K B(p) X(K-p) = A^T(K), \quad \forall K = \overline{0, \infty}, \quad (13)$$

$$X(K) * C(K) = \sum_{p=0}^K X(p) C(K-p) = A^T(K), \quad \forall K = \overline{0, \infty}. \quad (14)$$

На основе использования соотношений (3)-(14) в работе [3] был предложен Д-аналог метода Ф.Р. Гантмахера для определения параметрических обобщенных обратных матриц Мура-Пенроуза $A^+(t)$ при выполнении условий

$$1) \quad \det B(0)_{n \times n} \neq 0 \quad \text{или} \quad \exists B^{-1}(0)_{n \times n} \quad (\text{случай 1}), \quad (15)$$

$$2) \quad \det C(0)_{m \times m} \neq 0 \quad \text{или} \quad \exists C^{-1}(0)_{m \times m} \quad (\text{случай 2}). \quad (16)$$

Однако, как показывают исследования, достаточно часто, особенно при прямоугольных матрицах $A(t)$, матрицы $B(0)$ и $C(0)$ являются симметричными положительно-полуопределенными матрицами, т.е. при них выполняются условия

$$3) \det B(0) = 0 \text{ или } \exists B^{-1}(0)_{n \times n} \text{ (случай 1),} \quad (17)$$

$$4) \det C(0) = 0 \text{ или } \exists C^{-1}(0)_{m \times m} \text{ (случай 2).} \quad (18)$$

Последние обуславливают необходимость разработки Д-аналога метода Ф.Р. Гантмахера, пригодного для всех задач, независимо от выполнения условий (15), (16) или (17), (18). Настоящая работа посвящена заполнению этого пробела. После выполнения подготовительных операций рассмотрим следующие возможные подходы к определению обобщенных обратных матриц $X(t)$.

Математический аппарат

Случай 1. Пусть имеет место условие (17). Тогда для организации вычислительных процедур с целью определения наилучших приближенных решений [1] можно воспользоваться псевдообратной матрицей $B^+(0)$, при которой из (13) следует, что:

если $K=0$, то

$$B(0) \cdot X(0) = A^T(0),$$

откуда

$$X(0) = B^+(0) \cdot A^T(0); \quad (19)$$

если $K=1$, то

$$B(0) \cdot X(1) + B(1) \cdot X(0) = A^T(1),$$

откуда

$$X(1) = B^+(0) \cdot [A^T(1) - B(1) \cdot X(0)]; \quad (20)$$

если $K=2$, то

$$B(0) \cdot X(2) + B(1) \cdot X(1) + B(2) \cdot X(0) = A^T(2),$$

откуда

$$X(2) = B^+(0) \cdot \left[A^T(2) - \sum_{p=1}^2 B(p) \cdot X(2-p) \right]; \quad (21)$$

если $K=3$, то

$$B(0) \cdot X(3) + B(1) \cdot X(2) + B(2) \cdot X(1) + B(3) \cdot X(0) = A^T(3),$$

откуда

$$X(3) = B^+(0) \cdot \left[A^T(3) - \sum_{p=1}^3 B(p) \cdot X(3-p) \right]; \quad (22)$$

.....
если $K=K$, то

$$\sum_{p=0}^K B(p) \cdot X(K-p) = A^T(K)$$

или

$$B(0) \cdot X(K) + \sum_{p=1}^K B(p) \cdot X(K-p) = A^T(K),$$

откуда

$$X(K) = B^+(0) \cdot \left[A^T(K) - \sum_{p=1}^K B(p) \cdot X(K-p) \right]. \quad (23)$$

Таким образом, имея матричные дискреты (19)-(23), в соответствии с некоторым обратным дифференциальным преобразованием $\aleph_d(\bullet)$ можно определить обобщенную обратную матрицу $X(t)$.

Случай 2. Пусть имеет место условие (18). Тогда в соответствии с (14) необходимо воспользоваться псевдообратной матрицей $C^+(0)$, при которой:

если $K=0$, то

$$X(0) \cdot C(0) = A^T(0),$$

откуда

$$X(0) = A^T(0) \cdot C^+(0); \quad (24)$$

если $K=1$, то

$$X(0) \cdot C(1) + X(1) \cdot C(0) = A^T(1),$$

откуда

$$X(1) = [A^T(1) - X(0) \cdot C(1)] \cdot C^+(0); \quad (25)$$

если $K=2$, то

$$X(0) \cdot C(2) + X(1) \cdot C(1) + X(2) \cdot C(0) = A^T(2),$$

откуда

$$X(2) = \left[A^T(2) - \sum_{p=0}^1 X(p) \cdot C(2-p) \right] \cdot C^+(0); \quad (26)$$

если $K=3$, то

$$X(0) \cdot C(3) + X(1) \cdot C(2) + X(2) \cdot C(1) + X(3) \cdot C(0) = A^T(3),$$

откуда

$$X(3) = \left[A^T(3) - \sum_{p=0}^2 X(p) \cdot C(3-p) \right] \cdot C^+(0); \quad (27)$$

.....
если $K=K$, то

$$\sum_{p=0}^K X(p) \cdot C(K-p) = A^T(K)$$

или

$$X(K) \cdot C(0) + \sum_{p=0}^{K-1} X(p) \cdot C(K-p) = A^T(K),$$

откуда

$$X(K) = \left[A^T(K) - \sum_{p=0}^{K-1} X(p) \cdot C(K-p) \right] \cdot C^+(0). \quad (28)$$

Таким образом, имея матричные дискреты (24)-(28), в соответствии с некоторым обратным дифференциальным преобразованием $\aleph_4(\bullet)$ можно определить обобщенную обратную матрицу $X(t)$.

Замечание 1. Ввиду того, что $B^+(0) = B^{-1}(0)$, когда $\det B(0) \neq 0$, и $C^+(0) = C^{-1}(0)$, когда $\det C(0) \neq 0$ [1], вычислительные схемы (19)-(23) и (24)-(28) будут универсальными, ибо, как частный случай, они охватывают вычислительные схемы (14)-(19) и (20)-(25), представленные в работе [3].

Замечание 2. Очевидно, что если $m > n$, то более целесообразна вычислительная схема (19)-(23), ибо используемые в ней матрицы $B(p)$, $p = \overline{0, K}$ обладают размерами $n \times n$, и, следовательно, объем вычислительных операций при этом будет меньше. Если же $m < n$, то более целесообразна вычислительная схема (24)-(28), ибо используемые в ней матрицы $C(p)$, $p = \overline{0, K}$ обладают размерами $m \times m$, и, следовательно, объем вычислительных операций при этом также будет меньше. Если же $m = n$, то и в первом и во втором случаях вычислительные схемы (19)-(23) или (24)-(28) характеризуются одним и тем же объемом вычислительных операций.

Замечание 3. Условия (3) и (4) указывают на симметричность матриц $B(t)$ и $C(t)$ соответственно. С учетом этого обстоятельства и из условий (11) и (12) следуют представления

$$\begin{aligned} B^T(K) &= (A^T(K) * A(K))^T = A^T(K) * (A^T(K))^T = A^T(K) * A(K) = B(K), \\ C^T(K) &= (A(K) * A^T(K))^T = (A^T(K))^T * A^T(K) = A(K) * A^T(K) = C(K). \end{aligned}$$

Иными словами, все матричные дискреты $B(K)$ и $C(K)$ также являются симметричными чилowymi матрицами. Это важное обстоятельство может служить эффективным контрольным условием правильности проводимых промежуточных вычислений.

Практический пример [4]. Рассмотрим задачу компенсации обратной связи в многомерной разомкнутой системе автоматического управления (см. рис.1)

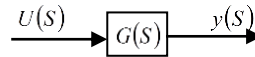


Рис. 1

с матрицей передаточной функции

$$G(S) = \begin{bmatrix} \frac{1}{S-1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{S-2} & 0 \end{bmatrix},$$

где $S = \frac{d}{dt}$ - оператор Лапласа, а $U(S)_{3 \times 1}$ и $y(S)_{2 \times 1} = (y_{31}(s) \ y_{21}(s))^T$ - лапласовы изображения вектора $u(t)_{3 \times 1}$ управляющих воздействий и вектора выходных переменных $y(t)_{2 \times 1}$ соответственно.

Необходимо найти такую передаточную функцию $F(S)_{3 \times 2}$ обратной связи в замкнутой системе (см. рис. 2)

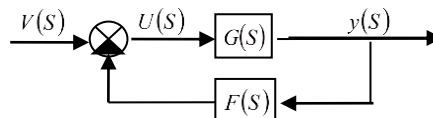


Рис. 2

описываемой уравнением

$$U(S)_{3 \times 1} = F(S)_{3 \times 2} y(S)_{2 \times 1} + V(S)_{3 \times 1},$$

чтобы передаточная функция $H(S)$ замкнутой системы имела предварительно заданный вид

$$H(S) = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{S+1} & 0 \\ \frac{1}{(S+1)^2} & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Иными словами, в соответствии с [4] необходимо выяснить существование такой матрицы $F(S) \in R(S)_{3 \times 2}$, при которой имеет место равенство

$$G(S)_{2 \times 3} \cdot F(S)_{3 \times 2} \cdot H(S)_{2 \times 3} = G(S)_{2 \times 3} - H(S)_{2 \times 3}.$$

В соответствии с теоремой 4.8 (стр. 49) того же источника [4] последнее уравнение имеет решение только и только в том случае, когда имеет место соотношение

$$G(S) \cdot G^+(S) \cdot [G(S) - H(S)] \cdot H^+(S) \cdot H(S) = G(S) - H(S).$$

При этом решение предпоследнего уравнения имеет вид

$$F(S) = G^+(S) \cdot [G(S) - H(S)] \cdot H^+(S) + Y(S) - G^+(S) \cdot G(S) \cdot Y(S) \cdot H(S) \cdot H^+(S),$$

где $Y(S)$ - произвольная матрица с размерами матрицы $F(S)$. Отсюда очевидно, что $F(S)$ будет определена, если будут определены обобщенные обратные матрицы $G^+(S)$ и $H^+(S)$ матриц $G(S)$ и $H(S)$ соответственно.

Для определения матрицы $G^+(S)$ воспользуемся соотношениями (3), (5) и (19), принимая $S_v = 1,5$; $K_{max} = 5$; $H \neq I$. При этом получаются следующие матричные дискреты:

$$G(0) = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \end{bmatrix}, \quad G(1) = \begin{bmatrix} -4 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 0 \end{bmatrix} \cdot H, \quad G(3) = \begin{bmatrix} 8 & 0 & 0 \\ 0 & -8 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^2,$$

$$G(3) = \begin{bmatrix} -16 & 0 & 0 \\ 0 & -16 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^3, \quad G(4) = \begin{bmatrix} \frac{16}{3} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{16}{3} & 0 \end{bmatrix} \cdot H^4, \quad G(5) = \begin{bmatrix} -\frac{8}{3} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{8}{3} & 0 \end{bmatrix} \cdot H^5.$$

Следовательно:

если $K=0$, то

$$B(0) = G^T(0)G(0) = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \det B(0) = 0 \Rightarrow B^{-1}(0), \exists B^+(0),$$

$$B^+(0) = \begin{bmatrix} 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$X(0) = B^+(0) \cdot G^T(0) = 0.5 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix};$$

если $K=1$, то

$$B(1) = G^T(1)G(0) + G^T(0)G(1) = 16 \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H,$$

$$X(1) = B^+(0) \cdot [G^T(1) - B(1)X(0)] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H;$$

если $K=2$, то

$$B(2) = G^T(2)G(0) + G^T(1)G(1) + G^T(0)G(2) = 48 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^2,$$

$$X(2) = B^+(0) \cdot [G^T(2) - B(1)X(1) - B(2)X(0)] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^2.$$

Далее нетрудно убедиться, что имеют место и следующие условия:

$$X(K) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^K, \quad \forall K \geq 3.$$

Следовательно, при полученных матричных дискретах $X(0), \dots, X(K)$ с использованием дифференциально-тейлоровских преобразований для матричного оригинала $G^+(S)$ имеем

$$G^+(s) = 0.5 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} (s-1.5) = \begin{bmatrix} (s-1) & 0 \\ 0 & (s-2) \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Аналогично с целью определения $H^+(S)$ воспользуемся теми же соотношениями, что и при определении $G^+(S)$, принимая в этом случае $S_0 = 0$; $K_{max} = 5$; $H \neq 1$. При этом для матрицы $H(S)$ имеем следующие матричные дискреты:

$$H(0) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad H(1) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H, \quad H(2) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^2,$$

$$H(3) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^3, \quad H(4) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 5 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^4, \quad H(5) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -6 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^5.$$

Следовательно:

если $K=0$, то

$$B(0) = H^T(0)H(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, = B^+(0),$$

$$X(0) = B^+(0) \cdot H^T(0) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix};$$

если $K=1$, то

$$B(1) = H^T(1)H(0) + H^T(0)H(1) = \begin{bmatrix} -4 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H,$$

$$X(1) = B^+(0) \cdot [H^T(1) - B(1)X(0)] = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H;$$

если $K=2$, то

$$B(2) = H^T(2)H(0) + H^T(1)H(1) + H^T(0)H(2) = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^2,$$

$$X(2) = B^+(0) \cdot [H^T(2) - B(1)X(1) - B(2)X(0)] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^2;$$

если $K=3$, то

$$B(3) = H^T(3)H(0) + H^T(2)H(1) + H^T(1)H(2) + H^T(0)H(3) = \begin{bmatrix} -17 & 0 & 0 \\ 0 & -7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^3,$$

$$X(3) = B^+(0) \cdot [H^T(3) - B(1)X(2) - B(2)X(1) - B(3)X(0)] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^3.$$

Далее нетрудно убедиться, что последующие вычисления приводят к условиям

$$X(K) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^K, \quad \forall K \geq 4.$$

Следовательно, при полученных матричных дискретах $X(0), \dots, X(K)$ с использованием дифференциально-маклореновских преобразований для матричного оригинала $H^+(S)$ получим

$$H^+(S) = \begin{bmatrix} 0 & I \\ I & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot S + \begin{bmatrix} 0 & I \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot S^2 = \begin{bmatrix} 0 & (I+2S+S^2) \\ (I+S) & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & (I+S)^2 \\ (I+S) & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Заметим, что и для матрицы $G^+(S)$, и для матрицы $H^+(S)$ в работе [5] получены точно такие же результаты при применении Д-аналога метода Гревилля при $S_0=0; K_{max}=5; H \neq 1$. Нетрудно убедиться также, что при полученных результатах отмеченное выше уравнение, задающее единственное решение задачи, выполняется тождественно, а при

$$Y(S) = \begin{bmatrix} [0] \\ \text{---} \\ y(S) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \text{---} & \text{---} \\ y_{31}(S) & y_{32}(S) \end{bmatrix}$$

имеем

$$\begin{aligned} F(S) &= \begin{bmatrix} (S-1) & 0 \\ 0 & (S-2) \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} \frac{1}{S-1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{S-2} & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{(S+1)} & 0 \\ \frac{1}{(S+1)^2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \right) \times \\ &\times \begin{bmatrix} 0 & (1+S)^2 \\ (1+S) & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ y_{31}(S) & y_{32}(S) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (S-1) & 0 \\ 0 & (S-2) \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} \frac{1}{S-1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{S-2} & 0 \end{bmatrix} \right) \times \\ &\times \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ y_{31}(S) & y_{32}(S) \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{(S+1)} & 0 \\ \frac{1}{(S+1)^2} & 0 & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & (1+S)^2 \\ (1+S) & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \right) = \\ &= \begin{bmatrix} (1-S) & (1+S)^2 \\ (1+S) & (2-S) \\ y_{31}(S) & y_{32}(S) \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

что точно так же совпадает с решением, полученным в [4].

Выводы

Предложен достаточно простой универсальный численно-аналитический метод определения параметрических обобщенных обратных матриц, обладающий высокой вычислительной эффективностью вне зависимости от недоопределенности и переопределенности, вырожденности или невырожденности рассматриваемых параметрических матриц. Единственным требованием, предъявляемым к таким матрицам, является аналитичность их всех элементов по данному параметру. Метод легко реализуем средствами современных информационных технологий [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гантмахер Ф.Р.** Теория матриц. – М.: Физматлит, 2010.- 560 с.
2. **Пухов Г.Е.** Дифференциальные преобразования функций и уравнений. - Киев: Наукова думка, 1984. – 420 с.
3. **Սիմոնյան Ա.Հ., Ավետիսյան Ա.Գ., Ավինյան Վ.Ռ., Սիմոնյան Ա.Ս.** Պարամետրական մատրիցների ընդհանրացված հակադարձների որոշման մի մեթոդի մասին // ՀՃԱ Լրաբեր. – 2009. - Հատ. 6, N 2. – էջ 160-168:
4. **Karampetakis N.P.** Computation of the Generalized Inverse of a Polynomial Matrix and Applications // Linear Algebra Appl. –1995. –Vol. 252. – P. 35-60.
5. **Бадалян Л.А.** Разработка методов определения псевдообратных нестационарных матриц и автоматизация вычислительных процедур: Автореф. дис. ... к.т.н. - Ереван, 2007.- 21 с.
6. **Макс Шлее** Qt 4.8 Профессиональное программирование на C++. - СПб.: “БХВ-Петербург”, 2012. - 912 с.

**Ա.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Ա.Գ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ա.Ս. ՍԻՄՈՆՅԱՆ,
Վ.Ռ. ԱՎԻՆՅԱՆ**

ՄՈՒՐ-ՊԵՆՐՈՒՅԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ԸՆԴՀԱՆՐԱՑՎԱԾ ՀԱԿԱԴԱՐԾ ՄԱՏՐԻՑՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՀԱՆՐԱՆՇԱՆԱԿ ՄԵԹՈԴ

Առաջարկվում է պարամետրական ընդհանրացված հակադարձ մատրիցների որոշման բավականաչափ պարզ թվա-անալիտիկ մեթոդ՝ հիմնված թվային մատրիցների ընդհանրացված հակադարձ մատրիցների որոշման Ֆ.Ռ. Գանտմախերի մեթոդի և Գ.Ե. Պուխովի դիֆերենցիալ ձևափոխությունների վրա: Դիտարկված է հետադարձ կապի ազդեցությունների գործնական խնդիրը կառավարման համակարգերի տիրույթից:

Առանցքային բաներ. պարամետրական ընդհանրացված հակադարձ մատրիցներ, դիֆերենցիալ ձևափոխություններ, տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ, կառավարման համակարգեր:

S.H. SIMONYAN, A.G. AVETISYAN, A.S. SIMONYAN, V.R. AVINYAN

A UNIVERSAL METHOD FOR DETERMINING MOORE-PENROUSE'S PARAMETRIC GENERALIZED INVERSE MATRICES

A sufficiently simple numerical-analytical method for determining parametric generalized inverse matrices based on F.R. Gantmakher's methods and G.E. Pukhov's differential transformations is proposed. The practical problem of compensation of reverse connection from the domain of control systems is considered.

Keywords: parametric generalized inverse matrices, differential transformations, information technologies, control systems.

UDC 004.7:681.518

V.H. DARBINYAN, R.H. VARDANYAN

DETECTING DDoS ATTACKS ON DIGITAL MAGAZINE HOSTING SERVICES

An approach of detecting and preventing DDoS attacks has been discussed. The approach can be used in services that provide digital magazine hosting. It is based on attack signature and anomaly detection and on specific user behavior while reading a digital magazine.

Keywords: DDoS attack, digital magazine, anomaly-based detection, user behavior analysis.

Introduction. The Internet consists of hundreds of millions of computers distributed all around the world. Millions of people use the Internet daily, taking full advantage of the available services at both personal and professional levels. The interconnectivity among computers on which the World Wide Web relies, however, renders its nodes an easy target for malicious users who attempt to exhaust their resources and launch *Denial-of-Service* (DoS) attacks against them [1].

A DoS attack is a malicious attempt by a single person or a group of people to cause the victim, site, or node to deny service to its customers. When this attempt derives from a single host of the network, it constitutes a DoS attack. On the other hand, it is also possible that a lot of malicious hosts coordinate to flood the victim with an abundance of attack packets, so that the attack takes place simultaneously from multiple points. This type of attack is called a *Distributed DoS*, or DDoS attack [1].

DoS attacks attempt to exhaust the victim's resources. These resources can be network bandwidth, computing power, or operating system data structures. To launch a DDoS attack, malicious users first build a network of computers that they will use to produce the volume of traffic needed to deny services to computer users. To create this attack network, attackers discover vulnerable sites or hosts on the network. Vulnerable hosts are usually those that are either running no antivirus software or out-of-date antivirus software, or those that have not been properly patched. Vulnerable hosts are then exploited by attackers who use their vulnerability to gain access to these hosts. The next step for the intruder is to install new programs (known as *attack tools*) on the compromised hosts of the attack network. The hosts that are running these attack tools are known as *zombies*, and they can carry out any attack under the control of the attacker. Many zombies together form what we call an *army* [1].

The main detection strategies are *signature detection*, *anomaly detection*, and *hybrid systems*. Signature-based methods search for patterns (signatures) in

observed network traffic that match known attack signatures from a database. The advantage of these methods is that they can easily and reliably detect known attacks, but they cannot recognize new attacks. Moreover, the signature database must always be kept up-to date in order to retain the reliability of the system [1].

Anomaly-based methods compare the parameters of the observed network traffic with normal traffic. Hence it is possible for new attacks to be detected. However, in order to prevent a false alarm, the model of "normal traffic" must always be kept updated and the threshold of categorizing an anomaly must be properly adjusted [1].

Services that provide Digital magazine services are target to DDoS attacks as much as any other web services. But Digital magazines are unique media in the Internet and the user behavior there is quite different from behavior of surfers elsewhere in the Internet. This gives the advantage of detecting DDoS attacks using the anomaly-based method.

While people browse the Internet usually in pursuit of some information, when reading a digital magazine the main objective is leisure and entertainment. In Internet pages the visitor usually navigates from page to page by links seeking the information he needs or is interested in. Unless there is a certain wizard interface with “next” and “previous” buttons, user behavior is random and unique for each website.

In case of digital interactive magazines reader’s navigation is more or less sequential: the reader starts on the cover page and goes from page to page in the order they are in. This is more like to reading a real magazine, but user behavior is still different in case of digital ones. This has many reasons that I won’t list, just an example of it: The reader sees an interesting article’s title that is on page 10. In case of a real physical magazine it’s very likely that the reader will say for himself “OK, I want to read the article about the new car, I’ll just flip quickly to page 10”. So the reader will actually see (at least for a very brief period of time) pages 2 to 9 before reaching the article on page 10. In case of Digital interactive magazine, the reader also starts on the cover page, but when he sees an announcement on the cover page it’s more likely that he’ll use the link on the title to reach the article instead of flipping 10 pages. That is probably because navigating using a mouse or keyboard is still not as pleasant as flipping real pages.

Instead of guessing reader’s behavior statistical data can be gathered. This data is the key to the defense mechanism this article is to describe (Fig. 1).

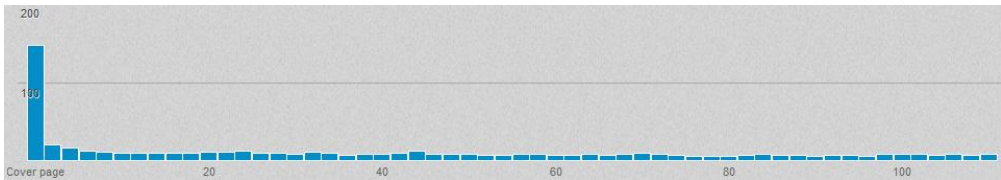


Fig. 1

Based on number of views of each page a function can be constructed for the average number of views. By storing load averages of last hour, 10 minutes and 1 minute the function can be adjusted to match the overall load of a magazine.

$$f_t(p) = \begin{cases} p = 1, & f(p) = k_1, \\ p = 2, & f(p) = k_2, \\ \dots \dots \dots \\ p = n, & f(p) = k_n, \end{cases} \quad \begin{aligned} f_{t+\Delta t}(p) - f_t(p) &= e(p), \\ e(p), \quad \forall p & |e(p)| < \varepsilon. \end{aligned}$$

By adding a layer of threshold over this function will give a concept of normal magazine load that is within the threshold (Fig. 2).

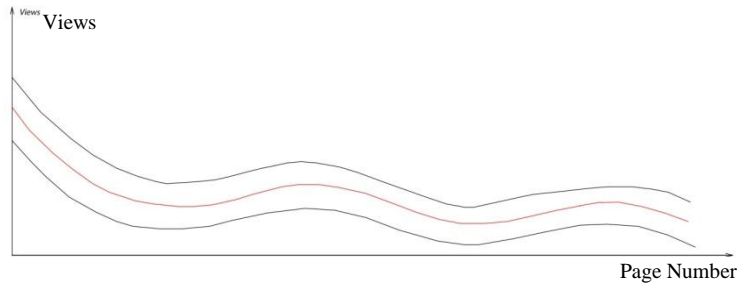


Fig. 2

Every time before serving a page the number of views can be compared to number of expected views. Whenever these numbers get significantly different it's time to ring the alarm. For example if page 7 is requested in average 50 times in a minute while page 6 is requested only 8 times (because of a link to page 7) and if we track that number of requests to page 6 and 7 are close to getting equal, we can consider that as signature of attack. This is because it's unnatural behavior for reader and is more typical for bots. Bots cannot put any difference between links and just request any data they can get, just for adding the load on a server.

Analyzing user behavior for each magazine can help us not only to track DDoS attack signatures but also to make the server more durable to high load situations. This has high priority as there's also an important objective to tell a mail campaign, that brings lots of concurrent reads on a single magazine, from DDoS attack.

Knowing which pages are requested the most we can store them in cache of all levels to make their access easier and lighter. Storing these pages in cache will reduce the overall load on server as less computing resources will be utilized for their fetch. This can be MemCached distributed cache system, APC for PHP installations or just a file that will store the preprocessed page data.

Except speed caching can provide another advantage to our system. Cache hit ratio can give us idea about possible attacks as in case of an attack number of cache misses will increase significantly.

Page Transition Graph. Based on statistical data page transition graph can be calculated. It contains ratios for each page about possibility of transition to another page. The more views the page has, the higher is the ratio.

The page transition graph can be presented as a matrix that gives ratios of passing from the specified page to another.

	1	2	3	4	5	6
1	0	45	0	6	0	0
2	5	0	93	0	0	0
3	0	4	0	89	0	0
4	0	0	6	0	82	0
5	0	0	0	6	0	95
6	0	0	0	0	15	0

As displayed in the matrix above, for the sample magazine, there is about 45% chance of going from page 1 to page 2. This is quite general data for magazines, as drop-off rate for first page is very high. Possibilities of going from page 2 to 3 or 3 to 4 are higher.

After multiplying these ratios with volume page requests the page transition graph becomes the following with the assumption that first page was visited 3500 times.

	1	2	3	4	5	6
1	0	1575	0	6	0	0
2	78	0	1464	0	0	0
3	0	58	0	1302	0	0
4	0	0	78	0	1067	0
5	0	0	0	64	0	1013
6	0	0	0	0	151	0

Please note that the diagonal of the matrix is always 0 as there is no chance of going from a page to that page itself.

Page transition graph is constantly updated based on view requests from clients. If ratio for a specific page starts to change quickly we can consider that as a sign of DDoS.

Once in a period of time a new matrix is created for each magazine, and matrices are compared, if the change is not uniform it's considered to be a sign of DDoS attack.

Learning and updating (initial model creation). Creating user behavior model on statistical data works quite well, but newly published magazines lack such data, so there's a need to base the model on something else except statistical data. To overcome this issue an initial model can be created. The initial model can be based on the following data:

Analysis of magazine structure:

- Highlighted articles on cover page. These articles are most probable to be read after a visitor lands on the cover page. So the behavior model should consider quite normal going from cover page to the page where article is located. Separating cover page from all other pages is important as it is the most probable page where a bot will land as well, and detecting a bot on cover page will save the time and resources of tracking it further.
- All other links to pages should be considered while creating the model as well.

Statistical data from magazines of same publisher. Statistical data from other magazines can be very handy for creating the initial behavior model. Of course magazines are different and page transition graph can be very different for them, but this data at least can give an image of publisher's audience volume. Significantly higher traffic than the average load can be considered a sign of DDoS attack.

Calculating the initial number of views. For each page we should calculate a probable visit number (PVN) to create the page transition graph.

It is proposed to calculate PVN using the following formula.

$$PVN_x = Avg(Open) * (1 + kcl_x) * (1 + kpl_x),$$

where *Open* is number of page views except the cover page; *Kcl* is ratio for links to page *X* from cover page; *Kpl* is ratio for links to page *X* from other pages.

Kcl is calculated empirically using the statistical data: simply average of link clicks on cover page links. *Kpl* is calculated the same way using data from all pages except cover page.

As the first page is usually the entry page of the magazine it can be considered as a special case and can be calculated separately. For cover page we will use the statistical data only from cover page of other magazines of the same publisher.

At the moment, empirically calculated value of *Kcl* is 1.36 and value of *Kpl* is 1.21.

Conclusion. Based on statistical data and initial user behavior prediction a system of DDoS attack detection is developed. Results of tests using "ab" (apache

benchmark) software from 6 machines are the following: 7 of 10 attacks were detected and blocked. An attack with low number of concurrent requests (30 requests per second) was not detected. 2 attacks of 10 were not detected and caused downtime.

REFERENCES

1. Distributed Denial of Service Attacks, Cisco Systems, Inc. [Online]. Available: http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_7-4/dos_attacks.html. [Accessed 2012].

Վ.Հ. ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ, Ռ.Հ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

DDoS ՀԱՐՁԱԿՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՈՒՄ ԹՎԱՅԻՆ ԱՄՍԱԳՐԵՐԻ ՀՈՍՏԻՆԳԱՅԻՆ ԾԱՌԱՅՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ

Դիտարկվում է DDoS հարձակումները հայտնաբերելու և կանխելու խնդիրը: Մոտեցումը կարող է կիրառվել թվային ամսագրերի սպասարկման ծառայություններում: Այն հիմնված է հարձակումների նշանների և անոմալիաների հայտնաբերման և թվային ամսագրեր ընթերցելիս օգտագործողի յուրահատուկ վարքագծի վրա:

Առանցքային բաներ. DDoS հարձակում, թվային ամսագրեր, անոմալիաների հայտնաբերում, օգտագործողի վարքագծի ուսումնասիրում:

В.Г. ДАРБИНЯН, Р.Г. ВАРДАНИЯН

ОБНАРУЖЕНИЕ DDoS АТАК НА ХОСТИНГОВЫХ СЕРВИСАХ ЦИФРОВЫХ ЖУРНАЛОВ

Рассматривается подход к обнаружению и предотвращению DDoS атак, который может быть применён для сервисов, предоставляющих хостинг для цифровых журналов. Подход основан на обнаружении сигнатур атак и аномалий, а также на особом поведении пользователя при чтении цифровых журналов.

Ключевые слова: атака DDoS, цифровые журналы, обнаружение аномалий, анализ поведения пользователя.

UDC 62-50

A.T. ULIKYAN

CALCULATION OF A MATRIX REGULATOR FOR ANTICIRCULANT CONTROL SYSTEMS

A method for designing matrix regulators for anticirculant multivariable feedback control systems is proposed. The exposition is based on the characteristic transfer function method, which allows to reduce the investigation of N -dimensional multivariable control system to the investigation of N fictitious one-dimensional systems. An analytical formula for elements of anticirculant matrix regulators is derived.

