

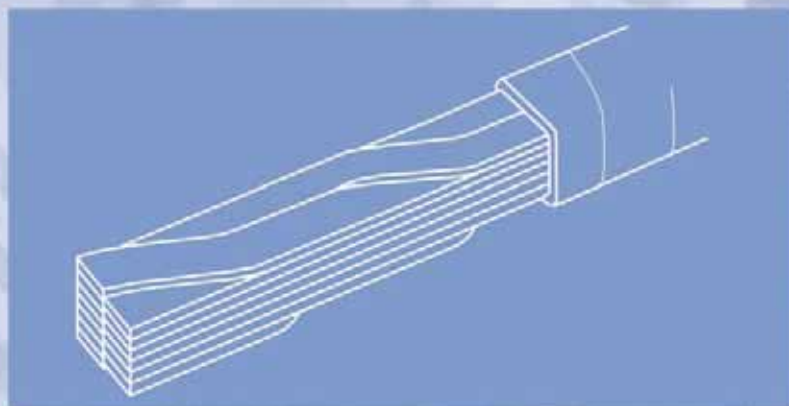
Kvalita elektrické energie - průvodce



Harmonické

3.5.2

Volba a dimenzování transformátorů



HUNGARIAN COPPER
PROMOTION CENTRE



Harmonické

Harmonické

Část 3.4.1. Harmonické - Volba a dimenzování transformátorů

Autoři: Prof Jan Desmet, Hogeschool West-Vlaanderen & Gregory Delaere, Labo Lemcko November 2005

Překlad: Josef Gavlas, Petr Krejčí, Pavel Santarius, FEI Technická univerzita Ostrava, leden 2006



Tento Průvodce byl vytvořen v rámci programu Leonardo Power Quality Initiative (LPQI), což je evropský vzdělávací program podporovaný Evropskou komisí (v rámci programu Leonardo da Vinci) a Mezinárodní asociací mědi (International Copper Association). Více informací naleznete na www.lpqi.org.

Hungarian Copper Promotion Centre (HCPC)

HCPC je nezisková organizace financovaná producenty mědi a výrobci zpracovávajícími měď. Jejím cílem je podporovat používání mědi a měděných slitin a napomáhat jejich správné a účinné aplikaci. Služby HCPC, mezi něž patří i poskytování informací a technického poradenství, jsou dostupné zájemcům o využití mědi ve všech oborech. Sdružení rovněž slouží jako prostředník mezi výzkumnými organizacemi a průmyslovými uživateli a udržuje těsné styky s obdobnými středisky mědi ve světě.

Fakulta elektrotechniky a informatiky VŠB Technická univerzita Ostrava (FEI - TUO)

Fakulta elektrotechniky a informatiky zahájila svou činnost na VŠB Technické univerzitě v Ostravě od 1. ledna 1991. Fakulta zajišťuje všechny formy vysokoškolského studia (tj. bakalářské, magisterské a doktorské) ve studijním programu Elektrotechnika a informatika s ucelenou strukturou elektrotechnických oborů a inženýrské informatiky. Nedílnou součástí činností pedagogů na fakultě je i vědecko-výzkumná činnost, kde jedním z nosných programů je kvalita elektrické energie s hlavním zaměřením na problematiku monitorování parametrů kvality a na problematiku harmonických v elektrických sítích.

European Copper Institute (ECI)

European Copper Institute je organizací založenou podporujícími členy ICA (International Copper Association) a IWCC (International Wrought Copper Council). ECI zastupuje největší světové producenty mědi a přední evropské výrobce při propagaci mědi v Evropě. ECI, který byl založen v roce 1996, se opírá o síť deseti národních organizací mědi (Copper Development Associations - 'CDAs') v Beneluxu, Francii, Německu, Řecku, Maďarsku, Itálii, Polsku, Skandinávii, Španělsku a Spojeném království. Navazuje na činnost sdružení Copper Products Development Association založeného v roce 1959 a INCRA (International Copper Research Association) založeného v roce 1961.

