

# Trojfázový transformátor

## Cíle cvičení:

### Naučit se

- určit odpory primárního a sekundárního vinutí
- vztah indukovaného napětí s magnetickým tokem
- spojování 3-fázových vinutí
- fázové a sdružené napětí
- určení nominálního proudu (ze štítku)
- měření PŘEVODU
- měření naprázdno
- měření nakrátko
- náhradní schéma transformátoru
- 

### Seznámit se

- vzduchem chlazený transformátor
- štítek transformátoru
- měřič izolačního stavu MEGMET
- trojfázový autotransformátor
- měření trojfázového výkonu dvěma Wattmetry

## ZADÁNÍ

- 1 IDENTIFIKACE neoznačených vývodů cívek
- 2 Změřit odpory vinutí ve studeném stavu
- 3 Změřit převod ve spojení Yd a Yy při sníženém napětí
- 4 Provést ZKOUŠKU NAPRÁZDNO v rozsahu 20 – 120%  $U_n$  a z grafu vyhodnotit pro  $U_n$  proud naprázdno  $I_0$  a ztráty naprázdno  $P_0$
- 5 Provést ZKOUŠKU NAKRÁTKO v rozsahu 20 – 120%  $I_n$  a z grafu vyhodnotit pro  $I_n$  napětí nakrátko  $U_k$  a ztráty nakrátko  $P_k$
- 6 Určit poměrné hodnoty  $i_0$  a  $u_k$
- 7 Vytvořit náhradní schéma (1-fázové) a z naměřených hodnot z bodů 4 a 5 vypočítat hodnotu všech prvků ve schématu
- 8 Nakreslit fázorový diagram pro  $I_n$  a  $\cos\varphi = 0,8$
- 9 Vypočítat zatěžovací charakteristiky  $U(P)$  pro různé účinníky

## Ad 1 IDENTIFIKACE VÝVODŮ CÍVEK VINUTÍ

Musíme vyřešit 4 tajenky:

- Najít 6 dvojic svorek pro 6 cívek
- určit primární a sekundární cívky
- jejich uložení na jednotlivých sloupech trafo
- správně určit začátky a konce

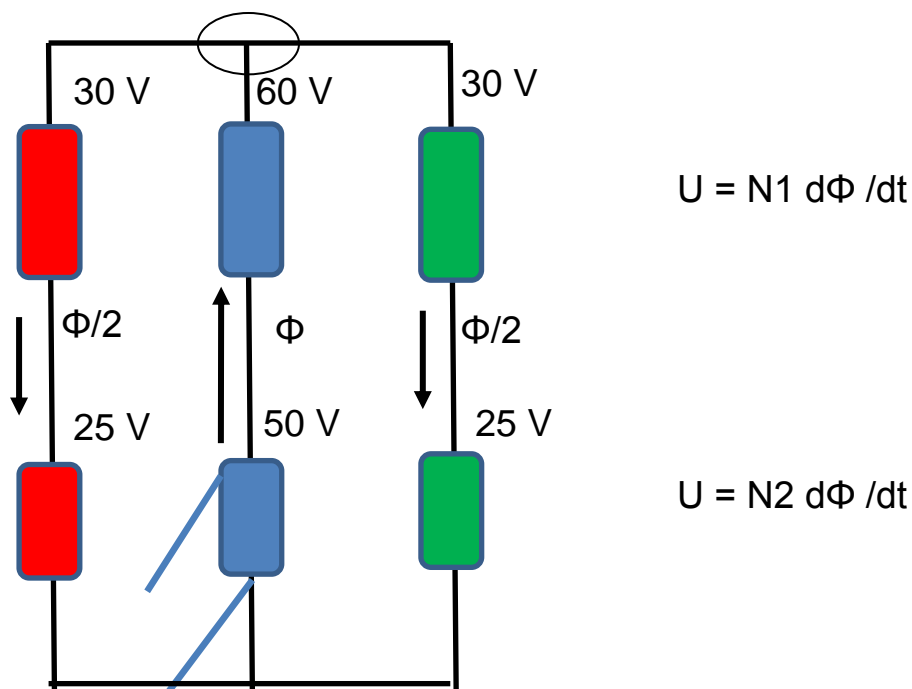
dvojice vyhledáme Ohmmetrem a zapíšeme do **Tabulky**:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Svorky:	R [Ω]	U [V]	fáze					I / II
1 -		50						
2 -								
3 -								

