

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» комерциялық
емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Марад Айбек Русланұлы

«Өлшеу құралдарына арналған Ганн диодтарының қоректену схемаларын талдау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering білім беру бағдарламасы

Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» комерциялық
емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Өлшеу құралдарына арналған Ганн диодтарының қоректену схемаларын талдау»

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering

Орындаған:

А.Р.Марад

Пікір беруші

Ғ. Дәукеев атындағы АЭЖБУ

т.ғ.д., профессор,

М.З. Якубова

«2» шунда 2023 ж.

Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ т.ғ.к. қауым. профессоры

А.М. Дараев

«21» 05 2023 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» комерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы



Дипломдық жұмысты орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушы Марад Айбек Русланұлы

Тақырыбы «Өлшеу құралдарына арналған Ганн диодтарының қоректену схемаларын талдау».

Университет ректорының « 23 » *Қараша* 2022ж. №408 *П/Ө* бұйрығымен бекітілген
Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі «26» 04.2023ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері: Ганн Әсері, Физикалық негіз, Ганн диодтарын өндіру, құрылғы, схема, белгілеу, жұмыс принципі, қолдану, Ганн диодының параметрлері мен сипаттамаларын есептеу

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) Ганн диодын қолданатын қолданыстағы құрылғыларға шолу
 - б) Қолданыстағы микротолқынды диапазонныңдағы құрылғыларда Ганн диодтарын қолдану әдістері
 - в) Ганн диодтарындағы автогенератор мен резонанстық жүйені есептеу
 - г) MatLab-та Ганн диодындағы автогенератор резонаторын есептеу
- Сызбалық материалдар 9 слайдпен ppt форматында көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

1. Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинков А.Д. Полупроводниковые приборы. — М.:Высш.шк., 1987.
2. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. — М.: Сов.радио, 1980
3. М.С.Гусятинер, А.И.Горбачев « Полупроводниковые сверхвысокочастотные диоды»1983г
4. Ф.И.Вайсбурд «Полупроводниковые приборы» 1966г
5. А.В.Дыкин. «Электронные и полупроводниковые приборы» М.: «Энегррия»,1965г
Ю.Е.Веревкин «Основы электронной и полупроводниковой техники», Ленинград: издательство «Судостроение», 1969г




Диссертациялық жұмысты дайындау

КЕСТЕСІ


Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі	Ескерту
Ганн диодын қолданатын қолданыстағы құрылығдарға шолу	04.01.2023-20.01.2023	<u>Орындалды</u>
Қолданыстағы микротолқынды диапазонныңдағы құрылығдарда Ганн диодтарын қолдану әдістері	21.02.2023-31.02.2023	<u>Орындалды</u>
Ганн диодтарындағы автогенератор мен резонанстық жүйені есептеу	01.03.2023-30.03.2023	<u>Орындалды</u>
MatLab-та Ганн диодындағы автогенератор резонаторын есептеу	01.04.2023-20.04.2023	<u>Орындалды</u>

Диссертациялық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған

Қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Дипломдық жұмысының тақырыбын талдау	к.т.н. ЭТЖҒТ каф. қауымдастырылған профессоры, Дараев А.М.	2.06.23	
Теориялық ақпарат	к.т.н. ЭТЖҒТ каф. қауымдастырылған профессоры, Дараев А.М.	2.06.23	
Норма бақылау	т.ғ.м., ЭТЖҒТ каф ассистенті Ақылжан П.Б.	2.06.2023	

ЭТЖҒТ т.ғ.к., қауым. профессоры  А.М.Дараев

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  А.Р.Марад

Күні «12» 12 2022 ж.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста радио сигналдарды қолданумен байланысты ғылым және техниканың әртүрлі бағыттарының дамуы электромагниттік тербелістердің жоғары жиіліктерінің дамуымен сипатталатыны анық. Соңғы онжылдықтар микротолқынды диапазонның қарқынды дамуымен ерекшеленді технология дамыған сайын айтылып зерттеліп жатыр. Дагаенменда қазіргі сәтте Ганн диодтарына негізделген жартылай өткізгіш микротолқынды құрылғыларды пайдалану кезінде туындайтын осы және басқа да бірқатар мәселелерді шешу үшін соңғы жылдары осы құрылғылардың аралас жұмыс режимдеріне белсенді зерттеулер жүргізілуде мен де осы тақырыпты зерттеп зерделеу барысында алға қойған талаптарға қол жеткіздім.

Гармоникалық амплитудалық-жиілік модуляциясы үшін сигналдардың амплитудалық таңдау сипаттамалары, сондай-ақ олардың уақытша және спектрлік сипаттамалары есептеледі.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе развитие различных направлений науки и техники, связанных с применением радиосигналов, характеризуется развитием высоких частот электромагнитных колебаний. Последние десятилетия ознаменовались бурным развитием микроволнового диапазона. Дагаенменда в настоящее время проводятся активные исследования комбинированных режимов работы этих устройств в последние годы для решения этих и ряда других проблем, возникающих при использовании полупроводниковых микроволновых устройств на основе диодов Ганна.

Для гармонической амплитудно-частотной модуляции рассчитываются характеристики амплитудного отбора сигналов, а также их временные и спектральные характеристики.

ANNOTATION

In this thesis, the development of various areas of science and technology related to the use of radio signals is characterized by the development of high frequencies of electromagnetic oscillations. The last decades have been marked by the rapid development of the microwave range. Dagaenmenda is currently actively researching the combined modes of operation of these devices in recent years to solve these and a number of other problems that arise when using semiconductor microwave devices based on Gann diodes.

For harmonic amplitude-frequency modulation, the characteristics of the amplitude selection of signals, as well as their temporal and spectral characteristics, are calculated.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Генератор-түрлендіргіш құрылғылардың элементтері мен конструкциялары	9
1.1 Ганн диодтарының даму перспективалар	10
1.2 Ганн диодтарындағы құрылғылар	12
2 Ганн диодты генератордың жұмысын математикалық модельдеу	19
2.1 Ганн диоды және оның математикалық моделі	19
2.2 Ганн диодының жұмысын модельдеу	26
3 Генераторлық – түрлендіргіш құрылғылар мен олардың элементтерін эксперименттік зерттеу	27
3.1 Ганн генераторларында тербелістердің өсуіне X- жолақты диапазонында эксперименттік бақылаулар жүргізілуі	28
3.2 Генератордың теориялық-схемалық моделі	28
3.3 Ганн генераторының жұмысын MatLab платформасында талдау	29
Қорытынды	31
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	32

КІРІСПЕ

Радио сигналдарды қолданумен байланысты ғылым мен техниканың әртүрлі бағыттарының дамуы электромагниттік тербелістердің жоғары жиіліктерінің дамуымен сипатталады. Соңғы онжылдықтар микротолқынды диапазонның қарқынды дамуымен ерекшеленді. Қазіргі уақытта микротолқынды диапазондағы радиосигналдар байланыс, радиометрия, радиолокация, медицина және басқа салаларда кеңінен қолданылады.

Қазіргі уақытта жартылай өткізгіш микротолқынды генераторлардың белсенді элементтері ретінде қолданылатын ең көп қолданылатын құрылғыларға биполярлы транзисторлар, Шоттки тосқауылы бар транзисторлар жатады және Ганн диодтарын жатқызуға болады [1-5]. Ганн диодтарына негізделген микротолқынды пештің жартылай өткізгіш құрылғыларының артықшылықтарына олардың беріктігі, сенімділігі, төмен вольтты қуаты, шағын өлшемдері жатқызсақ болады. Бұл шағын және орта қуатты күшейткіштерді, автогенераторларды, жиілік түрлендіргіштерін және басқа құрылғыларды жасау үшін микротолқынды пештің аппаратурасында осы құрылғыларды кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, құрылғылардың бұл класы бірқатар кемшіліктерге ие, олардың ең маңыздылары төмен жиілік тұрақтылығы, төмен шығыс қуаты және басқалары.

Ганн диодтарына негізделген жартылай өткізгіш микротолқынды құрылғыларды пайдалану кезінде туындайтын осы және басқа да бірқатар мәселелерді шешу үшін соңғы жылдары осы құрылғылардың аралас жұмыс режимдеріне белсенді зерттеулер жүргізілуде, немесе күрделі радиофизикалық жүйелердің белсенді элементтері ретінде пайдаланып зерттелуде [6-11].

Ганн диодына негізделген жартылай өткізгіш микротолқынды генераторларды синхрондау жиілік тұрақтылығы жоғары және белсенді элементтің энергетикалық мүмкіндіктерін толық пайдалануға мүмкіндік беретін құрылғыларды жасауға мүмкіндік береді. Нәтижесінде сыртқы синхрондалған генератор тек тұрақты жиілік сигналын ғана емес, сонымен қатар әртүрлі функцияларды орындай алады мысалы ретінде : жиілікті түрлендіру, күшейту, жиілік пен фазалық модуляцияланған сигналдарды анықтау [12]. Сыртқы синхрондау жағдайында болатын Автоматты тербелмелі жүйеде өзара әрекеттесудің күрт сызықтық емес сипатының түрі, сондай-ақ әртүрлі сыртқы параметрлерді өзгерту арқылы осы жүйені басқарудың кең мүмкіндіктері, осы жүйенің шығыс қуаты мен фазалық сипаттамалары синхрондалған генераторлар негізінде құрылғылардың жаңа кластарын құруға мүмкіндік беретін бірқатар маңызды ерекшеліктерге ие.

Ганн диодтарына негізделген микротолқынды құрылғыларға қолданудағы синхрондау процестерін зерттеу өте кең жүргізілді [6-8, 13, 14]. Алайда, қолданыстағы жұмыстарда Ганн диодына негізделген синхрондалған генераторларда болатын процестерді теориялық зерттеу бірқатар шектеулермен жүзеге асырылады. Сонымен, авторлардың көпшілігі Ганн

диодтарына негізделген генераторлардың математикалық моделін құруда не аз сигналды жуықтауды қолдануды немесе негізгі жиіліктен басқа гармоникалық компоненттерді аз деп санауды ұсынады [15]. Синхрондалған микротолқынды генераторды шоғырланған параметрлері бар Схема және сәйкес теңдеулердің аналитикалық шешімі ретінде ұсыну әдісі кеңінен қолданылады [14-16]. Алайда, осы схемаға кіретін элементтердің сызықтық емес сипатын ескере отырып, авторлар әдетте бір тізбекті схемаларды қарастырумен шектеледі және әр түрлі жеңілдететін болжамдар арқылы шешім қабылдайды.

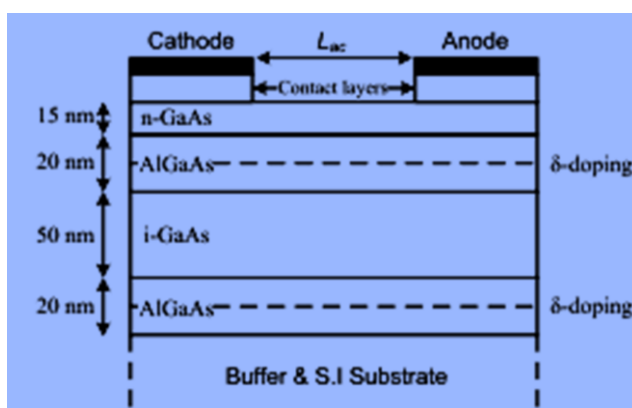
Максатқа жету үшін синхрондау режимінде жұмыс істейтін Ганн диодтарындағы генераторларды зерттеудің теориялық әдістеріне сыни талдау жасалды, Ганн диодында синхрондалған генератордың моделі құрылды, бірқатар есептеулер мен эксперименттер жүргізілді, алынған эксперименттік және теориялық нәтижелер талқыланған болатын.