Upozornění

Obsah tohoto materiálu nemusí nutně vyjadřovat názor Evropského společenství a není pro něj ani závazný. European Copper Institute a Hungarian Copper Promotion Centre odmítají odpovědnost za jakékoliv přímé, nepřímé či vedlejší škody, které mohou být způsobeny nesprávným využitím informací v této publikaci.

Copyright© European Copper Institute a Copper Development Association.

Česká verze byla připravena ve spolupráci HCPC a Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB – Technické Univerzity Ostrava. Reprodukce je možná za předpokladu, že materiál bude otištěn v nezkrácené podobě a s uvedením zdroje.



Hungarian Copper
Promotion Centre
Képiró u. 9
H - 1053 Budapest
Maďarsko
Tel.: 00 361 266 4810
Tel.: 00 361 266 4804
E-mail: hcpc@euroweb.hu
Website: www.hcpcinfo.org



VŠB-TU Ostrava
Fakulta elektrotechniky
a informatiky
Katedra el. měření
17. listopadu 15
CZ 708 33 Ostrava-Poruba
Tel.: +420 597324279
Tel.: +420 596919597
E-mail: pavel.santarius@vsb.cz
Website: homen.vsb.cz/san50/



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B - 1150 Brussels
Belgium
Tel.: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org

Úvod

Počet nelineárních zátěží připojených do napájecí sítě, které produkují nesinusové proudy dokonce i když jsou napájeny sinusovým napětím, je značný a stále rychle roste. Tyto proudy mohou být definovány pomocí základní harmonické složky a vyšších harmonických složek.

U výkonových transformátorů je hlavním důsledkem harmonických proudů nárůst ztrát, hlavně ve vinutích, protože dochází k deformaci rozptylových polí. Vyšší ztráty znamenají, že je produkováno více tepla v transformátoru, takže vzrůstá provozní teplota, což vede ke zhoršení izolace a potenciálně i ke snížení doby životnosti.

Výsledkem je nutnost redukce jmenovitého výkonového zatížení transformátoru, což vede prakticky ke snížení výkonu, případně se musí věnovat při návrhu transformátoru zvláštní pozornost snižování ztrát.

Aby se určilo snížení výkonu transformátoru, je možno využít zatěžovací K-faktor. Tento faktor je vypočítán na základě harmonického spektra proudu zátěže a indikuje přídavné ztráty vířivými proudy. Odráží zvýšení ztrát oproti transformátorům s tradičním vinutím.

Moderní transformátory využívají alternativní návrhy vinutí, jako je foliové vinutí, nebo smíšené drátové/foliové vinutí. Pro tyto transformátory normalizovaný K-faktor (odvozený od proudu zátěže) neodráží přídavné ztráty při zatížení a aktuální zvýšení ztrát se ukazuje být velmi závislé na konstrukční metodě. Je proto nutno minimalizovat přídavné ztráty ve fázi návrhu transformátoru pro dané zatížení s využitím simulačních metod nebo měřících technik.

Ztráty v transformátoru

Ztráty transformátoru se skládají ze ztrát naprázdno a při zatížení. Mohou být vyjádřeny vztahem

$$\Delta P_C = \Delta P_0 + \Delta P_K \quad (1)$$

kde:

P_C = ztráty naprázdno (v jádře)

P_0 = ztráty při zatížení

P_k = celkové ztráty

Ztráty naprázdno vznikají vlivem střídavého magnetického pole v jádře. Ačkoli magnetizační proud obsahuje harmonické, je extrémně nízký ve srovnání se zatěžovacím proudem a jeho vliv na ztráty je minimální. Výsledkem je, jak je i uvedeno v normách jako např. ANSI/IEEE C57.110, že přítomnost harmonických nezvyšuje ztráty naprázdno.

Ztráty při zatížení jsou tvořeny ztrátami $R \cdot I^2$, ztrátami vířivými proudy a rozptylovými ztrátami, nebo dle vztahu:

$$\Delta P_K = I^2 R + \Delta P_V + \Delta P_{dod} \quad (2)$$

kde:

$I^2 R$ = ztráty vlivem proudu zátěže a při stejnosměrném odporu vinutí

ΔP_V = ztráty vířivými proudy ve vinutí

ΔP_{dod} = rozptylové ztráty ve svornících, nádobách, atp.