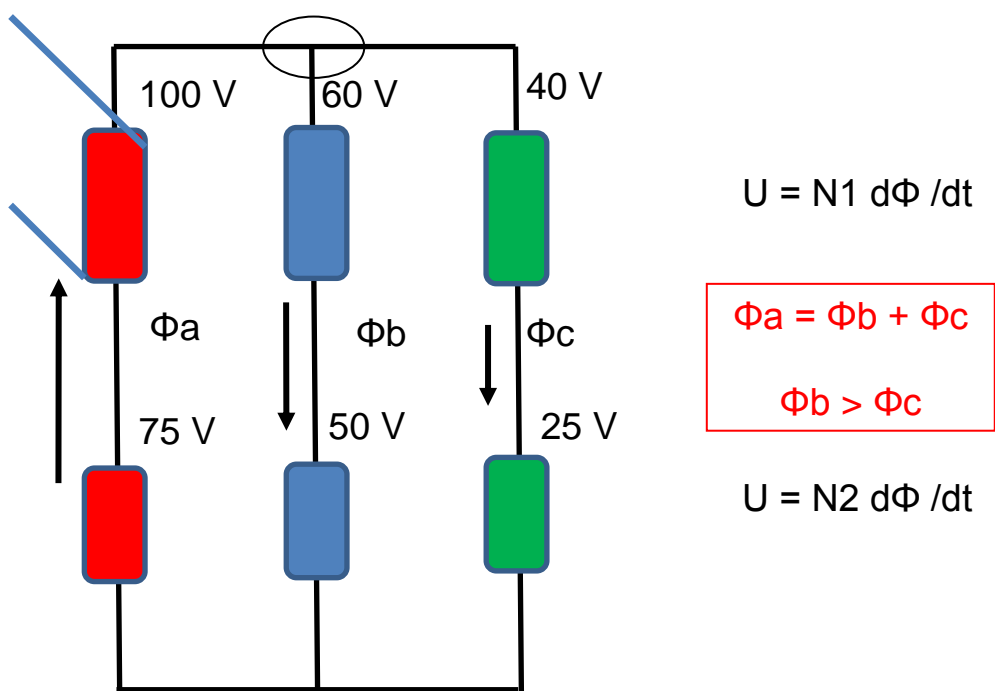
Velikosti odporů můžeme zapsat do sloupce (2) a v sloupci (9) označit I vs. II

Jednu cívku budeme napájet sníženým napětím (50Hz) nejen s ohledem na bezpečnost obsluhy, ale hlavně aby se nepřekročil údaj ze štítku (!) a napětí na ostatních zapíšeme do sloupce (3).

Princip měření spočívá na rozložení magnetického toku v třísloupovém jádře podle principů, jež znáte z elektrických obvodů a pro magnetický tok rovněž platí 1KZ



V případě, že napájíme střední sloup, tok se rozdělí rovnoměrně do krajních sloupů a měření musíme zopakovat s napájením krajního sloupu:



Změřením obou variant spolehlivě určíme cívky:

A	B	C	a	b	c
---	---	---	---	---	---

Pro vyřešení poslední tajenky využijeme znalost orientace napětí na stejném a nestejném sloupku podle posledního obrázku, k napášené cívce A budeme postupně připojovat (do série) jednotlivé další a měřit jestli se napětí sečetla, nebo odečetla, t.j. zda byly ve fázi nebo v protifázi (podobně jako když řadíte do série stejnosměrné zdroje (+ ! -))

	svorky	U [V]		svorky	U [V]
A			A - a		
A - B			A - b		
A - C			A - c		

A z pilnosti ještě ověřte kombinace:

	svorky	U [V]		svorky	U [V]
B - b			C - c		

... už se správným zapojením polarity tak, aby se sečetly!

## Ad 2 MĚŘENÍ ODPORŮ VINUTÍ

Vliv teploty vinutí se musí vzít do úvahy, po dostatečně dlouhé době je teplota vinutí a okolí vyrovnána. Teplotu okolí zaznamenat!