1 Генератор-түрлендіргіш құрылғылардың элементтері мен конструкциялары

Радиолокациялық және радионавигациялық жоғары дәлдіктегі жүйелерді құру және кеңінен қолдану, радиокommуникация желілерін, технологиялық процестерді басқару және бақылау аппаратурасын дамыту әртүрлі функционалдық мүмкіндіктері бар микротолқынды және өте жоғары жиіліктегі электрондық аспаптарды қолдануды кеңейтеді. Соңғы уақытта жоғары дәлдіктегі, кең жолақты және шағын көлемді радиотехникалық құрылғылар ерекше қызығушылық тудыруда, оларды іске асыру өте жоғары жиіліктер диапазонында сәтті шешілуде [1].

1.1 Ганн диодтарының даму перспективалары

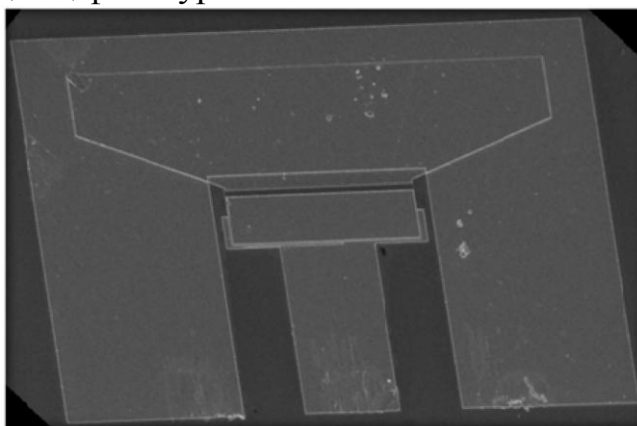
Қазіргі таңда техникалардың және технологиялардың дамыған уақытында, бүкіл әлемде микроэлектроника өнімдерін өндіру технологиясындағы үлкен прогрессін ескере отырып, әртүрлі құрылғылардың монолитті интегралды схемаларын (МИС) құру бағыты белсенді дамып келуде. Бұл әлемдік технология және техникалардың даму тенденция, Ганн диодтары айналып өткен жоқ, яғни Ганн диодтарына байланысты көптеген эксперименттер жүргізіліп қарастырылып өтуде. Соңғы уақытта [4-7] Ганн диодтарын, соның ішінде жоғары электронды қозғалғыштығы бар транзисторлармен (ЖЭҚТ) және олардың негізіндегі құрылғылармен үйлесімді технологияны құру бойынша бірқатар жұмыстар жарияланды. Мұндай диодтың типтік құрылымымен 1.1-суретте танысып өте аласыз.



1.1-сурет – Ганн планарлы диод қабаттарының құрылымы

Толқын ұзындығының миллиметрлік диапазонындағы P_0 қуатының, f_0 жиілігінің және пайдалы әсер ету коэффициентінің (тиімділік) қол жеткізілген мәндері болашаққа деген қадамның үлкен үлесі болып табылады. Сонымен, [5] жұмысында авторлар $P_0 = 0,1$ мВт; $f_0 = 164$ ГГц мәндеріне қол жеткізді. 1.2-

суретте сканерлеуші электронды микроскоптың авторлар жасаған құрылғы көмегімен жазық диодтың фотосуреті алынған болатын.



1.2-сурет – Планарлы диодтың үлкейтілген фотосуреті

Өндіріс технологиясының ЖЭҚТ [6] және Шоттки тосқауыл диодтарымен үйлесімділігі, олардың элементтің топологиялық өлшемінің жұмыс жиілігіне тәуелділігі бойынша әлдеқайда қатаң талаптары бар екендігіне және сол бағыт үшін үлкен болошаққа жасаған қадамы. Біртұтас технологиялық циклде бір чипте орындалған интегралды генераторы, араластырғышы және аралық жиілікті күшейткіші бар КВЧ диапазонының қабылдағышы сияқты тұтас құрылғының монокристаллды интегралды схемаларын жасауға мүмкіндік береді, бұл белсенді фазалық антенна торлары немесе борттық жақын радиолокациялық жүйелер сияқты күрделі функционалды құрылғыларды өндіру шығындарын айтарлықтай азайтады. Сондай-ақ, құрылғының пассивті және белсенді элементтерінен, баспа антенналарынан басқа, бір чипке интеграциялау болашағына оңтайлы болып табылады.

Ганнның диодтарын қолдану генераторлардың толық монокристаллды интегралды схемаларын (МИС) әзірлеудің дамуына әкеледі, бұл өз кезегінде әзірленіп жатқан өнімдердің құны мен массалық-габариттік сипаттамаларын едәуір төмендетуге мүмкіндік беретін "кристаллдағы жүйе" типті құрылғыларды көбірек енгізудің тағы бір жақсарту мақсатындағы қадамы болып табылады.

1.2 Ганн диодтарындағы құрылғылар

1.2.1 Генератор

Микротолқынды техникада Ганн диодтарының негізгі қолданылуы аясы генераторлар болып табылады.

Микротолқынды генератордың негізгі сипаттамалары [8]:

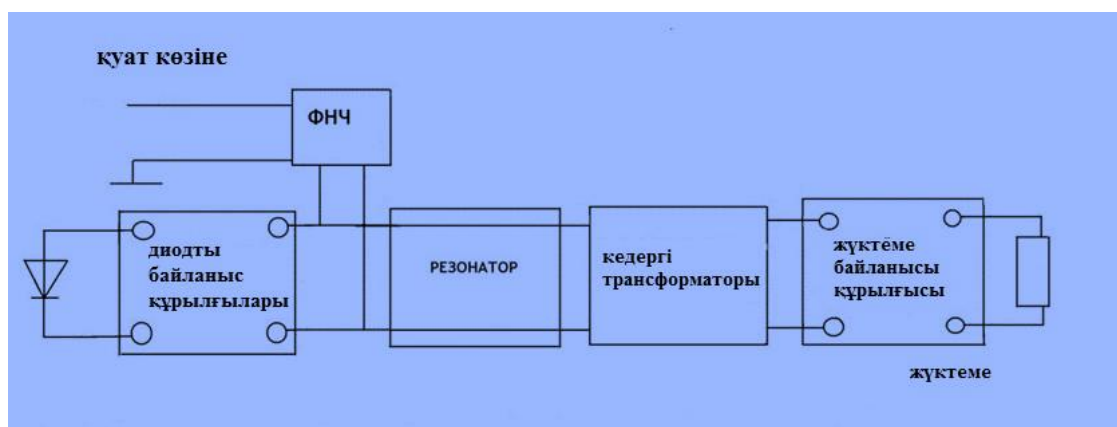
– шығыс қуаты $P_{\text{шығ}}$ - жұмыс жиілігі диапазонында пайдалы жүктемеде бөлінетін қуаттың минималды мәні

– КПД η – қуат көзінен тұтынылатын қуаттың қуатқа қатынасы P_0 ;

- Жиіліктің жұмыс істеу диапазоны ($f_{max} - f_{min}$) - берілген шығыс қуаты және басқа параметрлер қамтамасыз етілетін жиілік диапазоны;
- δf – жиілік тұрақтылығы, f_0 : $\delta f = \Delta f / f_0$ жиіліктің номиналды мәннен ең үлкен салыстырмалы ауытқуы
- $\delta f / \Delta T$ - жиіліктің температуралық коэффициенті, бұндағы ΔT жиіліктің өзгеруіне әкелетін температураның өзгеруі;
- сенімділік, істен шығу уақытымен анықталады
- Шу сипаттамалары - амплитудалық (жиілік немесе фазалық) шу деңгейі.

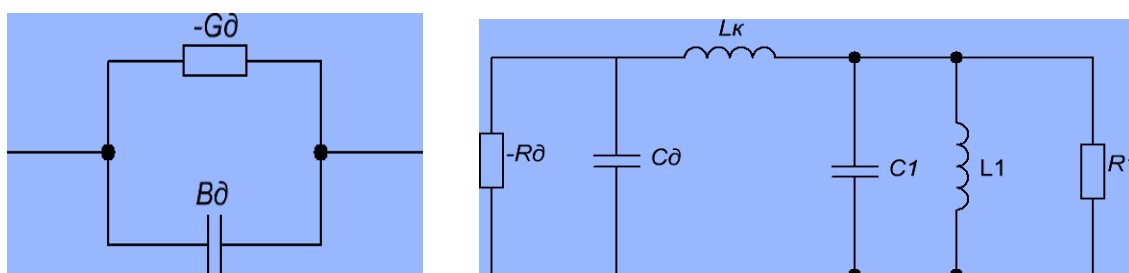
Жалпы жағдайда диод генераторы Ганн диодтан, резонатордан, қуат тізбегіндегі төменгі жиілікті сүзгіден (жоғары жиілікті сигналды әлсірету үшін қолданылады) және диодтың резонатормен, жүктеме резонаторымен байланыс құрылғыларынан тұрады.

Ганн диодындағы генератордың жалпыланған құрылымдық схемасы 1.3-суретте көрсетілген.



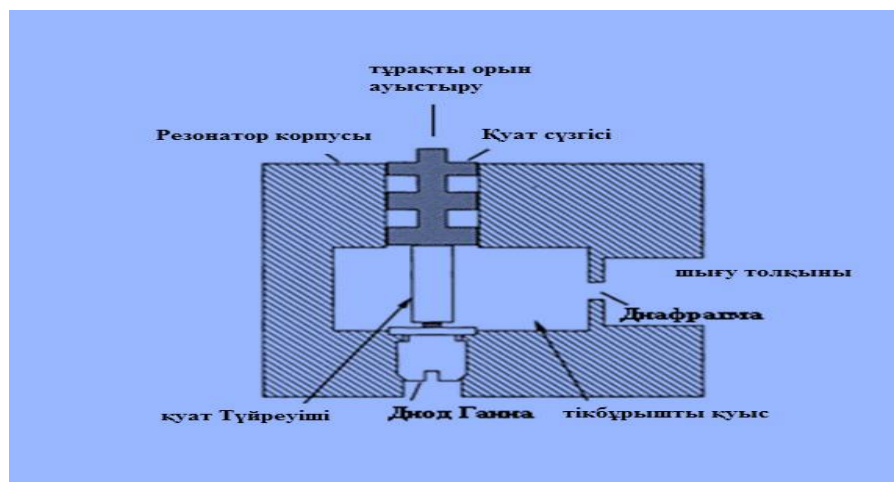
1.3 -сурет – Ганн диодындағы генератордың жалпыланған құрылымдық схемасы

Жоғары жиіліктегі диодтың эквивалентті схемасы (1.4-сурет, а) теріс өткізгіштік пен сыйымдылықтың параллель қосылуы болып табылады, эквивалентті тізбектегі резонатор параллель тербелмелі контур түрінде ұсынылады (1.4-сурет, б) [9].