Ztráty $R \cdot I^2$ vznikají proudem tekoucím vinutím. Jsou také nazývány jako ztráty ohmické [1] nebo stejnosměrné ztráty ohmické [2]. Ohmické ztráty jsou úměrné efektivní hodnotě proudu zátěže, včetně harmonických složek, ale jsou nezávislé na frekvenci. Jsou stanovovány výpočtem z proudu ve vinutí při plném zatížení a ze změřeného stejnosměrného odporu vinutí při jisté teplotě.

Volba a dimenzování transformátorů

Nejsou dostupné testovací metody pro určení ztrát vířivými proudy ve vinutí nebo pro oddělení rozptylových ztrát od ztrát vířivými proudy. Celkové ztráty rozptylové a vířivými proudy se stanoví z celkových ztrát při zatížení a odečtením vypočtených ohmických ztrát, tj.

$$\Delta P_V + \Delta P_{\text{dod}} = \Delta P_K - I^2 R \quad (3)$$

U ztrát vířivými proudy se předpokládá závislost na kvadrátu efektivní hodnoty proudu a kvadrátu frekvence (harmonické řádu h), tj.

$$\Delta P_V = \Delta P_{V,N} \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} \left[\frac{I_h}{I_N} \right]^2 h^2 \quad (4)$$

kde:

h = harmonická řádu 1,2,3., atd.

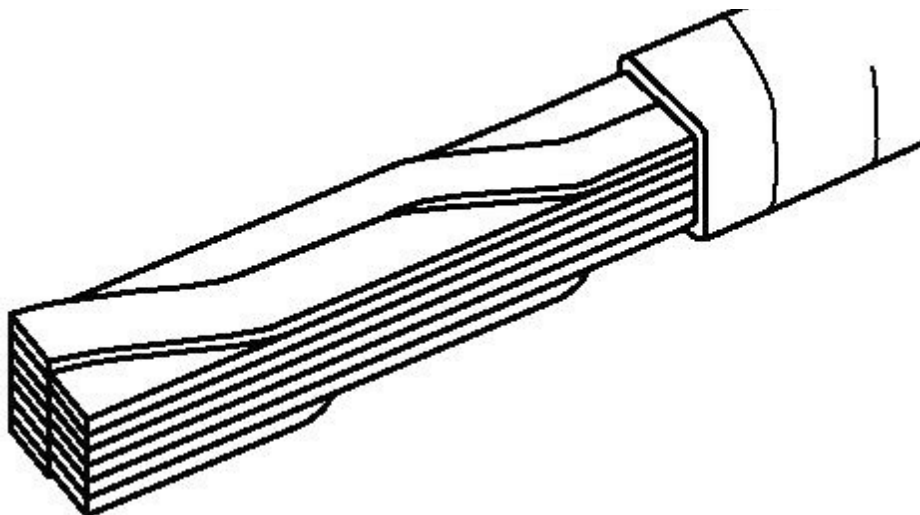
h_{\max} = nejvyšší řád harmonické, který se uvažuje

I_h = proud harmonické řádu h v A

I_N = jmenovitý proud v A

$\Delta P_{V,N}$ = ztráty vířivými proudy při jmenovitém proudu a frekvenci.

Ztráty vířivými proudy závisí na průřezu vodiče kolmém k toku rozptylového pole. Na koncích vodiče se rozptylové pole ohýbá a větší strana obdélníkového vodiče je kolmá k vektoru toku rozptylového pole. Srovnáním výšky primárního a sekundárního vinutí, které může být dosaženo při návrhu vinutí, se zredukuje ztráty vířivými proudy na koncích vinutí. Bohužel amplituda je stále větší, než ve středu vinutí vlivem ohybu toku rozptylového pole. Snížením průřezu vodiče se sníží procento ztrát vířivými proudy, ale zvýší se ohmické ztráty. Použitím více paralelních vodičů na vinutí se sníží i ztráty vířivými proudy i ohmické ztráty, ale protože vodiče mají nestejnou délku, jsou generovány vyrovnávací proudy, které způsobí nadměrné ztráty. Tomu může být zabráněno průběžně permutovanými vodiči, jak je ukázáno na obr. 1 pro vinutí s vysokými proudy. Malé transformátory mají podstatně menší rozměry vodičů vzhledem k nižším proudům.



