

VILNIAUS UNIVERSITETAS
Radiofizikos katedra

Matavimai bangolaidinėje linijoje

Mikrobangų fizikos laboratorinis darbas Nr. 2

Paruošė doc. V. Kalesinskas

Vilnius 1996

MATAVIMAI BANGOLAIDINĖJE LINIJOJE	3
Įvadas	4
Pagrindiniai matavimų būdai ir metodai	5
Įrenginio aprašymas	10
Pasiruošimas darbui	11
Matavimai	12

MATAVIMAI BANGOLAIDINĖJE LINIJOJE

Darbo tikslas. Susipažinti su matavimais bangolaidinėje linijoje ir išsiaiškinti įvairių bangolaidinio trakto elementų veikimo principus.

Darbo užduotis.

1. Ištirti elektrinio lauko stiprio pasiskirstymą išilgai matavimo linijos. Rasti bangos ilgį.
2. Ištirti bangos ilgio bangolaidyje priklausomybę nuo dažnio. Palyginti su apskaičiuotąja priklausomybe.
3. Sugraduoti matavimo linijos detektorių.
4. Sugraduoti kintamąjį silpnintuvą.
5. Išmatuoti pilnutinę apkrovos varžą.

Literatūra:

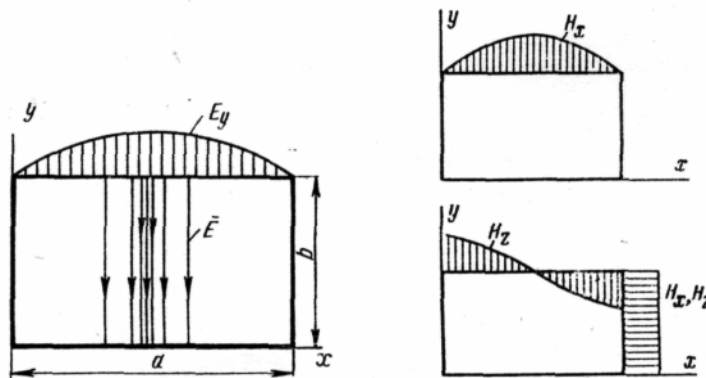
1. Специальный физический практикум, ч. 3, под ред. А.А. Харламова. Москва: Моск. Универ. 1974, с. 62-77.
2. S. Mickūnas. Elektrodinamikos pagrindai. Vilnius: Mintis, 1975.
3. V. Kybartas, V. Šugurovas. Elektrodinamika. Vilnius: Mokslas, 1977, p. 226-268.
4. K. Paulauskas. Antenos ir mikrobangų įtaisai. Vilnius: Mokslas, 1985, p. 250-363.
5. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. Москва, Высшая школа, 1970.

Įvadas

Mikrobangų diapazone, kurį atitinka elektromagnetinės spinduliuotės dažnių spektro dalis nuo $3 \cdot 10^8$ iki $3 \cdot 10^{12}$ Hz, pagrindiniai perdavimo traktų tipai yra bendraašės (koaksialiosios) linijos ir bangolaidžiai. Bendraašės linijos dažniausiai naudojamos dažnių juostoje, neviršijančioje $3 \cdot 10^9$ Hz (bangos ilgiams didesniems už 10 cm); aukštesniųjų dažnių srityje paprastai naudojami bangolaidžiai.

Bangolaidžiu vadinamas tuščiaviduris metalinis vamzdis su labai laidžiomis sienelėmis, kurio viduje gali sklirti elektromagnetinė banga. Vamzdžio skerspjūvio forma būna labai įvairi ir parenkama atsižvelgiant į konkretų bangolaidžio pritaikymą. Labiausiai paplitę yra stačiakampio skerspjūvio bangolaidžiai.

Bangos tipas (moda), t.y. elektrinių ir magnetinių laukų pasiskirstymas bangolaidyje, priklauso nuo bangolaidžio skerspjūvio formos ir jo matmenų santykio su bangos ilgiu, o taip pat nuo sužadavimo būdo. Kitais žodžiais tariant, sklirti gali tik tos bangos, kurių laukai atitinka kraštines bangolaidžio sąlygas. Bangos bangolaidyje skiriasi nuo bangų laisvojoje erdvėje arba bendraašėje linijoje. Būdingi skirtumai yra šie: 1) elektrinis arba magnetinis bangos laukas turi išilginį sandą ir 2) fazinis bangos greitis priklauso nuo dažnio. Paprasčiausias bangos tipas stačiakampiame bangolaidyje yra H_{10} banga. Jos momentinis laukų stiprių pasiskirstymas yra pavaizduotas 1 pav. (čia E ir H yra elektrinio ir magnetinio laukų amplitudės).



1 pav. H_{10} bangos elektrinio ir magnetinio laukų stiprių epiūros stačiakampio bangolaidžio skerspjūvyje.