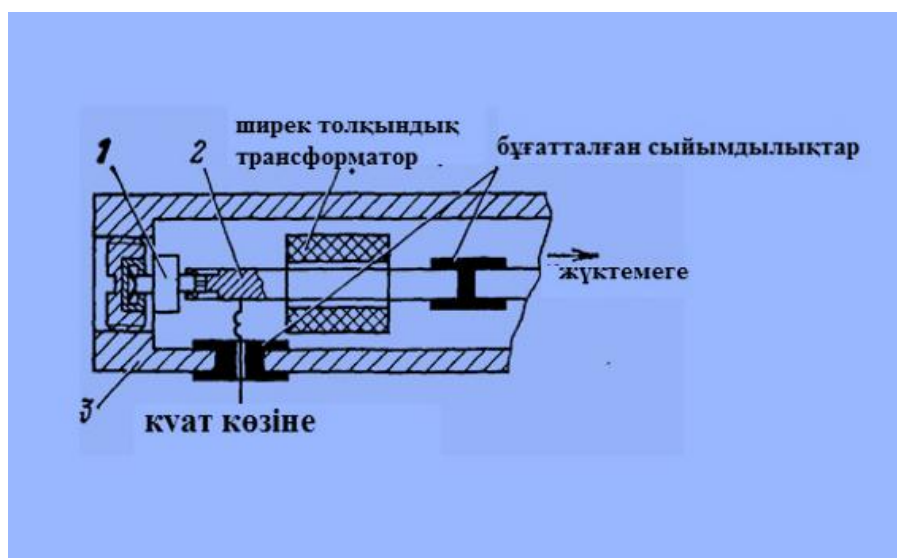


1.4 -сурет – а) Резонатордағы Ганн диодының және б) Ганн диодының эквивалентті схемасы

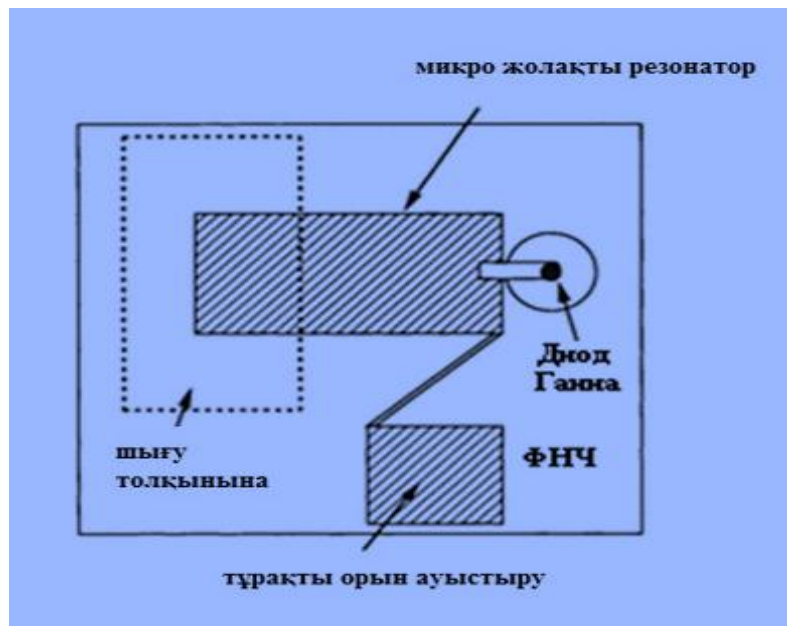
Әдебиетте әртүрлі жиілік диапазондарының генераторларының конструкциялары бойынша [1-28] көптеген жұмыстар ұсынылған. Қолданылатын тарату желісіне сәйкес төрт негізгі түрді ажыратуға болады— бұл толқынды (1.5-сурет), коаксиалды (1.6-сурет), Микрожолқты (1.7-сурет) және гибриді (коаксиалды және толқындыдан құралған) (1.8-сурет) құрылымдар.



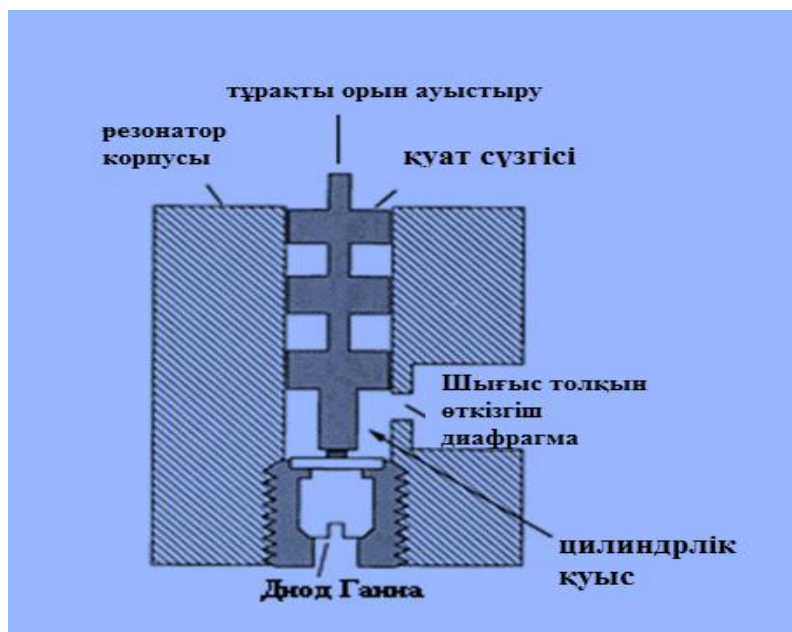
1.5 -сурет – Толқынды құрылыстың мысалы



1.6 -сурет – Коаксиалды құрылыстың мысалы



1.7 -сурет – Микрожолақты құрылыстың мысалы



1.8-сурет – Коаксиалды-толқындық құрылыстың мысалы

Әрбір құрылыс өзіндік артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Мәселен, толқынды құрылымы резонатордың ең жақсы сапасын және диодтың ең жақсы жылу таратуын қамтамасыз етеді, бірақ оның массалық өлшемдері айтарлықтай үлкен болып табылады. Микрожолақты құрылыс Басқа құрылғылармен интеграциялау үшін және гибриді және монолитті интегралды микросхемаларды құру тұрғысынан ең оңтайлы болып табылады, бірақ бұл құрылыс аз сапаға ие және сәйкесінше жиіліктің тұрақтылығы нашар.

Ганн диодында генератордың түрін таңдау көптеген факторларға байланысты (әзірленіп жатқан құрылғының массалық параметрлеріне, жұмыс

жиілігінің диапазонына, қажетті жиілік тұрақтылығына және т.б.), сондықтан таңдау жасаушының қалауына байланысты таңдап керектісін алса болады. Принцип пен негізгі түйіндер әрқашан ортақ болады ол диод, резонатор, қуат тізбектері және байланыс құрылғыларына тұрады.

Мұндай генераторлардың өндірілетін қуат шектері бірнеше ондаған ватттан милливатт бірліктеріне дейін өзгереді, бұл оларды қабылдағыштардың гетеродиндері, сондай-ақ төмен қуатты таратқыштар және сәйкесінше шағын диапазон (жақын радиолокациялық жүйелер) ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Қуат шектеулерін жеңу үшін әр түрлі [11-28] диодтың қуатын қосу нұсқалары қолданылады.

Ганн диодтарында генераторларды қолданудың артықшылығы-амплитудалық шудың төмен деңгейі (шамамен минус 120 дБ [8]), 1-ден 150 ГГц-ке дейінгі жиілік диапазонында генераторлардың дизайнын жүзеге асырудың қарапайымдылығы [10] және жоғары сенімділік (50-100 мың сағат үздіксіз жұмыс істеуі [12]). Кемшіліктерге температураның өзгеруімен жиіліктің салыстырмалы тұрақсыздығы және төмен тиімділік (10% дейін) жатады.

1.2.2 Автодинді құрылғылар

Ганн диодтарын қолданудың оңтайлы бағыттарының бірі-генератор мен жиілік түрлендіргішінің функцияларын біріктіретін автодин құрылғылары. Автодин генераторларының-түрлендіргіш құрылғылардың артықшылықтары мен жұмыс принципін қарастыру үшін [29] сипатталған кейбір негізгі ұғымдарды қарастырсақ.

Автодин-бұл автодин эффектісін қолданатын ашық тербелмелі жүйе.

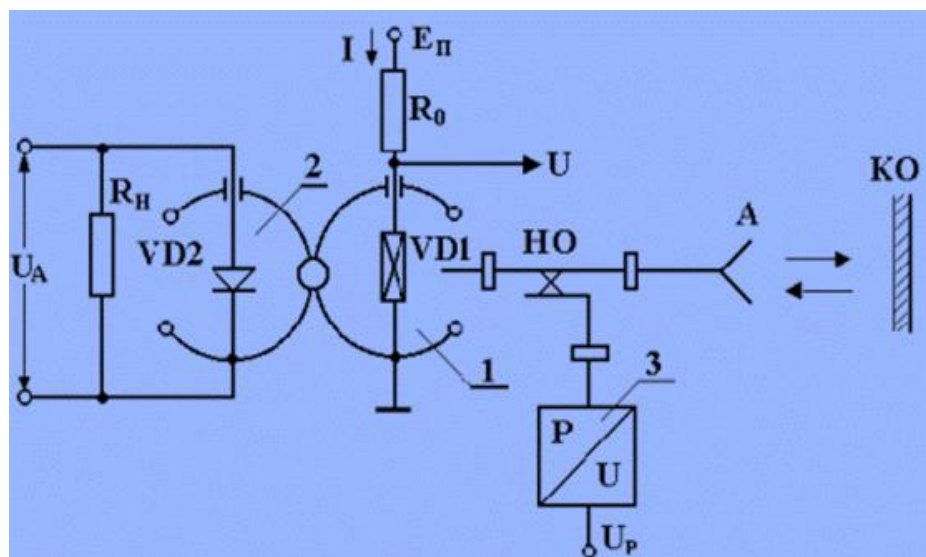
Автодин эффектісі-үшінші тараптың немесе өзіндік шағылысқан сәулеленудің әсерінен АВТО тербеліс параметрлерінің (амплитудасы, жиілігі, автомещысу) өзгеру құбылысы.

Автодин жауабы -автоматты тербелмелі жүйенің сыртқы жоғары жиілікті әсерге реакциясының нәтижесі (амплитудасының, жиілігінің, автоматты орын аустыруының өзгеруіне жауап).

Автодин сигналы - автодин шығысындағы физикалық ақпараттық параметр (ток, кернеу), автодин жауабымен байланысқан.

Автодин жүйесі-автодин мен автодин сигналдарын қалыптастыру және өңдеу құралдарының жиынтығы болып табылатын радиотехникалық ақпараттық-өлшеу жүйесі.

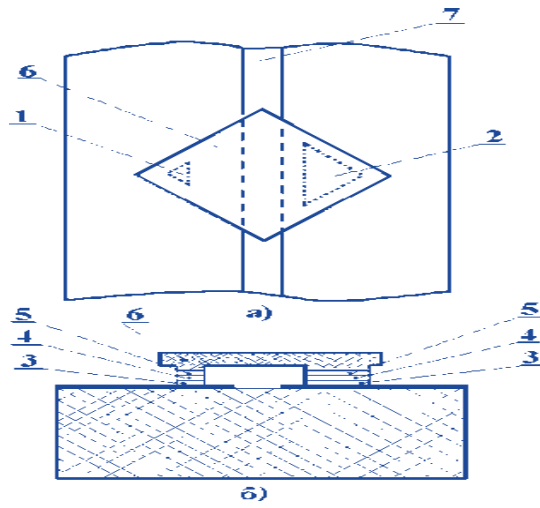
Тербеліс амплитудасының (UA) және шығыс қуатының (UP) өзгеруі бойынша (u) Автоматты орын ауыстыру тізбегіндегі сигналдарды тіркейтін автодин генераторы-түрлендіргіш құрылғының (автодиннің) функционалдық схемасы 1.9-суретте көрсетілген [29].