Keywords: multivariable control system, anticirculant system, characteristic transfer function, matrix regulator, permutation matrix.

Introduction. The problem of multiple-input multiple-output (MIMO) control system design is one of the central problems in multivariable feedback control [1-3]. The paper is devoted to the issue of designing matrix regulators for a significant class of MIMO control systems described by anticirculant transfer matrices. Such systems are widespread in various technical applications, especially in process control and aerospace engineering [1-3]. The proposed approach is based on the characteristic transfer functions (CTF) method [4]. That method allows to reduce the task of analysis and design of an N -dimensional square (i.e. having N inputs and N outputs) MIMO system to N one-dimensional tasks, which, in many cases, can be solved by conventional methods of classical control [5].

The general matrix block diagram of a MIMO system with the matrix regulator $K(s)$ is shown in Fig. 1, where: $\varphi(s)$ and $f(s)$ stand for Laplace transforms of the N -dimensional input and output vectors $\varphi(t)$ and $f(t)$; $W(s)$ denotes the transfer matrix of the plant with entries that are scalar rational functions in complex variable s . The destination of the matrix regulator $K(s)$ consists in providing the required performance indices of the closed-loop MIMO system [1, 2].

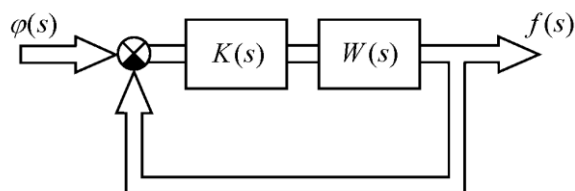


Fig. 1. Square MIMO control system with plant $W(s)$ and matrix regulator $K(s)$

Anticirculant control systems. The major distinction of anticirculant matrices, as compared with common circulant matrices [6,7], is that the elements located on both sides of the principal diagonal have opposite signs. This means that each subsequent row of an anticirculant matrix is obtained from the preceding row by shifting all elements (except for the N -th) by one position to the right; the N -th element of the preceding row becomes the first element of the following with an opposite sign.

Thus, the transfer matrix $W(s)$ of the open-loop anticirculant system can be written as

$$W(s) = \begin{pmatrix} W_0(s) & W_1(s) & W_2(s) & \dots & W_{N-1}(s) \\ -W_{N-1}(s) & W_0(s) & W_1(s) & \dots & W_{N-2}(s) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -W_1(s) & -W_2(s) & -W_3(s) & \dots & W_0(s) \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Let both the plant $W(s)$ and the regulator $K(s)$ in Fig. 1 are anticirculant, i.e. are described by anticirculant transfer matrices having the following canonical representations [2, 3]:

$$W(s) = C \text{diag} \{q_i(s)\} C^{-1}, \quad K(s) = C \text{diag} \{p_i(s)\} C^{-1}, \quad (2)$$

where the orthogonal modal matrix C is composed of the normalized eigenvectors c_i of the permutation matrix U_- [2].

The CTFs $q_i(s)$ and $p_i(s)$ of the anticirculant matrices $W(s)$ (1) and $K(s)$ can be represented for any number N of separate channels as:

$$q_i(s) = w_0(s) + \sum_{k=1}^{N-1} w_k(s) \exp\left\{j\pi k[2(i-1)+1]/N\right\}, \quad i=1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

$$p_i(s) = k_0(s) + \sum_{k=1}^{N-1} k_k(s) \exp\left\{j\pi k[2(i-1)+1]/N\right\}, \quad i=1, 2, \dots, N. \quad (4)$$

Then, the transfer matrix $G(s)$ of the open-loop corrected system is equal to

$$G(s) = W(s)K(s) = \begin{pmatrix} G_0(s) & G_1(s) & G_2(s) & \dots & G_{N-1}(s) \\ -G_{N-1}(s) & G_0(s) & G_1(s) & \dots & G_{N-2}(s) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -G_1(s) & -G_2(s) & -G_3(s) & \dots & G_0(s) \end{pmatrix}, \quad (5)$$

or, taking into account (2), to

$$G(s) = C \text{diag} \{g_i(s)\} C^{-1}, \quad (6)$$

where

$$g_i(s) = q_i(s)p_i(s), \quad i=1, 2, \dots, N \quad (7)$$

are the CTFs of the corrected anticirculant system with the anticirculant matrix regulator.

Let us find the relationships between the transfer matrices $G(s)$, $W(s)$ and $K(s)$ for anticirculant systems with matrix regulators. Given the *desired* transfer matrix of the open-loop system $G(s)$, we can immediately write down, based upon equations (5)-(7),

$$K(s) = W^{-1}(s)G(s) = C \text{diag}\{p_i(s)\}C^{-1}, \quad (8)$$

where

$$p_i(s) = g_i(s)/q_i(s), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (9)$$

are the CTFs of the required matrix regulator $K(s)$ in (2).

To derive expressions more conveniently for numerical calculations of the rational transfer functions $k_0(s), k_1(s), \dots, k_{N-1}(s)$ in the anticirculant matrix $K(s)$, let us first consider the three-dimensional case ($N = 3$). Based on (3) - (9), we have

$$\begin{aligned} q_1(s) &= w_0(s) + w_1(s)\exp\left\{j\frac{\pi}{3}\right\} + w_2(s)\exp\left\{j\frac{2\pi}{3}\right\}, \\ q_2(s) &= w_0(s) - w_1(s) + w_2(s), \\ q_3(s) &= w_0(s) - w_1(s)\exp\left\{j\frac{2\pi}{3}\right\} - w_2(s)\exp\left\{j\frac{\pi}{3}\right\}, \\ p_1(s) &= k_0(s) + k_1(s)\exp\left\{j\frac{\pi}{3}\right\} + k_2(s)\exp\left\{j\frac{2\pi}{3}\right\}, \\ p_2(s) &= k_0(s) - k_1(s) + k_2(s), \\ p_3(s) &= k_0(s) - k_1(s)\exp\left\{j\frac{2\pi}{3}\right\} - k_2(s)\exp\left\{j\frac{\pi}{3}\right\}. \end{aligned}$$

Therefore, by induction, the relationship between the N -dimensional column vectors $\tilde{G}(s) = [G_0(s), G_1(s), G_2(s)]^T$ and $\tilde{K}(s) = [k_0(s), k_1(s), k_2(s)]^T$ has the form:

$$\begin{pmatrix} G_0(s) \\ G_1(s) \\ G_2(s) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_0(s)w_0(s) - k_1(s)w_2(s) - k_2(s)w_1(s) \\ k_0(s)w_1(s) + k_1(s)w_0(s) - k_2(s)w_2(s) \\ k_0(s)w_2(s) + k_1(s)w_1(s) + k_2(s)w_0(s) \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} w_0(s) & -w_2(s) & -w_1(s) \\ w_1(s) & w_0(s) & -w_2(s) \\ w_2(s) & w_1(s) & w_0(s) \end{pmatrix}}_{\tilde{W}(s)} \begin{pmatrix} k_0(s) \\ k_1(s) \\ k_2(s) \end{pmatrix}, \quad (10)$$

where $\tilde{W}(s)$ is transposed with respect to the transfer matrix of the plant $W(s)$, i.e. $\tilde{W}(s) = W^T(s)$. Matrix form (10) will be the following

$$\tilde{G}(s) = W^T(s)\tilde{K}(s). \quad (11)$$

From (11), we get the formula

$$\tilde{K}(s) = [W^T(s)]^{-1} \tilde{G}(s) = C \text{diag} \{1/\tilde{q}_i(s)\} C^* \tilde{G}(s), \quad (12)$$

where

$$\tilde{q}_i(s) = w_0(s) + \sum_{k=1}^{N-1} w_{N-k}(s) \exp\{(\pi jk[2(i-1)+1])/N\}, \quad i=1, 2, \dots, N. \quad (13)$$

It can be shown that analogous relationships hold true for $N=4$, $N=5$ and $N=6$. By induction, this allows us to state that the equation (12) is valid for any N .

Example. Assume, we have a three-dimensional anticirculant system with the transfer matrix of the plant:

$$W(s) = \begin{pmatrix} \frac{1}{0.8s^2 + s} & \frac{50}{0.8s^2 + s} & \frac{-60}{0.16s^3 + s^2 + s} \\ \frac{60}{0.16s^3 + s^2 + s} & \frac{1}{0.8s^2 + s} & \frac{50}{0.8s^2 + s} \\ \frac{-50}{0.8s^2 + s} & \frac{60}{0.16s^3 + s^2 + s} & \frac{1}{0.8s^2 + s} \end{pmatrix}. \quad (14)$$

The CTFs $q_i(s)$ of that matrix can be represented analytically in the form:

$$q_{1,3}(s) = \frac{(5.2 \pm j8.6603)s^2 + (5.6 \mp j8.6603)}{0.16s^3 + s^2 + s}, \quad q_2(s) = -\frac{9.8s + 109}{0.16s^3 + s^2 + s}. \quad (15)$$

The Nyquist plots of the CTFs (15) are shown in Fig. 2. The inspection of the graphs in Fig. 2 indicates that the initial anticirculant system is unstable.

Let us find an anticirculant matrix regulator $K(s)$, which will provide the stability of the given system.

The transient responses of the system, under the unit steps applied simultaneously to all inputs at time $t = 1.0$ s, are given in Fig.3.

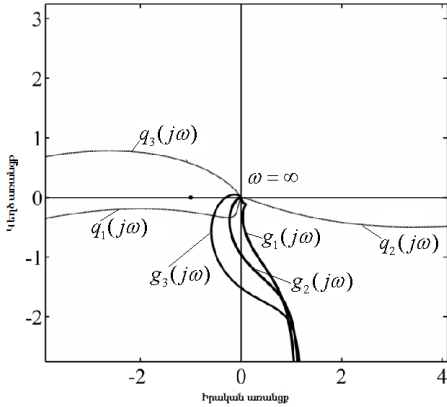


Fig. 2. Frequency characteristics of the three-dimensional anticirculant $W(s)$ (14) and $G(s)$

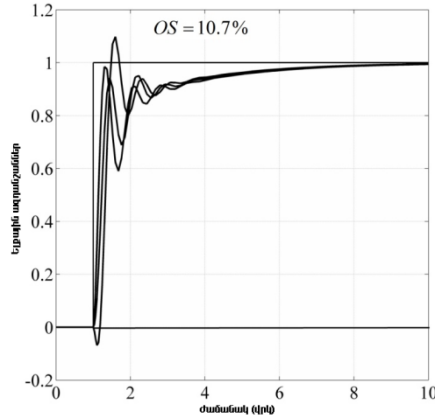


Fig. 3. Transient responses of the anticirculant system to positive unit steps

We need to find such an anticirculant transfer matrix of the corrected system $G(s)$, which possesses the required performance characteristics. The analysis shows that the goal can be achieved by the 3×3 matrix $G(s)$ with the following elements of the first row:

$$\begin{aligned} G_0(s) &= \frac{0.0748s^3 + 1.187s^2 + 2.575s + 0.9999}{0.004s^5 + 0.081s^4 + 0.535s^3 + 1.35s^2 + s}, \\ G_1(s) &= \frac{0.0878s^3 + 0.2198s^2 + 0.08855s + 0.0003}{0.004s^5 + 0.081s^4 + 0.535s^3 + 1.35s^2 + s}, \\ G_2(s) &= \frac{0.1028s^3 + 0.257s^2 + 0.1028s}{0.004s^5 + 0.081s^4 + 0.535s^3 + 1.35s^2 + s}. \end{aligned} \quad (16)$$

The CTFs $g_1(s)$, $g_2(s)$ and $g_3(s)$ of the corresponding system have the form:

$$\begin{aligned} g_{1,3}(s) &= \frac{(0.0673 \pm j0.1651)s^3 + (1.1684 \pm j0.4129)s^2 + (2.5679 \pm j0.1657)s + (1 \pm j0.00026)}{0.004s^5 + 0.081s^4 + 0.535s^3 + 1.35s^2 + s}, \\ g_2(s) &= \frac{0.0898s^3 + 1.2242s^2 + 2.5892s + 0.9996}{0.004s^5 + 0.081s^4 + 0.535s^3 + 1.35s^2 + s}. \end{aligned} \quad (17)$$

The solution of the equation (12) gives the following elements of the first row of the circulant matrix regulator $K(s)$:

$$\begin{aligned} k_0(s) &= \frac{0.514s^2 + 1.286s + 0.514}{s^2 + 14s + 40}, \\ k_1(s) &= \frac{0.626s^2 + 1.565s + 0.626}{s^2 + 14s + 40}, \\ k_2(s) &= \frac{-0.4386s^2 - 1.097s - 0.4386}{s^2 + 14s + 40}. \end{aligned} \quad (18)$$

Conclusion. An analytical formula relating the elements of the first row of the matrix regulator and the given transfer matrices of the corrected anticirculant system and the plant is derived in the paper. That formula exploits the canonical representation of anticirculant control systems on the bases of the CTFs method. It should be emphasized, that for anticirculant systems, the CTFs and the modal matrices can be written in analytical form for any number of channels N . That allows one to develop effective program codes (e.g., in the MATLAB language [8]) for computer-aided design of anticirculant control systems of an arbitrary dimension.

REFERENCES

1. **Skogestad S. and Postlethwaite I.** Multivariable Feedback Control. Analysis and Design. -John Wiley and Sons Ltd., Chichester, Sussex, UK, 2005.-595 p.
2. **Gasparyan O.N.** Linear and Nonlinear Multivariable Feedback Control: A Classical Approach. - John Wiley & Sons, UK, 2008.-356 p.
3. **Գասպարյան Օ.Ն.** Теория многосвязных систем автоматического регулирования.- Ереван: Изд-во “Асогик”, 2010.- 380 с.
4. **MacFarlane A.G.J. and Belletrutti J.J.** The characteristic locus design method // Automatica.- 1970.-Vol. 9, № 5. - P. 575-588.
5. **Бессекерский В.А., Попов Е.П.** Теория систем автоматического регулирования.-М.: Наука, 2003.- 575 с.
6. **Bellman R.** Introduction to Matrix Analysis.- McGraw-Hill, NY, 1970. - 367 p.
7. **Davis P.J.** Circulant Matrices. - Wiley, NY, 1979. - 284 p.
8. Using MATLAB. The Math Works, Inc., 2012. - 874 p.

Ա.Թ. ՈՒԼԻԿՅԱՆ

ՀԱՎԱՑԻՐԿՈՒՅԱՆՏ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐԻՉԻ ՀԱՇՎԱՐԿ

Առաջարկվում է հակացիրկուլյանտ բազմաչափ ավտոմատ կառավարման համակարգերի մատրիցային կարգավորիչի ընտրության մեթոդ՝ հիմնված բնութագրիչ փոխանցման ֆունկցիաների մեթոդի վրա, որը թույլ է տալիս N -չափանի կառավարման համակարգի հետազոտումը հանգեցնել N առանձին համակարգերի հետազոտման: Դուրս է բերված հակացիրկուլյանտ մատրիցային կարգավորիչի տարրերի որոշման անալիտիկ բանաձև:

Առանցքային բաներ. բազմաչափ կառավարման համակարգ, հակացիրկուլյանտ համակարգ, բնութագրիչ փոխանցման ֆունկցիա, մատրիցային կարգավորիչ, տեղափոխությունների մատրից:

Ա.Տ. ՍՈՒԿԿԻՆ

РАСЧЕТ МАТРИЧНОГО РЕГУЛЯТОРА АНТИЦИРКУЛЯНТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Предлагается метод выбора матричного регулятора для антициркулянтных многомерных систем автоматического регулирования, основанный на методе характеристических передаточных функций, который позволяет свести исследование N -мерной взаимосвязанной системы управления к N фиктивным системам с одним входом и выходом. Выведена аналитическая формула для определения элементов антициркулянтного матричного регулятора.

Ключевые слова: многомерная система управления, антициркулянтная система, характеристическая передаточная функция, матричный регулятор, матрица перестановок.

УДК 541.124

А.А. ВАРДАНЯН

ГЕНЕРАЦИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ В АТМОСФЕРЕ

Дается описание ионизатора для генерации отрицательных ионов в атмосфере. Представлены результаты экспериментальных измерений потока заряженных частиц, образованных коронным разрядом. Приведены зависимости концентрации отрицательных ионов по высоте, полученные расчетным путем.

Ключевые слова: ионизатор, коронный разряд, генерация, отрицательные ионы, концентрация.

Введение. В работах известного ученого Я. Френкеля еще в 40-х годах прошлого века на основе теоретических и экспериментальных работ была установлена связь между атмосферным электричеством и облаками [1]. Было показано, что отрицательно заряженные аэроионы имеют большое сродство с молекулами воды, и поэтому в атмосфере происходят интенсивные процессы соединения аэроионов с молекулами воды. В итоге изменяются метеопроцессы в атмосфере.

Взаимосвязь между ионизацией атмосферного воздуха и протекающими в нем метеорологическими процессами отмечена в других работах [2-4]. В них показано, что поток космических частиц, проникая в глубь атмосферы, ионизирует воздух вдоль траектории перемещения к Земле. Образующиеся при этом ионы заряжают аэрозольные частицы, делая их активными ядрами конденсации, ускоряющими образование облачности.

Все эти работы имеют теоретический характер. Между тем весьма интересным является экспериментальное исследование воздействия отрицательных ионов на атмосферу.

Описание ионизатора. На рис. 1 представлена фотография разработанного ионизатора. Основным узлом этой установки является конвективная ячейка – эмиттер с двумя электродами, один из которых коронирующий и соединен с отрицательным полюсом источника высокого постоянного напряжения (катод), а другой – заземленный и соединен с положительным полюсом источника высокого постоянного напряжения (анод). Эти электроды в рабочей секции расположены в параллельных плоскостях. На них намотан тонкий провод диаметром 0,18 мм.

На ионизатор от высоковольтного источника тока подается электрическое напряжение 50...150 кВ, под действием которого пробивается коронный разряд. Когда на ионизатор подано отрицательное электрическое поле, с металлических поверхностей катода происходит эмиссия электронов, которые, взаимодействуя с молекулами кислорода воздуха, образуют отрицательные ионы.

Ионизатор снабжен устройством для продувки воздуха, а также имеются средства для дистанционного зондирования атмосферы в виде лидарного устройства. Поток ионов измерялся с помощью портативного счетчика аэроионов МАС-1, который был соединен с компьютером. Счетчик аэроионов был закреплен на мачте на расстоянии 5 м от верхнего электрода эмиттера.



Рис. 1. Фотография разработанного ионизатора

Результаты исследования. На рис. 2 представлена зависимость величины тока коронного разряда от электрического напряжения на ионизаторе. Видно, что при потенциале 120 кВ ток коронного разряда равен $3,5 \cdot 10^{-6}$ А. Это соответствует эмиссии $2,2 \cdot 10^{13}$ электронов в секунду. Именно в этом случае было получено наибольшее значение концентрации отрицательных ионов - $7 \cdot 10^4$ см⁻³.

На основе проведенных измерений нами был выполнен модельный расчет распределения концентрации отрицательных ионов по высоте от земной поверхности до 1000 м.

Средний вертикальный градиент электрического потенциала у земной поверхности равен 130 В/м [5]. Напряженность электрического поля атмосферного электричества уменьшается с высотой и зависит от погодных условий (ветер, дождь, грозы и т.д.) и на высоте 1000 м составляет порядка 40 В/м. Будем считать, что напряженность электрического поля в диапазоне от земной поверхности до высоты 1000 м составляет 100 В/м. Кроме того,

принимая, что под влиянием ионизатора в атмосфере воздуха образуются молекулярный отрицательный ион O_2^- и атомарный O^- . В газовом разряде кислорода или воздуха при низких и средних давлениях O^- составляет 90%, остальные – O_2^- [6]. Величины подвижностей O_2^- и O^- приведены в [7].

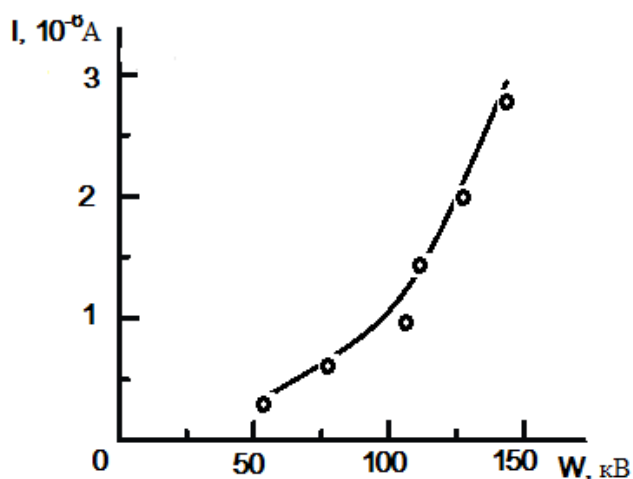


Рис. 2. Зависимость значения тока коронного разряда от электрического напряжения на ионизаторе

Скорость дрейфа отрицательных ионов V_d при атмосферном давлении можно оценить по выражению

$$V_d = K_p E,$$

где K_p – подвижность ионов; E – напряженность электрического поля.

В результате можно получить оценочную величину времени дрейфа отрицательных ионов до облаков, расположенных на высоте 1 км. Это величина порядка 8 час для атомарных отрицательных ионов кислорода и порядка 12 час – для молекулярных.

Время жизни рекомбинации отрицательных ионов по отношению к положительным можно представить выражением [8]

$$\tau_r = 1/\beta_r N,$$

где β_r – коэффициент объемной рекомбинации отрицательных ионов в воздухе при атмосферном давлении; N – концентрация отрицательных ионов.

На рис. 3 представлены зависимости концентрации отрицательных ионов в атмосфере воздуха при нормальном давлении от высоты основания ионизатора до 1 км, рассчитанные по вышеприведенным формулам. Принято, что $\beta_r = 10^{-6} \text{ см}^3/\text{с}$ [8], а наибольшая концентрация отрицательных ионов вблизи ионизаторов $N = 10^5 \text{ см}^{-3}$. Кривая 1 соответствует отрицательным ионам O_2^- , кривая 2 – O^- .

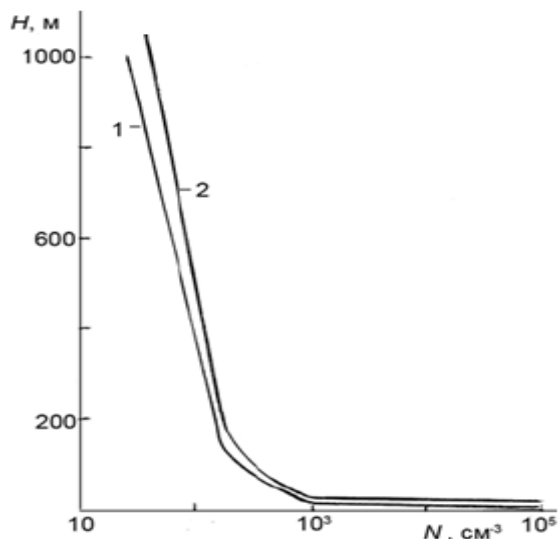


Рис. 3. Распределение концентрации отрицательных ионов в зависимости от высоты

Из рис. 3 видно, что концентрация отрицательных ионов уменьшается от величины 10^5 до $2 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ вследствие объемной рекомбинации на высоте до 30 м, в то время как от $2 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^2 \text{ см}^{-3}$ – на высоте от 30 м до 150 м. К высоте 1000 м доберутся отрицательные ионы с концентрацией 35 см^{-3} . Следовательно, основное уменьшение концентрации отрицательных ионов происходит на начальной высоте до 100 м. На больших высотах гибель отрицательных ионов сильно уменьшается.

Полученные результаты были использованы нами для разработки и оптимизации конструкции системы стимулирования дождей [9]. Сущность этой технологии состоит в следующем. Известно, что в атмосфере постоянно находится большое количество разнообразных ионов, которые перемещаются в виде объемных электрических зарядов под действием конвективных и адвентивных воздушных потоков различных масштабов, турбулентных движений воздуха, а также атмосферных образований [3]. Важнейшим фактором этого движения может быть и отрицательное электрическое поле Земли, в котором положительные ионы будут перемещаться в направлении к земной поверхности, а отрицательные – от земной поверхности, порождая таким образом вертикальные токи проводимости в атмосфере. В процессе вертикального подъема ионов вокруг них происходит группировка электрически нейтральных молекул, прежде всего сильно поляризованных молекул воды. Комплексы обводненных легких ионов вместе с молекулами водяного пара и другими включениями в воздушном потоке поднимаются вверх, достигая там уровня конденсации. При этом наблюдаются процессы испарения, конденсации, сублимации и коагуляции, т.е. фазовые переходы (из жидкого в твердое или газообразное и обратно), рост капель воды и кристаллов льда и их исчезновение.

При определенных условиях все это приводит к выпадению осадков, при других – к образованию облачности без осадков.

Заключение. На основании экспериментальных исследований проведен модельный расчет зависимости концентрации отрицательных ионов от высоты. Показано, что основная гибель отрицательных ионов при их дрейфе вверх происходит в основном на высоте до 100 м вследствие объемной рекомбинации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Френкель Я.И.** Теория явлений атмосферного электричества.- М.: Комкнига, 2009.- 160 с.
2. **Кочин А.В.** Механизм образования электрического заряда в слоисто-дождевых и кучево-дождевых облаках // Метеорология и гидрология. -1995.-10.- С. 35-41.
3. **Машуков Х.М., Шугунов Л.Ж., Зашакуев Т.З.** Некоторые результаты исследования структуры электрических зарядов в грозовых облаках // Труды ВГИ.- 1985.- 61.- С.13-16.
4. **Аджиев А.Х., Тамазов С.Т.** Разделение электрических зарядов при кристаллизации капель воды // Метеорология и гидрология.- 1987.- 8.- С. 57-62.
5. Физические величины: Справочник/ Под ред. **И.Г. Григорьева, Е.З. Мейлихова.** - М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. **Галечян Г.А.** Свойства плазмы электроотрицательных газов // Сб. “Химия плазмы”. - 1981. - 7. - С. 386-313.
7. **Мак-Даниель И., Мезон Э.** Подвижность и диффузия ионов в газах.- М.: Мир, 1976.- 220 с.
8. **Райзер Ю.П.** Физика газового разряда. - М.: Наука, 1992. - 190 с.
9. **Այվազյան Գ.Ե., Բարսեղյան Ռ.Ն., Վարդանյան Ա.Ա.** Անձրևաբեր համակարգի մշակումը // ՀՊՃՀ Լրագրեր.- 2012. – Մաս 1. – էջ 459-463:

Ա.Ա. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ՄԹՆՈՒՆՈՐՏՈՒՄ ԲԱՅԱՍԱԿԱՆ ԻՈՆՆԵՐԻ ԳԵՆԵՐԱՑՈՒՄԸ

Նկարագրված է մթնոլորտում իոններ գեներացնող իոնարարը: Տրված են պսակաձև պարպումից առաջացած լիցքավորված մասնիկների դեպի վեր ուղղված հոսքի չափումների արդյունքները: Հաշվարկային մոտարկմամբ կառուցվել են դրանց խտության կախվածությունները բարձրությունից:

Առանցքային բաներ. իոնարար, պսակաձև պարպում, գեներացում, բացասական իոններ, խտություն:

A.A. VARDANYAN

GENERATION OF NEGATIVELY CHARGED IONS IN THE ATMOSPHERE

Description of an ionizer, generating negative ions in atmosphere, is presented. The results of experimental measurements of the charged particles flow formed by crown discharge in the atmosphere, are shown. The concentration dependence on the height is obtained by model calculation.

Keywords: ionizer, crown discharge, generation, negative ions, concentration.

УДК 621.382

О.А. ПЕТРОСЯН, Н.Б. АВДАЛЯН

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИММЕТРИЧНЫХ ЯЧЕЕК ПАМЯТИ С НИЗКОЙ МОЩНОСТЬЮ УТЕЧКИ И ВЫСОКИМ БЫСТРОДЕЙСТВИЕМ

Исследованы наноразмерные КМОП схемы модифицированных асимметричных ячеек статической оперативной памяти с технологическими нормами SAED EDK 28 нм и напряжением питания 0,9 В по мощности утечки и быстродействию. Предложена схема усилителя, которая позволяет считывать логический ноль с асимметричной ячейки памяти в том же временном диапазоне, как и в случае с симметричной ячейкой памяти.

Ключевые слова: запоминающее устройство, симметричная ячейка памяти, асимметричная ячейка памяти, мощность утечки, моделирование, усилитель.

Введение. С развитием технологии роль мощностей утечки на этапе проектирования запоминающих устройств (ЗУ) повышается и становится ведущей в быстродействующих системах. Указанное сопровождается уменьшением напряжения питания, что приводит к уменьшению пороговых напряжений, увеличению мощностей утечки и обеспечению высокого быстродействия [1].

Потребляемая мощность. Потребляемая мощность состоит из двух составляющих - динамической и статической:

$$P = C \cdot V_{DD}^2 \cdot f + I_{leak} \cdot V_{DD},$$

где C - суммарная емкость битовой шины и паразитной емкости; V_{DD} - напряжение питания; I_{leak} - полный ток утечки; f - рабочая частота.

Динамическая мощность обусловлена переключением элементов, а статическая - токами утечки (в основном, подпороговый ток утечки, который течет и в случае, когда транзистор закрыт, т.е. к затвору приложено напряжение намного меньше порогового напряжения). Для модели BSIM4v4.7 подпороговый ток утечки рассчитывается по формуле [1]

$$I_{Dsub} = \mu_0 C_{ox} \frac{W}{L} (n-1) V_t^2 \cdot [1 - \exp(-V_{ds}/V_t)] \cdot [\exp(V_{gs} - V_T - V_{off})/nV_t], \quad (1)$$

где V_{off} - эмпирический параметр модели; $V_t = kT/q$ (k - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура; q - заряд электрона); V_{ds} и V_{gs} - напряжения сток-исток и затвор-исток соответственно; V_T - пороговое напряжение транзистора; L и W - длина и ширина канала транзистора; μ_0 - подвижность при нулевом

смещении; C_{OX} - удельная емкость подзатворного окисла;
 $n = 1 + \frac{C_{dm}}{C_{OX}} = 1 + \frac{\epsilon_{Si} / W_{dm}}{\epsilon_{OX} / t_{OX}} = 1 + \frac{3t_{OX}}{W_{dm}}$ - коэффициент эффекта подложки (C_{dm} - емкость обедненного слоя; W_{dm} - максимальная ширина обедненного слоя; t_{OX} - толщина окисного слоя затвора; ϵ_{Si} и ϵ_{OX} - диэлектрические проницаемости кремния и окиси соответственно).

При технологических нормах $< 0,13 \text{ мкм}$ мощности утечки становятся равными потребляемой мощности. Ожидается, что для каждого 2-го поколения эти отличия будут более сопоставимы, и при технологических нормах $\leq 0,05 \text{ мкм}$ мощность утечки будет порядка 50...60 % всей мощности. Следовательно, при проектировании ячейки памяти (ЯП) важнейшей задачей является уменьшение мощности утечки. Последняя линейно зависит от числа элементов чипа. Таким образом, оперативные ЗУ (ОЗУ) с большой информационной емкостью (особенно ЯП и усилители), с точки зрения мощности утечки, более уязвимы.

Целью работы является уменьшение мощности утечки асимметричных ЯП (АЯП), особенно когда АЯП хранит логический ноль (при этом время считывания достаточно увеличивается). Для уменьшения времени считывания разработан специальный усилитель. При разработке АЯП использованы транзисторы с высоким пороговым напряжением КМОП. Моделирование проведено программным пакетом HSPICE при технологических нормах 28 нм и напряжении питания 0,9 В [2].

