

Obsah

PŘEDMLUVA	11
ÚVOD	13
0.1. Jak teoreticky řešíme elektrotechnické projekty.....	13
0.2. Dvojitý význam pojmu „pole“.....	16
0.3. Elektromagnetické pole a technické projekty.....	20
1. Základní pojmy a zákony teorie elektromagnetického pole	23
1.1. Vznik a vývoj teorie elektromagnetického pole	23
1.2. Základní pojmy a problémy teorie elektromagnetického pole.....	25
1.3. Význam teorie elektromagnetického pole pro provádění inženýrských projektů	25
1.4. Veličiny elektromagnetického pole a jejich jednotky	25
1.5. Materiálové charakteristiky	30
1.6. Maxwellovy rovnice	32
1.6.1. Soustava Maxwellových rovnic v integrálním tvaru	32
1.6.2. Soustava Maxwellových rovnic v diferenciálním tvaru.....	36
1.6.3. Rovnice pro proudovou hustotu	38
1.6.4. Podmínky na rozhraní.....	39
1.7. Klasifikace elektromagnetického pole.....	44
1.8. Příklady	46
2. Základní vlastnosti časově neproměnného elektrického a magnetického pole	49
2.1. Elektrostatické pole	49
2.1.1. Rovnice elektrostatického pole	49
2.1.2. Vodič v elektrostatickém poli, elektrostatická indukce	55
2.1.3. Dielektrikum v elektrickém poli, polarizace dielektrika	58
2.1.4. Matematický popis elektrické polarizace, vektor elektrické polarizace.....	60
2.2. Stacionární proudové pole.....	63
2.2.1. Rovnice stacionárního proudového pole	64
2.2.2. Zákony elektrických obvodů	70
2.3. Stacionární magnetické pole	74
2.3.1. Rovnice magnetického pole.....	74
2.3.2. Definice a vlastnosti skalárního magnetického potenciálu.....	76
2.3.3. Definice a vlastnosti vektorového magnetického potenciálu	78
2.4. Makroskopické vlastnosti magnetik	82
2.5. Magnetická polarizace.....	90
2.5.1. Mikrostruktura procesu magnetické polarizace.....	90
2.5.2. Matematický popis magnetizace, vektor magnetické polarizace	92
2.6. Závěrečná poznámka.....	95
2.7. Příklady	96

3. Přímá aplikace Maxwellových rovnic v integrálním tvaru	99
3.1. Přímé řešení Maxwellových rovnic v integrálním tvaru	99
3.1.1. Elektrostatické pole	100
3.1.2. Stacionární proudové pole	107
3.1.3. Stacionární magnetické pole	108
3.2. Řešení složitějších konfigurací s použitím principu superpozice	111
3.3. Příklady	116
4. Okrajové úlohy pro rovnice potenciálů stacionárních elektrických a magnetických polí	123
4.1. Obecná formulace okrajové úlohy pro elektrostatiku	124
4.2. Dva příklady na řešení jednoduchých okrajových úloh z elektrostatiky.....	127
4.3. Okrajová úloha pro stacionární proudové pole	129
4.4. Okrajová úloha pro stacionární magnetické pole.....	131
4.5. Sestavení matematického modelu	134
4.5.1. Dva příklady	134
4.5.2. Vymezení definiční oblasti v symetrických a v periodických topologických strukturách	135
4.6. Shrnutí	139
4.7. Příklady.....	139
5. Řešení stacionárních elektrických a magnetických polí pomocí integrálních výrazů	147
5.1. Elektrostatické pole	147
5.1.1. Prostorové elektrostatické pole	147
5.1.2. Rovinné elektrostatické pole.....	149
5.2. Stacionární magnetické pole. Zákon Biotův-Savartův.....	153
5.3. Metoda zrcadlení	159
5.3.1. Elektrostatické pole	159
5.3.2. Stacionární proudové pole.....	166
5.3.3. Stacionární magnetické pole	167
5.4. Příklady	168
6. Numerické řešení okrajových úloh	179
6.1. Metoda konečných diferencí – MKD	179
6.1.1. Algoritmus MKD	179
6.1.2. Sestavení diskrétního modelu okrajové úlohy.....	181
6.2. Metoda konečných prvků – MKP	187
6.3. Řešení elektromagnetických polí moderními softwarovými produkty	194
6.3.1. Struktura současného profesionálního SW	194
6.3.2. Současný profesionální SW	195
6.3.3. Ukázky použití profesionálního programu	197
6.4. Příklady	203
7. Výpočet kapacit, indukčností a odporů.....	205
7.1. Výpočet kapacit.....	205

