

Бончо Георгиев Бонев

РЪКОВОДСТВО

за лабораторни упражнения по

„Радиовълни и радиолинии”

София, 2011

В настоящето ръководство за лабораторни упражнения по „Радиовълни и радиолинии” са разгледани основните теоретични и опитни постановки за лабораторните упражнения по едноименната дисциплина.

Ръководството е предназначено за студентите от специалност „Телекомуникации” на Технически университет – София, образователно-квалификационна степен „бакалавър”. То може да се използва също и от инженери, от докторанти и от студенти от сродни специалности на други университети и колежи.

Автор: Бончо Георгиев Бонев, д-р инж.

Рецензент: Борислав Минчев Панков, д-р инж.

ПРЕДГОВОР

Основната цел на настоящето ръководство е да улесни подготовката на студентите от специалност „Телекомуникации” на Технически университет – София за лабораторните упражнения по дисциплината „Радиовълни и радиолинии”. В ръководството са представени пет упражнения, които са съобразени с темите в учебната програма.

Първото упражнение засяга важният от теоретична и практическа гледна точка въпрос за интерференцията на директен и отразен лъч. Второто упражнение е посветено на дифракцията на електромагнитните вълни и по-специално на теорията за френеловите зони. Третото упражнение е отделено за ефекта на Доплер, който има важно практическо значение за комуникациите, както от гледна точка на приложението му в радиолокацията, така и поради затрудненията, които може да създаде при някои комуникационни технологии. В четвъртото лабораторно упражнение е засегнат един важен за практиката проблем – преминаването на линейно поляризирана електромагнитна вълна през система от успоредни проводници. Той има практическо приложение при екранирането на обекти и радио съоръжения и при проектирането и изграждането на пасивни ретранслатори. Последното упражнение отново третира дифракцията на радиовълните, но от практически аспект, свързан с разпространението на електромагнитните вълни при наличие на екраниращи препятствия.

Всички описани лабораторни упражнения са структурирани по идентичен начин. В началото е представена теорията, свързана със съответната тематика. Обемът на теоретичната част е съобразен със задачите, които ще бъдат изпълнени при провеждането на упражнението и позволяват на студента да се подготви без да е

необходимо да ползва допълнителни източници. Отдадено е по-голямо значение на физическото обяснение на разглежданите явления, ефекти и процеси, но е даден и необходимият математически апарат за извършването на изчисленията по упражнението. Във втората част на всяко упражнение са представени задачите, които студентите трябва да изпълнят. След това са дадени описания на опитните постановки и указания за изпълнение на всяка една точка от заданието. В края на всяко от упражненията са представени контролни въпроси, които да подпомогнат студента при подготовката за упражнението и за защитата на протокола. В ръководството са приложени бланки за протоколи. Стремехът при тях е бил максимално улеснение на студентите – изчерпани са опитните постановки, таблиците за резултатите от измерванията, координатните системи, а при някои от упражненията са начертани и теоретичните зависимости, които ще бъдат изследвани. В края на протокола студентът трябва да представи изводите от проведените изследвания.

Авторът изказва своята искрена благодарност на рецензента доц. д-р инж. Борислав Минчев Панков за направените препоръки, които бяха взети под внимание при окончателния вариант на ръководството.

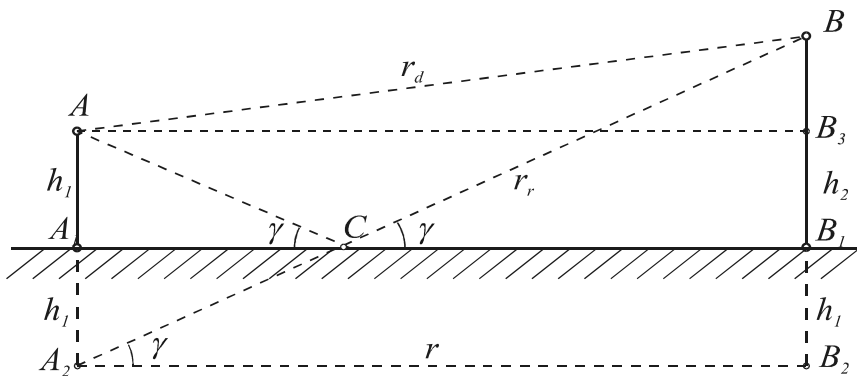
Упражнение № 1

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ НА ДИРЕКТЕН И ОТРАЗЕН ЛЪЧ

I. ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Когато между предавателната и приемната антени има пряка видимост и земната повърхност отразява добре радиовълните, в приемния пункт освен директен достига и отразен от земната повърхност лъч (фиг. 1.1). В този случай, съгласно принципа на суперпозицията, интензитетът на полето е векторна сума от интензитетите на двата лъча. Векторната сума може да бъде заменена с алгебрична, ако векторите на интензитетите на директния $\vec{E}_d$ и на отразения $\vec{E}_r$ лъчи са колинеарни. Това условие е изпълнено, когато електромагнитната вълна (ЕМВ) е с хоризонтална поляризация. При вертикална поляризация, ако разстоянието между антените r е много по-голямо от техните височини h_1 и h_2 може да се приеме, че двата вектора са колинеарни. Тогава интензитетът на полето в приемния пункт се определя от израза

$$E = E_d + E_r. \quad (1.1)$$



фиг.1.1

Интензитетът на електрическото поле в приемната страна, създаден от директния лъч може да се представи със зависимостта

$$E_d = \frac{\sqrt{30PG_d}}{r} e^{j\omega t}, \quad (1.2)$$

а напрегнатостта на полето за отразения лъч е

$$E_r = \frac{\sqrt{30PG_r}}{r} |\dot{R}| e^{j(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r - \theta)}, \quad (1.3)$$

където P е мощността на предавателя, Δr е разликата в пътищата на директния и отразения лъчи –

$$\Delta r = r_r - r_d \quad (1.4)$$

G_d и G_r са коефициентите на насочено действие на предавателната антена по отношение на директния и отразения лъчи, а $|\dot{R}|$ и θ са двете части на коефициента на отражение – модулът, който показва как се променя амплитудата на отразената вълна при отражението и ъгълът на дефазиране при отражение в радиани –

$$\dot{R} = |\dot{R}| e^{j\theta}. \quad (1.5)$$

Коефициентът на отражение зависи от електромагнитните свойства на средите от двете страни на граничната повърхност (в разглеждания случай е прието, че едната среда е въздух), от ъгъла на падане на вълната върху граничната повърхност, от дължината на вълната и от поляризацията.

Както се вижда от изрази (1.2) и (1.3) техните степенни показатели са различни. Това означава, че фазите на двете вълни се различават. Разликата във фазите на директната и отразената вълни се дължи на две основни причини:

1. Отразената вълна изминава по-дълъг път - Δr .

2. При отражението фазата на отразената вълна се променя със скок (степенния показател във формула (1.5)) - θ .

След заместване на (1.2) и (1.3) в (1.1) за интензитета на полето в приемния пункт се получава

$$E = \frac{\sqrt{30PG_d}}{r} e^{j\alpha} \left[1 + |\dot{R}| \sqrt{\frac{G_r}{G_d}} e^{-j\left(\frac{360^\circ}{\lambda} \Delta r + \theta^\circ\right)} \right], \quad (1.6)$$

а за ефективната стойност на резултантното поле се записва

$$E = \frac{\sqrt{30PG_d}}{r} \sqrt{1 + 2|\dot{R}| \sqrt{\frac{G_r}{G_d}} \cos\left(\frac{360^\circ}{\lambda} \Delta r + \theta^\circ\right) + |\dot{R}|^2 \frac{G_r}{G_d}}. \quad (1.7)$$

Когато отражението се извършва от добре проводима повърхност и ъгълът γ е много малък (което е изпълнено, ако разстоянието между антените е много по-голямо от височината им) може да се приеме, че $|\dot{R}| \approx 1, \theta = 180^\circ, G_d = G_r = G$.

След заместване в (1.7) се получава,

$$E = \frac{\sqrt{60PG}}{r} \sqrt{1 - \cos\left(\frac{360^\circ}{\lambda} \Delta r\right)} \quad (1.8)$$

Разликата в пътищата Δr се определя от (1.4) и зависимостите:

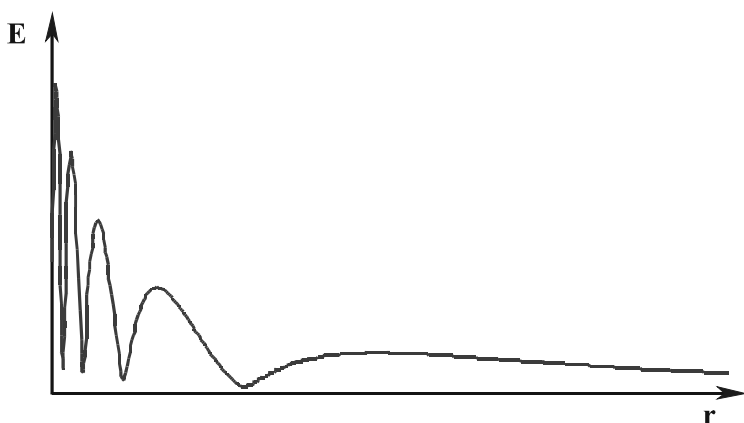
$$r_d = \sqrt{(h_2 - h_1)^2 + r^2} \quad (1.9)$$

$$r_r = \sqrt{(h_2 + h_1)^2 + r^2} \quad (1.10)$$

При $h \ll r$ разликата в пътищата Δr може да се изчисли от следната приблизителна формула –

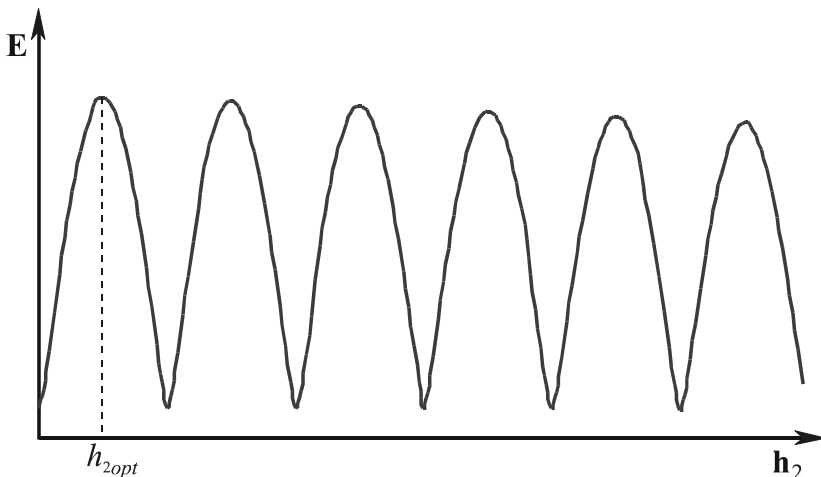
$$\Delta r = \frac{2h_1 h_2}{r}. \quad (1.11)$$

Интересни са случаите на интерференция на директен и отразен лъч, когато се променя разстоянието между антените. Това води до промяна на пътищата, които изминават директната и отразената вълни, което причинява дефазиране между тях. Промяната на разстоянието освен това води и до промяна на ъгъла на падане на вълната, което в най-общ случай предизвиква изменение на дефазирането вследствие на отражението. Поради тези две причини при промяната на разстоянието между антените се изменя и фазовата разлика между двете вълни. Това обяснява наличието на максимуми и минимуми в графиката, показана на фиг. 1.2. Когато двете вълни са във фаза (дефазирането е $2k \cdot 180^\circ$, където k е цяло число) се получава максимум на интензитета на полето, а когато са в противофаза (дефазирането е $(2k+1) \cdot 180^\circ$) се получава минимум. При много големи разстояния между антените разликата в пътищата клони към нула, но ъгълът на падане е малък и дефазирането при отражение клони към 180° , поради което двете вълни са с фазова разлика все по-близка до 180° и интензитетът намалява, клонейки към нула.