Obr. 1 – Průběžně permutovaný vodič

Rozptylové ztráty vznikají vlivem rozptylových toků, které způsobují ztráty v jádře, ve svornících, nádobách a jiných ocelových částech. Rozptylové ztráty mohou zvyšovat teplotu v mechanických částech transformátoru. Pro olejové transformátory zvyšují rozptylové ztráty teplotu oleje a tím vznikají horká

místa na vinutí. Rozptylové ztráty se obtížně počítají a obvykle se předpokládá, že tyto ztráty se mění s mocninou proudu a s frekvencí:

$$\Delta P_{\text{dod}} = \Delta P_{\text{dod},N} \sum_{h=1}^{h=h_{\text{max}}} \left[\frac{I_h}{I_N} \right]^2 h \quad (5)$$

kde

$\Delta P_{\text{dod},N}$ = rozptylové ztráty při jmenovitém proudu a frekvenci, ostatní označení jako v rovnici (4)

Transformátory a K-faktor

K-faktor

Jsou různé přístupy při výpočtu přídatných ztrát při výběru transformátoru. První přístup, navržený výrobcí transformátorů ve spojení s Underwriters Laboratories v USA, je výpočet faktoru zvýšení ztrát vířivými proudy a specifikace návrhu transformátoru, který se s tím vyrovná, což je známo jako „K-faktor“.

$$K = 1 + \sum_{h=2}^{h=h_{\text{max}}} h^2 I_h^2 \quad (6)$$

h = řád harmonické

I_h = část celkové efektivní hodnoty proudu na harmonické řádu h

Mnoho analyzátorů kvality odečítá K-faktor proudu zátěže přímo. Jestliže je K-faktor zátěže znám, je jednoduché specifikovat transformátor s vyšší hodnotou K z normalizované řady 4, 9, 13, 20, 30, 40, 50.

Všimněte si, že čistě lineární zátěž, která produkuje sinusový proud, bude mít K-faktor roven jedné. Vyšší hodnota K-faktoru indikuje, že ztráty vířivými proudy v transformátoru budou K-násobkem hodnoty na základní frekvenci. Transformátory dimenzované s využitím K-faktoru jsou navrhovány tak, aby měly velmi nízké ztráty vířivými proudy na základní frekvenci.

„Činitel K“

Druhá metoda, používaná v Evropě, je určení jak u normálního transformátoru musí být snížen výkon tak, aby celkové ztráty při harmonické zátěži nepřekročily základní navržené ztráty, což je známo jako „činitel K“.

$$K = \left[1 + \frac{e}{1+e} \left(\frac{I_1}{I} \right)^2 \cdot \sum_{h=2}^{h_{\text{max}}} \left(h^q \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \right) \right] \quad (7)$$

kde:

e = poměr ztrát vířivými proudy a ohmických ztrát na základní frekvenci a při referenční teplotě

h = řád harmonické

I = efektivní hodnota sinusového proudu včetně harmonických

I_h = amplituda h -té harmonické

I_1 = amplituda proudu základní harmonické

q = exponenciální konstanta, která je závislá na typu vinutí a frekvenci. Typická hodnota je 1,7 pro transformátory s kruhovým nebo obdélníkovým průřezem vodičů v obou vinutích a 1,5 pro typy s foliovým vinutím nízkého napětí

Přídavný činitel ztrát

Třetí metodou je tzv. „přídavný činitel ztrát“. Odporový činitel je definován následovně:

$$K_{\Delta R}(f) = \frac{R_{AC}(f) - R_{DC}}{R_{AC}(f_1) - R_{DC}} \quad (8)$$

kde:

Δ_{DC} = ekvivalentní sériový odpor stejnosměrný

Δ_{AC} = sériový odpor střídavý

R_{AC} je frekvenčně závislý, částečně vlivem rozložení proudu ve vinutí, a je určen pro každou harmonickou frekvenci. Typ konstrukce a umístění vinutí má hlavní vliv na vztah mezi R_{AC} a frekvencí.

