

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

ELEKTRICKÉ STROJE

Laboratorní cvičení

LS 2015/2016

Měření naprázdno na 3f transformátoru

Měřicí tým: Balatka Josef, Kaska Jan, Pretl Tomáš, Zeisek Jakub

Cvičení: St 9-10

Elaborát zpracoval: Kaska Jan

Datum měření: 2.3.2016

Datum vypracování: 7.3.2016

1 Zadání

Proveďte měření naprázdno na transformátoru o zdánlivém výkonu ($TR_1=15 \text{ kVA}$, $TR_2=900 \text{ VA}$, $TR_3=6,3 \text{ kVA}$, $TR_4=4,5 \text{ kVA}$). Transformátor zapojte dle pokynů vyučujícího (Y_d , Y_y , D_d).

Dále změřte Ohmovou metodou odpory vinutí a proveďte rozdělení ztrát v transformátoru. Stanovte převod transformátoru pro dané spojení. Naměřené a vypočtené hodnoty zpracujte tabelárně a graficky vynesete závislosti:

- $U_0=f(I_0)$ pro průměrné hodnoty stanovené ze všech 3f
- $\Delta P_0=f(U_0)$, $\Delta P_{Fe}=f(U_0)$, $\Delta P_J=f(U_0)$,
- $\cos \varphi_0=f(I_0)$, $\cos \varphi_0=f(U_0)$
- $Q_{TR}=f(U)$ (celková 3f hodnota, součet všech 3f)

2 Teoretický úvod

Měření odporů vinutí Ohmovou metodou

Každé vinutí je postupně připojeno ke zdroji stejnosměrného napětí, reostatem je nastavován požadovaný proud (nejlépe 1A) a následně je podle vzorce $R = \frac{U}{I}$ vypočten výsledný odpor.

Měření transformátoru naprázdno

Při zapojení transformátoru naprázdno není výstup transformátoru zatížen a proud sekundárního vinutí je tedy nulový. Primárním vinutím přesto protéká magnetizační proud nutný k vybuzení magnetického pole v transformátoru. Tento proud je složen ze dvou složek, první je induktivního charakteru a reprezentuje hlavní tok v magnetickém obvodu. Druhá složka reprezentuje hysterezní ztráty a ztráty vířivými proudy.

Ztráty

Z činného výkonu naprázdno jsou hrazeny Jouleovy ztráty způsobené vstupním proudem naprázdno ve vstupním vinutí a ztráty v železe. Odpor vstupního vinutí a protékající proud je velmi malý a Jouleovy ztráty jsou proto zanedbatelné a příkon transformátoru je roven ztrátám v železe. Ztráty v železe lze obecně rozdělit na ztráty hysterezní, závislé na kmitočtu lineárně a ztráty vířivými proudy, které závisí na druhé mocnině kmitočtu.

3 Měření

Jednotlivá vinutí byla nejprve připojována ke zdroji stejnosměrného napětí s reostatem a pomocí voltmetru a ampérmetru odečítány hodnoty napětí a proudů na jednotlivých vinutích. Z těchto hodnot byl následně vypočten odpor jednotlivých vinutí a průměrný odpor použitý ve

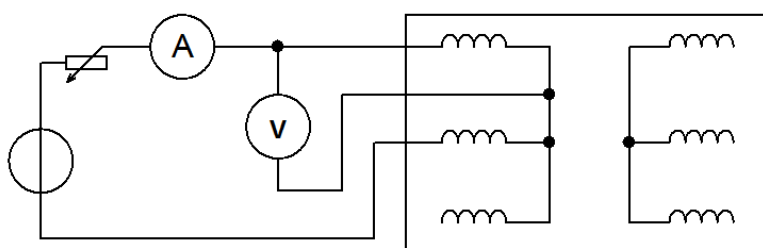
výpočtu Jouleových ztrát. Transformátor byl následně zapojen jako "hvězda - hvězda" a vstup transformátoru byl připojen k měřicímu převodníku DMK32 spojenému s počítačem a pomocí pultového autotransformátoru bylo zvyšováno napětí přibližně v rozmezí 0 - 120% jmenovitého napětí. Počítač automaticky po několika sekundách odečítal hodnoty napětí, proudu a činného a jalového výkonu. Hodnoty proudu a výkonů bylo nutno následně vynásobit konstantou 2/5.