фиг. 1.2

Когато се променя височината на приемната антена се получава графиката от фиг. 1.3. Причините за наличие на максимуми и минимуми са същите, както в случая с промяната на разстоянието между антените. Най-малката височина, при която интензитетът на полето е максимален се нарича оптимална височина на приемната антена. Най-малката височина с максимален интензитет се избира от икономически и конструктивни съображения.



фиг. 1.3

II. ЗАДАНИЕ

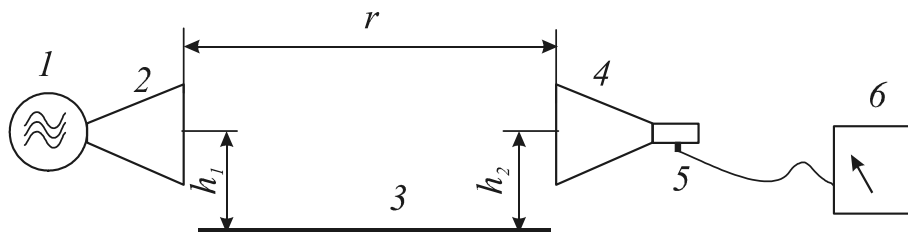
1. Да се изследва зависимостта на напрегнатостта на полето от разстоянието между антените при интерференция на директен и отразен лъч и да се сравнят получените резултати с теоретично определените по формула (1.8).

2. Да се изследва зависимостта на напрегнатостта на полето от височината на приемната антена при интерференция на директен и отразен лъч и получените данни да се сравнят с теоретично изчислените по формула (1.8).

3. Да се изчисли оптималната височина на приемната антена по зададени от ръководителя стойности на разстоянието между антените и на височината на предавателната антена. Получената стойност да се провери експериментално.

III. ОПИСАНИЕ НА ОПИТНАТА ПОСТАНОВКА И УКАЗАНИЯ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА УПРАЖНЕНИЕТО

Опитната постановка за провеждане на упражнението е показана на на фиг. 1.4. Генераторът 1 е свързан към предавателната антена 2. В приемната антена 4 попадат директен и отразен от металната повърхност 3 лъчи. Приетият сигнал се детектира от детекторната секция 5 и се отчита посредством индикатора 6.



фиг. 1.4

1. Преди измерването по т. 1 предавателната и приемната антени се фиксират на височина $h_1=h_2=13$ cm. За изследванията по т. 1 от заданието те се поставят на най-малкото за измерването разстояние $r_{min}=30$ cm една от друга. След това едната от антените се отдалечава от другата със стъпка 2 cm до достигане на $r_{max}=90$ cm като се следи при преместването двете антени да останат насочени една към друга. Показанията на индикатора θ за всяка стойност на разстоянието, се нанасят във втория ред на таблица 1 от протокола. Относителната напрегнатост на полето $E_{отн}$ се изчислява от израза:

$$E_{omn} = \sqrt{\frac{\theta}{\theta_{max}}} , \quad (1.12)$$

където θ_{max} е максималното показание, отчетено при това измерване. Показанията на индикатора се коренуват, тъй като характеристиката на използвания детекторен диод е близка до квадратична функция.

Изчислените стойности на относителния интензитет на полето се нанасят в третия ред на таблица 1 от протокола. На първата координатна система, на която е начертана теоретичната зависимост $E(r)$, се чертае получената експериментално зависимост $E_{omn}(r)$.

2. Изследването на зависимостта на интензитета на електрическото поле от височината на приемната антена $E(h_2)$ се извършва със същата опитна постановка – аналогично на точка 1 от заданието – като двете антени се поставят на разстояние $r=80cm$, а предавателната антена се установява на височина $h_1=13$ cm. Височината на приемната антена се изменя от $h_{2min}=10$ cm до $h_{2max}=39$ cm със стъпка 1 cm. Отчитат се показанията на индикатора за всяка височина и резултатите се нанасят в таблица 2 от протокола. За изчисление на интензитета на полето се използва отново формула (1.12) като θ_{max} е максималното показание на индикатора, получено при това измерване. Зависимостта $E_{omn}(h_2)$ се чертае на втората координатна система от протокола, където е дадена и теоретичната зависимост.

3. Оптималната височина на приемната антена е най-малката възможна височина на тази антена, при която интензитетът на полето в приемния пункт е максимален. Тя се определя по зададени от ръководителя на упражнението стойности на разстоянието между антените r и височина на предавателната антена h_1 . За минимална допустима височина на приемната антена се приема $h_{2min}=10$ cm.

За теоретичното определяне на оптималната височина на приемната антена се използват изрази (1.8) и (1.11). Разликата в

пътищата Δr от (1.11) се замества в (1.8). За да бъде интензитетът максимален е необходимо израз (1.8) да има максимум по отношение на h_2 , затова се прави анализ на този израз и се определят стойностите на h_2 , за които той има максимум. Поради периодичния характер на функцията “cos”, която участва в (1.8), за височината на приемната антена, при която имаме максимум на интензитета на полето, трябва да се получи израз от вида

$$h_2 = a \cdot (2k + 1), \quad (1.13)$$

където a е константа, зависеща от разстоянието, дължината на вълната и височината на предавателната антена, а k приема стойности 0, 1, 2, ...

Задават се стойности на k (0,1,2,...) и от (1.13) се изчисляват стойностите на h_2 , докато се получи стойност на h_2 по-голяма от 10cm. Това именно е теоретично определената стойност на оптималната височина на антената.

Експерименталното определяне на оптималната височина на приемната антена става като разстоянието между антените r и височината на предавателната антена h_1 се установят на зададените от ръководителя на упражнението стойности. След това височината на приемната антена плавно се увеличава, като се започне от 10 cm, до достигане на максимално показание на индикатора. Измерва се височината на приемната антена, при която е получено това максимално показание и това е експериментално определената оптимална височина на антената.

Резултатите от измерването и изчисленията се нанасят в протокола от упражнението.

IV. КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ

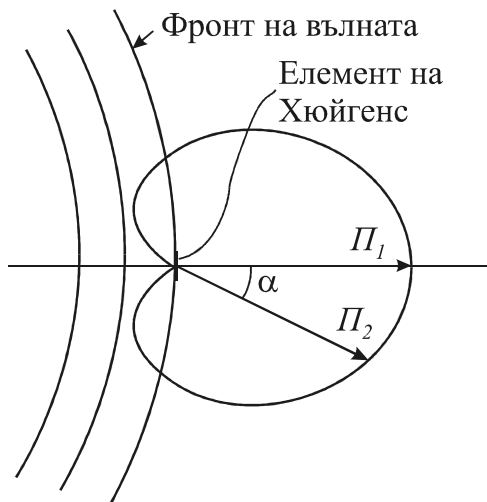
1. Как се определя интензитетът на полето, когато в приемната антена пристигат два или повече лъчи?
2. Какви са посоките на вектора на интензитета на директния и отразения лъч при хоризонтална поляризация?
3. В какъв случай можем да приемем, че при вертикална поляризация векторите на интензитетите за директната и отразената вълни са колинеарни?
4. На какво се дължат минимумите и максимумите на зависимостта на интензитета на полето от разстоянието (от височината на приемната антена)?
5. Какъв е физическият смисъл на двете части на коефициента на отражение?
6. От какво зависи коефициентът на отражение?
7. Защо двете вълни – директната и отразената – са дефазирани?
8. Какво разбирате под оптимална височина на приемната антена?
9. Защо за оптимална височина на приемната антена се избира най-малката височина, при която има максимум в интензитета на полето?

Упражнение № 2

ФРЕНЕЛОВИ ЗОНИ

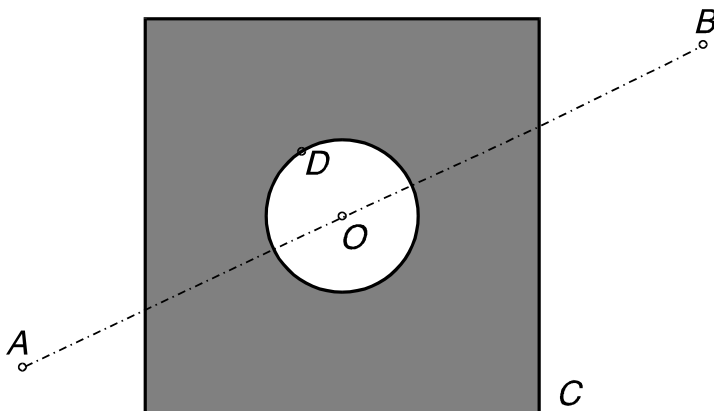
I. ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

При наличие на екраниращи препятствия по трасето напрегнатостта на полето се изчислява на базата на теорията за дифракцията на електромагнитните вълни (ЕМВ). Тя се основава на принципа на Хюйгенс, според който всяка точка от фронта на вълната, създадена от някакъв първичен източник, става вторичен източник на сферична електромагнитна вълна. Тези точки (вторични източници) се наричат още *елементи на Хюйгенс*. Новият фронт на вълната е обвиващата крива на фронтовете на вторичните вълни. Преизлъчената от елементите на Хюйгенс енергия не е разпределена равномерно във всички посоки. Диаграмата на преизлъчване представлява кардиоида с максимум перпендикулярен на фронта на вълната (насочен по посока на разпространение на вълната) – фиг.2.1, т.е. най-силно се преизлъчва в посока на нормалата към фронта на вълната в дадената точка и най-слабо в обратната посока. Интензитетите на всички достигнали до приемника вторични вълни, съгласно принципа на суперпозицията се сумират векторно като се отчитат техните амплитуди и фази и така се получава интензитетът на резултантното поле. Разликата във фазите на вълните от вторичните източници се дължи на различния път, който те изминават при разпространението си от предавателя до приемника.



фиг. 2.1

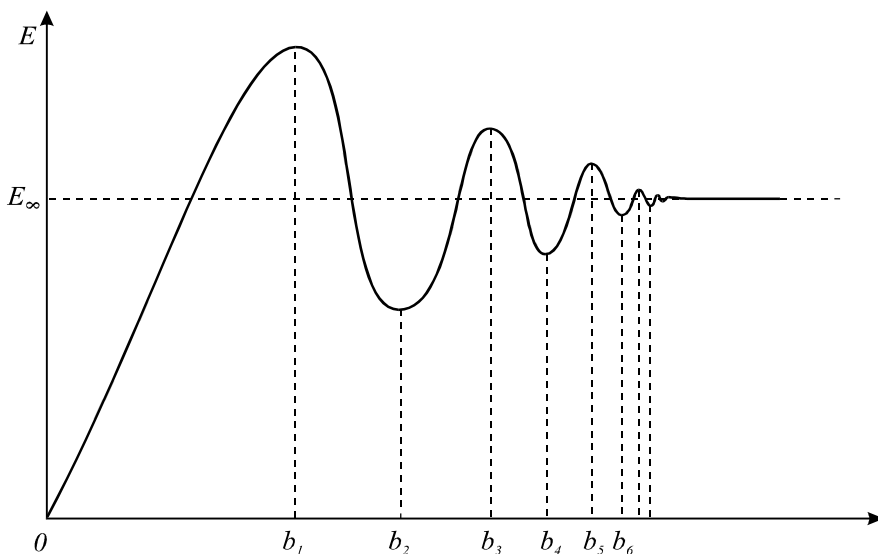
Нека приемем, че излъчвателят се намира в т. A (фиг.2.2), а приемникът в т. B и между тях е поставен плосък непрозрачен екран C , перпендикулярно на оста AB (на посоката на разпространение на вълната). В екрана има кръгъл отвор, чийто радиус може да се променя и центърът му лежи на оста AB . Полето в т. B може да се разглежда като сума от полетата, създадени (преизлъчени) от всяка точка от отвора с отчитане на техните амплитуди и фази.