Konečně činitel celkových přídavných ztrát je určen jako součet frekvenčně závislých ztrát na každé frekvenci vyskytující se v R_{AC} . To vyžaduje znalost spektra harmonických proudů zátěže.

$$K_{\Delta P} = \sum_{f/f_1} K_{\Delta R}(f) \left(\frac{I_f}{I_N} \right)^2 \quad (9)$$

kde:

$K_{\Delta P}$ = činitel přídavných ztrát

$K_{\Delta R}$ = odporový činitel

I_f = proud na harmonické frekvenci f

I_N = jmenovitý proud

Pro určení tohoto faktoru pro daný transformátor, prototyp nebo výpočtový model musíme stanovit sériový odpor nebo odpor zkratového obvodu buď měřením, nebo simulací.

Experimentální testy

Přídavné ztráty za přítomnosti proudových harmonických

Je-li známo spektrum harmonických, nebo může být změřeno či predikováno, mohou být přídavné ztráty jednoduše spočítány.

V principu je výpočetní postup následující:

- určení všech složek přídavných ztrát vlivem přítomných harmonických
- určení harmonického spektra buď měřením, nebo odhadem, berouce v úvahu všechna zařízení generující harmonické – zvláště elektronické měniče
- výpočet příspěvku od každé harmonické a určení celkových přídavných ztrát.

Prakticky je důležité využít raději reálné hodnoty harmonických proudů, než hodnoty teoretické.

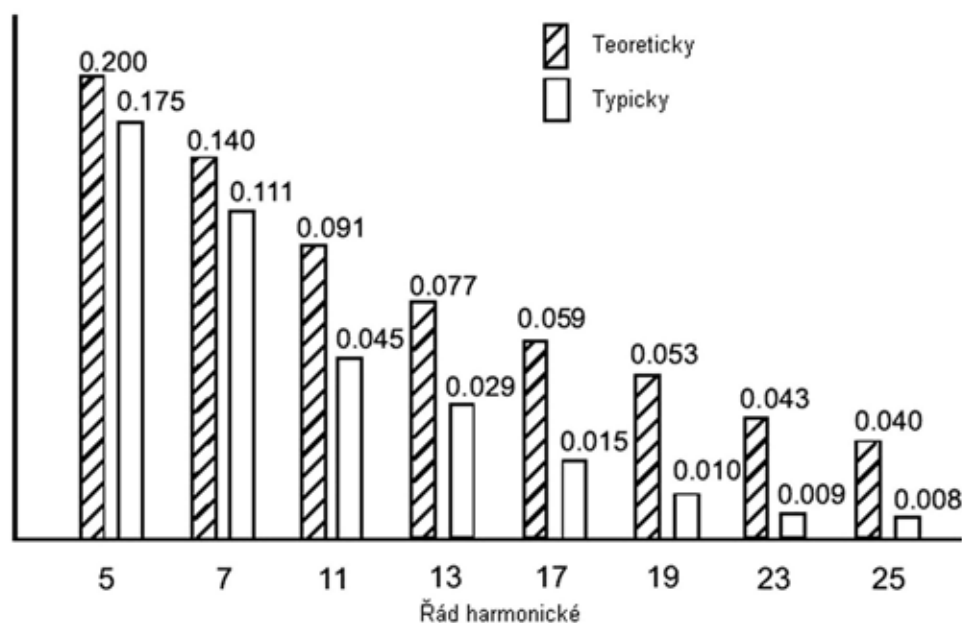
Tabulka 1 ukazuje vypočtené přídavné ztráty pro harmonické proudy (do 25. harmonické) pro dva transformátory při normální teplotě okolí za předpokladu, že pro spektrum harmonických proudů budou použity teoretické hodnoty dle obr. 2.