7.1.1. Definice kapacity kondenzátoru.....	205
7.1.2. Výpočet kapacity kondenzátoru pomocí Gaussovy věty	207
7.1.3. Výpočet kapacity kondenzátoru řešením okrajové úlohy	211
7.2. Výpočet vlastní a vzájemné indukčnosti.....	214
7.2.1. Dvě definice vlastní indukčnosti	214
7.2.2. Definice vzájemné indukčnosti.....	219
7.2.3. Výpočet vlastní a vzájemné indukčnosti tenkých smyček	221
7.2.4. Neumannův vzorec pro výpočet vzájemné indukčnosti.....	227
7.3. Výpočet odporů	230
7.4. Kondenzátory s větším počtem elektrod	232
7.5. Příklady	236
8. Magnetické obvody	245
8.1. Zákony magnetických obvodů	246
8.1.1. Hopkinsonův zákon	247
8.1.2. První Kirchhoffův zákon pro magnetické obvody.....	248
8.1.3. Druhý Kirchhoffův zákon pro magnetické obvody	249
8.2. Analogie mezi elektrickými a magnetickými obvody.....	250
8.3. Metody řešení magnetických obvodů buzených proudem	251
8.3.1. Jednoduchý magnetický obvod	251
8.3.2. Složitý magnetický obvod.....	259
8.4. Indukčnost cívek magnetických obvodů	260
8.5. Magnetické obvody s permanentními magnety	261
8.5.1. Jednoduchý magnetický obvod s hysterézí.....	262
8.5.2. Magnetické obvody s permanentními magnety generujícími silná magnetická pole	265
8.6. Materiály magnetických obvodů	271
8.7. Příklady	275
9. Energie a síly v elektrickém a magnetickém poli	281
9.1. Energie a výkon ve stacionárním proudovém poli.....	281
9.2. Energie elektrostatického pole.....	284
9.2.1. Určení elektrostatické energie soustavy tvořené n náboji	284
9.2.2. Určení elektrostatické energie pomocí vektorů \mathbf{E} a \mathbf{D}	285
9.3. Princip minima elektrostatické energie	287
9.4. Síly v elektrostatickém poli	289
9.4.1. Síla působící na náboj v elektrickém poli	289
9.4.2. Výpočet síly z energie elektrického pole.....	290
9.5. Energie stacionárního magnetického pole.....	292
9.5.1. Určení energie stacionárního magnetického pole pomocí vektorů \mathbf{H} a \mathbf{B}	292
9.5.2. Určení energie stacionárního magnetického pole pomocí vektorového potenciálu \mathbf{A}	293
9.6. Energetická vlastní a vzájemná indukčnost	297
9.6.1. Definice energetické vlastní indukčnosti.....	297
9.6.2. Definice energetické vzájemné indukčnosti.....	303

9.7. Energie magnetického pole ve feromagnetiku.....	308
9.8. Síly v magnetickém poli	312
9.8.1. Lorentzova síla působící na proudovodiče v magnetickém poli.....	312
9.8.2. Zobecněná Lorentzova síla	318
9.8.3. Výpočet síly pomocí energie magnetického pole	321
9.8.4. Výpočet sil pomocí Maxwellova magnetického tenzoru pnutí	324
9.8.5. Souvislost mezi zobecněnou Lorentzovou silou a rovnicemi plynoucími z Maxwellova magnetického tenzoru pnutí.....	329
9.8.6. Síly působící na rovnoběžné vodiče vícefázové soustavy	329
9.9. Příklady.....	334
10. Matematická analogie mezi základními zákony elektrického a magnetického pole.....	347
10.1. Matematická analogie stacionárních polí.....	347
11. Časově proměnné elektromagnetické pole	355
11.1. Základní vlastnosti časově proměnného elektromagnetického pole.....	355
11.1.1. První Maxwellova rovnice.....	356
11.1.2. Druhá Maxwellova rovnice	357
11.1.3. Třetí a čtvrtá Maxwellova rovnice.....	362
11.1.4. Rovnice kontinuity elektrického proudu	362
11.2. Kvazistacionární elektromagnetické pole	362
11.3. Harmonické elektromagnetické pole.....	363
11.3.1. Komplexní reprezentace skalární harmonicky proměnné veličiny $v(t)$..	364
11.3.2. Komplexní reprezentace vektorové harmonické veličiny $V(t)$	365
11.3.3. Maxwellovy rovnice v komplexním vyjádření	366
11.4. Zákon zachování energie	368
11.4.1. Poyntingův vektor.....	368
11.4.2. Přenos elektromagnetické energie – dvojí koncepce.....	370
11.5. Elektrodynamické potenciály.....	372
11.6. Příklady	374
12. Elektromagnetické pole v pohybujícím se prostředí	381
12.1. Zákon elektromagnetické indukce v pohybujícím se prostředí.....	381
12.1.1. Integrální tvary indukčního zákona	381
12.1.2. Diferenciální tvary indukčního zákona.....	384
12.2. Pohybující se magnetické pole.....	390
12.2.1. Točivé magnetické pole.....	390
12.2.2. Postupné magnetické pole.....	397
12.2.3. Poznámka k „pohybu magnetického pole“	398
12.3. Vířivé proudy	398
12.3.1. Fyzikální podstata vířivých proudů	398
12.3.2. Experimenty s vířivými proudy.....	399
12.3.3. Jak se uplatňují vířivé proudy v praxi.....	401
12.4. Povrchový jev	404
12.4.1. Kvalitativní popis a fyzikální podstata povrchového jevu	404

