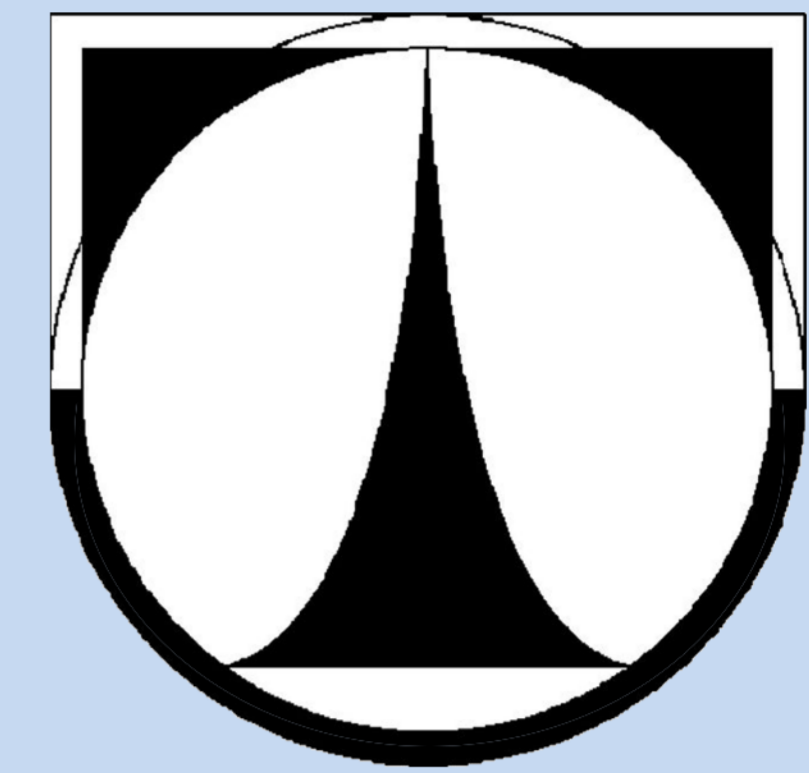


## Určení délky střední siločáry z poměru ztrát transformátoru



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



### Abstrakt

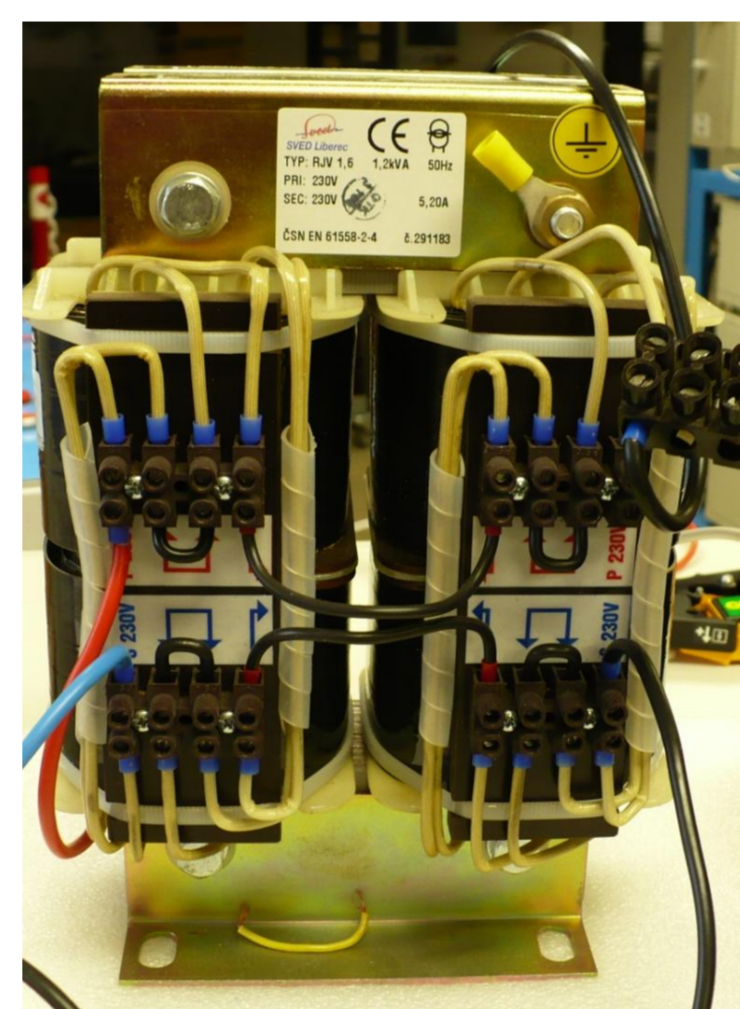
The present diploma thesis aims at the inrush current and no-load losses of transformers type RJV 1,6 with the power of 1,2 kVA. The no-load losses have been measured with the help of two approaches; firstly with voltage and no-load current and secondly with the help of the surface of hysteresis curve. Booth methods are based on the measured continuance of primary current and secondary voltage. These are farther elaborate. In this way acquired length of the middle field line should be used for optimization of transformers' project.

