

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ, ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ
ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ ԲԱԲԿԵՆ ԱՐԹՈՒՐԻ

**ԿԵՆՍԱԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԲԱՐՁՐ ԿԱՐԳԻ ՍՊԵԿՏՐԱԼ
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ**

Ա.04.03 - Ռադիոֆիզիկա մասնագիտությամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության
ՍԵՂՄԱԳԻՐ
ԵՐԵՎԱՆ 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Оганисян Бабкен Артурович

**ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ
СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВЫСОКОГО ПОРЯДКА
АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.03 - „Радиофизика,,

ЕРЕВАН – 2021

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում:

Գիտական ղեկավար՝ ֆ.մ.գ.թ., դոցենտ
Ա.Հ. Մակարյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆ.մ.գ.դ., պրոֆեսոր
Ա.Ա. Հախումյան
ֆ.մ.գ.թ., դոցենտ
Հ.Գ. Բաղայան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական հետազոտությունների
ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2022թ. Փետրվարի 12-ին ժամը 12:00-ին
Երևանի պետական համալսարանի 049 ֆիզիկայի մասնագիտական խորհրդի
նիստում: Հասցե՝ 0025, Երևան, Ա. Մանուկյան 1:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2021թ. դեկտեմբերի 30-ին:

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝



ֆ.մ.գ.թ., դոցենտ
Վ.Պ. Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете.

Научный руководитель: к.ф.м.н., доцент
А.О. Макарян

Официальные оппоненты: д.ф.м.н., профессор
А.А. Ахумян
к.ф.м.н., доцент
Г.Г. Бадалян

Ведущая организация: Институт физических исследований НАН РА

Защита диссертации состоится 12 Февраля 2022г. в 12:00,
на заседании специализированного совета 049 по физике Ереванского
государственного университета по адресу: 0025, Ереван, ул. А. Манукяна 1.
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.
Автореферат разослан 30 декабря 2021г.

Ученый секретарь
специализированного совета:



к.ф.м.н., доцент
В.П. Калантарян

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Աշխատանքի արդիականությունը

Ազդանշանների բազմազանության մեջ անչափ կարևոր տեղ են զբաղեցնում կենսաազդանշանները (բիոազդանշանները) [1]: Կենդանի օրգանիզմի առանձին օրգաններն ուղեղի հետ հաղորդակցվում են էլեկտրական ազդանշաններով: Հետևաբար հնարավոր է օրգանիզմի կենսագործունեության մասին ինֆորմացիա ստանալ՝ մշակելով այդ ազդանշանները, քանի որ նրանք պարունակում են օրգանիզմի գործունեությանն առնչվող ողջ ինֆորմացիան:

Սակայն այդ ազդանշանները գրանցելը չափազանց բարդ է, քանի որ դրանք մշտապես ուղեկցվում են աղմուկներով: Հետևաբար, շատ օգտակար կարող են լինել կենսաազդանշանների այնպիսի վիճակագրական վերլուծությունները, որոնց միջոցով կարելի է ազդանշան-աղմուկ խառնուրդից զտել օգտակար ազդանշանները և ստանալ նոր, օբյեկտիվ ինֆորմացիա օրգանիզմում կատարվող այս կամ այն պրոցեսի մասին:

Կենսաազդանշանների միջոցով օրգանիզմի վիճակի մասին ինֆորմացիայի ստացումը անչափ կարևոր է շատ հիվանդությունների արագ և ճիշտ ախտորոշման համար:

Այդպիսի հիվանդության տիպիկ օրինակ է ողջ աշխարհում լայն տարածում գտած շաքարային դիաբետը: Արյան մեջ գլյուկոզի կոնցենտրացիան չափումը սվորաբար կատարվում է արյան նմուշառման ճանապարհով, որն առաջացնում է հիվանդի արյան վարակում ստանալու վտանգ և որոշակի անհարմարություններ: Հետևաբար, արյան մեջ գլյուկոզի կոնցենտրացիան առանց ներթափանցման որոշելու համար կենսասենսորների ստեղծման հնարավորությունների հետազոտումը՝ խիստ արդիական է:

Սույն աշխատանքում առաջարկվել և հետազոտվել է ջրային լուծույթում գլյուկոզի խտության որոշման հնամավորությունը ԳԲՀ տվիչների միջոցով, ինչը

կարող է օգտակար լինել արյան մեջ գլյուկոզի կոնցենտրացիայի չափիչ սարքերի ստեղծման համար:

Կենսաազդանշանների մեջ առանձնահատուկ տեղ են գրավում էլեկտրասրտագիրը (ԷՍԳ) (էլեկտրակարդիոգրամը) և էլեկտրաէնցեֆալոգրամը (ԷԷԳ), որոնց միջոցով հնարավոր է խիստ արժեքավոր տեղեկություններ ստանալ ողջ օրգանիզմի կենսագործունեության մասին:

Էլեկտրասրտագրությունը, չնայած իր ավելի քան մեկդարյա պատմությանը, շնորհիվ իր պարզության և պացիենտին նվազագույն անհարմարություն պատճառելու հատկության, լայնորեն կիրառվում է մինչ օրս՝ որպես սրտի (և ոչ միայն սրտի) առողջական վիճակի մասին ինֆորմացիա ստանալու առաջնային և գլխավոր միջոց:

ԷՍԳ-ն կարևորագույն գործիք է սրտի ախտորոշման համար, սակայն երկար տևողությամբ ԷՍԳ-ի ստանդարտ վիճակագրական վերլուծության դեպքում ազդանշանի դինամիկայի մասին ինֆորմացիան հաճախ կորչում է: Ատենախոսական աշխատանքում առաջարկվել և իրականացվել է ԷՍԳ-ի հետազոտություն սպեկտրալ և բիսպեկտրալ վերլուծությունների միջոցով՝ կիրառելով սահող պատուհանի մեթոդը: Ցույց է տրվել, որ այս մեթոդի կիրառման դեպքում ԷՍԳ-ի հզորության սպեկտրում և բիսպեկտրում հստակ արտացոլվում են սրտի աշխատանքում տեղի ունեցող դինամիկ փոփոխությունները (մասնավորապես ռիթմի փոփոխությունը), ինչը կարող է լրացուցիչ կարևոր ինֆորմաիա հաղորդել սրտի վիճակի մասին:

Մարդու օրգանիզմի վիճակի մասին առավել մեծ ինֆորմացիա կարող է ստացվել էլեկտրաէնցեֆալոգրամների մշակման միջոցով: ԷԷԳ-ն գլխուղեղի հետազոտման ամենատարածված ոչ ինվազիվ մեթոդներից մեկն է, որը սակայն չի կարող ամբողջական ինֆորմացիա հաղորդել ուղեղում տեղի ունեցող ողջ գործընթացների վերաբերյալ, քանի որ այն գրանցում է միայն ցածրհաճախային ազդանշաններ: Սակայն հայտնի է, որ ԷԷԳ ազդանշաններից բացի, մարդու ուղեղն արձակում է նաև ռադիոճառագայթում [2], որը սակայն հիմնականում

գրանցվում է ռադիոմետրերի օգնությամբ և հետևաբար ինֆորմացիա չի պարունակում ճառագայթման սպեկտրալ բաղադրիչների փուլերի և նրանց փոխկապակցվածության մասին:

Ատենախոսական աշխատանքում հետազոտվել է մարդու գլխուղեղի ակտիվությունը ռադիոհաճախային (5-ից մինչև 30 MHz) տիրույթում: Մշակվել է հատուկ ապլիկատորային անտենա (ունակային տվիչ), որի միջոցով գրանցվել է մարդու ուղեղի ռադիոճառագայթում՝ հաճախությունների մեգահերցային տիրույթում: Գրանցված ազդանշանի բիսպեկտրալ վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ճառագայթման սպեկտրալ բաղադրիչների որոշ խմբեր ցուցաբերում են ներքին փոխկապակցվածություն: Ցույց է տրվել նաև, որ մարդու հոգեկան և ֆիզիոլագիական վիճակների փոփոխությունը առաջ է բերում զգալի փոփոխություններ ուղեղի ռադիոճառագայթման բիսպեկտրում, այն դեպքում, երբ սպեկտրում նկատելի փոփոխություններ չեն դիտվում:

Աշխատանքի նպատակը

1. հետազոտել ոչ ինվազիվ եղանակով աշխատող տարբեր տիպի ԳԲՀ սենսորների կիրառման հնարավորությունները արյան մեջ գլյուկոզի կոնցենտրացիան որոշելու համար:

2. հետազոտել մարդու սրտի աշխատանքը սպեկտրալ և բիսպեկտրալ վերլուծության միջոցով սրտի վիճակի վերաբերյալ հավելյալ, օբյեկտիվ ինֆորմացիա կորզելու համար:

3. գրանցել մարդու գլխուղեղի ակտիվությունը ռադիոհաճախային տիրույթում:

4. գրանցված ազդանշանների վիճակագրական վերլուծության միջոցով պարզել այդ ազդանշանների առանձնահատկությունները:

Այդ նպատակին հասնելու համար դրվել են հետևյալ խնդիրները.

- Նախագծել, պատրաստել և հետազոտել ԳԲՀ սենսորներ ջրային լուծույթում գլյուկոզի կոնցենտրացիան որոշելու համար:

- Նախագծել և կառուցել համակարգ՝ ԷՍԳ-ի գրանցման, անալոգա-թվային փոխակերպման և LabVIEW միջավայրում սպեկտրալ և բիսպեկտրալ վերլուծություններ իրականացնելու համար
- Ստեղծել համակարգ LabVIEW միջավայրում անկախ բաղադրիչների մեթոդով էլեկտրաէնցեֆալոգրամի վերլուծություն իրականացնելու համար
- Նախագծել է պատրաստել ապլիկատորային անտենա (ունակային սենսոր) ուղեղի ռադիոճառագայթումը գրանցելու համար
- Ստեղծել համակարգ ուղեղի ռադիոճառագայթումը վիճակագրական վերլուծության ենթարկելու և սպեկտրալ բաղադրիչների միջև հնարավոր օրինաչափությունները բացահայտելու համար

Գիտական նորություն

1. Ցույց է տրվել, որ ԳԲՀ հարթ տվիչը և մոտակա դաշտի ԳԲՀ միկրոզոնը կարելի է կիրառել ջրային լուծույթում ոչ ինվազիվ եղանակով գյուկոզի կոնցենտրացիան որոշելու համար:

2. Սրտի աշխատանքի դինամիկ պատկերն ստանալու համար առաջարկվել է կատարել ԷՍԳ-ի ժամանակահատվածային վերլուծություն՝ կիրառելով սահող պատուհանի մեթոդը: Ցույց է տրվել, որ սահող պատուհանի մեթոդով ԷՍԳ-ի հետազոտության դեպքում հզորության սպեկտրում և բիսպեկտրում հստակ արտացոլվում են սրտի աշխատանքում տեղի ունեցող փոփոխությունները (մասնավորապես դիթմի փոփոխությունը):

3. Առաջին անգամ գրանցվել են գլխուղեղի կողմից արձակված բարձր հաճախային տիրույթի (5-30 ՄՀց) ռադիոազդանշաններ՝ օգտագործելով ապլիկատորային անտենա (ունակային սենսոր):

4. Ցույց է տրվել, որ մարդու գլխուղեղից ստացված ազդանշանների վիճակագրական վերլուծության ճիշտ ալգորիթմ ընտրելու դեպքում անկախ բաղադրիչների վերլուծության (ԱԲՎ) մեթոդը կարող է շատ արդյունավետ լինել

կողմնակի անկախ աղբյուրների առաջացրած խանգարումներից ձերբազատվելու համար:

5. Ուղեղից ստացված ռադիոազդանշանների բիսպեկտրալ վերլուծությունը ցույց է տվել, որ ճառագայթման սպեկտրալ բաղադրիչների որոշ խմբեր ցուցաբերում են ներքին փոխկապակցվածություն: Ցույց է տրվել նաև, որ ուղեղից առաքված ռադիոճառագայթման բիսպեկտրի բնույթը պայմանավորված է մարդու հոգեկան և ֆիզիոլոգիական վիճակներով:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները

1. Ավանդական ԷՍԳ-ի սպեկտրալ և բիսպեկտրալ վերլուծությունների միջոցով, սահող պատուհանի մեթոդի կիրառամբ հնարավոր է հստակ գրանցել սրտի աշխատանքում տեղի ունեցող դինամիկ պրոցեսները, մասնավորապես՝ ռիթմի փոփոխությունը

2. Հատուկ մշակված ունակային սենսորի միջոցով գրանցվել են գլխուղեղից արձակվող ռադիոհաճախային (5-30 ՄՀց տիրույթի) ազդանշաններ

