

Trojfázové obvody v ustáleném neharmonickém stavu

Michal Macenauer¹

¹Katedra teoretické elektrotechniky, FEI, VŠB–Technická Univerzita Ostrava, 17. listopadu 15,
708 33, Ostrava-Poruba
m.macenauer@tiscali.cz

Abstrakt. Článek seznamuje čtenáře s problematikou, které se věnuji v rámci doktorského studia, seznamuje s obsahem dvou příspěvků na odborných konferencích a dále s vizí a mými budoucími aktivitami.

Klíčová slova: integrální transformace, obvody parametry, jalový výkon, energie, elektromagnetický jev

1 Úvod

Problémy s definicí jalového výkonu, které vyvstávají tehdy, pohybujeme-li se v prostoru střídavých neharmonických periodických průběhů napětí a proudů, řeší svým způsobem nová metoda integrální transformace střídavých neharmonických periodických funkcí, vytvořená na pracovišti katedry teoretické elektrotechniky. Příspěvky, které jsem prezentoval na dvou odborných konferencích, se zabývají problematikou určení parametrů elektromagnetického jevu dle nové metody integrální transformace a dále se zabývají určením výkonů a energií.

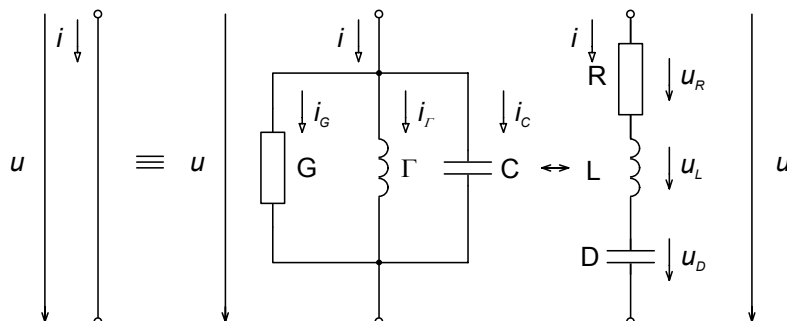
2 Nová metoda integrální transformace

Podle této teorie je rozlišováno šest obvody parametrů (na rozdíl od běžných čtyřech). Jsou to $R(\Omega)$ odpor, $G(S)$ vodivost, $L(H)$ indukčnost, $\Gamma(H^{-1})$ inverzní indukčnost, $C(F)$ kapacita a $D(F^{-1})$ inverzní kapacita.

Použití šesti parametrů místo obvyklých čtyřech je oddůvodněno například v literatuře [4]. Šest obvody parametrů je definováno důslednou aplikací tří základních fyzikálních principů, které se dotýkají teorie obvodů:

- Ohmův zákon
- Indukční zákon
- Rovnice kontinuity

Elektromagnetický jev (veškeré děje v elektrických obvodech, kterým odpovídá určitý ustálený průběh napětí a proudu) se dle výše zmíněné teorie modeluje sériovým či paralelním zapojením ideálních obvody parametrů, tedy jedním ze zapojení dle následujícího schématu:



Obr.1. Model elektromagnetického jevu.

Parametry sériového modelu jsou R , L , D a parametry paralelního modelu G , C , Γ . Tyto parametry určíme na základě znalosti průběhů napětí a proudů jedné periody ať už jsme tyto průběhy získali měřením či jsme je přímo zadali.

Následující rovnice reprezentují dva Kirchhoffovy zákony, přičemž rovnice (1) modeluje sériové zapojení ideálních prvků a rovnice (2) paralelní. Čárkou jsou označeny časové derivace průběhů, křížkem časové integrály.

$$u_R + u_L + u_D = Ri + Li' + Di^x = u \quad (1)$$

$$i_G + i_C + i_\Gamma = Gu + Cu' + \Gamma u^x = i \quad (2)$$

Z rovnic (1) a (2) byly odvozeny samotné obvodové parametry. Při jejich výpočtu je využito integrálu součinu dvou časových funkcí – skalárního součinu dvou funkcí.