Bangos tipą apibūdinantys indeksai reiškia laukų stiprių maksimumų skaičių pagal skersines bangolaidžio koordinates (pagal „ x “ - vienas, pagal „ y “ – nulis, H_{10} bangai), be to, turima omenyje ta banga, kuri turi tik skersinį lauko sandą (šiuo atveju elektrinį).

Staciakampiu bangolaidžiu gali sklirti tik tos H_{10} bangos, kurių ilgiai laisvojoje erdvėje yra ne didesni už dvigubą plačiosios bangolaidžio sienelės plotį, t.y. bangos ilgis $\lambda_{kr} = 2a$ yra ribinis arba kritinis.

Fazinis bangolaidžiu sklindančios bangos greitis yra didesnis už šviesos greitį, todėl ir jos ilgis bangolaidyje λ_b yra didesnis už jos ilgį λ_0 laisvojoje erdvėje. Jis apskaičiuojamas pagal formulę

$$\lambda_b = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{kr}}\right)^2}} \quad (1)$$

Bangolaidžiu perduodama mikrobangų energija negali būti nusakoma srovių ir įtampų vertėmis. Sklindant bangai bangolaidžiu srovių ir įtampų vertės priklauso nuo taškų, kuriuose jos matuojamos ir nėra vienareikšmiai dydžiai. Be to, nėra patikimų būdų išmatuoti tokių didelių dažnių signalų tikrąsias įtampų ir srovių vertes. Panašiai yra ir su elektrinio bei magnetinio laukų stipriais, kurie bangolaidžiuose, beje, yra labiau tinkamos bangų charakteristikos, negu srovės ir įtampos. Todėl dažniausiai pagrindine įvairių matavimų charakteristika būna bangos pernešama galia. Kita perdavimo trakto charakteristika - jo *banginė varža* (pilnutinė varža arba impedansas), kuri apibrėžiama kaip skersinių elektrinio ir magnetinio laukų sandų santykis: $Z=E/H$. Vienalyčio trakto banginė varža yra ta pati bet kuriame skerspjūvyje. Energijos perdavimas sudėtingu traktu labai priklauso nuo atskirų trakto elementų varžų. Perduodamoji traktu galia bus didžiausia tik tai tuo atveju, kai visų trakto elementų banginės varžos bus lygios (suderintos); jei varžos nelygios, trakte susidaro atspindžiai. Kadangi bendru atveju banginė varža priklauso nuo dažnio, tai ir atspindžiai nuo įvairių elementų turi jiems būdingą dažninę priklausomybę.

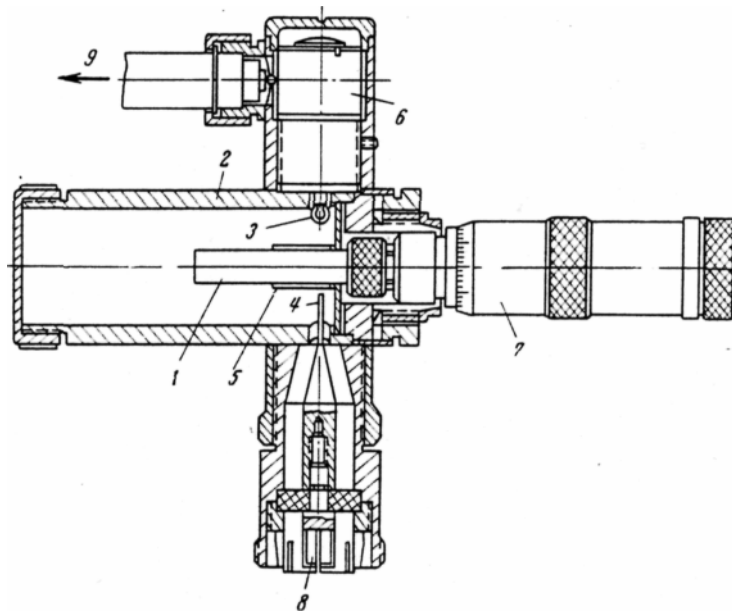
Pagrindiniai matavimų būdai ir metodai

Iš to kas anksčiau pasakyta seka ir pagrindiniai matavimų būdai: galios, bangos ilgio arba dažnio ir varžos (suderinimo laipsnio) matavimas.

