

René Drtina - Jaroslav Lokvenc - Monika Křížová

Univerzita Hradec Králové, Pedagogická fakulta, Katedra technických předmětů
University of Hradec Králové, Faculty of Education, Department of Technical Subjects

Resumé: Článek přináší pohled na možnosti využití formálních analogií matematických výrazů ve výuce technických předmětů a jejich možný přínos pro rozvoj logického myšlení, systemizace poznatků a pro efektivnější přípravu studentů ke zkouškám z odborně-technicky zaměřených předmětů. Druhá část se zabývá využitím formálních analogií při řešení stejnosměrných, střídavých a magnetických obvodů.

Summary: The article presents a view of possibilities how to utilize the nominal consideration analogy of mathematical formulas in teaching technical subjects, and their facultative contribution to the development of logical thinking, systemization pieces of knowledge and to more effective students' preparation for exams from technical subjects. The second part deals with using formal analogies in behind-go solutions DC, AC and magnetic circuits.

V úvodním dílu jsme se pokusili vysvětlit pojem *formální analogie* a naznačit možnosti pro jejich využití ve výuce v technicky orientovaných oborech. Formální analogie, tedy podobnost matematických vztahů, většinou spočívá v tom, že vzorce nebo rovnice mají identický tvar a liší se jen označením veličin. Tentokrát se zaměříme na obvody stejnosměrného a střídavého proudu a na obvody magnetické. Technický pohled na tuto problematiku z větší části představuje elektrotechnika praktická a nikoliv teoretická. Vzhledem k tomu, že formální analogie aplikujeme ve vzdělávacím procesu budoucích pedagogů, je pro nás samozřejmostí, že musíme vycházet také z didaktického hlediska přiměřenosti a názornosti (předpokládáme, že naši absolventi budou učit na základních a středních školách, ne na elektrotechnických fakultách univerzit). Z toho důvodu omezíme popis problémů pomocí vyšší matematiky (pomocí integrálního počtu a diferenciálních rovnic) na nezbytné minimum.

PŘEHLED ZÁKLADNÍCH VELIČIN

V následujícím přehledu jsou uvedeny nejdůležitější veličiny, se kterými se setkáváme při běžných výpočtech v oblasti silových obvodů a nízkých frekvencí u střídavých proudů.

Jsou uvedeny běžně užívané názvy veličin, v závorkách jsou názvy užívané méně často. Jednotky odpovídají soustavě SI a jsou uvedeny v podobě používané v technické praxi. Doplnění, poznámky a vysvětlivky uvádíme samostatně ke každému přehledu veličin.

Stejnoseměrný proud

Tab.1 Veličiny pro stejnosměrné obvody

veličina technický název	značka	jednotka v technické praxi	poznámka
napětí	U	V	
elektromotorické napětí	U_e	V	
proud	I	A	
odpor (rezistance)	R	Ω	
měrný odpor (rezistivita)	ρ	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	1)
vodivost (konduktance)	G	S	
měrná vodivost	γ	$\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$	2)
výkon	P	W	
práce	W	J	3)
průřez vodiče	S	mm^2	
proudová hustota	J	A/mm^2	4)
délka vodiče	l	m	

Poznámky:

- 1) v technické praxi představuje odpor vodiče o délce 1 m a průřezu 1 mm², ve starších publikacích a v odborných příručkách je měrný odpor uváděn také ve tvaru Ω/m/mm²
- 2) konduktivita v technické praxi představuje délku vodiče, který má odpor 1 Ω při průřezu 1 mm²
- 3) značka také A nebo E, v energetice se běžně jako jednotka používá Wh (kWh, MWh, GWh)
- 4) často se používá i značka j