1.9 - сурет – Ганн диодындағы автодиннің функционалды схемасы

[32-52] жұмыстарда сипатталған гибриді интегралды схема (ГИС) түрінде С.Д. Воторопин ұсынған Ганн диодтарындағы автодиндердің құрылыстарына назар аударып өткен жөн. Мұндай құрылыс негізі Ганнның мезапланарлық диоды болып табылады және, ол оны әзірлеу басқа авторлардың болашақ шығармаларында ганнның толыққанды жазықтық диодтарын құру мүмкіндігін сипаттап айтуларына алғашқы қадам болды [4-7]

Өте жоғарғы жиілік (ӨЖЖ) диапазонының гибриді-интегралды орындауындағы автодин құрылғылары үш құрылымдық топтардан тұрады: Кристалл, топологиясы бар диэлектрлік субстрат және жылу таратқыш негіз. Құрылғының параметрлерін анықтайтын ең маңызды түйін-бұл Ганн эффектісінде бірнеше мезапланарлы диод құрылымдары болуы мүмкін кристалл. Мезапланарлы Ганн құрылымдары GaAs эпитаксиалды пленкасының бетінде қалыптасады және жазықтық жолақты тарату желілерінде ӨЖЖ резонаторларына қосуға арналған. Бұл жағдайда диод құрылымының анодты және катодты электродтары байланыс аймағы мен конфигурациясында ерекшеленуі мүмкін. Екі метрлік құрылымы бар қарапайым Ганн диодының кристалды құрылымы [37] 1.10-суретте келтірілген, мұндағы 1-диодтың катодты шығысы, 2-анодтық шығысы, 3-5 – омдық, буферлік және белсенді қабаттар, 6 – GaAs кристалы, 7-резонанстық үзінді. 2-Үлкен ауданның контактісі S_6 [37].



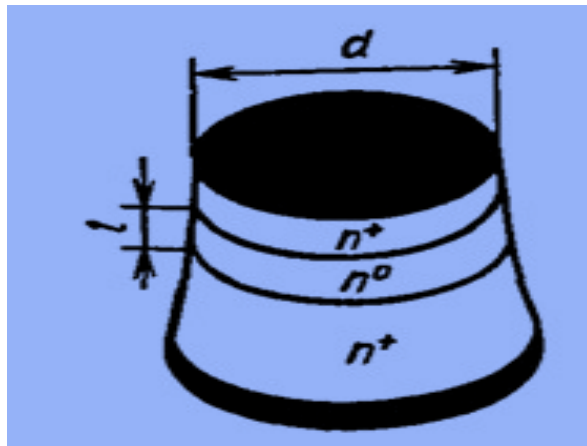
1.10- сурет – Ганның қарапайым жазықтық диодының құрылысы

2 Ганн диодты генератордың жұмысын математикалық модельдеу

2.1 Ганн диоды және оның математикалық моделі

Ганн диоды-қарама-қарсы жағында екі омдық түйіспесі бар жартылай өткізгіш электронды өткізгіш материалдың кристалы болып табылады.

Ганн диодының белсенді бөлігі әдетте $l = 1-100$ мкм ұзындыққа ие және $n_0 = 2 \cdot 10^{14} - 2 \cdot 10^{16}$ см⁻³ легирлеуші донорлық қоспалардың концентрациясы. $n_+ = 10^{18} - 10^{19}$ см⁻³ қоспаларының жоғары концентрациясы бар жартылай өткізгіш қабаттары омдық контактілерді жасауға қызмет етеді. 2.1-суретте Ганн диод кристалының типтік құрылымы көрсетілген [3].

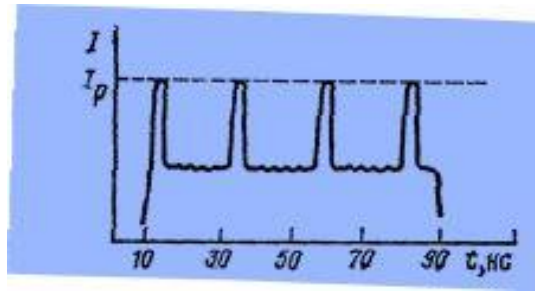


2.1-сурет – "Сэндвич" типті Ганн диодының құрылымы

1963 жылы Ганн галлий арсенидінің немесе n -типті индий фосфидінің үлгісіне кейбір E_p шекті мәнінен үлкен тұрақты E_0 электр өрісі қолданылса, үлгілер арқылы өтетін токтың өздігінен периодты ауытқуы байқалатынын анықтады (1.2-сурет). GaAs үшін E_p шекті өрісінің кернеулігі шамамен 3 кВ/см, InP үшін шамамен 6 кВ/см болды. T_0 тербеліс кезеңі катодтан анодқа электрондардың ұшу уақытына шамамен тең болды:

$$T_0 = \frac{l}{v_g}, \quad (2.1)$$

мұндағы l - үлгінің ұзындығы, v_g - электрондардың дрейфтік жылдамдығы ($E_0 = E_p$ кезінде шамамен 107 см/с).



2.2-сурет – Ганн үлгісі арқылы өтетін токтың эксперименттік уақытқа тәуелділігі

Төменде келтірілген Ганн әсерінің сипаттамасы берілген. $2 \cdot 10^{-3} \text{ см} < l < 2 \cdot 10^{-2} \text{ см}$ болатын геномдық үлгілер үшін тербеліс жиілігі микротолқынды диапазонда болды. Үлгідегі $E > E_p$ кезінде катодтан анодқа шамамен 10^7 см/с жылдамдықпен ағып, анодта жоғалып кететін күшті электр өріс (домен) аймағы пайда болады екен. Бұл процесс уақытылай қайталанып тұрады және домен пайда болған кезде ток төмендейді, ал Домен жоғалған кезде ол қайтадан шекті мәнге дейін өседі. 1963 жылы, Ридли [2] домендік тұрақсыздық құбылыстары N -Вольт-Ампер сипаттамасымен жартылай өткізгіште пайда болатынын көрсетті. Біртекті үлгідегі токтың тығыздығы

$$J = qn_0v, \quad (2.2)$$

мұндағы q - электронның заряды, n_0 – тасымалдаушылардың концентрациясы, v - тасымалдаушылардың орташа дрейфтік жылдамдығы. (1.2) формуласынан ток тығыздығы электр өрісінің өсуімен төмендеуі мүмкін, егер тасымалдаушылардың концентрациясы немесе олардың дрейфтік жылдамдығы өрістің ұлғаюымен төмендеп бастаса [3].

Ридли-Уоткинс-Хилсум механизмін қарастырайық [2], өткізгіштік аймағының қос сызықты моделі мысалында электр өрісінің кернеулігінің жоғарылауымен электрондар жылдамдығының төмендеуіне әкеледі. Өткізгіштік аймағындағы электрондар Δ - ден аз ξ аз энергияларда m_1^* тиімді массасына ие болсын. $\xi > \Delta$ кезінде электрондар тек төменгі жағында ғана емес, сонымен қатар электрондардың тиімді массасы $m_2^* \gg m_1^*$ болатын жоғарғы алқапта да болуы мүмкін. Электрондардың үлкен тиімді массасы үлкен күй тығыздығына сәйкес келеді, сондықтан $\xi > \Delta$ электрондардың басым көпшілігі өткізгіштік аймағының жоғарғы аңғарында болады. Қарапайымдылық үшін $\xi > \Delta$ кезінде барлық электрондар жоғарғы алқапта болады деп есептейміз. Мұндай модель Ганн эффектісі байқалатын нақты жартылай өткізгіштердің өткізгіштік аймағы құрылымының негізгі ерекшеліктерін сапалы көрсетеді. Жеткілікті төмен температурада және әлсіз электр өрісінде барлық электрондар төменгі алқапта болады ($n_1 = n_0$, мұндағы n_1 - төменгі алқаптағы электрондардың концентрациясы) [3].

Электрондардың орташа дрейфтік жылдамдығы қолданылатын электр өрісіне $v = \mu_1 E$ пропорционал болады, мұндағы μ_1 – тиімді массасы бар

электрондардың қозғалғыштығы m_1^* (төменгі бөлімінде). Үлгі арқылы өтетін электр тогының тығыздығы Ом заңымен анықталады.

$$J = qn_0\mu_1 E, \quad (2.3)$$

Жеткілікті күшті электр өрісінде электрондардың энергиясы артады, электрондардың бір бөлігі Үлкен Δ энергияны алады және төменнен жоғарғы бөлікке өтеді. Жоғарғы алқаптағы электрондардың үлкен тиімді массасы олардың қозғалғыштығының төмен мәніне сәйкес келеді $\mu_2 \ll \mu_1$ Сондықтан, электрондардың басым көпшілігі жоғарғы бөлікте болған кезде өте үлкен өрістерде $v \approx \mu_2 E$ мәнін аламыз.

Электр өрісінің аралық мәндерінде электрондардың жылдамдығы өріс кернеулігінің жоғарылауымен төмендейді, өйткені электрондардың бір бөлігі жоғарғы жағында, ал бір бөлігі төменгі жағында болғандықтан ток тығыздығы

$$j = q(n_1\mu_1 + n_2\mu_2)E = qn_0 v \cdot (E), \quad (2.4)$$

Электрондардың орташа дрейфтік жылдамдығын $v(E)$ түрінде жазуға болады:

$$v(E) = \frac{\mu_1 n_1(E) + \mu_2 n_2(E)}{n_1(E) + n_2(E)} E = \frac{\mu_1 n_1(E) + \mu_2 n_2(E)}{n_0} E, \quad (2.5)$$

мұндағы $n_0 = n_1(E) + n_2(E)$ – өріске тәуелді емес және электрондардың тепе-теңдік концентрациясына тең өткізгіш электрондардың жалпы саны.

Ганн диодының математикалық моделінің теңдеулері:

Ганн диодындағы физикалық процестерді екі негізгі теңдеуді шешу арқылы сипаттауға болады [2, 3]: Пуассон теңдеулері

$$\operatorname{div} E = \frac{\rho}{\varepsilon_\alpha}, \quad (2.6)$$

мұндағы ρ -көлемдік зарядтың тығыздығы, ε_α -жартылай өткізгіш материалдың диэлектрлік өткізгіштігі ($\varepsilon_\alpha = \varepsilon\varepsilon_0$, $\varepsilon = 12,5$ галлий арсениді үшін 12,5) және толық ток тығыздығының теңдеулері және толық ток тығыздығының теңдеулері

$$\operatorname{div} j_\Sigma = 0, \quad (2.7)$$

мұндағы

$$j_\Sigma = j_{np} + j_{\text{диф}} + j_{\text{см}}, \quad (2.8)$$

мұндағы j_Σ – толық ток тығыздығы j_{np} – өткізгіштік тогының тығыздығы, $j_{\text{диф}}$ – диффузиялық токтың тығыздығы, $j_{\text{см}}$ – орын ауыстыру тогының тығыздығы.

