



Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky



Elektromagnetické vlny a antény

(Vybrané kapitoly)

Autori:

Ľuboš Ovseník

Ján Turán

Technická univerzita v Košiciach

Fakulta elektrotechniky a informatiky

**Elektromagnetické vlny
a antény**

(Vybrané kapitoly)

doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.

Dr.h.c. prof. RNDr. Ing. Ján Turán, DrSc.

Košice

KEMT FEI TUKE

2017

doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.
Dr.h.c. prof. RNDr. Ing. Ján Turán, DrSc.
Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií

Lektori:

Dr.h.c. prof. Ing. Tobiáš Lazar, DrSc.
Ing. Pavol Mišenčík, PhD.

Vydavateľ: Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky
a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská
republika
Jazyk: slovenský
Náklad: 100 ks
Strany: 332
Vydanie: prvé
Rok vydania: 2017

Copyright © 2017 Ľ. Ovseník, J. Turán

ISBN 978-80-553-3154-6

PodĎakovanie

Táto publikácia (vysokoškolská učebnica, skriptum) vznikla za finančnej podpory Kultúrnej a edukačnej agentúry Ministerstva školstva Slovenskej republiky prostredníctvom grantu KEGA 023TUKE-4/2017 „Nové trendy v optickom prenose informácií“ a s podporou Vedeckej grantovej agentúry MŠVVaŠ SR a SAV prostredníctvom grantu VEGA 1/0772/17 „Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkeho dosahu“.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/ Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ. Táto publikácia bola vypracovaná, ako dopad v rámci projektu "Centrum excelentnosti integrovaného výskumu a využitia progresívnych materiálov a technológií v oblasti automobilovej elektroniky", ITMS 26220120055.

Predhovor

Cieľom vysokoškolskej učebnice je predovšetkým poskytnúť základné vedomosti a poznatky o dvoch relatívne samostatných disciplínach, a to o teórii šírenia elektromagnetických vln a teórii antén.

Táto vysokoškolská učebnica (skriptá) je určená ako študijná pomôcka k prednáškam z predmetu Elektromagnetické vlny a antény pre poslucháčov III. roč. bakalárskeho štúdia na FEI TU Košice v študijných odboroch Elektronika a Telekomunikácie. Vzniká na základe prednášok konaných na Katedre elektroniky a multimediálnych telekomunikácií.

Jej štúdium vyžaduje znalosť základov fyziky a matematiky v rozsahu prednášok konaných na univerzitách technického zamerania. Bezprostredne nadväzuje na poznatky zo základov teórie elektromagnetického poľa (najmä elektrostatiky). Z matematiky sa predpokladá znalosť základov vektorovej algebry, vektorovej analýzy a riešenia obyčajných, ako aj parciálnych diferenciálnych rovníc a základných znalostí o niektorých špeciálnych funkciách v rozsahu prednášok konaných na univerzitách s technickým zameraním.

Obsah predkladanej vysokoškolskej učebnice je v súlade s prestavbou vysokoškolského štúdia, zameraný na výklad javov v časovo premenných elektromagnetických poliach z hľadiska klasickej elektrodynamiky. Medzi tieto javy patria najmä: šírenie sa elektromagnetických vln v priestore, javy odrazu a lomu elektromagnetických vln, základy teórie vedenia vln, vyžarovanie elektromagnetických vln a šírenie sa elektromagnetických vln v anizotropnom prostredí. Ťažisko predmetu tvoria základy teórie jednotlivých druhov antén s poukázaním na ich technickú realizáciu a praktické použitie. Rozsah látky a jej obsah sú volené tak, aby zodpovedali teoretickej príprave pre ďalšie nadväzujúce predmety.

Rozsah vysokoškolskej učebnice zďaleka neumožňuje úplne vyčerpáť uvedenú problematiku, a preto je absolútne nevyhnutné, aby si poslucháči dopĺňali vedomosti štúdiom ďalšej knižnej a časopiseckej literatúry. Vysokoškolská učebnica má predovšetkým odbremeniť poslucháčov i prednášajúceho od zdĺhavého a únavného prepisovania matematických vzťahov a odvodení a umožniť tak venovať na prednáškach väčšiu pozornosť vysvetleniu fyzikálnej podstaty jednotlivých javov, podmienkam platnosti odvodených vzťahov, technickým realizáciám jednotlivých typov antén, analýze širších súvislostí a analógií, atď. Táto forma štúdia si však vyžaduje aktívne priebežné štúdium poslucháčov. Za minimálnu požiadavku možno považovať preštudovanie si príslušnej kapitoly z učebnice ešte pred prednáškou, čo umožní lepšie porozumieť výkladu a sústrediť sa na časti, ktoré boli poslucháčovi pri samostatnom štúdiu nejasné.

