

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Stavba zkušební kalorimetrické komory – cenová rozvaha

vedoucí práce: Ing. Karel Hruška Ph.D.

podpis vedoucího práce:.....

autor: Jiří Gdovin

Podpis autora:.....

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří GDOVIN**
Osobní číslo: **E10N0218P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Stavba zkušební kalorimetrické komory - cenová rozvaha**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte parametry požadované pro zkušební komoru pro měření ztrát kalorimetrickou metodou.
2. Vytvořte návrh kalorimetrické komory pro stroje do výkonu 100kW.
3. Proveďte cenovou rozvahu pro stavbu uvedené kalorimetrické komory.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

1. Literaturu určí vedoucí práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Karel Hruška**
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předmětem diplomové práce je cenová rozvaha pro stavbu kalorimetrické komory. Výsledkem práce by měl být návrh požadované zkušební komory pro měření ztrát kalorimetrickou metodou pro stroje do výkonu 100kW, její parametry a cenová rozvaha.

Klíčová slova

Nakrátko, naprázdno, ztráty, stroje, metody

Abstract

The subject of this thesis is the price for the construction of calorimetric chamber. Result of the work should be required of the chamber design for calorimetric measurement of losses method for machine performance 100kW, parameters and price sheet

Key words

Short circuit, open circuit losses, equipment, methods

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/ diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 23.5.2012

Jiří Gdovin

.....

Obsah

1 Úvod	8
2 Všeobecná ustanovení a schémata zapojení.....	9
2.1 MĚŘENÍ NAPĚTÍ A PROUDŮ.....	9
2.1.1 Měření napětí	9
2.1.2 Měření proudů.....	10
2.2 MĚŘENÍ NA TRANSFORMÁTORECH	11
2.2.1 Měření naprázdno	11
2.2.2 Měření nakrátko	13
2.3 MĚŘENÍ NA ASYNCHRONNÍM STROJI.....	14
2.3.1 Měření naprázdno	14
2.3.2 Měření nakrátko	15
2.4 MĚŘENÍ NA SYNCHRONNÍM STROJI	16
2.4.1 Měření naprázdno	16
2.4.2 Měření nakrátko	17
3 Parametry zkušební komory pro měření ztrát.....	Chyba! Záložka není
definována.	
4 Návrh kalorimetrické komory pro stroje do 100kW .	Chyba! Záložka není
definována.	
5 Cenová rozvaha uvedené kalorimetrické komory.....	Chyba! Záložka není
definována.	
6 Závěr – časový harmonogram vypracování.....	Chyba! Záložka není
definována.	
7 Seznam použité literatury	Chyba! Záložka není
definována.	

1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá stavbou zkušební kalorimetrické komory a její cenovou rozvahou pro měření strojů do výkonu 100kW. V první části se zabývám teoretickým rozbohem jednotlivých metod pro měření ztrát na strojích. Ve druhé části se budu zabývat potřebnými parametry pro realizaci návrhu kalorimetrické komory pro požadované výkony. V další části bude samotný návrh kalorimetrické komory v programu Solidworks a následně bude provedena cenová rozvaha pro realizaci stavby takovéto kalorimetrické komory.

2 Všeobecná ustanovení a schémata zapojení

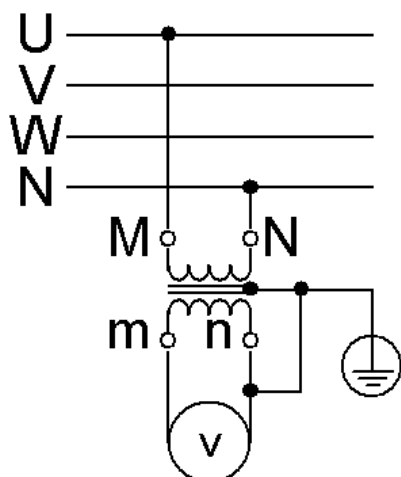
V problematice elektrických strojů se zabýváme měniči elektrické energie na energii mechanickou a naopak. Pro napájení těchto měničů musíme mít k dispozici odpovídající zařízení. Například pro účely oteplovacích zkoušek musíme mít k dispozici také zařízení, které testovaný měnič umožní zatížit. Motory se zatěžují na hřídeli (mechanicky), generátory se zatěžují na svých svorkách (elektricky) do vhodného spotřebiče. Takto získanou energii (mechanickou, elektrickou) poté můžeme převést na teplo (např. ve vířivé nebo práškové brzdě, v odporech apod.). To je u větších výkonů velmi nevhodné až prakticky neproveditelné. V takovýchto případech se energie rekuperuje – vrací zpět do elektrické rozvodné sítě. Proto je nutné mít k dispozici zařízení pro zatěžování elektromechanických měničů.[1]