### Cíl

Porovnáním ztrát naprázdno ze dvou metod určit délku střední siločáry. Jedna metoda je závislá na rozměrech jádra transformátoru, druhá je na těchto parametrech nezávislá. Měření a výpočet provést při více frekvencích. Znalost změny délky střední siločáry by se mohla uplatnit při optimalizaci návrhů transformátorů.

### Úvod do problematiky

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. Předpokládám, že při zvyšování sycení jádra se bude délka střední siločáry prodlužovat.



Obr. 1. Měřený transformátor

### Metodika

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  $P_{BH}$ .

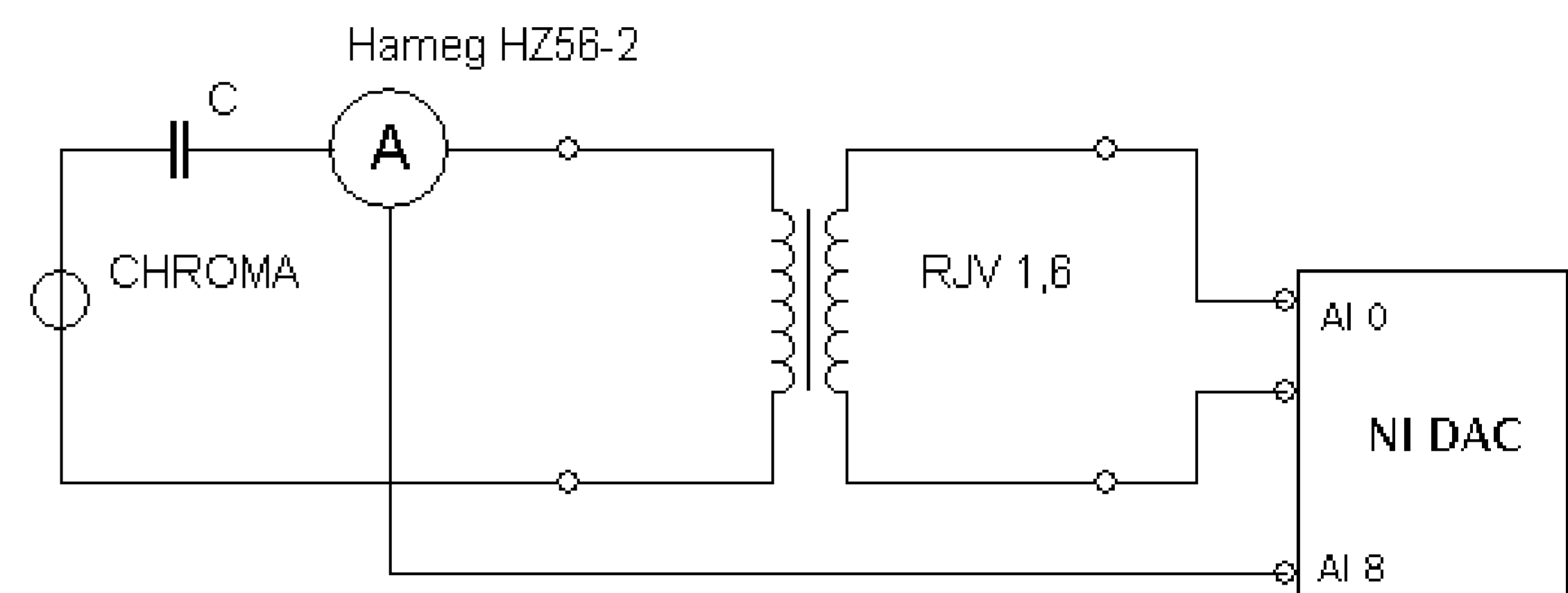
$$P_{BH} = V \cdot f \cdot \sum_n H_n \cdot \Delta B_n \quad (2)$$

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.