Labiausiai paplitęs galios matavimo būdas yra pagrįstas bangos energijos pavertimu šiluma. *Kalorimetriniuose* matuokliuose, kurie naudojami didesnėms kaip vieno vato galioms, matuojama į bangolaidį įstatytu vamzdeliu pratekančio vandens temperatūra. *Balometriniuose* matuokliuose panaudojamos plonės metalinės vielytės (bareterio) arba puslaidininkio strypelio (termistoriaus) varžos pokytis jiems pašilus dėl mikrobangų energijos. Balometriniai matuokliai, kuriuose naudojamos tiltelinės grandinės, paprastai, naudojami mažos galios (mikrovatų ir milivatų eilės) signalams matuoti. Labai gera šiluminių galios matuoklių savybė yra ta, kad juos lengva kalibruoti nuolatine arba žemojo dažnio srove, ją praleidžiant per barereterį (termistorių) ir jos stiprį parenkant tokį, kad šio elemento varžos pokytis būtų toks pats kaip ir dėl mikrobangų sugerties. Nuolatinės srovės galia, išsiskirianti termistoriuje, kurią nesunku apskaičiuoti, yra praktiškai tokia pati kaip ir mikrobangų galia bangų trakte. Santykiniam galios matavimui gali būti pritaikyti ir detektoriai, tačiau šiuo atveju būtina žinoti detektoriaus charakteristiką, t.y. detektoriaus srovės stiprio priklausomybę nuo į jį krintančios galios.

Bangos ilgį ir dažnį išmatuoti galima arba tiesiogiai nustatant stovinčiosios bangos erdvinį periodiškumą, arba panaudojant kalibruotus rezonatorius, arba palyginant matuojamojo signalo dažnį su etaloninio signalų šaltinio dažniu. Stovinčiosios bangos laukų pasiskirstymą bangolaidyje galima išmatuoti zonu jį stumiant išilgai bangolaidžio ir registruojant lauko stiprio mazgus ar pūpsnius. Atstumas tarp dviejų mazgų (pūpsnių) yra lygus pusei bangos ilgio. Tik nereikia pamiršti, kad bangos ilgis bangolaidyje skiriasi nuo bangos ilgio laisvojoje erdvėje. Dažnį apskaičiuoti galima prieš tai pagal (1) formulę suradus bangos ilgį laisvojoje erdvėje: $v = c/\lambda_0$, c - šviesos greitis.

Žymiai patogiau dažnį arba bangos ilgį matuoti tiesiogiai, pasinaudojant bendraašiu arba bangolaidiniu tūriniu rezonatoriumi (2 pav.). Būtent toks bangomatis būna generatoriaus sudėtyje.



2 pav. Bangomačio konstrukcija. 1-slankiojamasis vidinis bendraašio rezonatoriaus laidininkas; 2-išorinis laidininkas; 3-ryšio kilpa; 4-ryšio strypas; 5-spyruokliniai kontaktai; 6-detektoriaus įvorė; 7-mikrometrinis sraigtas; 8-mikrobangų įėjimas; 9-išėjimas į mikroampermetrą.

Rezonansas įvyksta tuomet, kai rezonatoriaus ilgis (o jį galima keisti, perstumiant vieną iš sienelių) būna lygus kartotiniam pusbangių skaičiui. Apie rezonansą sprendžiama pagal detektoriaus srovės maksimumus. Dažnio vertę rezonanso metu, parodo rezonatoriaus derinimo mechanizmo (limbo) padalos.

Varžos matavimo metodai iš esmės yra linijos suderinimo nustatymo metodai. Jie pagrįsti bangos laukų pasiskirstymo išilgai linijos (priklausomybės nuo išilginės koordinatės) nustatymu. Jei visų trakto elementų varžos vienodos, tai jame nebus atspindžių ir bangos amplitudė išilgai linijos bus pastovi (matuoti ją reikia tuose pačiuose skerspjūvio taškuose). Jei bent vieno trakto elemento varža bus kitokia, nuo jo banga atsispindės ir susidarys stovinčioji banga, kuri pasireiškia periodiniu suminio lauko amplitudės kitimu išilgai linijos. Iš šio lauko pasiskirstymo galima nustatyti to trakto elemento, nuo kurio atsispindi banga varžą. Atspindžio koeficientu tam tikrame linijos skerspjūvyje vadinamas momentinių laukų stiprių, atspindėtos bangos E_{kr} ir kritusios bangos E_{ats} , santykis. Jis susietas su varža šiuo sąryšiu:

$$\Gamma = \frac{E_{ats}}{E_{kr}} = \frac{Z - Z_b}{Z + Z_b}. \quad (2)$$

Z_b yra linijos (bangolaidžio), kuriame matuojamas stovinčiosios bangos lauko

pasiskirstymas, varža (H_{10} bangai: $Z_B = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \frac{\lambda_b}{\lambda_0}$); Z yra varža to elemento, nuo kurio atsispindi banga. Kadangi atspindėtoji banga gali turėti bet kokią fazę, tai atspindžio koeficientas yra kompleksinis dydis. Praktiškai paprasčiau yra matuoti ne atspindžio koeficientą, o taip vadinamą stovinčiosios bangos koeficientą (pagal įtampą) SBK. Jis lygus didžiausiosios ir mažiausiosios lauko amplitudžių santykiui

$$\rho = \frac{E_{\max}}{E_{\min}}, \quad (3)$$

kur E_{\max} ir E_{\min} yra stovinčiosios bangos suminio lauko didžiausioji ir mažiausioji amplitudės. Su atspindžio koeficientu ją sieja ši priklausomybė

