

Ladislav Szántó

**MAXWELLOVY
ROVNICE**

Praha 2003



Ladislav Szántó

MAXWELLOVY ROVNICE

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část 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. Předkládané 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 jiné obchodní známky použité v této knize jsou majetkem jejich vlastníků. Uvedením nejsou zpochybněna z toho vyplývající vlastnická práva.

Veškerá práva vyhrazena.

© Ladislav Szántó, Praha 2003

Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

Odborný lektor: Jan Šístek

Ladislav Szántó: Maxwellovy rovnice

BEN – technická literatura, Praha 2003

1. vydání

ISBN 80-7300-096-2

Obsah

PŘEDMLUVA	5
1 POČTA ZAKLADATELŮM	7
2 ELEKTROSTATICKÉ POLE	13
2.1 Siločáry, Coulombův zákon	13
2.2 Výtok intenzity elektrického pole přes pomyslnou uzavřenou plochu	15
2.3 Maxwellova rovnice pro spojitě rozložené náboje	16
2.4 Elektrické pole liniového náboje	18
2.5 Elektrické pole plošného náboje	20
2.6 Energie elektrického pole	22
2.7 Potenciál elektrického pole	23
2.8 Elektrické pole v látkovém prostředí	26
2.9 Složky elektrického pole	31
2.10 Lom siločar na rozhraní dielektrik	34
2.11 Kondenzátor a jeho kapacita	35
2.12 D–E diagram	36
2.13 Hustota energie elektrického pole v látkovém prostředí	38
3 MAGNETOSTATICKÉ POLE	39
3.1 Magnetický pól a jeho magnetické pole	39
3.2 Ampèrov zákon	41
3.3 Magnetická indukce pole nekonečného přímého vodiče	43
3.4 Biotův a Savartův zákon	44
3.5 Magnetický potenciál	47
3.6 Druhá Maxwellova rovnice	48
3.7 Dráhový integrál B	50
3.8 Rotace B	52

3.9	Třetí Maxwellova rovnice	55
3.10	Lorentzova síla	57
3.11	Magnetické pole v látkovém prostředí	58
3.12	B–H diagram	61
3.13	Lom siločar indukce resp. intenzity magnetického pole	63
3.14	Hustota energie magnetického pole	65
3.15	Permanentní magnet	67
3.16	Síla působící na póly elektromagnetu	68
4	NESTACIONÁRNÍ ELEKTROMAGNETICKÉ POLE	69
4.1	Faradayův indukční zákon	69
4.2	Čtvrtá Maxwellova rovnice	72
4.3	Elektromagnetické vlnění	74
4.4	Odvození $\text{rot} \mathbf{E} = -\Delta \mathbf{E}$	76
4.5	Elektromagnetická vlna	77
4.6	Hustota energie, hustota hmotnosti elektromagnetické vlny	81
4.7	Poyntingův vektor	82
5	ZÁKONNÉ MĚRNÉ JEDNOTKY	86
6	PŘÍLOHA	89
6.1	Repetitorium vektorového počtu	89
6.2	Vlnová rovnice	91
6.3	Gaussova a Stokesova věta	94
6.4	Elektrický proud	96
6.5	Síla působící na vodič v magnetickém poli	98
6.6	Relativita a elektromagnetické pole	99
	REJSTŘÍK	103
	SEZNAM UŽITÝCH SYMBOLŮ	104

Předmluva

Když jsem stávající titul Maxwellovy rovnice nabídl vydavateli panu Liboru Kubicovi k publikaci, jeho první reakce byla skeptická, protože pochyboval o prodejnosti titulu. Ke cti vydavatele budiž řečeno, že projevil toleranci a rozvahu, když provedl průzkum tím, že na své internetové stránce zveřejnil záměr, vydat uvedenou publikaci a požádal čtenáře o jejich názor.

Reakce byla překvapivě rychlá. Během pár dnů došlo celkem deset odpovědí. Vzhledem k mým představám o tom, kolik lidí asi sleduje stránky vydavatele a kolik z nich je ochotno odpovídat na jeho záměr, nečekal jsem tak velký ohlas. Odpovědi „internetové“ publika lze rozdělit do dvou skupin:

V první skupině jsou stávající a bývalí studenti, kteří svorně prohlašují, že výklad Maxwellových rovnic nepochopili, přesto zkoušky udělali a radovali se, že to mají za sebou. Nicméně litují, že v základních vědomostech mají mezeru. Uvítali by publikaci, která by jim tuto krásnou partii fyziky a základ veškeré elektrotechniky dostupnou formou objasnila.

Jeden ohlas, z „pera“ vysokoškolského pedagoga, pokládá vydání titulu Maxwellovy rovnice za nošení dříví do lesa. Každý pedagog v jeho okolí Maxwellovy rovnice přednáší, má je ve svých skriptech, nebo knižních publikacích.

Maxwellovy rovnice jsou samozřejmě obsaženy v mnohých publikacích jako východisko k řešení konkrétních technických aplikací. Mám na mysli zejména publikace z oblasti antén, nebo elektromagnetických polí a šíření vln. Naše publikace se věnuje výlučně Maxwellovým rovnicím a končí tam, kde výše uvedené publikace začínají.

Při výkladu látky jsem měl před očima hlavně „inženýrsky“ myslícího čtenáře, který vítá ilustraci textu a matematických výrazů pomocí obrázků. Metodiku výkladu lze shrnout následovně:

- 1) Uvedu názorný myšlenkový experiment, jehož výsledky lze snadno předpovědět na základě běžných znalostí dnešních čtenářů, nebo pojmů, které jsem objasnil v předešlém textu.
- 2) Uvedu argumenty pro zobecnění (indukci) výsledků myšlenkového experimentu a v hovorové řeči objasním fyzikální obsah příslušných pojmů a jejich souvislostí.
- 3) Zákony a rovnice (Maxwellovy) elektromagnetických polí odvodím přeložením hovorové řeči do řeči matematiky.

Značnou pozornost věnuji objasnění a ilustraci pojmů matematické řeči a to zejména operátorům gradient, divergence, rotace, nabla atd. To jsou pojmy, které představují největší překážku pochopení Maxwellových rovnic. Proto chci čtenáře nejdříve přesvědčit, že je účelné zavést příslušný operátor, protože tím výrazy dostanou stručnou formu a matematickou krásu. Dále pak operátor ilustruji obrázkem nebo algoritmem, s jehož pomocí lze operátor vyhodnotit.

Děkuji panu Liboru Kubicovi a jeho týmu za projevenou odvahu vydat tuto publikaci a za její přípravu do tisku, zejména panu Martinu Havlákoví za vlídnou spolupráci při autorských korekturách. Moje díky patří také panu ing. Janu Šístkovi za kvalifikované recenzní připomínky, které přispěly ke kvalitě díla.

L. Szántó