Autori pripravili toto vydanie v aktuálnom čase, aby bol pre študentov k dispozícii základný študijný materiál, nakoľko sa tento predmet pred prestavbou štúdia na FEI TU neprednášal. Ďakujú čitateľom za pripomienky k vysokoškolskej učebnici, ktoré môžu byť využité v prípadnom ďalšom vylepšenom vydaní.

Košice, 2017

Autori

Obsah

Obsah.....	3
Úvod	12
1. Základné vedomosti zo šírenia elektromagnetických vln	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.1. Zložky elektromagnetického vlnenia	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.2. Polarizácia elektromagnetického vlnenia.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.2.1. Lineárna polarizácia	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.2.2. Kruhovú polarizácia.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.2.3. Eliptická polarizácia	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.2.4. Vytváranie polarizácie elektromagnetického vlnenia	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.3. Frekvenčné pásma rádiových vln.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.4. Spôsoby šírenia elektromagnetických vln	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.5. Šírenie elektromagnetických vln v rôznom prostredí	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.5.1. Šírenie v ideálnom homogénnom dielektriku	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.5.2. Šírenie v homogénnom polovodivom prostredí.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.5.3. Odraz a lom elektromagnetických vln.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.5.4. Šírenie elektromagnetických vln vo voľnom priestore.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.6. Činiteľ tlmenia	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.7. Fresnelove zóny.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.8. Šírenie rádiových vln rôznych frekvencií	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.8.1. Šírenie dlhých (DV) vln vo voľnom priestore	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.8.2. Šírenie stredných (SV) vln vo voľnom priestore.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.8.3. Šírenie krátkych (KV) vln vo voľnom priestore	Chyba! Záložka nie je definovaná.
1.8.4. Šírenie veľmi krátkych (VKV) vln vo voľnom priestore.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
2. Šírenie prízemných elektromagnetických vln.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
2.1. Elektrické vlastnosti zemského povrchu	Chyba! Záložka nie je definovaná.

- 2.2. Šírenie elektromagnetických vln medzi anténami umiestnenými nad homogénnym rovinným zemským povrchom **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 2.3. Šírenie povrchových elektromagnetických vln nad homogénnym rovinným zemským povrchom **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 2.4. Šírenie povrchových elektromagnetických vln nad nehomogénnym zemským povrchom **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 2.5. Šírenie elektromagnetických vln nad guľovým zemským povrchom **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 2.6. Vplyv nerovnosti zemského povrchu na šírenie prízemných elektromagnetických vln **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 2.7. Vplyv prekážok na šírenie prízemných elektromagnetických vln **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
3. Šírenie troposférických elektromagnetických vln **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 3.1. Vlastnosti troposféry **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 3.2. Index lomu troposféry **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 3.3. Rozptyl elektromagnetických vln v troposfére **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 3.4. Tlmenie elektromagnetických vln v troposfére **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
4. Šírenie ionosférických elektromagnetických vln **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 4.1. Vlastnosti ionosféry **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 4.2. Šírenie elektromagnetických vln v homogénnej plazme **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 4.3. Šírenie elektromagnetických vln v plazme s vrstevnatou štruktúrou **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
5. Základy elementárnej teórie vysokofrekvenčných vedení..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 5.1. Základné pojmy **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 5.2. Vlastnosti vysokofrekvenčných vedení **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 5.2.1. Diferenciálne (telegrafné) rovnice homogénneho vedenia..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 5.2.2. Postupujúca a odrazená vlna na vedení..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 5.2.3. Tlmenie a fázový posun..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 5.2.4. Vlnová impedancia bezstratového vedenia **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 5.2.5. Vstupná impedancia vedenia **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 5.2.6. Stojaté vlny na vedení..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**