фиг. 2.2

При липса на отвор в екрана до т. B не достига ЕМВ и интензитетът на полето в приемния пункт е нула. При постепенно увеличаване на радиуса на отвора напрегнатостта на полето расте, защото все повече вълни достигат до т. B . Същевременно с увеличаване на радиуса на отвора, нараства и дефазирането между вторичната вълна, разпространяваща се по линията AOB (за краткост ще бъде наричана директна) и вълните, преизлъчени от точките в краищата на отвора. Това дефазиране, както беше споменато, се дължи на по-дългия път, който изминават вторите. Нарастването на интензитета на резултантното поле продължава дотогава, докато фазовата разлика между директната вълна и вълните, преизлъчени от края на отвора стане 180° . Тогава интензитетът на полето има максимум и е открита Първа Френелова Зона (ФЗ). При по-нататъшното увеличаване на радиуса на отвора започва откриването на Втора Френелова Зона, фазовата разлика става по-голяма от 180° (т.е. вълните са в противофаза с тези от Първа ФЗ) и вследствие на това напрегнатостта на полето намалява. Втора френелова зона е изцяло открита, когато фазовата разлика между директната вълна и тези преизлъчени от краищата на отвора стане 360° . Тогава интензитетът на полето има минимум. При ново увеличаване на радиуса на отвора интензитетът започва отново да нараства, докато се открива Трета ФЗ, където фазовата разлика е от 360° до 540° . Аналогично се дефинират и останалите ФЗ. И така с увеличаване на радиуса на отвора напрегнатостта на полето в приемника преминава през локални максимуми и минимуми (фиг.2.3) и започва да клони към стойност E_∞ - стойността при безкраен радиус на отвора или това на практика е интензитетът на полето при липса на екран, т.е. при свободно разпространение на вълните. От графиката се вижда, че най-голямо влияние върху интензитета на полето в приемния пункт оказват първите няколко ФЗ, които се наричат още съществени,

понеже в тях се разпространява по-голямата част от енергията, пренасяна от вълната.



фиг. 2.3

Причините за това са следните:

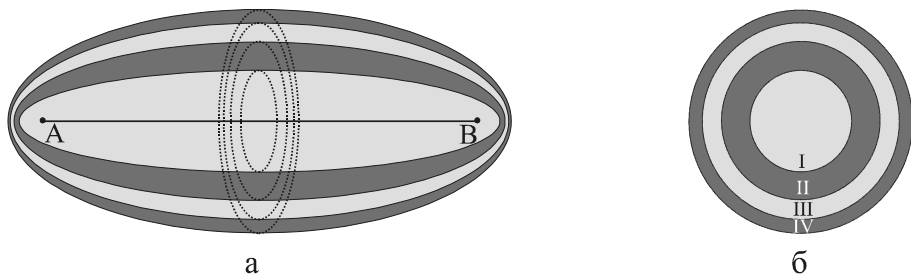
1. По-дългият път, който изминават вълните от ФЗ с по-голям номер, води до по-голямо естествено разсейване на енергията и оттам до намаляване на амплитудата на вторичните вълни, идващи от тези зони.
2. Елементите на Хюйгенс от ФЗ с по-малък номер преизлъчват по-силно по посока на приемника, от тези с по-голям номер – ъгъл α от фиг.2.1 е по-малък.
3. Антените, които се използват в практиката, са насочени и излъчват (приемат) най-силно по посока на приемника (предавателя) – т.е. на първите няколко ФЗ.

В пространството френеловите зони представляват ротационни елипсоиди, т.е. елипси ротирани около голямата си ос (фиг. 2.4а), а в

равнина перпендикулярна на линията AB (т.е. в равнината на екрана) представляват пръстени с изключение на първа ФЗ, която е кръг (фиг.2.4б). Площите на всички френелови зони в това сечение са еднакви. Това може да се докаже като се използва зависимостта за радиуса на френеловите зони, която за произволна френелова зона с номер n има вида

$$b_n = \sqrt{\frac{n\lambda r_1 r_2}{r_1 + r_2}}, \quad (2.1)$$

където r_1 и r_2 са съответно разстоянията от предавателната и приемната антени до точката, в която се определят радиусите на френеловите зони.



фиг. 2.4

Израз (2.1) дава задоволителна за практиката точност при изпълнение на условието

$$r_{1,2} > 3b_n. \quad (2.2)$$

II. ЗАДАНИЕ

1. Да се изследва зависимостта на напрегнатостта на полето в приемния пункт от радиуса на отвора в екрана при три различни стойности на разстоянията r_1 и r_2 :

а) $r_1 = r_2 = 0,75 \text{ m}$;

б) $r_1 = 1 \text{ m}$, $r_2 = 0,5 \text{ m}$;

в) $r_1 = 0,5 \text{ m}$, $r_2 = 1 \text{ m}$.

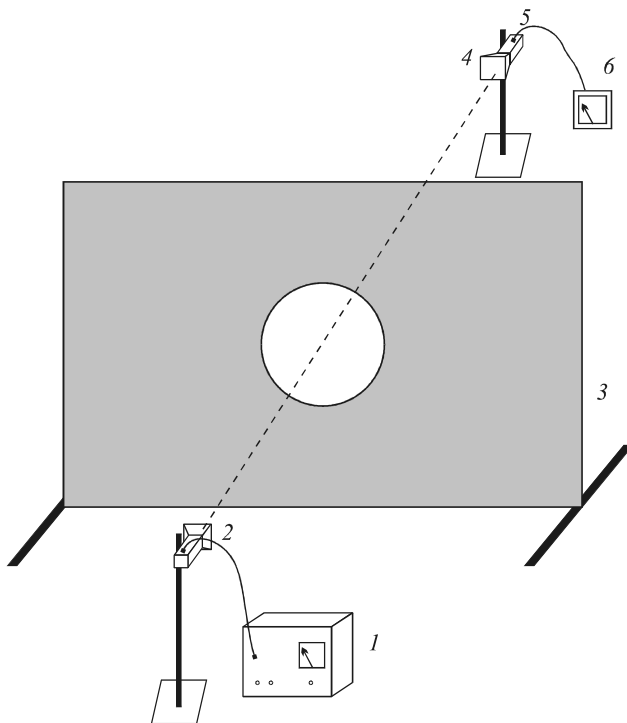
2. Да се определят експериментално (по 2 начина) и теоретично радиусите на първите няколко ФЗ за стойностите на r_1 и r_2 от т.1.

3. Да се определи експериментално дължината на вълната като се вземат предвид определените по т. 2 радиуси на първа ФЗ.

III. ОПИСАНИЕ НА ОПИТНАТА ПОСТАНОВКА И УКАЗАНИЯ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА УПРАЖНЕНИЕТО

Опитната постановка, с която се провежда упражнението е представена на фиг. 2.5. Генераторът 1 захранва предавателната антена 2. Електромагнитните вълни преминават през отвора на непрозрачния екран 3 и попадат в приемната антена 4. След това приетият сигнал се детектира в 5 и се подава към индикатора 6. Показанията на индикатора се отчитат в деления. Отворът в екрана е изпълнен чрез механична бленда.

Разстоянието между антените (разстоянието се мери от отворите на антените) се установява на $r_1 + r_2 = 1,5 \text{ m}$ и то повече **не се променя**. Промяната на r_1 и r_2 се извършва като се премества екрана. Измерванията по т.1 и т.2 се правят паралелно – т.1а след това т.2а, т. 1.б след това т.2б, т.1в и след това т.2в. Това се прави с цел по-малко пъти да се премества блендата.



фиг. 2.5

1. За изследванията по т.1 антените се поставят на разстояния r_1 и r_2 , съгласно заданието. Преди започване на измерването е необходимо да се осигури съсност на предавателната и приемната антени и центъра на бледата (линията, която свързва фазовите центрове на двете антени да минава през центъра на отвора). Освен това екранът трябва да е перпендикулярен на тази линия.

Измерването се провежда като се променя радиусът на отвора b от 0 до 25 cm със стъпка 1 cm и се отчитат показанията на индикатора θ . Получените данни се нанасят в табл. 1 от протокола. Относителната напрегнатост на полето се определя от изрази:

$$E_{\text{отн}} = \frac{E}{E_{\text{max}}} = \sqrt{\frac{\theta}{\theta_{\text{max}}}}, \quad (2.3)$$

където θ_{max} е максималното показание на индикатора от измерването по съответната подточка на т.1 от заданието. Тази зависимост се използва, тъй като характеристиката на детекторния диод е близка до квадратичната.

Зависимостите $E_{отн}(b)$, определени от всяко от трите изследвания, се изчертават на обща координатна система в протокола.

2. За трите стойности на r_1 и r_2 се определят радиусите на първите пет френелови зони (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5) по следните три начина:

- от графиките от т.1. В точките на минимумите и максимумите от изчертаните графики се отчитат радиусите, при които те са получени;

- след измерването по т.1 за съответните разстояние r_1 и r_2 , се прави специално измерване. За целта блендата бавно се отваря. При достигане на максимум (за b_1, b_3 и b_5) или минимум (за b_2 и b_4) в показанията на индикатора се отчита, за каква стойност на радиуса на отвора b е получен той. Точното определяне на радиусите b_n се извършва като няколко пъти радиусът на отвора се променя около тази стойност. Получените стойности се записват в реда “специално измерване” на табл. 2 на протокола;

- радиусите на френеловите зони се определят теоретично като се използва формула (2.1).

3. Дължината на вълната λ се изчислява от израз (2.1), решен спрямо λ като за b_n се вземе радиусът **на първа ФЗ от специалното измерване**.

IV. КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ

1. Какво гласи принципът на Хюйгенс?
2. Какво разбирате под елемент на Хюйгенс?
3. Как се определя интензитетът на полето, когато има препятствие по трасето?
4. На какво се дължат максимумите и минимумите в зависимостта на интензитета на полето от радиуса на отвора в непрозрачен екран?
5. Защо тези максимуми и минимуми стават все по-слабо изразени?
6. Какво представляват френеловите зони в пространството и в равнина, перпендикулярна на посоката на разпространение?
7. Какви са площите на френеловите зони?
8. При провеждане на експеримента с промяната на радиуса на отвора в непрозрачен екран по какво се разбира, че е открита първа (втора, трета и т.н.) френелова зона?
9. Как би се променила графиката, ако с помощта на пръстен се закрие втора (трета, четвърта и т.н.) френелова зона и се проведе експеримента от т.1 от заданието?