Střídavý proud**Tab.2 Veličiny pro střídavé obvody**

veličina technický název	značka	jednotka v technické praxi	poznámka
napětí	U	V	
napětí zdroje naprázdno	U ₀	V	
proud	I	A	
odpor (rezistance)	R	Ω	
kmitočet (frekvence)	f	Hz	
kruhová frekvence	ω	rad/s	
perioda	T	s	
reaktance (zdánlivý odpor)	X	Ω	
impedance	Z	Ω	
admitance	Y	S	
měrný odpor (rezistivita)	ρ	Ω·mm ² /m	1)
vodivost (konduktance)	G	S	
susceptance	B	S	5)
měrná vodivost	γ	m/Ω·mm ²	2)
indukčnost	L	H	
kapacita	C	μF	6)
výkon - činný - zdánlivý - jalový	P	W	
	S	VA	
	Q	VA _r	
fázový úhel	φ	°	7)
účinnost	cosφ	-	
práce	W	J	3)
průřez vodiče	S	mm ²	
proudová hustota	J	A/mm ²	4)8)
délka vodiče	l	m	

Poznámky:

- 1) v technické praxi představuje odpor vodiče o délce 1 m a průřezu 1 mm², ve starších publikacích a v odborných příručkách je měrný odpor uváděn také ve tvaru Ω/m/mm²
- 2) konduktivita v technické praxi představuje délku vodiče, který má odpor 1 Ω při průřezu 1 mm²
- 3) značka také A nebo E, v energetice se běžně jako jednotka používá Wh (kWh, MWh, GWh)

- 4) často se používá i značka j
- 5) zdánlivá vodivost (imaginární složka admitance)
- 6) μF je v technické praxi nejpoužívanější jednotka kapacity (kondenzátory kompenzační, rozběhové, fázovací ...), v oblasti radioelektroniky bývá nejpoužívanější jednotkou kapacity pF a nF
- 7) pro výpočty se fázový úhel vyjadřuje obvykle v radiánech
- 8) j se také používá jako imaginární jednotka

Magnetický obvod**Tab.3 Veličiny pro magnetické obvody**

veličina technický název	značka	jednotka v technické praxi	poznámka
magnetomotorické napětí	F _m	Az	9)
proud	I	A	
počet závitů	N	z	10)
magnetický odpor (reluktance)	R _m	Az/Wb	11)
magnetická vodivost	Γ	Wb/Az	12)
indukční tok (magnetický tok)	Φ	Wb	
magnetická intenzita	H	A/m	
magnetická indukce	B	T	
permeabilita - vakua - relativní - absolutní	μ ₀	H/m	13)
	μ _r	-	
	μ	H/m	14)
průřez (plocha) jádra	S	cm ²	15)
délka střední siločáry	l _s	cm	16)

Poznámky:

- 9) též magnetické napětí nebo magnetomotorická síla (ve starší literatuře), značka také F, \mathcal{F} , \mathcal{M} nebo MMS
- 10) v technické praxi často značeno n
- 11) jednotka magnetického odporu Az/Wb = H⁻¹ odpovídá převrácené hodnotě jednotky indukčnosti [1/henry], používá se z důvodu názornosti (zdůraznění tokového charakteru)
- 12) v technické praxi Γ nebo Γ_m [3], podle ISO 31-5 značka Λ_m nebo G_m, jednotka magnetické vodivosti Wb/Az odpovídá jednotce indukčnosti H [henry] a používá se z důvodu názornosti, pro odlišení od indukčnosti a zdůraznění tokového charakteru
- 13) μ₀ = 4π · 10⁻⁷ H/m = 1,257 · 10⁻⁶ H/m
- 14) μ = μ₀ · μ_r
- 15) průřez železových jader se obvykle značí S_{Fe}, kde S_{Fe} je tzv. "čistý průřez železa"
- 16) délka siločáry se obvykle běžně označuje indexem prostředí, jímž siločára prochází, například l_{Fe} pro železové jádro a l_v (l_{vzd}) pro vzduchovou mezeru (pro šířku vzduchové mezery se v praxi používá označení d, potom l_v = d).

"PÍSMENKOVÝ" PROBLÉM

Omezený počet alfanumerických znaků způsobuje, že se pro označení různých veličin používají stejná písmena. Ta jsou často použita také jako značky jednotek u jiných veličin. Jen pro ilustraci uvedeme některé z mnoha příkladů.