Výsledky ukazují, že charakteristiky transformátorů hrají významnou roli při určení ztrát při nelineární zátěži. Transformátory v tomto případě byly měřeny při nepatrně rozdílné teplotě (21,5°C pro první a 22,8°C pro druhý), což nebude mít vliv na výsledek.

Volba a dimenzování transformátorů

Typ ztrát	První transformátor (21,5°C)	Druhý transformátor (22,8°C)
Přídavné se sinusovým proudem	520 W	1721 W
Přídavné s nesinusovým proudem	871 W	4351 W

Tab. 1 – Přídavné ztráty počítané za přítomnosti nesinusových proudů



Obr. 2 – Teoretické a reálné hodnoty proudových harmonických pro šestipulzní měnič

Výpočet K-faktoru

Tab. 2 ukazuje výpočet K-faktoru pro teoretické spektrum harmonických dle obr. 2 (v poměrných hodnotách).

Harmonická č.	I_h/I_1	$(I_h/I_1)^2$	I_h/I	$(I_h/I)^2$	$(I_h/I)^2 \times h^2$
1	1.000	1.0000	0.9606	0.9227	0.9227
5	0.200	0.0400	0.1921	0.0369	0.9227
7	0.140	0.0196	0.1345	0.0181	0.8862
11	0.091	0.0083	0.0874	0.0076	0.9246
13	0.077	0.0059	0.0740	0.0055	0.9426
17	0.058	0.0034	0.0557	0.0031	0.8971
19	0.056	0.0031	0.0538	0.0029	1.0446
23	0.043	0.0018	0.0413	0.0017	0.9025
25	0.040	0.0016	0.0384	0.0015	0.9227
Součet =		1.0838			8.3476
Celkem (rms) =		1.0410			
				K-faktor =	8.3476

Tab. 2 – Výpočet K-faktoru

Volba a dimenzování transformátorů

První krok je výpočet efektivní (rms) hodnoty celkového proudu I , v tomto případě je jeho hodnota 1,0410. Dále jsou počítány mocniny poměrných hodnot všech harmonických složek proudu, což vede ke stanovení hodnoty K . Pro takovou zátěž bude transformátor s hodnotou $K = 9$ vhodný pro šestipulzní měnič.

Výpočet činitele K

Harmonická č.	I_h/I_1	$(I_h/I_1)^2$	h	$(I_h/I_1)^2 \times h$
1	1.000	1.0000	1.0000	1.0000
5	0.200	0.0400	15.4258	0.6170
7	0.140	0.0196	27.3317	0.5357
11	0.091	0.0083	58.9342	0.4880
13	0.077	0.0059	78.2895	0.4642
17	0.058	0.0034	123.5274	0.4155
19	0.056	0.0031	149.2386	0.4680
23	0.043	0.0018	206.5082	0.3818
25	0.040	0.0016	237.9567	0.3807
Součet =		1.0838	$[a] =$	4.7511
Celkem (rms) =		1.0410	$[a] \times (I_1/I)^2 =$	4.3839
			$e/(e+1)$	0.091
$(I_1/I)^2 =$		0.9227	$K^2 =$	1.3985
			$K =$	1.18

Tab. 3 – Výpočet K -faktoru

Úvahy o návrhu transformátoru

Úvod

Mnozí výrobci transformátorů vyvinuli metody návrhu s dimenzováním pro nesinusové zatěžovací proudy, aby optimalizovali jejich výrobní náklady. Postup návrhu obsahuje analýzu rozložení ztrát vířivými proudy ve vinutích a výpočet růstu teploty v nejteplejších místech vinutí. Ztráty vířivými proudy jsou soustředěny na koncích vinutí vlivem rozdělení rozptylového toku. Analýza rozložení ztrát vířivými proudy může být provedena využitím metody konečných prvků nebo jiným počítačovým programem. Specializované výpočtové programy jsou k tomuto účelu k dispozici.

Pro větší transformátory nad 300 kVA může být kombinace testů a výpočtové analýzy v praxi ekonomické. Tepelné studie mohou být provedeny s využitím zapuštěných termočlánků v testovaných vinutích prototypových transformátorů, které měří teploty v nejteplejších místech vinutí, čímž se zjemní matematický model pro výpočet teploty v nejteplejších místech vinutí.