Přepočet na dohodnutou teplotu 20°C a 75°C se pro měděné vodiče počítá z teploty  $\vartheta$  °C takto:

$$R_{20} = R_{\vartheta} \frac{255}{(235 + \vartheta)}$$

$$R_{75} = R_{20} \frac{(235 + 75)}{255}$$

Stejnoseměrný zdroj s vyhlazeným napětím – Ohmova metoda

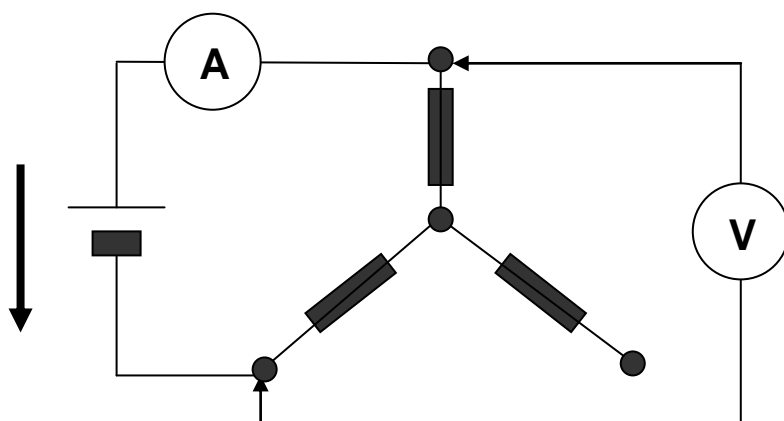
Pokud se k napájení použije akumulátor (není problém s filtrací a vyhlazením, velikost proudu se nastavuje posuvným odporem zařazeným do série.

Volba velikosti proudu aby se vinutí během měření nezahřívalo a mělo teplotu okolí.

**(Podle ČSN při proudu 10% až 20%  $I_n$ )**

Rozpojené vinutí se měří samostatně pro každou fázi, pokud nelze rozpojit (spoj je nepřístupný uvnitř nádoby nebo spojený nerozebíratelně (svařen) je třeba zjistit spolehlivě spojení fázových vinutí jak vidno ve Schématech 1a a 1b měřená hodnota odporu se liší pro hvězdu a trojúhelník podstatně. Procvičíme a srovnáme obě spojení

### Schéma 1a.:



### Soupis přístrojů:

DC zdroj

A

V

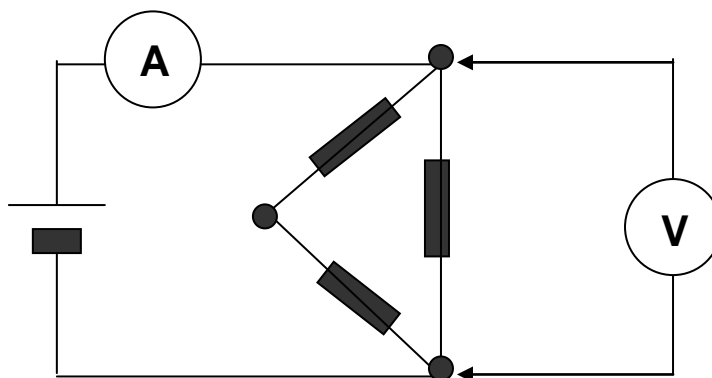
Teplota okolí  $\vartheta_{OK} = \quad ^\circ\text{C}$

vinutí	I [A]	U [V]	2R [ $\Omega$ ]	R [ $\Omega$ ]	R <sub>20</sub> [ $\Omega$ ]		
A			X				
B			X				
C			X				
AB							
BC							
CA							
a			X				
b			X				
c			X				
ab							
bc							
ca							

$R_1(20^\circ) = \quad \Omega$

$R_2(20^\circ) = \quad \Omega$

Schéma 1b.:



Teplota okolí  $\vartheta_{OK} = \quad ^\circ\text{C}$

	I [A]	U [V]	2/3 R [ $\Omega$ ]	R [ $\Omega$ ]	R <sub>20</sub> [ $\Omega$ ]		
AB							
BC							
CA							
ab							
bc							
ca							