Симметричная ЯП. Симметричные ЯП (СЯП) разрабатываются на основе транзисторов с одинаковыми пороговыми напряжениями и мощностями утечки (рис. 1). Мощность утечки обусловлена протекающим током закрытого транзистора. В случае, когда СЯП хранит логический ноль, мощность утечки будет равна сумме мощностей утечек транзисторов P2 (p-МОП), N1 и N4 (n-МОП).

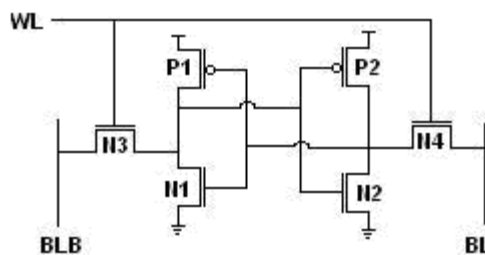


Рис. 1. Электрическая схема СЯП

В СЯП во время считывания токи утечки определяются выражением [1]

$$I_{CellRd} = \begin{cases} (W_{N1} + W_{N4}) \cdot I_{IN} + W_{P2} \cdot I_{IP}, & \text{если } WL = 0, \\ W_{N1} \cdot I_{IN} + W_{P2} \cdot I_{IP}, & \text{если } WL = 1, \end{cases} \quad (2)$$

где I_{IP} и I_{IN} - протекающие токи через первые p-МОП и n-МОП транзисторы.

Ток утечки СЯП во время записи для всех возможных случаев определяется следующим образом [1]:

$$\begin{aligned}
 I_{CellWrt} &= (W_{N1} + W_{N4} + W_{N3}) \cdot I_{IN} + W_{P2} \cdot I_{IP} = \\
 &= (W_{N1} + 2W_{N4}) \cdot I_{IN} + W_{P2} \cdot I_{IP}, \quad \text{если } (WL = 0, Bit \neq BL); \\
 I_{CellWrt} &= (W_{N1} + W_{N4} + W_{N3}) \cdot I_{IN} + W_{P2} \cdot I_{IP} = \\
 &= W_{N1} \cdot I_{IN} + W_{P2} \cdot I_{IP}, \quad \text{если } (WL = 1) \text{ или } (WL = 0, Bit = BL).
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

На схемотехническом уровне при использовании классического метода для уменьшения мощности утечки малоприменяемые транзисторы отключаются от питания. Однако этот метод при длительном рабочем времени недостаточно эффективен, т.к. при их использовании необходимо подключение к питанию. Для решения этой проблемы целесообразно применять АЯП и специальные усилители с малой мощностью утечки. АЯП обеспечивают существенное уменьшение мощности утечки даже в случае наличия на чипе многих неиспользованных ЯП.

Асимметричная ЯП. В АЯП используются транзисторы, имеющие разные пороговые напряжения и мощности утечки [3-5]. При первом подходе для уменьшения мощностей утечки необходимо транзисторы P2, N1 и N4 (рис. 1) заменить транзисторами, имеющими высокое пороговое напряжение, однако это приведет к увеличению времени разрядки битовой шины. Задача состоит в замене таких транзисторов на транзисторы с высоким пороговым напряжением (рис.2), которые будут мало или совсем не влиять на характеристики ЯП.

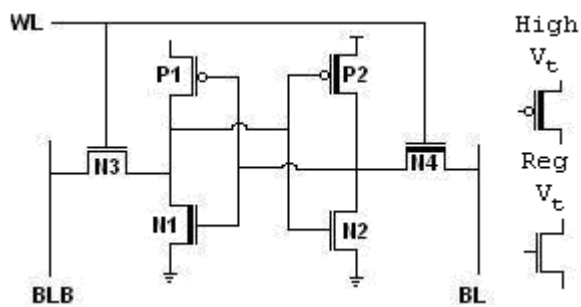


Рис. 2. Электрическая схема АЯП

На рис. 3 приведены результаты моделирования мощности утечки для схем АЯП и СЯП. Показано, что при 125°C , 28 нм и $0,81\text{ В}$ мощности утечки при хранении логической единицы совпадают, т.к. в обоих случаях они рассеиваются на указанных выше транзисторах, а мощности утечки при хранении логического нуля для АЯП в $3,5 \dots 4$ раза меньше по сравнению с СЯП (рис. 1). Если транзисторы N1, N4, P2 заменяются транзисторами с высоким пороговым напряжением V_H (рис. 2), то для шин BLB и BL время разрядки увеличивается на $8,2$ и $16,6\%$ соответственно.

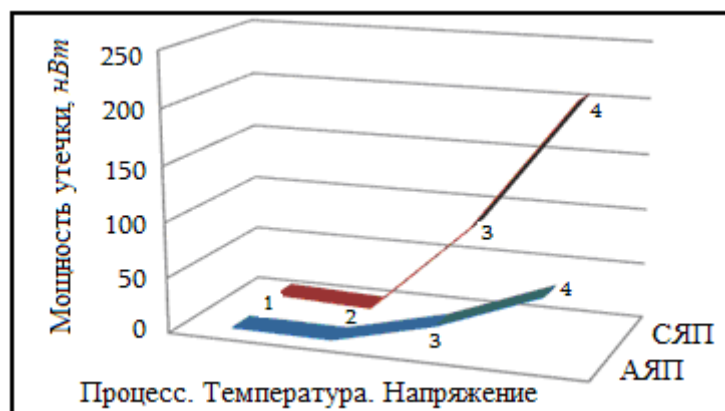


Рис. 3. Зависимость мощности утечки от скорости процесса, температуры и напряжения:

1. Медленный процесс, температура 25 °С, напряжение 0,9 В
2. Типовой процесс, температура -40 °С, напряжение 0,9 В
3. Быстрый процесс, температура -40 °С, напряжение 0,99 В
4. Медленный процесс, температура 125 °С, напряжение 0,81 В

Модифицированные АЯП. На рис. 4 приведены два варианта АЯП, которые модифицированы по мощности утечки и по быстродействию.

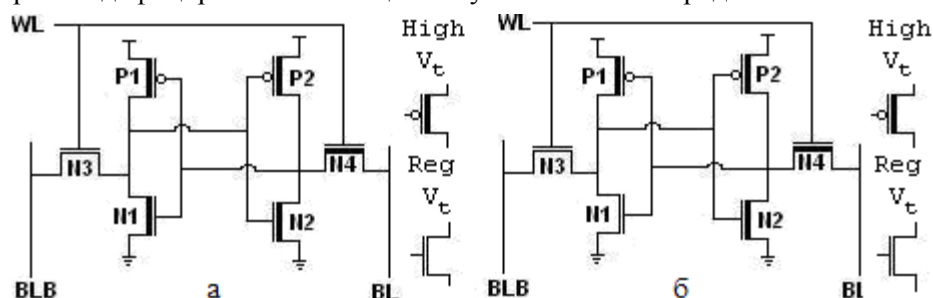


Рис. 4. Модифицированные АЯП по мощности утечки (а) и по быстродействию (б)

В варианте, модифицированном по мощности утечки, транзисторы N2, P1 для хранения постоянной единицы также представляют собой транзисторы с высоким пороговым напряжением V_H . Таким образом, результаты моделирования показывают, что у транзисторов V_H в состоянии хранения постоянного нуля и единицы мощность утечки в 10 и 5 раз меньше по сравнению с транзисторами V_R , а время разрядки увеличивается для шин BLB и BL на 12,2 и 31,2 % соответственно (рис. 5). Эта разница показывает, что в зависимости от хранимых данных (логические “0” или “1”) время считывания может быть разным. Предложенный новый усилитель всегда будет выбирать быструю битовую шину (путь), которая не будет зависеть от хранимых данных.

При сравнении модифицированного варианта по быстродействию (рис. 4б) со схемой транзистора V_R в случае логических “0” и “1” получаются следующие результаты: мощности утечки уменьшаются в 2 и 7 раз, а время разрядки для

шин BL увеличивается на 21,2 % для крайнего случая, т.е. при хранении “1” (рис. 5). Уменьшение времени решается с помощью разработанного усилителя.

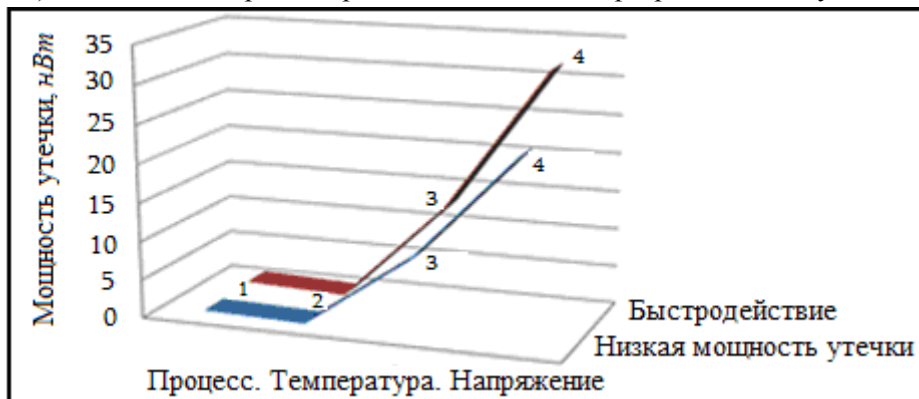


Рис. 5. Зависимость мощности утечки от скорости процесса, температуры и напряжения для модифицированных АЯП:

1. Медленный процесс, температура 25°C , напряжение $0,9\text{ В}$
2. Типовой процесс, температура -40°C , напряжение $0,9\text{ В}$
3. Быстрый процесс, температура -40°C , напряжение $0,99\text{ В}$
4. Медленный процесс, температура 125°C , напряжение $0,81\text{ В}$

Анализ напряжения питания. С развитием технологии напряжение питания и длина канала транзисторов уменьшаются, что, в свою очередь, приводит к уменьшению порогового напряжения.

С уменьшением питающего и порогового напряжений мощность утечки начинает играть более существенную роль. Для всех рассмотренных схем зависимости мощностей утечек для состояний “0” и “1” от изменения напряжения питания приведены на рис. 6 и 7.

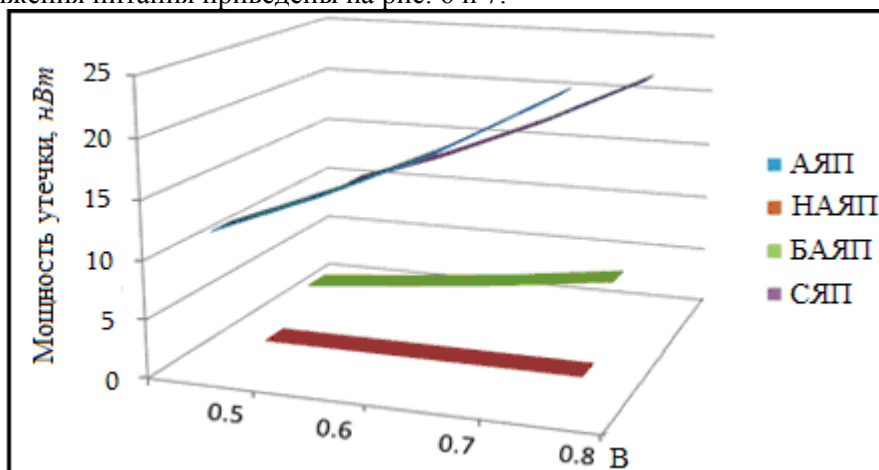


Рис. 6. Зависимость мощности утечки в случае хранения “0” от изменения напряжения питания:

БАЯП - быстродействующая АЯП, НАЯП - АЯП низкой мощностью утечки

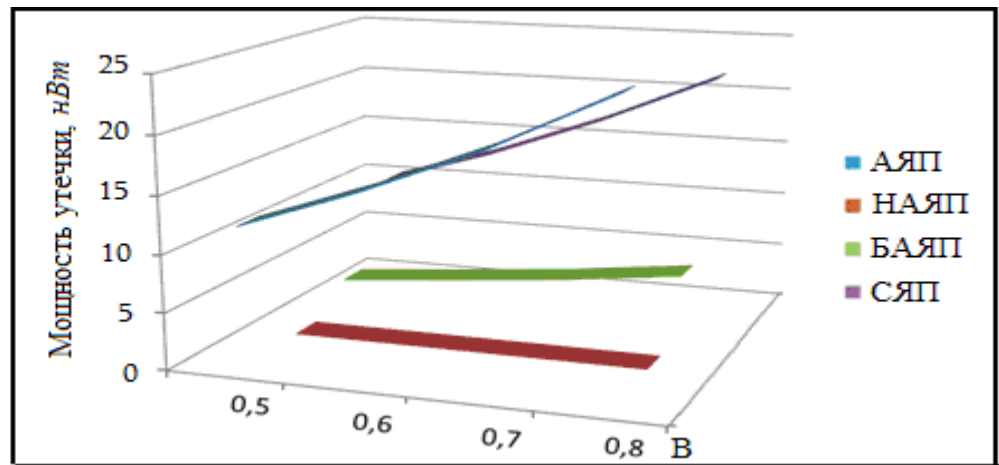


Рис. 7. Зависимость мощности утечки от изменения напряжения питания для случая хранения "1"

На рис. 8 приведены зависимости времени разрядки (быстрая ветвь) от изменения напряжения питания.

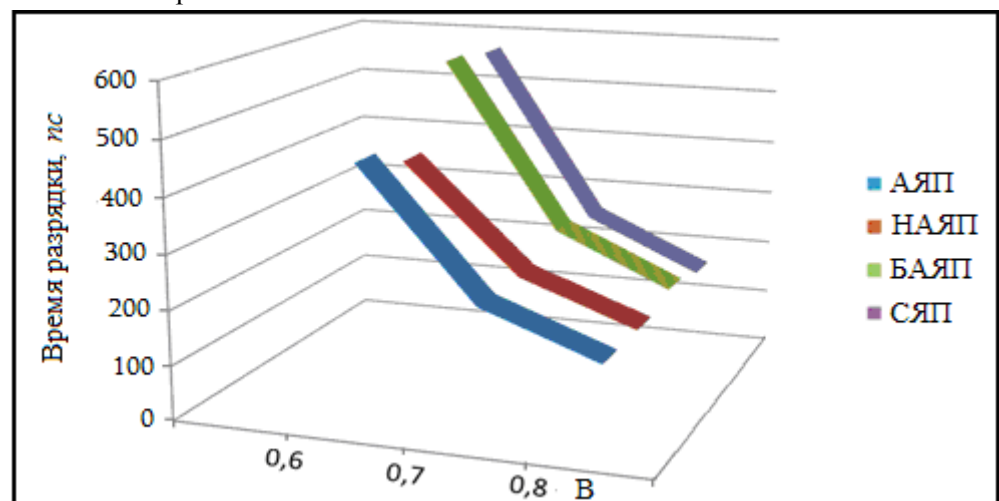


Рис. 8. Зависимость времени разрядки (быстрая ветвь) от изменения напряжения питания

Анализ помехоустойчивости. Целью этого анализа является выяснение степени влияния помех на работоспособность ЯП. В этом случае в качестве помех выступает постоянное dc напряжение, которое заставит ЯП переключиться. Для этого на один из входов (битовых шин) ЯП подается постоянно нарастающее (dc) напряжение, в результате чего получается первая переключающая характеристика. Применяется аналогичное действие для другого входа, но при подаче убывающего напряжения. Часть, охваченная

прямоугольным пространством, после наложения характеристик иллюстрирует помехозащищенные области АЯП (рис.9).

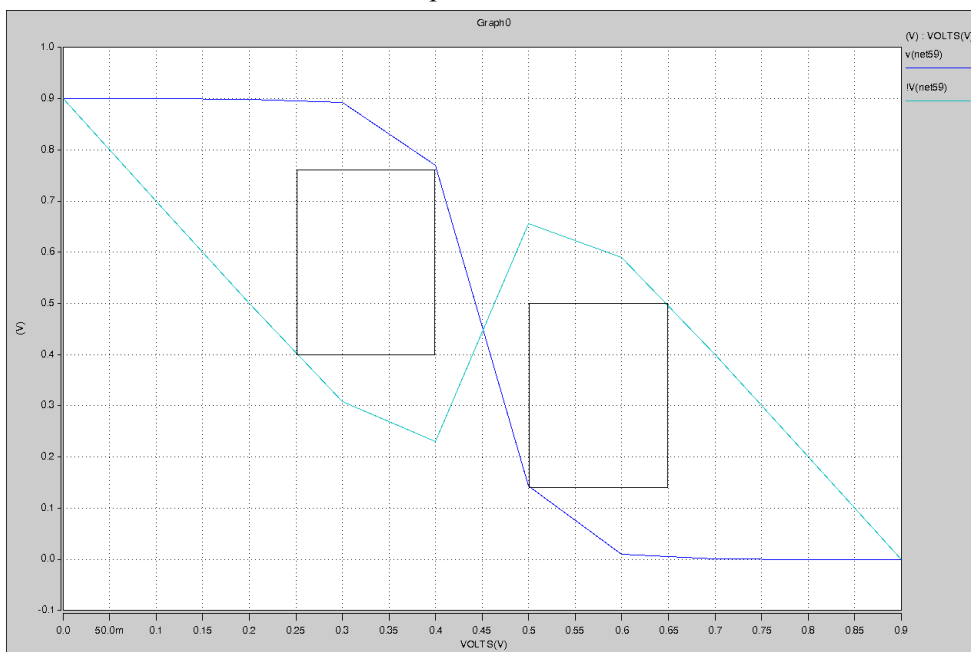


Рис .9. Помехозащищенные области АЯП

Усилитель. Время считывания (разрядки) АЯП (при хранении нуля) достаточно большое, так как разряжается та ветвь, где находятся транзисторы с высоким пороговым напряжением. Для обеспечения быстрого считывания, которое не будет зависеть от хранимых данных в ЯП, предлагается применить специально разработанную схему усилителя (рис. 10), где использованы так называемые фиктивные D, DB битовые шины, одна из которых для обеспечения нормального рабочего режима всегда должна быть равна “1”. Во время каждого считывания одна из фиктивных битовых шин должна устанавливаться строчной шиной (wordline) ЯП. Считывание информации с АЯП происходит следующим образом. Сначала все 4 входа (D, DB, BL, BLB) заряжаются до VDD (логическая “1”). Когда в АЯП хранится логическая “1”, то во время считывания разряжается битовая шина BLB, которая характеризует быструю ветвь АЯП. Так как дифференциальная пара усилителя состоит из N1, N2 n-МОП транзисторов, то разрядка шины BLB приведет к увеличению тока, протекающего по левой ветви, и, как следствие, к увеличению значения напряжения в ветви NodeB и к уменьшению значения напряжения в ветви NodeA. Когда в АЯП хранится логический “0”, то при считывании ЯП разряжается битовая шина BL, которая характеризует медленную ветвь. На входы усилителя от АЯП поступают логические сигналы BLB=1 и BL=0, но т.к. BL ветвь медленнее, чем BLB, то BLB намного быстрее поступает ко входу усилителя. В случае, когда BLB=1,

открывается n-МОП транзистор N6, и в точке N значение напряжения уменьшается, открывая с помощью обратной связи p-МОП транзистор P1, и в точке P устанавливается VDD (логическая "1"), т.к. n-МОП транзистор N5 в это время закрыт шиной BL. С помощью обратной связи открывается n-МОП транзистор N3 и разряжается BLB ветвь. Таким образом, время считывания всегда зависит от быстрой ветви и не зависит от хранимых в ЯП данных.

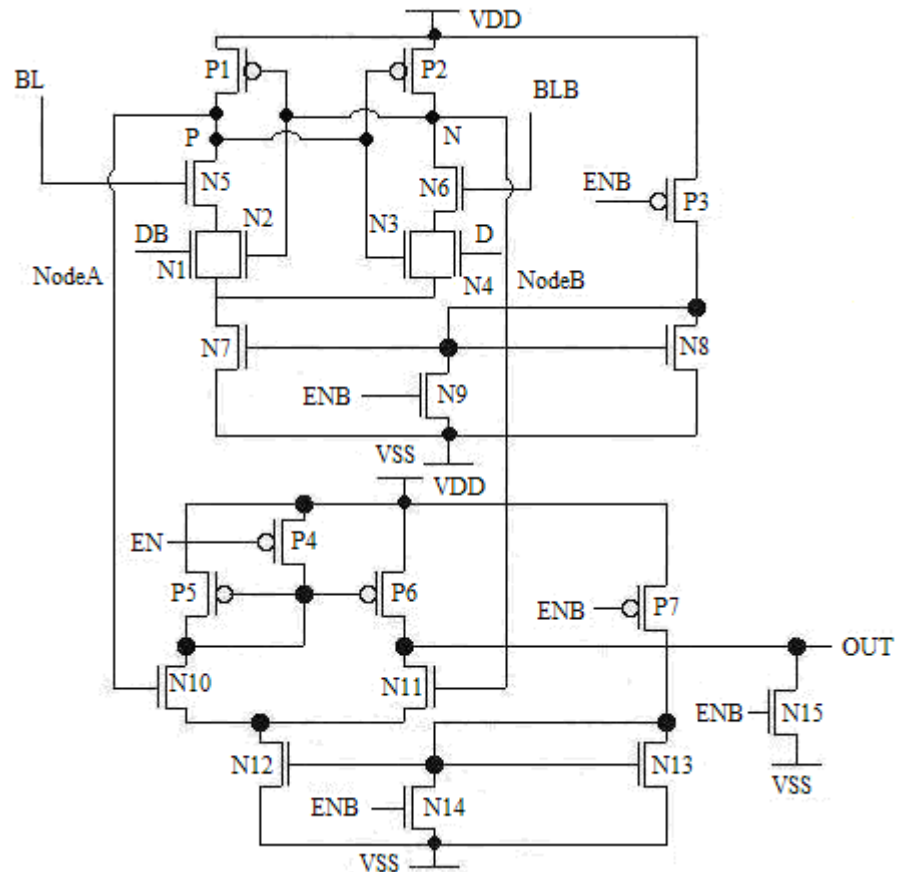


Рис. 10. Электрическая схема усилителя

Время считывания логического нуля обусловлено временем разрядки шины BLB, что обеспечивается следующим образом:

1. Фиктивные битовые шины подключены к усилителю, увеличивая емкость нагрузки, и разрядка по шине DB происходит медленнее, чем по шине BLB. Возросшая емкость не увеличивает время зарядки, т.к. разрядка шины BL происходит с помощью шины DB.

2. Транзисторы, подключенные к битовым шинам, проектируются более широкими, чем транзисторы, подключенные к фиктивным битовым шинам.

На рис. 11 приведены результаты моделирования усилителя для крайнего случая.

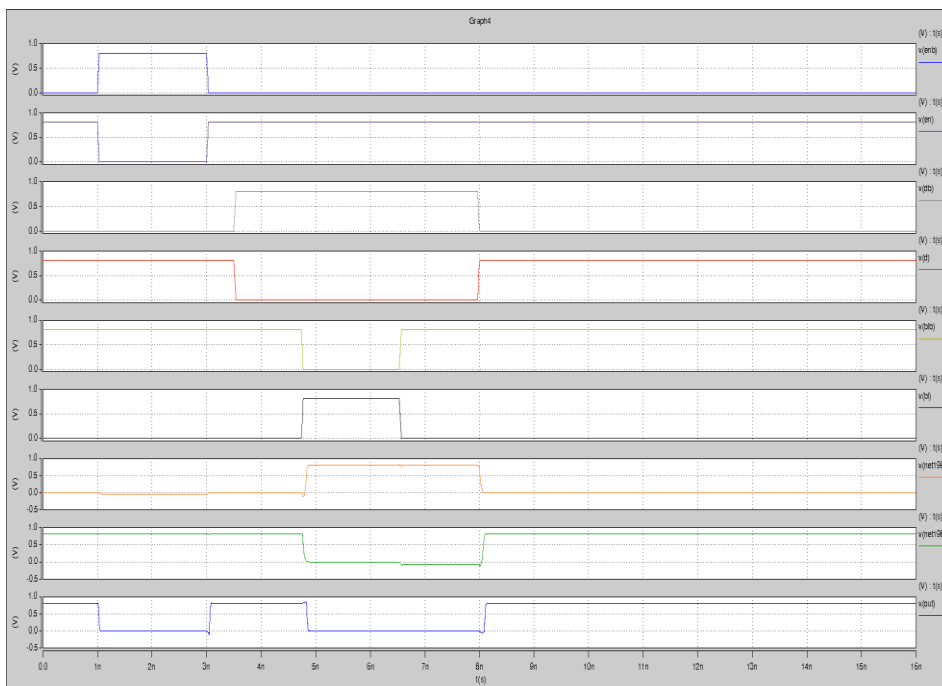


Рис. 11. Результаты моделирования усилителя

Выводы

1. Рассмотрены и проанализированы варианты схем, позволяющие уменьшить мощность утечки ЯП при использовании транзисторов с высоким пороговым напряжением.

2. На основании анализа результатов моделирования известных СЯП и АЯП при 125°C , 28 нм и $0,81\text{ В}$ показано, что мощности утечек в случае хранения логической “1” одинаковы, при хранении логического “0” мощность утечки АЯП в 3,5...4 раза меньше по сравнению с СЯП, а время разрядки шин BLV и VL АЯП увеличивается на 8,2 и 16,6 % соответственно.

3. Предложены, спроектированы и проанализированы модифицированные варианты АЯП по мощности утечки и быстродействию при технологических нормах КМОП 28 нм и напряжении питания $0,9\text{ В}$.

4. Результаты моделирования модифицированной АЯП по мощности утечки показывают, что в случае хранения постоянных “0” и “1” мощности утечки в 10 и 5 раз меньше по сравнению с СЯП, а время разрядки битовых шин BLV и VL увеличивается на 12,2 и 31,2 % соответственно. В модифицированной по быстродействию АЯП при хранении логических “0” и “1” мощности утечки уменьшаются в 2 и 7 раз, а время разрядки шины VL получается больше на 21,2% .

5. Предложен и разработан новый усилитель АЯП, позволяющий произвести быстрое считывание, которое не зависит от хранимых данных (особенно при хранении нуля), и в процессе общего считывания приводящий к увеличению времени разрядки всего на 1...3 %.

6. Полученные результаты позволяют произвести обоснованный выбор АЯП для разработки СБИС ОЗУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Mahesh Mamidipaka, Kamal Khouri, Nikil Dutt, Magdy Abadir.** Leakage Power Estimation in SRAMs. CECS Technical Report. Center for Embedded Computer Systems // University of California. - Irvine, CA 92697, USA. Sept 1, 2003. -15p.
2. **HSPICE.** Applications Manual. - 2010. – 364p.
3. **Navid Azizi.** Low-Leakage Asymmetric-cell SRAM/ Graduate Department of Electrical and Computer Engineering University of Toronto, 2003. -119p.
4. **Ashish Siwach, Rahul Rishi.** Asymmetric SRAM – Power Dissipation and Delay // International Journal of Computational Engineering & Management. - January, 2011. - Vol. 11. - P. 28-31.
5. **Navid Azizi, Farid N. Najm, Andreas Moshovos.** Low-Leakage Asymmetric-Cell SRAM // IEEE Transaction on very large scale integration systems. - 2003. - N^o4. - P. 701-715.

Օ.Հ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ն.Բ. ԱՎԴԱԼՅԱՆ

ՑԱԾԻ ԿՈՐՄՍԻ ՀՉՈՐՈՒԹՅԱՄԲ ԵՎ ԲԱՐՁՐ ԱՐԱԳԱԳՈՐԾՈՒԹՅԱՄԲ ԱՍԻՄԵՏՐԻԿ ՀԻՇՈՂՈՒԹՅԱՆ ԲՋԻՋՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՎ ՄՈԴԵԼԱԿՈՐՈՒՄԸ

Առաջարկվել և հետազոտվել են նանոչափային կոմպլեմենտար-մետաղ-օքսիդ-կիսահաղորդիչ (ԿՄՕԿ) օպերատիվ ստատիկ հիշողության ասիմետրիկ հիշող բջիջների լավարկված սխեմաներ SAED EDK 28 նմ նախագծման նորմերով և 0,9 Վ սնման լարումով՝ ըստ հզորության կորստի և արագագործության: Առաջարկվել է նոր ուժեղարարի սխեմա, որը թույլ է տալիս տրամաբանական զրոն ասիմետրիկ հիշող բջիջից ընթերցել նույն ժամանակում, ինչ սիմետրիկ հիշող բջիջից:

Առանցքային բառեր. հիշող սարք, սիմետրիկ հիշողության բջիջ, ասիմետրիկ հիշողության բջիջ, կորստի հզորություն, ուժեղարար:

O.H. PETROSYAN, N.B. AVDALYAN

DEVELOPMENT AND MODELING OF ASYMMETRIC MEMORY CELLS WITH LOW LEAKAGE POWER AND HIGH SPEED

Nanoscale CMOS circuits of modified asymmetric SRAM cells with technological norms SAED EDK 28 nm and 0.9 V voltage supply for leakage power and performance are proposed and investigated. A scheme of a new amplifier, which allows to read a logical zero with asymmetric memory cell in the same time range, as in case of symmetric memory cell is proposed.

Keywords: memory, symmetric memory cell, asymmetric memory cell, leakage power, amplifier.

UDC 621.382

K.G. AYVAZYAN, S.KH. KHUDAVERDYAN

INVESTIGATION OF THE PARTIALLY SHADED PV SYSTEM PERFORMANCE

V-I and V-P characteristics of partially shaded solar station are experimentally investigated. It is shown that they have two and more local maximum power points. The presence of multiple peaks reduces the efficiency of the existing MPPT methods.

Keywords: solar station, shaded array, maximum power point.

Introduction. Photovoltaic (PV) systems are envisaged for direct conversion of solar energy into electrical energy. Solar energy is clean energy and safety for environment. The latter is a non-traditional power supply, which has a wide application in different fields of economy, science and engineering [1].

It is known that the main reasons for the low electrical efficiency of PV systems are the nonlinear variation of PV array output power with solar radiation levels, the operating temperature, the aging and load current. Since the PV array output power versus operating voltage or current has a convex property, there exists only one optimum operating point – Maximum Power Point (MPP). The MPP tracking (MPPT) is a method to let the controller operate at the peak power point so that the maximum power can be delivered to the load under varying temperature and solar insolation conditions.

Several MPPT schemes have been proposed by different authors [1-4]. Among them popular tracking schemes are perturb and observe or hill climbing, incremental conductance, short circuit current, open-circuit voltage and ripple correlation methods. Some modified techniques have also been proposed with the idea of reducing the hardware or improving the performance [5, 6]. The tracking schemes mentioned above are effective and time tested under uniform solar insolation, where only a single peak is present in V-P characteristics.

The shadow of PV array can cause undesired effects like decrease of real power generated from the PV systems. The problem of partial shading has been extensively treated in literature, on the one hand as a cause of hot-spot formation and PV cell damage [7,8], and, on the other hand, with the utilization of bypass diodes, as a cause of power loss due to average irradiation reduction and mismatch losses [9,10].

In this paper, the performance (V-I and V-P characteristics) of a partially shaded PV system is studied.

Experimental setup and procedure. The experimental PV system is composed of three similar PV modules connected in series. One PV module consists of 36 series connected to silicon poly-crystal solar cells. The maximum output voltage and current are respectively 21.1 V, 5.2 A and the maximum power output - 80 W.