$$\rho = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}. \quad (4)$$

Iš čia matome, kad pagal žinomą SBK vertę galima surasti tikrai atspindžio koeficiento modulį. Atspindžio koeficiento fazę, t. y. kritusios ir atspindėtosios bangų fazių santykį, galima nustatyti pagal stovinčiosios bangos pirmojo minimumo (maksimumo) atstumą nuo tos vietos, kuri atsispindi bangą. Tačiau praktiškai stovinčiosios bangos minimumo matavimai atliekami tam tikrame, nežinomame atstume nuo atspindėjimo vietos ir todėl įvedama, taip vadinama *atskaitos plokštuma*. Ji nustatoma tokiu būdu. Matavimo plokštumoje (toje vietoje, kur prijungiama nežinomos varžos linija) prijungiama žinomos varžos, taigi ir žinomos fazės apkrova (dažniausiai metalinė plokštelė, kuri, atspindėdama bangą, pakeičia jos fazę į priešingą. $\Gamma = -1$, $\varphi = -\pi$). Nustatoma minimumo padėtis x_0 . Tada vietoje trumpinančiosios plokštelės (etaloninės apkrovos) jungiama tiriamoji apkrova ir vėl nustatoma artimiausiojo minimumo (x_0 atžvilgiu) padėtis x_1 . Atspindžio koeficiento fazę apskaičiuojama pagal formulę

$$\varphi = \frac{4\pi}{\lambda_b} (x_0 - x_1) - \pi. \quad (5)$$

Tariama, kad x didėjimo kryptis (padalų žymėjimas ant liniuotės) yra kryptis nuo generatoriaus link apkrovos. Priešingu atveju, x_0 ir x_1 (5) formulėje reiktų sukeisti vietomis. Žinant kompleksinį atspindžio koeficientą ir pagrindinio (matuojamojo) trakto banginę varžą, galima apskaičiuoti bet kokio prijungto elemento pilnutinę varžą (kompleksinį impedansą). Tačiau praktikoje dažniausiai reikia nustatyti ne banginę varžą, o trakto suderinimo laipsnį. Šiuo atveju pakankama informacija yra SBK vertė (idealiai suderintam traktui, kai nėra jokių atspindžių $\rho = 1$, visiškai išderintam traktui $\rho = \infty$). Žinant SBK, galima apskaičiuoti kokia generatoriaus galios P_g , perduodamos šiuo traktu, dalis P_v , pateks vartotojui

$$P_g = P_v \frac{(\rho + 1)^2}{4\rho}. \quad (6)$$

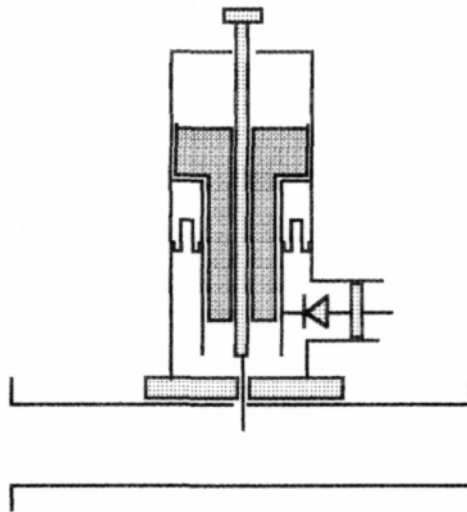
SBK matuojamas *matavimo linijomis*. Bangolaidinę matavimo liniją (3 pav.) sudaro tam tikra bangolaidžio atkarpa, į bangolaidžio vidų per siaurą plyšį plačiosios sienelės centre

įleidžiamas zondas - strypelinė antena, iš kurios signalas patenka į detektorių.

Įtampa, atsirandanti zonde, yra proporcinga elektrinio lauko stipriui toje linijos skerspjūvio plokštumoje, kurioje yra zondas. Zondo padėtį išilgai linijos galima keisti, be to, yra tikslus mechanizmas zondo koordinatei nustatyti. Išdetektuotas signalas paprastai yra proporcingas zondo įtampos kvadratui (jei detektoriaus voltamperinė charakteristika yra kvadratinė) ir todėl proporcingas elektrinio lauko stiprio kvadratui. Tai reikia įskaityti apskaičiuojant SBK, t. y. ištraukti šaknį,

$$\rho = \sqrt{\frac{I_{\max}}{I_{\min}}}, \quad (7)$$

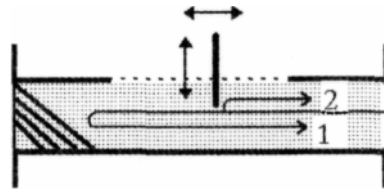
kur I_{\max} ir I_{\min} yra didžiausioji ir mažiausioji detektoriaus srovės stovinčiosios bangos lauko maksimume ir minimume. Matavimo linija yra jungiama į traktą tarp generatoriaus ir trakto tiriamojo elemento.