Je také zapotřebí mít vhodné měřicí zařízení a měřicí metody. Musíme mít možnost měřit nejen nejen elektrické veličiny (proud, výkon) ale i mechanické veličiny (otáčky, rychlost, točivý moment na hřídeli). [1]

2.1 Měření napětí a proudů

2.1.1 Měření napětí

Při měření vysokých napětí, hlavně v provozu, se užívá měřících transformátorů napětí (dále MTN). Primární vinutí má vstupní svorku označenou M, výstupní svorku N. Jejich sekundární vinutí je zpravidla normalizováno na efektivní hodnotu napětí 100V a jeho svorky jsou označeny m, n. [1]



Obr. 1. Zapojení měřicího transformátoru napětí MTN.[1]

Sekundární vinutí a jádro transformátoru se uzemňuje. Sekundární vinutí je tudíž na potenciálu země a při případném odpojování voltmetru neohrozí obsluhu nebezpečí. Je-li primární vinutí připojeno na napětí, nesmí se sekundární vinutí spojit nakrátko.

Konstanta voltmetru se určí jako podíl jeho rozsahu a počtu dílků stupnice [pds].

$$k_v = \frac{U}{pds} [V/d]$$

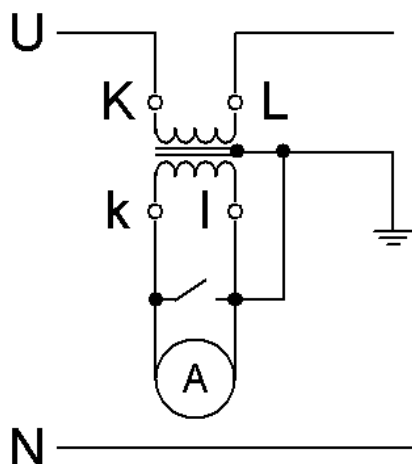
Pokud je voltmetr napájen z MTN, je nutné jeho údaj ještě násobit převodem transformátoru k_u .

$$k_v = \frac{k_u U}{pds} [V/d]$$

Do sekundárního obvodu MTN se zapojují nejen voltmetry, ale i napěťové cívky wattmetrů, převodníky napětí, popř. mohou sloužit pro další účely.[1][2]

2.1.2 Měření proudů

Pro měření střídavých proudů se používá měřicí transformátor proudu (dále MTP). Primární vinutí má vstupní svorku označenou K, výstupní svorku L. Sekundární vinutí je zpravidla normalizováno na 5A a svorky má označeny k, l. Sekundární vinutí a jádro se uzemňuje jako u MTN. Je-li primární vinutí pod proudem, nesmí se sekundární vinutí rozpojit. V případě, že by hrozilo jeho i krátkodobé rozpojení (např. při výměně přístrojů nebo při přepínání jejich rozsahů), musí se spojit nakrátko krátkospojovačem.[1][2]



Obr. 2. Zapojení měřicího transformátoru proudu MTP[2]

Konstanta ampérmetru se určí jako podíl jeho rozsahu a počtu dílků stupnice [pds]

$$k_a = \frac{I}{pds} [A/d]$$

Je-li ampérmetr napájen z MTP, je nutné jeho údaj ještě násobit převodem transformátoru k_i

$$k_A = \frac{k_i I}{pds} [A/d]$$

Převod transformátoru MTP určíme z poměru primárního a sekundárního proudu. Do sekundárního obvodu se zapojují mimo ampérmetrů i proudové cívky wattmetrů, proudové převodníky, registrační přístroje apod. [2][3]