Теңдеулердің егжей-тегжейлі декодталуы берілген (1.7), (1.8), оның үзінділері төменде келтірілген. Қарастырылып отырған диод құрылысы

зарядтар бір бағытта – катодтан анодқа қарай жылжитынын атап өткен жөн, сондықтан көлденең қима жазықтығында ток тығыздығы да, электр өрісі де өзгермейді деп болжауға болады. Мұндай болжамдармен тапсырма жеңілдетіліп, теңдеулер бір өлшемді болады.

Зарядтың көлемдік тығыздығы

$$p = q_0(nn_0), \quad (2.9)$$

мұндағы n – электрондардың концентрациясы, n_0 – донорлардың концентрациясы. Өткізгіштік токтың тығыздығы өрнек арқылы анықталады:

$$j_{пр} = q_0nv, \quad (2.10)$$

мұндағы q_0 – электронның заряды, n – диодтың белсенді аймағындағы электрондардың концентрациясы.

Диффузиялық токтың тығыздығы бір өлшемді жағдайда мына өрнекпен анықталады:

$$j_{пр} = q_0D \frac{\partial n}{\partial x} \quad (2.11)$$

мұндағы D -диффузия коэффициенті. Жалпы жағдайда $D = D(E)$, алайда D ның E тәуелділігін есепке алу жаңа нәтижелерге әкелмейді, сондықтан теңдеулерді шешуді жеңілдету үшін $D = \text{const}$ деп алған дұрысрақ. Содан орын ауыстыру тогының тығыздығы

$$j_{см} = \epsilon_\alpha \frac{\partial E}{\partial t}, \quad (2.12)$$

Бір өлшемді жағдайдың теңдеуі $\partial j_{\Sigma} / \partial x = 0$ түрінде болады. Осы жерден j_{Σ} диодындағы жалпы токтың тығыздығы координатаға тәуелді емес және сыртқы тізбектегі диод терминалдары арқылы өтетін ia/S ток тығыздығына тең болуы мүмкін.

Арақатынастарды ескере отырып (2.10), (2.8) – (2.12) (2.6) және (2.7) теңдеулерін бір өлшемді жуықтауда жазайық

$$\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{q_0}{\epsilon_\alpha} (n - n_0), \quad (2.13)$$

$$qn_0v - q_0D \frac{\partial n_0}{\partial x} + \epsilon_\alpha \frac{\partial E}{\partial t} = \frac{ia}{S}, \quad (2.14)$$

мұндағы ia -сыртқы тізбектегі ток.

(2.13) және (2.14) теңдеулерге екі белгісіз функция кіреді: $n(x,t)$ және $E(x,t)$. Шешімнің ыңғайлылығы үшін (2.13) және (2.14) бір теңдеуге біріктірген жөн. Осы мақсатта (2.13) n -ні (2.14) ауыстырып, нәтижесінде аламыз:

$$D \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} v(E) \frac{\partial E}{\partial x} \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{q_0}{\varepsilon \alpha} D \frac{\partial n_0}{\partial x} \frac{q_0}{\varepsilon \alpha} n_0 v(E) + \frac{ia}{\varepsilon \alpha S} = 0 \quad (2.15)$$

(2.15) теңдеуді шығарған кезде n_0 донорларының концентрациясы x координатасы бойынша өзгеруі мүмкін, яғни $n_0 = n_0(x)$. Диодтың сызықтық емес қасиеттері жылдамдықтың v , E - ге тәуелді болуымен ескеріледі.

(2.15) теңдеуі $0 \leq x \leq 1$ аймағында t уақыты 0-ден шексіздікке өзгерген кезде қарастырылады. Бұл жағдайда біржақты шешім үшін бастапқы және шекаралық шарттар қойылуы керек. Бастапқы шарт ретінде $E(x)$ функциясы $t=0$ уақытының бастапқы нүктесінде орнатылады. Шекаралық шарттар ретінде $E(t)$ және $\partial E / \partial t$ диодтың белсенді аймағының шекараларында, яғни $X = 0$ және $x = 1$ кезінде көрсетілуі керек.

Бастапқы уақытта диодқа қолданылатын кернеу $ua = 0$. деп есептейміз. $E(x) = 0$ жағдайында $dn_0/dx=0$ болған жағдайда. Егер қоспалардың концентрациясының градиенті болса, онда диффузиялық ток пайда болады, зарядтардың ішкі аймақтары пайда болады және нәтижесінде өткізгіштік ток пайда болады. $ua = 0$ тепе-теңдік жағдайында өткізгіштік пен диффузия токтарының қосындысы нөлге тең болуы керек. Көлденең қима жазықтығында токтың тығыздығы өзгермейтінін ескере отырып, (2.10) және (2.11) қосу нәтижесінде төменде берілген теңдеуді аламыз

$$q_0 n \mu_n E(x) - q_0 D \frac{\partial n}{\partial x} = 0, \quad (2.16)$$

бұдан алатынымыз

$$E(x) = D / \mu_n \cdot 1/n \cdot \partial n / \partial x \quad (2.17)$$

Эйнштейннің қатынасына сәйкес

$$D / \mu_n = \varphi_T \quad (2.18)$$

мұндағы φ_T - температура потенциалы ($T = 300$ к кезінде $\varphi_T = 0,025$).

Уақыттың бастапқы сәтінде $n = n_0$ деп есептей отырып, бастапқы шартты түрге түрлендіреміз

$$E(x, t = 0) = \varphi_T \frac{1}{n_0(x)} \frac{\partial n_0}{\partial x}, \quad (2.19)$$

Шекаралық шарттар:

Шекаралық шарттарды белгілеу үшін қоспалардың кристалдың ұзындығы бойынша нақты таралуын білу қажет. Диодтың белсенді аймағының

шекарасында n_0 қоспасының концентрациясы 10^{18} - 10^{19} см⁻³ мәндеріне дейін артатындықтан, диодтың контактілері электрлік қасиеттері бойынша металға жақын, яғни олардың кедергісі өте аз. Егер диодқа потенциалдар айырмасы қолданылса, онда контактілерде кернеудің төмендеуі іс жүзінде болмайды және электр өрісінің кернеулігі нөлге жақын. Осы жерден біз шекаралық шарттарды аламыз;

$$E(0, t) = 0, E(l_d, t) = 0, \quad (2.20)$$

мұндағы l_d – белсенді бөлік пен жанасу аймақтарын қамтитын диодтың жалпы ұзындығы.

(2.15) теңдеуі (2.19) және (2.20) шарттарымен бірге Ганн диодының моделі болып табылады. (1.15) теңдеуін сандық түрде шешу арқылы t_1, t_2, \dots, t_k . Бұл жағдайда $ia(t_k)$ уақытының сәйкес нүктелерінде сыртқы токтың мәндерін білу қажет. Алынған белгілі $E(x)$ функциялары арқылы диодтағы кернеуді есептеуге болады;

$$u_a(t_k) = \int_0^{l_d} E(x, t_k) dx \quad (2.21)$$

$ia(t_k)$, біле отырып, сыртқы тізбектің теңдеулерін шешу арқылы $ia(t_k)$ тогын есептеуге болады.

Әрі қарай, біз (2.15) теңдеуге қайта оралып, t_{k+1} уақытындағы ia -ны анықтай отырып, есептеудің келесі кезеңіне көшеміз. Біз $ia(t), ia(t)$. уақытша тәуелділіктерін аламыз. Сонымен қатар, әр түрлі уақыт нүктелерінде диод бойымен $E(x)$ өрісінің таралуы белгілі болады. Теңдеуден диод бойымен n электрондарының концентрациясының таралуын да есептеуге болады

Модельдің сипаттамалары мен параметрлері:

Диод моделін пайдалану үшін тәуелділіктерді білу қажет $v(E), n_0(x)$, сондай-ақ d, l, h параметрлері. $v(E)$ тәуелділігі өрнегімен жуықталуы мүмкін [2]

$$v(E) = (u_n E + v(E/E_m)^4) / (1 + (E/E_m)^4) \quad (2.22)$$

мұндағы $u_{нас} = 10^7$ см/с – өрістің үлкен кернеулеріндегі сипаттаманың қанықтылығына сәйкес келетін дрейф жылдамдығы; $E_m = 4000$ В/см.

Әлсіз өрістегі μn электрондарының қозғалғыштығы донорларының концентрациясына n_0 заңына байланысты

$$\mu n = (\mu_i) / (1 + \sqrt{(1 - n_0/n_0^{17})}) \quad (2.23)$$

мұндағы μ_i -электрондардың қозғалғыштығы мінсіз араласпайтын жартылай өткізгіште ($GaAs$ үшін 8000 см²/(В·с)).

Донорлық қоспалар концентрациясы бар $GaAs$ үшін $n_0 = 2 \cdot 10^{14} - 2 \cdot 10^{16}$ см⁻³ μn 5500-ден 8000-ға см²/(В·с) дейінгі диапазонда жатыр, өрістің

шектегі кернеулігі $E_{пор} = 3,5$ кВ/см, өрістің шектегі кернеулігіне сәйкес келетін дрейф жылдамдығы, $u_{пор} = 1,5 \cdot 2 \cdot 10^7$ см/с.

Диффузия коэффициентін берілген формуламен тапсақ болады. мұндағы τ -жартылай өткізгіштегі энергияның релаксация уақыты (GaAs үшін бізде $\tau = 10-13$ с).

Диод параметрлері μ_n , D T кристалының температурасына тәуелді және келесідей жуықтауға болады [3].

$$\mu_n(T) = \mu_n(00/3T)^{1.14}. \nu_{нас}(T) = \nu_{нас}(00/3T)^{8.7} \quad (2.25)$$

Модельдің қолдану шекаралары:

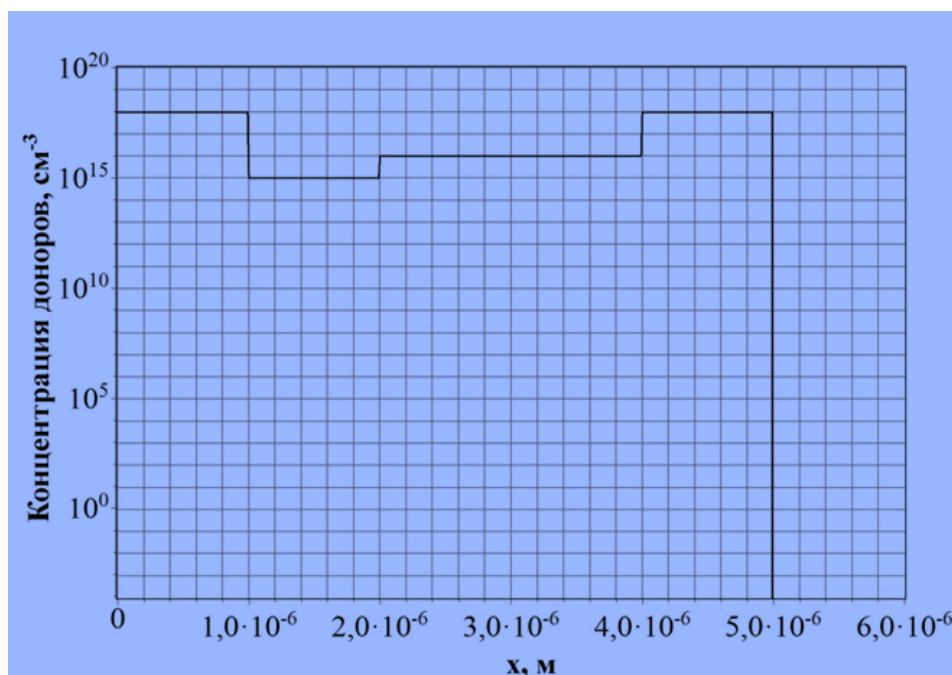
Модельдің қолданылу шекаралары қабылданған болжамдарға байланысты:

- Орташа дрейф жылдамдығы электр өрісінің лездік кернеу мәніне байланысты.
- Диффузия коэффициенті өрістің қарқындылығына тәуелді емес.