Tab.4 Příklady více významů stejné značky

značka	jako veličina	jako jednotka
S	plocha (průřez vodiče, jádra) zdánlivý výkon proudová hustota Poityngův vektor	Siemens
J	proudová hustota magnetická polarizace moment setrvačnosti Massieuova funkce	Joule
Q	jalový výkon elektrický náboj činitel jakosti množství tepla	
T	perioda (čas) absolutní teplota	Tesla
B	magnetická indukce susceptance	Bell

Při výpočtech a odvozování, tj. při práci s veličinami a jednotkami, je proto nutné pod danou značkou vždy vidět konkrétní veličinu pro příslušnou technickou či vědní oblast nebo jednotku některé z veličin.

ZÁKLADNÍ VZTAHY

Základní vztahy (vzorce), které platí pro elektrické a magnetické obvody uvedeme dále bez odvození. Přednostně uvedeme ty, mezi nimiž můžeme najít formální analogie, včetně vztahů (2) až (7) z úvodního článku. U všech vztahů také platí shoda rozměrů levé a pravé strany.

Stejnoseměrný proud

Základním zákonem elektrotechniky je Ohmův zákon

$$I = \frac{U}{R} = U \cdot G \quad (9)$$

Další vztahy:

$$\text{odpor vodiče} \quad R = \rho \cdot \frac{l}{S} = \frac{l}{\gamma \cdot S} \quad (10)$$

$$\text{elektrický výkon} \quad P = U \cdot I \quad (11)$$

$$\text{elektrická práce} \quad W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t \quad (12)$$

$$\text{proudová hustota} \quad J = \frac{I}{S} \quad (13)$$

pokud proudová hustota není konstantní v celé ploše průřezu vodiče, potom platí

$$I = \int_S j \cdot dS \quad (14)$$

Střídavý proud

V obvodech střídavého proudu platí v podstatě stejné vztahy jako v obvodech stejnosměrných, rozdíl je v tom, že některé veličiny jsou vektory v Gaussově rovině:

$$\text{impedance} \quad \bar{Z} = R + jX \quad (15)$$

$$\text{admitance} \quad \bar{Y} = \frac{1}{\bar{Z}} = G + jB \quad (16)$$

$$\text{zdánlivý výkon} \quad \bar{S} = P + jQ \quad (17)$$

Ohmův zákon pro střídavé obvody můžeme vyjádřit buď ve vektorovém tvaru (obecně)

$$\bar{I} = \frac{\bar{U}}{\bar{Z}} = \bar{U} \cdot \bar{Y} \quad (18a)$$

nebo můžeme \bar{U} nahradit U (protože v převážné většině případů považujeme \bar{U} za reálné) a Ohmův zákon potom píšeme ve tvaru

$$\bar{I} = \frac{U}{\bar{Z}} = U \cdot \bar{Y} \quad (18b)$$

Pokud chceme pouze velikost proudu, použijeme pro výpočet modul impedance/admitance

$$I = \frac{U}{Z} = U \cdot Y \quad (18c)$$

vztahy (10), (13) a (14) pro výpočet odporu vodiče a proudovou hustotu se nemění.

Elektrický výkon:

$$\text{zdánlivý} \quad S = U \cdot I \quad (19a)$$

$$\text{činný} \quad P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (19b)$$

$$\text{jalový} \quad Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (19c)$$

Elektrická práce:

$$\text{činná energie} \quad W = P \cdot t \quad (20)$$

$$\text{jalová energie} \quad W_Q = Q \cdot t \quad (21)$$

Porovnáme-li vztahy (2)↔(4), (3)↔(5) úvodní části a dále (9)↔(18), (11)↔(19) a (12)↔(20), vidíme, že jsou prakticky identické a to nejen formálně, ale i významem. Lze rovněž odvodit platnost prvního a druhého Kirchhoffova zákona v obvodu střídavého proudu, stejně jako lze odvodit formální i významovou analogii v jejich matematickém vyjádření. Jediný rozdíl je v tom, že místo odporu dosazujeme impedanci a veličiny uvažujeme jako vektory v Gaussově rovině.