3. Գրանցված ռադիոճառագայթման բիսպեկտրալ վերլուծությունը ցույց է տալիս փոխադարձ կորելացիոն կապ որոշ սպեկտրալ բաղադրիչների միջև, ինչը պայմանավորված է մարդու հոգեկան և ֆիզիոլոգիական վիճակներով

4. ԳԲՀ հատուկ տվիչների միջոցով հնարավոր է առանց ներթափանցման որոշել գլյուկոզի կոնցետրացիան ջրային լուծույթում, ինչը կարող է օգտակար լինել արյան մեջ գլյուկոզի խտությունը առանց ներթափանցման որոշելու համար:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրվել են 6 գիտական աշխատանքներում: 2 աշխատանք զեկուցվել է միջազգային գիտաժողովներում:

Գործնական արժեքը

ԳԲՀ հարթ տվիչի և մոտակա դաշտի ԳԲՀ միկրոզոնդի միջոցով ջրային լուծույթում գլյուկոզի պարունակության հետազոտման արդյունքները կարող են

օգտագործվել մարդու արյան մեջ գլյուկոզի կոնցենտրացիան ոչ ինվազիվ մեթոդներով չափող սարքերի ստեղծման համար:

Սույն ատենախոսության շրջանակներում կատարված հետազոտությունները ցույց են տվել, որ ԷՍԳ-ի ժամանակահատվածային վերլուծության միջոցով (օգտագործելով Ֆուրիե արագ ձևափոխությունը և բիսպեկտրալ վերլուծությունը) կարելի է բացահայտել սրտի վարքագծի որոշակի դինամիկ առանձնահատկություններ, որոնք կարող էին չնկատվել միայն ազդանշանի ժամանակային տեսքը անզեն աչքով զննելու դեպքում: Սա բժշկական անձնակազմին թույլ կտա կատարել ավելի արագ և ճշգրիտ (օբյեկտիվ) փաստորոշումներ:

Աշակված ապլիկատորային անտենան կարող է կիրառվել գլխուղեղից արձակված ռադիոազդանշանների գրանցման համար, իսկ գրանցված ազդանշանների սպեկտրալ և բիսպեկտրալ վերլուծության միջոցով կարելի է ինֆորմացիա ստանալ գլխուղեղում կատարվող արագ պրոցեսների մասին, ինչը չափազանց կարևոր է ուղեղի աշխատանքի վերաբերյալ ամբողջական պատկերացում կազմելու համար:

Աշխատանքի ներկայացումը

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները զեկուցվել են IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EEXPolytech), St. Petersburg, Russia, 2019 և YETI-2021, St. Petersburg, Russia, 2021 միջազգային գիտաժողովներում, ԵՊՀ Ռադիոֆիզիկայի ֆակուլտետի և ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ամբիոնի գիտական սեմինարներում, ինչպես նաև ԵՊՀ ուսանողական գիտական ընկերության գիտաժողովներում:

Հրապարակումները

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրվել են 6 գիտական աշխատանքներում, որոնց ցուցակը ներկայացված է սեղմագրի վերջում:

Ատենախոսության կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է առաջաբանից, երեք գլխից, եզրակացությունից և 108 անուն պարունակող գրականության ցանկից:

Աշխատանքում կա 33 նկար և 1 աղյուսակ: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 105 էջ է:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

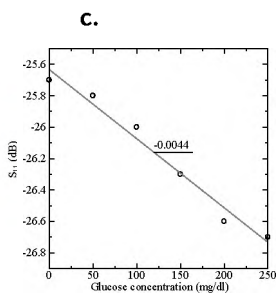
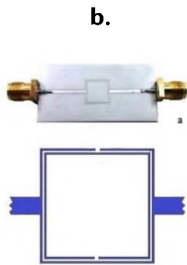
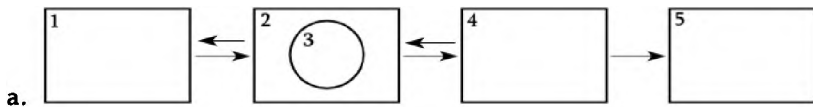
Առաջաբանի մեջ հիմնավորված է աշխատանքի արդիականությունը, ձևակերպված են նպատակներն ու խնդիրները, ինչպես նաև պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները: Ներկայացված են աշխատանքի գիտական նորույթը և գործնական արժեքը:

Առաջին գլխում դիտարկված են ջրային լուծույթներում ԳԲՀ հատուկ տվիչների միջոցով գլյուկոզի կենցենտրացիան որոշելու հնարավորությունը:

1.1 և 1.2 պարագրաֆներում ներկայացվում են ոչ ինվազիվ մեթոդով արյան մեջ գլյուկոզի կոնցենտրացիայի որոշման կարևորությունը և ԳԲՀ զոնդերի օգնությամբ կոնցենտրացիայի որոշման հնարավորությունը՝ նմուշից անդրադարձման գործակիցը չափելու միջոցով:

1.3-1.4 պարագրաֆներում ներկայացված են ԳԲՀ հարթ տվիչի օգնությամբ իրականացված հետազոտության փորձարարական սարքավորումը (Նկ.1a), տվիչի տեսքը (Նկ.1b) և չափումների արդյունքները (Նկ.1c):

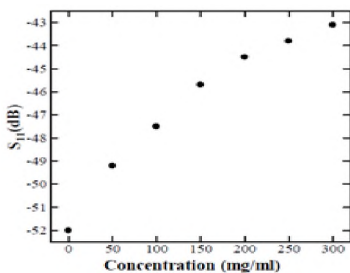
Հետազոտվող նյութով լցված կվարցե տարան դրվում է տվիչի վրա: ԳԲՀ անդրադարձման գործակիցը գրանցվում է GenComm GC724B անալիզատորի օգնությամբ: Գրանցված տվյալների հետագա մշակումն իրականացվում է համակարգչով՝ LabVIEW միջավայրում: Նվազագույն կոնցենտրացիան, որը կարող է գրանցվել համակարգի կողմից կազմում է 6.8 մգ/դլ:



Նկ.1: a. Չափիչ համակարգի բլրկ սխեման. 1. համաձայնեցված բեռ 2. տվիչ 3. հետազոտվող լուծույթով լցված տարա 4. անալիզատոր 5. Համակարգիչ, b. հարթ տվիչի տեսքը և սխեմատիկ պատկերը, c. ԳԲՀ անդրադարձման S_{11} գործակիցի կախումը գլյուկոզի