Бірінші болжам модельдің белгілі бір жиілікке (шамамен 40 ГГц) қолданылуын шектейді және диодтың белсенді аймағының ұзындығына ($l > 1$ мкм) шектеу қояды. Екінші болжам ешқандай елеулі шектеулерге әкелмейді [3].

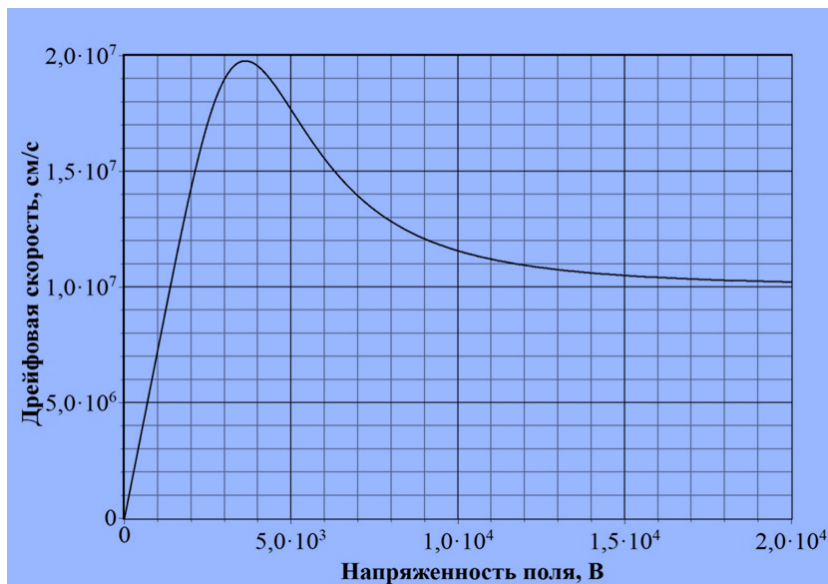
Ганн диодының жұмысын модельдеу:

2.1-бөлімде сипатталған математикалық модельді қолдана отырып, біз Ганн диодының жұмысын модельдейміз. Оның сипаттамаларын есептеу үшін зерттелетін диодтың негізгі параметрлерін анықтайық. Легирование профілі 2.3-суретте көрсетілген



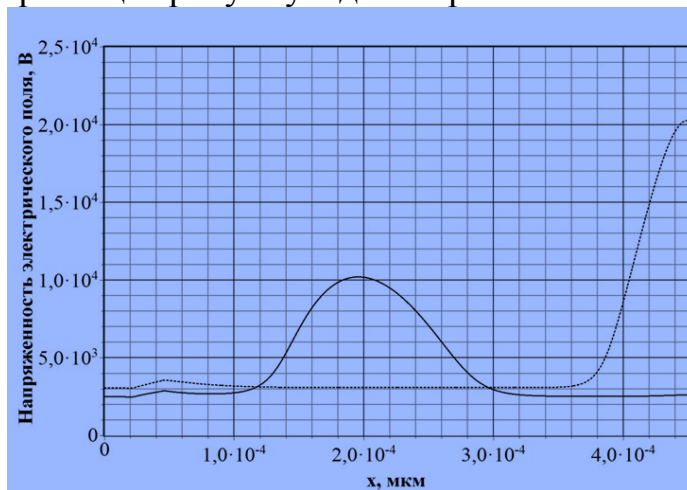
2.3-сурет – Диодты легировать ету профілі

Орташа дрейф жылдамдығының $v(E)$ электр өрісінің кернеулігіне тәуелділігін (2.21) өрнек арқылы жуықтауға болады. Алынған сипаттама 2.2-суретте көрсетілген.



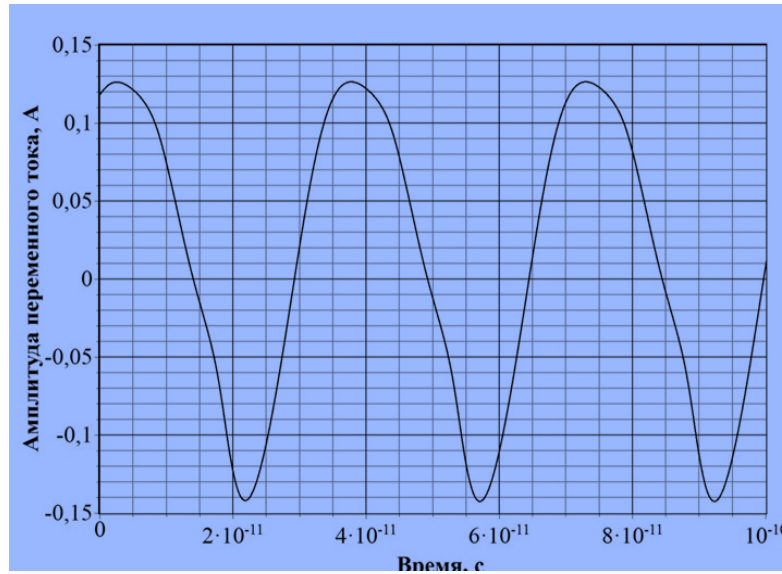
2.4-сурет – Дрейф жылдамдығының $v(E)$ электр өрісінің кернеулігіне тәуелділігі E

Ганн диодының жұмысын сипаттайтын бастапқы және шекаралық шарттармен (2.15) (2.19) - (2.20) теңдеуді сандық түрде шеше отырып, біз 2.3-суретте көрсетілген уақыттың әртүрлі нүктелеріндегі Кристалл ұзындығы бойынша электр өрісінің кернеу тәуелділіктерін аламыз.



2.5-сурет – Электр өрісінің кернеулігінің E диодтың белсенді аймағы бойындағы x координатасына тәуелділігі

2.5-суретте легирование профилінің гетерогенділігінде Домен қалай пайда болатынын, анодқа (қатты сызық) қарай жылжитынын және анодта (үзік сызық) сөнетінін көруге болады. Диод арқылы өтетін айнымалы ток амплитудасының уақытқа тәуелділігі 2.6-суретте көрсетілген.



2.6-сурет – Диодтың айнымалы ток амплитудасының уақытқа тәуелділігі

2.6-суреттен көрініп тұрғандай, диодтың ток тербелістерінің жиілігі шамамен транзиттік жиілікке (30 ГГц) тең, сәйкесінше Ганн диодының транзиттік жұмыс режимі орын алады және осылайша кристалдық параметрлер дұрыс орнатылған.

3 Генераторлық – түрлендіргіш құрылғылар мен олардың элементтерін эксперименттік зерттеу

3.1 Ганн генераторларында тербелістердің өсуіне X- жолақты диапазонында эксперименттік бақылаулар жүргізілуі

Бұл жұмыста резонаторындағы әлсіз сыртқы радиожиілік өрісі және тұрақты токтың ығысу кернеуі ($V_{ы}$) шекті мәннен төмен болса, Ганн генераторы да тербеліс қайта пайда болу проблемасына оралатыны зерттелді. Сондай-ақ, резонатордағы жоғары жиілік өрісінің жиілігі мен қуатының өзгеруінің осындай жағдайларда Ганн генераторының динамикасына әсері зерттелді. Сандық модельдеу және эксперименттік зерттеулер Ганн генераторының ығысуында әртүрлі динамикалық күйлерді көрсетеді. Олар квази-периодты, хаотикалық және периодты тербелмелі күйлер болып табылады.

3.2 Генератордың теориялық-схемалық моделі

Белсенді аймақта ығыстырылған Ганн диодының жұмысы туралы білімге сүйене отырып, оны кернеуге тәуелді сызықты емес тізбектің екі элементінің параллель немесе дәйекті тіркесімі арқылы модельдеуге болады: біреуі резистивті, екіншісі сыйымдылықты. Диодқа қолданылатын тұрақты кернеу шекті мәннен өткенде, ол ТДК аймағында жұмыс істейді және бұл ТДК мәні $V_{ы}$ шамасының функциясы болып табылады. Осылайша, диод арқылы қосымша ток (i) мен диодтағы қосымша кернеу (v_r) арасындағы байланыс сызықтық емес. Оны текшенің сызықтық емес түрі ретінде қарастыра отырып, келесідей жазуға болады:

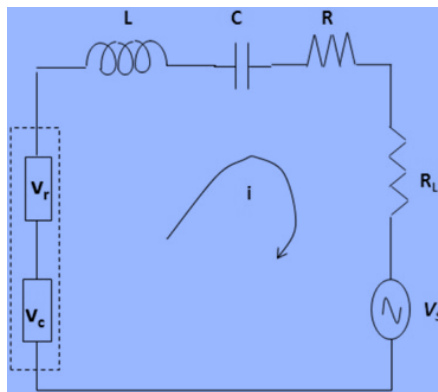
$$v_r = -\beta_1 i + \beta_3 i^3 \quad (3.1)$$

мұндағы β_1 және β_3 - сызықтық және сызықты емес кернеуі және ток арасындағы тәуелділік. Оларды $V_{ы}$ шамасымен анықтауға болады. Максимумды мәнінен жоғары β_1 теріс болып табылады. Айнымалы ток моделіндегі диодтың сыйымдылығы белсенді күйде теріс заряд болған кезде, диод материалының тиімді диэлектрик тұрақтылығының өзгеруіне байланысты кернеуге тәуелді болып қабылданады [8]. Бұдан алатынымыз (v_c) лездік кернеуді эквивалентті конденсаторға лездік заряд ($q = \int [i \cdot dt]$) тұрғысынан келесідей жазуға болады:

$$v_s = -a_1 q + a_3 q^3 \quad (3.2)$$

мұндағы a_1 және a_3 диод сыйымдылығының сызықты және сызықты емес екенін ескеретін параметрлер болып табылады. Осылайша Ганн диодының лездік ток өткен кезде екі сызықты емес v_r және v_s кернеу көздерінің

комбинациясымен аустырылады. 3,1-суретте көрсетілген айнымалы ток тізбегіндегі Ганн генераторының теориялық моделі. Мұнда V_s кернеу көзі, резонарда сыртқы өрістің бар екенін көрсетеді. Оны біз қысқа тұйықталумен ауыстыратын жағдай: шекті температураға байланысты шу кернеуінен басқа сыртқы өріс болмағанда.