3 Určení parametrů elektromagnetického jevu aplikací fourierovy řady

Tento příspěvek byl přednášen na konferenci „Moderní matematické metody v inženýrství“, Dolní lomná u Jablunkova, 2.-4. června 2003. Zde uvádím pouze jeho zkrácenou verzi.

Z teorie integrálních transformací je známo, že jakýkoliv periodický signál, můžeme aproximovat Fourierovou řadou tehdy, vyhovuje-li tento signál Dirichletovým podmínkám.

V případě, kdy jsme zadali průběhy napětí a proudu (můžeme si myslet, že jsme průběhy napětí a proudu naměřili v reálném obvodu a tyto dále rozvinuli ve Fourierovy řady) budou napětí a proud dány například těmito rovnicemi:

$$u = \sqrt{2} \cdot (10 \sin \omega t + 5 \sin 2\omega t) + \sqrt{2} \cdot (-10 \cos \omega t + 5 \cos 2\omega t) \quad (3)$$

$$i = \sqrt{2} \cdot (10 \sin \omega t + 5 \sin 2\omega t) \quad (4)$$

Volba těchto konkrétních průběhů není náhodná, proud a napětí jsou zadány tak, aby se výpočet pokud možno zjednodušil.

V souladu s již výše zmiňovanou novou metodou integrální transformace byly v článku – příspěvku odvozeny vztahy pro výpočet samotných parametrů elektromagnetického jevu a byly vypočteny konkrétní hodnoty pro zadané průběhy proudu a napětí.

Zde uvádím pouze vztahy pro výpočet parametrů, podrobněji je postup odvození uveden v literatuře [1] a [3].

$$R = \frac{(u, i)}{(i, i)} \quad (5)$$

$$L = \frac{(u, i') \cdot (i^x, i^x) + (u, i^x) \cdot (i, i)}{(i', i') \cdot (i^x, i^x) - (i, i)^2} \quad (6)$$

$$D = \frac{(u, i') \cdot (i, i) + (u, i^x) \cdot (i', i')}{(i', i') \cdot (i^x, i^x) - (i, i)^2} \quad (7)$$

$$G = \frac{(i, u)}{(u, u)} \quad (8)$$

$$C = \frac{(i, u') \cdot (u^x, u^x) + (i, u^x) \cdot (u, u)}{(u', u') \cdot (u^x, u^x) - (u, u)^2} \quad (9)$$

$$\Gamma = \frac{(i, u') \cdot (u, u) + (i, u^x) \cdot (u', u')}{(u', u') \cdot (u^x, u^x) - (u, u)^2} \quad (10)$$

Závorky v tomto případě označují skalární součin dvou časových funkcí na době jedné periody.

4 Three-phase circuits in inharmonic steady state calculation example

Tento příspěvek byl přednášen na konferenci „Transcom 2003“, Žilina – Slovenská republika, 23.-25. června 2003. Zde uvádím pouze jeho zkrácenou českou verzi.

V článku – příspěvku je předveden konkrétní postup výpočtu parametrů elektromagnetického jevu, výpočet výkonů a energií, to vše v souladu s novou výkonovou teorií, vytvořenou na pracovišti katedry teoretické elektrotechniky.

Pro konkrétní průběhy proudu a napětí byly vyčísleny hodnoty parametrů sériového a paralelního modelu.

Je důležité si uvědomit, že pro skutečné sériové či paralelní řazení prvků, obdržíme výpočtem jejich skutečné hodnoty. Pro jakékoliv jiné (sérioparalelní) řazení obdržíme výpočtem pouze hodnoty parametrů náhradního zapojení – modelu.

Pouze jedno ze zapojení (sériové či paralelní) může být korektním modelem skutečného el.mag. jevu, proto je prováděna kontrola korektnosti modelů. To se provádí tak, že se vyčíslí efektivní hodnota skutečného průběhu obvodové veličiny (napětí či proudu) a potom hodnota průběhu složeného z příspěvků na jednotlivých ideálních prvcích modelu. Souhlasí-li hodnoty proudu, je korektním model paralelní (sčítají se proudy větvemi), souhlasí-li napětí, je korektní model sériový (sčítají se napětí na prvcích).