1. Kirchhoffův zákon pro stejnosměrný proud

$$\sum_k I_k = 0 \quad (22a)$$

1. Kirchhoffův zákon pro střídavý proud

$$\sum_k \bar{I}_k = 0 \quad (22b)$$

2. Kirchhoffův zákon pro stejnosměrný proud

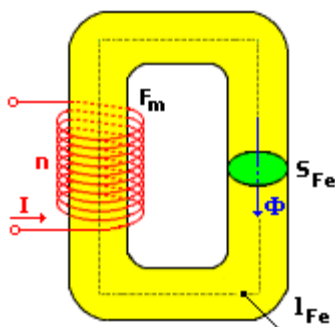
$$\sum_k U_k = 0 \quad (23a)$$

2. Kirchhoffův zákon pro střídavý proud

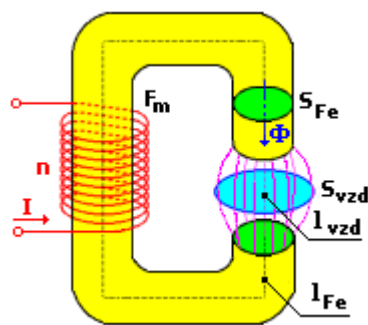
$$\sum_k \bar{U}_k = 0 \quad (23b)$$

Magnetický obvod

Magnetické obvody bývají obvykle realizovány na uzavřených jádrech z magneticky vodivých materiálů (obr.5) nebo na jádrech přerušovaných vzduchovou mezerou (obr.6). Použité materiály patří buď mezi klasická feromagnetika (dynamový plech, ortoperm, trafoker, permaloy atd.) nebo se jedná o spékané a lisované práškové hmoty (železoprachová nebo feritová jádra atd.).



Obr.5 Schéma uzavřeného magnetického obvodu



Obr.6 Schéma magnetického obvodu se vzduchovou mezerou

U feromagnetických jader se vzduchovou mezerou dochází v důsledku změny permeability prostředí z $\mu_0 \mu_r$ na μ_0 k rozptylu magnetického pole. V závislosti na velikosti vzduchové mezery l_{vzd} se mění činitel rozptylu k , který zdánlivě zvětšuje průřez vzduchové mezery na hodnotu $S_{vzd} = k \cdot S_{Fe}$. (pozn.aut.)

Na jádru je budící vinutí, které v něm vyvolává magnetický (indukční) tok. Budící vinutí je zdrojem tzv. magnetomotorického napětí

$$F_m = n \cdot I \quad (24)$$

Fyzikální jednotkou magnetomotorického napětí je ampér [A]. Pro rozlišení jednotek elektrického proudu a magnetomotorického napětí se proto v technické praxi používá pro magnetomotorické napětí jednotka ampérvávit [Az]. (pozn.aut.)

Základním zákonem pro magnetické obvody je Hopkinsonův zákon

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m} = F_m \cdot \Gamma \quad (25)$$

Další vztahy:

magnetický odpor (pro homogenní materiál)

$$R_m = \frac{1}{\mu_0 \cdot \mu_r} \cdot \frac{l_s}{S} \quad (26)$$

magnetická vodivost

$$\Gamma = \frac{1}{R_m} \quad (27)$$

magnetická indukce (hustota indukčního toku)