- 5.3. Spôsoby zaťaženia vysokofrekvenčných vedení **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 5.3.1. Vedenie impedančne prispôsobené **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 5.3.2. Vedenie na konci nakrátko **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 5.3.3. Vedenie na konci naprázdno **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 5.3.4. Vedenie zaťažené impedanciou, ktorá sa nerovná jeho vlnovej impedancii **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 5.3.5. Zhrnutie poznatkov o rôznych zakončeníach VF vedenia **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 5.3.6. Použitie rezonujúcich a nerezonujúcich vedení **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 6. Význam antén a ich základné parametre **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 6.1. Rozdelenie antén **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 6.1.1. Rozdelenie antén podľa tvaru žiariča **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 6.1.2. Rozdelenie antén podľa usporiadania žiariča **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 6.1.3. Rozdelenie antén podľa typu vlny **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 6.2. Základné vlastnosti antén **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 6.2.1. Vstupná impedancia antény a odpor vyžarovania **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 6.2.2. Účinnosť antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 6.2.3. Charakteristická impedancia antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 6.2.4. Smerová charakteristika antény - smerové účinky antén **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 6.2.5. Smerovosť antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 6.2.6. Zisk antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 6.2.7. Efektívna výška antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 7. Základy teórie antén **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 7.1. Elektromagnetické pole všeobecných zdrojov **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 7.2. Elektromagnetické pole elementárnych zdrojov **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 7.2.1. Elementárny elektrický dipól **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 7.2.2. Elementárny magnetický dipól **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 7.2.3. Elementárna apertúra **Chyba! Záložka nie je definovaná.**

- 7.2.4. Elementárna štrbina **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 7.3. Elektromagnetické pole sústavy zdrojov..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 7.4. Vzťah medzi vysielacou a prijímacou anténou **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 7.5. Vlnová a geometrická optika **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 8. Lineárne antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.1. Tenké symetrické lineárne antény..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.1.1. Rozloženie prúdu a smerová charakteristika..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.1.2. Impedancia vyžarovania..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.1.3. Krátka lineárna anténa..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.2. Valcová anténa **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.2.1. Hallénova integrálna rovnica..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.2.2. Riešenie Hallénovej integrálnej rovnice **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.2.3. Vstupná impedancia valcovej antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.3. Sústavy lineárnych antén **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.3.1. Vzájomné ovplyvňovanie lineárnych antén..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.3.2. Sústava dvoch lineárnych polvlnových antén zložená z aktívnych prvkov **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.3.2.1. Sústava dvoch lineárnych polvlnových antén napájaných prúdmi s rovnakou amplitúdou a s rovnakou fázou **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.3.2.2. Sústava dvoch lineárnych polvlnových antén napájaných prúdmi s rovnakou amplitúdou a s opačnou fázou **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.3.3. Sústava lineárnych antén zložená z aktívnych a s pasívnych prvkov. **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.4. Lineárna anténa nad zemským povrchom **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.4.1. Horizontálny polvlnový dipól..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.4.2. Vertikálny polvlnový symetrický dipól **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.4.3. Vertikálny polvlnový nesymetrický dipól **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.5. Príklady lineárnych antén..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 8.5.1. Antény pre dlhé a stredné vlny **Chyba! Záložka nie je definovaná.**

- 8.5.1.1. Vysielacie antény pre DV..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 8.5.1.2. Vysielacie antény pre SV **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 8.5.1.3. Prijímacie antény pre DV a SV **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 8.5.2. Antény pre krátke a veľmi krátke vlny **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 9. Antény s postupujúcou vlnou..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 9.1. Priamy vodič s postupujúcou vlnou **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 9.2. Kosoštvorcová (rombická) anténa **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 9.3. Špirálová anténa **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 9.4. Antény s neuniformnou vlnou..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 9.4.1. Dielektrické antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 9.4.2. Vodičové antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 10. Plošné antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.1. Štrbinové antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.1.1. Štrbina ako magnetický dipól **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.1.2. Štrbina vo vlnovode **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.2. Lievikové antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.2.1. Vyžarovanie obdĺžnikovej apertúry **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.2.2. Rozloženie lievikových antén..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.2.2.1. Základné parametre ihlanovej lievikovej antény..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.2.2.2. Dvojkužeľová lieviková anténa..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.2.2.3. Vejárová anténa (náhrada dvojkužeľovej lievikovej antény) ... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.3. Reflektorové antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.3.1. Antény s rovinným (plochým) reflektorom **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.3.2. Antény s uhlovým reflektorom..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.3.3. Antény s parabolickým reflektorom **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.4. Šošovkové antény..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.4.1. Spomaľujúce šošovky..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**