The *experimental set up* is shown in Fig. 1. The PV system's load is simulated by using different resistors (R). Different sensors and the signal conditioning unit are used to measure voltage (V), current (I), temperature (T) and solar irradiance (F) of the PV system. These PV performance measurements are obtained using Data loggers with a computer that records data using Labview.

A solar simulator with a 3-phase lamp array is employed to imitate the necessary solar irradiation. The number of spotlights and their positions can be varied depending on the requirements of experiments. The intensity of the light source can be varied between 500 and 1000 W/m² without significant changes in the homogeneity of the irradiation field or in the spectrum. Black light-blocking different mesh materials with average transmittance of 30, 50, 60, 70, 80% (partially shaded condition of 70, 50, 40, 30 and 20% respectively) have been used for module shading. During the experiments, at least one solar module has been partially shaded. The measurements are recorded with the bypass diodes (D), connected across the shaded modules.

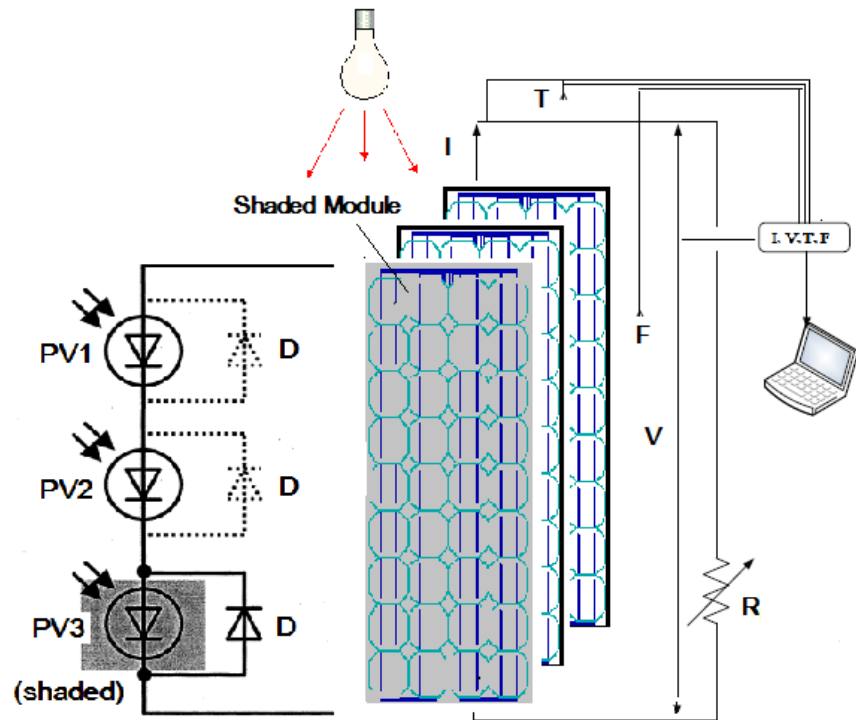


Fig. 1. Experimental setup

Results and discussion. In Fig. 2, an example of a PV system module performance in terms of V-I and V-P characteristics for different irradiance level uniform insolation is shown. The MPP point has also been marked in V-P characteristics.

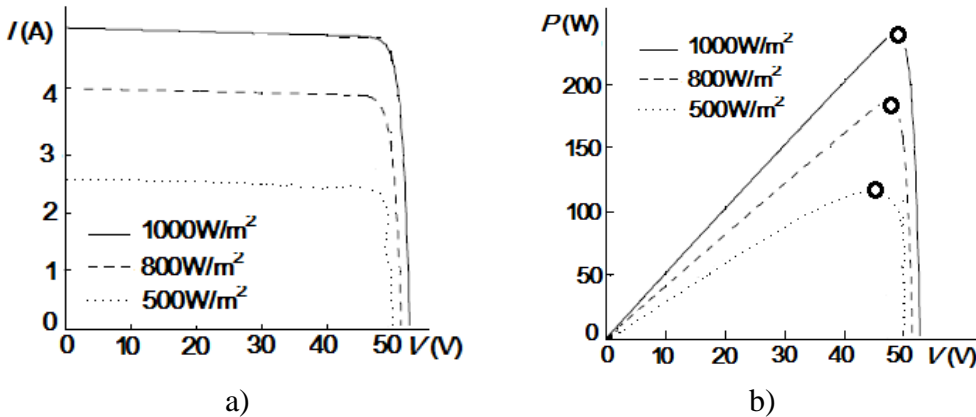


Fig. 2. V-I (a) and V-P (b) characteristics of a PV system for different irradiance level uniform insolation

As evidenced in Fig.2, since the V-I and V-P characteristics of the PV array, and hence its MPP changes as a consequence of the variation of the irradiance level, it is necessary to track continuously the MPP in order to maximize the power output from a PV system, for a given set of operating conditions.

Fig. 3 and 4 show the V-I and V-P characteristics of a PV system when one of the PV modules is under 50% and 20% partially shaded conditions respectively in irradiance 1000 W/m^2 .

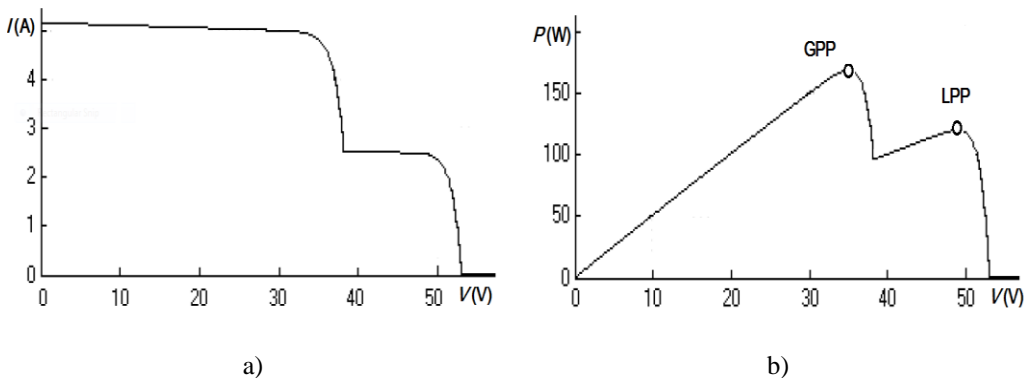


Fig. 3. V-I (a) and V-P (b) characteristics of a PV system when one of the PV modules is under 50% partially shaded conditions

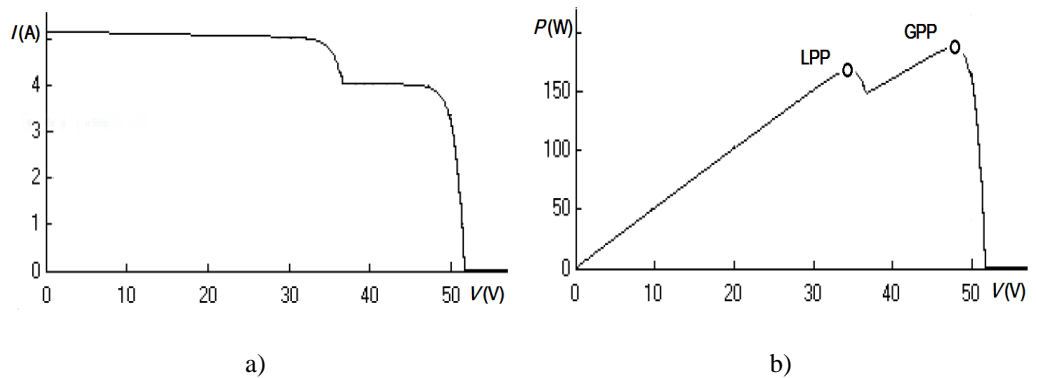


Fig. 4. V-I (a) and V-P (b) characteristics of a PV system when one of the PV modules is under 20% partially shaded conditions

From Fig. 3 and 4, it can be seen that the V-I characteristic has multiple steps and V-P characteristic has multiple peaks due to partial shading. Among the multiple peaks, one is global power point (GPP) and others are local power points (LPP). For example, where one of the PV modules is exposed to a 20% partially shaded condition (Fig. 4), the array presents a LPP at an operating voltage of 35 V and a GPP at 47 V. The PV system can generate output power of 165 W in the LPP operating condition. However, if the PV system is operated at the GPP, the power generation can be boost up to approximately 185 W. Should the MPPT bet on the wrong MPP, the output power loss due to shading would be 10.8%.

The table below summarizes the results of measurements. The output power losses of PV system operated at LPP compared to the trapped LPP are also tabulated.

Table

Shaded conditions (%)	GPP and LPPs operating voltage (V) and output power (W)			Output power losses (%)
	GPP	LPP 1	LPP 2	
PV1, PV2, PV3 - 0%	49V, 240W	-	-	0
PV1, PV2 - 0% PV3 - 20%	47V, 185W	35V, 165W	-	10.8
PV1, PV2 - 0% PV3 - 50%	35V, 165W	48V, 125W	-	24.3
PV1 - 0% PV2, PV3 - 50%	49V, 125W	18V, 75W	-	40.0
PV1 - 0%, PV2 - 30% PV3 - 40%	46V, 145W	30V, 105W	17V, 80W	44.8
PV1 - 0%, PV2 - 20% PV3 - 70%	31V, 120W	18V, 80W	47V, 65W	45.8
PV1, PV2, PV3 - 20%	48V, 190W	-	-	20.8

From the Table above it is seen that the number of peaks in the V-P characteristics is less than or equal to the number of zones receiving different insolation. For example, when PV2 and PV3 modules are exposed to various partial

shading, there are two LPPs and one GPP. In all cases, the partially shaded PV system, the output power even at GPP is significantly lower than the power at MPP for a non-shaded PV system - 240 W.

The results obtained can be explained clearly by reference to two PV modules connected in series with bypass diodes. In case of unbalanced generation, if we assume that the generation V-I characteristics of each PV module are as shown in Fig. 5(a), the output V-I and output V-P characteristics become as shown in Fig. 5(b). As load current increases from I_A to I_D , the output voltage, which is the sum of the output voltages of the respective PV modules, and the total generation power of these two PV modules change as follows.

- Operating point A: Each PV module generates power, but neither generates maximum power.
- Operating point B: The shaded module PV2 generates maximum power, but the non-shaded module PV1 does not generate maximum power.
- Operating point C: The non-shaded module PV1 generates power, but the shaded module PV2 does not generate any power, because the generation current flows through the bypass diode D.
- Operating point D: The non-shaded module PV1 generates some power, but the shaded module PV2 does not generate any power.

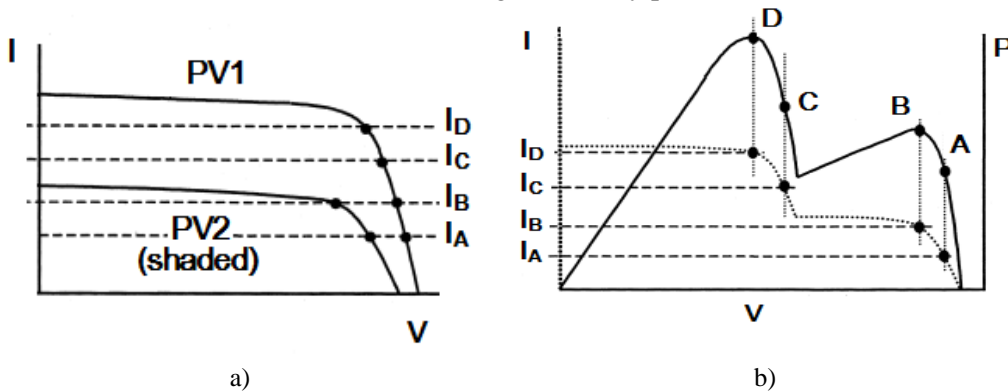


Fig. 5. Characteristics of series-connected PV modules (a) V-I of each module, (b) output V-I and V-P

Although only a two-module connection is described here, the mechanism by which power reduction occurs for multiple cells that are connected in series is similar to that for two-module connection. It's worth mentioning that without bypass diodes' performance the partially shaded PV system has one MPP, but the respective output power is essentially lower than that with the use of bypass diodes [10].

Conclusion. Thus, under a partially shaded insolation condition, with the use of bypass diodes, multiple peaks occur in the overall V-I and V-P characteristics. In this situation, the conventional (traditional) MPPT algorithm could fail to find out the actual GPP or even traps into one of the LPPs. Therefore, a considerable amount of possible PV system power is not utilized. Hence, the power should be optimized to crop the maximum power produced by the PV system.

REFERENCES

1. **Salas V., Olias E., Lazaro A.** Review of the Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand-Alone PV Systems// Solar Energy Materials & Solar Cells.-2006. - 90.-P. 1555.
2. **Xiao W., Ozog N., Dunford W.G.** Topology Study of Photovoltaic Interface for Maximum Power Point Tracking// IEEE Trans. Ind. Electron.-2007.- 54 (3).- P. 1696.
3. **Ayvazyan K.G., Barseghyan A.R., Kirakosyan L.G.** Development of Maximum Power Point Tracker for PV Applications// Proceedings of Engineering Academy of Armenia.- 2007.- 4, N⁰ 2.- P. 292-296.
4. **Ayvazyan K.G., Barseghyan A.R., Kirakosyan L.G.** On the Control of PV Maximum Power Point Tracker by Output Parameters// Proceedings of Engineering Academy of Armenia.-2009.- 6, N⁰ 3.- P. 445-452.
5. **Shen W.X.** Optimally Sizing of Solar Array and Battery in a Standalone Photovoltaic system// Renewable Energy. -2009.-34, N⁰ 1.- P. 348-352.
6. **Lijun G., Roger A.D., Shengyi L., Iotova A.P.** Parallel-Connected Solar PV System to Address Partial and Rapidly Fluctuating Shadow Conditions// IEEE Trans. On Ind. Electr. – 2009.- 56, N⁰ 5.- P.1548-1556.
7. **Ayvazyan K.G.** Operational Experience of PV Water Pumping System in Armenia// Proc. 26th European PV Solar Energy Conference. - Germany, Hamburg, 2011.- P. 4129-4131.
8. **Sree Manju B., Ramaprabha R., Mathur B.L.** Design and Modeling of Standalone Solar Photovoltaic Charging System// Int. J. of Computer Appl.-2011.- 18, N⁰ 2.- P.41-45.
9. **Silvestre S., Bornat A., Chouder A.** Study of Bypass Diodes Configuration on PV Modules//Applied Energy.-2009.- 86.- P. 1632-1640.
10. **Alonso-Garcia M.C., Ruiz J.M., Herrmann W.** Computer Simulation of Shading Effects in Photovoltaic arrays// Renewable Energy.- 2006.-31.- P. 1986-1993.

Կ.Գ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ս.Խ. ԽՈՒՂԱՎԵՐԴՅԱՆ

ՄԱՍՆԱԿԻՈՐԵՆ ՍՏՎԵՐՎԱԾ ՄԱՎԵՐԵՎՈՒՅԹՈՎ ԱՐԵՎԱՅԻՆ ԿԱՅԱՆԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Փորձնականորեն հետազոտվել են մասնակիորեն ստվերված մակերևույթով արևային կայանի վոլտ-ամպերային բնութագծերը և հզորության կորերը: Ցույց է տրվել, որ դրանք ունեն երկու և ավելի տեղային առավելագույն հզորության կետեր, որոնք հանգեցնում են այդ կետերին հետևելու հայտնի մեթոդների արդյունավետության փոքրացմանը:

Առանցքային բաներ. արևային կայան, ստվերված մակերևույթ, առավելագույն հզորության կետ:

К.Г. АЙВАЗЯН, С.Х. ХУДАВЕРДЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОЙ СТАНЦИИ С ЧАСТИЧНО ЗАТЕНЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Экспериментально исследованы вольт-амперные и мощностные характеристики солнечной станции с частично затененной поверхностью. Показано, что в этих характеристиках образуются две и более локальных точек максимальной мощности, что уменьшает эффективность существующих методов слежения за точкой максимальной мощности.

Ключевые слова: солнечная станция, затененная поверхность, точка максимальной мощности.

UDC 541.124.2

**V.V. BUNIATYAN, N.V. MARTIROSYAN, A.M. KHALILI,
V.R. KHACHATRYAN**

SENSORIAL PROPERTIES OF FERROELECTRICS

Mg-doped (Ba,Sr)TiO₃ based field effect capacitive electrolyte-insulator-semiconductor (EIS) sensors on a Si/SiO₂ structure are presented. In this study, the first proposed (Ba,Sr)<Mg>TiO₃ ceramic targets has been prepared by SHS (self-propagating high-temperature synthesis) method and (Ba,Sr) <Mg>TiO₃ membranes for the EIS structure as a pH sensitive layer is fabricated by PLD (pulsed laser deposition) method. The results show the possibility to use (Ba,Sr) <Mg>TiO₃ perovskite oxides as a sensing material for potentiometric pH sensors.

Keywords: Barium-strontium titanate, SHS, capacitive EIS, pH response.

Introduction. The perovskite oxides A_{1-x}A_x'BO_{3-b} have been used in many applications. These include high density DRAMs, non-volatile FeRAMs, ferroelectric FETs, SOFCs, voltage-tunable capacitors, microwave electronic components, Film Bulk Acoustic Wave Resonators, micro devices with pyroelectric and piezoelectric microsensors and actuators, etc. [1-4]. Due to the presence of oxygen vacancies and ionic conductance, perovskite oxides have a high catalytic activity to oxygen reduction and oxidation, and thus are suitable for a large variety of sensor applications: magnetic sensors, pyroelectric detectors, optical memories and electro-optic modulators, microwave capacitors, solid-oxide fuel cells, as a sensing material in oxygen, carbon monoxide, hydrocarbon, nitrite oxide, humidity, ethanol, hydrogen peroxide, and other sensors [5-7].

In recent years many pH-sensitive materials, such as, SiO₂, Si₃N₄, Al₂O₃, Ta₂O₅, WO₃, SnO₂, PbTiO₃, A_{1-x}A_x'BO_{3-b}, ZrO₂, AlN, TiN etc. have been investigated [see Ref. 8 and references therein]. (Ba,Sr)TiO₃ is one of the most famous ferroelectrics in all perovskite-structural oxides due to its large nonlinear optical coefficients, large dielectric constants, thermal stability and higher catalytic properties. However, its properties strongly depend on the structure and finite size, so controllable preparation of crystalline size and thin film have been focused on in order to improve device capability. While their ferroelectric, pyroelectric, piezoelectric, microwave and electro-optic properties have been well studied [1-4], very little has been known so far about the behavior of high-k BS<Mg>T thin films in electrolyte solutions and their application for (bio-)chemical sensors.

Most of the reported studies on A_{1-x}A_x'BO_{3-b} perovskite oxides indicate that pure and acceptor-doped samples show a change from n- to p-type with increasing of

oxygen partial pressure, P_{O_2} . This change depends on temperature, P_{O_2} , and the type and content of acceptor and donor impurities. Therefore, by means of the substitution of divalent or trivalent dopants of small ionic radius at the Ti sites, the p-type of (Ba,Sr)TiO₃ can be expanded and in this way, it is possible to control the sensitivity of (Ba,Sr) <Mg>TiO₃ membranes to different species. Moreover, it is stated, that annealing at very low $P(O_2)$ leads to a relatively high n - type conductivity where as at high $P(O_2)$ a low conductivity is obtained [1,8,9]. As noted in Ref. [4,10,11], in perovskites with the ABO₃ structure (such as BaSrTiO₃), the valence band is mainly O p – states, and the lowest conduction band consist of the d – states on the B ion Ti. The states of the A ion (Ba, Sr) lie much higher in the conduction band, well above the band gap, so this ion is fully ionized. When BaSrTiO₃ is doped with MgO and the content of MgO is small, it can be assumed that the Mg replaces Ti in the BaSrTiO₃ lattice because Mg²⁺ and Ti⁴⁺ at six coordinated conditions have approximately the same ionic radius. For a low Mg content, an oxygen molecule of the gas phase is incorporated into the Mg-controlled oxygen vacancies in BaSrTiO₃, i.e. $O_2 + 2V_O'' \leftrightarrow 2O_O^x + 4h^*$, where h^* represents a hole, V_O'' is the oxygen vacancies concentration, and for this case the approximate condition of charge neutrality will be: $[Mg_{Ti}'] \approx [V_O'']_{ext.}$, where $[V_O'']_{ext.}$ represents the extrinsic concentrations of oxygen vacancies. As it follows from this, by means of Mg it is possible to change the concentration of oxygen vacancies and thus the sensing properties of materials, because the sensing principle of these materials is mainly related to the catalytic oxidation of the compounds to be detected in the presence of the oxygen vacancies in perovskite oxides.

On the other hand, it is well known that the traditional preparation method of perovskite-type powders is solid-state reaction at high temperature. But, conventional ceramic technique has some obvious disadvantages [11- 13]. It is difficult to prepare high purity ceramic material with homogeneous distribution of component and pores, with the given or desired sthoichiometrics of components. Secondly, it always needs very high temperatures (> 1200 °C) to sinter the material. The pellets were heated at 1073 K for 6 h and 1423 K for 10h in a Pt crucible [12]. After grinding, the reaction products were pressed into pellets of 5 or 10 mm in diameter at pressure of 25 MPa. They were heated at 1773 K for 10 h. As it can be seen from this example, to create ceramic targets we need about 16 h and high temperatures.

The aim of this work is twofold. For the fabrication of (Ba,Sr) <Mg>TiO₃ based ceramics in contrast to well-known traditional methods, we have presented the results of a new cost effective method: High-Temperature Self-Propagating Synthesis (SHS) method is first performed [14, 15]. The SHS is a relatively novel and simple route for the synthesis of a variety of advanced materials, including borides [16, 17],

carbides [18,19-22], perovskite oxides [20], nitrides, silicides [18], aluminides, intermetallics, etc. In a SHS process, a highly exothermic combustion of a powder mixture is locally initiated from the sample surface with a heat flux (heated wire, electric spark, laser beam, etc.). After initiation, the reaction proceeds in the mode of self-propagation forming a high temperature front that propagates and transforms the reactants into products. In the case of the SHS method (in comparison, for instance, with the above cited [12] case), for the synthesis of BST powders, it doesn't need to pressure raw materials, it needs only mixture and start of combustion. The process takes place only for a few seconds. After being obtained, the BST products have been ground and pressed into pellets of 20 mm in diameter and 15 mm in height and heated at 1350 °C for 4.5 h only. A natural cooling is used after this thermal treatment and the pellets are quenched to room temperature in the air.

Secondly, the possibilities and perspectives of using (Ba,Sr)TiO₃ based field-effect capacitive EFIS (electrolyte-ferroelectric-insulator-semiconductor) structures as a pH-sensitive sensor with thin-film perovskite-oxide prepared by pulsed laser deposition (PLD) technique are also reported.

1. Preparation of BS<Mg>T targets. Perovskite-oxide targets of different composition [e.g., Ba_{0.31}Sr_{0.69}TiO₃, Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO₃, Mg-doped Ba_{0.8}Sr_{0.2}Mg_{0.1}Ti_{0.9}O₃] are prepared by SHS technology according to Fig.1.

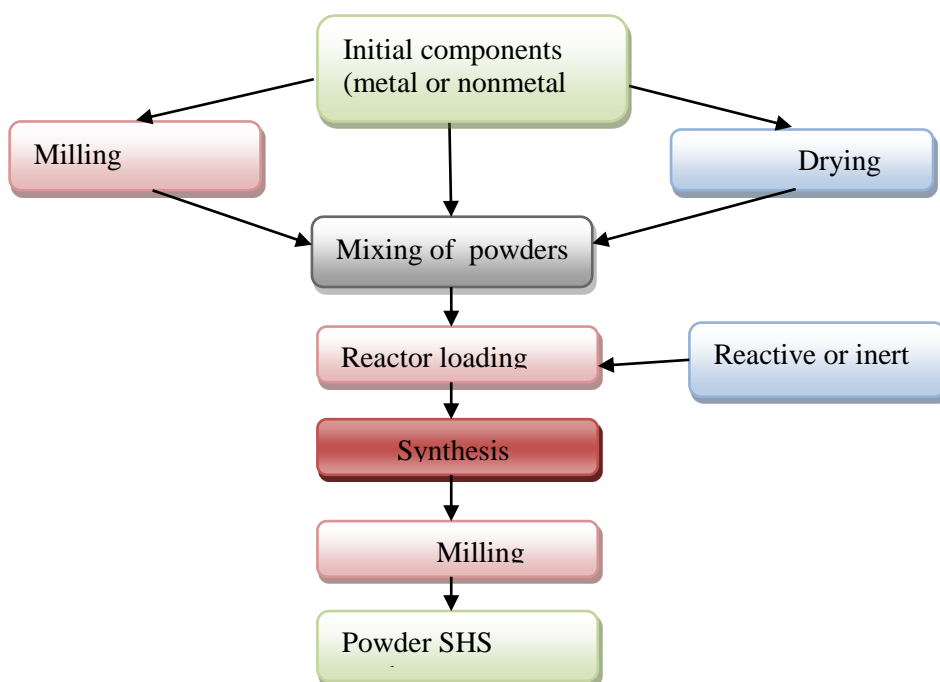
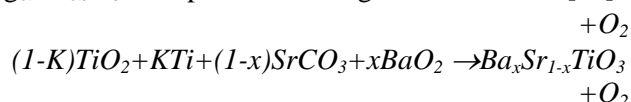


Fig. 1. Flow chart of the SHS process for the fabrication of BST targets

The raw materials were milled with the diameters of grains of about 5...10 μm , dried, mixed and carried out through the SHS process. Then the synthesized products of SHS are again milled with the diameters of grains of about 0,55 μm , pressed into pellets of 20 mm in diameter and 15 mm in height at the pressure of 4.5 ton/cm^2 . The pellets were heated at 1350 $^\circ\text{C}$ for 4.5 h. Using oxygen as an oxidant and the Ti as a fuel (usually the metals which are included in the given complex oxide composition are applied) provide combustion temperatures at the 1400-1800 $^\circ\text{C}$ and wave front propagation velocities of (1...4) mm/s , respectively. The SHS process of $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$ and $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{Mg}_{0,1}\text{Ti}_{0,9}\text{O}_3$ take place according to the reactions [20]:



$K\text{Ti} + (0,9-K)\text{TiO}_2 + 0,8\text{BaO}_2 + 0,2\text{SrCO}_3 + 0,1\text{MgO} \rightarrow \text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{Mg}_{0,1}\text{Ti}_{0,9}\text{O}_3$,
where K is the coefficient of exothermicity of the reaction.

The amount of Ti, as a fuel in the starting mixture varies in the range 0–60 wt.% for the $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{Mg}_{0,1}\text{Ti}_{0,9}\text{O}_3$.

The process of wave propagation for BST synthesis is characterized by:

- front propagation (burning) velocity (0.1...2.0 mm/s),
- maximum combustion temperature (1300...1600 K),
- heating rate in the combustion front ($10^3 \dots 10^4$ K/s).

The propagation speed of the reaction depends on the physical (thermal conduction of green mixture, green density, the pressure of the external gases, shape and size of the powder, combustibility, amount of fuel, etc.), chemical, (stoichiometric ratio, humidity of the powder, the concentration of other mixtures in the powder, etc.), thermodynamic (amount of fuel, thermal capacity, initial temperature, etc.) and technological (uniform mixing and milling of the mixture components, particle size, activation level of the powders, etc.) parameters.

The threshold amount of the fuel (Ti for BST) is about 16%. The reaction front velocity increases with sample green density and initial temperature. It is clear that when the sample density increases, the intimate contact between the reactant particles is augmented, thus, enhancing the reaction and consequently increasing the propagation rate of the combustion front. The thermal conductivity of the reactant compact also increases with sample density, which can lead to a bigger loss of heat by conduction from the reaction zone and therefore can cause a decrease in the reaction rate [18]. Perovskite-oxide thin films (40...10 nm thick) of different composition (e.g., $\text{Sr}_{0,61}\text{Ba}_{0,39}\text{Nb}_2\text{O}_6$, $\text{Ba}_{0,25}\text{Sr}_{0,75}\text{TiO}_3$, $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{Mg}_{0,1}\text{Ti}_{0,9}\text{O}_3$) are prepared onto a Si-SiO₂ substrates (*p*-Si, $\rho=5\text{-}10 \Omega\text{cm}$; 50nm SiO₂, chip sizes: 10x10 mm²) by PLD technique using the targets fabricated by the SHS method. The main advantages of the PLD technique are high flexibility, compatibility with the silicon planar technology, the controlled deposition of multi-component compositions as perovskite oxides in a defined stoichiometry as well as the short deposition time due to the high growth rates

[12,13]. Moreover, the thin-film preparation can be performed in various atmospheres (e.g., O₂, N₂) at elevated temperatures up to 1200°C. The BST films are deposited at 400 °C in an oxygen ambient (2x10⁻³ mbar) using a KrF excimer laser with a wavelength of 248 nm. The laser pulse length, frequency and fluence are 20 ns, 10 Hz, and 2.5 J/cm², respectively. Before the PLD-growth, a 300 nm thick Al film was deposited on the rear side of the chip as a contact layer. For details of PLD process see, e.g. [20-25].

2. Preparation of EFIS sensors and measurement set-up. The prepared perovskite-oxide nano-layers have physically been characterised (thickness, morphology, homogeneity, composition) by means of ellipsometry, scanning-electron microscopy (SEM), Rutherford backscattering spectrometry (RBS) and X-ray diffraction analysis (XRD) methods. As an example, Fig. 2-5 show the SEM picture of BST ceramics, cross-section of a BST-SiO₂-Si layer structure after PLD, as well as RBS spectrometry picture and sensor build.

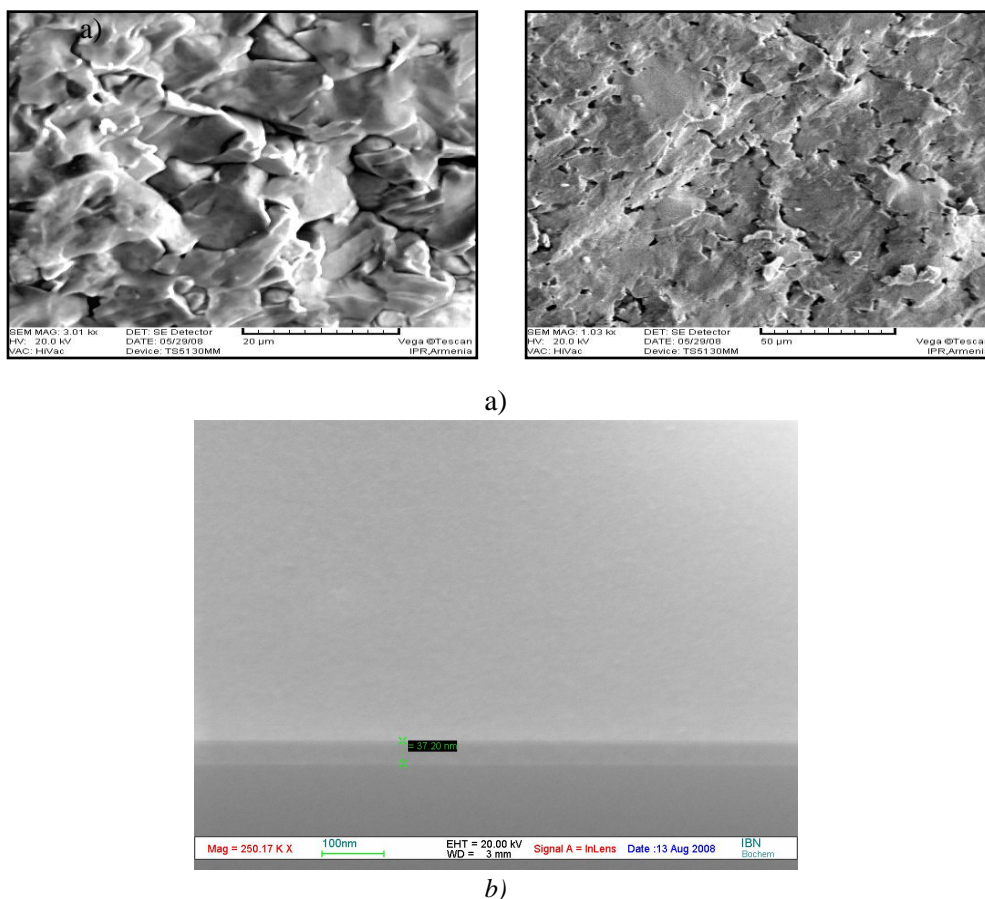


Fig. 2. SEM picture of BST ceramics (a) and cross-section of a Ba_{0.8}Sr_{0.2}Mg_{0.1}Ti_{0.9}O₃-SiO₂-pSi layer structure (b) after PLD

There is an increased demand for selective, sensitive, time domain chemical sensors for physiological environments, primarily due to the interest in human health care and the need for new drug discovery. Almost all chemical and biochemical reactions involve a process in which the acidity (pH) is subjected to relatively small changes, sometimes, even momentarily. In real physiological media, the problem is made complicated by the fact that the pH changes have to be detected in volumes that are relatively small.

