

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Աղաջանյան Անդրանիկ Արմենի

ՌԱԴԻՈՀԱՃԱԽԱԿԱՆԱՅԻՆ ՊԼԱԶՄԱՅԻ ՀՄԿՄԱՆ ԵՎ ՂԵԿԱՎԱՐՄԱՆ
ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ ԱՐԴԻ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՅՆԵՐՈՒՄ

Ա.04.03 – “Ռադիոֆիզիկա” մասնագիտությամբ
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Агаджанян Андраник Арменович

МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ РАДИОЧАСТОТНОЙ ПЛАЗМЫ В
СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности
01.04.03 – “Радиофизика”

ЕРЕВАН - 2015

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտում:

Գիտական ղեկավար՝

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու

Տ. Վ. Զաքարյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզ.-մաթ.գիտ. դոկտոր, ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս

Ա. Գ. Ղուլյան

տեխ. գիտ. դոկտոր

Մ. Վ. Մարկոսյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան հիմնադրամ

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2015 թ. հունիսի 2-ին, ժամը 14:00-ին, Երևանի պետական համալսարանում գործող ֆիզիկայի 049 մասնագիտական խորհրդի նիստում: Հասցե՝ 0203, Աշտարակ, Ալիխանյան եղբ. 1, ՀՀ ԳԱԱ ՌՖԷԻ:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Ստեղծագիրն առաքված է 2015 թ. մայիսի 2-ին:



Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ

Վ.Պ.Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Институте Радиофизики и Электроники НАН РА.

Научный руководитель:

кандидат физ.-мат. наук

Т. В. Закарян

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат. наук, академик НАН РА

А. Г. Гулян

доктор тех. наук

М. В. Маркосян

Ведущая организация:

Национальный политехнический университет
Армении фонд

Защита диссертации состоится 2 июня 2015 г., в 14:00 часов, на заседании специализированного совета физики 049 при Ереванском Государственном Университете по адресу: 0203, Аштарак, ул. бр. Аликханян 1, ИРФЭ НАН РА.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 2 мая 2015 г.



Ученый секретарь специализированного совета

кандидат физ.-мат. наук., доцент

В.П. Калантарян

Աշխատանքի ընդհանուր բնութագիրը

Ատենախոսության արդիականությունը

Աշխատանքը վերաբերում է վերջին ժամանակներում բուռն զարգացում ստացած և արդի տեխնոլոգիական մի շարք գործընթացների հիմնական բաղկացուցիչ մասը կազմող ցածր ջերմաստիճանային «սառը» պլազմայի կիրառություններին: Նյութերի պլազմային մշակումը ի հաշիվ այնպիսի առավելությունների, ինչպիսիք են շրջակա միջավայրի աղտոտման մակարդակի իջեցումը, նյութերի մշակման մատչելիությունը, ընտրանքային մշակման հնարավորությունը, բարձր թողունակությունը և լուծողականությունը, լայն տարածում է գտել հատկապես կիսահաղորդչային սարքերի արտադրությունում:

Պլազմային մշակումը կիսահաղորդչային սարքերի արտադրության մեջ կիրառվում է փորագրման, մակերևույթների հարթեցման, նստեցման, օքսիդացման, մետաղագերծման, պոլիմերացման և իմպլանտացման նպատակով:

Կիսահաղորդչային սարքերի զարգացմանը զուգընթաց մեծանում են նաև նյութերի մշակման տեխնոլոգիաներին ներկայացվող պահանջները: Նյութերի պլազմային մշակումը՝ ապահովելով մշակման բարձր համասեռություն, անիզոտրոպիա և ընտրողունակություն, դարձել է կիսահաղորդչային սարքերի արտադրության հիմնական միջոցներից մեկը:

Նյութերի պլազմային մշակման տեխնոլոգիաների զարգացմանը զուգընթաց ի հայտ են գալիս պլազմայի հսկման և կառավարման մի շարք խնդիրներ, որոնք պահանջում են նոր եղանակների մշակում, կամ գործող եղանակների կատարելագործում:

1970-ական թվականներից սկսած, կիսահաղորդչային սարքերի արտադրության մեջ սկսել է կիրառվել ռադիոհաճախականային (ՌՀ) պլազման: Այժմ այն հանդիսանում է արդի զանազան տեխնոլոգիական գործընթացներում նյութերի մշակման հիմնական միջոց:

Հաշվի առնելով այն, որ պլազման իրենից ներկայացնում է ոչ գծային բարդ համակարգ, ինչպես նաև այն, որ արդի հսկման և դեկավարման համակարգերը

ունեն մեծ ծախսատարություն, հետազոտություններում շեշտը դրվել է հատկապես ՌՀ պլազմայի հսկման և ղեկավարման համեմատաբար քիչ ծախսատարությամբ և միևնույն ժամանակ հուսալի և արդյունավետ եղանակների մշակման վրա:

Ատենախոսության նպատակը

Ատենախոսության նպատակն է հետազոտել ռադիոհաճախականային պլազմայի հսկման և ղեկավարման արդի խնդիրները և բարելավել կիրառվող եղանակները, ինչպես նաև մշակել այնպիսի նոր եղանակներ, որոնք թույլ կտան բարձրացնել այս համակարգերի արդյունավետությունը և հուսալիությունը: Նշված նպատակին հասնելու համար ատենախոսության մեջ դրվել են հետևյալ խնդիրները՝