3.1 Štítek měřeného stroje

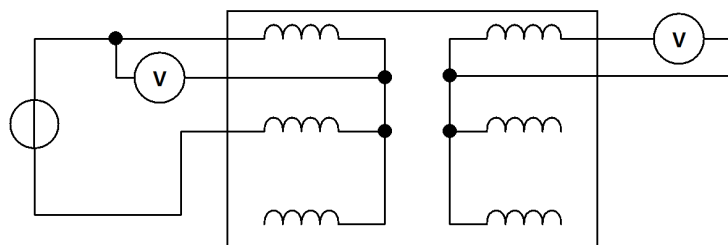
Tab. 1: Štítek měřeného stroje

Transformátorek
400 / 230 V sdružených
230 / 132 V fázových
2,26 / 2,26 A

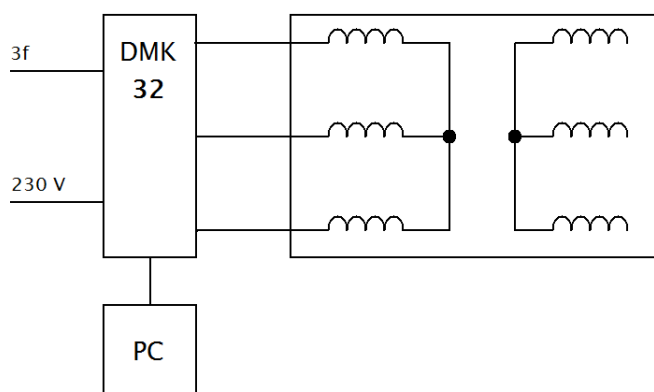
3.2 Schéma zapojení



Obrázek 1: Zapojení pro měření odporů vinutí



Obrázek 2: Zapojení pro měření převodu transformátoru



Obrázek 3: Zapojení pro měření naprázdno

3.3 Naměřené a vypočítané hodnoty

Tab. 2: Naměřené hodnoty

U_{L1-L2}	U_{L2-L3}	U_{L3-L1}	I_{L1}	I_{L2}	I_{L3}	P_{L1}	P_{L2}	P_{L3}	Q_{L1}	Q_{L2}	Q_{L3}
[V]	[V]	[V]	[A]	[A]	[A]	[W]	[W]	[W]	[VAr]	[VAr]	[VAr]
2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,00	6,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,00	8,00	8,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	10,00	10,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14,00	14,00	14,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18,00	17,00	18,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24,00	24,00	24,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,00	29,00	29,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
37,00	36,00	37,00	0,02	0,01	0,02	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44,00	42,00	43,00	0,03	0,01	0,03	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
50,00	49,00	49,00	0,03	0,01	0,03	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
56,00	55,00	55,00	0,03	0,01	0,03	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00
67,00	65,00	66,00	0,03	0,02	0,03	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00
72,00	64,00	74,00	0,04	0,02	0,04	2,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00
89,00	87,00	88,00	0,04	0,02	0,04	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00
102,00	101,00	101,00	0,05	0,03	0,05	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00
111,00	109,00	109,00	0,05	0,03	0,05	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00
120,00	118,00	119,00	0,05	0,03	0,05	4,00	2,00	2,00	0,00	1,00	3,00
132,00	130,00	130,00	0,06	0,03	0,06	4,00	2,00	3,00	2,00	0,00	4,00
146,00	145,00	145,00	0,07	0,04	0,06	5,00	3,00	3,00	3,00	2,00	4,00
160,00	158,00	159,00	0,07	0,04	0,07	6,00	3,00	4,00	2,00	2,00	5,00
178,00	177,00	176,00	0,08	0,05	0,08	7,00	4,00	4,00	4,00	3,00	7,00
191,00	190,00	189,00	0,09	0,05	0,09	8,00	5,00	5,00	5,00	3,00	8,00
206,00	205,00	205,00	0,10	0,06	0,10	10,00	5,00	6,00	7,00	5,00	10,00
220,00	219,00	218,00	0,11	0,06	0,11	11,00	6,00	6,00	9,00	5,00	12,00
231,00	230,00	229,00	0,12	0,07	0,12	12,00	6,00	7,00	10,00	7,00	14,00
243,00	242,00	241,00	0,13	0,08	0,13	14,00	7,00	7,00	12,00	9,00	17,00
254,00	253,00	252,00	0,14	0,09	0,14	15,00	8,00	8,00	14,00	11,00	19,00
263,00	261,00	260,00	0,15	0,10	0,15	17,00	8,00	8,00	16,00	13,00	23,00
271,00	270,00	269,00	0,17	0,10	0,17	18,00	9,00	8,00	20,00	13,00	25,00
271,00	270,00	269,00	0,17	0,10	0,17	18,00	9,00	9,00	20,00	13,00	25,00
280,00	279,00	277,00	0,18	0,11	0,19	20,00	10,00	9,00	21,00	17,00	29,00