The pH-sensitive properties of field-effect EFIS sensors were tested in buffer solutions from pH 3 to pH 11 by means of capacitance-voltage (C-V) method using an impedance analyzer (Zahner Elektrik)

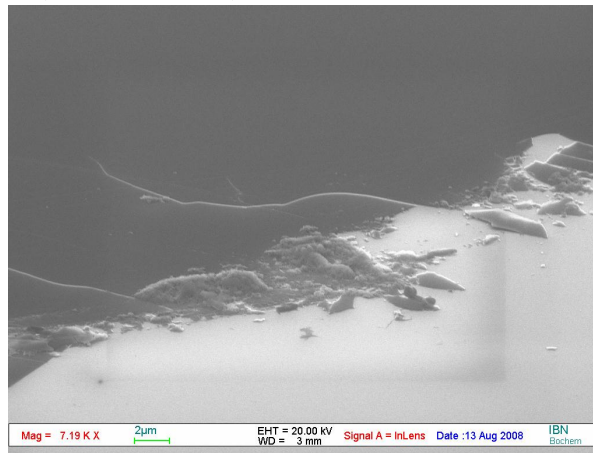


Fig. 3. The SEM picture of $Ba_{0.8}Sr_{0.2}Mg_{0.1}Ti_{0.9}O_3-SiO_2-Si$ surface after measurements as pH sensor.

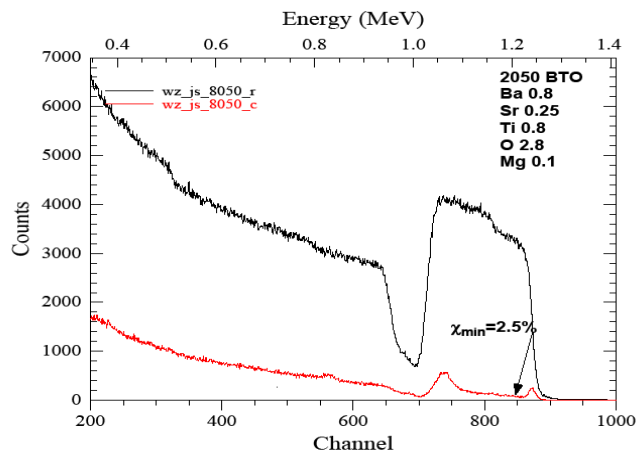


Fig. 4. RBS/channeling measurements of $Ba_{0.8}Sr_{0.2}Mg_{0.1}Ti_{0.9}O_3$

The measurement set-up for the electrochemical characterisation of EFIS sensors and schematic layer structure is presented in Fig.6. For the measurements, the EFIS sensor is mounted into a home-made measuring cell, sealed by an O-ring and contacted on its front side by the electrolyte and a reference electrode - on its rear side by a gold-plated pin. A conventional liquid-junction Ag/AgCl electrode is used as a reference electrode

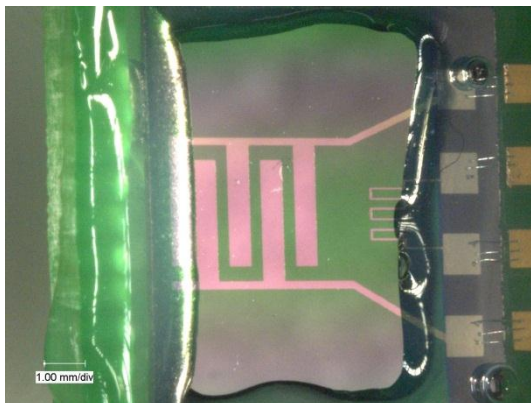


Fig. 5. The $Ba_{0.8}Sr_{0.2}Mg_{0.1}Ti_{0.9}O_3$ based sensor picture

For operating an EFIS sensor, a dc polarisation voltage is applied via the reference electrode to set the working point in the depletion range of the capacitance-voltage curve, and a small superimposed ac voltage with an amplitude of 20 mV is applied to measure the capacitance of the sensor. All potential values are referred to an Ag/AgCl electrode.

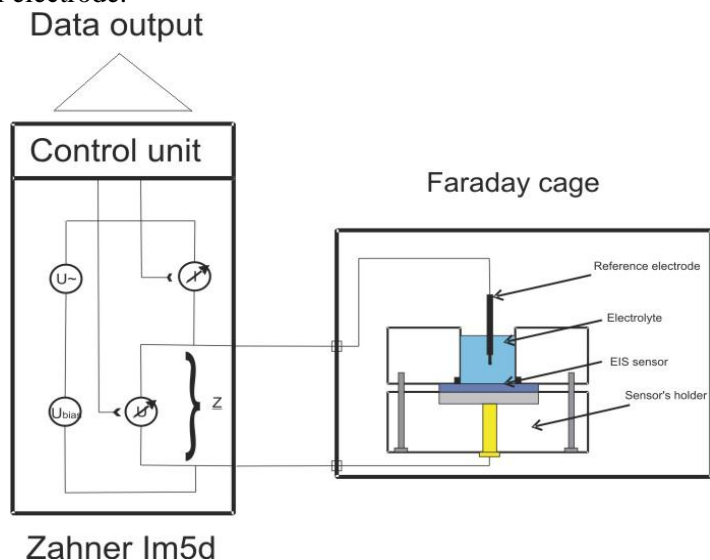


Fig. 6. Measurement setup for electrochemical characterization of EIS sensor.
pH sensitivity of EFIS sensor with BST films

The side walls and backside contact of the EFIS sensor chip were protected from the electrolyte solution by means of an O-ring, thus, avoiding the complicated encapsulation process. The contact area of the EFIS sensor with the solution was about 0.5 cm^2 . The measurements have been performed in a dark Faraday cage at room temperature. Fig. 7(a,b) depicts a typical set of C-V curves for an EFIS sensor with a 40 nm thick $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Mg}_{0.1}\text{Ti}_{0.9}\text{O}_3$ layer measured in Titrisol buffer solutions with different frequencies and pH values from pH 11 to pH 3. As expected, with pH decreasing, the C-V curves are shifted along the voltage axis in the direction of more negative flat-band voltage due to the change of the additional potential drop at the electrolyte/BST interface. Similar behaviour has been observed for an EFIS sensor with a $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Mg}_{0.1}\text{Ti}_{0.9}\text{O}_3$ film as pH-sensitive gate material. The calibration curve of the sensor evaluated from the linear region of the C-V curves at ~60% of the maximum capacitance is shown in Fig.7(c). The EFIS sensors with different ($\text{Ba}_{0.25}\text{Sr}_{0.75}\text{TiO}_3$, $\text{Ba}_{0.31}\text{Sr}_{0.69}\text{TiO}_3$, $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Mg}_{0.1}\text{Ti}_{0.9}\text{O}_3$) films show an average pH sensitivity of 45...50 mV/pH (Table). For some of the samples, a pH sensitivity of 56...58 mV/pH has been observed that is comparable with pH-sensitivity values reported for Si_3N_4 (46...56 mV/pH), Al_2O_3 (4...957 mV/pH) and Ta_2O_5 films (55...59 mV/pH), which have often been utilised as pH-sensitive transducer material in ion-sensitive field-effect transistors [18,20-25].

The mechanism of the pH sensitivity of BST films can be explained by the protonation/deprotonation of hydroxyl groups at the BST surface according to the well-known site-binding model [20]. The resulting pH-dependent electric surface charge of BST leads to a modulation of the space-charge capacitance in the Si, thus, generating a pH-dependent sensor signal that, in fact, was observed during the C-V measurements.

Conclusions. The obtained results can demonstrate the suitability of the PLD-prepared BST films as alternative gate material for capacitive field-effect pH sensors based on an electrolyte-insulator-semiconductor system. The main advantages of EFIS sensors are: simple structure, ecologically clean and cost-effective synthesis of BST targets of desired composition and doping elements by means of the SHS technology. Future experiments will be focussed on a detailed investigation of hysteresis effects in EFIS sensors as well as on the development of enzyme-modified field-effect EFIS sensors by using the high catalytic properties of BST films.

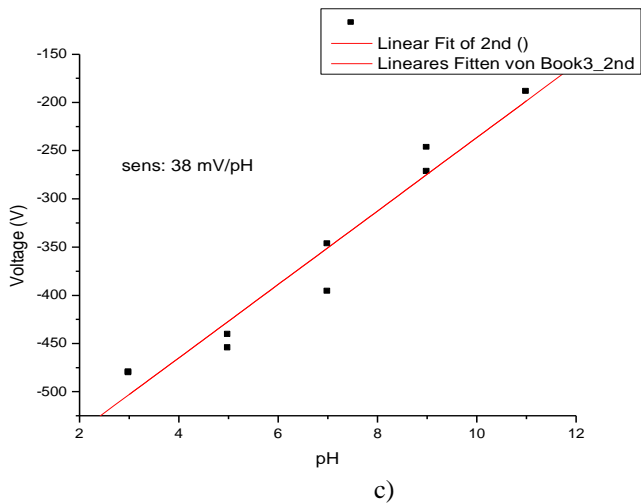
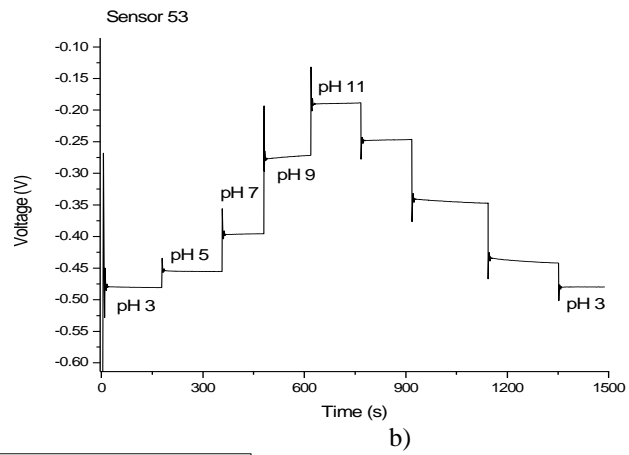
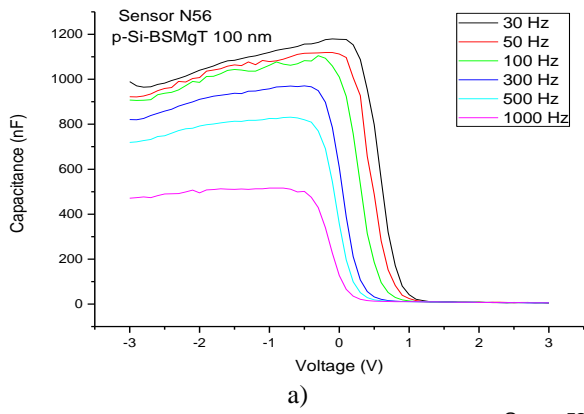


Fig.7. Typical set of C-V curves for different frequencies (a, pH=7), and a set of C-V curves for a different pH (b, f=100Hz) and calibration curve (c) for an EFIS sensor with a 40 nm thick $Ba_{0.8}Sr_{0.2}Mg_{0.1}Ti_{0.9}O_3$ layer measured in Titrisol buffer solutions with different pH values from pH 11 to pH 3

Table

N sample	Structure BST d=100nm SiO ₂ h=50nm	CV pH sens. mV/pH	ConCa pH sens. mV/pH f=100Hz
56	Ba _{0.8} Sr _{0.2} Mg _{0.1} Ti _{0.9} O ₃ /pSi	28	(after 1 month) 50
53	Ba _{0.8} Sr _{0.2} Mg _{0.1} Ti _{0.9} O ₃ /SiO ₂ /pSi	38	38
39	Ba _{0.25} Sr _{0.75} TiO ₃ /SiO ₂ /pSi	58	28
40	Ba _{0.25} Sr _{0.75} TiO ₃ /SiO ₂ /pSi	60.5	36
41	Ba _{0.25} Sr _{0.75} TiO ₃ /pSi	37.5	26
46	Ba _{0.31} Sr _{0.69} TiO ₃ /SiO ₂ /pSi	59	37.5
47	Ba _{0.31} Sr _{0.69} TiO ₃ /SiO ₂ /pSi	50	25.3
49	Ba _{0.31} Sr _{0.69} TiO ₃ /pSi	45	36

Acknowledgments. This work is carried out in framework of “Micro- & nanoelectronic” laboratory research Project N10.

REFERENCES

1. Ferroelectric materials for microwave tunable applications / **A.Tagantsev, V. Sherman et al** // J. Electroceramics.- 2003.- 11.- P.5-66.
2. Ferroelectric thin films: review of materials, properties, and applications / **N. Setter, D. Damjanovic, L. Eng et al** // J. Appl. Phys.-2006.- 100.-051606-66.
3. **Skinner S.J.** Recent advances in perovskite-type materials for SOFC cathodes // Fuel Cells Bull. - 2001.- 4. - P.6-12.
4. Fabrication of SrTiO₃ field-effect transistors with SrTiO_{3-δ} source and drain electrodes / **T. Sato, K. Shibuya, T. Ohnishi et al** // Jap. J. Appl. Phys. -2007.- 46.- L515-L518.
5. CO/HC sensors based on thin films of LaCoO₃ and La_{0.8}Sr_{0.2}CoO₃ metal oxides / **F.L. Brosha, R. Mukundan, D.R. Brown et al** // Sens. Actuators B 69.-2000.- P.171-182.
6. A high performance ethanol sensor based on field-effect transistor using a LaFeO₃ nanocrystalline thin-film as a gate electrode / **S. Zhao, J.K.O. Sin, B. Xu et al** // Sens Actuators B44.- 2000.-P. 83-87.
7. Bismuth ferrites: New materials for semiconductor gas sensors / **A.S. Poghossian, H.V. Abovian, P.B. Avakian et al** // Sens Actuators B 4.- 1991.- P. 545-549.
8. **Poghossian A., Schöning M.J.** Silicon-based chemical and biological field-effect sensors. in Grimes // Encyclopedia of Sensors. American Scientific Publishers, Stevenson Ranch (USA).- 2006.- Vol. 9.- P. 463-533.

9. **Agarwal S., Samanta S.B., Shara G.L.** Influence of pH on structural and electrical properties of sol-gel derived (Ba,Sr)TiO₃ thin films under humid conditions // *Thin Solid Films* 447-448.- 2004.- P. 502-508.
10. **Anh D.T.V., Olthuis W., Bergveld P.** Sensing properties of perovskite oxide La_{0.5}Sr_{0.5}CoO₃ obtained by using pulsed laser deposition // *Sens. Actuators B* 103.- 2004.- P.165-168.
11. A new perovskite phase Li_{2x} Ca_{0.5-x}TaO₃: Li⁺ ion conductivity and use as pH sensor /**Q.N.Phan, C. Bohnke, J. Emery, et al** // *Solid State Ionics*.- 2005.- 176.- P.495-504.
12. **Jan S.S., Chen Y.C., Chou J.C.** Effect of Mg²⁺-dopant on the characteristics of lead titanate sensing membrane for ion-sensitive field-effect transistors // *Sens. Actuators B* 108.- 2005.- P.883-887.
13. pH-sensitive properties of barium strontium titanate (BST) thin films prepared by pulsed laser deposition technique /**V.V. Buniatyan, M.H. Abouzar, N.W. Martirosyan et al** // *Phys. Status Solidi A* 207.- 2010.- N 4. – P.824–830.
14. Fabrication and investigation of Ba_{0.25}Sr_{0.25}TiO₃ ceramic targets by SHS for microelectronics application / **N.W. Martirosyan, V.V. Buniatyan, P.B. Avakyan, et al** // *Proc. IX Int. Symp. On SHS.-T3-P05*.- July, 2007.
15. SHS of ferrite powders for toners / **N.W. Martirosyan, P.B. Avakyan, V.V. Buniatyan, et al** // *Proc. Int. Conf. on Nonisothermal Phenomena and Processes*, 27 November-1 December. - 2006.-P. 117.
16. **Merzhanov A.G.** Solid flames: Discoveries, concepts, and horizons of cognition // *Combust. Sci. Technol.* - 1994.- 98.- P.307-336.
17. Oxygen vacancy affect on ferroelectric characteristics /**V.V. Buniatyan, N.W. Martirosyan, V.K. Begoyan, et al** // *Proceed. of Engineering Academy of Armenia (PEAA)*. Part 1.- 2011.-V.8, N.2.- P.376-381.
18. Oxygen vacancy affect on ferroelectric characteristics /**V.V. Buniatyan, N.W. Martirosyan, V.K. Begoyan, et al** // *Proceed. of Engineering Academy of Armenia (PEAA)*. Part 2. – 2011.- V.8, N.3.- P.542-429.
19. Combustion synthesis of advanced materials: principles and applications / **Varma, A.S. Rogachev, A.S. Mukasyan, et al** // *Adv. Chem. Eng.*- 1998.- 24.-P. 79-226.
20. Epitaxial BaTiO₃ thin films on MgO /Ch. Buchal, L. Beckers, A. Eckau et al // *Mat. Sci. Eng. B* 56.- 1998.- P.234-238.
21. **Schöning M.J., Poghossian A.** Recent advances in biologically sensitive field-effect transistors (BioFETs) // *Analyst*.-2002- 127.-P.1137-1151.
22. **Poghossian A., Schöning M.J.** Detecting both physical and (bio-)chemical parameters by means of ISFET devices // *Electroanalysis*.-2004.-16.-P.1863-1872.
23. **Zhou Z. X., Sorensen O.T., Xu Y.** Defect structure and oxygen sensing properties of Mg-doped SrTiO₃ thick film sensors // *Sensors and Actuators B*41.-1997.-P.177-182.
24. **Kuehn M., Kliem H.** Simulation of heterogeneous nanodielectrics Using the Local Field method // *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*.-2005.-V.12, N4.-P.844-853.
25. Can pulsed laser deposition serve as an advanced technique in fabricating chemical sensors /**M. J. Schöning, Yu.G. Mourzina, J. Schubert et al** // *Sens. Actuators B* 78.-2001.-P.273-278.

**Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱԹՅԱՆ, Ն.Վ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ա. ԽԱԼԻԼԻ ՄՈՎԱՄՄԱԴ,
Վ.Ռ. ԽԱԶԱՏՐՅԱՆ**

ՖԵՐՈԷԼԵԿՏՐԻԿՆԵՐԻ ՍԵՆՍՈՐԱՅԻՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ներկայացված են Si/SiO₂ –ի հարթակով դաշտային երևույթով աշխատող Mg-ով հարստացված (Ba,Sr)TiO₃-ի հիման վրա ունակային էլեկտրոլիտ-մեկուսիչ-կիսահաղորդիչ կառուցվածքով (ԷՄԿ) սենսորները: Առաջին անգամ առաջարկված (Ba,Sr)<Mg>TiO₃ կերամիկական թիրախները ստացվել են ինքնատարաձվող բարձրջերմաստիճանային սինթեզի (ԻԲՍ) եղանակով, իսկ (Ba,Sr) <Mg>TiO₃ թաղանթները ԷՄԿ կառուցվածքում, որպես pH-ի զգայուն շերտ, պատրաստվել են իմպուլսային լազերային փոշեցրման (ԻԼՓ) մեթոդով: Ստացված արդյունքները հաստատում են, որ (Ba,Sr)<Mg>TiO₃ պերովսկիտային օքսիդները կարելի է օգտագործել որպես պոտենցիոմետրական pH-սենսորների զգայուն նյութ:

Առանցքային բաներ. բարիում-ստրոնցիում տիտանատ, ինքնատարաձվող բարձր-ջերմաստիճանային սինթեզ (ԻԲՍ), ունակային էլեկտրոլիտ-մեկուսիչ-կիսահաղորդիչ, սենսոր, pH արձագանք:

**В.В. БУНИАТЯН, Н.В. МАРТИРОСЯН, А. ХАЛИЛИ МОГАММАД,
В.Р. ХАЧАТРЯН**

СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА ФЕРРОЭЛЕКТРИКОВ

Представлены Mg –легированные на базе (Ba,Sr)TiO₃ емкостные сенсоры со структурой электролит–диэлектрик–полупроводник (ЭДП) с полевым эффектом с подложкой из Si/SiO₂. Впервые предложенные керамические мишени (Ba,Sr)<Mg>TiO₃ получены методом СВС. В качестве чувствительного слоя методом лазерно-импульсного напыления изготовлены пленки (Ba,Sr) <Mg>TiO₃ в ЭДП структуре. Полученные результаты подтверждают, что оксид перовскида (Ba,Sr)<Mg>TiO₃ можно использовать в качестве чувствительного материала в потенциометрических pH - сенсорах.

Ключевые слова: титанат бария-стронция, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), емкостной электролит-диэлектрик-полупроводник, сенсор, pH реакция.

UDC 621.382

O.H. PETROSYAN, V.P. GRIGORYANTS

DESIGN OF LOGIC ELEMENTS BY MULTI-THRESHOLD FORMAL NEURONS

In this paper digital logic elements are implemented by designed multi-threshold formal neuron, which has several advantages over the known formal neuron. The designed multi-threshold formal neuron has more than one threshold, which gives the opportunity to implement all Boolean logic operations. The designed circuit, based on CMOS, has been simulated by HSPICE software.

Keywords: multi-threshold formal neuron, logic element, CMOS, activation function, simulation.

Introduction. Neural computing is now recognized as a useful paradigm in engineering. Complex non-linear problems that conventional methods fail to solve can often be addressed by artificial neural networks, almost always implemented in software. The platform on which the algorithm is to be run is normally not taken into account during the design stages. Clearly, the algorithms and the physical means by which they will be implemented in order to support the targeted application are not tightly coupled [1].

In contrast, some consider the physical nature of the computational elements required by their algorithms from the early stages of a design. Such work stems from the premise that neural algorithms in biological systems are significantly shaped by the potentials and limitations of the physical substrate on which they are implemented (wetware). Neural hardware researchers can also benefit from viewing the physical properties of materials inherent to electronics as opportunities to exploit in order to carry out neural-like computations.

Arithmetic related operations such as, for example, addition and multiplication constitute a large portion of the functionality of any digital computer system. Traditionally, these operations are implemented using switching elements, or logic gates, that perform NOT, (N)AND, and (N)OR, which are fundamental Boolean Logic operations. But they can be also implemented by other logic, such as threshold logic, on which formal neuron is constructed [2].

Formal neuron. Formal neuron is mathematical model of biological neuron. There are a lot of formal neuron models, which differ from each other by activation functions. To implement Boolean Logic operation, it is needed to use digital model of formal neuron with binary step activation function, because other activation functions are analog [3-7]. The operation of the formal neuron with binary step activation function can be described as follows: it computes the weighed sum of the inputs, and compares this value to a certain threshold value; the output is a logical 1 if the weighed sum is equal or higher than the threshold, and a logical 0 otherwise. The formal representation of this function is given below:

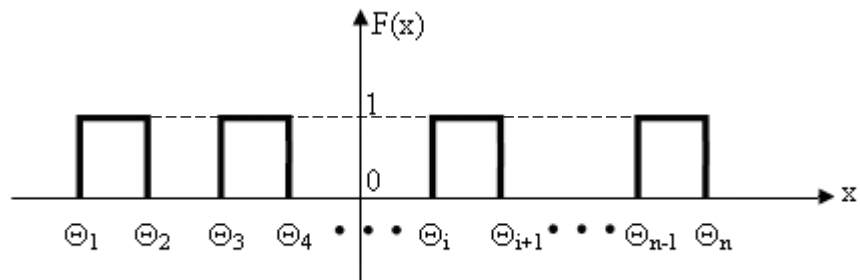
$$F(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n) = \text{sign} \left\{ \sum_{i=1}^n \omega_i x_i - \Theta \right\},$$

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x < 0, \\ 1, & \text{if } x \geq 0, \end{cases}$$

where the inputs of the formal neuron are given by $X=(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$, the weights are given by $\Omega=(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_3, \dots, \omega_n)$, and the value Θ represents the threshold of the formal neuron, n is a number of inputs. As it has already been mentioned $\text{sign}(x)$ is activation function for the formal neuron [3-4].

Formal neurons can also be classified by mean of input (presynaptic) interaction. It is a very important property, which the formal neuron has, because without presynaptic interaction the formal neuron can implement only linearly separable functions, it cannot implement for example (N)XOR Boolean function. But with presynaptic interaction formal neuron it is needed to have at least one logic gate, such as AND, OR as well as one additional weight (input) [3-4]. So, speaking from the circuit design point of view, this kind of implementation will bring circuit component and connectivity redundancy.

Designed multi-threshold formal neuron. In this paper a neural hardware was designed, which implements all Boolean Logic operations. Comparison with known formal neuron, designed multi-threshold formal neuron (MTFN) can implement all logic gates functionalities without any presynaptic interaction. It was done by using more than one threshold value. The designed circuit and its working principle as well as the base simulations results can be found in our works [8, 9]. In those works authors have already substantiated the advantages of the designed MTFN circuit, so here are presented the base concept of designed formal neuron, and designed logic gates functionalities based on the developed circuit. So, below are presented activation functions of designed MTFN. It can have the view shown either in fig. 1a, or in fig. 1-b, or the combination of these two functions.



$$F(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } \Theta_i \leq x < \Theta_{i+1}, i = 1, 3, 5, \dots, n-1, \\ 0, & \text{else.} \end{cases}$$

a)

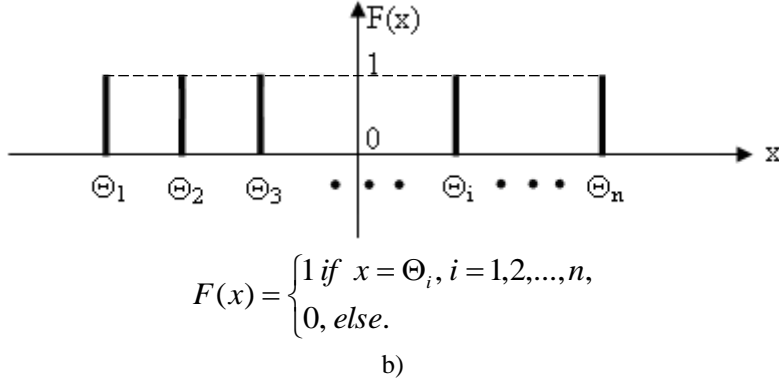


Fig. 1. Analytic and graphical views of activation functions for designed formal neuron

As you can see the designed formal neuron has more than one threshold, which give more functionality and the known formal neuron is special case of the MTFN. Below are presented conventional graphical views of designed MTFN (fig. 2):

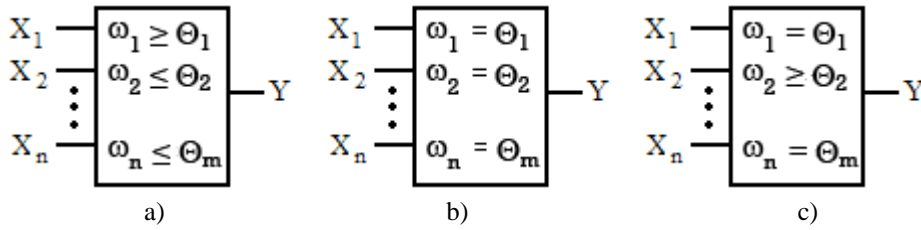


Fig. 2. Conventional graphical views of designed multi-threshold formal neuron for a and b activation functions and their combination respectively

where ω_i is i -th weight, Θ_j is j -th threshold, n is amount of weights, and m is amount of threshold.

The designed circuit is depicted in fig. 3. It has 2 threshold values, which can be set by V_{th1} and V_{th2} voltages. If the input total current I_{in} , which comes from synapses less than two threshold currents, then we will have logical 0 at the output. These threshold currents values can be changed by V_{th1} and V_{th2} voltages respectively. When I_{in} is more than first threshold current but less than second threshold current, then we have logical 1 at the output, and finally when I_{in} is more than second threshold current, hence than first threshold current as well, then we have logical 0 at the output. More detailed description and simulation results can be found in our works [8, 9]. In fig. 3 is presented MTFN with two threshold values, but it can be expanded to more than 2 thresholds by adding current mirrors and modifying the logical part of the circuit.

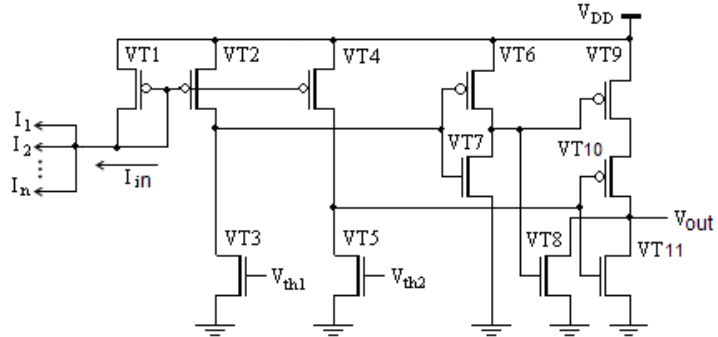


Fig. 3. Design of MTFN circuit with 2 thresholds

Depending on input weights and threshold values the designed multi-threshold formal neuron can implement all Boolean functions. For this purpose the designed MTFN was modeled and simulated by HSPICE software. The simulations were done for 90nm CMOS technology by using SAED 90nm library. Below are presented the results of simulations for designed multi-threshold formal neuron. As you can see the designed MTFN can operate as logic gate and implement all Boolean logic operation. Here are presented only the base operations, but similarly it can be shown that remaining operation can be implemented by the developed circuit. In fig. 4-10 NOT, AND, OR, NAND, NOR, XOR, SR-trigger implementing MTFN graphical view, truth table and simulation results are presented respectively. It should be noted, that the circuit was designed and tested only for fig. 1a activation function. But similarly can be done for fig. 1b activation function and for the combination of two suggested activation functions.