2.2 Měření na transformátorech

2.2.1 Měření naprázdno

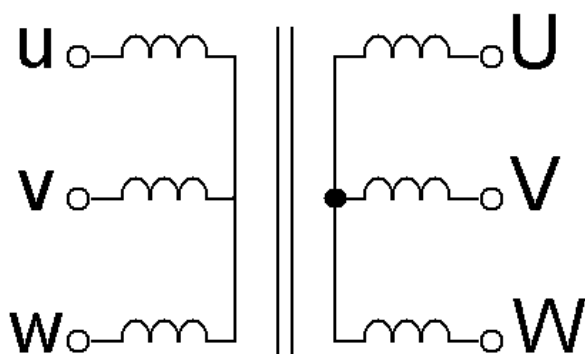
Sekundární vinutí je při měření transformátoru naprázdno, tudíž veškerý příkon slouží pouze nakrytí ztrát naprázdno. Úkolem měření transformátoru naprázdno je stanovit jeho ztráty v magnetickém obvodu a ve vinutí. Stanovuje se také magnetizační charakteristika transformátoru a proud naprázdno při jmenovitém napětí.

Napájení transformátoru provádíme proměnným napětím. Jelikož se jedná o střídavý obvod, je jedno, zda měříme magnetizační charakteristiku od vyšších hodnot napětí směrem k nižším nebo opačně. Nejvyšší efektivní hodnota sdruženého napájecího napětí při této zkoušce je

dána vztahem.

$$U_{max} = 1,2 U_n$$

Mezi napájecí zdroj a měřený transformátor (jeho svorky u,v,w) zapojíme přístroje pro měření napětí, proudu a ztrátového příkonu dle Obr.3. . Napájíme stranu nižšího napětí. Tím se sníží požadavky na maximální hodnotu napětí napájecího zdroje a měřicích přístrojů na zabezpečení pracoviště.[1]



Obr. 3. Transformátor naprázdno. Malými písmeny se označuje strana nižšího napětí a velkými strana vyššího napětí[1]

Velikost napájecího napětí měníme po vhodných krocích. Hodnoty napětí a proudu měříme ve všech třech fázích. Pro výpočty a grafická znázornění použijeme jejich aritmetický průměr. V chodu naprázdno není ze sekundárního vinutí transformátoru odebírána žádná energie, veškerý neměřený příkon je spotřebován na krytí ztrát. [1]

Celková bilance ztrát je dána vztahem

$$\Delta P_0 = \Delta P_{j0} + \Delta P_{Fe}$$

Pro výpočet Joulových ztrát musíme znát činný odpor vinutí a procházející proud.

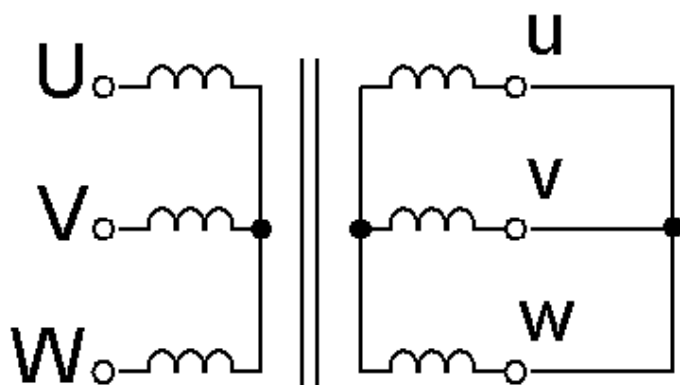
$$\Delta P_{j0} = \frac{3}{2} R_1 I_0^2$$

Výpočet ztrát v železe magnetického obvodu. Ztráty jsou tvořeny jednak vířivými proudy a jednak ztrátami hysterezními.

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_{FeV} + \Delta P_{FeH}$$

2.2.2 Měření nakrátko

Při měření nakrátko se určí charakteristika nakrátko, průběh nakrátko, průběh účinníku, impedance nakrátko a napětí nakrátko. Měření transformátor zapojíme dle obr. 4.



Obr. 4. Spojení transformátoru Yy nakrátko[1]

Většinou se napájí strana vyššího napětí. Tato strana má nižší jmenovitý proud, tímto patřením se sníží požadavek na proud napájecího zdroje. Přes obě vnutí protékají jmenovité proudy a dochází k ohřevu vinutí a ke změně odporu. Při měření začínáme nejvyšším proudem a další body charakteristiky měříme pro snižující proudy.