3.1-сурет – Ганн генераторының тізбекті эквивалентті сұлбасы

3.1-суретте көрсетілген Ганн генераторының моделі Кирхгоф заңын қолдана отырып жүйенің динамикасын сипаттайтын дифференциалдық теңдеу алынады. Алынған теңдеу өзгерістерден (логикалық ауыстырулар) және қалыпқа келтіруден кейін келесідей болады [7]:

$$(d^2 q)/(d\tau^2) = aq - bq^3 + c dq/d\tau - d(dq/d\tau)^3 + q_s \cos(\Omega\tau) \quad (3.3)$$

мұндағы $\tau (= w_r t)$ қалыпты уақыт, $w_r (=1/\sqrt{LC})$ резанатордың резананстық жиілігі, $dq/d\tau = i$ лездік айналым тогы болады. Ω және q_s сәйкесінше қуыста болатын сыртқы өрістің амплитудасы мен нормаланған бұрыштық жиілігіне тең заряд. a , b , c және d коэффициенттері құрылғының резистивті және реактивті бөліктерімен және резонатордың кедергісімен байланысты:

$$a = \alpha_1 C - 1 \quad (3.4)$$

$$b = \alpha_3 C \quad (3.5)$$

$$c = (\beta_1 - R - R_L)/(w_r L) \quad (3.6)$$

$$d = (\beta_3 w_r)/L \quad (3.7)$$

a , b , c және d коэффициенттері α_1 , α_3 және β_1 , β_3 шамаларының ығысуына байланысты V_B шамасынан анық емес түрде тәуелді екені анық. α_1 және α_3 сыйымдылық параметрлерімен байланысты болғандықтан, олардың мәндері тербеліс жиілігін анықтайды. β_1 және β_3 құрылғының

кедергісімен байланысты болғандықтан, олар тербелістердің пайда болуын қарастырады. Сонымен қатар, салыстырмалы β_3 мәні β_1 -ге қарағанда әлдеқайда аз, сондықтан d параметрін c -тен аз етіп алуға болады. Қолданылатын тұрақты токтың ығысуының өзгеру әсері c өзгерісін ескере отырып зерттеледі. Мұнда V_B мәнінің жоғарылауы c мәнінің төмендеуіне әкелетіді [7].

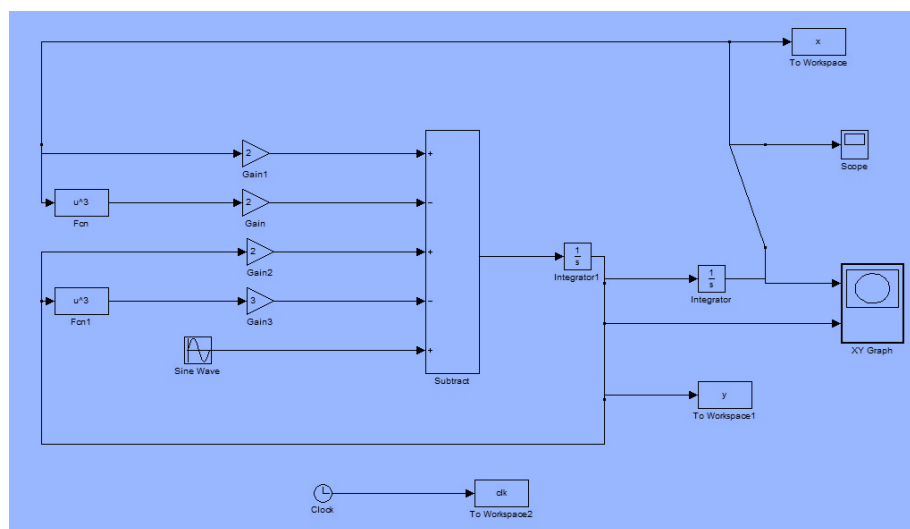
3.3 Ганн генераторының жұмысын MatLab платформасында талдау

Осылайша, бұл мәселенің шешімі келесідей қарастырамыз. Жаңа p күй айнымалысын енгізіп, жазамыз:

$$(dq)/d\tau = p \quad (3.8)$$

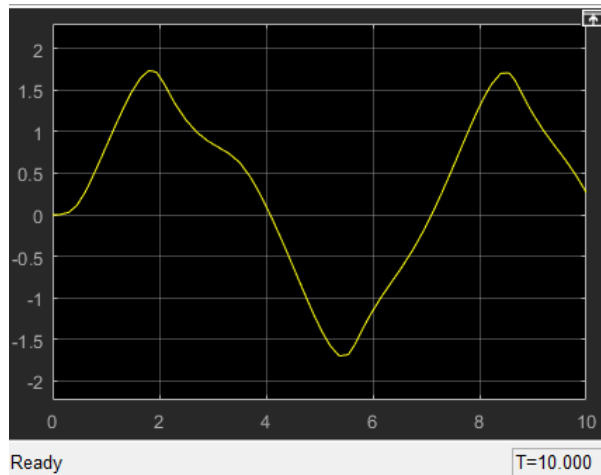
$$dq/d\tau = aq - bq^3 + cp - dp^3 + q_s \cos(\Omega\tau) \quad (3.9)$$

Содан кейін (8) және (9) MATLAB негізіндегі Simulink бағдарламасына 3.2-суретте көрсетілген сұлбаны тұрғыздым.



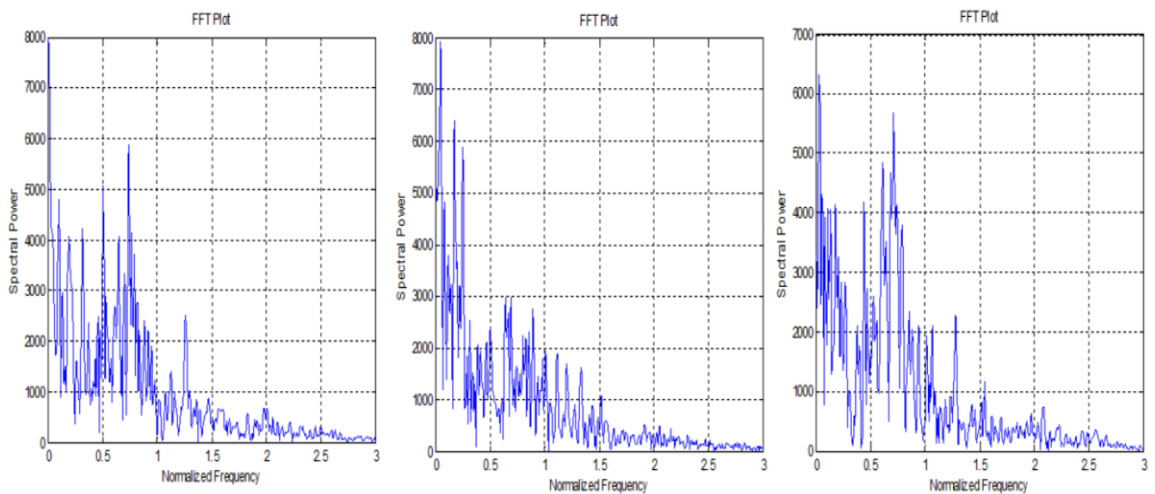
3.2-сурет – Сыртқы Жоғарғы жиілік-көзі болған кезде Ганн генераторының Simulink моделі

Simulink бағдарламасында жоғарыда көрсетілген мәндерге байланысты зерттеулер жасап 3.3-суретте көрсетілген Ганн генераторының уақыттық аймақ графигін алынған болатын.



3.3-сурет – Ганн генераторының ($a=1$, $b = 1$, $c = 0$ және $c = -0.001$, $d = 0.015$, $q_s = 0.15$, $\Omega = 1.27$) кезіндегі уақыттық аймақ графигі

Әлсіз радиожиілік өрісінің жиілігі ығысқан Ганн генераторының динамикасына қалай әсер ететінін зерттеу үшін, сандық модельдеу a , b және d параметрлерінің мәндерін бұрынғыдай $c=0.001$ -ға тең етіп алып, содан кейін оларды өзгерту арқылы жүргізілді. 3.4-суретте түрлі мәндердегі Ганн генераторының жиілік спектрінің өзгеруі көрсетілген.



3.4–сурет – Қосымша шығыстың жиілік спектрлері (а) $\Omega = 1.256$, (ә) $= 1.269$, (б) $= 1.279$ ($a = 1$, $b = 1$, $c = 0.001$, $d = 0.015$ және $q_s = 0.15$)

Эксперименттік талдауда берілген параметрлер аралығындағы тербелістердің пайда болуына қатысты кейбір жаңа бақылаулар сипатталған. Генератордың резонаторында әлсіз Жоғарғы жиіліктегі өрісінің болуы Ганн генераторының динамикасын айтарлықтай өзгертетіні анықталды. Мұндай өрістер болмаған кезде Ганн генераторының тұрақты тогының ығысуы төмен мәннен баяу өзгереді және генератордың ығысу кернеуінің шекті мәнінен кейін кенеттен тербелмелі күйге ауысады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл жұмыс барысында өлшеу құралдарында қолданылатын Ганн диодтарының әртүрлі қоректену схемалары қарастырылды. Олардың артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылды, сонымен қатар Ганн диодтарының қызіргі таңда техника және технологиялардағы өзекті салалары қарастырыл талдау жүргізілді.

Жұмыс барысында көптеген авторлардың жұмыстары қарастырылып оңтайлы болған шешімдердің ішінен Ганн диодының математикалық моделін талдап, формулаларын көрсетіп өттім

Ганн диодын қолдана отырып Ганн генераторының MatLab бағдарламасында Simulink платформасы арқылы моделі тұрғызылып оның жүйелері қарастырылып, талданып өтті.

Осылайша, бұл жұмыс Ганн диодтарын қолданатын өлшеу құралдарын жасау және оңтайландыру үшін практикалық маңызы бар. Бұл Ганн диодтарының сипаттамаларын және белгілі бір құрылғыға қойылатын талаптарды ескере отырып, оңтайлы қуат схемасын таңдауға мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Касаткин Л.В. Полупроводниковые устройства диапазона миллиметровых волн / Л.В. Касаткин, В.Е. Чайка; Под ред. В.П. Тараненко, С.П. Ракитина. – Севастополь: Вебер, 2006. – 319 с.
2. Левинштейн М.Е. Эффект Ганна / М.Е. Левинштейн, Ю.К. Пожела, М.С. Шур. - М.: Советское радио, 1975. - 288 с.
3. Микроэлектронные устройства СВЧ. / Г.И. Веселов, Е.Н. Егоров, Ю.Н. Алёхин и др.; Под. ред. Г.И. Веселова. – М.: Высш. шк., 1988. – 280 с.
4. Khalid A. In 0.53 Ga 0.47 As Planar Gunn Diodes Operating at a Fundamental Frequency of 164 GHz / A. Khalid, C. Li, V. Papageorgiou, G. M. Dunn, M. J. Steer, I. G. Thayne, M. Kuball, C. H. Oxley, M. Montes Bajo, A. Stephen, J. Glover, and D. R. S. Cumming // IEEE electron device letters. – 2013. – Vol. 34. – №. 1. – P. 39–41.
5. Papageorgiou V. Cofabrication of Planar Gunn Diode and HEMT on InP Substrate/ V. Papageorgiou, A. Khalid, C. Li, D. R. S. Cumming // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2014. – Vol. 61. – №. 8. – P. 2779–2784.
6. Demonstration of the self-mixing effect with a planar Gunn diode at millimeter-wave frequency/ L. B. Lok ; Chong Li ; A. Khalid ; N. J. Pilgrim ; G. M. Dunn ; D. R. S. Cumming // Proceeding of the 35th International Conference on Infrared Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz). – IEEE, 2010. – С. 977–978.
7. Bhattacharyya K., De S.K., Chosh G., Rakshit P.C., Saha P.K., Nag V.R. An X-band four-diode power combiner using Gunn diodes // IEEE Transactions on microwave theory and techniques. – 1986. – №11. - С. 1223-1225.
8. Давыдова Н.С. Диодные генераторы и усилители СВЧ / Н.С. Давыдова, Ю.З. Данюшевский. - М.: Радио и связь, 1986. – 184 с.
9. Полупроводниковые приборы СВЧ. [Электронный ресурс]: электронное учебное пособие / Ю.М. Нойкин, Т.К. Нойкина, А.А. Усаев. М-во образования и науки Российской Федерации Федеральное гос. автономное образовательное учреждение высшего проф. образования "Южный федеральный ун-т", Физический фак. - Ростов-на-Дону : Южный федеральный ун-т, 2014.
10. Handbook of microwave technology: components and devices / Directed By Koryu Ishii T.– USA, California: Academic Press, Inc., 1995. – 735 с.
11. Генераторы высоких и сверхвысоких частот: Учебное пособие / О.В. Алексеев [и др.]. - М.: Высшая школа, 2003. – 326 с.
12. Вамберский М.В. Передающие устройства СВЧ / М.В. Вамберский, В.И. Казанцев, С.А. Шелухин; Под ред. М.В. Вамберского. – М.: Высшая школа, 1984. – 448 с.
13. Полупроводниковые приборы в схемах СВЧ / Под ред. М. Хауэса, Д. Моргана; пер. с англ. под ред. В.С. Эткина. – М.: Мир, 1979. – 443 с.
14. Ma Y., Sun C. 1-W Millimeter-wave Gunn diode combiner // IEEE