3 pav. Bangolaidinė matavimo linija.

Be matavimo linijos panašioms matavimams atlikti naudojamos kryptinės atšakos, kuriomis galima atskirai pamatuoti krantinčiosios ir atspindėtosios bangų galias.

Trakto elementų suderinimui naudojami įvairūs būdai. Paprasčiausias ir labiausiai paplitęs - pilnutinių varžų (impedanso) transformatoriaus įjungimas į traktą. Fizikinį pilnutinių varžų transformatoriaus veikimo principą galima paaiškinti taip. Bangolaidyje nuo nesuderintos apkrovos banga atsispindi, sąlyginai ji pavaizduota rodykle "1" (4 pav.). Per plyšį plačiosios bangolaidžio sienelės viduryje (panašiai kaip ir matavimo linijoje) įleidžiamas metalinis strypelis, jo padėtį bangolaidyje ir gylį galima keisti, vadinasi, galima keisti ir atsispindėjusios nuo jo bangos (pažymėta 4 pav. rodykle "2"): amplitudę (keičiant įleidimo gylį) bei fazę (keičiant padėtį). Galima parinkti tokias sąlygas, kad nuo apkrovos

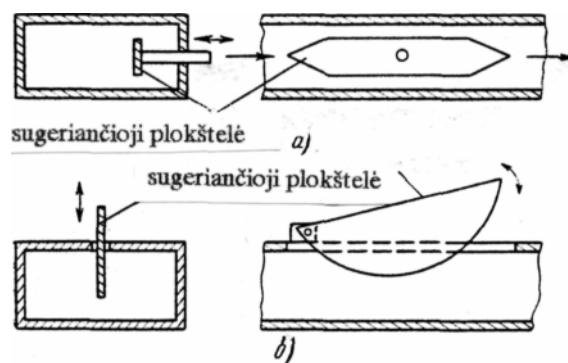


4 pav. Pilnutinių varžų (impedanso) transformatorius.

ir nuo metalinio strypelio atspindėtosios bangos būtų vienodų amplitudžių ir priešingų fazių, interferuodamos tarpusavyje jos viena kitą panaikins, o trakte tarp generatoriaus ir strypelio liks tik viena bėgančioji banga. Į apkrovą perduodama generatoriaus galia, bus maksimali. Kitais žodžiais tariant, šiam generatoriaus signalo dažniui sistemoje "apkrova-strypelis" įvyks rezonansas, o visa generatoriaus galia išsiskirs aktyviojoje tokios sistemos varžoje. Tiesa, praktikoje retai naudojami transformatoriai su vienu stumdomu strypeliu. Dažniau pasitaiko įrenginiai su keliais strypeliais, išdėstytais tam tikrose fiksuotose padėtyse vienas kito atžvilgiu išilgai linijos ir su reguliuojamu jų įleidimo į bangolaidį gyliu. Tačiau jų veikimo principas iš esmės yra visiškai toks pat, kaip ir vieno strypelio.

Dažnai vietoje metalinių strypelių būna įstatytos dielektrinės plokštelės (bangolaidžio skerspūvio plokštumoje), kurių storis lygus ketvirčiui bangos ilgio, ir kurių tarpusavio atstumą ir padėtį išilgai bangolaidžio galima keisti. Tokio transformatoriaus varžų suderinimo ribos yra gana plačios. Kadangi realių transformatorių nuostoliai nebūna lygūs nuliui, tai visą generatoriaus galią į apkrovą perduoti negalima netgi siauroje dažnių juostoje.

Galios reguliavimui, o taip pat generatoriaus atsiejimui, t.y. nesuderintos apkrovos įtakos sumažinimui, į traktą jungiami *silpnintuvai* (ateniuatoriai). Silpnintuvai būna fiksuotieji, turintys tam tikro dydžio silpninimą, ir kintamojo silpninimo (5 pav.).



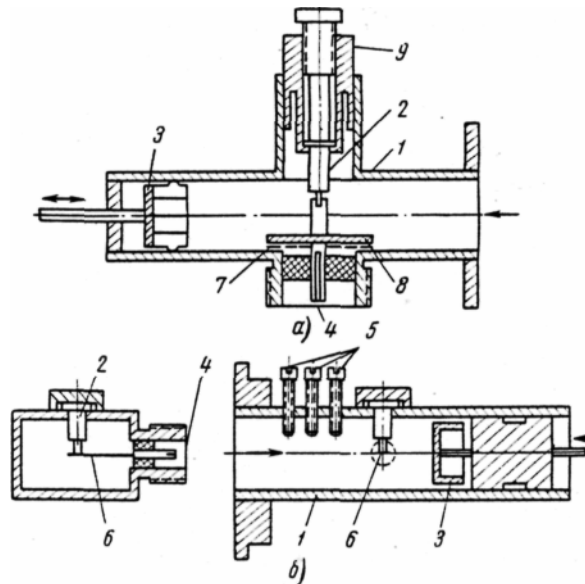
5 pav. Sugeriantieji bangolaidiniai silpnintuvai.

