

Určení délky střední siločáry z poměru ztrát transformátoru

Bc. Roman Heidler, Ing. Miroslav Novák, Ph.D.

Abstrakt

Tato práce se zabývá ztrátami naprázdno transformátoru typu RJV 1,6 o výkonu 1,2 kVA. Ztráty naprázdno jsou určeny pomocí dvou přístupů a to pomocí napětí a proudu naprázdno a v druhém případě pomocí plochy hysterezní křivky. Obě metody vycházejí z naměřených průběhů primárního proudu a sekundárního napětí, které se dále zpracovávají. Porovnáním těchto dvou metod je odhadnuta délka střední siločáry v závislosti na velikosti sycení magnetického jádra transformátoru. Takto získaná délka střední siločáry by se mohla uplatnit při optimalizaci návrhu transformátorů.

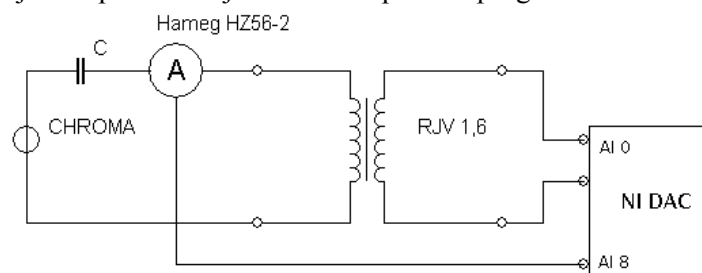
Úvod

Cílem této práce je vyhodnotit změnu délky střední siločáry v závislosti na velikosti sycení jádra. Měření jsem prováděl na jednom typu transformátoru. Měřený transformátor vyrábí firma SVED Liberec a jedná se oddělovací transformátor typu RJV 1,6 o výkonu 1,2 kVA pro jmenovité napětí na primární i sekundární cívice 230 V.

Motivací k této práci mi byly předchozí výsledky z měření ztrát transformátoru. Při výpočtu ztrát naprázdno jsem zjistil odlišnost výsledků u dvou různých metod. Znalost změny délky střední siločáry by se mohla uplatnit při optimalizaci návrhu transformátorů.

Experiment a metody

Pro určení ztrát naprázdno u zkoumaného transformátoru jsem použil měřicí aparaturu (obr. 1) složenou z programovatelného zdroje Chroma 61705, proudové sondy, AD převodníku a kondenzátoru. Kondenzátor o kapacitě 1,12 mF je v obvodu zapojen z důvodu odstranění stejnosměrné složky napětí zdroje. Proudová sonda měří proud primárním vinutím i . Napětí na sekundární cívice u je měřeno pomocí napěťového děliče umístěného v terminálu AD převodníku. Programovatelný zdroj i AD převodník jsem ovládal pomocí programu Matlab.



Obrázek 1. Schéma měřicí aparatury pro měření ztrát naprázdno

Pro výpočet ztrát naprázdno pomocí plochy hysterezní smyčky je nutné znát rozměry magnetického obvodu (objem V a průřez jádra S), počet závitů N a frekvenci magnetování f . Magnetickou indukci B lze vypočítat ze vztahu 1 za předpokladu zanedbání rozptylových toků.

$$B = -\frac{1}{N \cdot S} \cdot \sum_n u \cdot T_s + B_0 \quad (1)$$

T_s perioda vzorkování

Integrační konstanta B_0 je rovna počáteční indukci. Integrační konstantu jsem určil pomocí centrování hysterezní smyček. Magnetickou intenzitu H jsem vypočítal pomocí Ampérova zákona. V další kroku jsem již lze spočítat plochu dynamické hysterezní smyčky a ztráty naprázdno P_{BH} .