Po provedení testu linearity (hodnoty parametrů jsou lineární pouze tehdy, vyhovují-li rovnicím (1) a (2) v každém časovém okamžiku) jsou vypočteny výkony na jednotlivých prvcích korektního modelu a výkon celkový:

$$p = i \cdot u \qquad P = I \cdot U \qquad (11)$$

$$p_R = i \cdot u_R = R \cdot i \cdot i \qquad P_R = R \cdot I \cdot I = I \cdot U_R \qquad (12)$$

$$p_L = i \cdot u_L = L \cdot i \cdot i' \qquad P_L = L \cdot I \cdot I' = I \cdot U_L \qquad (13)$$

$$p_D = i \cdot u_D = D \cdot i \cdot i^x \qquad P_D = D \cdot I \cdot I^x = I \cdot U_D \qquad (14)$$

Malými písmeny jsou označeny časové průběhy, velkými efektivní hodnoty.

V souladu s novou výkonovou teorií jsou v příspěvku vypočteny energie jednotlivých prvků a celkové energie, neboť jsme toho názoru, že stav hmoty je nejobecněji definován pomocí energií.

Pro korektní model je stanovena energie elektrická:

$$w_{el.} = \int p_D \cdot dt = \int D \cdot i \cdot i^x \cdot dt = \int D \cdot i \cdot \frac{di^x}{dt} \cdot dt = \frac{1}{2} \cdot D \cdot (i^x)^2 \qquad (15)$$

magnetická:

$$w_{mag.} = \int p_L \cdot dt = \int L \cdot i \cdot i' \cdot dt = \int L \cdot i \cdot \frac{di}{dt} \cdot dt = \frac{1}{2} \cdot L \cdot (i)^2 \qquad (16)$$

elektromagnetická:

$$w = w_{el.} + w_{mag.} = \frac{1}{2} \cdot \left(D \cdot (i^x)^2 + L \cdot (i)^2 \right) \quad (17)$$

a aktivní složka energie – práce, která odpovídá energii vyzářené, nevratně přeměněné v teplo:

$$w_p = \int p_p \cdot dt = R \cdot i^2 \cdot t \quad (18)$$

5 Závěr

V příspěvku seznamuji s oblastí mého zájmu, s náplní mého doktorského studia. Dva články, přednesené na odborných konferencích pojednávají o problémech spojených s určováním činného a jalového výkonu pro neharmonické průběhy proudu a napětí a seznamují odbornou veřejnost a novou metodou integrální transformace střídavých neharmonických periodických průběhů a s novým způsobem výpočtu výkonů.

Ve svém dalším studiu se budu nadále zabývat touto výkonovou teorií, přičemž v nejbližší době vytvoříme společně s kolegou Ing.Přemyslem Šolcem měřicí aplikaci v grafickém programovacím prostředí LabVIEW, která bude automaticky měřit průběhy proudů a napětí a která pomocí svých nadstaveb bude tyto průběhy zpracovávat, přičemž výsledkem budou konkrétní požadované hodnoty, ať už obvodových parametrů či výkonů a energií

Reference

1. Macenauer.M. Trojfázové obvody v neharmonickém ustáleném stavu – příklad výpočtu. *XXI.sešit katedry teoretické elektrotechniky*. Ostrava - 12.2. 2003
2. Šolc.P., Macenauer.M..*Three-phase circuits in inharmonic steady state calculation example*. Sborník konference Transcom 2003 - Žilina
3. Kijonka.J.,Macenauer.M.Určení parametrů elektromagnetického jevu aplikací fourierovy řady. Sborník konference 3μ - ostrava 2003
4. Kijonka.J..*Trojfázové obvody v neharmonickém ustáleném stavu* .Ostrava 2003

Annotation:

Three-phase circuits in inharmonic steady state

This work „Three-phase circuits in inharmonic steady state – calculation example” describes power theory VŠB – TUO, illustrates calculation of unknown value of circuit parameters, electromagnetic power and energy.