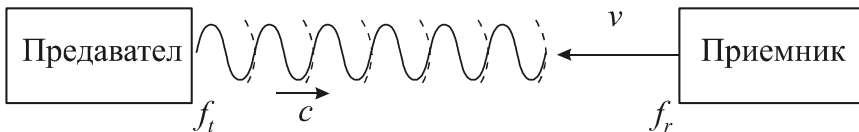
Упражнение № 3

ЕФЕКТ НА ДОПЛЕР

I. ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Ефектът на Доплер се наблюдава, когато се променя разстоянието между приемника и предавателя. Той се изразява в промяна на честотата на приетия сигнал по отношение на честотата на излъчения сигнал.

Нека предавателят и приемникът се приближават или отдалечават един спрямо друг със скорост v . Поради относителния характер на движението можем да приемем, че единият от обектите, например предавателят е неподвижен, а другият (приемникът) се приближава или отдалечава със скорост v (фиг. 3.1). Освен това приемаме, че електромагнитната вълна се разпространява в свободното пространство, т.е. със скорост равна на скоростта на светлината във вакуум c .



фиг. 3.1

Ако предавателят и приемникът се приближават един към друг със скорост v това означава, че по отношение на приемника вълната се разпространява не с фазовата скорост c , а със скорост $c+v$. Тогава приемникът ще среща по-често еднакви фазови състояния на вълната и честотата на приетата вълна f_r ще е по-голяма от тази на излъчената f_t . Ако пък се отдалечават тази скорост ще бъде $c-v$. Тогава честотата на приетия сигнал f_r ще е по-малка. Можем да запишем

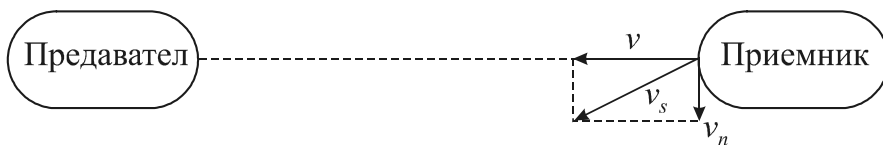
$$f_r = \frac{c \pm v}{\lambda} = f_t \pm \Delta f_1, \quad (3.1)$$

където Δf_1 се нарича доплерово отместване и в този случай то може да се определи от израза

$$\Delta f_1 = f_t \frac{v}{c}. \quad (3.2)$$

Знакът „+” в (3.1) е за случая на приближаване, а „-” за случая на отдалечаване на предавателя и приемника.

Тук е мястото да отбележим, че при промяната на честотата на приетата вълна влияние оказва само тази компонента на пълната скорост на приемника (предавателя) v_s (фиг. 3.2), която е насочена по оста, свързваща предавателя и приемника (означена с v на фиг. 3.2), тъй като само тя води до промяна на разстоянието между обектите.



фиг. 3.2

Доплеровият ефект намира приложение в радиокомуникациите основно в радиолокацията за определяне на скоростта на движение на даден обект (автомобил, самолет или друг движещ се обект). Нека имаме радиолокационна станция (РЛС), излъчваща електромагнитна вълна с честота f_t (фиг. 3.3). Приемаме, че следеният обект се приближава или отдалечава спрямо станцията със скорост v , насочена по оста, която свързва обекта с РЛС. С f_r е означена честотата на пристигналият в РЛС отразен сигнал.



фиг. 3.3

И в този случай можем да запишем израз, подобен на (3.1), а именно

$$f_r = f_t \pm \Delta f, \quad (3.3)$$

Доплеровото отместване в радиолокацията обаче се дава с израз

$$\Delta f = 2f_t \frac{v}{c}, \quad (3.4)$$

т.е. то е два пъти по-голямо отколкото в първия случай, който разгледахме. Това е така, защото промяната на разстоянието между обекта и РЛС предизвиква двойно по-голяма промяна на пътя, който изминава вълната, сравнено с първия разгледан случай.

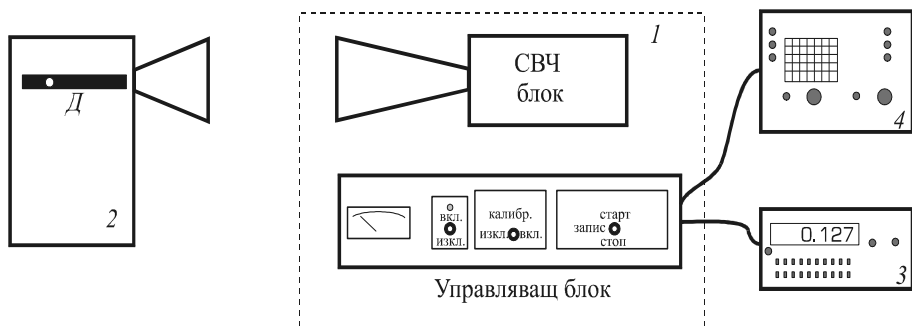
II. ЗАДАНИЕ

1. При режим „Калибриране” на доплеровия радар да се снее осцилограма на сигнала от изхода му. Да се определи доплеровото отместване и скоростта, на която то съответства.
2. Да се определят периферната скорост, периодът и честотата на въртене на диска на механичен доплеров имитатор по зададени от ръководителя на упражнението положения на регулатора на оборотите като се използва доплеров радар.

III. ОПИСАНИЕ НА ОПИТНАТА ПОСТАНОВКА И УКАЗАНИЯ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА УПРАЖНЕНИЕТО

Опитната постановка за провеждане на упражнението е представена на фиг. 3.4. Доплеровият радар 1, състоящ се от СВЧ блок и от управляващ блок, излъчва електромагнитна вълна с честота f_i . Електромагнитната вълна се отразява от диска D на доплеровия имитатор 2 и радарът приема сигнал с честота f_r . В доплеровия радар се прави обработка на приетия сигнал и на изхода му се подава сигнал с доплеровата честота Δf , който се измерва с помощта на честотомер 3 и/или се наблюдава с помощта на осцилоскоп 4. Освен това скоростта може да се отчете от стрелковия индикатор на доплеровия радар.

1. Включва се доплеровият радар и с помощта на превключвателя от управляващия блок се установява в режим „Калибриране” (превключвателят се поставя в положение „Вкл.”). Изходният сигнал от радара се подава към един от каналите на осцилоскопа и на координатната система в протокола се пречертава осцилограмата. От осцилограмата се определя честотата на сигнала (доплеровото отместване) и се изчислява на каква скорост на движение тя съответства, като се използва израз (3.4).



фиг. 3.4

2. Превключвателят за режим калибриране се поставя в положение „ИЗКЛ.”. Включва се механичният доплеров имитатор и за указанията от ръководителя на упражнението положения на регулатора на оборотите му се измерва доплеровото отместване Δf . Измерванията се правят от високите обороти на доплеровия имитатор към ниските. Като се използва израз (3.4) се изчислява периферната скорост на диска на доплеровия имитатор. Същата скорост се отчита и от индикатора на радара. За всяко положение на регулатора на оборотите се пресмята и относителната грешка в % между отчетената и изчислената скорост от израз

$$\delta v = \frac{|v_{изч} - v_{отч}|}{v_{изч}} \cdot 100. \quad (3.5)$$

Периодът на въртене е времето (в секунди), за което дискът прави един оборот или за което една точка от периферията на диска, движеща се с периферната скорост определена чрез (3.4), ще измине обиколката на диска, т.е.

$$T = \frac{2\pi R}{v}, \quad (3.6)$$

където R е радиусът на диска.

По известната от физиката зависимост

$$v = \frac{1}{T} \quad (3.7)$$

се определя честотата на въртене на диска в Hz.

IV. КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ

1. В какво се изразява доплеровият ефект и на какво се дължи?
2. Коя характеристика на вълната се променя при доплеровия ефект?
3. Какво е физическото обяснение на промяната на честотата при ефекта на Доплер?
4. Как се променя приетата честота при приближаване (отдалечаване) на предавателя и приемника?
5. Коя съставка на скоростта ще предизвика доплеров ефект, ако предавателя и приемника не се движат директно един към друг, а под някакъв ъгъл? А ако приемникът обикаля по окръжност, в центъра на която се намира предавателят?
6. От какво зависи стойността на доплеровото отместване?
7. Къде в комуникациите намира приложение доплеровият ефект?
8. Защо в радиолокацията доплеровото отместване е два пъти по-голямо?

Упражнение № 4

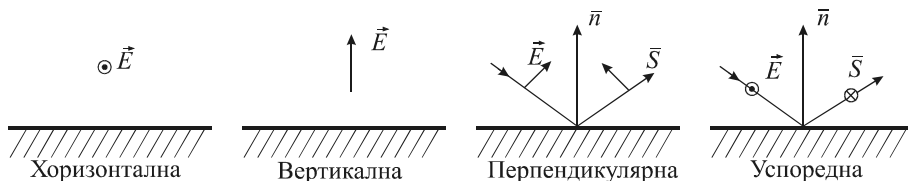
ПРЕМИНАВАНЕ НА ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗИРАНА ЕЛЕКТРОМАГНИТНА ВЪЛНА ПРЕЗ СИСТЕМА УСПОРЕДНИ ПРОВОДНИЦИ

І. ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Електромагнитна вълна с интензитети на електрическото и магнитното поле $\vec{E}$ и $\vec{H}$, пространственото положение, на които във всеки момент от времето е определено, се нарича *поляризирана*.

Когато с разпространението на вълната $\vec{E}$ заема едно и също пространствено положение спрямо някаква неподвижна координатна система, електромагнитната вълна е *линейно поляризирана*. Равнината, която се определя от посоката на разпространение на вълната и вектора на напрегнатостта на електрическото поле $\vec{E}$, се нарича *равнина на поляризацията*.

Обикновено се приема, че една от координатните равнини съвпада със земната повърхност. Въз основа на това как е ориентиран векторът $\vec{E}$ спрямо тази повърхност, се различават: *хоризонтална поляризация* - векторът $\vec{E}$ е успореден на земната повърхност; *вертикална поляризация* - векторът $\vec{E}$ е перпендикулярен на земната повърхност. В практиката често се използва и понятието успоредна или перпендикулярна поляризация. Те се дефинират по отношение на т. нар. равнина на разпространение, която се определя от посоката на вектора на Пойнтинг и нормалата към земната повърхност в точката на отразяване (когато има такова). Когато векторът $\vec{E}$ лежи в тази равнина, поляризацията е *успоредна*, а когато е перпендикулярна на нея - *перпендикулярна* (фиг. 4.1).



фиг. 4.1

Когато с разпространението на вълната векторът $\vec{E}$ се върти, като върхът му описва елипса или окръжност, електромагнитната вълна е съответно с *елиптична* или с *кръгова поляризация*. Въртенето на вектора $\vec{E}$ става с честота, равна на честотата на електромагнитните трептения.

В зависимост от това, в коя посока се върти векторът $\vec{E}$, поляризацията е дясна или лява елиптическа (кръгова) (фиг. 4.2).



фиг. 4.2

Всяка антена приема или излъчва електромагнитна вълна с точно определена поляризация. Най-общо антенните системи могат да се разделят на *антени с линейна* и *антени с елиптическа поляризация*.

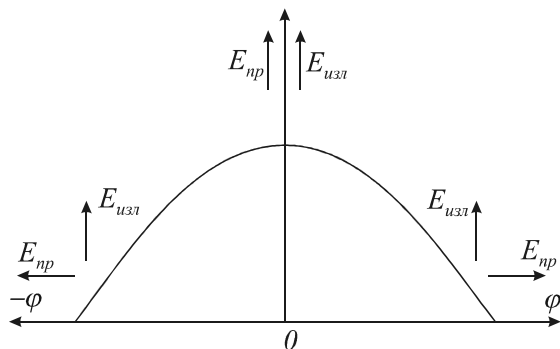
Когато предавателната антена излъчва вълна с вертикална поляризация, а приемната антена приема вълна с линейна поляризация, приетата мощност ще зависи от пространственото ориентиране на приемната антена спрямо предавателната (равнината на поляризация на вълната). Тогава, когато поляризацията на

излъченото електромагнитно поле съвпада с поляризацията, на която се приема, приетата мощност е максимална, а когато тези поляризации са перпендикулярни, приетата мощност е равна на нула.