1.5 պարագրաֆում ներկայացված է ՄԴՄՄ-ի օգնությամբ իրականացված հետազոտության փորձարարական սարքավորումը, որտեղ որպես միկրոզոնդ օգտագործվել է 10 մկմ տրամագծով, կլոր գազաթով ոսկեծայր ասեղ: Սարքավորման բլրկ սխեման նման է Նկ. 1a-ում պատկերվածին: Այս դեպքում ցանցային անալիզատորից ԳԲՀ ազդանշանը տրվում է ԳԲՀ դիէլեկտրիկ ռեզոնատորին, որի ելքում միացված է միկրոզոնդը: Գլյուկոզի կոնցենտրացիան այստեղ նույնպես որոշվում է անդրադարձման S_{11} գործակիցի չափման միջոցով:

1.6 պարագրաֆում բերված են չափումների արդյունքները (տես Նկ. 2.)



Նկ.2: ԳԲՀ համակարգի անդրադարձման S_{11} գործակիցի կախվածությունը լուծույթում գլյուկոզի կոնցենտրացիայից:

1.7 պարագրաֆում ամփոփվում են առաջին գլխում ներկայացված հետազոտությունների արդյունքները:

Երկրորդ գլուխը նվիրված է էլեկտրարտագրի (ԷՍԳ) (էլեկտրակարդիոգրամ) հետազոտմանը սպեկտրալ և բիսպեկտրալ վերլուծության միջոցով:

2.1 պարագրաֆում մանրամասն քննարկված է ԷՍԳ-ն, որն առանձնահատուկ տեղ է գրավում կենսաազդանշանների մեջ: Չնայած իր ավելի քան մեկդարյա պատմությանը՝ էլեկտրարտագրումը լայնորեն կիրառվում է մինչ այսօր, որպես սրտի (և ոչ միայն սրտի) առողջական վիճակի մասին ինֆորմացիա ստանալու առաջնային և գլխավոր միջոց՝ շնորհիվ իր պարզության և պացիենտին նվազագույն անհարմարություն պատճառելու հատկության:

2.2 և 2.3 պարագրաֆներում քննարկված են վերջին տասնամյակներում ազդանշանների թվային մշակման մեջ լայնորեն կիրառվող սպեկտրալ և բիսպեկտրալ վերլուծությունները՝ ազդանշանների վիճակագրական տարբեր պարամետրերի գնահատման համար:

ԷՍԳ-ի վիճակագրական վերլուծությամբ սրտի աշխատանքի վերաբերյալ հավաստի տեղեկություն ստանալու համար անհրաժեշտ է ունենալ հնարավորինս երկար տևողությամբ էլեկտրասրտագիր: Սակայն, երկարատև ազդանշանի մշակման ժամանակ հաճախ կորչում է պրոցեսի դինամիկայի մասին տեղեկատվությունը, որը կարող էր նպաստել սրտի վիճակի արագ և ճշգրիտ ախտորոշմանը: Սույն ատենախոսական աշխատանքում սրտի վարքագծի դինամիկ առանձնահատկությունները բացահայտելու համար առաջարկվել և իրականացվել է ԷՍԳ ազդանշանի հաճախաժամանակային վերլուծություն սահող պատուհանի մեթոդով՝ օգտագործելով սպեկտրալ և բիսպեկտրալ վերլուծությունները:

Սույն ատենախոսական աշխատանքում պատահական ազդանշանի վիճակագրական վերլուծությունը կատարվել է թվային եղանակով LabVIEW միջավայրում՝ օգտվելով դիսկրետ ձևափոխությունների համար հայտնի առնչություններից [3]. Ազդանշանների թվային մշակման համար ժամանակի և հաճախության դիսկրետ արժեքները ավելի հարմար է ներկայացնել իրենց ընտրույթները փոխարինելով համապատասխան ինդեքսներով ($t_i \rightarrow i, f_p \rightarrow p$):

Այս դեպքում դիտարկվող $\{X^m(i)\}$ պրոցեսի հզորության սպեկտրալ խտությունը կներկայացվի հետևյալ կերպ՝

$$P_x(p) = \langle \dot{X}^{(m)}(p) \dot{X}^{*(m)}(p) \rangle_\infty = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} R_x(k) e^{\left(\frac{-j2\pi kp}{N}\right)},$$

որտեղ $p = -N + 1, \dots, N + 1$ - դիսկրետ հաճախային քայլի ինդեքսն է, իսկ $\dot{X}^m(p) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} [x^{(m)}(i) e^{\left(\frac{-j2\pi ip}{N}\right)}]$ -ը՝ պրոցեսի m -րդ իրականացման սպեկտրը, որտեղ $X^m(i)$ -ն ազդանշանի արժեքն է ժամանակի $t_i = i \frac{T_a}{N}$ պահին, N - ը՝ գրանցված դիսկրետ արժեքների ընդհանուր թիվը, $T_a = NT_d$ ազդանշանի ընդհանուր տևողությունը (վերլուծության ժամանակը), T_d - ն՝ դիսկրետացման պարբերությունը, $f_n = \frac{n}{T_a}$ -ը համապատասխան սպեկտրալ բաղադրիչի հաճախությունն է, $j = \sqrt{-1}$ կեղծ միավորն է:

$R_x(k, l)$ - եռակի ինքնակորելացիոն ֆունկցիայի տեսքը կլինի՝

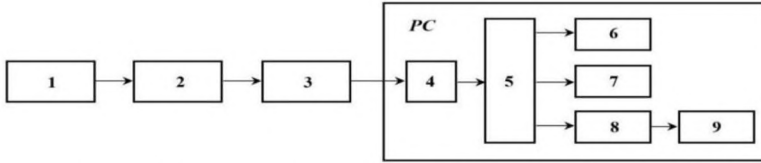
$$R_x(k, l) = \left\langle \sum_{i=0}^{N-1} [x^m(i) - E][x^m(i+k) - E][x^m(i+l) - E] \right\rangle_\infty, \quad (1)$$