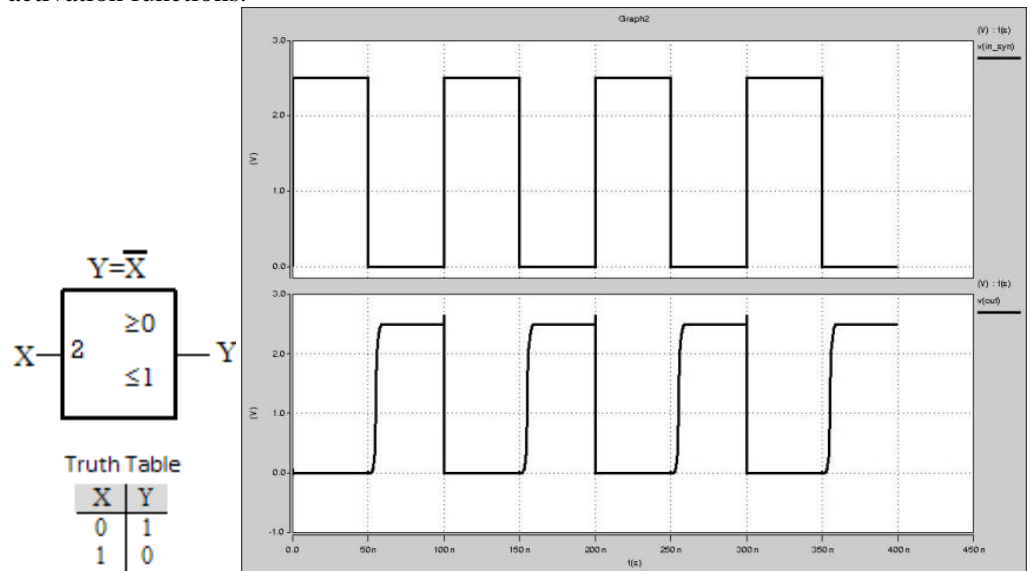


Fig. 4. Inverter function implementation by MTFN. The above graph is input and the below is output

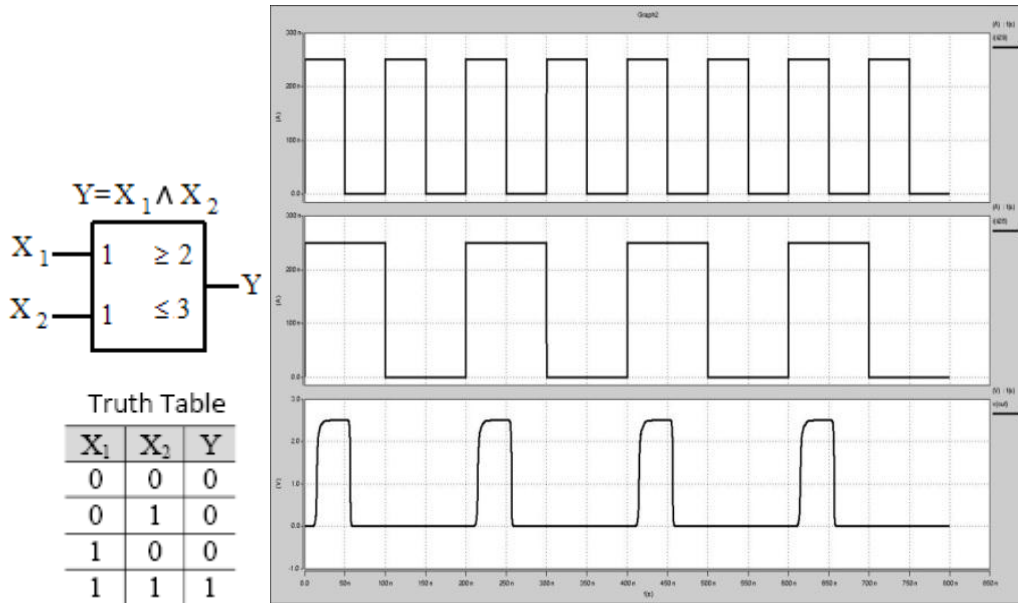


Fig. 5. AND function implementation by MTFN. First and second graphs are inputs and the third graph is output

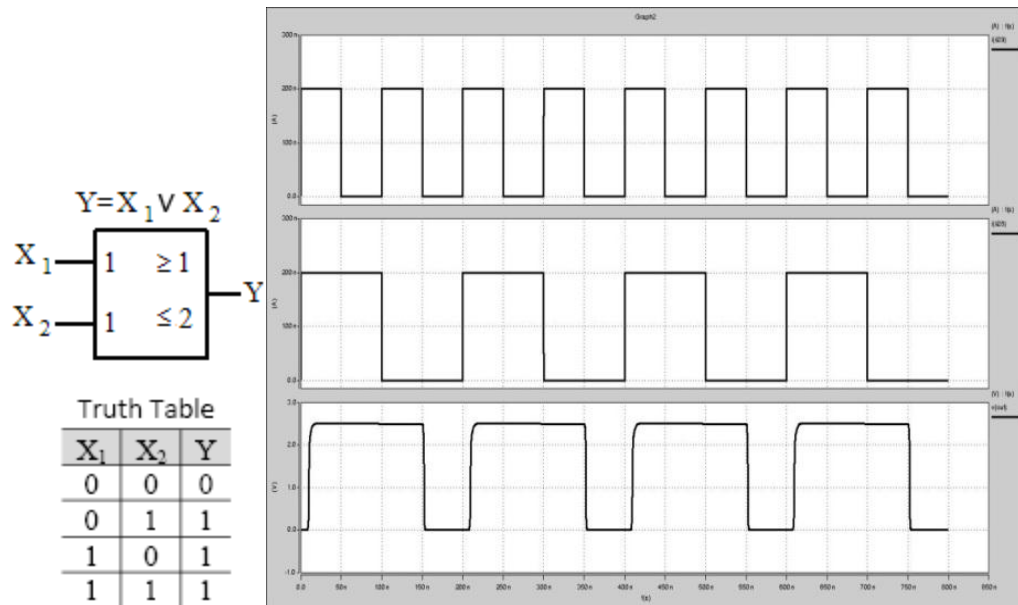


Fig. 6. OR function implementation by MTFN. First and second graphs are inputs and the third graph is output

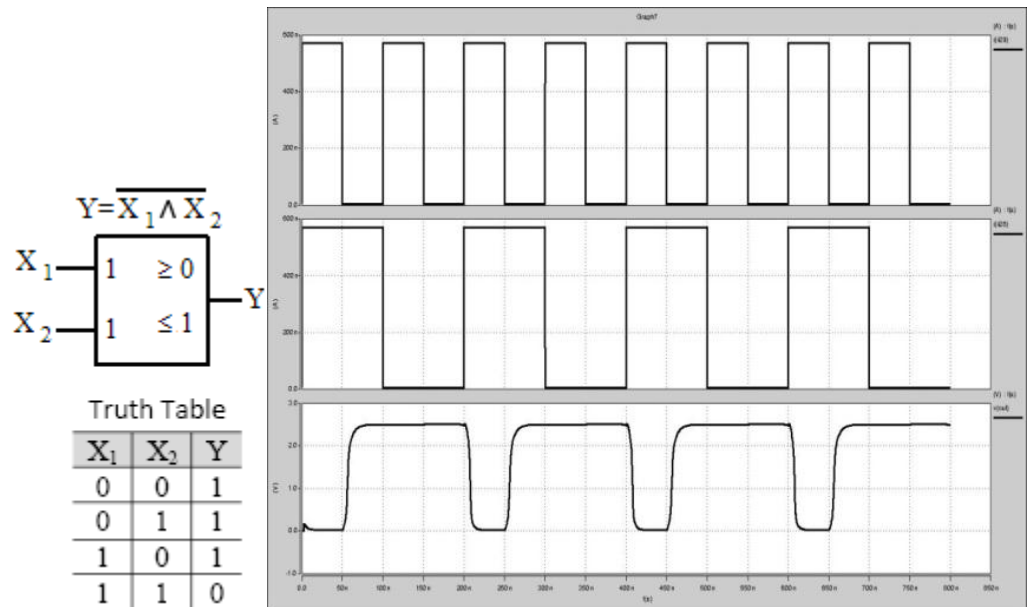


Fig. 7. NAND function implementation by MTFN. First and second graphs are inputs and the third graph is output

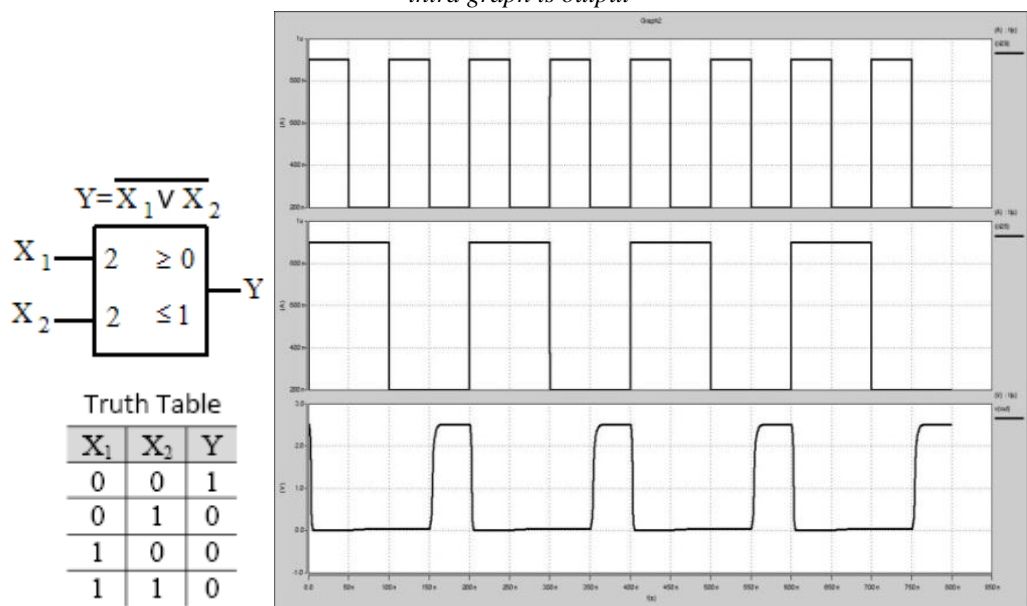


Fig. 8. NOR function implementation by MTFN. First and second graphs are inputs and the third graph is output

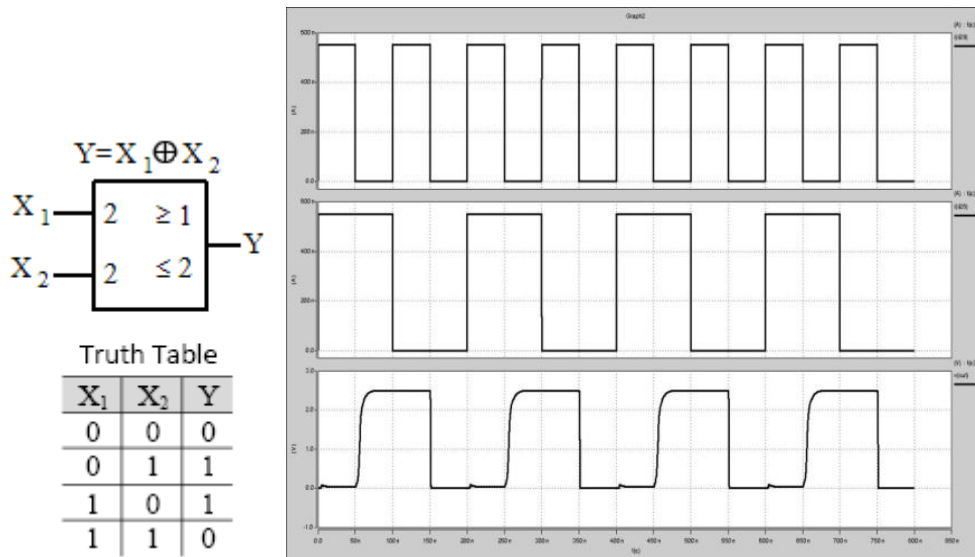


Fig. 9. XOR function implementation by MTFN. First and second graphs are inputs and the third graph is output

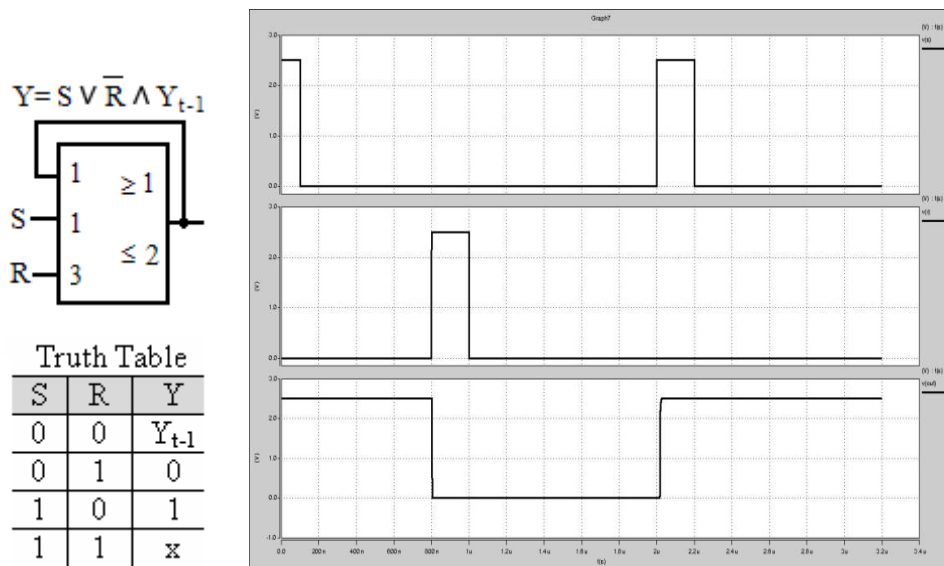


Fig. 10. SR-trigger functionality implementation by MTFN. First and second graphs are inputs and third graph is output

Conclusion. Simulation results show that the designed multi-threshold formal neuron circuit can operate as digital logic gate and implement all Boolean functions. Compared with known formal neuron designed multi-threshold formal neuron it has fewer transistors, and can be easily designed.

REFERENCES

1. **Patrice Fleury, Adria Bofill-i-Petit, Alan F. Murray.** Neural Hardware: beyond ones and zeros, Institute for Integrated Micro and Nano Systems / The University of Edinburgh.- Scotland – UK, 2006. – 8 p.
2. **Kwok Cheung Li.** Neuron-MOS enhanced Differential Current-Switch Threshold Logic // Mathematics and Computer Science: MSc thesis, Delft University of Technology Faculty of Electrical Engineering, 2006. – 47 p.
3. **Мкртчян С.О., Мкртчян А.С.** Основы цифровой нейроинформатики: Учебное пособие. – Ереван: Изд-во ГИУА “Чартарагет”, 2007. – 387 с.
4. **Мкртчян С.О.** Проектирование логических устройств ЭВМ на нейронных элементах. – М.: Энергия, 1977. – 200 с.
5. **Комарцова Л.Г., Максимов А.В.** Нейрокомпьютеры: Учеб. пособие для вузов. - 2-е изд. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. - 400 с.
6. **Галушкин А.И.** Нейронные сети. Основы теории. – М.: Изд.: “Горячая Линия – Телеком”, 2010. - 496 с.
7. **Hakho Lee, Donhee Ham, Robert M.** CMOS Biotechnology. – Springer, 2007. – 385 p.
8. **Петросян О.А., Григорянц В.П.** Разработка и исследование новой модели формального нейрона // Вестник Инженерной академии Армении. - 2012. - Том 9, №2. - С. 419-424.
9. Patent № 2544A, RA. Formal neuron / **О.Н. Petrosyan, V.P. Grigoryants.** - 25.08.2011.

Օ.Հ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Վ.Պ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆՑ

ՏՐԱՄԱԲԱՆԱԿԱՆ ՏԱՐԻԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԲԱԶՄԱՇԵՄ ՖՈՐՄԱԼ ՆԵՅՐՈՆԻ ՄԻՋՈՑՈՎ

Առաջարկվող բազմաշեմ ֆորմալ նեյրոնի հիման վրա մշակվել են թվային տրամաբանական տարրեր, որոնք ունեն մի շարք առավելություններ գոյություն ունեցող ֆորմալ նեյրոնների համեմատ: Մշակված բազմաշեմ ֆորմալ նեյրոնն ունի մի քանի շեմեր, ինչը հնարավորություն է տալիս իրականացնել բուլյան տրամաբանական բոլոր գործողությունները: ԿՄՕԿ հիմքի վրա մշակված սխեման մոդելավորվել է HSPICE ծրագրի միջոցով:

Առանցքային բաներ. բազմաշեմ ֆորմալ նեյրոն, տրամաբանական տարր, ԿՄՕԿ, ակտիվացման ֆունկցիա, մոդելավորում:

Օ.Ա. ՍԵՏՐՕՅԱՆ, Վ.Ս. ԳՐԻԳՐՅԱՆՈՍ

ՐԱԶՐԱԲՈՒԿ ԼՈԳԻՇԵՍԿԻ ԷԼԵՄԵՆՏՈՎ ՍՕՏՐԵՍՏՎՈՒՄ ՄՈԿՈՐՈԳՈՎՈԳ ՓՐՄԱԼՆՈՎ ՆԵՅՐՈՆ

ՐազրաբաՆաՆ ԿԻֆՐՈՎԵ ԼՈԳԻՇԵՍԿԻ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐ ՆԱ ՕՍՈՎԵ ՓՐԵՃԱԳԱԵՄՈԳ ՄՈԿՈՐՈԳՈՎՈԳ ՓՐՄԱԼՆՈՎ ՆԵՅՐՈՆ, ԻՄԵՈՒՅԵՑ ՆԵՍԿՈՒԿ ԹՐՈԳՎ, ՉՈ ՔՈՅՎՈՂԵՐ ԲԱՐԵՎՈՂԵՐ ԲՈՒԼԵՎԵ ԼՈԳԻՇԵՍԿԻ ՕՓԵՐԱԿԻՆ. ՐազրաբաՆաՆ ՔՈ ՄՈՔՈՒՄ ԵՄՈՒԿՆԵՐ ԵՄՈՒԿՆԵՐ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻՅԱ ՏԵՄԱ ՄՈԴԵԼԻՐՈՎԱՆ ԵՄՈՒԿՆԵՐ HSPICE ՓՐՈԳՐԱՄԻ.

ԿլոչեՎԵ ՏՐՈՎԱ: մոկոփՐՈԳՎՈՅ ֆՐՄԱԼՆՈՎ ՆԵՅՐՈՆ, ԼՈԳԻՇԵՍԿԻ ԷԼԵՄԵՆՏ, ՄՈՔՈՒՄ, ֆունկցիա ակտիվացիա, մոդելավորում.

УДК 621.396.962.2

Д.М. АЙВАЗЯН, М.Ц. АЙВАЗЯН

ПРЕЦИЗИОННОЕ СОГЛАСОВАНИЕ ФЕРРИТОВЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ НЕВЗАИМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

Предлагается метод прецизионного согласования продольно-намагниченных ферритовых образцов для невзаимных элементов в терагерцовом диапазоне длин волн. Показано, что данный метод согласования обеспечивает низкий уровень отражения в широком диапазоне частот и позволяет реализовать невзаимные элементы с малыми потерями. Приводятся экспериментальные результаты.

Ключевые слова: терагерцовый диапазон волн, волновод класса "полый диэлектрический канал", анизотропная среда, продольно-намагниченный феррит, поляризация электромагнитной волны, прецизионное согласование, диэлектрический слой, коэффициент отражения.

Введение. В терагерцовом диапазоне длин волн весьма актуальным является вопрос выбора волноведущей системы, на основе которой можно создать функциональные элементы различного назначения. В [1] приведены основные технические характеристики практически полного комплекта волноводных функциональных элементов диапазона 120...180 ГГц, выполненных на основе волноводов класса "полый диэлектрический канал".

Методика исследования. Строго говоря, идеальное согласование среды с двумя различными волновыми сопротивлениями одним слоем невозможно. Однако в терагерцовом диапазоне волновые сопротивления W_+ и W_- правого и левого направлений вращения даже в намагниченном до насыщения феррите отличаются незначительно [2]. Невзаимные элементы на эффекте Фарадея должны поворачивать плоскость поляризации электромагнитной волны на 45° . Такой поворот обеспечивается еще меньшими, чем при насыщении, значениями намагниченности ферритового образца. Так, поворот на указанный угол ферритом марки 10СЧ6Б толщиной 10 мм обеспечивается при подмагничивающем поле порядка 16000 А/м (200 Э), при этом волновые сопротивления феррита для волн правого и левого направлений вращения отличаются на 1,4% ($\mu = 1$, $\mu_a = 0,014$, $\varepsilon/\varepsilon_0 = 15,3$). Этот факт указывает на реальную возможность согласования феррита при помощи однослойного

согласующего покрытия. В работе [3] предлагается согласование продольно-намагниченных ферритовых образцов в широких волноводах выполнять с применением четвертьволновых диэлектрических покрытий. В рассматриваемом случае удобно представить падающую линейно поляризованную волну в виде двух круговых волн с различными направлениями вращения. Ввиду отличия W_1 и W_2 одна из этих волн будет отражаться сильнее, чем другая. Результирующая отраженная волна (представляющая собой сумму двух круговых с различными амплитудами) поляризована по эллипсу. Очевидно, что прошедшая в феррит волна также поляризована по эллипсу, большая ось которого поворачивается по мере продвижения волны вдоль оси Oz . Там же показано, что коэффициент отражения для волны, поляризация которой совпадает с поляризацией падающей волны, определяется по формуле

$$R_x = \frac{(W_K^4 - W_B^2 W_+ W_-)}{(W_K^2 + W_B W_+)(W_K^2 + W_B W_-)}, \quad (1)$$

а коэффициент отражения для волны с ортогональной поляризацией -

$$R_y = \frac{W_K^2 W_B (W_- - W_+)}{(W_K^2 + W_B W_+)(W_K^2 + W_B W_-)}, \quad (2)$$

где W_K и W_B - волновые сопротивления согласующего покрытия и воздуха соответственно.

Из (1) и (2) следует, что $R_x = 0$, если

$$W_K = \sqrt{W_B \sqrt{W_+ W_-}}, \quad (3)$$

при этом толщина согласующего покрытия определяется из условия

$$d = \frac{\lambda}{4n_K}, \quad (4)$$

где $n_K = \sqrt{\varepsilon_K \mu_K}$ - показатель преломления согласующего покрытия, в нашем случае это плавленый кварц.

Из (2) следует, что при $R_x = 0$ существует отраженная волна ортогональной поляризации, амплитуда которой зависит только от параметров феррита и его намагниченности:

$$R_y \approx \frac{\mu_a}{4\mu}. \quad (5)$$

Исследования показывают, что для применяемых ферритов, намагниченных до насыщения, в коротковолновой части миллиметрового диапазона величина отраженной мощности ортогональной поляризации мала. Так, для феррита марки 10СЧ6Б на длине волны $\lambda = 2$ мм, намагниченного до

насыщения, $R_Y^2 = 7 \cdot 10^{-5}$. С укорочением длины волны величина отраженной мощности уменьшается и при $\lambda = 1 \text{ мм}$ составляет $R_Y^2 = 1,6 \cdot 10^{-5}$.

Поворот плоскости поляризации электромагнитной волны в намагниченном феррите происходит локально [2]. Это значит, что в каждой точке вдоль направления распространения вектор электрического поля волны поворачивается, не изменяя своей амплитуды. Такой поворот поля в многоволновом волноводе приводит, строго говоря, к преобразованию рабочей волны. Исключение составляют волноводы, собственные волны которых обладают поляризационным безразличием. К числу таких волноводов относятся квазиоптические лучеводы, а также волноводы класса "полый диэлектрический канал". Так как в таком волноводе рабочая мода близка к плоской волне, то расчеты, приведенные выше, справедливы и для феррита, помещенного в такой волновод.

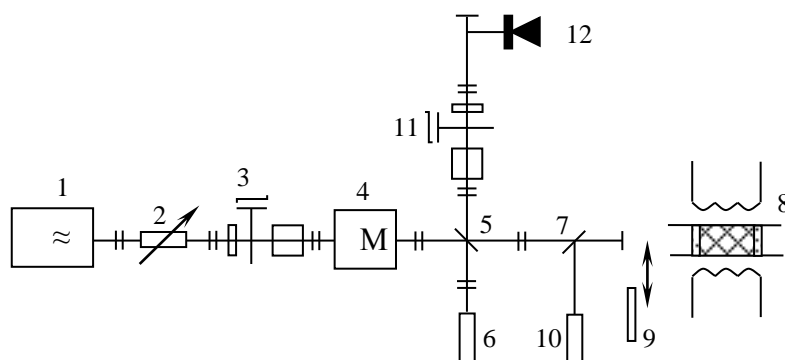


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки для прецизионного согласования ферритовых образцов

Блок-схема экспериментальной установки для прецизионного согласования ферритового образца приведена на рис.1. Мощность от генератора 1 через аттенюатор 2, возбудитель рабочей волны 3 и модовый фильтр 4 подается в левое плечо направленного ответвителя 5, выполненного в виде волноводного креста, в диагонали которого установлена диэлектрическая пленка. Часть мощности, отразившись от пленки, попадает на согласованную нагрузку 6 и поглощается ею. Прошедшая мощность через поляризационный фильтр 7, представляющий собой волноводный тройник, в диагонали которого установлена частопериодическая решетка, попадает либо на феррит, помещенный в соленоид 8, либо на металлическое зеркало 9. Отраженная в той же поляризации волна проходит через поляризационный фильтр 7, отводится

направленным ответвителем 5 и возбудителем рабочей моды 11 к детектору 12. Ортогональная составляющая отраженной от феррита эллиптически поляризованной волны поляризационным фильтром 7 отводится на согласованную нагрузку 10. Такая схема позволяет согласовать только одну грань ферритового образца.

Магнитное поле соленоида 8 подбирается таким образом, чтобы плоскость поляризации волны, прошедшей через ферритовый образец, была повернута на 45° относительно падающей. Мощность, прошедшая в образец, испытывает многократные отражения от его границ. Нетрудно убедиться в том, что волны, отразившиеся от задней грани образца нечетное число раз, при выходе из феррита имеют поляризацию, ортогональную поляризации падающей волны, и отводятся поляризационным фильтром 7 на согласованную нагрузку 10, а при четном числе отражений поступают к детектору 12. При этом поступающая к детектору волна, отраженная от задней грани феррита, должна испытать, по крайней мере, двукратное отражение от этой грани, и поэтому ее мощность пренебрежимо мала.

Согласование проводится в следующей последовательности:

а) определяется падающая на феррит мощность, для чего в правом плече поляризационного фильтра 7 устанавливается зеркало 9;

б) на ферритовый образец с обеих сторон наносятся согласующие покрытия, изготовленные несколько толще (грубое согласование), чем по расчету (формула (4));

в) определяется мощность, отразившаяся от передней грани феррита, для чего на месте зеркала 9 устанавливается намагниченный феррит с согласующими покрытиями, помещенный в квадратный металло-диэлектрический волновод.

На рис. 2 приведены расчетные зависимости коэффициента отражения R_x^2 от толщины плавленого кварца. На этом же рисунке отмечены измеренные значения R_x^2 . Ошибка измерений - менее 10%.

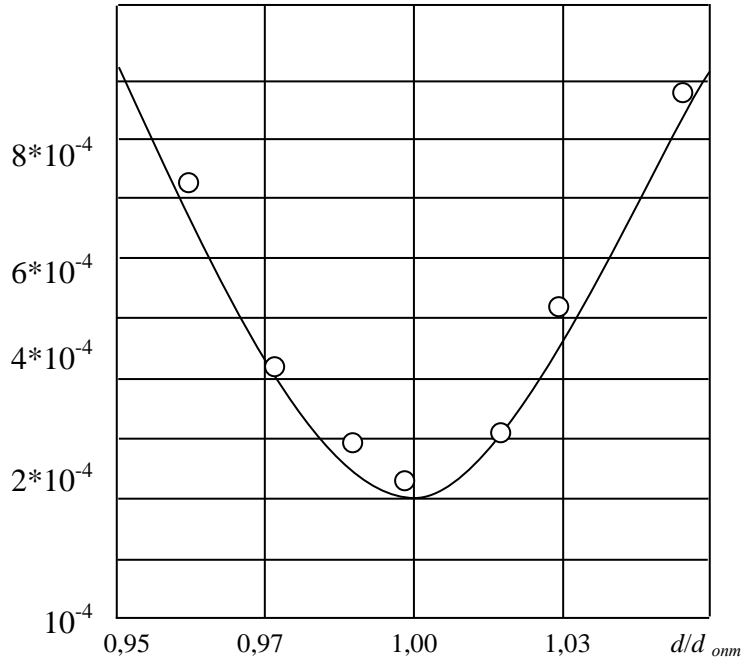


Рис. 2. Зависимости коэффициента отражения по мощности (R_x^2) феррита марки 10СЧ6Б от толщины согласующего покрытия из плавленого кварца при $f = 140$ ГГц

Описанная установка позволяет при выбранном материале согласующего покрытия достаточно точно подобрать его толщину. Сошлифовкой согласующего покрытия и измерением R_x^2 (при каждой сошлифовке) экспериментально добиваются оптимального согласования одной грани. Затем ферритовый образец переворачивается, и тем же методом согласуется вторая грань. В качестве согласующего материала реального феррита марки 10СЧ6Б (толщина образца 10 мм, поперечное сечение 13,5x13,5 мм) на фиксированной частоте ($f = 140$ ГГц) был использован плавленый кварц. Приведенные на рис. 2 значения показывают хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных. При помощи расчетной зависимости (сплошная линия, см. рис. 2) легко определить требования к толщине согласующего покрытия. Так, если требуемое значение R_x^2 не должно превышать 10^{-3} , чему соответствует коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) 1,06, то толщина покрытия должна удовлетворять условию

$$\frac{d_c - d}{d_c} \leq 0,05. \quad (6)$$

Заключение. Полученные результаты показывают, что согласование продольно-намагниченных ферритовых образцов при помощи однослойных четвертьволновых диэлектрических покрытий обеспечивает широкополосное

согласование (в 6% полосе частот) ферритовых образцов, при этом КСВН не превышает 1,06. Из рис. 2 видно, что при обычном согласовании (без сошлифовки согласующего покрытия) точность изготовления согласующего покрытия может отличаться от оптимального на $\pm 5\%$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Complete set of waveguide elements for 120-180 GHz band / **R.S. Avagian, K.R. Agababian, M.Ts. Ayvazyan, et. al** //16-th International Conference on Infrared and Millimeter Waves.- Lausanne, 1991.- P. 92-93.
2. **Микаэлян А.Л.** Теория и применение ферритов на сверхвысоких частотах.- М., Л.: Госэнергоиздат, 1963.- 663 с.
3. **Айвазян М.Ц.** Согласование продольно-намагниченной анизотропной среды однослойным четвертьволновым покрытием // Вестник Государственного инженерного университета Армении. Серия "Информационные технологии, электроника, радиотехника". – 2012. - Вып. 15, № 1. – С. 76-83.