1. Մշակել և հետազոտել ռադիոհաճախականային պլազմայի իմպեդանսի չափման գանազան տվիչներ:
2. Մշակել ռադիոհաճախականային պլազմայի և սնող գեներատորի իմպեդանսների ադապտիվ համաձայնեցման համակարգ և հետազոտել մշակված համակարգի արդյունավետությունը:
3. Մշակել ռադիոհաճախականային ինդուկտիվ ռեակտորների փոփոխական մագնիսական դաշտի համասեռության գնահատման համակարգ և հետազոտել նրա բնութագրերը:

Գիտական նորույթը

1. Մշակվել և հետազոտվել է ռադիոհաճախականային ինդուկտիվ պլազմայի և սնող գեներատորի իմպեդանսների ադապտիվ համաձայնեցման արագագործ եղանակ:
2. Առաջարկվել է իմպեդանսի համաձայնեցման շղթայում համաձայնեցնող ռեակտիվ տարրերի հավաքածույի օպտիմալ նոմինալների ընտրության եղանակ:
3. Մշակվել և հետազոտվել է ռադիոհաճախականային պլազմայի իմպեդանսի ուղղակի չափման մատչելի եղանակ:

4. Մշակվել է ռադիոհաճախականային պլազմայի ինդուկտիվ ռեակտորի գրգռող մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի համասեռության գնահատման արագագործ համակարգ երկչափ հարթության համար:

Գործնական արժեքը

1. Մշակված ռադիոհաճախականային պլազմայի և սնող գեներատորի իմպեդանսների ադապտիվ համաձայնեցման ավտոնոմ համակարգը կիրառելի է ՌՀ պլազմային մշակման համակարգերում և թույլ է տալիս կատարել իմպեդանսների համաձայնեցում $(3-3i) \div (20-40i)$ *Ohm* կոմպլեքս տիրույթում:
2. Ռադիոհաճախականային պլազմայի ինդուկտիվ ռեակտորի մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի համասեռության գնահատման արագագործ եղանակի շնորհիվ հնարավոր է կարգավորել գրգռող ինդուկտորների կառուցվածքը, նրանց երկրաչափական դիրքը և սնուցման օպտիմալ ռեժիմները:

Պաշտպանությանը ներկայացվող հիմնական դրույթները

1. Մշակված ադապտիվ եղանակը թույլ է տալիս կատարել ռադիոհաճախականային ինդուկտիվ պլազմայի սնող գեներատորի իմպեդանսների արագ համաձայնեցում:
2. Համաձայնեցնող շղթայի կոմպոնենտների նոմինալների հատուկ ընտրությամբ հնարավոր է ստանալ իմպեդանսների համաձայնեցման տիրույթում վիճակների օպտիմալ խտություն:
3. ՌՀ պլազմայի իմպեդանսի ուղղակի չափման մատչելի եղանակը թույլ է տալիս իրականացնել իմպեդանսների բազմահաճախականային համաձայնեցում:
4. Մշակված փոփոխական մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի հետազոտման համակարգը թույլ է տալիս իրականացնել ինդուկտիվ կապով ռադիոհաճախականային պլազմայի ռեակտորի փոփոխական մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի համասեռության գնահատում և երկչափ արտապատկերում հորիզոնական հարթության մեջ:

Աշխատանքի ներկայացումը

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները բազմիցս քննարկվել են Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտի Ազդանշանների մշակման ու ԳԲՀ սարքավորումների լաբորատորիաների սեմինարներում և ներկայացվել IRPhE'2014 (2-3 հոկտեմբերի, Ադվերան, Հայաստան) միջազգային գիտաժողովում:

Տպագրություններ

Ատենախոսության թեմայով տպագրվել է 5 աշխատանք, որոնցից 4 հոդված՝ գիտական ամսագրերում, և 1 զեկույց՝ ներկայացված միջազգային գիտաժողովում:

Ատենախոսության կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, 4 գլուխներից, եզրակացությունից և 105 հղում պարունակող գրականության ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 104 էջ է և պարունակում է 64 նկար և 4 աղյուսակ:

Ատենախոսության բովանդակությունը

Ներածության մեջ հիմնավորված է թեմայի արդիականությունը, ձևակերպված է հետազոտման նպատակը և խնդիրները, ներկայացված է գիտական նորույթը և աշխատանքի գործնական նշանակությունը, ինչպես նաև ներկայացված են պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները:

Գլուխ 1-ում ներկայացված է թեմային վերաբերող գրականության հակիրճ ամփոփումը: 1.1. պարագրաֆում ներկայացված են գազապարպումային «սառը» պլազմայի և հատկապես ՌՀ պլազմայի ստացման եղանակները: Ներկայացված են ունակային և ինդուկտիվ կապով ռադիոհաճախականային պլազմայի ստացման եղանակների առանձնահատկությունները, առավելությունները և թերությունները:

1.2 պարագրաֆում ներկայացված են նյութերի մշակման նպատակով ռադիոհաճախականային պլազմայի կիրառման առանձնահատկությունները և նյութերի մշակման նախորդ, քիմիական մշակման, եղանակների նկատմամբ ունեցած առավելությունները: Ինչպես նաև դիտարկված են, կիսահաղորդչային