$$R_1(20^\circ) = \Omega$$

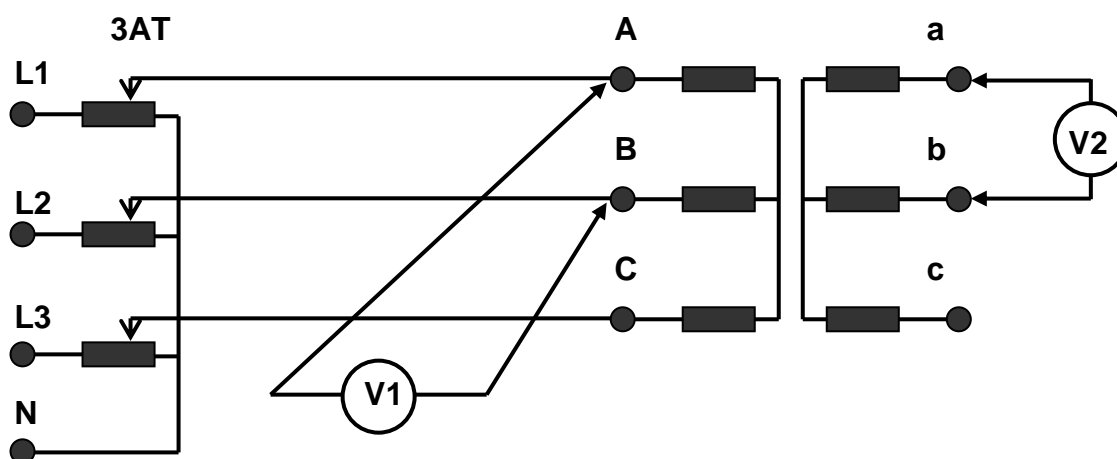
$$R_2(20^\circ) = \Omega$$

### Ad 3 MĚŘENÍ PŘEVODU

Vliv proudu naprázdno na úbytek (rozdíl mezi svorkovým napětím  $U_1$  a vnitřním napětím - indukovaným  $U_{1i}$ ) je nejmenší při napájení mezi 20% až 80 %  $U_n$

Zátěž voltmetrem, který měří  $U_{20}$  je třeba minimalizovat (co největší vnitřní odpor přístroje).

#### Schéma 2.:



Stejné zapojení jako ve schématu 3 pro měření naprázdno, jen bez ampérmetrů a wattmetrů. Pro samotné měření naprázdno je naopak nadbytečný voltmetr na sekundární straně.

Postupně nastavte cca 20, 50 a 80 %  $U_n$  a vyplňte tabulku:

$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$U_1$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$	$U_{20}$	$p$
[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[---]

$$p = U_{10} / U_{20}$$

$$U_1 = (U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}) / 3$$

**Vypočítejte střední hodnotu převodu, srovnajte naměřený převod s převodem vypočítaným ze štítku a vysvětlete rozdíl.**

**Kolik by bylo sekundární napětí na štítku (při  $U_{1n}$ ) se změřeným převodem?**

Jak se změní převod, když se změní spojení?

Vypočítejte převod pro spojení **Yd** a **Dy**

Vyplňte do tabulky hodnoty napětí pro tato spojení

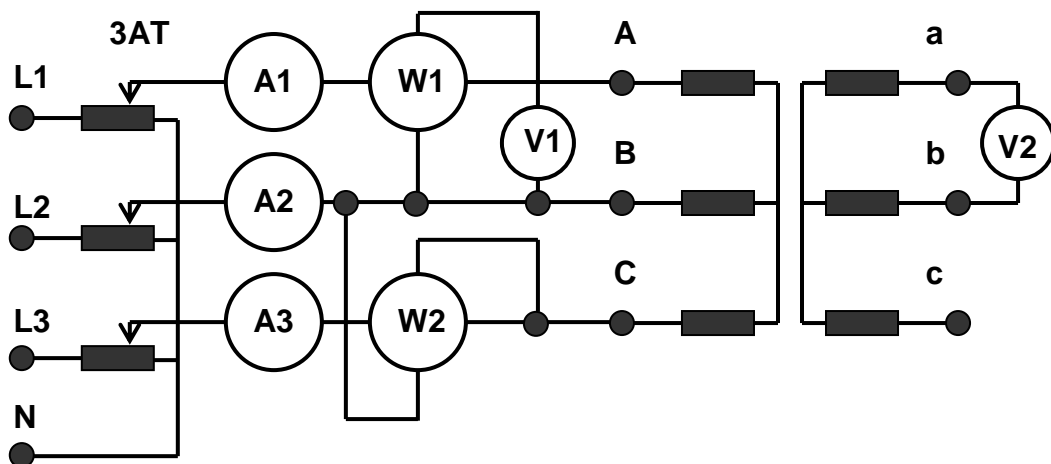
Y / y	Y / d	D / y
U1 = 3x 380 V	U1 = 3x V	U1 = 3x V
U2 = 3x 220 V	U2 = 3x V	U2 = 3x V

Převod se musí dodržet velmi přesně, udává se minimálně na čtyři platná místa, malá chyba v převodu dělá velký problém v paralelní spolupráci transformátorů, když se liší napětí sekundárů, které mají být propojeny.