Proud nakrátko můžeme vypočítat takto

$$I_{kn} = \frac{U_n}{U_k} = I_k$$

Napětí nakrátko vyvolá při chodu nakrátko v obou vinutích jmenovité proudy. Je možné je určit z charakteristiky nakrátko pomocí vztahu

$$U_k = \frac{I_n}{I'_k} U'_k$$

kde čárkové hodnoty jsou souřadnice změřeného bodu charakteristiky nakrátko. Napětí nakrátko se většinou udává v poměrné hodnotě

$$u_k = \frac{U_k}{U_n}$$

Ztráty nakrátko pak tvoří Joulovy ztráty v primárním a sekundárním vinutí a dále pak ztráty přidavné

$$\Delta P_k = \Delta P_{jk} + \Delta P_d$$

Po oddělení ztrát na jednotlivé složky určíme Joulovy ztráty ze vztahu

$$\Delta P_{jk} = \frac{3}{2} R_1 I_1^2 + \frac{3}{2} R_2 I_2^2$$

Měříme-li pouze proudy v napájeném vinutí, pomocí převodu transformátoru vyjádříme sekundární proud

$$k = \frac{I_2}{I_1}$$

Poté dostaneme

$$\Delta P_{jk} = \frac{3}{2} (R_1 I_1^2 + \frac{3}{2} R_2 I_2^2) = \frac{3}{2} (R_1 + R_2 k^2) I_1^2 = \frac{3}{2} (R_1 + R_2') I_1^2$$

[1]

2.3 Měření na Asynchronním stroji

2.3.1 Měření naprázdno

Hřídel stroje musí být mechanicky odpojována od poháněného zařízení. Při měření stroje se určuje proud naprázdno, ztráty v magnetickém obvodu a mechanické ztráty, případně i velikost skluzu. Měření se musí provádět při konstantní otáčivé rychlosti stroje a obvykle v rozsahu napájecího napětí $(130 \div 30)\% U_n$. Mezi svorky U, V, W zapojíme měřicí přístroje.

Obr. 5. Asynchronní stroj s vinutým rotorem

Pro měření naprázdno je důležitá symetrie napájecího zdroje. Z měření se vynese charakteristika naprázdno. Obecně se jedná o závislost indukovaného napětí na budicím proudem. Budicím proudem je proud odebíraný ze zdroje I_0 . Charakteristika naprázdno je pak závislost

$$U = f(I_0)$$

Ztráty, změřené při chodu naprázdno jsou součtem Joulových ztrát. Jsou způsobeny proudem naprázdno v železe magnetického obvodu a ztrát mechanických.

$$\Delta P_0 = \Delta P_{j0} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_m$$

Po výpočtu Joulových ztrát ΔP_{j0} tyto ztráty odečteme od ztrát změřených ΔP_0 a obdržíme ztráty mechanické a ztráty v železe magnetického obvodu.

$$\Delta P_0 - \Delta P_{j0} = \Delta P_{Fe} + \Delta P_m$$

Mechanické ztráty ΔP_m a ztráty v železe ΔP_{Fe} určíme pomocí kvadratických rovnic.[1][2]

2.3.2 Měření nakrátko

Schéma zapojení je téměř shodné jako při měření naprázdno, ale rotor se musí mechanicky zabrzdit. Toto mechanické zabrzdění musí být dostatečně pevné, aby stroj připojený na jmenovité napětí nemohl otáčet.

Obr. 6. Měření stroje nakrátko. Rotor je mechanicky zabrzděn.

Při měření nakrátko se určí charakteristika nakrátko, průběh ztrát a účinník nakrátko. Mezi trojfázový říditelný zdroj a zabrzděný stroj se připojí měřicí přístroje.

Charakteristika nakrátko je závislost

$$I_k = f'(U_k)$$

Teoreticky by měla být přímková, neboť hlavní tok ve stroji neexistuje a železo není nasyceno. Prakticky se ale její průběh od přímkového liší. Je to způsobeno sycením zubů statoru a hlav rotorových zubů rozptylovými toky ve stroji. O proudu nakrátko I_k se předpokládá, že roste po tečně k naměřené charakteristice.