- Transactions on microwave theory and techniques, 1980. – №12. –С. 1460-1463.
15. Mizushina S., Madihian M. 120-Gunn diode power combining at 23 GHz // IEEE MTT-S International microwave symposium. – 1982. –С. 135-137.
 16. Talwar A.K. A dual-diode 73-GHz Gunn oscillator // IEEE Transactions on microwave theory and techniques, 1979. – №5. –С. 510-512.
 17. Mortazawi A., Itoh T. A periodic planar Gunn diode power combining oscillator // IEEE Transactions on microwave theory and techniques, 1990. – №1. – С. 86-87.
 18. Bae J., Fujita M., Mizuno K. A W-band overmoded-waveguide oscillator with gunn diodes // IEEE Transactions on microwave theory and techniques, 2001. – №12. – С. 2554-2559.
 19. Calandra E.F., Ruggirello R. Experimental characterization and compact modeling of microwave injection-locked pulsed oscillators // 11th International Conference "Microwave and Telecommunication Technology". Conference Proceedings, 2001. –С. 145-148.
 20. Chang K., Hummer K.A., Klein J.L. Experiments on injection locking of active antenna elements for active phased arrays and spatial power combiners // IEEE Transactions on microwave theory and techniques, 1989. – №7. –С. 1078-1084.
 21. Kaneko Y., Kimura K., Nakagawa J. Multi-parallel operation of Gunn diodes for high RF power // IEEE GMTT International microwave symposium, 1971. –С. 156-157.
 22. Potoczniak J.J., Jacobs H., Lo Casio C.M., Novick G. Power combiner with Gunn diode oscillator // IEEE Transactions on microwave theory and techniques, 1982. – №5. –С. 724-728.
 23. Bae J., Jacobs H., Unou T., Fujii T., Mizuno K. Spatial power combining of Gunn diodes using an overmoded-waveguide resonator at millimeter wavelengths // IEEE Transactions on microwave theory and techniques, 1998. – №12. –С. 2289-2294.
 24. Chen N., Sun Z., Li S. Study of fundamental wave injection locking of MM-wave Gunn harmonic oscillator using large signal model of Gunn device // IEEE MTT-S International microwave symposium, 1989. –С. 479-482.
 25. York R.A, Compton R.C. Terahertz power-combining with coupled oscillator arrays // Proceedings of the second international symposium on space terahertz technology, 1991. –С. 179-186.
 26. Конев В. Ю., Губанов В.П., Климов А.И., Ковальчук О.Б., Ростов В.В., Шарыпов К.А., Яландин М.И. Фазовая синхронизация наносекундных генераторов Ганна // Приборы и техника эксперимента. - 2011. - №6. - С. 37-40.
 27. Каганов В.И. СВЧ полупроводниковые радиопередатчики. - М.: Радио и связь, 1981. – 400 с.
 28. Царапкин Д.П. Генераторы СВЧ на диодах Ганна. - М.: Радио и связь, 1982. – 112 с.
 29. Воторопин С.Д., Носков В.Я., Смольский С.М. Особенности

сигнала автодинного радиолокатора с линейной частотной модуляцией. Труды II-й Всероссийской НТК «Радиовысотометрия - 2007» («РВ'2007») 23-25 октября 2007 г., г. Каменск -Уральский: ОАО «УПКБ «Деталь», 2007. – С. 262-267.

30. Носков В.Я. Генри Раунд - «неизвестный гений» радиотехники, изобретатель автодинного метода приёма. КрыМиКо-2013. Севастополь, 9-13 сентября 2013 г.: материалы конф. в 2 т. – Севастополь: Вебер, 2013. – Т.1. –С. 48-50.

31. Носков В.Я. Автодины на полупроводниковых приборах СВЧ и их применение: автореф. дис. ... д-р. тех. наук: 05.12.17. - Нижний Тагил, 1995.

32. Авт.св. № 749344 СССР МКИН03В7/14 от 21.03.80. Микрополосковый генератор / С.Д. Воторопин, М.С. Егунов, Б.А. Наливайко (СССР). – 2710771/09; Заявл.26.12.78; Зарег. 21.03.80.. – 4с.: ил.2.

33. Воторопин С.Д., Хан А.В. Прибор на основе эффекта междолинного переноса электронов. КрыМиКо-2008. Севастополь, 8-12 сентября 2008 г.: материалы конф. – Севастополь: Вебер, 2008. –С.92-97.

34. Воторопин С.Д., Носков В.Я., Ча В.А. Автодинные датчики на мезапланарных диодах Ганна для систем ближней радиолокации. КрыМиКо-2007. Севастополь, 10-14 сентября 2007 г.: материалы конф. в 2 т. – Севастополь: Вебер, 2007. – Т.1. – С.741-743.

35. Воторопин С.Д., Носков В.Я. Автодинные минирадары КВЧ диапазона. КрыМиКо-2005. Севастополь, 12-16 сентября 2005 г.: материалы конф. – Севастополь: Вебер, 2005. – С.937-938.

36. Воторопин С.Д. ГИС КВЧ на диодах Ганна. КрыМиКо-2001. Севастополь, 10-14 сентября 2000 г.: материалы конф. – Севастополь: Вебер, 2000. – С.141-142.

37. Воторопин С.Д., Носков В.Я. Автодинные ГИС КВЧ на основе многomezовых планарных диодов Ганна. КрыМиКо-2004. Севастополь, 13-17 сентября 2004 г.: материалы конф. – Севастополь: Вебер, 2004. – С.124-127.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ
Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

РЕЦЕНЗИЯ
ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Марад Айбек Русланұлы

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering

«Өлшеу құралдарына арналған Ганн диодтарының қоректену схемаларын талдау»

Бұл дипломдық жұмыс жоғары жиілікті сигналдарды алу үшін өлшеу құралдарында кеңінен қолданылатын Ганн диодтарының қоректену схемаларын талдалынды. Жұмыста Ганн диодтарының жұмысының теориялық негіздері, олардың жұмыс принципі, техникалық сипаттамалары қарастырылды.

Ганн диодтарын қолдана отырып MatLab жүйесінде схемаларымен графигі алынған болатын. Ганн диодтары құрылғының жоғары дәлдігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етеді, бұл оның ғылыми және өндірістік мақсаттарда сәтті қолданылуының негізгі факторы болып табылатындығы талданды.

Марад Айбек бұл жұмыста мәтіндік және графикалық материалдарын құрастыруға, көрсетуге, ресімдеуге және мазмұнына қойылатын жалпы талаптар мемлекеттік стандарттарға сәйкес жасалған.

Бағалау үшін орындалған дипломдық жұмыс 92/ А/ «_____», 6B07112 – Electronic and Electrical Engineering мамандығы бойынша Марад Айбек Русланұлы бакалавр академиялық дәрежесіне лайықты деп санаймын.

Рецензент

Ғ. Дәукеев атындағы АЭЖБУ

т.ғ.д., профессор,

 М.З. Якубова

«2» сентябрь 2023 ж.

КазННТУ 704-21 Ү. Рецензия



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ғылыми жетекшінің пікірі

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Марад Айбек Русланұлы

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering

**«Өлшеу құралдарына арналған Ганн диодтарының қоректену схемаларын
талдау»**

Бұл дипломдық жұмыс жоғары жиілікті сигналдарды алу үшін өлшеу құралдарында кеңінен қолданылатын Ганн диодтарының қоректену схемаларын талдалынды. Жұмыста Ганн диодының кез келген техника мен технологияларда ауқымды түрде қолданып жатқаны қарастырылып өтті.

Ганн диодтарын қолдана отырып MatLab бағдарламасында simulink платформасында электроника жүйесінде бізге қажетті параметрлері бар схемаларын қолдана отырып керекті графигтерін алған. Ганн диодтары құрылғының жоғары дәлдігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етеді, бұл оның ғылыми және өндірістік мақсаттарда сәтті қолданылуының негізгі факторы болып табылатындығы талданған. Дегенмен де техникалық қателер бар, олар дипломдық қорғауға кедергісін тигезбейді.

Марад Айбек бұл жұмыста мәтіндік және графикалық материалдарын құрастыруға, көрсетуге, ресімдеуге және мазмұнына қойылатын жалпы талаптар мемлекеттік стандарттарға сәйкес жасалған.

Бағалау үшін орындалған дипломдық жұмыс 92/ А/ «өле наллы», 6B07112 – Electronic and Electrical Engineering мамандығы бойынша Марад Айбек Русланұлы бакалавр академиялық дәрежесіне лайықты деп санаймын.

Ғылыми жетекші

Пікір беруші ЭТЖТТ т.ғ.к., қауым. профессоры

А.М.Дараев

« 3 » 2023 ж.



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Марад Айбек Русланұлы

Тақырыбы: Өлшеу құралдарына арналған Ганн диодтарының қоректену схемаларын талдау

Жетекшісі: Нуржигит Смайлов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 1.3

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 1.3

Әріптерді ауыстыру: 45

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 26

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

7.06.2023
Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Марад Айбек Русланұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Өлшеу құралдарына арналған Ганн диодтарының қоректену схемаларын талдау

Научный руководитель: Нуржигит Смайлов

Коэффициент Подобия 1: 1.3

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 26

Знаки из других алфавитов: 45

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

7.06.2013
Дата

Маркисен С. О. О.
проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Марад Айбек Русланұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Өлшеу құралдарына арналған Ганн диодтарының қоректену схемаларын талдау

Научный руководитель: Нуржигит Смайлов

Коэффициент Подобия 1: 1.3

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 26

Знаки из здругих алфавитов: 45

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

7.06.2023
Дата

Заведующий кафедрой