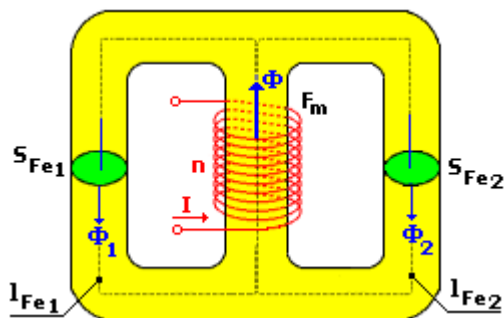
$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (28)$$

pokud magnetická indukce není po celé ploše průřezu jádra konstantní, potom platí

$$\Phi = \int_S B \cdot dS \quad (29)$$

Prochází-li indukční tok jádrem s proměnným průřezem, obvodem složeným z různých magnetických (i jiných) materiálů, či jejich kombinací, je výsledný magnetický odpor

$$R_m = \sum_k R_{mk} \quad (30)$$



Obr.7 Schéma magnetického obvodu s děleným indukčním tokem

V případech, že zdroj magnetomotorického napětí je společný pro více magnetických obvodů řazených paralelně (obr.7), dělí se indukční tok Φ zdrojové části do jednotlivých větví.

V bezrozptylových obvodech potom platí

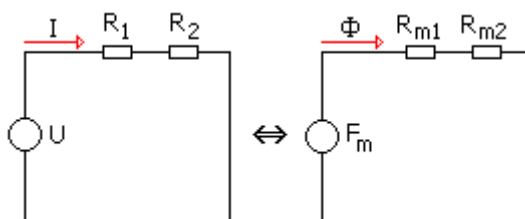
$$\Phi = \sum_k \Phi_k \quad (31)$$

a

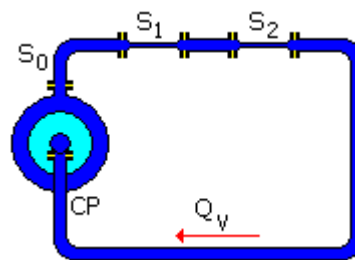
$$\Gamma = \sum_k \Gamma_k \quad (32)$$

SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ

Formální analogie nalezneme i ve schématickém znázornění elektrických a magnetických obvodů. Magnetický obvod můžeme znázornit pomocí elektrického schématu, oba obvody lze znázornit také s využitím hydraulické analogie (obr.8a, 8b).

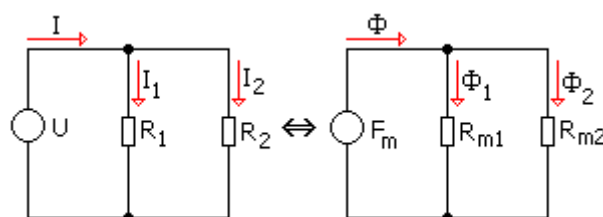


Obr.8a Elektrický a magnetický sériový obvod

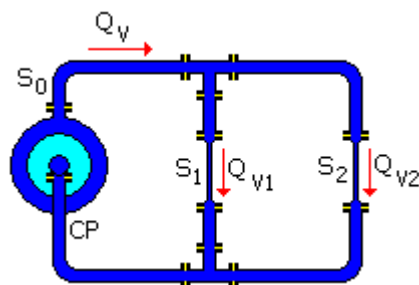


Obr.8b Uzavřený hydraulický okruh

Čerpadlo (CP) reprezentuje zdroj elektromotorického nebo magnetomotorického napětí. Pro jednoduchost předpokládejme laminární proudění neviskózní kapaliny s konstantní rychlostí proudění v celém průřezu potrubí.



Obr.9a Elektrický a magnetický větvený obvod



Obr.9b Rozvětvený hydraulický okruh

Oba modely musí splňovat rovnici spojitosti toku (1. Kirchhoffův zákon), jejíž podmínkou je konstantní objemový tok ($Q_v = \text{const}$) i Bernoulliho rovnici (2. Kirchhoffův zákon). Využití hydraulické analogie pro elektrické i magnetické obvody ukazuje, že v obou případech jde o sledování toků, a to nezávisle na odlišné vlastní fyzikální podstatě jevů, kterou nalezneme v řešení Maxwellových rovnic. Pro elektrické pole platí, že

$$\text{div } D = \rho \quad (33)$$

Elektrické pole je tzv. zřídlové, z technického hlediska jeho siločáry začínají na kladném pólu zdroje, procházejí obvodem a končí na pólu záporném. Naproti tomu je magnetické pole vírové (nezřídlové), pro které platí, že

$$\text{div } B = 0 \quad (34)$$

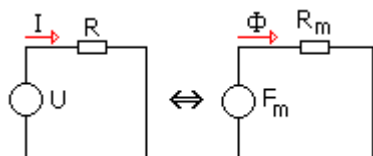
Magnetické siločáry jsou vždy uzavřené, nikde nezačínají ani nekončí, a zdrojem magnetomotorického napětí plynule procházejí.