## Ad 4 MĚŘENÍ NAPRÁZDNO

Měření trojfázového výkonu dvěma wattmetry (Arónovo zapojení) se dá realizovat pouze v trojvodičové síti, bez středního vodiče.

Schéma 3.:



### Soupis přístrojů:

AT

A1

A2

A3

W1

W2

V1

V2

Tabulka naměřených hodnot NAPRÁZDNO:

U1	I1	I2	I3	I0	P1	P2	P1+P2	k <sub>w</sub>	Po
[V]	[A]	[A]	[A]	[A]	[d]	[d]	[d]	[W/d]	[W]

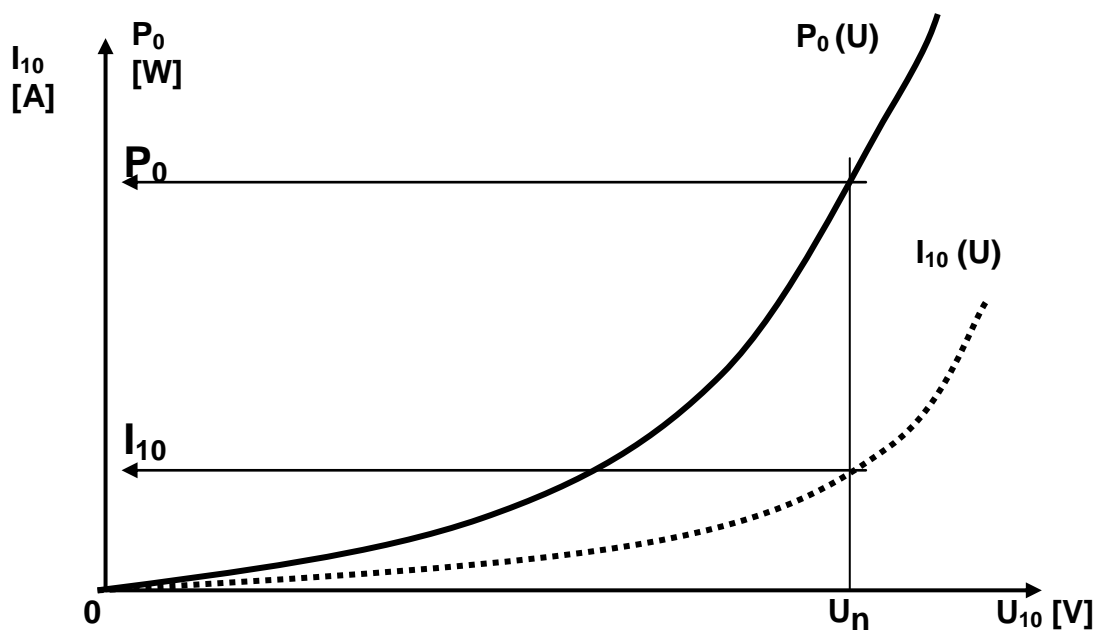
Proudová nesymetrie je důsledek rovinného uspořádání jádra, kde střední sloup představuje kratší cestu magnetického toku a tudíž vyžaduje menší magnetické napětí.