- 10.4.2. Urýchľujúce šošovky **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 10.5. Mikropásikové antény..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.1. Výhody a nevýhody mikropásikových antén **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.2. Mechanizmus vyžarovania mikropásikovej antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.3. Konfigurácie mikropásikových antén..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.3.1. Mikropásikové plátkové (patch) antény **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.3.2. Mikropásikový dipól **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.3.3. Mikropásikové štrbinové antény..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.3.4. Mikropásikové antény s postupujúcou vlnou **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.3.5. Porovnanie jednotlivých konfigurácií mikropásikových antén. **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.4. Napájanie mikropásikových antén..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.4.1. Priame napájanie koaxiálnym vedením **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.4.2. Priame napájanie mikropásikovým vedením **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.4.3. Napájanie mikropásikovým vedením väzbou cez medzeru **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.4.4. Priame vsunuté napájanie mikropásikovým vedením **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.4.5. Priame asymetrické napájanie mikropásikovým vedením..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.4.6. Napájanie viazané tesnou blízkosťou mikropásikového vedenia **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.4.7. Napájanie viazané apertúrou..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.4.8. Napájanie koplánrným vlnovodom..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 10.5.4.9. Porovnanie rôznych napájacích techník **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
- 11. Sústavy antén **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 11.1. Lineárna anténová sústava..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 11.1.1. Príklad sústavy prijímacej lineárnej antény..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 11.2. Plošná anténová sústava..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 11.2.1. Príklad sústav plošných antén **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 11.3. Základné zapojenia fazovaných anténových sústav..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**
 - 11.3.1. Sériové napájanie fázovaných anténových sústav..... **Chyba! Záložka nie je definovaná.**

11.3.2. Paralelné napájanie fázovaných anténových sústav.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
11.3.3. Aplikácie fázovaných anténových sústav	Chyba! Záložka nie je definovaná.
12. Smart antény	Chyba! Záložka nie je definovaná.
12.1. Analógia smart antény	Chyba! Záložka nie je definovaná.
12.2. Rozdelenie smart antén	Chyba! Záložka nie je definovaná.
12.3. Základné prvky smart antén	Chyba! Záložka nie je definovaná.
12.4. Výhody smart antén.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
12.5. Nevýhody smart antén.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
12.6. Vytváranie lúčov smart antény.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
12.7. Použitie smart antén - Mobilná sieť ad-hoc (MANET).....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
13. Meranie antén	Chyba! Záložka nie je definovaná.
13.1. Meracie prostredie a techniky.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
13.2. Meranie vyžarovacích (smerových) charakteristík antén.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
13.3. Meranie impedancie a koeficienta odrazu.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
13.4. Meranie zisku	Chyba! Záložka nie je definovaná.
13.4.1. Substitučná metóda.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
13.4.2. Recipročná metóda.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
13.5. Príklady merania parametrov antén	Chyba! Záložka nie je definovaná.
13.5.1. Meranie tlmenia odrazu.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
13.5.2. Meranie zisku	Chyba! Záložka nie je definovaná.
13.5.3. Meranie vyžarovacej charakteristiky	Chyba! Záložka nie je definovaná.
13.5.4. Zhrnutie výsledkov experimentálnych meraní	Chyba! Záložka nie je definovaná.
Záver	Chyba! Záložka nie je definovaná.
Literatúra k ďalšiemu štúdiu problematiky.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
Prílohy.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
Príloha A: Zoznam obrázkov	Chyba! Záložka nie je definovaná.
Príloha B: Zoznam tabuliek.....	Chyba! Záložka nie je definovaná.