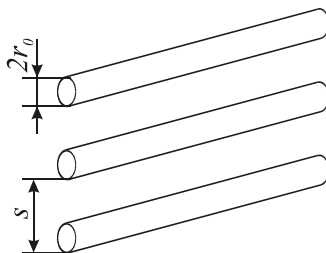
Зависимостта на приетата мощност или поле от ъгъла на ориентиране на една приемна антена с линейна поляризация спрямо равнината на поляризация на излъчената електромагнитна вълна се нарича *поляризационна характеристика на антената*. Тази характеристика дава възможност да се оцени т. нар. паразитна поляризация. Примерна поляризационна характеристика е показана на фиг. 4.3.

Значителен практически интерес представлява преминаването на линейно поляризирана електромагнитна вълна през система успоредни проводници (фиг. 4.4) при различно положение на осите им спрямо вектора $\vec{E}$. Теорията показва, че когато векторът на интензитета на електрическото поле $\vec{E}$ е перпендикулярен на проводниците, вълната преминава почти безпрепятствено през тях. Това се дължи на факта, че индуктираните токове по повърхността на проводниците са минимални, тъй като дебелината им е много по-малка от дължината на вълната λ . Когато векторът $\vec{E}$ е успореден на проводниците, по дължината им се индуктират токове, вследствие на което съставката на падащата вълна съответстваща на осите на проводниците се пропуска частично като една част от енергията преминава, друга част се отразява, а трета се отделя във вид на топлина поради загубите от протичащите в проводниците индуктирани от електромагнитните вълни токове. В най-общ случай векторът $\vec{E}$ е ориентиран произволно спрямо осите на проводниците и може да се разглежда като съставен от две компоненти: едната успоредна на осите на проводниците, а другата перпендикулярна. Перпендикулярната, съгласно казаното по-горе ще премине почти без

загуби, а при успоредната загубите ще са значителни. Пропускането на тази съставка зависи от диаметъра на проводниците, разстоянието между тях и дължината на вълната.



фиг. 4.3



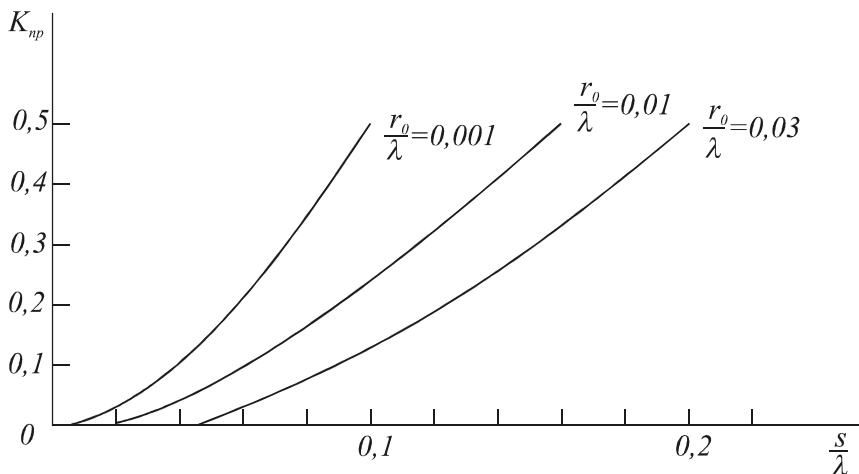
фиг. 4.4

Пропуснатата енергия расте при увеличаване на разстоянието между проводниците, намаляване на диаметъра им и намаляване на дължината на вълната. Количествено този ефект най-лесно се оценява с т. нар. коефициент на пропускане на решетката K'_{np} , който представлява отношението на интензитетите на полето на преминалата през решетката и падащата върху нея електромагнитната вълна. На фиг. 4.4 е изобразена система от успоредни проводници със съответно означени размери.

При малки стойности на $\frac{r_0}{\lambda}$ и $\frac{s}{\lambda}$ за изчисляване на коефициента на пропускане може да се използва зависимостта

$$K'_{np} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\lambda}{2s} \frac{1}{\ln 2\pi \frac{r_0}{s}} \right)^2}. \quad (4.1)$$

Теоретично определеният коефициент на пропускане за различни стойности на $\frac{r_0}{\lambda}$ и $\frac{s}{\lambda}$ е показан на фиг. 4.5.



фиг. 4.5

Коефициентът на пропускане може да се определи и по експериментален път. По дефиниция той е равен на

$$K_{np} = \frac{E_{xop+}}{E_{xop-}}, \quad (4.2)$$

където: E_{xop+} - измерена напрегнатост на електрическото поле в приемната страна при хоризонтална поляризация на приемане и предаване и хоризонтално разположени проводници; E_{xop-} - измерена напрегнатост на електрическото поле в приемния пункт при хоризонтална поляризация на предаване и приемане и липса на проводници.

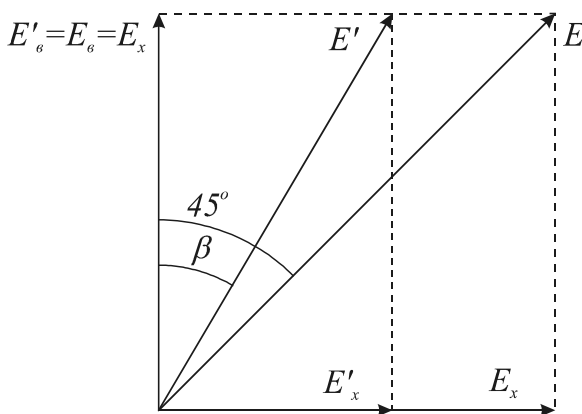
Когато векторът $\vec{E}$ е перпендикулярен на осите на проводниците, решетката не оказва влияние и следователно

$$E_{xop-} = E_{верт+}, \quad (4.3)$$

където $E_{\text{верт}+}$ е измереният интензитет на електрическото поле в приемния пункт при вертикална поляризация на предаване и приемане и при хоризонтално разположени проводници. Така като се отчете (4.3) за коефициента на пропускане се получава

$$K_{\text{пр}}'' = \frac{E_{\text{хор}+}}{E_{\text{верт}+}}. \quad (4.4)$$

Съществува и друг начин за определяне на $K_{\text{пр}}$. Той е илюстриран чрез фиг.4.6. Векторът $\vec{E}$ на излъченото електромагнитно поле е ориентиран под ъгъл $\alpha=45^\circ$ спрямо осите на проводниците, т.е. преди проводниците компонентата на вектора $\vec{E}$, която е успоредна на проводниците и тази, която е перпендикулярна ще са равни. Тъй като проводниците влияят значително по-силно върху успоредната на тях компонента преминалите успоредна и перпендикулярна съставки на вектора $\vec{E}$ ще са с различна амплитуда и равнината на поляризация след решетката ще бъде завъртяна на ъгъл $\alpha - \beta$ спрямо тази преди решетката. Следователно системата от успоредни проводници завърта равнината на поляризация на електромагнитната вълна.



фиг. 4.6

Освен това от (4.3) и (4.4) за коефициента на пропускане може да се запише израз

$$K_{np}''' = \frac{E_{xop+}}{E_{xop-}} = \frac{E_{xop+}}{E_{верт+}} = tg\beta. \quad (4.5)$$

II. ЗАДАНИЕ

1. При вертикална поляризация на излъчената електромагнитна вълна да се снее поляризационната характеристика на приемната антена.

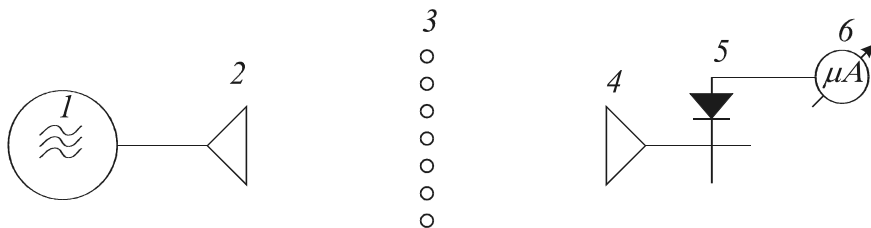
2. Въз основа на поляризационната характеристика на приемната антена да се определи градуировъчната характеристика на детекторно-индикаторната група.

3. За две разстояния между проводниците да се определи коефициентът на пропускане на системата от успоредни проводници по следните три начина:

- а) теоретично от израз (4.1);
- б) експериментално от зависимостта (4.4);
- в) експериментално от зависимостта (4.5).

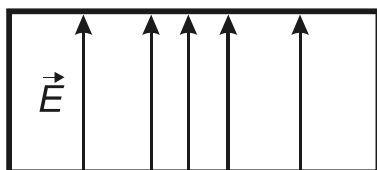
III. ОПИСАНИЕ НА ОПИТНАТА ПОСТАНОВКА И УКАЗАНИЯ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА УПРАЖНЕНИЕТО

За изпълнение на лабораторното упражнение се използва опитната постановка от фиг.4.7. Генераторът 1 захранва предавателната антена 2 с необходимата СВЧ мощност. Успоредните проводници 3 имат радиус $r_0 = 1\text{mm}$. След приемната антена 4 сигнала се детектира в детекторна група 5 и се подава към индикатора 6.



фиг. 4.7

1. Антените на приемника и предавателя се настройват за работа с вертикална поляризация. За да се излъчи вълна с вертикална поляризация и тази вълна да се приеме, е необходимо предавателната и приемната антени да са ориентирани по такъв начин, че векторът $\vec{E}$ да е перпендикулярен на земната повърхност. При използваните правоъгълни метални вълноводи векторът $\vec{E}$ е успореден на късата страна на вълновода (фиг. 4.8).



фиг. 4.8

За да се снесе поляризационната характеристика на приемната антена тя се завърта в границите от -90° до $+90^\circ$ през 10° , като за всяко ъглово отклонение се отчита показанието на индикатора θ . Поради квадратичната волтамперна характеристика на детекторния диод за преминаване от деления θ към напрегнатост на електрическото поле се използва зависимостта:

$$E = \sqrt{\frac{\theta}{\theta_{\max}}}. \quad (4.6)$$

2. За определяне на градуировъчната характеристика на детекторно-индикаторната група се използват данните от

поляризационната характеристика. Като се има предвид, че приемната антена «реагира» на проекцията на вектора $\vec{E}$ върху нейната равнина на поляризация т.е. $E_{receive} = E \cdot \cos \varphi$ стигаме до извода, че поляризационната характеристика теоретично представлява графика на функцията $\cos \varphi$. Така можем да направим съответствие между измерените стойности от индикатора $\theta(\varphi)$ и теоретичната стойност на интензитета на полето в относителни единици $E(\varphi) = \cos \varphi$ и да построим градуировъчната характеристика като по абсисната ос нанасяме показанието на индикатора за съответния ъгъл φ , а по ординатната ос нанасяме $E(\varphi) = \cos \varphi$.