(այստեղ դիտարկվող պրոցեսի k և l անկախ քայլերն ընդունում են ամբողջ արժեքներ՝ $k = -N + 1, \dots, N - 1$, $l = -N + 1, \dots, N - 1$), իսկ բիսպեկտրը եռակի ինքնակորելացիոն ֆունկցիայի հետ կապված է հետևյալ կերպ՝

$$\begin{aligned} \dot{B}_x(p, q) &= \sum_{k=-N+1}^{N-1} \sum_{l=-N+1}^{N-1} R_x(k, l) e^{\left(\frac{-j2\pi(kp+lq)}{N}\right)}, \quad \text{կամ} \\ \dot{B}_x(p, q) &= \langle \dot{X}^{(m)}(p) \dot{X}^{(m)}(q) \dot{X}^{*(m)}(p+q) \rangle_\infty = \langle \dot{X}^{(m)}(p) \dot{X}^{(m)}(q) \dot{X}^{*(m)}(-p-q) \rangle_\infty \end{aligned} \quad (2)$$

Նշենք, որ զրոյական ասիմետրիայով դետերմինացված ազդանշանի եռակի ինքնակորելացիոն ֆունկցիան և բիսպեկտրը զրո են, սակայն, նույնիսկ թույլ ոչ գծայնությունների կամ հաստատուն բաղադրիչի առկայության դեպքում նրանք տարբերվում են զրոյից: Այս հատկությունը կարող է ծառայել որպես ազդանշանների ոչ-գծային աղավաղումների հայտնաբերման և գնահատման բավական զգայուն գործիք:

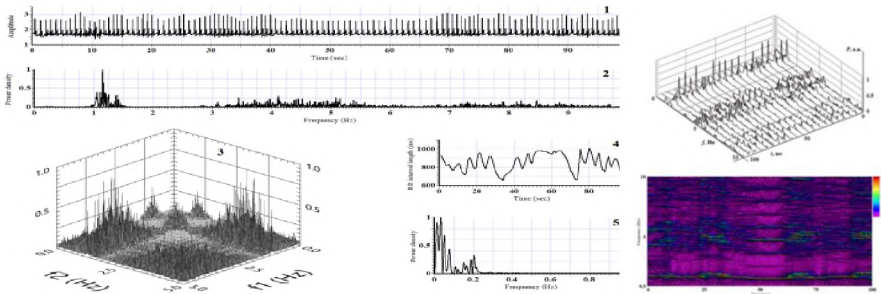
2.4. պարագրաֆում ներկայացված են ԷՍԳ-ի գրանցման և մշակման



համակարգը, ԷՍԳ-ի հետազոտման մեթոդները և ստացված արդյունքները: ԷՍԳ-ի գրանցման և մշակման համակարգի բլոկ սխեման բերված է նկ.3-ում:

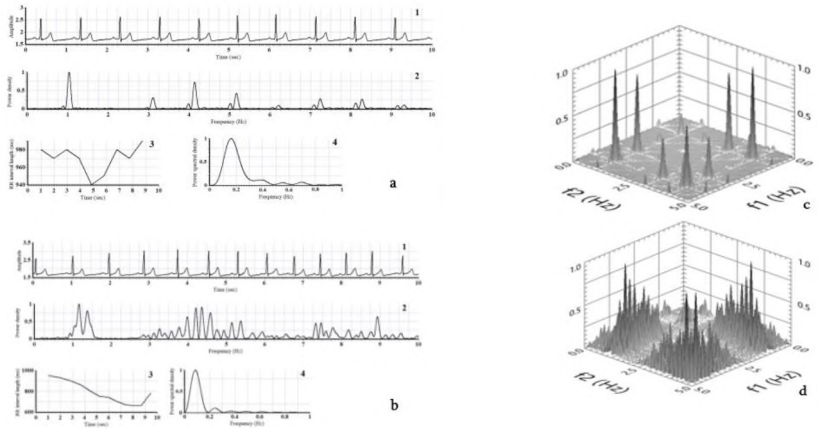
Նկ. 3: ԷՍԳ-ի գրանցման և մշակման համակարգ. 1 - սենսորներ (էլեկտրոդներ), 2 - ուժեղարար, 3 - անալոգաթվային փոխարկիչ NI-9223, 4 - ազդանշանի նախնական մշակման բլոկ NI cRIO-9076, 5 - ազդանշանի սեգմենտավորման բլոկ, 6 - սպեկտրալ վերլուծիչ, 7 - բիսպեկտրալ վերլուծիչ, 8 - սրտի ռիթմի փոփոխության չափիչ, 9 - սրտի ռիթմի սպեկտրալ վերլուծիչ

Ստանդարտ էլեկտրոդներից ստացված ազդանշանը ուժեղացվում է ցածր աղմկային ուժեղարարով, թվայնացվում է և փոխանցվում համակարգիչ, որտեղ մշակվում է LabVIEW միջավայրում: ԷՍԳ ազդանշանը տրոհելով կարճ ժամանակահատվածների, և այդ ժամանակահատվածներում կատարելով սպեկտրալ և բիսպեկտրալ վերլուծություններ, գրանցվել է դրանց փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում:



Նկ. 4: 1 - ԷՍԳ-ի ժամանակային կախվածությունը, 2 - ԷՍԳ-ի էներգետիկ սպեկտրը, 3 - ԷՍԳ-ի բիսպեկտրը, 4 - սրտի ռիթմի փոփոխության ժամանակային կախվածությունը, 5 - ռիթմի փոփոխության էներգետիկ սպեկտրը:

Նկ. 5: ԷՍԳ-ի ժամանակահատվածային դիագրամը և ռելիեֆը



Նկ. 5: (a) $t = 55$ վրկ, (b) $t = 66$ վրկ պահերին վերցված 10վրկ տևողությամբ էՍԳ-ների 1- ժամանակային տեսքը, 2-էներգետիկ սպեկտրը, 3-սրտի ռիթմի փոփոխության ժամանակային կախվածությունը, 4-ռիթմի փոփոխության էներգետիկ սպեկտրը, 5- թիսսպեկտրը, (c) $t = 55$ վրկ, (d) $t = 66$ վրկ պահերին վերցված 10վրկ տևողությամբ էՍԳ-ի թիսսպեկտրերը:

2.5 պարագրաֆում ամփոփվում են 2-րդ գլխում ներկայացված հետազոտությունների արդյունքները:

Երրորդ գլուխը նվիրված է մարդու ուղեղում առաջացող էլեկտրամագնիսական ազդանշանների գրանցմանը և նրանց վիճակագրական վերլուծությանը:

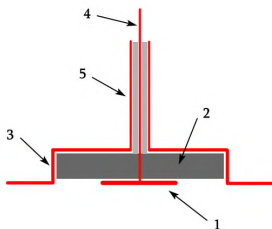
3.1 պարագրաֆում ներկայացված են մարդու գլխուղեղի հետազոտման հիմնական մեթոդները, որոնց մեջ ամենատարածվածներից մեկը էլեկտրաէնցեֆալոգրաֆիան (էէԳ) է: Սակայն էլեկտրաէնցեֆալոգրաֆները չեն կարող ամբողջական պատկերացում տալ ուղեղում տեղի ունեցող ողջ գործընթացների վերաբարյալ, քանի որ նրանք կարող են գրանցել միայն ցածր հաճախությունների ազդանշաններ, հետևաբար կարևոր է նաև ռադիոհաճախային տրոյթում ուղեղի ակտիվության հետազոտումը:

3.2 պարագրաֆը նվիրված է աղմուկներից մարդու ուղեղի ազդանշանի զտմանը՝ անկախ բաղադրիչների վերլուծության (ԱԲՎ) մեթոդով: Ատենախոսական

աշխատանքում մեթոդը կիրառվել է մարդու ուղեղից ստացված էլեկտրաէնցեֆալոգրամներից անկախ բաղադրիչները նախապես զտելու և արդեն մաքրված էԷԳ ազդանշանը հետագա վերլուծության նախապատրաստելու համար: Վերլուծությունը կատարվել է LabVIEW միջավայրում ստեղծված հատուկ ծրագրի միջոցով: Կիրառված ալգորիթմը գնահատում է ազդանշանի ենթաբաղադրիչների ոչ գաուսյանությունը՝ համարելով, որ դրանք վիճակագրորեն անկախ են միմյանցից:

Ստացված արդյունքները վկայում են, որ գրանցված ազդանշանների վերլուծության ճիշտ ալգորիթմ ընտրելու դեպքում ԱԲՎ-ն կարող է դառնալ արդյունավետ մեթոդ կողմնակի անկախ աղբյուրների առաջացրած խանգարումներից ձերբազատվելու համար:

3.3 պարագրաֆը նվիրված է ուղեղի ռադիոազդանշանների գրանցան համար հատուկ մշակված ապլիկատորային անտենայի (ունակային տվիչի) կառուցվածքի նկարագրմանը և պարամետրերի հետազոտմանը: Անտենան, որը նախատեսվել է որպես տվիչ մարդու գլխուղեղի բարձր հաճախային տիրույթի (5-30 ՄՀց) ազդանշանների գրանցման և վերլուծության համար մշակված համակարգում, կազմված է երկու էլեկտրոդներից (տես Նկ. 6): Անտենայի ելքը կոաքսիալ մալուխի միջոցով միանում է ազդանշաններն ընդունող-վերլուծող համակարգին:



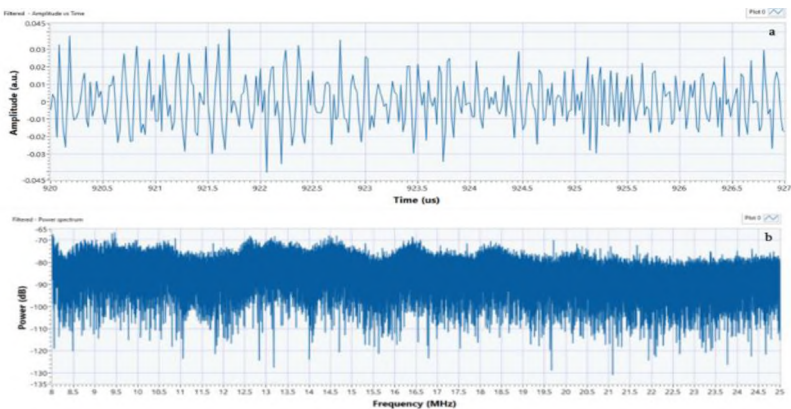
Նկ. 6: Ապլիկատորային անտենայի կառուցվածքը. **1** - մետաղական էլեկտրոդ, **2** - մեկուսիչ շերտ, **3** - էկրանավորող էլեկտրոդ, **4** - կոաքսիալ մալուխի միջուկ, **5** - կոաքսիալ մալուխի պատյան:

Չափումների արդյունքները ցույց են տալիս, որ ապլիկատորային անտենան իրեն պահում է որպես ունակային տվիչ՝ իրեն բնորոշ հաճախային բնութագծով:

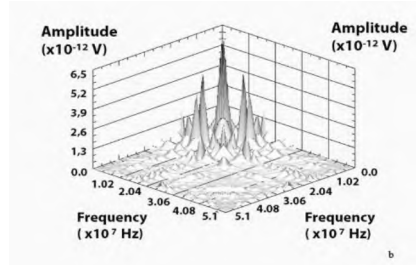
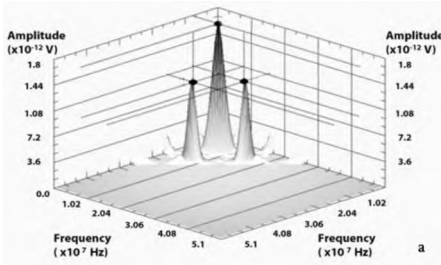
3.4 պարագրաֆը նվիրված է մարդու գլխուղեղի ռադիոազդանշանների գրանցմանը և դրանց վիճակագրական վերլուծությանը:

Այստեղ ներկայացված է գլխուղեղի ռադիոազդանշանների գրանցման և վիճակագրական վերլուծության համար մշակված համակարգը: NI PXIe-5646 վեկտորական ազդանշանների փոխակերպչում ազդանշանի նախնական ուժեղացումից և թվայնացումից հետո տվյալները փոխանցվում են համակարգչին հետագա մշակման և վերլուծության համար:

Հանգիստ վիճակում գտնվող կամավորներից մեկի ուղեղից ստացված (գրանցված) ռադիոազդանշանի ժամանակային տեսքը և նրա սպեկտրը ներկայացված են Նկ. 7-ում, իսկ Նկ. 8a-ում ցույց է տրված այդ ազդանշանի բիսպեկտրը: Նկ.8-ա-ից հստակ երևում է, որ որոշակի հաճախությունների վրա ($\sim 8\text{UՀg}$ և $\sim 15\text{UՀg}$) բիսպեկտրալ խտությունը էապես տարբերվում է ընդհանուր ֆոնից: Ելնելով բիսպեկտրի սահմանումից և դրա հատկություններից՝ կարելի է եզրակացնել, որ տվյալ դեպքում այդ երկու հաճախությունների միջև կա փոխադարձ կորելացիոն կապ: Հետազոտություններից պարզվել է, որ ուղեղի ռադիոազդանշանի բիսպեկտրի բնույթը խիստ կախված է մարդու հոգեբանական և ֆիզիոլոգիական վիճակներից:



Նկ 7: Հանգիստ վիճակում գտնվող մարդու ուղեղից ստացված (գրանցված) ռադիոազդանշանի ժամանակային տեսքը (a) և նրա սպեկտրը (b):



Նկ. 8: Մարդու ուղեղից ստացված (գրանցված) ռադիոազդանշանի բիսպեկտրը (a). հանգիստ վիճակում, (b) սթրեսային վիճակում:

Այսպես, Նկ.8-ը-ում ներկայացված է նույն մարդու ուղեղի ռադիոազդանշանի բիսպեկտրը, երբ մարդը գտնվում է սթրեսային վիճակում: Աթրեսային վիճակում բիսպեկտրը խիստ հարստացել է, ի հայտ են եկել միմյանց հետ փոխկապակցված բազմաթիվ նոր սպեկտրալ բաղադրիչներ, փոխվել են նաև սպեկտրային բաղադրիչների ամպլիտուդները (~ 5 անգամ): Որոշ չափով փոխվում են նաև փոխկապակցված բաղադրիչների հաճախությունները:

Հարկ է նշել, որ մարդու վիճակի փոփոխությունը գրանցված ազդանշանի սպեկտրի որևէ նկատելի փոփոխություն չի առաջացնում:

3.5 պարագրաֆում ամփոփվում են 3-րդ գլխում ներկայացված հետազոտությունների արդյունքները:

ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Ատենախոսության շրջանակներում կատարված հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ ԳԲՀ տվիչների օգնությամբ դիէլեկտրիկ թափանցելիության որոշման միջոցով, ոչ ինվազիվ եղանակով հնարավոր է որոշել լուծույթում գլյուկոզի կոնցենտրացիան: Հետազոտությունների արդյունքները կարող են օգտակար լինել մարդու արյան մեջ ոչ ինվազիվ եղանակով գլյուկոզի կոնցենտրացիան չափող սարքերի ստեղծման համար:

Սահող պատուհանի մեթոդով ԷՍԳ-ի հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ հզորության սպեկտրում և բիսպեկտրում հստակ արտացոլվում են սրտում տեղի ունեցող դինամիկ փոփոխությունները (մասնավորապես սրտի դիթմի փոփոխությունը): Հետևաբար ԷՍԳ-ի ժամանակահատվածային վերլուծության միջոցով, կարելի է բացահայտել որոշակի առանձնահատկություններ, որոնք կարող են չնկատվել ԷՍԳ-ն անզեն աչքով զննելու դեպքում: Սա թույլ կտա կատարել սրտի հիվանդությունների ավելի արագ և ճշգրիտ ախտորոշում:

Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ մարդու գլխուղեղն առաքում է մեգահերցային տիրույթի ռադիոազդանշաններ, որոնք կարելի է գրանցել ունակային սենսորի միջոցով:

Տարբեր մարդկանցից ստացված ռադիոազդանշանների սպեկտրների և բիսպեկտրների համեմատական վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ մարդու ուղեղի ռադիոազդանշանի սպեկտրալ կազմը պարունակում է մեգահերցային տիրույթի փոխկապակցված սպեկտրալ բաղադրիչներ, ընդ որում բիսպեկտրի բնույթը խիստ կախված է մարդու հոգեբանական և ֆիզիոլոգիական վիճակներից: Հետևաբար ուղեղի բարձրահատվածային ազդանշանի բիսպեկտրալ վերլուծության միջոցով կարելի է պատկերացում կազմել գլխուղեղում տեղի ունեցող պրոցեսների մասին:

Հետազոտությունների արդյունքները կարող են օգտակար լինել մարդու ուղեղի և նրա հետ կապված տարբեր հիվանդությունների ախտորոշման և բուժման համար:

Հղված գրականություն

[1] Jit Muthuswamy, Biomedical signal analysis, Standard handbook of Biomedical Engineering & Design, Chapter 18, (2004), p. 18.1 – 18.30.

[2] J.W Hand., G.M.J Van Leeuwen., S. Mizushina. Monitoring of deep brain temperature in infants using multi-frequency microwave radiometry and thermal modeling, Physics in Medicine and Biology, 46(7), (2001), p. 1885-1903.

[3] А.А. Зеленский, В.Ф. Кравченко, В.В. Павликов, А.В. Тоцкий, Биспектральный анализ в задачах цифровой обработки сигналов, Физические основы приборостроения, т. 2, No. 3, (2013), с. 4.

Հրատարակված աշխատանքների ցուցակը

1. B. Hovhannisyanyan, L. Odabashyan, A. Babajanyan, D. Hambaryan, Real-time glucose concentration sensing by quadratic-shaped microwave sensor, Proceedings of Yerevan State University 53(2), (2019), p. 132-137.
 2. Բ. Հովհաննիսյան, Գլուկոզի խտության անընդհատ մշտադիտարկումը միկրոալիքային եղանակով, ԵՊՀ ՈւԳԸ գիտական հոդվածների ժողովածու 1.1 (27) (2019), էջ. 219-224
 3. E. Sivolenko, B. Hovhannisyanyan, A. Medvedev, AM signal finding in the environment full of micro doppler shifts using bispectral analysis, 2019 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech), St. Petersburg, Russia, (2019), p. 117-119.
 4. Բ. Հովհաննիսյան, Տ. Հովհաննիսյան, Է. Սիվոլենկո, Օրգանական հեղուկների էլեկտրամագնիսական հատկությունների բնութագրումը միքրոալիքային կենսազոնդի օգնությամբ, ԵՊՀ ՈւԳԸ գիտական հոդվածների ժողովածու, 1.3(29) (2019), էջ. 189-195.
 5. B.A. Hovhannisyanyan, T.H. Hovhannisyanyan, A.O. Makaryan, Frequency-temporal analysis of electrocardiograms, Journal of Contemporary Physics, vol. 55, No. 4, (2020), p. 575-581.
- Б.А. Оганисян, Т.Н. Оганесян, А.О. Макарян, частотно-временной анализ электрокардиограмм, Известия НАН Армении Физика, Т. 55, No. 4, (2020).
6. B.A. Hovhannisyanyan, Study of brain radio signals using bispectral analysis, Armenian Journal of Physics, 2021, vol. 14, issue 3, p. 365-372.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВЫСОКОГО ПОРЯДКА