Príloha C: Zoznam skratiek**Chyba! Záložka nie je definovaná.**

Príloha D: Súhrn kontrolných otázok.....**Chyba! Záložka nie je definovaná.**

Úvod

„Dôležité je neprestať klásť otázky. Zvedavosť má svoj vlastný dôvod existencie. Nemôžeme urobiť nič, iba žasnúť, keď uvažujeme o tajomstvách večnosti, života, nádhernej štruktúry reality. Stačí, ak sa každý deň pokúsime pochopiť iba kúsok tohto tajomstva. Nikdy nestrácajte posvätnú zvedavosť.“
(Albert Einstein)

Vo vytvorení teórie elektromagnetického poľa zohrali rozhodujúcu úlohu fyzikálne názory M. Faradaya (druhá polovica 19. storočia) a ich rozvinutie a matematicky korektné formulovanie J. C. Maxwellom (60.-70. roky 19. storočia). Základná myšlienka Faradaya bola založená na priznaní fyzikálnej reálnosti procesov prebiehajúcich v priestore obklopujúcom náboje a prúdovodiče. Faradayov princíp vzájomného pôsobenia hovorí, že každé vzájomné pôsobenie nábojov a prúdov môže prebiehať len prostredníctvom určitého prostredia, postupne od bodu v tomto prostredí, s konečnou rýchlosťou šírenia.

Maxwell matematicky sformuloval zákony elektromagnetického poľa na základe prijatia fyzikálnych názorov Faradaya. Maxwellova teória zjednotila všetky dovtedy známe zákony teórie elektromagnetického poľa a obsahovala geniálne predpoklady o hlbokej súvislosti existujúcej medzi elektrickými a magnetickými javmi. Tieto predpoklady doplnili teóriu elektromagnetického poľa novou myšlienkou o existencii posuvných prúdov a viedli k zostaveniu systému Maxwellových rovníc, ktoré platia pre ľubovoľné elektromagnetické polia v ľubovoľných prostrediach.

Analyzujúc svoje rovnice, došiel Maxwell k záveru, že v čase premenné elektromagnetické pole môže existovať v podobe elektromagnetických vln šíriacich sa v priestore, ktoré pôsobia tlakom na látku a šíria sa rýchlosťou rovnou rýchlosti svetla. Na základe týchto vývodov Maxwell zaviedol predpoklad o elektromagnetickej podstate svetla.

Výsledky Maxwellovej teórie boli potvrdené pokusmi H. Hertza. Na konci 80-tych rokov 19. storočia Hertz experimentálne potvrdil existenciu elektromagnetických vln, existencia ktorých bola predpovedaná Maxwellom. Hertzove pokusy ukázali, že elektromagnetické vlny podliehajú zákonom: odrazu, lomu, interferencie a difrakcie ako svetlo. Tieto experimenty potvrdili všeobecnú podstatu svetelných a elektromagnetických vln.

Široké praktické využívanie elektromagnetického poľa začalo od uskutočnenia prvého rádiového spojenia G. Marconim a A. S. Popovom v roku 1895.

Ďalší rozvoj teórie elektromagnetického poľa a vypracovanie Einsteinovej špeciálnej teórie relativity (v roku 1905) priviedli k ponímaniu elektromagnetického poľa ako zvláštnej formy hmoty, kvalitatívne odlišnej od látkovej formy.

Každá elektricky nabitá častica látky (napríklad kladne nabitý protón, záporne nabitý elektrón) je vždy navzájom spojená s jej vlastným elektromagnetickým poľom. Elektromagnetické pole vyžiarené zrýchlene sa pohybujúcimi nabitými časticami sa vo voľnom resp. látkovom prostredí šíri ako elektromagnetická vlna.

Podobne ako látka (matéria) má elektrické pole energiu, hmotnosť, impulz a impulzmoment, t.j. všetky univerzálne vlastnosti hmoty, ktoré vyhovujú všeobecným zákonom zachovania, a ktoré sú založené na nezničiteľnosti hmoty a jej pohybu.

Súčasne však elektromagnetické pole má aj celý rad zvláštnych “elektromagnetických” vlastností, ktoré ho určujú ako osobitnú formu existenciu hmoty.

Základnou vlastnosťou elektromagnetického poľa je jeho schopnosť vyvolávať silové pôsobenie na nabitú časticu, ktoré závisí od rýchlosti, s akou sa táto častica pohybuje.