Elektromagnetická analýza

Problém harmonických dosáhl v poslední době značné publicity, což vedlo k domněnce, že průmysl je právě na začátku porozumění efektu harmonických a na začátku výpočtu zvýšení ztrát vířivými proudy. Ve skutečnosti jsou studie o efektu harmonických dosti staré, studie ztrát vířivými proudy ve vodičích v magnetickém poli byly zpracovány v roce 1906. Mnohé dřívější studie byly vysoce matematické a diagramy toku v těchto dřívějších studiích byly méně detailní a pravděpodobně i méně přesné, jako diagramy vytvořené moderními výpočtovými programy.

S dostupností počítačů byly vyvinuty metody pro výpočet elektrických polí a ztrát vířivými proudy v transformátorech. Mnohé výpočtové programy jsou v současné době k zakoupení, jejich seznam je k dispozici v příspěvku Cedense [5] v IEEE Spectrum z roku 1999. Tyto výpočtové programy tvoří elegantní diagramy, bohužel jejich přesnost nemůže být potvrzena.

Teplotní analýza

Ačkoli teplota nejteplejších míst vinutí je významným parametrem, se kterým se setkávají výrobci, nejsou v současné době definované testovací metody, ani nejsou definovány požadavky na měření tohoto parametru u prototypů i při výrobě transformátorů. To je důležité, protože teplota je základem pro určení doby životnosti zařízení.

Teplota nejteplejších míst vinutí u suchých transformátorů je občas sporný problém. Nejteplejší místa vinutí, místa s nejvyšší teplotou, se přirozeně objevují vlivem nerovnoměrné tvorby tepla a tím, že rychlost přenosu tepla do okolí je nerovnoměrná. Suché transformátory mají zvláštní charakteristiky přenosu tepla, což nebývá vždy pochopeno. Většina výrobců suchých transformátorů jednoduše přidá 30 °C ke střednímu růstu teploty (vypočteno s využitím empirických vztahů) a tvrdí, že je to podle norem. Ve skutečnosti norma IEEE C57.12.01-1989 vyžaduje, aby nárůst střední teploty vinutí a teplota nejteplejšího místa vinutí byly omezeny tak, aby nepřesáhly dovolenou hodnotu třídy izolace při jmenovitém výkonu. Rozdíl mezi těmito dvěma limity se objevuje náhodně 30 °C, ale užití hodnoty 30 °C jako „hrubý odhad“ nebylo v úmyslu

Závěr

Nesinusové proudy způsobují přehřátí transformátorů vlivem nárůstu ztrát, zvláště pak ztrát vířivými proudy.

Jestliže jsou použity existující nebo typizované transformátory pro napájení nelineárních zátěží, mohou mít snížený výkon způsobem přiměřeným jejich konstrukci.

Pro nové instalace mohou být vybrány transformátory speciální konstrukce (nebo dimenzované s využitím činitele K), jinak musí být použito přiměřené snížení výkonu.

Literatura

- [1] J F Ravot and J Kreuzer, "Losses in rectifier transformers: Factory test losses in comparison with actual operating losses," in Proc. CIGRE, Paper 12-06, 1988.
- [2] L F Blume, A Boyajian, G Camilli, T C Lennox, S Minneci and V M Montsinger, Transformer Engineering, 2nd edition, New York: Wiley, 1951, pp 55-65.
- [3] L V Bewley, Two-Dimensional Fields in Electrical Engineering. New York: Dover Publications, 1963, pp 83-90.
- [4] S P Kennedy and C I lvey, "Application design and rating of transformers containing harmonic currents," in Conf Rec 1990 IEEE Pulp, Paper Ind. Tech. Confl., pp 19-3 1.
- [5] Z J Cendes, "Unlocking the magic of Maxwell's equations," IEEE Spectrum, Vol. 26, No. 4, pp 29-33, April 1999.