*Ve výše uvedeném popisu jsme použili maximální možné zjednodušení ve vztahu k hydraulické analogii. Podrobný fyzikální výklad teorie elektrických a magnetických polí lze najít např. v publikacích Fuka-Havelka: *Elektřina a magnetismus* [3] nebo Horák-Krupka: *Technická fyzika* [4]. Popis diferenciálního operátoru (divergence), a jeho významu, přesahuje rámec tohoto článku.*

(pozn.aut.)

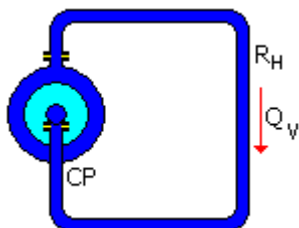
FORMÁLNÍ ANALOGIE V ELEKTRICKÝCH A MAGNETICKÝCH OBVODECH

Zjednodušíme schématický obvod z obr.8a tak, aby elektrická část odpovídala Ohmovu a magnetická část Hopkinsonovu zákonu (obr.10)



Obr.10 Základní schématické obvody

Analogický hydraulický okruh je tvořen pouze čerpadlem a spojovacím potrubím s hydraulickým odporem R_H (obr.11).



Obr.11 Jednoduchý hydraulický obvod

Porovnáme-li vztahy (9)↔(25), je zřejmé, že čím je Ohmův zákon pro obvody elektrické, tím je Hopkinsonův zákon pro obvody magnetické.

$$I = \frac{U}{R} \leftrightarrow \Phi = \frac{F_m}{R_m}$$

Ve srovnání s hydraulickým obvodem potom můžeme vytvořit formální analogii, kdy tok (velikost toku) je přímo úměrný přetlaku (napětí, budící síle*) a nepřímo úměrný odporu prostředí, kterým prochází.

$$\text{velikost toku} = \frac{\text{přetlak}}{\text{odpor prostředí}}$$

**) Budící silou je zde v uvedeném významu míněna magnetomotorická síla (MMS) v magnetických obvodech - tab.3, poznámka 9).*

(pozn.aut.)

Další formální analogii nalezneme ve výpočtu odporu prostředí, kterým se toky šíří, vztahy (10)↔(26).

$$R = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{S} \leftrightarrow R_m = \frac{1}{\mu_0 \cdot \mu_r} \cdot \frac{l_s}{S}$$

Z porovnání je zřejmé, že permeabilita (součin $\mu_0 \cdot \mu_r$) reprezentuje měrnou magnetickou vodivost magnetického obvodu a je analogií měrné vodivosti γ . Hodnota $1/(\mu_0 \cdot \mu_r)$ je potom analogií měrného odporu elektrického vodiče ρ .

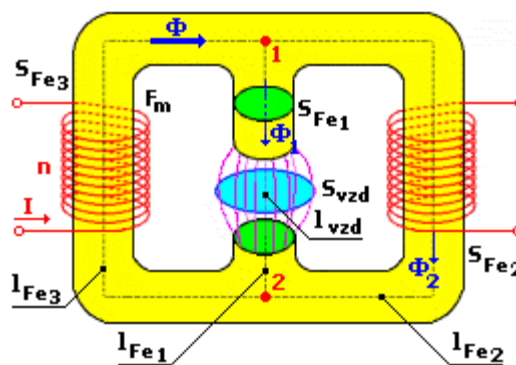
Formálně i významově stejné jsou vztahy pro výpočet hustoty toku, proudová hustota a magnetická indukce (13)↔(28) a (14)↔(29), vztahy pro výpočet celkového odporu (2)↔(4)↔(30) a vodivosti (3)↔(5)↔(32) prostředí, kterým tok prochází.