Tab. 3: Naměřené hodnoty

U_{prim}	[V]	119
U_{sek}	[V]	72
U_a	[V]	3,12
U_b	[V]	3,35
U_c	[V]	3,28
I	[A]	1

Tab. 4: Vypočítané hodnoty

U_0	I_{L1_s}	I_{L2_s}	I_{L3_s}	I_0	P_{L1_s}	P_{L2_s}	P_{L3_s}	Q_{L1_s}	Q_{L2_s}	Q_{L3_s}	ΔP_0	ΔP_J	ΔP_{FE}	Q_{TR}	$\cos(\varphi_0)$
[V]	[A]	[A]	[A]	[A]	[W]	[W]	[W]	[VAr]	[VAr]	[VAr]	[W]	[mW]	[W]	[VAr]	[-]
2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
6,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	-
10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	-
14,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	-
17,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	-
24,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	-
29,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	-
36,67	0,01	0,00	0,01	0,01	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,43	0,40	0,00	-
43,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,40	0,85	0,40	0,40	-
49,33	0,01	0,00	0,01	0,01	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,40	0,85	0,40	0,40	-
55,33	0,01	0,00	0,01	0,01	0,40	0,40	0,40	0,00	0,00	0,40	1,20	0,85	1,20	0,40	-
66,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,40	0,40	0,40	0,00	0,00	0,40	1,20	1,11	1,20	0,40	0,59
70,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,80	0,40	0,40	0,40	0,00	0,40	1,60	1,73	1,60	0,80	0,60
88,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,80	0,40	0,40	0,00	0,00	0,40	1,60	1,73	1,60	0,40	0,47
101,33	0,02	0,01	0,02	0,02	1,20	0,80	0,80	0,40	0,40	0,80	2,80	2,93	2,80	1,60	0,55
109,67	0,02	0,01	0,02	0,02	1,20	0,80	0,80	0,40	0,40	0,80	2,80	2,93	2,80	1,60	0,51
119,00	0,02	0,01	0,02	0,02	1,60	0,80	0,80	0,00	0,40	1,20	3,20	2,93	3,20	1,60	0,52
130,67	0,02	0,01	0,02	0,02	1,60	0,80	1,20	0,80	0,00	1,60	3,60	3,90	3,60	2,40	0,47
145,33	0,03	0,02	0,02	0,02	2,00	1,20	1,20	1,20	0,80	1,60	4,40	5,01	4,39	3,60	0,45
159,00	0,03	0,02	0,03	0,02	2,40	1,20	1,60	0,80	0,80	2,00	5,20	5,62	5,19	3,60	0,46
177,00	0,03	0,02	0,03	0,03	2,80	1,60	1,60	1,60	1,20	2,80	6,00	7,64	5,99	5,60	0,41
190,00	0,04	0,02	0,04	0,03	3,20	2,00	2,00	2,00	1,20	3,20	7,20	9,17	7,19	6,40	0,43
205,33	0,04	0,02	0,04	0,03	4,00	2,00	2,40	2,80	2,00	4,00	8,40	11,72	8,39	8,80	0,39
219,00	0,04	0,02	0,04	0,04	4,40	2,40	2,40	3,60	2,00	4,80	9,20	13,59	9,19	10,40	0,39
230,00	0,05	0,03	0,05	0,04	4,80	2,40	2,80	4,00	2,80	5,60	10,00	16,66	9,98	12,40	0,35
242,00	0,05	0,03	0,05	0,05	5,60	2,80	2,80	4,80	3,60	6,80	11,20	20,04	11,18	15,20	0,34
253,00	0,06	0,04	0,06	0,05	6,00	3,20	3,20	5,60	4,40	7,60	12,40	23,73	12,38	17,60	0,33
261,33	0,06	0,04	0,06	0,05	6,80	3,20	3,20	6,40	5,20	9,20	13,20	27,73	13,17	20,80	0,31
270,00	0,07	0,04	0,07	0,06	7,20	3,60	3,20	8,00	5,20	10,00	14,00	33,56	13,97	23,20	0,30
270,00	0,07	0,04	0,07	0,06	7,20	3,60	3,60	8,00	5,20	10,00	14,40	33,56	14,37	23,20	0,31
278,67	0,07	0,04	0,08	0,06	8,00	4,00	3,60	8,40	6,80	11,60	15,60	39,94	15,56	26,80	0,30