Tokio silpnintuvo pagrindas yra plona dielektrinė plokštelė orientuota taip, kad jos paviršius būtų lygiagretus bėgančiosios bangos elektriniam vektoriui, t.y. lygiagretus siaurosios bangolaidžio sienelėms. Plokštelės paviršius padengtas plonu sugeriančiosios medžiagos sluoksniu, pavyzdžiui grafitu arba platina. Plokštelės padėtį skersine bangolaidžio kryptimi galima keisti pritvirtinus ją prie vieno plono dielektrinio strypelio galo, kitą jo galą per angą šoninėje bangolaidžio sienelėje išvedus į bangolaidžio išorę ir pritvirtinus prie reguliavimo mechanizmo. Sklindant bangai bangolaidžiu sugeriančiajame sluoksnyje

indukuojasi srovės ir elektromagnetinės bangos energija pavirsta šiluma. Kai plokštelė yra bangolaidžio centre, kur H_{10} bangos elektrinio lauko stipris yra didžiausias, tuomet ir silpninimas yra didžiausias. Jei plokštelė pristumiama prie pat šoninės sienelės, kur bangos elektrinio lauko stipris yra lygus nuliui, tai ir silpninimas praktiškai lygus nuliui.

Atspindžiai nuo plokštelės galų sumažinami juos nusmailinant.

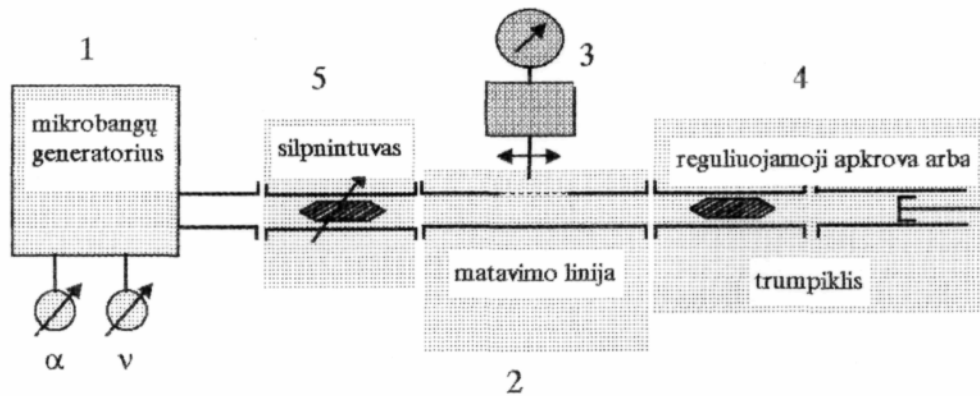
Signalo indikacijai, santykinio jo galios lygio nustatymui arba žemadažnės moduluotojo signalo gaubtinės išskyrimui naudojami *kristaliniai detektoriai* (puslaidininkiniai diodai). Detektorius dedamas į tam tikrą sekciją (6 pav.). Jis tvirtinamas prie specialaus laikiklio ir įstatomas į bangolaidį taip, kad jo išvadai, prie kurių tvirtinama $p-n$ sandūra būtų lygiagretūs bangos elektrinio lauko stiprio vektoriui. Detektorinė sekcija suderinama signalo dažniui trumpiklio padėtį nustatant taip, kad detektorius atsidurtų stovinčiosios bangos pūpsnyje. Detektoriaus laikiklis yra izoliuotas nuo sekcijos korpuso plona dielektrine tarpine. Šis konstrukcijos elementas sudaro kondensatorių, šuntuojantį mikrobangų grandinę, susijusią su indikatoriumi.



6 pav. Bangolaidinės detektoriaus sekcijos konstrukcija. 1- bangolaidžio atkarpa; 2-detektorius; 3-paderininio stūmoklis; 4- mikroampermetro jungtis; 5-paderinimo varžtai; 6-kontaktinė spyruoklė; 7-dielektrinė tarpinė (kondensatorius); 8-metalinis diskas; 9-bendraašis droselinis laikiklis.

Įrenginio aprašymas

Eksperimentinio įrenginio struktūrinė schema pateikta 7 pav. Klistroninis generatorius 1 generuoja 3 cm (gali būti naudojamas ir kitoks generatorius) bangas. Jame esančiu bangomačiu galima išmatuoti bangos ilgį visame generuojamų dažnių intervale. Generatoriaus signalo galia matuojama vidiniu termistoriniu galios matuokliu. Generatorius gali generuoti tolydų ir įvairiai moduluotą signalą. Jo galią galima tolygiai keisti tiksliai graduotu ir negraduotu silpnintuvais.



7 pav. Eksperimentinio įrenginio struktūrinė schema.