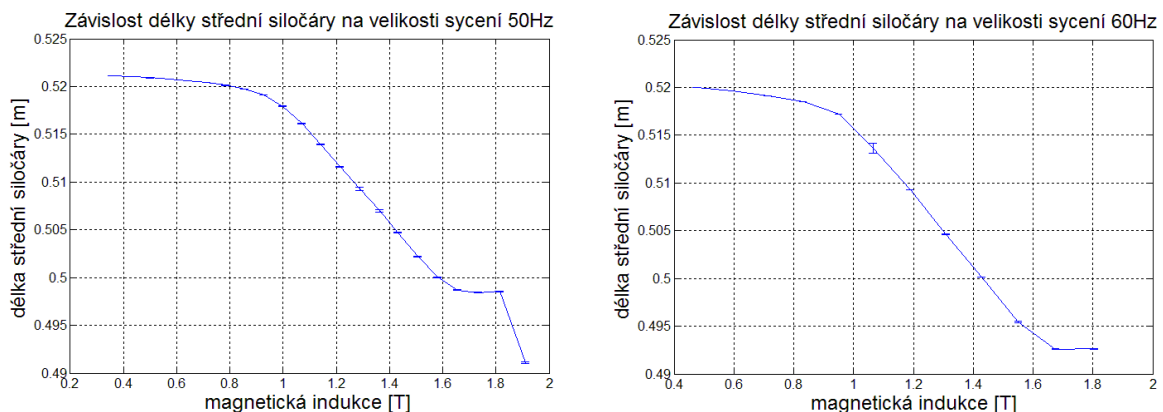
$$P_{BH} = V \cdot f \cdot \sum_n H_n \cdot \Delta B_n \quad (2)$$

Ztráty naprázdno P_{UI} lze také vypočítat přímo z naměřených hodnot primárního proudu a napětí na sekundární cívice (3).

$$P_{UI} = \frac{1}{T} \cdot \sum_n u_n \cdot i_n \cdot T_s \quad (3)$$

Použitím funkce `fminsearch` v Matlabu jsem pomocí porovnání ztrát naprázdno určil délku střední siločáry. Hodnotící kritériem je kvadrát rozdílu ztrát naprázdno vypočtené pomocí plochy hysterezní křivky a ztrát určené pomocí integrace napětí a proudu. Výpočet střední siločáry jsem provedl postupně pro 60 po sobě jdoucích period. Tyto hodnoty jsem zprůměroval.

Výsledky a diskuze



Obrázek 2. Závislost délky střední siločáry na sycení jádra pro 50 Hz (vlevo) a 60 Hz (vpravo)

Předpokládal jsem, že při zvyšování sycení jádra se bude délka střední siločáry prodlužovat. Magnetický tok se chce uzavírat po nejkratší možné cestě v jádře transformátoru, tak aby to bylo energeticky nejméně náročné. S nárůstem sycení v jádře začne docházet ke snižování permeability ve vnitřních rozích materiálu, kde indukční tok přednostně teče. Ve vnitřních rozích začne růst reluktance a indukční tok je tak vytlačován dále od rohu. Poloměr zakřivení střední siločáry i siločára samotná se prodlužují.

Z grafů lze odečíst, že délka siločáry oproti očekávání s rostoucím sycení jádra transformátoru klesá. Rozptyl hodnot délek středních siločar pro jednotlivé periody signálu je malý. Výrazný pokles délky střední siločáry u obr. 2 je způsoben překřížením hysterezní křivky, které nastává při vyšším sycení magnetického jádra. Délka střední siločáry určená z geometrie má velikost 490 mm.

Závěr

Navrhnul jsem měřicí aparaturu a změřil jsem ztráty transformátoru naprázdno pomocí dvou přístupů a to pomocí napětí a proudu naprázdno a v druhém případě pomocí plochy hysterezní křivky. Měření ztrát jsem provedl pro frekvence 50 a 60 Hz. Druhá metoda pro výpočet ztrát naprázdno je závislá na rozměrech magnetického materiálu jádra transformátoru. Z této vlastnosti jsem pomocí porovnáním ztrát naprázdno vypočítal délku střední siločáry v závislosti na velikosti sycení jádra. Délka střední siločáry se s velikostí sycení jádra snižovala. Výsledky výpočtu jsou odlišné oproti předpokladu, že s rostoucí velikostí sycení magnetického jádra bude délka střední siločáry růst. Maximální změna délky střední siločáry je dle výpočtu přibližně 5%. Délka střední siločáry je ovlivněna i dírami pro svorníky a typem materiálu. Znalost délky střední siločáry by se mohla uplatnit při optimalizaci návrhů transformátorů.

Reference

- [1] DUFEK, Milan, Jaroslav HRABÁK a Zdeněk TRNKA. *Magnetická měření*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1964. ISBN 04-528-64.
- [2] FAKTOR, Zdeněk. *Transformátory a cívky*. BEN, Praha 1999, ISBN 80-86056-4-X.
- [3] JIZIERSKI, Eugeniusz. *Transformátory: teoretické základy*. 3. dopl. vyd. Praha: ACADEMIA, 1973. ISBN 509-21-875.