

Jiří Myslík

Elektromagnetické pole

základy teorie



Kniha je věnována základům teorie elektromagnetického pole. Je zpracována tak, aby posloužila jak studentům vysokých, tak i středních škol a všem zájemcům o elektrotechniku. Kniha je doplněna řadou praktických řešených příkladů. Vzhledem k úspornosti matematického odvozování a k přehlednosti zpracování, bude kniha užitečná i odborníkům z praxe.

Jiří Myslík

Elektromagnetické pole - základy teorie

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část knihy kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládaná zapojení a informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Všechny registrované nebo obchodní známky použité v této knize jsou majetkem jejich vlastníků. Uvedením nejsou zpochybněna z toho vyplývající vlastnická práva.

Veškerá práva vyhrazena

© Doc. Ing. Jiří Myslík, CSc., 1998

Nakladatelství BEN - technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

Jiří Myslík: Elektromagnetické pole - základy teorie

BEN - technická literatura, Praha 1998

1. vydání

ISBN 80-86056-43-0

OBSAH

PŘEDMLUVA	6
SEZNAM NEJDŮLEŽITĚJŠÍCH POUŽITÝCH ZNAČEK	7
1. ÚVOD	9
2. ELEKTROSTATICKÉ POLE	12
2.1 Intenzita elektrického pole	12
2.2 Potenciál	14
2.3 Vodič v elektrostatickém poli	16
2.4 Silový tok	17
2.5 Elektrický dipól	18
2.6 Kapacita	20
2.7 Dielektrikum v elektrickém poli	22
2.8 Lom vektorů D a E na rozhraní dvou dielektrik	24
2.9 Energie elektrostatického pole	25
2.10 Mechanické síly v elektrostatickém poli	26
2.11 Elektrická pevnost	28
2.12 Maxwellovy rovnice elektrostatického pole	28
3. STACIONÁRNÍ PROUDOVÉ POLE	45
3.1 Stacionární elektrický proud	45
3.2 Příčina elektrického proudu	47
3.3 Vodiče	49
4. STACIONÁRNÍ MAGNETICKÉ POLE	57
4.1 Maxwellovy rovnice	57
4.2 Permanentní magnety	58
4.3 Magnetické materiály	61
4.4 Magnetické pole přímého vodiče	63
4.5 Biot-Savartův zákon	64
4.6 Magnetická indukce a magnetický tok	66
4.7 Lom vektorů B a H na rozhraní dvou prostředí	67

4.8	Indukčnost	68
4.9	Energie magnetického pole	69
4.10	Vektorový potenciál	70
4.11	Magnetické obvody	71
5.	KVAZISTACIONÁRNÍ ELEKTROMAGNETICKÉ POLE ...	87
5.1	Maxwellovy rovnice	87
5.2	Faradayův indukční zákon	87
5.3	Napětí indukované sinusově proměnným magnetickým tokem	89
5.4	Napětí indukované v rotujícím závitě	90
5.5	Vířivé proudy	90
5.6	Povrchové jevy	91
5.7	Vliv blízkosti	92
5.8	Ztráty v magnetických materiálech	93
6.	ELEKTROMAGNETICKÉ VLNY	97
6.1	Úvod	97
6.2	Elektromagnetické vlny v nevodivém izotropním prostředí	97
6.3	Rovinná vlna	101
6.4	Rovinná vlna s harmonickým průběhem	106
6.5	Poyntingův vektor	108
7.	PŘÍLOHY	112
7.1	Jednotky SI	112
7.2	Poměrná permitivita některých látek	113
7.3	Měrný odpor a teplotní součinitel některých látek	113
7.4	Poměrná permeabilita některých látek	114
7.5	Kapacita a intenzita elektrického pole některých elektrod	114
7.6	Kapacita vedení	118
7.7	Magnetické vodivosti vzdušných cest	121
7.8	Vlastní indukčnost některých uspořádání	125
7.9	Vzájemná indukčnost některých uspořádání	131
7.10	Rozdělení elektromagnetických vln	133
7.11	Maxwellovo Pojednání	133
7.12	Éter	133
7.13	Siločáry	134

7.14	Původ některých názvů	135
7.15	Co jsme neuvedli	135
8.	MATEMATICKÝ DODATEK.....	136
8.1	Vektory a skaláry	136
8.2	Diferenciální operace s vektory a skaláry	138
8.3	Hamiltonův operátor nabla ∇	138
8.4	Laplaceův operátor D	139
8.5	Diferenciální operace v různých souřadnicových systémech	139
8.6	Přehled některých operací s vektory a skaláry	141
8.7	Integrální vzorce	142
8.8	Speciální typy polí	143
	REJSTŘÍK.....	144
	Program VISIO (kterým byly nakresleny obrázky)	147
	Knihy nakladatelství BEN - technická literatura	154

PŘEDMLUVA

Teorie elektromagnetického pole je jednou ze základních částí elektrotechniky. Je to však část poněkud nepřijemná, a to ze dvou důvodů. Bez poměrně náročného matematického aparátu by bylo možné se omezit vlastně jen na nic neříkající popisy jevů a skutečností, doplněných vzorečky, které jako kdyby spadly z nebe.

Teorie elektromagnetického pole je náročná i v tom, že pole je neviditelné a jakousi představu o něm si lze udělat jen pomocí silochar a ekvipotenciál (zdůrazněme však, že ty příroda nezná).

Knihy o elektromagnetickém poli mívají mnoho set stran. Pokusil jsem se o kompromis. Matematický aparát používám jen v nezbytné možné míře a snažím se co nejvíce zdůraznit fyzikální podstatu.

Čtenáři, kteří neznají použitý matematický aparát, mohou řadu odvození přeskočit. I tak pro ně budou odvozené vztahy a zákonitosti prakticky užitečné. Přehled většiny použité matematiky je uveden v 8. kapitole.

Je třeba znovu zdůraznit, že kniha se zabývá základy teorie elektromagnetického pole. Nehleďte v ní žádné popisy programů a ani příklady jejich použití. Řešení jen trochu složitějších uspořádání je však bez použití počítačů nemožné.

Nekladl jsem si za cíl zpracovat obecné výpočty polí, ale jen jakési minimum znalostí, které by měl znát každý elektrotechnik. V tomto smyslu je tedy kniha určena *všem zájemcům o elektrotechniku*.

Zmiňme se na tomto místě ještě o tzv. teoretické elektrotechnice. Je to název vzniklý historicky, kterému je v současné době vhodné se vyhnout (neexistuje například teoretické strojnictví). Pod pojmem teoretická elektrotechnika se rozuměly tři oblasti elektrotechniky:

1. Elektrofyzika, která se zejména zabývá elektrickými a magnetickými vlastnostmi látek, vodiči, supravodiči, polovodiči, izolanty ap. Přihlíží (či přímo z ní vychází) ke struktuře hmoty.
2. Teorie elektromagnetického pole, která děje zkoumá jako kontinuální v prostoru a v čase.
3. Teorie elektrických obvodů, která se zabývá analýzou a syntézou soustav obvodových prvků.

Uvedené tři oblasti elektrotechniky spolu souvisejí v základních pojmech. Vyvinuly se však ve zcela samostatné obory. Pokud bychom tedy použili (archaické) označení teoretická elektrotechnika, bylo by nevhodnější především pro elektrofyziku.

Děkuji panu Ing. Josefu Kůsovi, CSc. za pečlivé přečtení rukopisu této knihy a za jeho připomínky.

Plzeň, 1998

Jiří Myslík