3. Теоретичната стойност на K_{np}' се определя съгласно израз (4.1). За определяне на K_{np}'' полето в приемния пункт се измерва най-напред при вертикална поляризация на предаване и приемане $\theta_{верт+}$, а след това и при хоризонтална – $\theta_{хор+}$. И двете измервания се правят при наличие на проводници между антените. Като се използва получената по т.2. градуировъчна характеристика се определят съответстващите на тези показания интензитети – $E_{верт+}$ и $E_{хор+}$. Коефициентът на пропускане K_{np}'' се определя съгласно израз (4.4). След това предавателната антена се ориентира на ъгъл $\alpha=45^\circ$ спрямо осите на проводниците. Най-напред приемната антена се завърта така, че поляризацията за предаване и приемане да съвпадат, т.е. на 45° спрямо вертикалната равнина. След това антената плавно се завърта към 0° до получаване на максимално показание на индикатора в приемния пункт. От скалата на приемната антена се определя ъгъл β , който трябва да бъде между 0° и 45° . За определяне на коефициента на пропускане K_{np}''' се използва израз (4.5). Измерването по тази точка се прави за две разстояния между проводниците – 10mm и 15mm.

IV. КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ

1. Кога една електромагнитна вълна е поляризирана?
2. Какви видове поляризация познавате?
3. Кой от векторите на електромагнитното поле определя вида на поляризацията?
4. Какво разбирате под равнина на поляризация?
5. Какво разбирате под поляризационна характеристика на антената?
6. Каква трябва да е поляризацията и ориентацията на предавателната и приемната антени, за да имаме максимален приет сигнал?
7. Как трябва да е ориентиран векторът $\vec{E}$ спрямо системата от успоредни проводници за да преминава само част от енергията на вълната (за да получим частично екраниране)?
8. Какви са методите за измерване на коефициента на пропускане?
9. Как влияе промяната на честотата, на диаметъра на проводниците и на разстоянието между тях върху коефициента на пропускане?
10. Каква е посоката на вектора $\vec{E}$ в напречно сечение на правоъгълен метален вълновод?

РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИТЕ ВЪЛНИ ПРИ НАЛИЧИЕ НА ЕКРАНИРАЩИ ПРЕПЯТСТВИЯ

I. ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

По реалните радиотрасета често съществуват препятствия, които частично или изцяло закриват съществените френелови зони при разпространение на електромагнитните вълни (планини, хълмове и др.). Такива препятствия се наричат екраниращи. Към тях не се отнася кривината на земната повърхност, дължаща се на сферичността ѝ.

Тук ще разгледаме екраниращи препятствия при отсъствие на отразени от земята вълни преди и след препятствието. Този случай се среща в практиката, когато теренът е неравен и липсват достатъчно големи и равни площадки за формиране на силен отразен лъч преди и след препятствието. Самото препятствие може да бъде заоблено или клиновидно. Препятствието е клиновидно, ако радиусът на закръгление при върха му (фиг.5.1) е по-малък от радиуса на първа френелова зона над препятствието, който се определя от израза

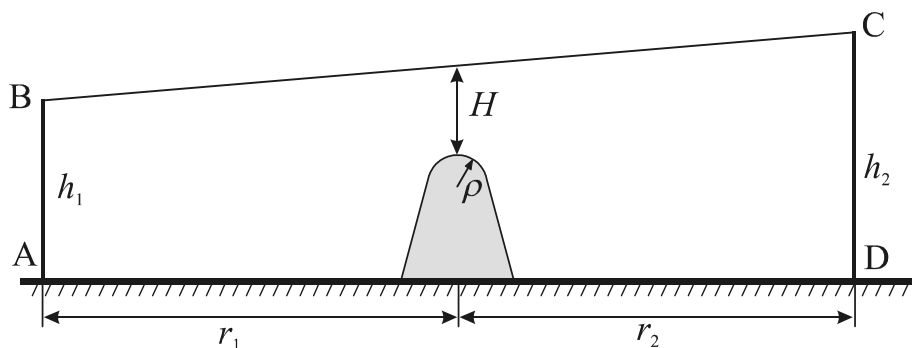
$$\rho < b_1 = \sqrt{\frac{\lambda r_1 r_2}{r_1 + r_2}}, \quad (5.1)$$

където r_1 е разстоянието от препятствието до предавателната антена, а r_2 - разстоянието от препятствието до приемната антена.

В случай на клиновидно препятствие напрегнатостта на полето се определя от израза

$$E \left[\frac{mV}{m} \right] = \frac{173 \sqrt{P[kW]G}}{r[km]} |\dot{F}|, \quad (5.2)$$

където P е излъчената от предавателя мощност, G е коефициентът на усилване на предавателната антената, r е разстоянието от предавателя до приемника, а $|\dot{F}|$ е модулетът на множителя на затихване.



фиг.5.1

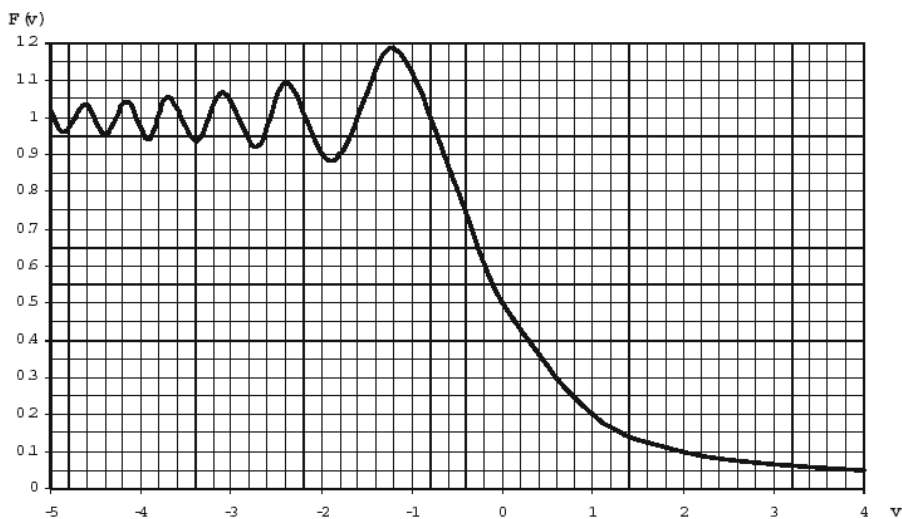
Разстоянието от линията на пряка видимост АВ на фиг.5.1 и върха на препятствието се бележи с H и се нарича просвет. Просветът се счита за положителен, когато препятствието закрива линията на пряка видимост. В този случай трасето се нарича закрито. Когато препятствието не закрива линията на пряка видимост трасето се счита за открито и H има отрицателен знак.

За определянето на множителя на затихване в случай на клиновидно препятствие по трасето се използват интегралите на Френел, които се решават с помощта на числени методи. Така се получава графичната зависимост на модула на множителя на затихване $|\dot{F}|$ от параметъра v . Тя е дадена на фиг. 5.2. Параметърът v се определя от израза

$$v = \frac{H\sqrt{2}}{b_1}. \quad (5.3)$$

От графиката на фиг.5.2 се вижда, че при полуоткрито радиотрасе (когато са частично закрити първите няколко френелови

зони) напрегнатостта на полето в приемния пункт силно зависи от височината на препятствието и стойността на $|\dot{F}|$ се колебае около единица. Съществуват стойности на v , респективно на H , за които $|\dot{F}| > 1$. Това означава, че полето в приемния пункт е по-силно отколкото при свободно разпространение на радиовълните (при липса на препятствие). Тъй като просвета H може да се променя с промяна на височините на антените, те могат да бъдат така подбрани, че $|\dot{F}|$ да е максимален и така да се получи усилване на полето от препятствието.

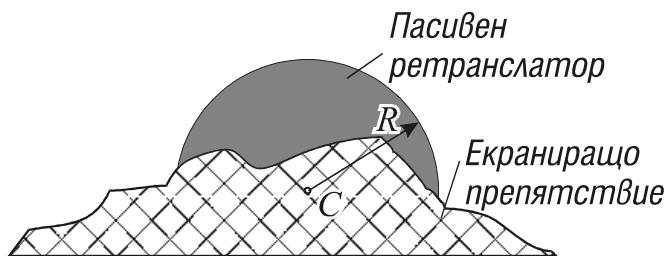


фиг. 5.2

Докато над клиновидно препятствие структурата на полето не се променя съществено спрямо структурата на полето в свободното пространство, то над заоблено препятствие, поради голямата площ на върха на препятствието вълната взаимодейства с него. Това довежда до отражение и до загуби от поглъщане и промяна на структурата на полето. В крайна сметка затихването се увеличава и дифрактиралото зад заобленото препятствие поле е по-слабо, отколкото

дифрактиралото над клиновидно препятствие поле при еднакви други условия. Затихването е толкова по-голямо, колкото е по-силно поглъщането в земната повърхност и колкото радиусът на закръгление при върха на препятствието е по-голям.

За да се увеличи интензитетът на полето над заоблено препятствие, в някои случаи върхът на препятствието изкуствено се прави клиновиден като се опъват метални мрежи с височина от порядъка на дължината на вълната и ширина няколко десетки λ . Тези мрежи се наричат пасивни ретранслатори. Те трябва да се разположат перпендикулярно на линията на пряка видимост ACB на върха на препятствието и да са приблизително симетрични спрямо нея. Такива пасивни ретранслатори са особено ефективни, когато горният им край има формата на окръжност с център в т. C (фиг. 5.3), в която линията на пряка видимост пресича плоскостта на пасивния ретранслатор. В този случай дифрактиралото поле се фокусира в приемния пункт B . Пасивен ретранслатор от такъв вид се нарича дифракционна леща.



фиг.5.3

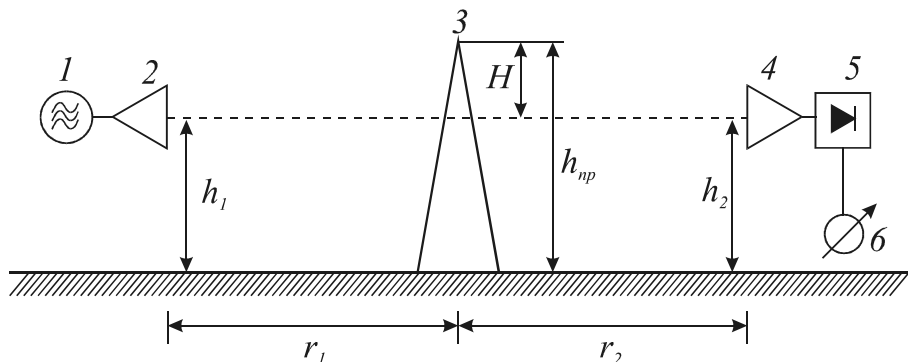
II. ЗАДАНИЕ

1. Да се изследва експериментално зависимостта на интензитета на полето в приемния пункт от просвета H и да се сравни с теоретично определената от фиг. 5.2.

2. Да се определи теоретично оптималната височина на приемната антена по зададена от ръководителя на упражнението височина на предавателната антена. Полученият резултат да се провери експериментално.

III. ОПИСАНИЕ НА ОПИТНАТА ПОСТАНОВКА И УКАЗАНИЯ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА УПРАЖНЕНИЕТО

Опитната постановка за провеждане на упражнението е дадена на фиг.5.4. СВЧ генераторът 1 захранва предавателната антена 2. Излъчените вълни се разпространяват над препятствието 3 и попадат в приемната антена 4. Полученият сигнал се детектира в детекторната секция 5 и се подава на индикатора 6.