Zavedeme-li do výpočtů magnetických obvodů oběhové magnetické napětí [3]

$$H \cdot l_s = \Phi \cdot R_m \quad (35)$$

můžeme v rámci formálních analogií využívat i II. Kirchhoffův zákon.

Ukažme si aplikaci formálních analogií na příkladu výpočtu magnetických toků v nezátíženém rozptylovém transformátoru (obr.12)



Obr.12 Schématické znázornění rozptylového transformátoru

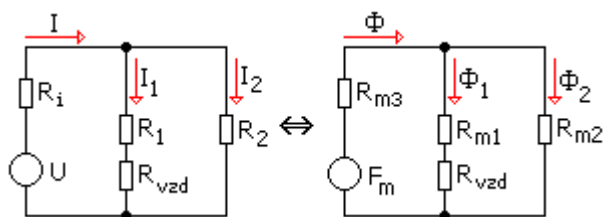
Rozptylový transformátor představuje větvený magnetický obvod podle schématu na obr.9a. Formálně ho můžeme rozdělit (podobně jako ekvivalentní elektrické schéma) na tři magnetické obvody, jejichž styčnými body jsou uzly 1 a 2 (označeny červenou tečkou):

1) zdroj magnetomotorického napětí F_m s průřezem jádra S_{Fe3} a délkou střední siločáry l_{Fe3} (od bodu 2 do bodu 1 - směrem vlevo).

2) pracovní (výstupní) část s průřezem jádra S_{Fe2} a délkou střední siločáry l_{Fe2} (od bodu 1 do bodu 2 - směrem vpravo).

3) magnetický bočník (spojka mezi body 1 a 2 - shora dolů) s průřezem S_{Fe1} , s délkou střední siločáry l_{Fe1} , který je přerušen vzduchovou mezerou l_{vzd} .

Schématické znázornění magnetického obvodu a analogické elektrické schéma je na obr.13.



Obr.13 Analogický elektrický a magnetický obvod pro rozptylový transformátor

Vypočítáme magnetické odpory jednotlivých větví: $R_{m1} + R_{vzd}$, R_{m2} a R_{m3} podle vztahu (26).

$$R_{m1} + R_{vzd} = \frac{1}{\mu_0 \cdot \mu_r} \cdot \frac{l_{Fe1}}{S_{Fe1}} + \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{l_{vzd}}{k \cdot S_{Fe1}}$$

po úpravě

$$R_{m1} + R_{vzd} = \frac{1}{\mu_0 \cdot S_{Fe1}} \cdot \left(\frac{l_{Fe1}}{\mu_r} + \frac{l_{vzd}}{k} \right)$$

kde k je tzv. činitel rozptylu ($k > 1$), který představuje zvětšení efektivního průřezu vzduchové mezery, kterým prochází magnetický tok Φ_1 .

$$S_{vzd} = k \cdot S_{Fe} \quad (36)$$

$$R_{m2} = \frac{1}{\mu_0 \cdot \mu_r} \cdot \frac{l_{Fe2}}{S_{Fe2}}$$

$$R_{m3} = \frac{1}{\mu_0 \cdot \mu_r} \cdot \frac{l_{Fe3}}{S_{Fe3}}$$

V praxi se pro konstrukci rozptylových transformátorů běžně používají jádra, pro která platí, že $l_{Fe2} = l_{Fe3}$ a $S_{Fe2} = S_{Fe3}$. Potom také $R_{m2} = R_{m3}$.

(pozn.aut.)