Դ.Մ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Մ.Ց. ԱՅՎԱԶՅԱՆ

ՖԵՐԻՏԱՅԻՆ ՆՄՈՒՇՆԵՐԻ ԾՇԳՐԻՏ ՀԱՄԱՁԱՅՆԵՑՈՒՄԸ ՏԵՐԱՀԵՐՑԱՅԻՆ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ՈՉ ՓՈԽԱԴԱՐՁ ՏԱՐՐԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Առաջարկվում է երկայնական մագնիսացված ֆերիտային նմուշների ճշգրիտ համաձայնեցման եղանակ, որը կիրառվում է տերահերցային տիրույթի ոչ փոխադարձ տարրերում: Ցույց է տրված, որ առաջարկվող համաձայնեցման եղանակն ապահովում է ցածր անդրադարձման գործակից հաճախականությունների լայն տիրույթում և հնարավորություն է տալիս պատրաստել ոչ փոխադարձ տարրեր փոքր կորուստներով: Տրված են փորձնական արդյունքներ:

Առանցքային բառեր. տերահերցային ալիքային տիրույթ, «սնամեջ դիէլեկտրիկական կապուտի» դասի ալիքատարներ, անիզոտրոպ միջավայր, երկայնական մագնիսացված ֆերիտ, էլեկտրամագնիսական ալիքի բևեռվածություն, դիէլեկտրիկական շերտ, անդրադարձման գործակից:

D.M. AYVAZIAN, M.TS. AYVAZIAN

METHOD OF PRECISE MATCHING OF FERRITE SAMPLES FOR NONRECIPROCAL ELEMENTS OF TERAHERTZ WAVES

A method of precise matching of longitudinally magnetized ferrite samples for nonreciprocal elements in terahertz band is proposed. It is shown that the proposed matching method provides low reflection over a wide frequency range and allows to realize non-reciprocal elements with small losses. Experimental results are represented.

Keywords: terahertz waveband, waveguides of "hollow dielectric channel" class, anisotropic medium, longitudinal magnetized ferrite, polarization of an electromagnetic wave, precisen matching, dielectric layer, reflection coefficient.

УДК 621. 382

**В.Е. АРУСТАМЯН, С.Х. ХУДАВЕРДЯН, Ж.Г. ДОХОЛЯН,
А.С. ХУДАВЕРДЯН**

**СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ХАРАКТЕРИСТИКИ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ФОТОДЕТЕКТОРА**

Исследуются вопросы построения схемотехнической модели многофункционального фотодетектора, реализованного в виде двухбарьерной полупроводниковой структуры с контактом Шоттки, а также определения фотоэлектрических характеристик. Рассматриваются возможности прикладного применения фотодетектора.

Ключевые слова: контакт Шоттки, фототок, поглощение, спектральная чувствительность, фильтр.

Введение. Толчком к форсированию исследований в области фотоники послужило широкомасштабное применение полученных результатов в оптической связи. Новые разработки, как теоретические, так и прикладные, значительно расширили сферы ее применения в традиционных (автоматика, приборостроение, телеметрия, телеуправление), нетрадиционных (медицина, экология, криминалистика) и других областях. Об этом свидетельствуют бурно расширяющийся рынок изделий фотоники, а также издание множества монографий, журналов и патентов [1-5], проведение тематических международных и национальных научно-технических мероприятий и т.д.

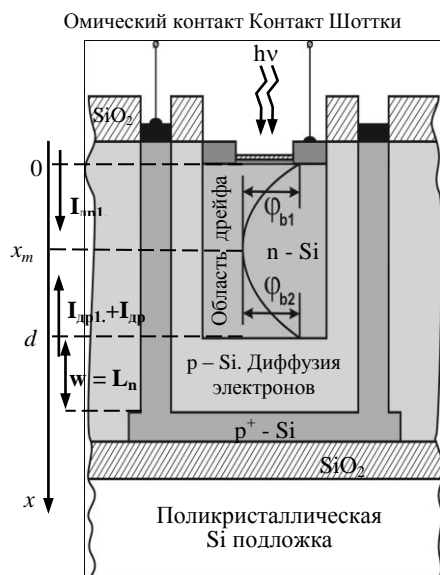


Рис.1. Двухбарьерная полупроводниковая структура фотодетектора

В данной работе приведены результаты исследований по построению схемотехнической модели предложенной двухбарьерной полупроводниковой структуры (рис.1) [5,6] и определению ее основных характеристик, на основе которых рассмотрены некоторые схемы для практического применения.

Постановка задачи. Физический принцип работы фотодетекторов на основе полупроводниковых р-п переходов, в том числе с контактом Шоттки, известен из литературы [7]. Для предложенной структуры (рис.1) он заключается в следующем: на поверхность n -области с площадью S перпендикулярно падает фотон с энергией $h\nu$, в результате поглощения которого генерируется свободный электрон. Под действием поля, обусловленного приложенным напряжением, в области базы (n - S_i) электрон движется к области n^+ и через омический контакт попадает во внешнюю цепь, создавая фототок I_ϕ . Величина I_ϕ обусловлена множеством факторов - материалом полупроводника, степенью легирования, размерами и взаимной конфигурацией областей структуры, потоком и спектром фотонов, приложенным напряжением и т.д.

Современная интегральная технология позволяет в определенных пределах сохранить электрофизические параметры материалов, размеры областей и идентичность взаимной конфигурации областей структуры. Поэтому фототок во внешней цепи будет зависеть, в основном, от внешних факторов: потока фотонов при монохроматическом облучении при условии $h\nu > E$ (E - ширина запрещенной зоны полупроводника); величины приложенного напряжения. Известно, что спектр любого, за исключением лазера, источника излучения обладает шириной $\Delta\lambda$. Поскольку в этом интервале при одинаковом потоке падающих фотонов F_ϕ фотодетектор по-разному реагирует на потоки различной длины волны, то фототок при выполнении приведенного выше условия будет зависеть также и от длины волны.

Таким образом, фототок в неявном виде можно представить в виде

$$I_\phi = f(F_\phi, V, \lambda). \quad (1)$$

Так как в общем случае в потоке F_ϕ могут содержаться волны разной длины $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, то $F_\phi = F_{\lambda_1} + F_{\lambda_2} + \dots + F_{\lambda_n}$, а соответственно и ток будет равен

$$I_\phi = f_1(F_{\lambda_1}, V, \lambda_1) + f_2(F_{\lambda_2}, V, \lambda_2) + \dots + f_n(F_{\lambda_n}, V, \lambda_n). \quad (2)$$

Задача заключается в том, чтобы привести к аналитическому виду выражения (1) и (2).

Предлагаемое решение. Для структуры, изображенной на рис.1, фототок определяется выражением [6]

$$I_{\phi} = qS\Sigma F_{\phi\lambda i} \left[e^{-\alpha(\lambda_i)x_m} - \frac{e^{-\alpha(\lambda_i)d}}{1 - \alpha(\lambda_i)W} \right], \quad (3)$$

где q - заряд электрона; $\alpha(\lambda_i)$ - коэффициент поглощения волны с длиной λ_i ; d - толщина базы n типа; W - толщина p^+ - слоя; x_m - глубина, на которой в базе потенциальная энергия электронов, создающих фототок, достигает своего минимального значения. Как показано в [8], она зависит от приложенного напряжения

$$x_m = \frac{d}{2} - \frac{L_s^2 (\Delta\varphi - qV)}{kTd}, \quad (4)$$

где L_s - длина дебаевского экранирования, $\Delta\varphi = \varphi_{b1} - \varphi_{b2} \approx 0,1$.

Как видно из выражения (3), фототок линейно зависит от F_{ϕ} , нелинейно (через x_m) - от приложенного напряжения V и неявно - от λ через $\alpha(\lambda)$ и F_{ϕ} .

Для построения эквивалентной схемы фотоэлектронной модели фотодетектора необходимо иметь, хотя бы в приближенном виде, аналитическое выражение функций $\alpha(\lambda)$ и $F_{\phi\lambda}$. В качестве такой функции для $F_{\phi\lambda}$, при определенных допущениях, может быть использована известная формула Планка, а что касается функции $\alpha(\lambda)$, то ее для конкретных структур возможно построить на основе экспериментальных данных. Тогда изменение (приращение) фототока ΔI_{ϕ} во внешней цепи с учетом изменений (приращений) аргументов функций ΔF_{ϕ} , ΔV и $\Delta\lambda$ (3) может быть записано в виде

$$\Delta I_{\phi} = \frac{\partial f}{\partial F_{\phi}} \Delta F_{\phi} + \frac{\partial f}{\partial x_m} \frac{dx_m}{dV} \Delta V + \frac{\partial f}{\partial \alpha} \frac{\partial \alpha}{d\lambda} \Delta\lambda. \quad (5)$$

В формуле (5) $\partial f / \partial F_{\phi}$ представляет собой коэффициент чувствительности фотодетектора к потоку монохроматического излучения при фиксированных значениях напряжения и длины волны:

$$K_F = \frac{\partial f}{\partial F_{\phi}} = qS \left[e^{\alpha x_m} - \frac{e^{-\alpha d}}{1 - \alpha W} \right]. \quad (6)$$

Коэффициент во втором члене является коэффициентом чувствительности по напряжению (вольт-амперная характеристика) при фиксированных значениях F и λ . С учетом (4) получим

$$K_V = \frac{\partial f}{\partial x_m} \frac{dx_m}{dV} = q^2 L_s^2 S F \alpha e^{-\alpha x_m}. \quad (7)$$

Выражение (3) не позволяет аналогичным образом определить коэффициент спектральной чувствительности K_{λ} из-за отсутствия аналити-

ческого выражения $\alpha(\lambda_i)$, что, как уже было отмечено выше, можно построить на основании экспериментальных данных. Тогда выражение (5) может быть представлено в виде

$$\Delta I_\phi = K_F \Delta F + K_V \Delta V + K_\lambda \Delta \lambda, \quad (8)$$

т.е. суммарное изменение фототока является суммой изменений трех токов, обусловленных изменениями потока, приложенного напряжения и длины волны соответственно, а коэффициенты K_F , K_V и K_λ можно трактовать как чувствительность фотодетектора к потоку, приложенному напряжению и длине волны соответственно.

Поскольку в качестве отклика (носителя выходного сигнала) выбран ток (можно выбрать и ЭДС), то из формулы (8) следует, что в качестве входного сигнала фотодетектора могут служить мощность потока (Bm), приложенное напряжение (B), длина волны (m), а эквивалентную схему в соответствии с (8) можно представить в виде, представленном на рис. 2.

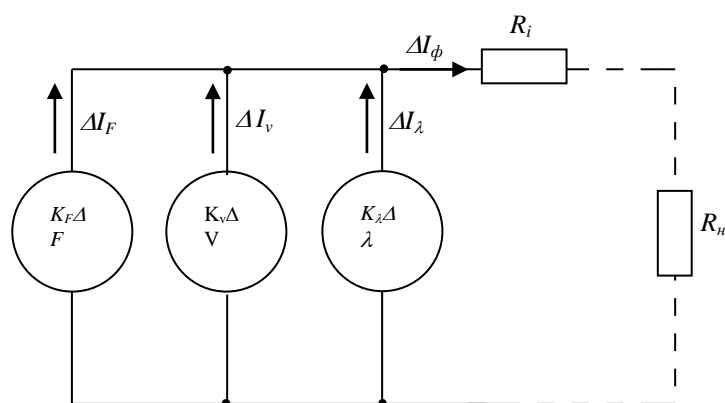


Рис.2. Эквивалентная схема фотодетектора

Особенность предложенной структуры заключается в том, что фоточувствительность (A/Bm) и спектральная чувствительность (A/m) зависят от величины приложенного напряжения (4), (6), что позволяет управлять (настраивать) упомянутыми параметрами и максимально приблизиться к соответствующим параметрам источников оптических сигналов. Аналогичным образом можно управлять фотодетектором, если входным сигналом является приложенное напряжение, а в качестве управляющего (подстроечного) сигнала использовать поток или длину волны. Все перечисленные особенности значительно расширяют схемотехнические возможности фотодетектора и позволяют построить ряд новых схем для фотоэлектронных фильтров, модуляторов, преобразователей и др.

Заключение Приведем некоторые области практического применения многофункционального фотодетектора:

1. Фотоэлектронный фильтр, индикатор спектра, анализатор спектра и т.д. (рис.3). Исследования показывают, что в интервале длин волн $\lambda = 300 \dots 2000 \text{ нм}$ выражение (3) с достаточно хорошей для практики точностью отражает зависимость фототока от приложенного напряжения, если полагать, что K_V слабо зависит от V .

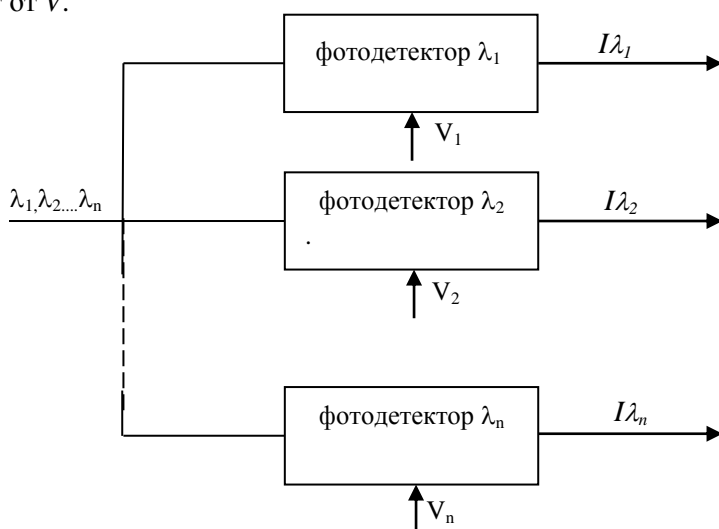


Рис.3. Схема анализатора спектра

Это приближение можно скомпенсировать путем подгонки за счет изменения V до значений, когда фототок достигнет экстремального значения. Такой подход позволяет из сплошного или дискретного спектра выбрать нужную длину волны λ (или $\Delta\lambda$), а в случае использования множества фотодетекторов можно осуществить функцию фотоанализатора.

2. Фотоэлектронный модулятор. Выражение (8) и модель фотодетектора (рис.2) показывают, что в качестве модулирующего и модулируемого сигналов могут быть использованы все три величины (переменные), входящие в (8): F , V и λ . Поэтому выходной сигнал - ток будет результатом модуляции амплитуды в соответствии с изменением V (рис. 3), длины волны λ и потока F . При этом в качестве модулируемого сигнала могут быть все три величины - F, V, λ . На практике наибольший интерес представляет модуляция по амплитуде и λ с использованием в качестве модулирующего сигнала приложенного напряжения V .

3. Фотометрия. Если предположить, что спектр оптического сигнала укладывается в диапазоне $\lambda \approx (0,2 \dots 2) \cdot 10^{-6} \text{ м}$, то для этого участка спектра электромагнитные волны можно охарактеризовать следующими группами параметров:

- а) энергетические-фотометрические, которые количественно оцениваются посредством энергии, мощности или их производными;
- б) фотонные, которые количественно оцениваются числом фотонов;

в) эффективность восприятия, которая оценивается откликами воздействия сигнала. К этой группе можно отнести такие параметры излучения, как поляризация (его плоскость и степень), фазовращение, отражение, преломление и т.д.

Список возможного применения фотодетектора может быть продолжен такими сферами, как экология, медицина, материаловедение и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фриман Р.** Волоконно-оптические системы связи / Пер. с англ.- М.: Техносфера, 2006. – 496 с.
2. Волоконно-оптические датчики / Под ред. Э.Удда; Пер. с англ.- М.: Техносфера, 2008. - 520 с.
3. Журнал “Фотоника” /ЗАО РИЦ, Техносфера. Издается с 2007г.
4. IEEE Optical Communications. www.comsoc.org.
5. Патент РА N2344А. 29.06.2009.
6. **Худавердян А.С.** Автореферат дис. ... к.т.н. /ГИУА. – Ереван, 2010.- 21с.
7. **Зи С.** Физика полупроводниковых приборов. Кн. 2.- М.: Мир, 1984.- 456 с.
8. On functional potentiality of photodiode structures with a high-resistance layer/**S. Khudaverdyan, J. Dokholyan, A. Kocharyan,** et al // ELSEVIER: J. Solid State Electronics.-2005.- Vol. 49, No 4.- P. 634-639.

**Վ.Ե. ԱՐՈՒՍՏԱՄՅԱՆ, Ս.Խ. ԽՈՒՎԱՎԵՐԴՅԱՆ, Ժ.Գ. ԴՈՒՍՆԻՅԱՆ,
Ա.Ս. ԽՈՒՎԱՎԵՐԴՅԱՆ**

**ԲԱԶՄԱՖՈՒՆԿՑԻՈՆԱԼ ՖՈՏՈԴԵՏԵԿՏՈՐԻ ՍԽԵՄԱՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ
ՄՈԴԵԼԸ ԵՎ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ**

Դիտարկվում են Շոտկիի հպակով երկարգելքանի կիսահաղորդչային կառուցվածքով բազմաֆունկցիոնալ ֆոտոդետեկտորի սխեմատեխնիկական մոդելի կառուցման, ֆոտոէլեկտրական բնութագրերի ստացման և գործնական կիրառությունների հնարավորությունները:

Առանցքային բառեր. Շոտկիի հպակ, ֆոտոհոսանք, կլանում, սպեկտրալ զգայնություն, մոդուլյատոր, զտիչ:

**V.E. ARUSTAMYAN, S.KH. KHUDAVERDYAN, Zh.G. DOKHOLYAN,
A.S. KHUDAVERDYAN**

CIRCUIT MODEL AND CHARACTERISTICS OF MULTIFUNCTIONAL PHOTODETECTOR

Circuit model building, photovoltaic characteristics and applications of double-barrier semiconductor structure with a Schottky contact multifunctional photodetector are considered in the paper.

Keywords: Schottky contact, photocurrent, absorption, spectral sensitivity, filter.

УДК 634.11

Д.Г. ЗАРГАРЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ СОЗРЕВАНИЯ ПЛОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Описаны технологии определения степени зрелости урожая после сбора. Дается классификация и оценивается качество сельскохозяйственных продуктов. Представлены структурная схема и процесс работы измерителя ИК диапазона.

Ключевые слова: инфракрасный диапазон, отражение, поглощение, электромагнитная волна, проникаемость.

Введение. Растущий спрос на высокое качество продукции на рынке требует разработки и внедрения передовых технологий для определения зрелости урожая после сбора. Сортировка и оценка качества сельскохозяйственных продуктов - весьма сложный и трудоемкий процесс.

Качество овощей и фруктов зависит от различных факторов: техники выращивания, климата, состояния почвы и т.д. Таким образом, существует большая разница в качестве плодов, даже если они выращены и собраны из той же области.

Ручная сортировка представляет собой дорогостоящий и ненадежный способ, так как человеческий фактор противоречив при определении таких качеств, как внешний вид, вкус, содержание питательных веществ, текстуры и т.д. (см. табл.). В этом случае для оценки качества фруктов и овощей желательно применение устройства, которое при измерении не повреждает агропродукт. С помощью такого устройства можно получить надежный, быстрый и, с точки зрения экономии, прибыльный результат.

Таблица

Факторы оценки качества

Внешний вид	Внутренние качества
Размер, вес, объем	Вкус, запах (сладость, кислотность, терпкость)
Конфигурация	Твердость, четкость, сочность
Цвет, однородность, интенсивность	Химические компоненты (углеводы, белки, витамины, функциональные свойства)
Дефект (ушиб, удар, точечный)	Дефект внутренней полости, водного ядра, урон от мороза

Метод ИК измерения. С помощью новых технологий с использованием инфракрасных лучей сельскохозяйственные продукты можно сортировать не только по весу и цвету, но и по индикаторам вкуса. При этом не происходит ни

повреждения продукта, ни даже механического контакта с продуктом. Степень зрелости определяется процентным содержанием сухого вещества в заданном весе продукта и выражается в количестве частей сахарозы, фруктозы, витаминов, минералов, аминокислот, протеинов и других веществ.

Одни методы оценки качества нашли практическое применение, другие считаются перспективными решениями. ИК техника на протяжении последних лет стала стремительно развиваться и широко применяться в технологиях по оценке и классификации агропродуктов.

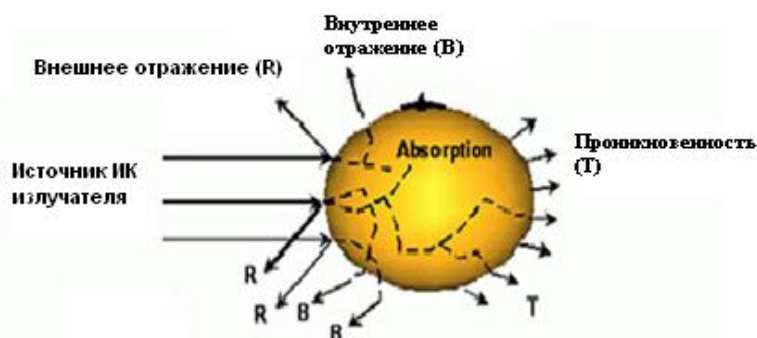


Рис. 1. Оптические характеристики плода

Длина видимого луча составляет от 400 до 700 нм, а длина ближнего инфракрасного (БИК) луча - от 0,7 до 2,5 мкм и более. Оптические свойства основаны на отражении, пропускании, поглощении или рассеянии света на продукт (рис. 1). Когда луч света падает на объект, часть падающего луча отражается от поверхности (R). Такое отражение называется регулярным (или зеркальным). Оставшееся излучение (T) передается через поверхность в клеточную структуру объекта, где оно рассеивается на небольшой интерфейс в ткани или поглощается составляющими. Поглощенная часть излучения может быть преобразована в другие формы энергий, таких как тепловые, химические изменения или люминесценции. Часть передаваемой энергии поглощается, часть отражается обратно к поверхности (коэффициент отражения тела или диффузного отражения), остальная часть передается через объект (пропускание), как показано на рис. 1 [1]. Исходя из вышесказанного, можно вычислить содержание органических веществ, которые, в свою очередь, и дадут информацию о степени созревания плодов.

БИК измерители состоят из источника света или ИК излучателя, приемника и системы расчета результатов.

Со структурной точки зрения, различают два метода измерения:

1. Метод измерения отражения, когда измеряется значение энергии отраженного ИК луча (рис. 2) [1].

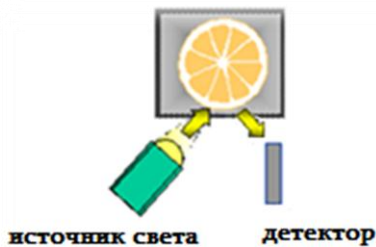


Рис. 2. Метод измерения отражения

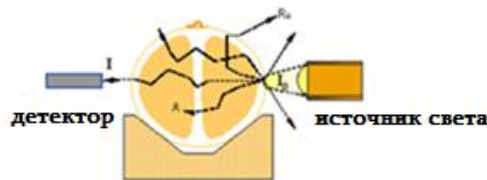


Рис. 3. Метод измерения пропускания

2. Метод измерения пропускания

когда информация получается от значения пропущенной энергии (рис.3). В этом случае измеряется проходящий через ткани свет, который отражает внутренние атрибуты объекта. Данный метод дает общую информацию о качестве и в состоянии компенсировать слабые стороны метода отражения [2].

Работа измерителя, разработанного в Институте радиофизики и электроники НАН РА, основана на измерении остаточной мощности от отраженного ИК луча из тканей плодов. Устройство компактное, портативное, а длительность измерения одного цикла составляет ≤ 10 с.

Описание работы. В ИК диапазоне (рис. 4) часть сигнала излучателя диода 2, доходя до полупрозрачного экрана 3, отражается на фотоприемник 5.1, а другая часть - на наблюдаемый объект 4. Отраженные ИК мощности с полупрозрачного экрана 3 и наблюдаемого объекта 4 принимаются от фотодиодов 5 и 5.1. Узлы 6, 7, 8 обеспечивают значение мощности излученным ИК, а значение сигнала, принятого фотоприемником, считается опорным. Отраженный сигнал от наблюдаемого объекта 4, который содержит информацию о степени спелости продукта, принимается и обрабатывается в приемном узле 9, 10.

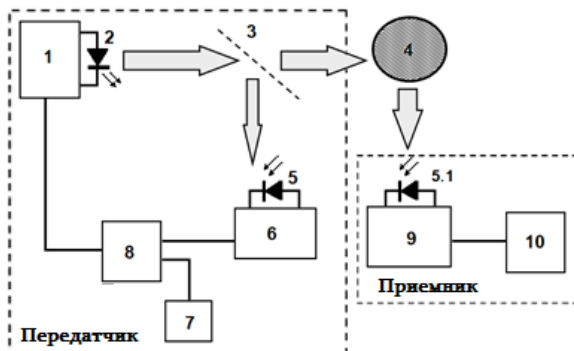


Рис. 4. Структурная схема и узлы измерителя ИК диапазона:

1- источник питания диода, 2- ИК излучатель. 3- полупрозрачный экран, 4- измеряемый объект, 5- фотоприемник стабилизации цепи, 6- узел усиления и изменения сигнала, 7- контролируемый источник постоянного тока, 8- дифференциальный усилитель, 9- узел обработки сигнала измерительной цепи, 10- регистрирующее устройство (микропроцессор)

После ввода данных от БИК приемного диода проводится корреляция со статистическими и опорными данными.

Чтобы получить опорные данные и калибровку, используется техника регрессионного анализа. Последнее регистрируется в БИК анализаторе для прогнозирования степени зрелости плодов. Указанное более детально показано в нижеприведенном примере.

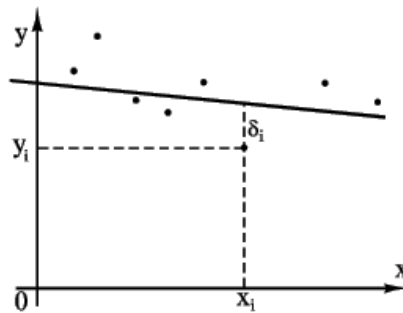


Рис. 5. Линейная функция одного аргумента

Для упрощения изложения рассмотрим сначала случай линейной функции одного аргумента. Пусть из опыта получены точки:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1, y_1, \\ x_2, y_2, \\ \dots \\ x_n, y_n, \end{array} \right. \quad (1)$$

$$y = ax + b, \quad (2)$$

наилучшим образом согласующиеся с опытными точками.

Пусть мы нашли такую прямую. Обозначим через δ_i расстояние опытной точки от этой прямой (измеренное параллельно оси y).

Из уравнения (2) следует, что

$$\delta_i = y_i - ax_i - b. \quad (3)$$

Чем меньше число δ_i по абсолютной величине, тем лучше подобрана прямая (2). В качестве характеристики точности подбора прямой (2) можно принять сумму квадратов

$$S = \sum_{i=1}^n \delta_i^2. \quad (4)$$

Покажем, как можно подобрать прямую (2) так, чтобы сумма квадратов S была минимальной. Из уравнений (3) и (4) получим

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2. \quad (5)$$

Условия минимума S будут

$$\frac{\partial S}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)x_i = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b) = 0. \quad (7)$$

Уравнения (6) и (7) можно преобразовать в вид

$$\sum_{i=1}^n y_i x_i = a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = a \sum_{i=1}^n x_i + nb. \quad (9)$$

Из (8) и (9) легко найти a и b по опытным значениям x_i и y_i . Прямая (2), определяемая уравнениями (8) и (9), называется прямой, полученной методом наименьших квадратов (этим названием подчеркивается, что сумма квадратов S имеет минимум). Уравнения (8) и (9), из которых определяется прямая (2), называются нормальными уравнениями.

Можно указать простой и общий способ составления нормальных уравнений [3]. Используя опытные точки (1) и уравнение (2), можно записать систему уравнений для a и b :

$$\begin{cases} y_1 = ax_1 + b, \\ y_2 = ax_2 + b, \\ \dots \\ y_n = ax_n + b. \end{cases} \quad (10)$$

Умножив левую и правую части каждого из этих уравнений на коэффициент при первой неизвестной a (на x_1, x_2, \dots, x_n) и сложив полученные уравнения, получим первое нормальное уравнение (8).

Умножив левую и правую части каждого из этих уравнений на коэффициент при второй неизвестной b , т.е. на 1, и сложив полученные уравнения, получим второе нормальное уравнение (9).

Этот способ получения нормальных уравнений является общим: он пригоден, например, и для функции

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n. \quad (11)$$

Естественно, что здесь получится система из $(n+1)$ нормальных уравнений для определения величин $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$.

Рассмотрим частный случай применения метода наименьших квадратов. Пусть из теории известно, что

$$k = y/x \quad (12)$$

есть величина постоянная, и ее нужно определить по опытным данным (1).

Систему уравнений для k можно записать в виде

$$\begin{cases} k = y_1/x_1, \\ k = y_2/x_2, \\ \dots \\ k = y_n/x_n. \end{cases} \quad (13)$$

Для получения нормального уравнения умножим каждое из этих уравнений на коэффициент при неизвестной k , т.е. на 1, и сложим полученные уравнения:

$$kn = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i}. \quad (14)$$

Отсюда имеем

$$k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i}. \quad (15)$$

Следовательно, среднее арифметическое, полученное из опытных отношений $\frac{y_i}{x_i}$, дает решение поставленной задачи по методу наименьших квадратов. Это важное свойство средней арифметической объясняет ее широкое применение в практике обработки опытных данных.

Пример. На опыте получены значения x и y , сведенные в таблицу.

X	1	2	3	4	5	6
Y	5,2	6,3	7,1	8,5	9,2	10,0

Найти прямую по методу наименьших квадратов.

Решение:

$$\sum x_i = 21, \quad \sum y_i = 46,3, \quad \sum x_i^2 = 91, \quad \sum x_i y_i = 179,1.$$

Запишем уравнения (8) и (9):

$$\begin{cases} 91a + 21b = 179,1, \\ 21a + 6b = 46,3. \end{cases}$$

Отсюда находим

$$a = 0,98, \quad b = 4,3.$$

Приведем еще один более типичный пример поглощения света и концентрации вещества (рис. 6).

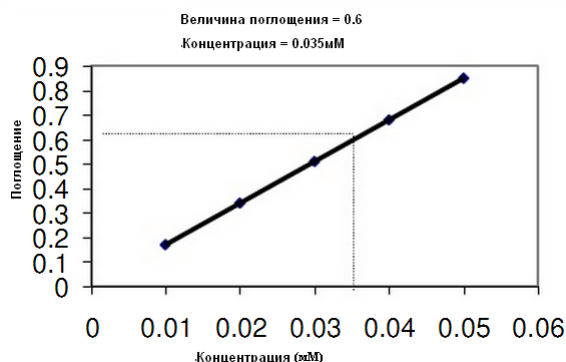


Рис. 6. Концентрация и поглощение

Регрессионный анализ решается с помощью пяти опорных данных, полученных на основе опытов, где измеряется коэффициент поглощения при следующих значениях концентрации агропродукта: 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05. В результате регрессионного анализа получается α линия ($f(x)$), которая используется для анализа дальнейших измеренных результатов. Вставив в регрессионную функцию коэффициент поглощения 0,64 ($\log_{10}(1/R)$), значение концентрации (C) будет 0,035. Этот метод позволяет быстро находить соотношение концентрации агропродуктов и ИК поглощения.

Технические данные устройства: длина волны λ – 0,95 мкм, мощность ИК излучателя P – 3 МВт, глубина модуляции m – 100%, частота f – 80 Гц.

По результатам проведенных опытов с помощью этого устройства видно, что при соответствующей длине волны у каждого объекта (фрукты, овощи) имеется своя область проникновения в зависимости от степени спелости и структуры тканей.

Закключение. Результаты исследования показали, что, используя значение диффузного отраженного ИК сигнала, можно определить степень зрелости урожая после сбора. Добавив соответствующее программное обеспечение, получим многофункциональный мобильный измеритель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kyu-Hong Choi, Kang – Jin Leen, Giyoung Kim** Non-destructive for the Quality Evaluation Technology for Fruit and Vegetables using NIR –spectroscopy // National Institute of Agrecultural Engineering. - 2003.
2. **Hongjian Lin, Yibin Ying** Theory and application of near infrared spectroscopy in assessment of fruit quality. - 25 March, 2008.
3. Measurement of sugar contents in citrus using near infrared transmittance / **K. Lee, G. Kim, S. Kang et al** // Advances in Nondestructive Evaluation. – 2004. – P. 1–3.