фиг.5.4

Поради квадратичната волтамперна характеристика на детекторния диод показанията на индикатора θ се превръщат в относителна напрегнатост на полето като се използва зависимостта

$$E_{отн} = \sqrt{\frac{\theta}{\theta_{\max}}}. \quad (5.4)$$

1. Изследванията се провеждат за разстояния между антените и препятствието $r_1=r_2=60$ см. Изчислява се радиусът на първа френелова зона над препятствието b_1 от (5.1). Височините на антените се променят едновременно ($h_1=h_2$) така, че H да се изменя в границите от -20 см до 4 см. Просветът H се измерва от върха на препятствието до линията, съединяваща двете антени и има отрицателна стойност при открито радиотрасе. От това следва, че височините на антените ще се определят от израза

$$h_1 = h_2 = h_{np} - H. \quad (5.5)$$

Нормираният просвет v се определя от израз (5.3).

При всяка стойност на H се отчита θ от индикатора в деления и се нанася в таблица 1 в протокола. За определяне на относителната напрегнатост на полето се използва формула (5.4). От фиг.5.2 се определя, че $F(0)=0,5$. Поради това множителят на затихване се изчислява от формулата

$$F_{on}(v) = 0,5 \frac{E_{omn}(v)}{E_{omn}(0)}. \quad (5.6)$$

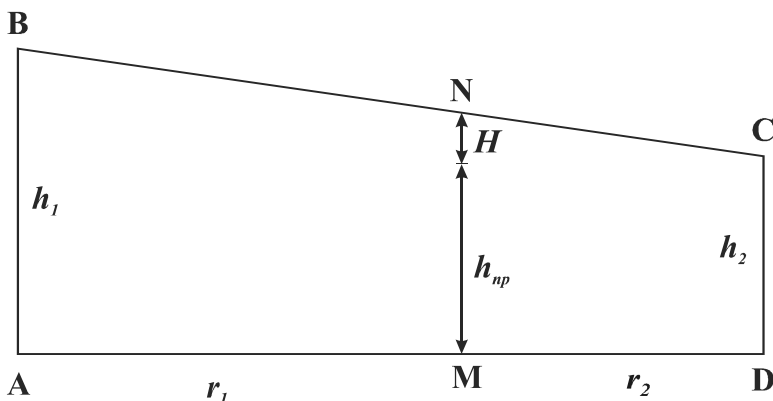
Теоретично множителят на затихване $F_{теор}(v)$ се определя от фиг. 5.2. Зависимостите $F_{on}(v)$ и $F_{теор}(v)$ се чертаят в протокола на обща координатна система.

2. Определянето на оптималната височина на приемната антена се извършва за $r_1=60$ см и $r_2=40$ см и височина на предавателната антена h_1 , зададена от ръководителя на упражнението. Оптимална е тази височина, при която интензитетът на полето (множителят на затихване) е максимален.

От фиг. 5.2 се определя стойността на v , при която F е максимално. От формула (5.1) за зададените по тази точка стойности на r_1 и r_2 се определя радиусът на първа френелова зона, след което от

формула (5.3) се изразява и изчислява просветът H . Трябва да се отбележи, че v и H трябва да са отрицателни. Това е стойността на просвета H , при която интензитетът на полето е най-голям.

За теоретичното определяне на h_2 се използва фиг.5.5. Разглежда се трапеца $ABCD$, в който отсечката MN е успоредна на двете основи и $AB=h_1$, $DC=h_2$, $AM=r_1$, $MD=r_2$, $MN=h_{np}-H$ (понеже H е отрицателно). От него може да бъде определена големината на основата DC , която е и оптималната височина на приемната антена h_2 . Когато се определя оптималната височина на антената трябва да се има предвид, че при определени стойности на h_1 е възможно $DC > AB$.



фиг. 5.5

За опитното определяне на оптималната височина на приемната антена се използва същата опитна постановка, като в т.1. Предавателната антена се поставя на зададената от ръководителя на упражнението височина и антените се установяват на зададеното разстояние от препятствието. Приемната антена се повдига на височина равна на тази на препятствието и постепенно се увеличава височината ѝ като се следи да се достигне максимално показание на индикатора. Повдигането на антената трябва да става много бавно за да не се изпусне този максимум. При повдигането трябва да се следи

приемната антена да е насочена към предавателната (т.е. антените да са съосни). След откриването на максимума се измерва височината на приемната антена и това е оптималната ѝ височина. Получените резултати се нанасят в протокола от упражнението.

IV. КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ

1. Кога едно препятствие е клиновидно и кога заоблено?
2. Кога едно трасе е открито (полуоткрито, закрито)?
3. Какъв е физическият смисъл на модула на множителя на затихване, какви стойности той може да приема и в какви случаи?
4. Как се определя множителят на затихване при наличие на клиновидно препятствие по трасето?
5. Какъв е знакът на просвета H при открито (закрито) трасе?
6. Защо при промяна на височините на антените (височината на препятствието) интензитетът на полето преминава през максимуми и минимуми?
7. Какво разбирате под оптимална височина на приемната антена в случай на клиновидно препятствие по трасето?
8. Каква стойност има множителят на затихване при оптимална височина на приемната антена?
9. Как се определя оптималната височина на приемната антена при наличие на клиновидно препятствие по трасето?

П Р И Л О Ж Е Н И Я

Основни величини

Означение	Наименование	Мерни единици ¹
E	Интензитет на електрическото поле	V/m
P	Мощност	W
G	Коефициент на усилване на антената	-
r	Разстояние между антените	m
h	Височина	m
b_n	Радиус на n-тата френелова зона	m
f	Честота	Hz
λ	Дължина на вълната	m
c	Скорост на светлината във вакуум – $3 \cdot 10^8$ m/s	m/s
$\dot{F}$	Множител на затихване	-

¹ Във всички представени зависимости величините са в основните си мерни единици по система СИ. Където това не е изпълнено след съответната величина в правоъгълни скоби са записани нейните мерни единици

Катедра: “Радиокомуникации и видеотехнологии”

Предмет: “Радиовълни и радиолинии”

ПРОТОКОЛ

за лабораторно упражнение №1

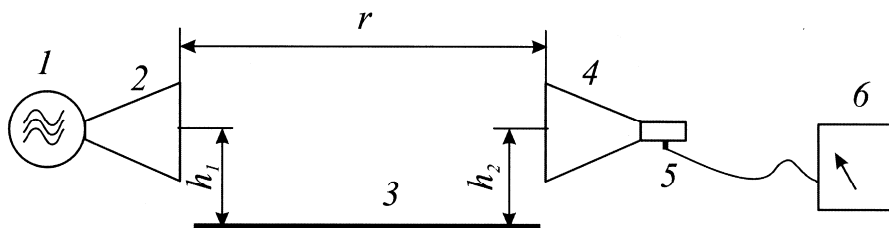
Тема: **Интерференция на директен и отразен лъч**

Студент:

Фак. N: Група: Дата:

Асистент:
(подпис)

1. Опитна постановка



1. СВЧ генератор
2. Предавателна антена
3. Отразяваща повърхност
4. Приемна антена
5. Детектор
6. Индикатор

2. Опытни резултати

$h_1 = 13$ cm; $h_2 = 13$ cm;

Таблица 1

r , cm	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
θ , дел																															
$E_{отн}$																															

$r = 80$ cm; $h_1 = 13$ cm;

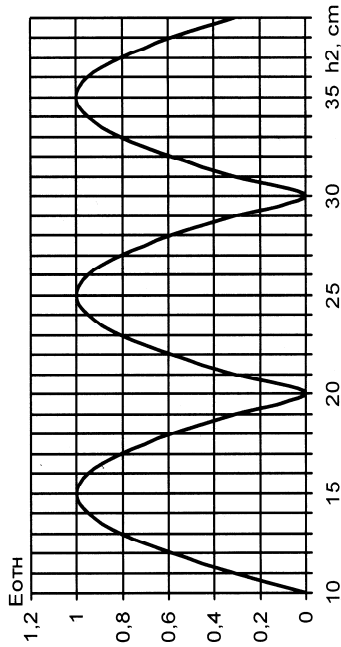
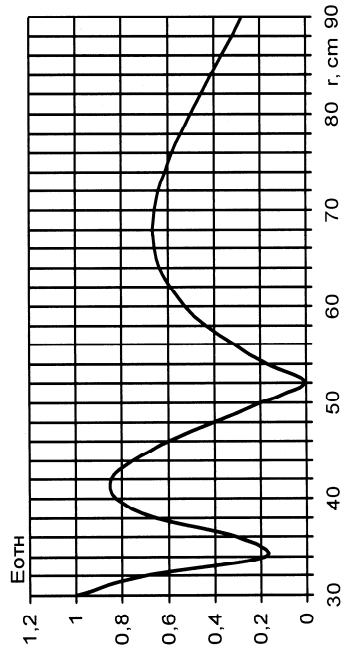
Таблица 2

h_2 , cm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
θ , дел																														
$E_{отн}$																														

по т.3 от заданието: $r = \dots\dots\dots$ cm, $h_1 = \dots\dots\dots$ cm, $\lambda = \dots\dots\dots$ cm

$h_{2\text{теор}} = \dots\dots\dots$ cm, $h_{2\text{от}} = \dots\dots\dots$ cm.

3. Графики



4. Изводи

Катедра: Радиокомуникации и видеотехнологии

Предмет: Радиовълни и радиолинии

ПРОТОКОЛ

за лабораторно упражнение № 2

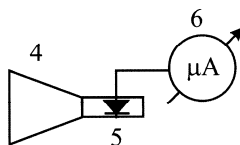
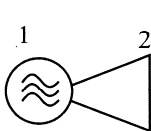
Тема: **Френелови зони**

Студент:

Факултетен №: Група: Дата:

Асистент:
(подпис)

1. Опитна постановка



- 1 – СВЧ генератор
- 2 – предавателна антена
- 3 – непрозрачен екран с кръгъл отвор

- 4 – приемна антена
- 5 – детектор
- 6 – индикатор

2. Резултати и изчисления

2.2. Резултати и изчисления по т.2 от заданието

$$\lambda = 2,9 \text{ cm}$$

Таблица 2

Радиус на Френеловата зона, cm		b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
$r_1=0,75\text{m}$	графики от т.1					
	специално измерване					
$r_2=0,75\text{m}$	теоретично					
$r_1=1\text{m}$	графики от т.1					
	специално измерване					
$r_2=0,5\text{m}$	теоретично					
$r_1=0,5\text{m}$	графики от т.1					
	специално измерване					
$r_2=1\text{m}$	теоретично					

2.1. Изследвания по т.1 от заданието

$$\lambda = 2,9 \text{ cm}$$

Таблица 1

b, cm		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$r_1=0,75\text{m}$	θ																										
$r_2=0,75\text{m}$	$E_{отн}$																										
$r_1=1\text{m}$	θ																										
$r_2=0,5\text{m}$	$E_{отн}$																										
$r_1=0,5\text{m}$	θ																										
$r_2=1\text{m}$	$E_{отн}$																										