Tab. 5: Vypočítané hodnoty

převod k	[-]	1,65
Ra	[Ω]	3,12
Rb	[Ω]	3,35
Rc	[Ω]	3,28
R _{průměrný}	[Ω]	3,25

3.4 Příklady výpočtu

$$R_a = \frac{U_a}{I} = \frac{3,12}{1} = 3,12 \, \Omega$$

$$k = \frac{U_{prim}}{U_{sek}} = \frac{119}{72} \doteq 1,65$$

$$R_{průměrný} = \frac{R_a + R_b + R_c}{3} = \frac{3,12 + 3,35 + 3,28}{3} = 3,25 \, \Omega$$

$$U_0 = \frac{U_{L1-L2} + U_{L2-L3} + U_{L3-L1}}{3} = \frac{280 + 279 + 277}{3} \doteq 278,67 \, V$$

$$I_0 = \frac{I_{L1-s} + I_{L2-s} + I_{L3-s}}{3} = \frac{0,07 + 0,04 + 0,08}{3} \doteq 0,064 \, A$$

$$I_{L1-s} = \frac{2}{5} \cdot I_{L1} = \frac{2}{5} \cdot 0,18 = 0,072 \, A$$

$$P_{L1-s} = \frac{2}{5} \cdot P_{L1} = \frac{2}{5} \cdot 20 = 8 \, W$$

$$Q_{L1-s} = \frac{2}{5} \cdot Q_{L1} = \frac{2}{5} \cdot 21 = 8,4 \, VAr$$

$$\Delta P_0 = P_{L1-s} + P_{L2-s} + P_{L3-s} = 8 + 4 + 3,6 = 15,6 \, W$$

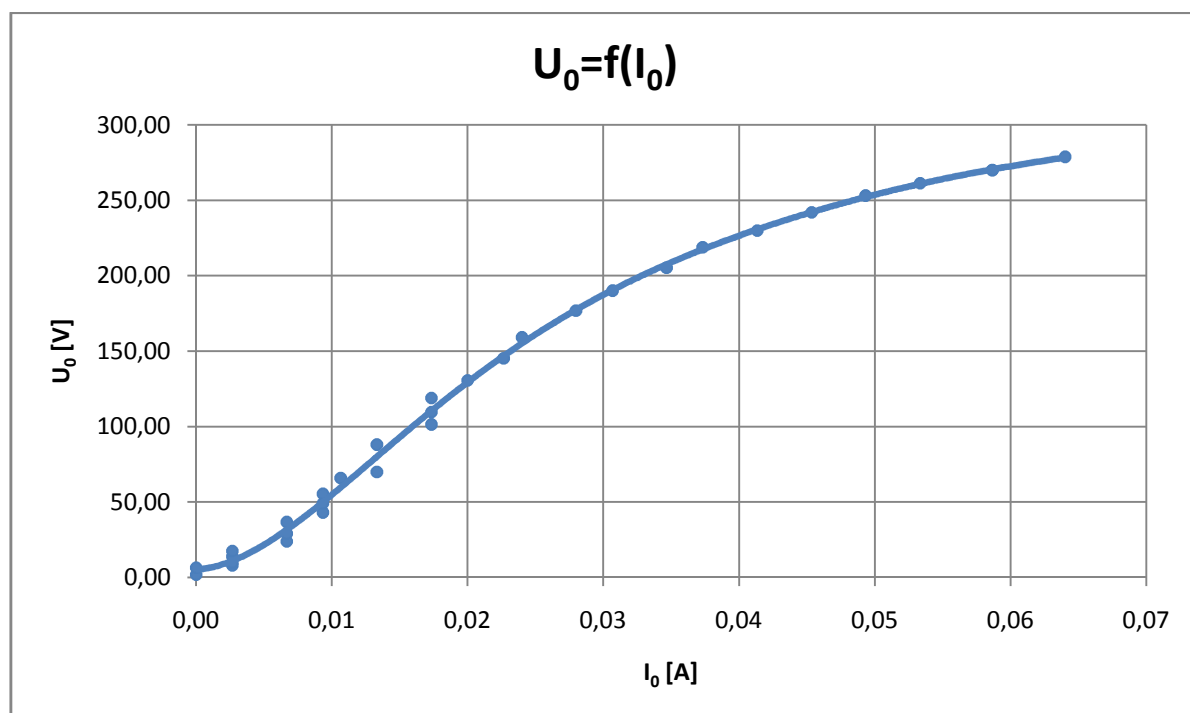
$$\Delta P_J = 3 \cdot R_{průměrný} \cdot I_0^2 = 3 \cdot 3,25 \cdot 0,064^2 \doteq 39,94 \, mW$$

$$\Delta P_{FE} = \Delta P_0 - \Delta P_J = 15,6 - 39,94 \cdot 10^{-3} = 15,56 \, W$$

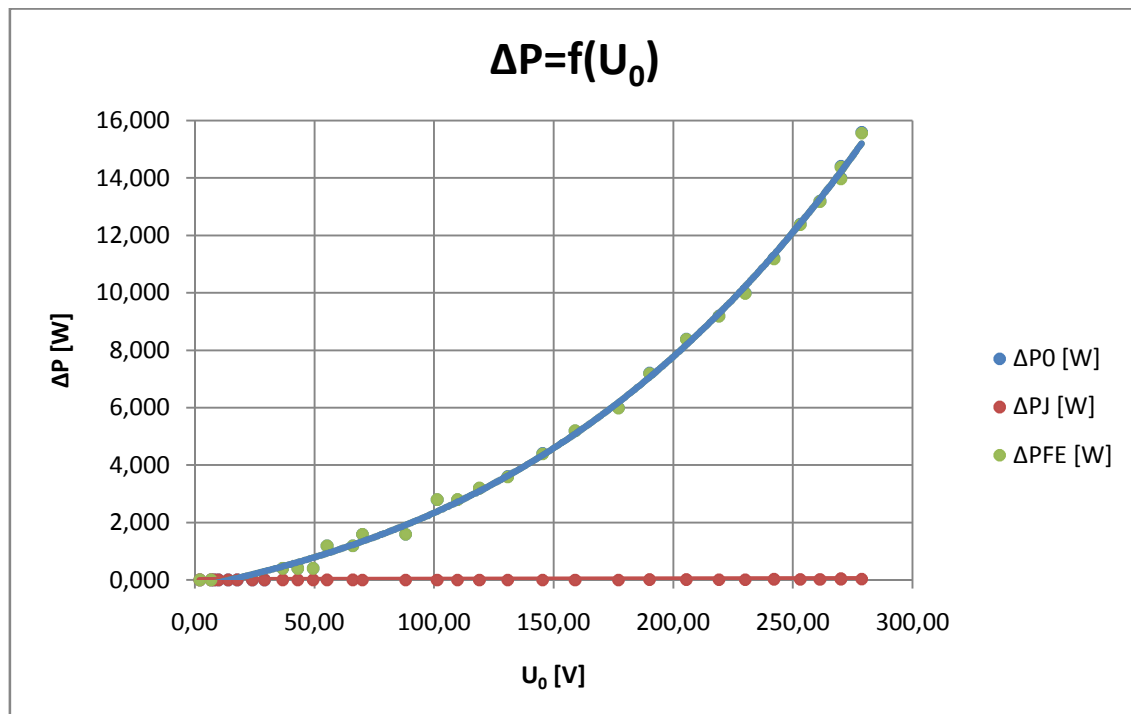
$$Q_{TR} = Q_{L1-s} + Q_{L2-s} + Q_{L3-s} = 8,4 + 6,8 + 11,6 = 26,8 \, VAr$$