Celkový magnetický odpor bude

$$R_m = R_{m3} + ((R_{m1} + R_{vzd}) \parallel R_{m2})$$

Protože oběhové magnetické napětí mezi body 1 a 2 musí být pro všechny, k nim navázané, magnetické obvody stejné, rozdělí se indukční tok Φ na toky Φ_1 a Φ_2 v poměru magnetických vodivostí Γ_1 a Γ_2 tak, že platí

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$$

$$\frac{\Phi_1}{\Gamma_1} = \frac{\Phi_2}{\Gamma_2} \Rightarrow \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{\Gamma_1}{\Gamma_2}$$

Při řešení ekvivalentního elektrického obvodu (obr.13) bude celkový elektrický odpor

$$R_{TOT} = R_i + ((R_1 + R_{vzd}) \parallel R_2)$$

a pro proudy I , I_1 , I_2 , platí

$$I = I_1 + I_2$$

$$\frac{I_1}{G_1} = \frac{I_2}{G_2} \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{G_1}{G_2}$$

ZÁVĚR KE DRUHÉ ČÁSTI

Jak vyplývá z výše uvedených srovnání, můžeme použít stejné postupy nejen pro řešení stejnosměrných a střídavých elektrických obvodů, ale i pro řešení obvodů magnetických.

Formální analogie zavádíme do výuky elektrotechnických předmětů zejména v rámci opakovacích cvičení před přípravou na předmětové zkoušky a také v rámci opakovacích seminářů pro přípravu na státní závěrečné zkoušky. Pokud se student učí mechanicky otázku za otázkou a vzorce bere jako určitá fakta bez dalších vazeb a pochopení jejich významu, učí se některé věci i třikrát. Formální analogie naopak vyžadují pochopení podstaty problému a způsobu jeho řešení. Student pracuje v souvislostech a takto získané poznatky vytvářejí logickou a trvanlivější strukturu znalostí. Jestliže si studenti osvojí princip formálních analogií a naučí se je aplikovat, ušetří v průběhu přípravy na zkoušku u některých témat až 50 % času.

V žádném případě nechceme snižovat význam teoretických disciplín. Domníváme se však, že inženýrsko-pedagogický přístup k formálním analogiím může pro studenty učitelství přinést vyšší efektivitu studia a přípravy na zkoušky. Podle našich dosavadních zkušeností a zpětné vazby od studentů jsou formální analogie přijímány a hodnoceny většinou kladně. Pro získání relevantních výsledků musíme počkat, až se nashromáždí větší počet odpovědí studentů, kteří absolvovali povinné a povinně volitelné předměty elektrotechnického zaměření a podle studijního plánu tak prošli od třetího do pátého ročníku.

Použité zdroje

- [1] ČSN ISO 31-0. *Veličiny a jednotky. Část 0: Všeobecné zásady*. ČNI. Praha. 1994.
- [2] ČSN ISO 31-5. *Veličiny a jednotky. Část 5: Elektřina a magnetismus*. ČNI. Praha. 1995.
- [3] FAKTOR, Z. *Transformátory a cívky*. BEN, Praha. 1999. ISBN 80-86056-49-X.
- [4] FUKA J. - HAVELKA B. *Elektřina a magnetismus*. SPN. Praha. 1979.
- [5] HORÁK, Z. - KRUPKA F. *Fyzika*. SNTL - ALFA. 1981.
- [6] KRATOCHVÍL, C. a kol. *Simulace dynamických soustav - část 5. Využití elektroanalogie při analýze a modelování dynamických vlastností mechanických soustav*. Brno, VUT, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, 2006.
- [7] MELEZINEK, A. *Ingenierpädagogik*. 4. přepracované vydání. Springer-Verlag. Wien - New York. 1999. ISBN 3-211-83305-6.
- [8] RAUNER, K. *Vodní analogie elektrického proudu*. Plzeň, ZČU, Pedagogická fakulta, Školská fyzika, roč.6. ISSN 1211-151.
- [9] Wikipidie. *Analogie*. [cit. 2009-12-12] Dostupný z www <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Analogie>>

Kontaktní adresy

PaedDr. René Drtina, Ph.D
doc. Ing. Jaroslav Lokvenc, CSc.
Mgr. Monika Křížová

e-mail: rene.drtina@uhk.cz
e-mail: jaroslav.lokvenc@uhk.cz
e-mail: monika.krizova@uhk.cz