սարքերի արտադրության համար կարևոր գործոն հանդիսացող, նյութերի պլազմային մշակման եղանակների համասեռ, անիզոտրոպ և ընտրողունակ մշակման հատկությունները:

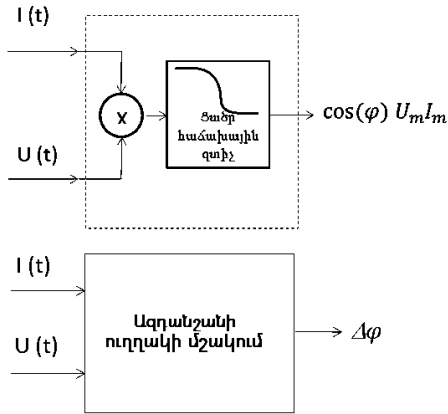
1.3 պարագրաֆում ներկայացված են ռադիոհաճախականային պլազմայի հսկման և ղեկավարման արդի խնդիրները: Հատկապես, դիտարկված են նյութերի մշակման արդի համակարգերում պլազմայի խտության և համասեռության, նյութերի մշակման զանազան գործընթացներում, ունեցած ազդեցությունը, ինչպես նաև նրանց հսկման և ղեկավարման արդի խնդիրները:

Գլուխ 2-ը նվիրված է ռադիոհաճախականային պլազմայի իմպեդանսի չափման եղանակներին: 2.1 պարագրաֆում ներկայացվում են «սառը» պլազմայի մոդելը և այդ մոդելի վրա հիմնված նրա հաղորդականությունը: α տիպի պլազմայի էլեկտրահաղորդականության տենզորի որոշման բանաձևը բերված է (1)-ում:

$$\sigma_{ij}(\omega) = \sum_{\alpha} i \frac{n_{\alpha} e_{\alpha}^2}{m_{\alpha}(\omega + i\nu)} \delta_{ij}: \quad (1)$$

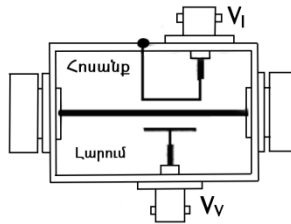
2.2 պարագրաֆում ներկայացված է ՌՀ պլազմայի իմպեդանսի չափիչ կիրառությունները ռադիոհաճախականային պլազմայի հսկման և ղեկավարման խնդիրներում: Դիտարկված են ՌՀ պլազմայի իմպեդանսի չափիչների միահաճախականային և բազմահաճախականային տարատեսակների առանձնահատկությունները: Դիտարկված է նաև նրանց կիրառությունը ՌՀ պլազմայի և սնող գեներատորի իմպեդանսների ադապտիվ համաձայնեցման ավտոմատ համակարգերում և նյութերի մշակման զանազան գործընթացների հսկման ժամանակ:

2.3 պարագրաֆում ներկայացված են ՌՀ պլազմայի իմպեդանսի չափման եղանակները, նրանց առանձնահատկությունները, առավելությունները և թերությունները: Դիտարկվել է ՌՀ պլազմայի իմպեդանսի ուղղակի և անուղղակի չափման եղանակները, որոնք կիրառվել են տիպի չափիչների մշակման ժամանակ:



Նկ. 1. Չափման անուղղակի և ուղղակի եղանակի վրա հիմնված իմպեդանսի չափիչների ընդհանուր կառուցվածքը

2.4 պարագրաֆում ներկայացված են ՌՀ պլազմայի իմպեդանսի չափիչի առանցքային հանգույցը հանդիսացող հոսանքի և լարման տվիչի կառուցվածքը և բնութագրերը:



Նկ.2. Ռադիոհաճախականային պլազմայի հոսանքի և լարման տվիչի կառուցվածքը
Հոսանքի և լարման տվիչների ելքային լարումների կախվածությունը չափվող լարման և հոսանքի արժեքներից բերված է (2) և (3) բանաձևերում:

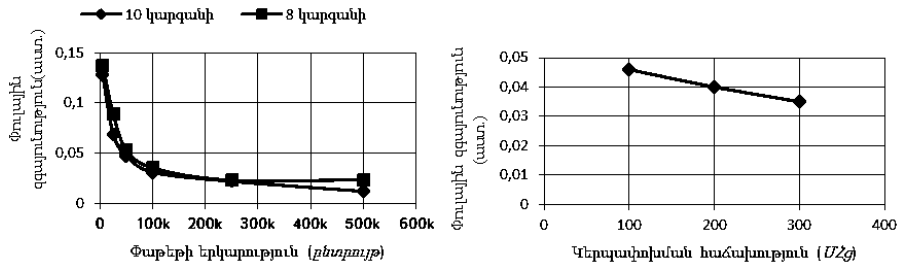
$$V_v = RC \frac{dV_{RF}}{dt}, \quad (2)$$

$$V_i = M \frac{dI_{RF}}{dt}, \quad (3)$$

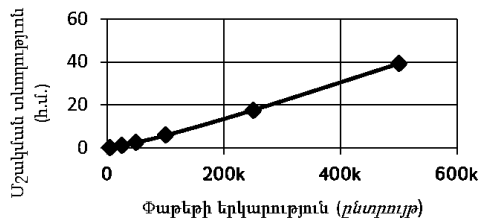
Նկարագրված ՌՀ հոսանքի և լարման տվիչը նախատեսված է ըստ հոսանքի գործող արժեքի 1.5÷50 Ա և ըստ լարման գործող արժեքի 100÷3000 Վ տիրույթի ՌՀ ազդանշանների հոսանքի և լարման չափման համար: Հոսանքի և լարման տվիչների ելքային ազդանշանները մոտ 60 դԲ-ով փոքր են չափվող հոսանքի և լարման իրական արժեքներից:

2.4 պարագրաֆում ներկայացված է հարմոնիկ ազդանշանների փուլային շեղման անուղղակի և ուղղակի չափման վրա հիմնված եղանակների առանձնահատկությունները և նրանց կիրառման բնագավառները:

Ներկայացված են պլազմայի իմպեդանսի ուղղակի չափման մատչելի եղանակի մշակմանը ուղղված հետազոտությունների արդյունքները:



Նկ. 3. Չափման զգայունության կախվածությունը փաթեթում եղած ընտրությունների քանակից և ձևափոխման հաճախությունից



Նկ. 4. Մշակման հարաբերական տևողության կախվածությունը գրանցված փաթեթի երկարությունից

Կատարված հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ մշակման եղանակների, մասնավորապես Ֆուրյեի արագ ձևափոխության կիրառումը թույլ է

տալիս օգտագործել ավելի ցածր գնային դասի ԱԹՁ չնվազեցնելով փուլային շեղման չափման զգայունությունը: Միևնույն ժամանակ այս եղանակը ապահովում է ՌՀ պլազմայի իմպեդանսի բազմահաճախականային չափում, որի շնորհիվ այն կիրառելի է դառնում ՌՀ պլազմայի հսկման խնդիրներում:

Գլուխ 3-ը նվիրված է ռադիոհաճախականային պլազմայի և սնող աղբյուրի իմպեդանսների ադապտիվ համաձայնեցման եղանակներին: 3.1 պարագրաֆում ներկայացված են ՌՀ պլազմայի և սնող աղբյուրի իմպեդանսների համաձայնեցման անհրաժեշտությունը, ներկայացված է իմպեդանսների համաձայնեցման պայմանը և դիտարկված է հզորության անդրադարձման գործակիցը, որպես համաձայնեցման գնահատման չափանիշ:

Իմպեդանսների համաձայնեցման պայմանը և համաձայնեցման չափանիշ հանդիսացող հզորության անդրադարձման գործակիցը ներկայացված են համապատասխանաբար՝

$$Z_{\text{Matcher}} = Z_L^* , \quad (4)$$

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} . \quad (5)$$

3.2 պարագրաֆում ներկայացված են ՌՀ պլազմայի և սնող աղբյուրի իմպեդանսների ադապտիվ համաձայնեցման անընդհատ և դիսկրետ եղանակների առանձնահատկությունները: Քննարկված են իմպեդանսների համաձայնեցման L , Π և T տիպի շղթաների ընդհանուր առանձնահատկությունները:

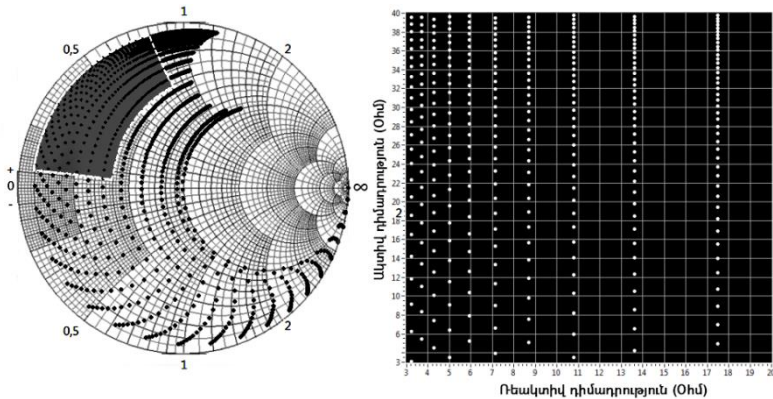
Իմպեդանսների համաձայնեցման դիսկրետ եղանակը ավելի արագագործ է և ի տարբերություն անընդհատ համաձայնեցման եղանակների, առավել մեծ հնարավորություններ է ընձեռում կամայական համաձայնեցման ուղու ընտրության տեսանկյունից:

3.3 պարագրաֆում ներկայացված է ինդուկտիվ կապով ռադիոհաճախականային պլազմայի և սնող զեներատորի իմպեդանսների ադապտիվ համաձայնեցման համակարգի և նրա առանձին մասերի՝ համաձայնեցնող շղթայի և համաձայնեցման ղեկավարող հանգույցի,

նկարագրությունը: Մշակված համակարգում համաձայնեցման բարձր արագագործության ապահովման նպատակով համաձայնեցնող շղթան իրականացվել է դիսկրետ եղանակով, և նախատեսված է $(3-3i) \div (20-40i)$ Օհմ կոմպլեքս տիրույթում փոփոխվող իմպեդանսի համաձայնեցման համար:

Պլազմայի իմպեդանսի փոփոխման անհրաժեշտ տիրույթը ծածկելու նպատակով ընտրվել է համաձայնեցման L տիպի շղթան:

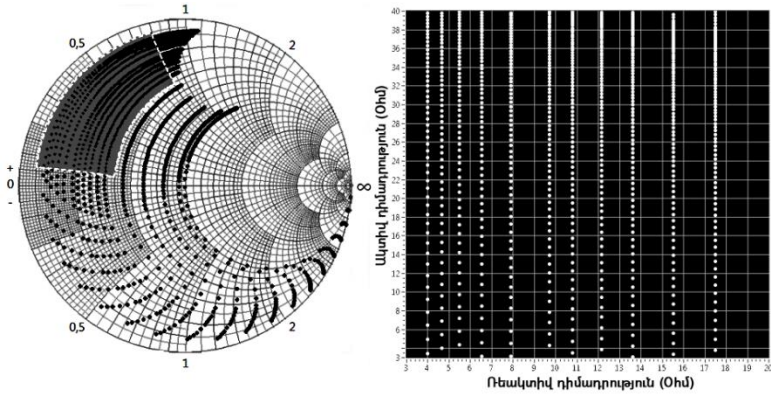
Ցույց է տրվել, որ համաձայնեցման շղթան կազմով ունակությունների նոմինալների հատուկ ընտրությամբ հնարավոր է ստանալ իմպեդանսների համաձայնեցման տիրույթում վիճակների օպտիմալ խտություն:



Նկ. 5. Համաձայնեցման հանգույցի իմպեդանսների բաշխվածությունը

2048 հնարավոր կոմբինացիաների դեպքում,

$$C_T = [8, 16, 32, 64, 128, 256, 512] \text{ պՖ} \text{ և } C_L = [64, 128, 256, 512] \text{ պՖ}$$

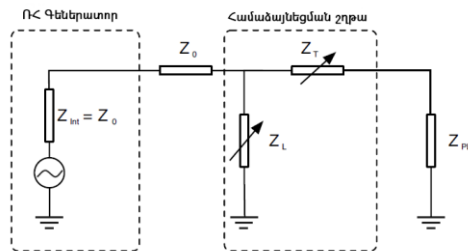


Նկ. 6. Համաձայնեցման հանգույցի իմպեդանսների բաշխվածությունը

2048 հնարավոր կոմբինացիաների դեպքում,

$$C_T = [8, 16, 32, 64, 128, 256, 180] \text{ պՖ և } C_L = [64, 128, 256, 512] \text{ պՖ}$$

Իմպեդանսների համաձայնեցման դեկավարման եղանակների հետազոտման նպատակով մշակվել է համակարգի մաթեմատիկական մոդել՝ հիմք ընդունելով համակարգի համարժեք էլեկտրական սխեման:



Նկ 7. ՌՀ պլազմայի իմպեդանսի համաձայնեցման համակարգի համարժեք էլեկտրական սխեման

Այդ մոդելի անհրաժեշտ առնչությունները բերված են ստորև՝

$$Z_{\text{Matcher}} = \frac{Z_0 Z_L}{Z_0 + Z_L} + Z_T \quad (6)$$

$$Z_T = \frac{1}{j\omega C_T} + j\omega L \quad (7)$$

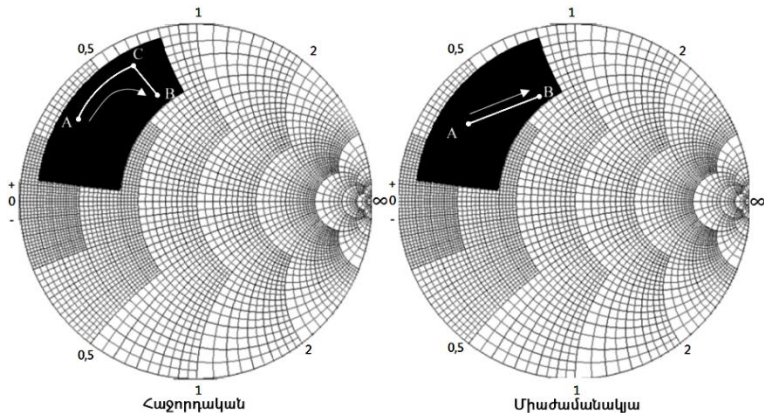
$$Z_L = \frac{1}{j\omega C_L} \quad (8)$$

$$\begin{cases} R = \frac{Z_0}{1+(Z_0 j \omega C_L)^2} \\ X = \omega L - \frac{Z_0^2 \omega C_L}{1+(Z_0 j \omega C_L)^2} - \frac{1}{\omega C_T} \end{cases} \quad (9)$$

$$C_L = \frac{1}{Z_0 \omega} \sqrt{\frac{Z_0 - R}{R}} \quad (10)$$

$$C_T = \frac{1}{\omega} \left(\frac{1}{\omega L - \frac{Z_0^2 \omega C_L}{1+Z_0^2 \omega C_L^2} - X} \right) \quad (11)$$

Քննարկվել է համաձայնեցման ուղու հայտնաբերման երկու եղանակ՝ հաջորդական, որի դեպքում նախ փոփոխվում է համաձայնեցնող հանգույցի իրական, այնուհետև կեղծ մասերը կամ հակառակը և միաժամանակյա, որի դեպքում գուգահեռաբար փոխվում են համաձայնեցման հանգույցի, թե իրական, և թե կեղծ մասերը: Ակնհայտ է, որ երկրորդ եղանակը գերադասելի է: Հաշվի առնելով այն, որ համաձայնեցնող շղթայի իմպեդանսի կտրուկ փոփոխությունները կարող են հանգեցնել համակարգի կայունության խախտման, նպատակակետին մոտենալը կատարվում է կրկնակի անգամ փոքրացող քայլով:

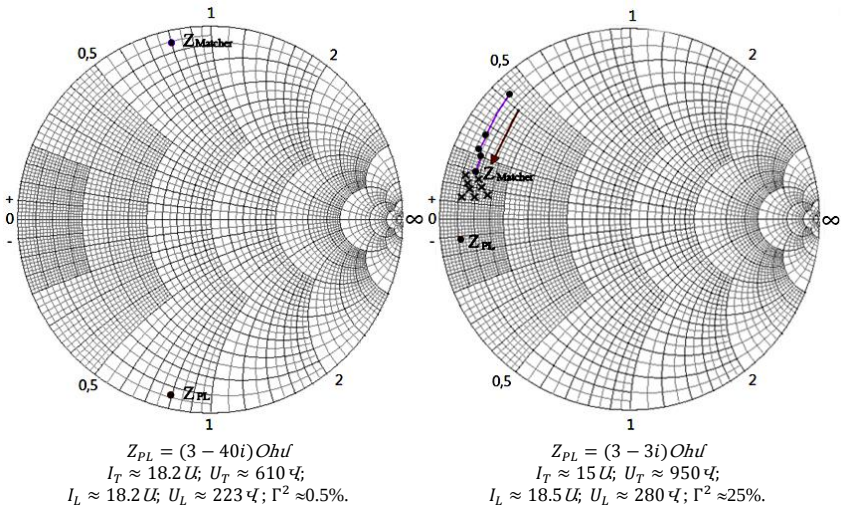


Նկ. 8. Համաձայնեցման ուղու հաջորդական և միաժամանակյա եղանակները

Իմպեդանսների համաձայնեցման շղթայում էլեկտրոնային փոխանջատիչների պաշտպանման նպատակով մշակված եղանակը թույլ է տալիս շրջանցել համաձայնեցնող շղթայի այնպիսի նոմինալների համադրությունները, որոնց դեպքում գերազանցվում են էլեկտրոնային

փոխանջատիչների առավելագույն թույլատրելի արժեքները ըստ լարման և հոսանքի:

Ներկայացված է նաև իմպեդանսների համաձայնեցման եղանակի կիրառման տիպային օրինակ: Մասնավորապես դիտարկված է $13.56 \text{ } U\text{Հg}$ հաճախությամբ և 1 կՎտ հզորությամ $\Omega\text{Հ}$ գեներատորից սնվող համակարգ, որտեղ համաձայնեցնող շղթայի էլեկտրոնային բանալիների առավելագույն թույլատրելի արժեքները ըստ լարման և հոսանքի կազմում են համապատասխանաբար 1 կՎ և 20 Ա : Տիպային օրինակում պլազմայի իմպեդանսը փոխվում է $(3 - 40i) \text{ } Ohm$ արժեքից $(3 - 3i) \text{ } Ohm$ -ի:



Նկ. 9. Համաձայնեցման համակարգի վիճակների տիպային դինամիկան

Գլուխ 4-ը նվիրված է ինդուկտիվ ռադիոհաճախականային պլազմայի ռեակտորի փոփոխական մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի համասեռության գնահատման եղանակներին և մշակված երկչափ արտապատկերման համակարգի առանձնահատկությունների հետազոտմանը:

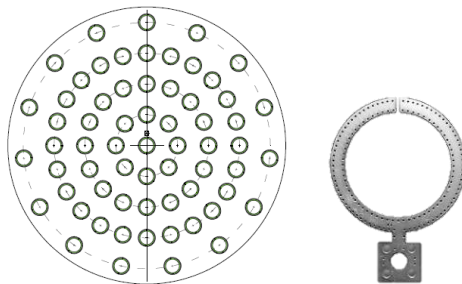
4.1 պարագրաֆում ներկայացված են ռեակտորներում պլազմայի անհամասեռությանը նպաստող գործոնները և դրանց ազդեցությունը նյութերի

մշակման գործընթացներին: Որպես ՌՀ պլազմայի անհամասեռության առաջացման հիմնական պատճառ, դիտարկվել է ինդուկտիվ կապով ՌՀ պլազմայի ռեակտորի գրգռող ինդուկտորների մոտիկ դաշտում ստեղծված փոփոխական մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի բաշխվածության անհամասեռությունը:

4.2 պարագրաֆում ներկայացված են փոփոխական մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի բաշխվածության հետազոտման եղանակները: Մասնավորապես դիտարկված են զուգահեռ և հաջորդական կամ, որ նույնն է մեկ կամ ո քանակությամբ փոփոխական մագնիսական դաշտի տվիչներով չափման, եղանակների առանձնահատկությունները և նրանց համեմատական վերլուծությունը:

4.3 պարագրաֆում ներկայացված են մշակված ինդուկտիվ կապով ՌՀ պլազմայի ռեակտորի հորիզոնական հարթության մեջ մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի համասեռության գնահատման և երկչափ արտապատկերման համակարգի կառուցվածքը, ինչպես նաև բաղկացուցիչ հանգույցների աշխատանքի սկզբունքների նկարագրությունը: Դիտարկված են ասինխրոն և սինխրոն ուժեղացման եղանակները:

Մշակված համակարգի հիքում ընկած է զուգահեռ չափումների եղանակ: Թվով 64, տվիչները իդենտիկ են և իրենցից ներկայացնում են փակ կոնտուրներ, որոնց աշխատանքի հիմքում ընկած է Ֆարադեյի օրենքը:



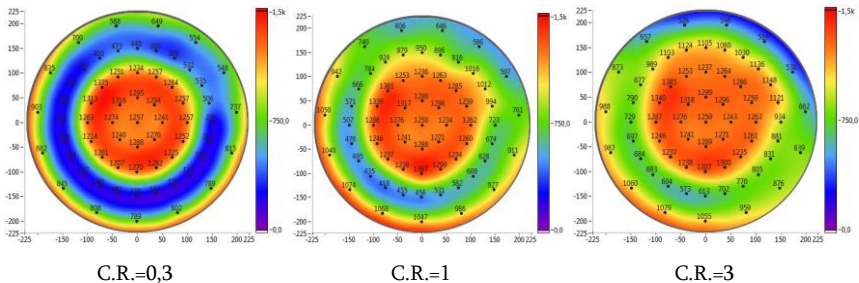
Նկ. 10. Փոփոխական մագնիսական դաշտի տվիչների մատրիցայի և տարրական տվիչի կառուցվածքը

Տվիչների ելքային ազդանշանների գրանցման և առաջնային մշակման նպատակով մշակվել է տվյալների հավաքման և գրանցման բազմամուտք համակարգ, որն ապահովում է 64 առանձին տվիչների ելքային ազդանշանների գուգահեռ գրանցումը:

Գրանցված ազդանշանները այնուհետև ուղարկվում են տվյալների մշակման և արտապատկերման հանգույց, որտեղ, համակարգի լուծողունակության մեծացման նպատակով կիրառվել է խորանարդային ինտերպոլյացիայի եղանակը: Չափման արդյունքների վերլուծության նպատակով կատարվում է հետագա վիճակագրական մշակում:

4.3 պարագրաֆում ներկայացված է փոփոխական մագնիսական դաշտի տարրական տվիչների զգայունության գնահատումը և մշակված համակարգի բնութագրերը: Համակարգը աշխատում է $2 \div 1000$ $U\text{Հg}$ հաճախականային տիրույթում, $13,56$ $U\text{Հg}$ հաճախության դեպքում ապահովում է $1,8 \cdot 10^{-8}$ ՏՀ փոփոխական մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի չափման զգայունություն, չափման 30 ηP դինամիկ տիրույթ և $1,5$ % արտապատկերման սխալանք:

4.3 պարագրաֆում բերված են հզորության բաժանարարով սնվող երկու գրգռող ինդուկտորներով ստացված դաշտի չափումների արդյունքները հզորության տարբեր հարաբերությունների դեպքում:



Նկ. 11. Փոփոխական մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի բաշխվածությունը գրգռող ինդուկտորի մոտիկ դաշտում հոսանքների 0,3, 1 և 3 հարաբերությունների դեպքում

Եզրակացություն

1. Մշակվել և հետազոտվել է ռադիոհաճախականային պլազմայի իմպեդանսի չափման ուղղակի և անուղղակի եղանակների վրա հիմնված տվիչներ:
2. Պլազմայի իմպեդանսի ուղղակի եղանակով չափման տվիչներում ազդանշանների սպեկտրալ մշակման շնորհիվ հնարավոր է օգտագործել ավելի ցածր կարգայնության ԱԹՉ՝ զգալիորեն չնվազեցնելով չափման զգայունությունը:
3. Մշակվել և հետազոտվել է ռադիոհաճախային ինդուկտիվ կապով պլազմայի և սնող գեներատորի իմպեդանսների ադապտիվ համաձայնեցման արագագործ համակարգ:
4. Իմպեդանսների համաձայնեցման դիսկրետ շղթաներում համաձայնեցնող էլեմենտների նոմինալների օպտիմալ ընտրությամբ կարելի է մեծացնել համաձայնեցնող շղթայի իմպեդանսների ծածկման տիրույթում վիճակների խտությունը:
5. Մշակվել և հետազոտվել է ինդուկտիվ կապով ռադիոհաճախականային պլազմայի ռեակտորի հորիզոնական հարթության մեջ մագնիսական դաշտի համասեռության չափման և արտապատկերման արագագործ համակարգ:

Հրատարակված աշխատանքների ցուցակ

1. А. А. Агаджанян, А. А. Ахумян, Т. В. Закарян, А. К. Меликян, Н. Г. Погосян, “Система двумерной визуализации и мониторинга переменного магнитного поля”, *Известия НАН РА и ГИНА. Серия технических наук*, т. 37, стр. 395-402, 2014.
2. A. A. Aghajanyan, A. A. Hakhoumian, H. K. Melikyan, N. G. Poghosyan, T. V. Zakaryan, “2D Imaging System for Alternating Magnetic Field Flux”, *Proceedings of International Conference on Microwave and THz Technologies and Wireless Communications (IRPhE'2014)*, October 2-3, 2014, Aghveran, Armenia, pp. 147-150.
3. A. A. Aghajanyan, A. A. Hakhoumian, N. G. Poghosyan, T. N. Poghosyan, T. V. Zakaryan, “On the Method of Monitoring and Optimal Control of RF-Plasma”, *Armenian Journal of Physics*, v.8, no 1, pp. 44-50, 2015.
4. А. А. Агаджанян, “Экономный радиочастотный метод измерения комплексных сопротивлений”, *Сборник научных трудов международного научно-образовательного центра НАН РА*, стр. 62-67, 2015.
5. Ա. Ա. Աղաջանյան, “Ռադիո-հաճախային ազդանշանների փուլային շեղման չափման արդյունավետ եղանակ”, *ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր (տեխ. գիտ. սերիա)*, հատ. 38, էջ 219-223, 2015.

МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ РАДИОЧАСТОТНОЙ ПЛАЗМЫ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

АННОТАЦИЯ

Низкотемпературная плазменная обработка материалов находит широкое применение в различных современных технологических процессах все более вытесняет традиционные химические методы обработки. Благодаря таким преимуществам, как уменьшение уровня загрязнения окружающей среды, возможность выборочной обработки, высокая пропускная и разрешающая способность плазменная обработка материалов, получила широкое применение особенно при производстве полупроводниковых приборов, ЖК экранов, микроэлектромеханики и т.д. Данный метод был впервые внедрен в процесс производства полупроводниковых приборов в 70-х годах, после чего были поэтапно разработаны более целенаправленные и избирательные методы плазменной обработки.

Учитывая, что плазма представляет собой сложную нелинейную систему, а также то, что современные системы контроля и управления имеют большую затратность, в исследованиях основной акцент был поставлен на разработку надежных и эффективных методов контроля и управления радиочастотной плазмой с относительно малыми материальными и энергетическими затратами.

Целью данной работы является исследование современных проблем контроля и управления РЧ плазмы, усовершенствование используемых методов, а также разработка новых методов, которые позволяют увеличить эффективность и надежность таких систем. Для достижения указанной цели в диссертации поставлены следующие задачи:

1. Разработать и исследовать различные датчики для измерения импеданса радиочастотной плазмы.

2. Разработать систему адаптивного согласования импедансов радиочастотной плазмы и питающего генератора и исследовать эффективность разработанной системы.
3. Разработать систему оценки распределения переменного магнитного поля радиочастотных индуктивных реакторов и исследовать характеристики разработанной системы.

В диссертации получены следующие основные результаты:

1. Разработаны и исследованы датчики, основанные на методах прямого и косвенного измерения импеданса радиочастотной плазмы.
2. В датчиках прямого метода измерения импеданса плазмы, благодаря спектральной обработке сигналов, возможно использование АЦП более низкой разрядности, незначительно снижая при этом чувствительность измерения.
3. Разработана и исследована быстродействующая система адаптивного согласования импедансов индуктивной радиочастотной плазмы и питающего генератора.
4. В дискретных цепях согласования импедансов, методом оптимального выбора номиналов согласующих элементов, возможно увеличение плотности состояний в диапазоне покрытия импедансов согласующей цепи.
5. Разработана и исследована быстродействующая система оценки и отображения однородности индукции магнитного поля в горизонтальной плоскости реактора радиочастотной плазмы с индуктивной связью.

METHODS OF MONITORING AND CONTROL OF RF PLASMA IN MODERN TECHNOLOGICAL PROCESSES

ANNOTATION

The low-temperature plasma-assisted processing of materials has huge number of applications in modern technological processes such manufacturing of semiconductor devices, LCD panels, MEMS etc. and replaces the traditional chemical technique more and more. Due to reduction of the environmental pollution rate, high efficiency, productivity and resolution the plasma-assisted processing of materials becomes a fundamental technique in modern semiconductor production.

This method was first invented and introduced in seventies and becomes a mature technique for semiconductor device manufacturing.

Taking into account that plasma is a complex nonlinear system, and the fact that modern control systems have a need for big investments, the research emphasis was put on the development of reliable and efficient methods of monitoring and control of the RF plasma with a relatively low-cost.

The aim of this dissertation is to research the contemporary issues of RF plasma monitoring and control, to improve the existing methods, as well as to develop new methods allowing to increase the efficiency and reliability of these systems. To reach the stated aim, the following steps have been set:

1. To develop and investigate RF plasma impedance sensors based on a various measurement methods.
2. To develop and investigate an adaptive RF plasma impedance matching system.

3. To develop and investigate a system for two-dimensional monitoring of the effective value of the alternating magnetic field.

During research work the following main results have been achieved:

1. Two types of RF plasma impedance monitors based on both direct and indirect measurement methods were developed.
2. In RF plasma impedance monitors based on direct measurement methods, the application of spectral processing allows using a lower price category Analog-to-Digital converter without compromising the overall measurement sensitivity.
3. High-speed impedance matching system was developed for inductively coupled RF plasma and supplying RF generator impedance matching.
4. The optimum selection of the matching elements values in discrete matching circuits allows to increase the density of states in matching impedance coverage range.
5. The developed high-speed system allows to monitor the uniformity of the alternating magnetic field inductance in the horizontal plane of inductively coupled RF plasma reactor.