12.4.2. Matematický model EPJ a jeho analytické řešení.....	413
12.4.3. Matematický model MPJ a jeho analytické řešení.....	420
12.5. Příklady	423
13. Numerické řešení kvazistacionárních problémů.....	427
13.1. Matematický model EPJ ve vodiči s časově harmonickým proudem	427
13.1.1. Spojitý matematický model pro EPJ ve vodiči libovolného průřezu.....	428
13.1.2. Postup při řešení matematického modelu pro EPJ.....	432
13.2. Matematický model EPJ ve vodiči s proudem časově obecného průběhu	438
13.2.1. Spojitý matematický model pro EPJ	439
13.2.2. Diskrétní matematický model pro EPJ	441
13.3. Elektrický vektorový potenciál	446
13.4. Příklady	450
14. Elektromagnetické vlny	455
14.1. Vlnové rovnice elektromagnetického pole a jejich řešení	455
14.1.1. Formulace vlnových rovnic	455
14.1.2. Rovinná elektromagnetická vlna v dielektriku, obecně proměnná s časem	456
14.1.3. Harmonická REM vlna v dielektriku.....	460
14.1.4. Harmonická REM vlna ve vodivém prostředí	462
14.1.5. Polarizace elektromagnetických vln. Disperze vln.....	464
14.2. Přenos energie rovinnou vlnou v dielektriku.....	466
14.3. Dopad rovinné vlny na rozhraní dvou prostředí.....	467
14.3.1. Kolmý dopad REM vlny na rozhraní	467
14.3.2. Šikmý dopad REM vlny na rozhraní.....	470
14.4. Elektrodynamické potenciály nestacionárního elektromagnetického pole. ..	471
14.5. Hertzovy vektory	473
14.6. Generování elektromagnetických vln.....	475
14.6.1. Elektromagnetické pole oscilujícího elektrického dipólu	476
14.6.2. Výkon vyzařovaný dipólem, vyzařovací odpor	480
14.6.3. Elektromagnetické pole oscilujícího magnetického dipólu	481
14.7. Příklady.....	482
15. Elektromagnetické pole v anizotropním prostředí.....	485
15.1. Anizotropie a její matematické vyjádření	485
15.1.1. Pojem anizotropie	485
15.1.2. Matematický popis anizotropie.....	486
15.2. Materiálové rovnice pro anizotropní prostředí	488
15.3. Rovnice stacionárního elektrického a magnetického pole v anizotropním prostředí	490
16. Dodatky	495
16.1. Existence a jednoznačnost řešení rovnic elektromagnetického pole	495
16.2. Přehled základních operací vektorového počtu	497
16.2.1. Vektorová algebra	497

16.2.2. Vektorová analýza	499
16.2.3. Některé důležité vzorce z vektorové analýzy	502
16.2.4. Některé integrální věty vektorové analýzy	502
16.2.5. Různé druhy vektorových polí	503
16.3. Veličiny teorie elektromagnetického pole a jejich jednotky	505
16.4. Základní operace vektorové analýzy v různých souřadných systémech	508
16.5. Tvůrci teorie elektromagnetického pole	510
16.6. Čeští a slovenští elektrotechnici, kteří přispěli k rozvoji teorie elektromagnetického pole	515
Literatura	519
Rejstřík	525