Դ.Գ. ԶԱՐԳԱՐՅԱՆ

ՊՏՈՒՂՆԵՐԻ ՀԱՍՈՒՆԱՑՄԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԻՆՖՐԱԿԱՐՄԻՐ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ

Նկարագրված են գյուղմթերքների՝ մրգերի, բանջարեղենի որակական հատկանիշների գնահատման և դասակարգման տեխնոլոգիաները, ինչպես նաև լայն կիրառություն գտած ինֆրակարմիր (ԻԿ) տիրույթում աշխատող չափիչ սարքի աշխատանքային նկարագիրն ու կառուցվածքային սխեման:

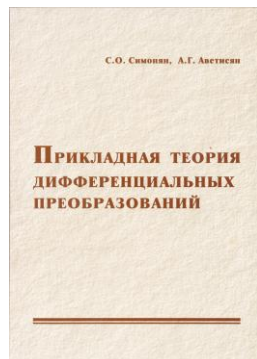
Առանցքային բաներ. ինֆրակարմիր տիրույթ, անդրադարձում, կլանում, էլեկտրամագնիսական ալիք, թափանցելիություն:

D.G. ZARGARYAN

FRUIT MATURITY DEGREE DETERMINATION USING INFRARED RADIATION

The estimation and classification technologies for qualitative characteristics of agricultural products – fruit and vegetable, as well as the operation and the scheme of the measuring device functioning in the widely used infrared (IR) range are described.

Keywords: infrared range, reflection, absorption, electromagnetic wave, permeability.



РЕЦЕНЗИЯ
на монографию С.О. Симоняна, А.Г. Аветисян
“Прикладная теория
дифференциальных преобразований”

Развитие науки и техники на современном этапе в первую очередь обусловлено выполнением фундаментальных исследований, стимулирующих расширение прикладных разработок. При осуществлении последних, как показывают исследования, одним из современных эффективных средств преодоления различных вычислительных трудностей являются дифференциальные преобразования, предложенные академиком НАН Украины Г.Е. Пуховым 30-35 лет назад.

При применении дифференциальных преобразований изображения функций-оригиналов получаются в результате дифференцирования последних в отличие от интегральных преобразований Лапласа-Карсона, Фурье, Меллина, Уолша и др., при которых прямой переход из области оригиналов в область изображений выполняется на основе, в общем случае, более сложной операции - интегрирования. Обратный переход из области изображений в область оригиналов также связан с серьезными вычислительными трудностями. В случае дифференциальных преобразований в отличие от сложных вычислительных операций интегральных сверток, характерных для интегральных преобразований, при прямом переходе получают сравнительно легко вычисляемые алгебраические свертки. Обратный переход в область оригиналов в большинстве случаев также осуществляется на основе более простой операции - суммирования.

Эти важные обстоятельства обычно порождают простейшие вычислительные процедуры, наделенные максимальными степенями расщепления и алгебраизации, распараллеливания и агрегации переменных решаемых задач. Следовательно, особый интерес представляет выяснение возможностей отдельных разновидностей этих преобразований в сфере эффективного решения различных задач, чему и посвящена рецензируемая монография С.О. Симоняна и А.Г. Аветисян “Прикладная теория дифференциальных преобразований”. Заметим, что с целью решения большинства рассматриваемых в монографии задач (кроме, может быть, задач оптимального управления) дифференциальные преобразования почти не были использованы другими авторами.

Монография написана по материалам исследований авторов последних 20-25 лет и состоит из предисловия, введения, восьми глав, послесловия и списка литературы.

В предисловии затронуты вопросы общего характера.

Во введении представлены основные правила алгебры дифференциальных преобразований, а также их разновидности.

В первой главе представлены новые теоретико-прикладные положения, позволившие распространить аппарат дифференциальных преобразований на решения таких “неудобных” задач, какими являются автономные системы конечных уравнений. Предложены алгоритмы для решения нелинейных непараметрических систем конечных уравнений специального класса. Разработана также гомотопическая модель решения нелинейных непараметрических систем конечных уравнений общего вида.

Во второй главе предложены дифференциально-маклореновская и дифференциально-падеевская матрично-векторная модели для решения определенных линейных параметрических систем конечных уравнений.

В третьей главе предложен метод решения нелинейных параметрических систем конечных уравнений для построения, в частности, траекторий равновесных состояний динамических систем. Предложена также матрично-векторная модель решения отмеченных систем.

В четвертой главе для параметрических квадратных матриц предложены дифференциальные аналоги (Д-аналоги):

- вычисления определителей-функций;
- решения полной проблемы собственных значений-функций (неявная и явная схемы, основанные соответственно на использовании самой матрицы и ее характеристического уравнения);
- метода Жирара-Виета для параллельного определения собственных значений-функций алгебраических многочленов с переменными коэффициентами;
- метода фон-Мизеса для вычисления первых двух наибольших по модулю собственных значений-функций;
- метода Леверье для определения собственных многочленов с переменными коэффициентами;
- метода Фаддеева для одновременного определения собственных многочленов с переменными коэффициентами, обратных матриц и собственных векторов-функций;
- QR-алгоритма на основе использования преобразований Хаусхолдера для определения собственных значений-функций и соответствующих собственных векторов-функций;

- того же алгоритма с целью определения комплексных собственных значений-функций.

В пятой главе нашли место разработанные Д-аналоги методов Гревилля, блочного разбиения, ортогонализации Грамма-Шмидта, исключения Гаусса-Жордана для определения параметрических псевдообратных матриц, а также сингулярного разложения.

В шестой главе представлены предложенные непрерывные модели быстрого субградиентного дифференциального спуска (НМБСГДС) и их квазилинейные эквиваленты (КЛМБСГДС), упрощенные варианты последних, а также их локальные Д-аналоги (тейлоровская и падеевская) для решения непрерывных задач математического программирования. Здесь же приведены аналогичные модели для решения дискретных задач математического программирования – полностью и частично целочисленных, а также бивалентных и псевдобулевых.

В седьмой главе рассмотрены следующие динамические задачи:

- два вида неканонических систем дифференциальных уравнений (неразрешенных относительно производных искомым переменных), для решения которых предложены соответствующие НМБГДС и КЛМБГДС. При этом использованы метод квадратичных штрафных функций и принцип максимума Понтрягина. Далее на основе предложенных моделей разработаны соответствующие Д-аналоги;
- динамические экстремальные задачи, для решения которых предложены соответствующие трехэтапные НМБГДС и КЛМБГДС, а также их соответствующие Д-аналоги;
- изопериметрические вариационные задачи, для решения которых с использованием принципа максимума Понтрягина предложены соответствующие НМСГДС и КЛМСГДС траекторий продвижения, а также их Д-аналоги. Здесь же рассмотрены математические модели краевых условий при гладком подвижном многообразии на левом конце и гладком перемещающемся многообразии на правом конце оптимальных траекторий;
- однокритериальные задачи оптимального управления трех различных классов, для решения которых использованы соответственно классический, “ограниченный” принцип максимума и метод редуцированного фазового пространства совместно с “ограниченным” принципом максимума, на основе которых предложены соответствующие НМБСГДС и КЛМБСГДС, а также их Д-аналоги.

В восьмой главе рассмотрены специальные задачи:

- предложены Д-аналог расщепления параметрических линейных динамических систем, а также упрощенный эквивалент этого метода, значительно облегчающие по сравнению с первым методом вычислительные процедуры расщепления;

- рассмотрены автономные линейные матричные уравнения (Сильвестра, Ляпунова, а также ряд частных задач), для решения которых при предположении выполнения условий разрешимости и использовании кронекерова произведения матриц предложены аналитическая и рекуррентная схемы вычислительных процедур, их непрерывные и правые конечно-разностные эквиваленты. Для непрерывных моделей предложены также соответствующие Д-аналоги;
- предложен Д-аналог аналитического решения одного частного неавтономного линейного матричного уравнения.

Следует подчеркнуть, что монография, несомненно, способствует выявлению новых характеристик и возможностей дифференциальных преобразований, а также установлению современного “свежего” взгляда на достоинства и недостатки этих преобразований. Всесторонние исследования авторов послужили основой для новых идей и воплощения их в теорию и практику дифференциальных преобразований в виде разработки различных средств – методов, алгоритмов, пакетов прикладных программ и т. д., на базе широкого использования возможностей современных информационных технологий.

Универсальность представленных в монографии новых научных результатов убедительно подтверждает эффективность предложенных в ней подходов для решения широкого круга научно-практических задач на основе применения нового операционного метода - дифференциальных преобразований и необходимость дальнейшего развития как их теоретических, так и прикладных аспектов.

Как показывают исследования авторов, возможности дифференциальных преобразований для эффективного решения многих научно-практических задач в настоящее время далеко не исчерпаны. Мощные средства современных информационных технологий и неоспоримые преимущества компьютерного моделирования, несомненно, открывают широкие перспективы для выявления новых возможностей, качественных и количественных характеристик дифференциальных преобразований при решении различных задач.

Монография предназначена для широкого круга читателей и может быть весьма полезна научно-техническим работникам, аспирантам, инженерам, программистам и др. Все научные положения монографии сопровождаются многочисленными модельными и практическими примерами и их решениями, что еще больше подчеркивает ценность проведенного интересного исследования.

Зав. кафедрой “Математическое моделирование в экономике”
ЕГУ, д.т.н., проф. А.А. Аракелян

ՀԵՂԻՆԱԿՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿ

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. Այվազյան Դավիթ Մարտինի | – տեխնիկական տնօրեն, “Նորմաքոմ” ՍՊԸ |
| 2. Այվազյան Կարեն Գագիկի | – ասպիրանտ, ՌԿ և Ա ամբիոն, ՀՊՃՀ |
| 3. Այվազյան Մարտին Յուլակի | – տ.գ.թ., դոցենտ, դեկան, ՌՏ և ԿՀ ֆակուլտետ, ՀՊՃՀ |
| 4. Առուստամյան Վլադիմիր Երվանդի | – Կապի միջազգային ակադեմիայի ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆեսոր, ՌԿ և Ա ամբիոն, ՀՊՃՀ |
| 5. Ավդալյան Նարեկ Բենյամինի | – ճարտարագետ - նախագծող, “Սինոփսիս Արմենիա” ՓԲԸ |
| 6. Ավետիսյան Արմինե Գևորգի | – տ.գ.թ., դոցենտ, ՏՏ և Ա ամբիոն, ՀՊՃՀ |
| 7. Ավինյան Վահե Ռոմենի | – դասախոս, ՏՏ և Ա ամբիոն, ՀՊՃՀ |
| 8. Բունիաթյան Վահե Վազգենի | – տ.գ.դ., պրոֆեսոր, ամբիոնի վարիչ, ՄԿԲՍ, ՀՊՃՀ |
| 9. Գրիգորյանց Վարդան Պյոտրի | – ասպիրանտ, ՄԿԲՍ ամբիոն, ՀՊՃՀ |
| 10. Դարբինյան Վահրամ Հրայրի | – ասպիրանտ, ՏԱԾԱ ամբիոն, ՀՊՃՀ |
| 11. Դոխոյան Ժաննա Գագիկի | – ֆ-մ.գ.թ., դոցենտ, ՄԿԲՍ ամբիոն, ՀՊՃՀ |
| 12. Զարգարյան Դավիթ Գագիկի | – ասպիրանտ, ՌՖ և Է ինստիտուտ, ՀԳԱԱ |
| 13. Ուլիկյան Ազատուհի Թորոսի | – հայցորդ, ԿՀ ամբիոն, ՀՊՃՀ |
| 14. Խալիլի Արադի Մոհամմադ | – ասպիրանտ, ՄԿԲՍ ամբիոն, ՀՊՃՀ |
| 15. Խաչատրյան Վաղինակ Ռաֆայելի | – դասախոս, ՄԿԲՍ ամբիոն, ՀՊՃՀ |
| 16. Խուդավերդյան Աշոտ Սուրիկի | – տ.գ.թ., ռադիոճարտարագետ, “Orange Արմենիա” ՓԲԸ |
| 17. Խուդավերդյան Սուրիկ Խաչիկի | – տ.գ.դ., պրոֆեսոր, ՌԿ և Ա ամբիոնի վարիչ, ՀՊՃՀ |
| 18. Պետրոսյան Օլեգ Հարությունի | – դոցենտ, տ.գ.թ., ՄԿԲՍ ամբիոն, ՀՊՃՀ |
| 19. Մարտիրոսյան Նորայր Վիլյամսի | – դոցենտ, տ.գ.թ., ՄԿԲՍ ամբիոն, ՀՊՃՀ |
| 20. Սիմոնյան Աննա Սմբատի | – հայցորդ, ՏՏ և Ա ամբիոն, ՀՊՃՀ |
| 21. Սիմոնյան Սարգիս Հովհաննեսի | – ՀՃԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆեսոր, ՏՏ և Ա ամբիոնի վարիչ, ՀՊՃՀ |
| 22. Վարդանյան Արման Արամի | – ասպիրանտ, ՄԿԲՍ ամբիոն, ՀՊՃՀ |
| 23. Վարդանյան Ռուբեն Հրանտի | – ասպիրանտ, Տեղեկատվական տեխնոլոգիաների մշակման և մենեջմենթի ամբիոն, ԵՊՀ |

СПИСОК АВТОРОВ

1. Авдалян Нарек Бениаминович – инженер - проектировщик, ЗАО "Синописис Армения"
2. Аветисян Армине Геворковна – к.т.н., доцент, каф. ИТ и А, ГИУА
3. Авинян Ваге Роменович – преподаватель, каф. ИТ и А, ГИУА
4. Айвазян Давид Мартинович – технический директор, ООО "Нормаком"
5. Айвазян Карен Гагикович – аспирант, каф. КПР, ГИУА
6. Айвазян Мартин Цолакович – к.т.н., доцент, декан факультета РТиСС, ГИУА
7. Арустамян Владимир Ервандович – акад. Международной академии связи, д.т.н., проф., каф. КПР, ГИУА
8. Буниатян Ваге Вазгенович – д.т.н., профессор, зав. каф., МБМП, ГИУА
9. Варданян Арман Арамович – аспирант, каф. МБМП, ГИУА
10. Варданян Рубен Грантович – аспирант, каф. ИТ и Менеджмента, ЕГУ
11. Григорянц Вардан Петрович – аспирант, каф. МБМП, ГИУА
12. Дарбинян Ваграм Грайрович – аспирант, каф. ИБиПО, ГИУА
13. Дохолян Жанна Гагиковна – к.ф-м.н., доцент, каф. МБМП, ГИУА
14. Заргарян Давид Гагикович – аспирант, ИРФЭ, НАН
15. Мартиросян Норайр Вильямсович – к.т.н., доцент, каф. МБМП, ГИУА
16. Петросян Олег Арутюнович – к.т.н., доцент, каф. МБМП, ГИУА
17. Симонян Анна Смбатовна – соискатель, каф. ИТ и А, ГИУА
18. Симонян Саргис Оганесович – акад. ИАА, д.т.н., проф., зав. каф. Информационных технологий и автоматизации, ГИУА
19. Уликян Азатуи Торосовна – соискатель, каф. Систем управления, ГИУА
20. Халили Арахи Могаммад – аспирант, каф. МБМП, ГИУА
21. Хачатрян Вагинак Рафаелович – преподаватель, каф. МБМП, ГИУА
22. Худавердян Ашот Сурикович – к.т.н., радиоинженер. ЗАО "Orange-Армения"
23. Худавердян Сурик Хачикович – д.т.н., проф., зав. каф. КПР, ГИУА

LIST OF AUTHORS

1. Arustamyan Vladimir Yervand – doctor of tech. sciences, professor, chair DPRD, SEUA
2. Avdalyan Narek Benyamin – R&D engineer, "Synopsys Armenia" CJSC
3. Avetisyan Armine Gevorg – cand. of tech. sci., associate professor, chair IT&A, SEUA
4. Avinyan Vahe Romen – lecturer, chair IT&A , SEUA
5. Aivazian David Martin – technical director, Ltd "Normacom"
6. Ayvazyan Karen Gagik – post graduate student, chair DPRD, SEUA
7. Aivazian Martin Tsolak – cand. of tech. sci., associate prof., dean, Radio Engineering & Communications faculty, SEUA
8. Buniatyan Vahe Vazgen – doctor of tech.sciences, professor and chairman, chair MBMD, SEUA
9. Darbinyan Vahram Hrayr – post graduate student, chair IS&S, SEUA
10. Dokholyan Zhanna Gagik – cand. of phys.-mat. sci., associate professor, chair MBMD, SEUA
11. Grigoryants Vardan Pyotr – post graduate student, chair MBMD, SEUA
12. Khalili Araxi Mohammad – post graduate student, chair MBMD, SEUA
13. Khachatryan Vaginak Rafayel – lecturer, chair MBMD, SEUA
14. Khudaverdyan Ashot Surik – cand. of tech. sciences, radioengineer, Orange Armenia CJSC
15. Khudaverdyan Surik Khachik – doctor of tech.sciences, professor and chairman, chair “Design and Production of Radio Devices”, SEUA
16. Martirosyan Norayr Williams – cand. of tech. sci., associate professor, chair MBMD, SEUA
17. Petrosyan Oleg Harutyun – cand. of tech. sci., associate professor of chair MBMD of SEUA
18. Simonyan Anna Smbat – probationer, chair IT&A , SEUA
19. Simonyan Sargis Hovhannes – acad. EAA, doctor of tech.sciences, professor and chairman, chair “Information Technologies & Automatization”, SEUA
20. Ulikyan Azatuhi Toros – probationer, chair “Control Systems”, SEUA
21. Vardanyan Arman Aram – post graduate student, chair MBMD, SEUA
22. Vardanyan Ruben Hrant – post graduate student, chair “Information Technologies & Management”, YSU
23. Zargaryan Davit Gagik – post graduate student, IRPhE, NAS

ՀՈՂՎԱԾՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԿԱՆՈՆՆԵՐԸ

Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի (Պոլիտեխնիկ) Բանբերը գրախոսվող հանդես է, որը հրատարակում է գիտատեխնիկական, նաև պատվիրված ակնարկային-վերլուծական բնույթի հոդվածներ, հաղորդումներ, ինչպես և տվյալ բնագավառի անվանի գիտնականների հոբելյաններին, նոր գրքերին, համալսարանի մասնակցությամբ կայացած գիտաժողովներին նվիրված նյութեր, խմբագրությանն ուղղված նամակներ:

Նյութը խմբագրություն ներկայացվում է ըստ հետևյալ պահանջների.

1. Երկու օրինակ, նաև էլեկտրոնային տարբերակով, համակարգչային շարվածքը՝ Microsoft Office Word: Հոդվածի ծավալը կարող է լինել մինչև 10 էջ, հաղորդումներինը՝ մինչև 4 էջ: Տեքստը շարադրվում է A4 չափսի թղթի վրա, աշխատանքային դաշտը՝ Top-5սմ, Bottom-5,1սմ, Left-5,75սմ, Right-1,75սմ, Footer-4,6սմ, միջտողային տարածությունը (Line spacing)՝ 1,1, պարբերությունը (First line)՝ 0,75 սմ: Հայերեն լինելու դեպքում նյութը շարադրվում է GHEA Grapalat տառատեսակով, տառաչափը՝ 10, իսկ ռուսերենի կամ անգլերենի դեպքում՝ Times New Roman տառատեսակով, տառաչափը՝ 11:

2. Թղթի վերնի ձախ անկյունում գրվում է համապիտանի տասնորդական դարականիչը՝ տեքստին համապատասխան լեզվով (ՀՏԴ, ՄԾԿ, UDC), հաջորդ տողի կենտրոնում՝ գլխատառերով հեղինակ(ներ)ի անվան-հայրանվան սկզբնատառերը և ազգանուն(ներ)ը՝ bold, 10 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 11 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում: Հոդվածի վերնագիրը տրվում է հեղինակի ազգանվանը հաջորդող տողի կենտրոնում՝ bold, ամբողջությամբ գլխատառերով՝ 10 տառաչափով՝ հայերեն տեքստի դեպքում և 11 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում:

3. Նյութը սկսվում է ամփոփումով (անոտացիա) այն լեզվով, որով ներկայացված է: Ամփոփումն ավարտվում է առանցքային բառերով՝ տառաչափը՝ 9 հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, և միայն «Առանցքային բառեր» արտահայտությունը՝ bold, italic: Ամփոփումը պետք է լինի մինչև 5 տող, առանցքային բառերը կամ բառակապակցությունները՝ 4-8 բառ:

4. Երաշխավորվում է նյութի շարադրման հետևյալ կարգը. «Ներածություն», որը պետք է համառոտ ներառի հարցի վիճակը, թեմայի արդիականությունը և հետազոտության նպատակը, «Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը», «Հետազոտության արդյունքները», «Եզրակացություն», անհրաժեշտության դեպքում՝ նաև այլ բաժիններ՝ համապատասխան վերնագրերով:

5. Տեքստում հղումները գրականությանը նշվում են ուղղանկյուն փակագծերով: Բանաձևերը ներկայացվում են նոր տողից, Equation Editor ծրագրով, italic, տառաչափը՝ 11, անհրաժեշտության դեպքում համարակալվում են տողի վերջում՝ սովորական (կոր) փակագծում:

6. Նկարներն ու աղյուսակները հաջորդում են տեքստում համապատասխան հղումներին: «Նկ.» և «Աղյուսակ» բառերը, նկարների մակագրությունը և աղյուսակների անվանումները գրվում են Italic 9 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում:

7. Տեքստին հաջորդում է գրականության ցանկը՝ 9 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, միայն հեղինակի ազգանունն ու անվան-հայրանվան սկզբնատառերը՝ bold, «Գրականության ցանկ» արտահայտությունը՝ տողի կենտրոնում, գլխատառերով: Ցանկում գրականության յուրաքանչյուր աղբյուր համարակալվում է ըստ տեքստում իր հղման հերթականության: Գրականության աղբյուրները պարբերական հրատարակությունների դեպքում ներկայացվում են հետևյալ կարգով. հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, վերնագիրը, հանդեսի անվանումը կամ ընդունված հապավումը, հրատարակման տարեթիվը, հատորի ու թողարկման համարները, հերթական համարը, նյութի գետեղման էջերը, գրքերի դեպքում՝ հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, վերնագիրը, հրատարակման վայրը, հրատարակչությունը, թվականը, էջերի քանակը:

8. Գրականության ցանկին հաջորդում են ամփոփումները մյուս երկու լեզուներով (եթե տեքստը հայերեն է, ամփոփումները նախ՝ ռուսերեն, ապա՝ անգլերեն, եթե ռուսերեն է, նախ՝ հայերեն, ապա՝ անգլերեն, եթե անգլերեն է, նախ՝ հայերեն, ապա՝ ռուսերեն): Ամփոփումները բոլոր երեք լեզուներով իրենց բովանդակությամբ և առանցքային բառերով պետք է լինեն նույնական:

9. Տեքստը ստորագրվում է հեղինակ(ներ)ի կողմից, նշվում է նյութը խմբագրություն հանձնելու ամսաթիվը: Տեքստի խմբագրված և սրբագրված տարբերակը համաձայնեցվում է հեղինակ(ներ)ի հետ:

10. Հեղինակ(ներ)ն առանձին էջով ներկայացնում է (են) ազգանուն, անուն, հայրանունը (լրիվ), աշխատավայրի, սովորելու վայրի լրիվ անվանումը, զբաղեցրած պաշտոնը, գիտական աստիճանը, հեռախոսահամարները (աշխատանքային, տան և բջջային):

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Вестник Государственного инженерного университета Армении (Политехник) - рецензируемый журнал, в котором публикуются статьи научно-технического характера, сообщения, заказные обзорно-аналитические статьи, а также материалы, посвященные юбилеям известных в данной области ученых, новым книгам, научным конференциям при участии университета, и письма в адрес редакции.

Материал представляется в редакцию в соответствии со следующими правилами:

1. Статья в двух экземплярах и файл статьи в формате Microsoft Office Word. Объем статьи не должен превышать 10 страниц, объем сообщений – до 4-х страниц. Формат страницы – А4. Рабочее поле: Top – 5cm, Bottom – 5,1cm, Left – 5,75cm, Right – 1,75cm, Footer – 4,6cm, межстрочный интервал (Line spacing) – 1,1, красная строка (First line) – 0,75cm. Для статьи, написанной на армянском языке, применяется шрифт GHEA Grapalat (размер шрифта - 10), а на русском и английском – Times New Roman (размер шрифта – 11).

2. В левом верхнем углу первого листа указывается универсальный десятичный классификатор (ՀՏԴ, УДК, UDC); строкой ниже - инициалы (И.О.) и фамилия - заглавными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм.яз., 11 – на рус. и англ. яз., выравнивание по центру; строкой ниже по центру указывается название статьи – заглавными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм.яз., 11 – на рус. и англ. яз.

3. Материал текста начинается с аннотации и представляется на том языке, на котором написана статья. Текст аннотации должен состоять не более чем из 5 строчек. После аннотации пишутся ключевые слова – от 4-х до 8-и слов или словосочетаний. Размер текста аннотации и ключевых слов 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз., словосочетание «*Ключевые слова*» - Bold, italic.

4. Рекомендуется следующий порядок изложения материала статьи: введение, в котором должны быть кратко представлены состояние вопроса, актуальность темы и цель исследования; постановка задачи и обоснование методики; результаты исследования; заключение (эти, а при необходимости, и другие разделы должны иметь соответствующие заголовки).

5. Ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках. Формулы и математические выражения набираются редактором Microsoft Equation, italic, размер – 11. Формулы набираются с новой строки, выравнивание по центру. При необходимости, их нумеруют. Номер формулы располагается в конце строки, в круглых скобках.

6. Рисунки и таблицы располагаются в тексте по ходу ссылки на них. Слова «*Рис.*», «*Таблица*», а также названия рисунков и таблиц пишутся italic, размер 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз.

7. В конце статьи дается список литературы: размер 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз. Словосочетание «**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**» располагается в центре строки заглавными буквами, Bold. Цитируемая литература нумеруется в порядке ссылки на нее в тексте. Каждый источник представляется в следующем порядке: в случае ссылки на статью из журнала: **фамилия, инициалы И.О.** - Bold, название статьи, название журнала, место издания, год издания, том и номер издания, с какой по какую страницы занимает статья в этом журнале; в случае ссылки на книгу: **фамилия, инициалы И.О.**, название книги, место издания, название издательства, год издания, общее количество страниц.

8. После литературы представляются аннотации вместе с ключевыми словами на двух других языках. Если статья написана на армянском языке, то сначала дается аннотация на русском языке, затем на английском; если написана на русском языке – соответственно на армянском и английском, а если на английском – соответственно на армянском и русском языках. Содержание аннотаций и ключевые слова должны быть на трех языках одинаковыми.

9. Статья подписывается автором (авторами). В конце статьи ставится дата (число, месяц, год) представления статьи. Отредактированный и откорректированный вариант рукописи согласовывается с автором (авторами).

10. На отдельной странице необходимо представить следующие авторские данные: фамилия, имя, отчество; полное наименование места работы, места учебы; занимаемая должность, ученая степень и звание; номера телефонов (служебный, домашний, мобильный).

RULES FOR PREPARATION OF ARTICLES

Proceedings of State Engineering University of Armenia (Polytechnic) is a peer-reviewed journal which publishes scientific-technical and also analytic –review papers, short communications, as well as materials about the jubilees of prominent scientists, new books, scientific conferences coorganized by the University, letters addressed to the editorial board.

The material should be presented to the editorial staff in accordance with the requirements given below.

1. The authors are requested to submit two hard copies, and also the electronic version of the manuscript by Microsoft Office Word. The volume of scientific paper is limited to 10 pages, and to 4 pages for short communications. The text should be printed on A4 sized paper. The text margins should be: Top – 5cm, Bottom – 5.1 cm, Left – 5.75 cm, Right – 1.75 cm, Footer – 4.6 cm, Line-spacing – 1.1 cm, the first line – 0.75 cm. Texts in Armenian should be printed by the GHEA Grapalat, font size 10, and the texts in Russian or English by Times New Roman, in font size 11 .

2. On the top left corner, the Universal Decimal Classifier is placed in the language of the manuscript (ՀՏՂ, УДК, UDC). The initials and the surname(s) in font size 10, bold for texts in Armenian, and in font size 11 for the ones in English and Russian should be in the centre of the next line. The title should be placed in the centre of the line following the author’s surname in font size 10, bold, all in capital letters for texts in Armenian, and in font size 11 for texts in English and Russian.

3. The text begins with an abstract in the language it has been presented. It ends with keywords in font size 9 for texts in Armenian, and in font size 10 for the ones in English and Russian. Only the word “Keywords” should be bold, italic. The summary should not exceed 5 lines, the number, of keywords or word combinations - 4-8.

4. The papers should include an introduction briefly introducing the state of the problem area, the importance of the subject and the aim of investigation, as well as sections describing the statement of the problem and selection of the methodology, the results of investigation, conclusion (other sections if necessary) with subtitles, and it should end with the list of references.

5. The references in the text should be given in square brackets. The formulae should be introduced by the Microsoft Equation Editor. They are printed from a new line in italic, font size 11 in the center of the line, and if necessary numbered at the end of the line in round brackets..

6. Figures and tables should follow their references given in the text. The words “Fig”, “Table”, the figure inscriptions and the table names should be printed in italic, in font size 9, for texts in Armenian, and in font size 10 for texts in English and Russian.

7. The text is followed by the references in font size 9 for texts in Armenian and in font size 10 for texts in English and Russian. Only the author’s initials and surname should be bold. The word “References” should be placed in the centre of the line in capital letters. In the list of references each source should be enumerated according to its reference number in the text. For the periodicals the references should be introduced in the following style: the author’s surname, initials, title, year, numbers of the volume and issue, page numbers, and for books – the authors names, full title, publication place, publisher, year, total number of pages.

8. The references are followed by the abstracts in the other two languages. If the text is in Armenian, the abstracts should be first in Russian and then in English. The text in Russian should be followed first by Armenian and then by English abstracts, while the texts in English should be followed first by Armenian, then by Russian abstracts. The abstracts in all the three languages should be identical in content and keywords.

9. The article should be signed by the author(s) with indication of the submission date. The edited and proofread version of the manuscript should be agreed upon by the author(s).

10. On a separate page, the author(s) should introduce his/her/their full surname(s), name(s), patronymic(s); the full name(s) of employment place, educational institution; the position occupied scientific degree, telephone numbers (office, home, mobile).

Բ Ա Ն Բ Ե Ր

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՃԱՐՏԱՐԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

Սերիա **ԻՆՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐ,
ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ, ՌԱԴԻՈՏԵԽՆԻԿԱ**

Թող.
№ 15
2

В Е С Т Н И К

ГОСУДАРСТВЕННОГО ИНЖЕНЕРНОГО УНИВЕРСИТЕТА АРМЕНИИ

Серия **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА**

Выпуск
№ 15
2

P R O C E E D I N G S

OF STATE ENGINEERING UNIVERSITY OF ARMENIA

Series **INFORMATION TECHNOLOGIES,
ELECTRONICS, RADIO ENGINEERING**

Issue
№ 15
2

Հրատ. խմբագիր՝ Ժաննա Սեյրանյան
Խմբագիրներ՝ Հասմիկ Յ. Պետրոսյան
Հասմիկ Գ. Պետրոսյան