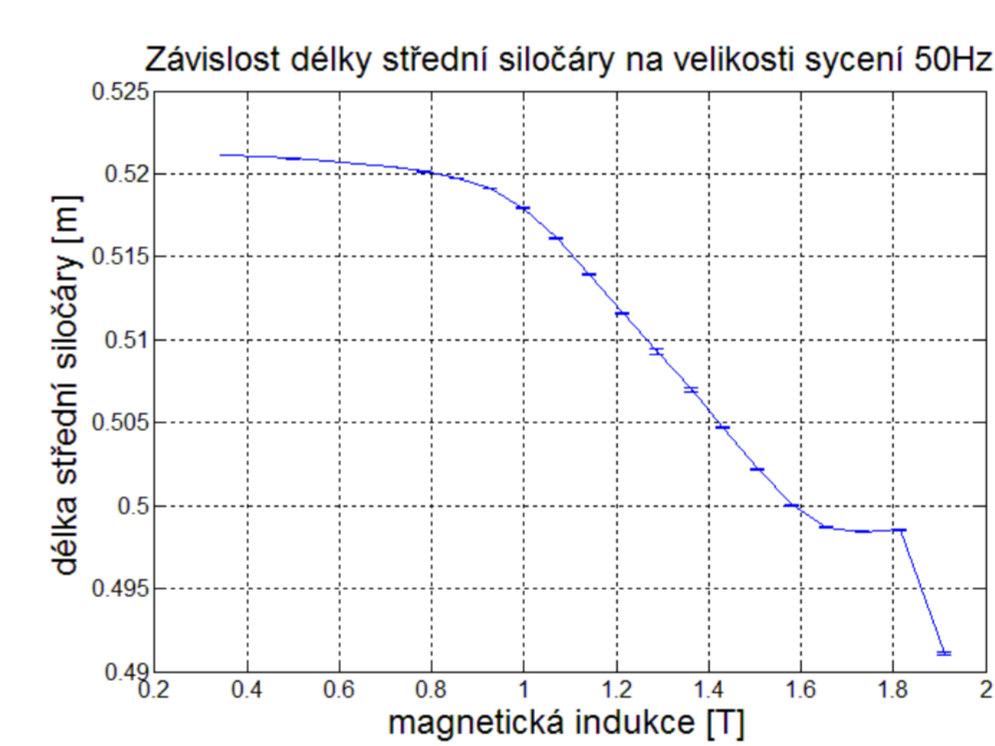
### Měřicí aparatura



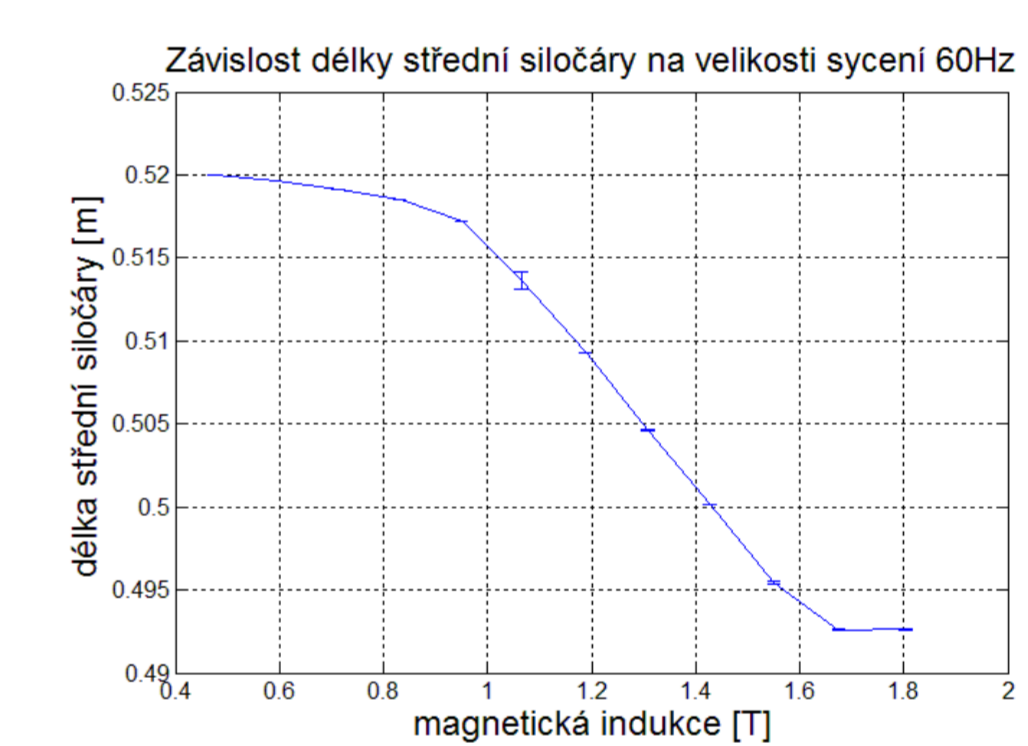
Obr. 2. Měřicí aparatura

### Výsledky

Délka střední siločáry dle výpočtu oproti očekávání s rostoucím sycením jádra transformátoru klesá. Rozptyl hodnot délek středních siločar pro jednotlivé periody signálu je malý. V grafech jsou uvedeny i chybové úsečky průměru. Výrazný pokles délky střední siločáry u obr. 3 je způsoben překřížením hysterezní křivky, které nastává při vyšším sycení magnetického jádra. Délka střední siločáry určená z geometrie má velikost 490 mm.



Obr. 3. Délka střední siločáry v závislosti na sycení při 50 Hz



Obr. 4. Délka střední siločáry v závislosti na sycení při 60 Hz

### Diskuse a závěr

Předpokládám, 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.

Výsledky výpočtu jsou odlišné oproti předpokladu, že s rostoucí velikostí sycení magnetického jádra délka střední siločáry roste. 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.

### Kontakt

Bc. Roman Heidler  
e-mail: r.heidler@seznam.cz