Reference & Founding* Partners

European Copper Institute* (ECI) www.eurocopper.org	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid www.etsii.upm.es	LEM Instruments www.lem.com
Akademia Gorniczko-Hutnicza (AGH) www.agh.edu.pl	Fluke Europe www.fluke.com	MGE UPS Systems www.mgeups.com
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA-UPC) www.citcea.upc.edu	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) www.htw-saarland.de	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg www.uni-magdeburg.de
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) www.ceiuni.it	Hogeschool West-Vlaanderen Departement PIH www.pih.be	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) www.miedz.org.pl
Copper Benelux* www.copperbenelux.org	International Union for Electricity Applications (UIE) www.uie.org	Università di Bergamo* www.unibg.it
Copper Development Association* (CDA UK) www.cda.org.uk	ISR - Universidade de Coimbra www.isr.uc.pt	University of Bath www.bath.ac.uk
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) www.kupferinstitut.de	Istituto Italiano del Rame* (IIR) www.iir.it	The University of Manchester www.manchester.ac.uk
Engineering Consulting & Design* (ECD) www.ecd.it	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) www.kuleuven.ac.be	Wroclaw University of Technology* www.pwr.wroc.pl
EPRI Solutions Inc www.epri.com/eprisolutions	Laborelec www.laborelec.com	

Editorial Board

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	david.chapman@copperdev.co.uk
Prof Angelo Baggini	Università di Bergamo	angelo.baggini@unibg.it
Dr Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	ahernandez@etsii.upm.es
Prof Ronnie Belmans	UIE	ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
Dr Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Jean-Francois Christin	MGE UPS Systems	jean-francois.christin@mgeups.com
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Prof Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	jan.desmet@howest.be
Dr ir Marcel Didden	Laborelec	marcel.didden@laborelec.com
Dr Johan Driesen	KU Leuven	johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Stefan Fassbinder	DKI	sfassbinder@kupferinstitut.de
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczko-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Stephanie Horton	ERA Technology Ltd	Stephanie.Horton@era.co.uk
Dr Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Kees Kokee	Fluke Europe BV	kees.kokee@fluke.nl
Prof Wolfgang Langguth	HTW	wlang@htw-saarland.de
Jonathan Manson	Gorham & Partners Ltd	jonathanm@gorham.org
Prof Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Carlo Masetti	CEI	masetti@ceiuni.it
Mark McGranaghan	EPRI Solutions	mmcgranaghan@eprisolutions.com
Dr Jovica Milanovic	The University of Manchester	jovica.milanovic@manchester.ac.uk
Dr Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Dr ir Tom Sels	KU Leuven	tom.sels@esat.kuleuven.ac.be
Prof Dr-Ing Zbigniew Styczynski	Universität Magdeburg	Sty@E-Technik.Uni-Magdeburg.de
Andreas Sumper	CITCEA-UPC	sumper@citcea.upc.edu
Roman Targosz	PCPC	cem@miedz.org.pl



Prof Jan Desmet



Hogeschool West-Vlaanderen
Graaf Karel de Goedelaan 5
8500 Kortrijk
Belgium

Tel: 00 32 56 24 12 39
Fax: 00 32 56 24 12 34
Email: jan.desmet@howest.be
Web: www.pih.be



Gregory Delaere



Labo Lemcko
Graaf Karel de Goedelaan 5
8500 Kortrijk
Belgium

Tel: 00 32 56 24 12 35
Fax: 00 32 56 24 12 34
Email: lemcko@howest.be
Web: www.lemcko.be



HUNGARIAN COPPER
PROMOTION CENTRE

Hungarian Copper
Promotion Centre
Képiró u. 9
H - 1053 Budapest
Magarsko
Tel.: 00 361 266 4810
Tel.: 00 361 266 4804
E-mail: hcpc@euroweb.hu
Website: www.hcpcinfo.org



VŠB-TU Ostrava
Fakulta elektrotechniky
a informatiky
Katedra el. měření
17. listopadu 15
CZ 708 33 Ostrava-Poruba
Tel.: +420 597324279
Tel.: +420 596919597
E-mail: pavel.santarius@vsb.cz
Website: homen.vsb.cz/san50/



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B - 1150 Brussels
Belgium

Tel.: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org