V praxi mnoho využívaných elektromagnetických javov a procesov nevyžaduje vyšetrovanie podrobností zložitých elektromagnetických procesov prebiehajúcich v atómovej “mierke”. Vo väčšine technických problémov sa vyšetrojú javy prebiehajúce v makroskopickom poňatí, charakterizované strednými makroskopickými hodnotami elektromagnetických veličín a vyšetrované klasickou elektrodynamikou.

Elektromagnetické pole v makroskopickej mierke pozorovania je charakterizované spojitou rozložením v priestore. S časom dochádza k šíreniu elektromagnetického poľa v priestore. Šíriace sa elektromagnetické pole (ako sme uviedli už aj vyššie) nazývame elektromagnetickou vlnou. Pretože objemová hustota hmotnosti elektromagnetického poľa je veľmi malá, vo vákuu, kde nepôsobia veľmi silné gravitačné polia, je rýchlosť šírenia sa elektromagnetického poľa vo voľnom priestore vždy konštantná, rovná rýchlosti svetla, ktorá je blízka hodnote $3 \cdot 10^8$ m/s.

Klasická (makroskopická) elektrodynamika pripisuje elektromagnetickému poľu len vlnové vlastnosti a elementárnym časticiam len korpuskulárne vlastnosti. Z makroskopického hľadiska rôzne častice látky nemôžu súčasne zaujímať ten istý objem, naproti tomu elektromagnetické pole má tú vlastnosť, že v tom istom objeme môže súčasne existovať “ľubovoľné” množstvo elektromagnetických polí (ohraničením je samozrejme, že v konečnom priestore môže byť sústredená len konečná energia). V podmienkach klasického prístupu látka (matéria) a elektromagnetické pole sa môže navzájom prestupovať, zaujímať ten istý priestor. Klasická elektrodynamika vyšetroje len makroskopické vlastnosti látky. Predpokladáme, že rozmery skúmaného priestoru a vzdialenosti medzi zdrojom poľa a miestom pozorovania sú podstatne väčšie než rozmery atómov a molekúl, a tiež skúmané časové intervaly sú podstatne väčšie, ako je perióda vnútroatómových kmitavých javov. Takáto makroskopická teória môže byť vybudovaná len na základe makroskopických experimentov s látkou a môžeme pomocou nej vysvetliť celý rad javov, s ktorými sa v praxi stretávame. Ale procesy tepelného elektromagnetického žiarenia, fotoefekt, elektromagnetické javy, prebiehajúce v mikroskopickej, atómovej mierke, môžu byť objasnené len na základe poznania zákonov mikrosveta, vyšetrovaných kvantovou elektrodynamikou. V mikroskopickej mierke pozorovania je dôležitou vlastnosťou hmoty jednota korpuskulárnej (časticovej) a vlnovej podstaty všetkých mikroobjektov (tzv. korpuskulárne-vlnový dualizmus) a schopnosť mikroobjektov za určitých presne definovaných podmienok predchádzať (meniť sa) z jedného druhu na iný druh. V mikroskopickej mierke pozorovania musíme uvažovať elektromagnetické pole ako súbor navzájom nezávislých diskretných mikroobjektov – fotónov, majúcich vlastnosti korpuskulárno-vlnového dualizmu. Fotóny sú energetické častice s nulovou kludovou hmotnosťou, vo vákuu sa šíria vždy rýchlosťou svetla a sú v celosti vyžarované alebo pohlcované atómami.

Vidíme, že existuje celý rad problémov v súvislosti s elektromagnetickým poľom. V predmete Elektromagnetické vlny a antény budeme vyšetrovať javy v elektromagnetických poliach rýchle časovo premenných. Oboznámime sa s novými javmi, ktoré sú typické pre tieto polia, a to: šírenie sa vln v priestore, vedenie vln, rezonancia elektromagnetického poľa v uzavretom objeme a vyžarovanie elektromagnetických vln, ale aj s technickým riešením, ktoré nám umožňuje tieto „javy“ využívať na prenos signálov. Tomuto riešeniu v praxi hovoríme antény. Anténa je významným prvkom prenosového spoja (rádiového, telekomunikačného, atď.), ktorého úlohou je transformovať vedenú elektromagnetickú vlnu na kvázivlnnú vlnu, šíriacu sa vo voľnom priestore (vysielacia anténa), alebo naopak (prijímacia anténa). Anténa je v podstate zariadenie prispôsobujúce prenosové vedenie k voľnému priestoru.