Matavimo linija 2 naudojama bangos ilgiui bangolaidyje ir stovinčios bangos koeficientui (SBK) matuoti. Kadangi matavimo linijos zonde indukuojamas signalas yra silpnas, SBK matavimus patartina atlikti impulsais moduluojant generatoriaus signalą. Linijos detektoriuje išdetektuotą žemo dažnio signalą galima matuoti jautriu atrankiuoju voltmetru 3. Voltmetras turi būti suderintas moduluojančiosios įtampos dažniui. Labai dažnai naudojami specialieji voltmetrai, kuriais matuojamas dviejų signalų santykis. Tokie voltmetrai vadinami *santykio matuokliais*. Kai kurie iš jų turi atskaitos įėjimą, kurio atžvilgiu yra nustatoma pagrindinio įėjimo signalo vertė.

Matavimo linijos gale jungiama suderintoji apkrova arba trumpinantysis stūmoklis 4, kuriuo galima keisti bangolaidžio trumpinimo plokštumos padėtį. Tiksliai trumpinimo plokštumos atskaitai nustatyti naudojama trumpinančioji plokštelė.

Tiriamasis silpnintuvas 5 jungiamas tarp generatoriaus ir matavimo linijos. Jį graduojant matavimo linijos detektorius naudojamas kaip indikatorius. Šiuo atveju linija užtrumpinama, o linijos zondas pastatomas į bangos pūpsnį. Kai silpnintuvas naudojamas kaip reguliuojamoji apkrova, jis jungiamas tarp linijos ir stūmoklio.

Pasiruošimas darbui

Naudodamiesi struktūrine darbo maketo ir generatoriaus shemomis išsiaiškinkite visų trakto elementų paskirtį ir veikimo principus.

Generatoriaus derinimas. Sukalibruokite vidinį generatoriaus galios matuoklį: nepadaavę signalo į galios matuoklį nustatykite "0", o po to rankenėle "Калибровка" nustatykite (jeigu reikia) atitinkamus galvanometro parodymus (paprastai jie nurodomi prietaiso aprašyme). Perjunkite galios matuoklį matavimams. Jeigu reikia, rankenėle "Ослабление" sumažinkite signalo silpninimą. Rankenėlėmis "Установка частоты" ir "Отражатель" generatoriams Г4-108, Г4-109, rankenėlėmis "Перестройка клистрона" ir "Подстройка частоты" generatoriui Г4-56 ir rankenėle "MHz" generatoriui Г4-83 nustatykite maksimalią generatoriaus signalo galią. Vidinį generatoriaus bangomatį paruoškite matavimams ir, keisdami rezonatoriaus tūrį, suderinkite jį rezonansiniam dažniui (Г4-83 generatoriui to daryti nereikia). Dažnio atskaitymas susietas su rezonatoriaus derinimo mechanizmu.

Matavimo linijos derinimas. Sujunkite matavimo linijos detektorių su santykio matuokliu (arba galvanometru). Pamažu didindami matuoklio jautrumą stenkitės užregistruoti signalą. Jei tai nepavyksta, pakeiskite linijos zondo padėtį ir padidinkite zondo

įleidimo gylį. Aptikę signalą, suderinkite linijos zondo ir detektoriaus rezonatorius rezonansui, t.y. nustatykite didžiausią detektuojamą signalą. Signalą galima sumažinti, ištraukus zondą. (Zondo įleidimo gylį reikia kiek įmanoma sumažinti, nes jis taip pat atspindi bangą ir šiek tiek iškraipo laukų pasiskirtymą matavimo linijoje).

Matavimai

1. Elektrinio lauko stiprio bangolaidyje matavimas. Užtrumpinkite matavimo liniją trumpinančiąja plokštele arba stūmokliu. Generatoriaus atsiejimui nuo apkrovos naudokite vidinį arba išorinį silpnintuvą (jo parodymai turi būti ne mažesnis kaip 10 dB). Užtrumpintoje linijoje susidaro stovinčioji banga. Slinkdami matavimo linijos kariatėlę išilgai linijos, išmatuokite lauko stiprio priklausomybę nuo išilginės koordinatės. (Išmatuotų taškų skaičius turi būti toks, kad priklausomybėje būtų gerai matomi du mazgai ir vienas pūpsnis).

2. Bangos ilgio bangolaidyje matavimas. Matavimams parenkama ne mažiau kaip 10 tolygiai išdėstytų dažnio verčių visame generatoriaus dažnių intervale. Kiekvienam dažniui atliekami tikslūs dviejų gretimų mazgų koordinatžių matavimai. Šių mazgų koordinatžių skirtumas lygus pusei bangos ilgio bangolaidyje.