**Výpočty do tabulky:**

$$I_0 = (I_1 + I_2 + I_3) / 3$$

$$P_0 = (P_1 + P_2) \cdot k_w$$

**Graf:**



V grafu vyznačit nominální napětí a pro toto napětí odečíst z křivek

$$P_0 = \dots\dots W$$

$$I_0 = \dots\dots A$$

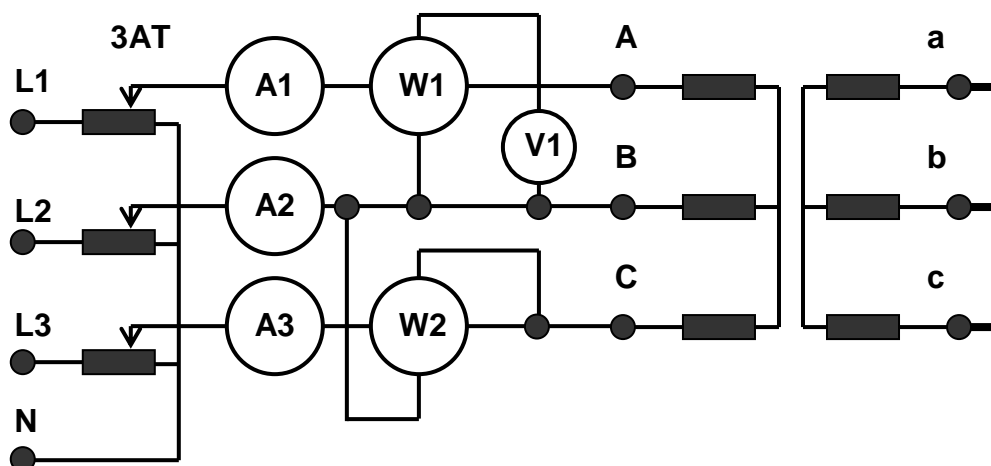


## Ad 5 MĚŘENÍ NAKRÁTKO

Pozor na prudký nárůst proudu! Pomalu zvyšovat...

Začínat z nulového napětí!

Schéma 4.:



Tabulka naměřených hodnot NAKRÁTKO:

U <sub>k</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>k</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub>	k <sub>w</sub>	P <sub>k</sub>
V	A	A	A	A	d	d	d	W/d	W

**Soupis přístrojů:**

**3AT**

**A1**

**A2**

**A3**

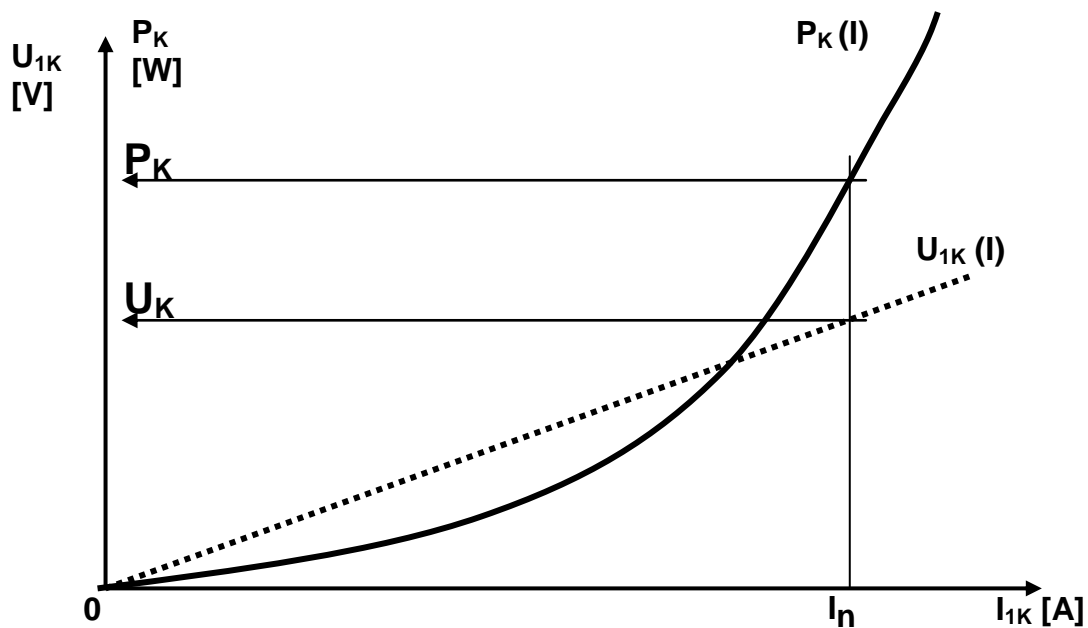
**W1**

**W2**

**V1**

**V2**

Graf:

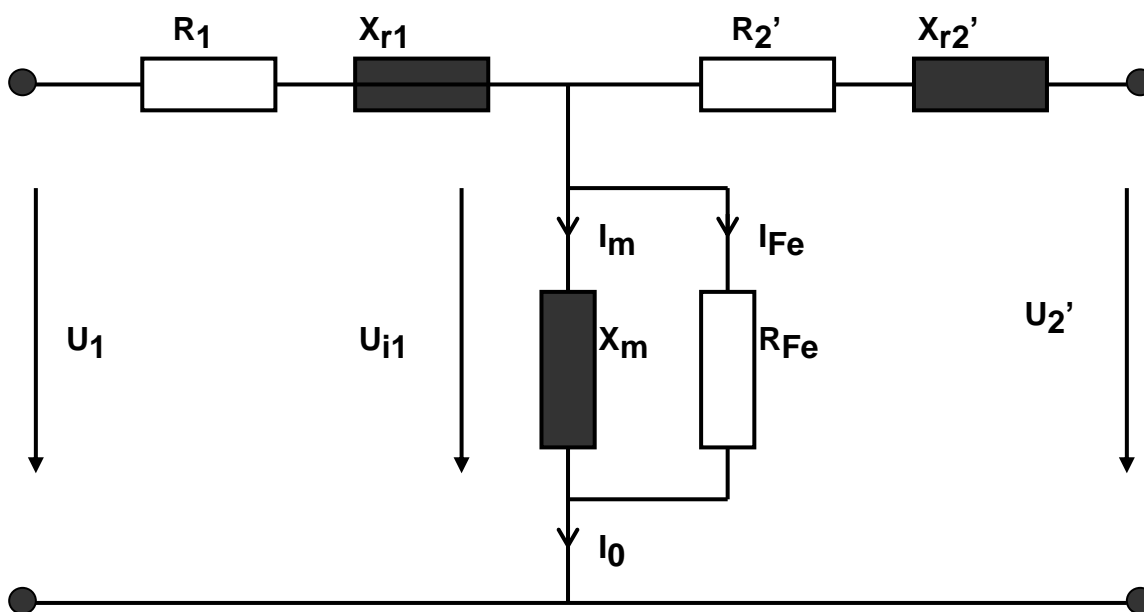


V grafu vyznačit nominální proud a pro tento proud odečíst z křivek

$$P_k = \quad W$$

$$U_k = \quad V$$

Ad 7 NÁHRADNÍ SCHÉMA (JEDNOFÁZOVÉ)



## VÝPOČET PRVKŮ NÁHRADNÍHO SCHÉMATU

Prvky podélné větve z měření nakrátko:

$$R_2' = R_2 \cdot p^2$$

$$R_k = R_1 + R_2'$$

$$Z_k = U_{kf} / I_n \quad \text{z grafu!}$$

$$X_k = (Z_k^2 - R_k^2)^{1/2}$$

$$X_{r1} = X_{r2}' = X_k/2$$

$$X_{r2} = X_{r2}' / p^2$$

$$R_k = P_k / (3 I_n^2)$$

$$\cos \varphi_k = P_k / (\sqrt{3} U_k I_n)$$

$$\sin \varphi_k = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_k}$$

$$X_k = Z_k \cdot \sin \varphi_k$$

Prvky příčné větve z měření naprázdno:

$$\cos \varphi_0 = P_0 / (\sqrt{3} U_n I_0)$$

$$I_{Fe} = I_0 \cos \varphi_0$$

$$I_m = \sqrt{I_0^2 - I_{Fe}^2}$$

$$R_{fe} = U_{1f} / I_{Fe}$$

$$X_m = U_{1f} / I_m$$

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_0}$$

$$I_m = I_0 \sin \varphi_0$$

$$R_{fe} = 3 U_{1f}^2 / P_0$$

Zkratový proud, který by se vyvinul při plném napětí na vstupu, kdyby nezafungovalo jištění a výkon zdroje by byl dostatečný:

$$I_{ktrv} = U_{1f} / Z_k$$

Takovýto proud by vedl k nevratným změnám poškozujícím izolační systém nejen tepelně, ale i dynamickým namáháním, které deformuje (trhá) vinutí.

Ad 6 **V POMĚRNÝCH HODNOTÁCH** vyjádříme proud naprázdno:

$$i_0 = (I_{10} / I_{1n}) \cdot 100\%$$

A napětí nakrátko:

$$u_K = (U_{1K} / U_{1n}) \cdot 100\%$$

## Ad 9 VÝPOČET ÚBYTKU NAPĚTÍ PRO RŮZNÉ ÚČINÍKY

$\cos \varphi = 0,8 \text{ IND}$

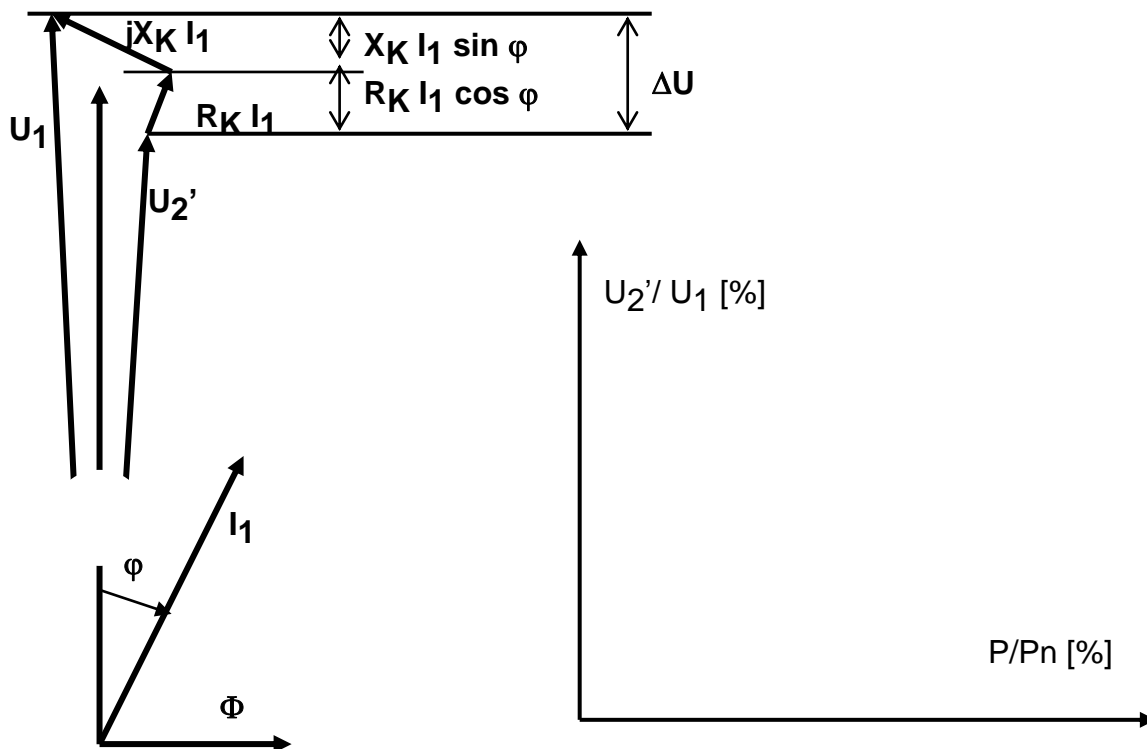
P / P <sub>n</sub>	I <sub>1</sub>	R <sub>K</sub> I <sub>1</sub> cos φ	X <sub>K</sub> I <sub>1</sub> sin φ	ΔU	U <sub>2</sub> '	U <sub>2</sub> ' / U <sub>1</sub>
[%]	[A]	[V]	[V]	[V]	[V]	[%]
25						
50						
75						
100						

$\cos \varphi = 1$

P / P <sub>n</sub>	I <sub>1</sub>	R <sub>K</sub> I <sub>1</sub> cos φ	X <sub>K</sub> I <sub>1</sub> sin φ	ΔU	U <sub>2</sub> '	U <sub>2</sub> ' / U <sub>1</sub>
[%]	[A]	[V]	[V]	[V]	[V]	[%]
25						
50						
75						
100						

$\cos \varphi = 0,8 \text{ CAP}$

P / P <sub>n</sub>	I <sub>1</sub>	R <sub>K</sub> I <sub>1</sub> cos φ	X <sub>K</sub> I <sub>1</sub> sin φ	ΔU	U <sub>2</sub> '	U <sub>2</sub> ' / U <sub>1</sub>
[%]	[A]	[V]	[V]	[V]	[V]	[%]
25						
50						
75						
100						



## Kontrolní otázky:

- Jak vypočítáte nominální proud ze štítku?
- Jaký výkon se udává na štítku TRANSFORMÁTORU?
- Označování svorek TRANSFORMÁTORU
- Označování spojení vinutí
- Charakteristika naprázdno
- Charakteristika nakrátko
- Složky proudu naprázdno
- Definice napětí nakrátko
- Kolik bývá velikost napětí naprázdno?
- K čemu jsou vztaženy poměrné veličiny?
- Kolik bývá proud naprázdno?
- Jak se zapojují wattmetry pro měření 3-f výkonu?
- Co je převod?