Co se týče ztrát nakrátko, jsou tvořeny ztrátami Joulovými a ztrátami přídavnými.

$$P_k = \Delta P_{jk} + \Delta P_d$$

Ztráty v železe se zanedbávají. Joulové ztráty určíme ze známých odporů vinutí převodu.

$$\Delta P_{jk} = \frac{3}{2}(R_1 + k^2 R_2') I_1^2$$

Odečtením Joulových ztrát ΔP_{jk} od ztrát celkových obdržíme ztráty přídavné

$$\Delta P_d = P_k - \Delta P_{jk} - \Delta P_{FeUk}$$

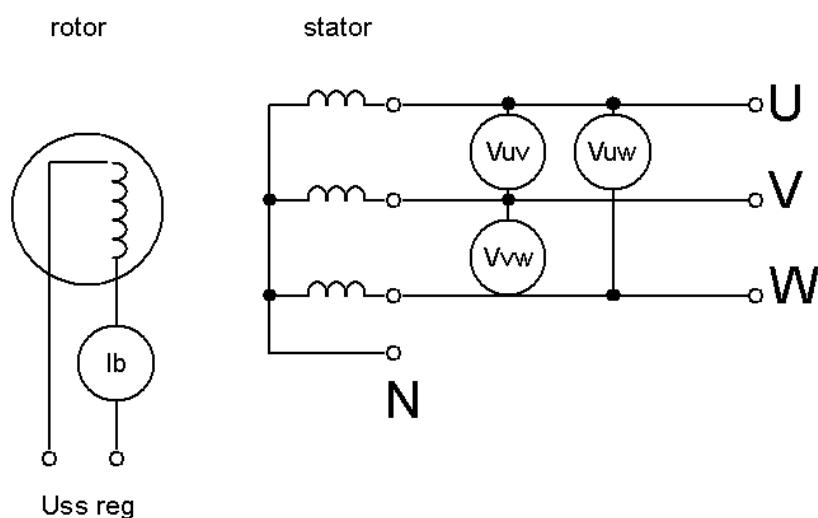
Ztráty v železe ΔP_{FeUk} odpovídají napětí U_k v chodu nakrátko.[1][2]

2.4 Měření na Synchronním stroji

2.4.1 Měření naprázdno

Zkoušku naprázdno můžeme provádět v generátorickém i v motorickém stavu. Většinou se dává přednost generátorickému stavu, kdy je stroj poháněn pomocným motorem, a jehož výkon stačí na pokrytí ztrát naprázdno. Při měření naprázdno lze určit charakteristiku naprázdno a průběh, případně rozdělení ztrát naprázdno. Při generátorickém chodu se ztráty naprázdno stanoví z měření elektrického příkonu poháněcího stroje po odečtení jeho vlastních ztrát.

Charakteristika naprázdno je závislost indukovaného napětí a napětí naprázdno na budicím proudu při konstantní rychlosti stroje.[1][2]



Obr. 7. Schéma zapojení pro měření synchronního stroje naprázdno[1]

2.4.2 Měření nakrátko

Při tomto měření se získá charakteristika nakrátko, tj, závislost proudu statoru nakrátko na budicím proudu.

$$I_k = f(I_b)$$

Měření se provádí v generátorickém stavu. U 3f strojů se obvykle provádí jen trojpólový chod nakrátko. Možné je ovšem změřit i jednopólový nebo dvojpólový chod nakrátko.

Při souměrném chodu nakrátko je velikost proudu omezena pouze podélnou synchronní reaktancí.

$$X_d = X_{ad} + (X_\sigma)$$

Při nesouměrném chodu nakrátko jsou poměry v magnetickém obvodu odlišné. V uzavřených obvodech tlumiče a v masivních částech magnetického obvodu indukuje zpětné točivé pole vířiví proudy o kmitočtu $2f$. Pokud je budicí proud velký, může docházet ke značnému ohřívání tlumiče. S ohledem na toto oteplení se obvykle měří tato charakteristika pouze do

$$I_k = 0,25\% I_n$$

[1][2]

[1] Bartoš V. – Skala B., Měření na elektrických strojích

[2] Skala B. – Žížek F., Měření a zkoušení elektrických zařízení

[3] Bartoš V. – Červený J. – Hruška J., Elektrické stroje

[4] Bartoš V., Elektrické stroje

[5] A. Jalilian, V. J. Gosbell, P. Cooper* and B. S. P. Perera, Double-Chamber Calorimeter, a New Approach to Measure Induction Motor Harmonic Losses