3. Matavimo linijos detektoriaus gradavimas. Čia nagrinėjamas paprastas detektoriaus gradavimo būdas, pagrįstas žinomu (pagal sinuso dėsnį) lauko stiprio pasiskirstymu užtrumpintoje linijoje. Pirmiausia nustatoma lauko mazgo padėtis (matavimai atliekami keletą kartų ir suvidurkinami). Toliau zondas paslenkamas tam tikru atstumu x nuo mazgo ir išmatuojama detektoriaus srovė. Lauko stipris šiame taške (santykiniais vienetais) yra lygus $\sin \frac{2\pi}{\lambda_b} x$. Šią operaciją kartojame keisdami zondo atstumą nuo mazgo tol, kol pasiekiamo lauko maksimumą. Pradžioje, kol detektoriaus srovės kitimas smarkus, atstumą keičiame mažesniais intervalais, arti maksimumo - didesniais. Visą laiką stebime, kad nepakistų generatoriaus galia ir dažnis. Iš gautų matavimo rezultatų brėžiame tokį grafiką:

$$\lg\left(\frac{I}{I_{\max}}\right)^{\frac{1}{n}} = \lg\left(\sin \frac{2\pi}{\lambda_b} x\right)$$

Ši priklausomybė yra artima tiesei, kurios polinkis atitinka detektoriaus laipsnio rodiklį:

$$n = \frac{\lg\left(\frac{I}{I_{\max}}\right)}{\lg\left(\sin \frac{2\pi}{\lambda_b} x\right)}$$

Graduojant detektorių šiuo būdu, reikia labai krupščiai atlikti visus matavimus. Būtina užtikrinti gerą trumpąjį jungimąsi, tiksliai nustatyti mazgo ir kitas zondo padėtis. Paklaida gerokai sumažės, jei zondo įleidimo gylis neviršys 10% plačiosios bangolaidžio sienelės dydžio. Tikslumui pagerinti patartina atlikti keletą matavimo ciklų, parenkant vis

kitą mazgo padėtį matavimo linijoje (naudojantis trumpinančiuoju stūmokliu) ir po to nubrėžti tiesę per visus taškus. Svarbu pabrėžti, kad detektoriaus charakteristika priklauso nuo prijungtos grandinės varžos, todėl gradavimą reikia atlikti su prietaisu, kuris bus vėliau naudojamas matavimams. Be to, įvairių deektorių charakteristikos gali žymiai skirtis, todėl neįmanoma nubrėžti bendro grafiko visiems vieno tipo detektoriams. Jų charakteristikos taip pat kinta dėl įvairaus poveikio ir todėl turi būti reguliariai tikrinamos.

4. Silpnintuvo gradavimas. Įjunkite tiriamąjį silpnintuvą tarp generatoriaus ir matavimo linijos. Matavimo linijos zondą pastatykite į lauko maksimumą (duotajam dažniui). Tikslųjį (kalibruotą) vidinį generatoriaus silpnintuvą pastatykite maždaug ties 25 dB padala (generatoriui F4-83 ties 55 dB padala, toki, kad dar būtų įmanoma stebėti signalą). Įsidėmėkite linijos detektoriaus signalo dydį. Dabar padidinkite tiriamojo silpnintuvo silpninimą (įsidėmėkite padalas), o detektoriaus srovę atstatykite sumažindami kalibruoto silpnintuvo silpninimą. Procedūrą kartokite didindami tiriamojo silpnintuvo silpninimą. Tokiu būdu gausite tiriamojo silpnintuvo padalų sąryšį su kalibruoto silpnintuvo silpimu, išreikštu decibelais. Matavimus atlikite trims dažniams, išdėstytiems visame generatoriaus dažnių diapazone.

5. Pilnutinės apkrovos varžos matavimas, įjunkite silpnintuvą tarp matavimo linijos ir trumpinančiojo stūmoklio. Nustatykite maždaug 5 dB silpninimą. Išmatuokite kompleksinį tokio junginio atspindžio koeficientą duotajam dažniui ir apskaičiuokite pagal (2) formulę jo pilnutinę varžą. Pagal gautąją varžos vertę nustatykite koks šios varžos pobūdis - talpinis ar induktyvinis.

Atsiskaitant pateikiami šie rezultatai:

1) elektrinio lauko stiprio bangolaidyje priklausomybės nuo zondo koordinatės grafikas vienam dažniui (eksperimentiniai taškai ir teorinė aproksimacija pagal stovinčiosios bangos lygtį);

2) bangos ilgio bangolaidyje priklausomybės nuo dažnio grafikas (atvaizduoti tokią teorinę priklausomybę: $\gamma(\omega) = f(k(\omega))$ ir sudėti eksperimentinius taškus,

$$\text{kur } \gamma = \frac{2\pi}{\lambda_b}, k = \frac{2\pi}{\lambda_0}, \lambda_b = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{kr}}\right)^2}}, \lambda_0 = \frac{c}{\nu}, \omega = 2\pi\nu);$$

3) matavimo linijos detektoriaus gradavimo grafikas;

4) kintamojo silpnintuvo gradavimo grafikas trims dažniams;

5) išmatuotosios pilnutinės varžos vertė vienam dažniui.