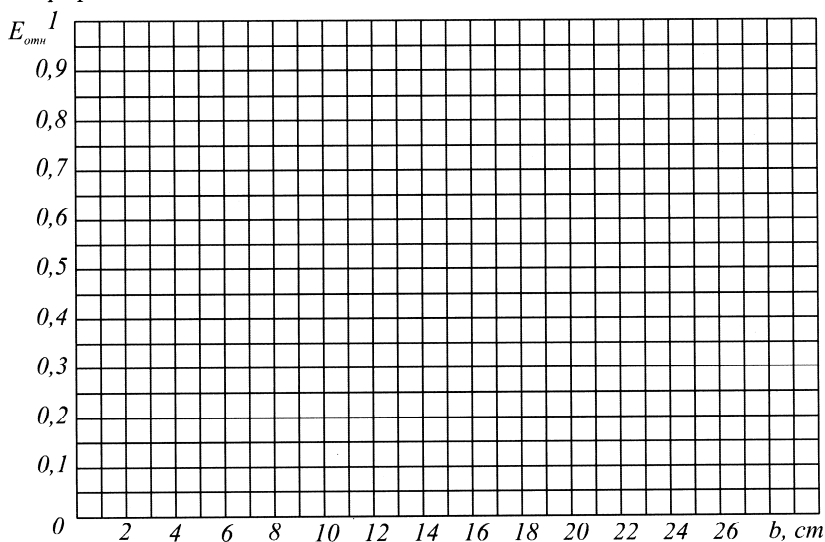
2.3. Изчисления по т. 3 от заданието

а) $r_1 = r_2 = 0,75 \text{ m}; \quad \lambda =$

б) $r_1 = 1 \text{ m}, r_2 = 0,5 \text{ m}; \quad \lambda =$

в) $r_1 = 0,5 \text{ m}, r_2 = 1 \text{ m}; \quad \lambda =$

3. Графики



4. Изводи

ПРОТОКОЛ

за лабораторно упражнение № 3

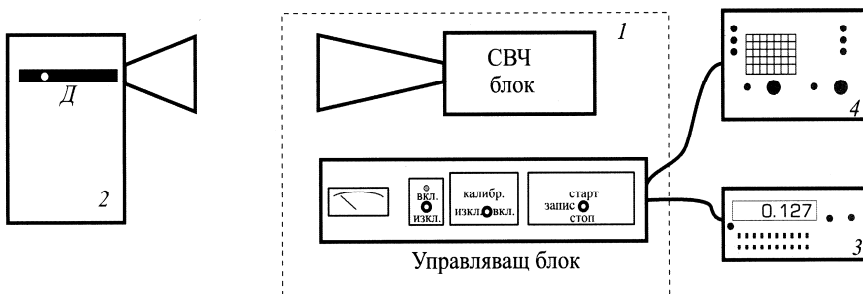
Тема: Доплеров ефект

Студент:

Фак. № : Група: Дата:

Асистент:
(подпис)

1. Опитна постановка



1. Доплеров радар
2. Механичен доплеров имитатор
3. Честотомер
4. Осцилоскоп

2. Резултати и изчисления

2.1. по т.1 от заданието

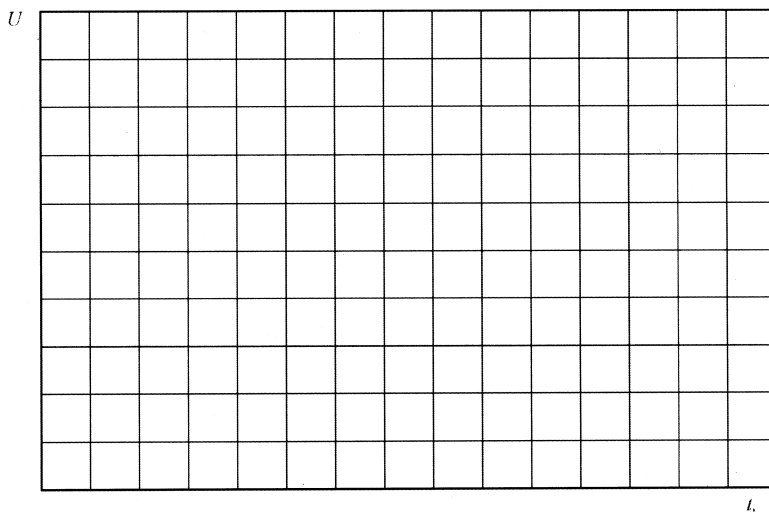
$$T = \quad \text{s}; \Delta f = \quad \text{Hz}; v = \quad \text{m/s}$$

2.2. по т.2 от заданието

$$f_i = 9,98 \text{ GHz}; r = 4,2 \text{ cm.}$$

N_0		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δf	Hz										
$v_{изч}$	m/s										
$v_{отч}$	m/s										
δv	%										
T	s										
v	Hz										

3. Графики



4. Изводи

ПРОТОКОЛ

за лабораторно упражнение № 4

Тема: **Преминаване на линейно поляризирана електромагнитна вълна през система от успоредни проводници**

Студент:

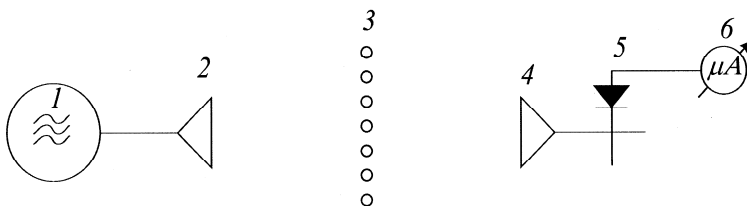
Фак. № :

Група:

Дата:

Асистент:
(подпис)

1. Опитна постановка



1. СВЧ генератор
2. Предавателна антена
3. Система от успоредни проводници
4. Приемна антена
5. Детектор
6. Индикатор

2. Резултати и изчисления

2.1. по т.1 от заданието

φ [°]	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
θ [дел]																			
$E_{отн}$	-																		

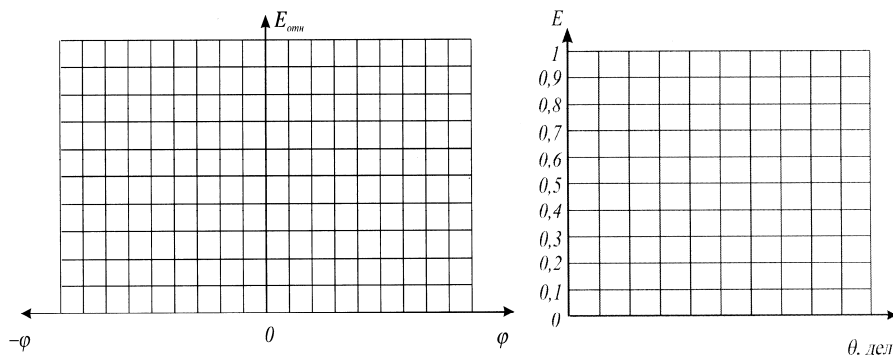
2.2. по т.2 от заданието

φ [°]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
θ [дел]										
$E = \cos \varphi$										

2.3. по т.3 от заданието $r_o=1\text{ mm}$, $\lambda=2,9\text{ cm}$

$S, \text{ mm}$	K'_{np}	$\theta_{хор+}$	$E_{хор+}$	$\theta_{верт+}$	$E_{верт+}$	K''_{np}	β	K'''_{np}
10								
15								

3. Графики



4. Изводи

ПРОТОКОЛ

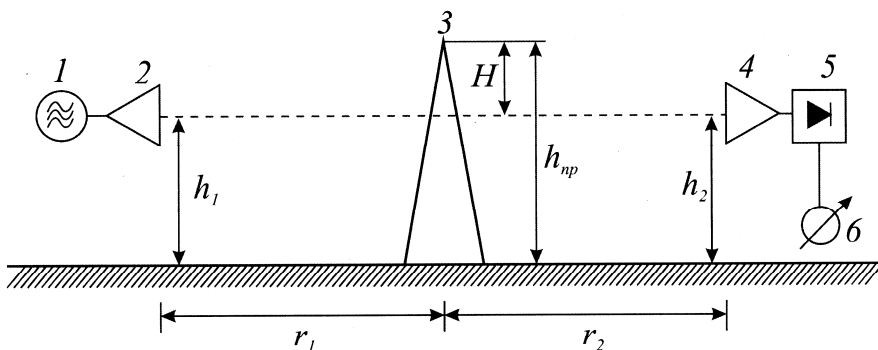
за лабораторно упражнение № 5

Тема: **Разпространение на електромагнитните вълни при наличие на екраниращи препятствия**

Студент: Фак. № :

Група: Дата: Асистент:
(подпис)

1. Опитна постановка



- 1 – СВЧ генератор
- 2 – Предавателна антена
- 3 – Клиновидно препятствие
- 4 – Приемна антена
- 5 – Детектор
- 6 – Индикатор

2. Резултати и изчисления

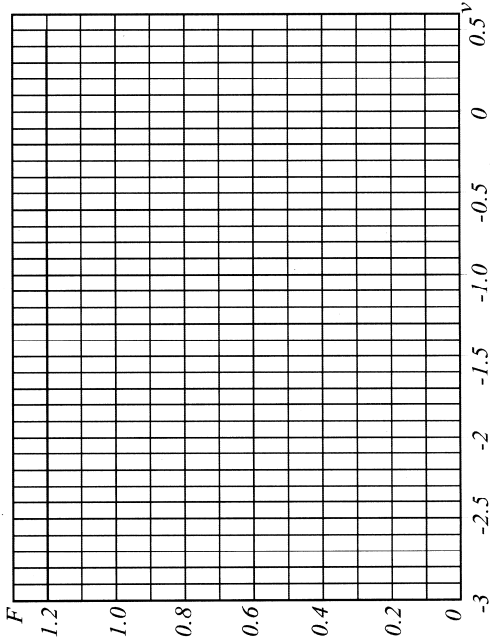
а) т.1 от заданието

$r_1 = 60 \text{ cm}; r_2 = 60 \text{ cm}; h_{np} = 48 \text{ cm}; \lambda = 2.9 \text{ cm}; b_1 = \dots \text{ cm};$

Таблица 1

$H, \text{ cm}$	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
ν																									
$\theta \text{ дел.}$																									
$E_{отн}$																									
$F_{от}(\nu)$																									
$F_{теор}(\nu)$																									

3. Графики



б) т.2 от заданието

$r_1 = 60 \text{ cm}; r_2 = \dots \text{ cm}; h_1 = \dots \text{ cm}; \lambda = 2.9 \text{ cm}; b_1 = \dots \text{ cm};$

$\nu = \dots$

$H = \dots \text{ cm}$

$h_{2теор} = \dots \text{ cm}$

$h_{2от} = \dots \text{ cm}$

4. Изводи

Литература

- 1.** Христов, Хр., Е. Алтимирски, "Радиотехническа електродинамика и разпространение на електромагнитни вълни", Техника, София, 1990.
- 2.** Haslett, C., Essentials of Radio Wave Propagation, Cambridge University Press, 2008.
- 3.** Seybold, J., Introduction to RF propagation, John Wiley & Sons, 2005
- 4.** Freeman, R., Radio system design for telecommunications, John Wiley & Sons, 2007.
- 5.** Suzin, H., Radio Wave Propagation for Telecommunication Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005.
- 6.** Петров, Б. , Электродинамика и распространение радиоволн, Горячая линия –Телеком, Москва 2003.

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

<i>Предговор</i>	3
<i>Упражнение № 1. Интерференция на директен и отразен лъч</i>	5
<i>Упражнение № 2. Френелови зони</i>	14
<i>Упражнение № 3. Ефект на Доплер</i>	23
<i>Упражнение № 4. Преминаване на линейно поляризирана електромагнитна вълна през система успоредни проводници</i>	29
<i>Упражнение № 5. Разпространение на електромагнитните вълни при наличие на екраниращи препятствия</i>	39
<i>Приложения:</i>	47
<i>Основни величини</i>	48
<i>Протоколи за упражненията</i>	49
<i>Литература</i>	59