АННОТАЦИЯ

В разнообразии сигналов биосигналы занимают очень важное место. Обмен информацией между отдельными органами живого организма с мозгом происходит электрическими сигналами, которые передаются по нервным волокнам. Следовательно, эти электрические сигналы содержат всю информацию, связанную с деятельностью организма. Однако регистрировать эти сигналы крайне сложно, так как они всегда сопровождаются шумом. Эти шумы обычно имеют гауссову природу с нулевыми спектрами высокого порядка. Однако многие процессы в живом организме взаимосвязаны, кроме того, в организме постоянно происходят нелинейные явления, в результате которых смесь биосигнал-шум становится негауссовой. Следовательно, спектральный анализ высокого порядка этой смеси позволит обнаруживать негауссовские сигналы на фоне гауссовых аддитивных шумов.

В диссертационной работе впервые, для выявления динамической картины работы сердца было предложено проводить спектральный и биспектральный анализ ЭКГ, с применением метода скользящего окна. Показано, что применение этого метода позволяет получить точную информацию о динамических процессах в работе сердца (в частности, об изменении ритма сердца), в результате спектрального и биспектрального анализа стандартной ЭКГ.

В работе, исследована активность головного мозга человека с помощью статистической обработки сигналов стандартной ЭЭГ и радиосигналов, генерированных в мозге.

Впервые были зарегистрированы радиосигналы головного мозга в мегагерцовом диапазоне (5-30МГц), с помощью специально разработанного для этой цели емкостного датчика (антенны-апликатора). Предложен метод цифровой обработки этих сигналов в среде LabVIEW применением спектрального и биспектрального анализа. Биспектральный анализ показал, что некоторые группы спектральных составляющих зарегистрированного сигнала проявляют взаимную корреляцию.

Показано также, что характер биспектра радиосигнала мозга сильно связано с психологическим и физиологическим состоянием человека.

Результаты настоящих исследований могут быть полезны для выявления быстропротекающих процессов в мозге человека, для понимания природы этих процессов, а в результате для диагностики и лечения различных заболеваний человека, связанных с головным мозгом.

В работе исследовалась также возможность определения концентрации глюкозы в водном растворе СВЧ методом. Показано, что с помощью специальных СВЧ датчиков можно измерить концентрацию глюкозы в водном растворе без проникновения. Результаты этих исследований могут быть полезны при создании устройств для неинвазивного измерения концентрации глюкозы в крови.

Основные результаты работы:

1. Показано, что СВЧдатчики могут использоваться для неинвазивного измерения концентрации глюкозы в водном растворе.
2. Показано, что применение метода скользящего окна позволяет получить точную информацию о динамических процессах в работе сердца (в частности, об изменении ритма сердца), в результате спектрального и биспектрального анализа стандартной ЭКГ.
3. Впервые были зарегистрированы радиосигналы головного мозга в мегагерцовом диапазоне (5-30МГц), с помощью специально разработанного для этой цели емкостного датчика (антенны-аппликатора).
4. В результате биспектального анализа показано, что некоторые группы спектральных составляющих зарегистрированного радиосигнала мозга проявляют взаимную корреляцию.
5. Показано, что характер биспектра радиосигнала мозга сильно связано с психологическим и физиологическим состоянием человека.

INVESTIGATION OF BIOLOGICAL SIGNALS USING HIGHER-ORDER SPECTRAL ANALYSIS

ANNOTATION

In the diversity of signals, biosignals occupy a very important place. The exchange of information between individual organs of a living organism with the brain occurs by electrical signals that are transmitted along nerve fibers. Consequently, these electrical signals contain all the information related to the activity of the body. However, it is extremely difficult to register these signals, since they are always accompanied by noise. The nature of these noises usually is Gaussian with zero high-order spectra. However, many processes in a living organism are interconnected, in addition, nonlinear phenomena constantly occur in the body, as a result of which the biosignal-noise mixture becomes non-Gaussian. Therefore, a high-order spectral analysis of this mixture will allow the detection of non-Gaussian signals against a background of Gaussian additive noise.

In the dissertation work, for the first time, in order to identify the dynamic picture of the work of heart, it was proposed to carry out spectral and bispectral analysis of ECG, using the sliding window method. It has been shown that the use of this method allows obtaining accurate information about the dynamic of heart work (in particular, about the change in the heart rate), as a result of spectral and bispectral analysis of a standard ECG.

In this work, the activity of the human brain was investigated using statistical processing of standard EEG signals and radio signals generated in the brain.

For the first time, brain radio signals were recorded in the megahertz range (5-30 MHz) using a capacitive sensor (antenna-applicator) specially designed for this purpose. A method for digital processing of these signals in the LabVIEW environment using spectral and bispectral analysis is proposed.

Bispectral analysis showed that some groups of spectral components of the recorded signals exhibit cross-correlation.

The results of these studies can be useful for identifying fast processes in the human brain, for understanding the nature of these processes, and, as a result, for the diagnosis and treatment of various human diseases associated with the brain.

The work also investigated the possibility of determining the concentration of glucose in an aqueous solution by the microwave method. It is shown that using special microwave sensors it is possible to measure the concentration of glucose in an aqueous solution without penetration. The results of these studies can be useful in creating devices for non-invasive measurement of blood glucose concentration.

The following main results were obtained in the thesis:

1. It has been shown that microwave sensors can be used for non-invasive measurement of glucose concentration in an aqueous solution.
2. It has been shown that the application of the sliding window method allows obtaining accurate information about the dynamic processes in the heart (in particular, about the change in heart rate), as a result of spectral and bispectral analysis of a standard ECG.
3. For the first time, brain radio signals have been recorded in the megahertz range (5-30 MHz) using a capacitive sensor (antenna-applicator) specially designed for this purpose.
4. As a result of bispectral analysis, it has been shown that some groups of spectral components of the recorded radio signal of the brain exhibit cross-correlation.
5. It has been shown that the nature of the bispectrum of the radio signal of the brain is strongly associated with the psychological and physiological state of a person.