$$\cos(\varphi_0) = \frac{\frac{P_{L1-s}}{U_{L1-L2} \cdot I_{L1-s}} + \frac{P_{L2-s}}{U_{L2-L3} \cdot I_{L2-s}} + \frac{P_{L3-s}}{U_{L3-L1} \cdot I_{L3-s}}}{3} = \frac{\frac{8}{280 \cdot 0,072} + \frac{4}{279 \cdot 0,044} + \frac{3,6}{277 \cdot 0,076}}{3} \doteq 0,3$$

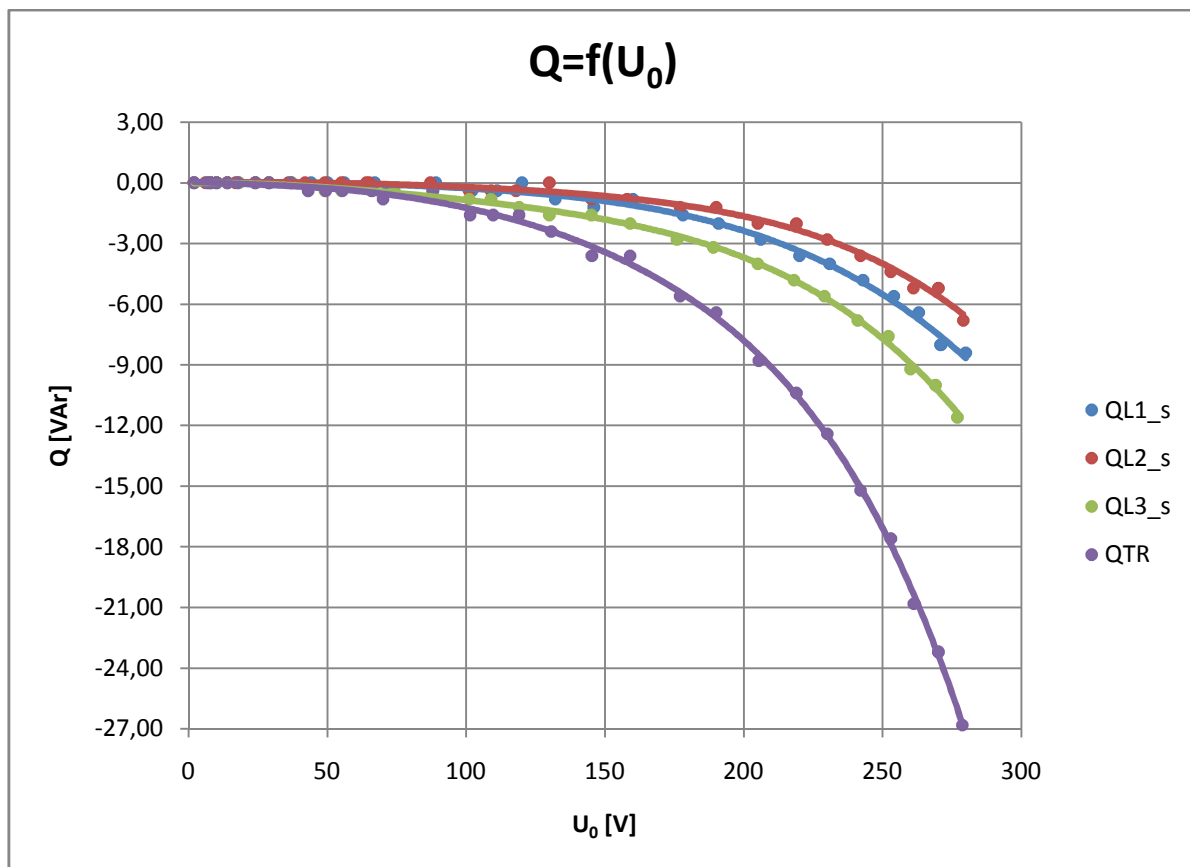
3.5 Grafy



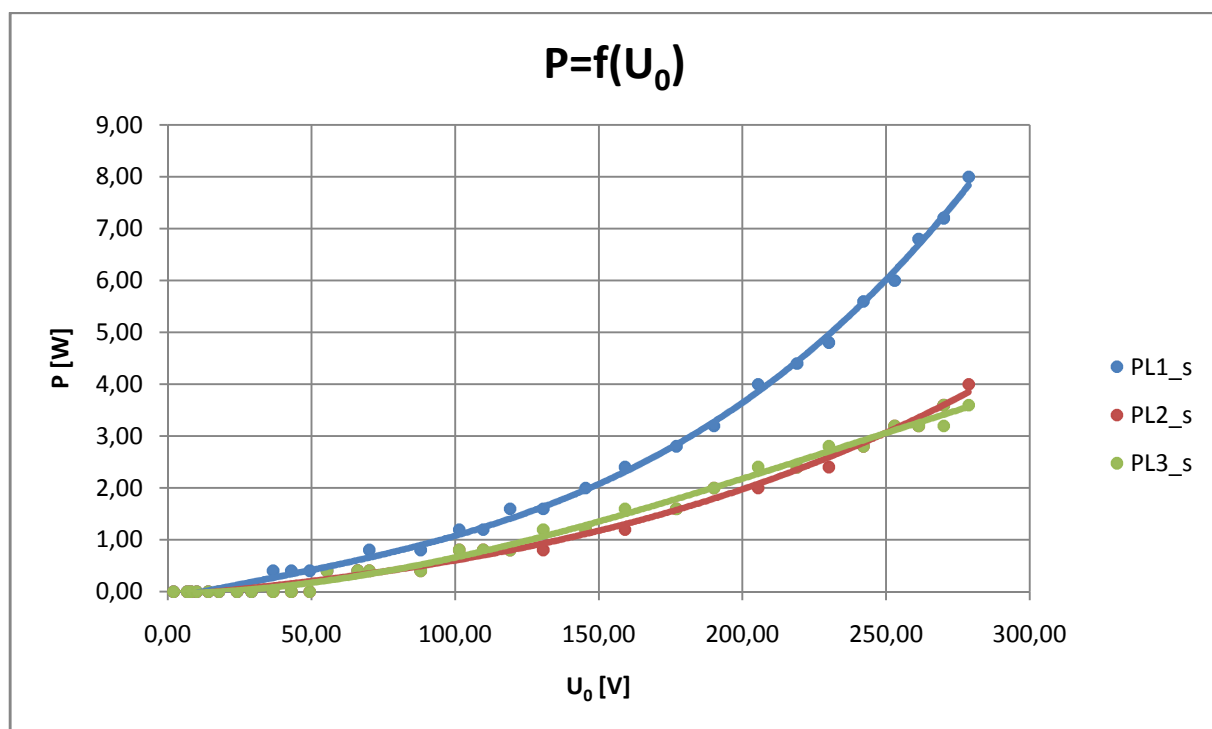
Graf 1: $U_0 = f(I_0)$



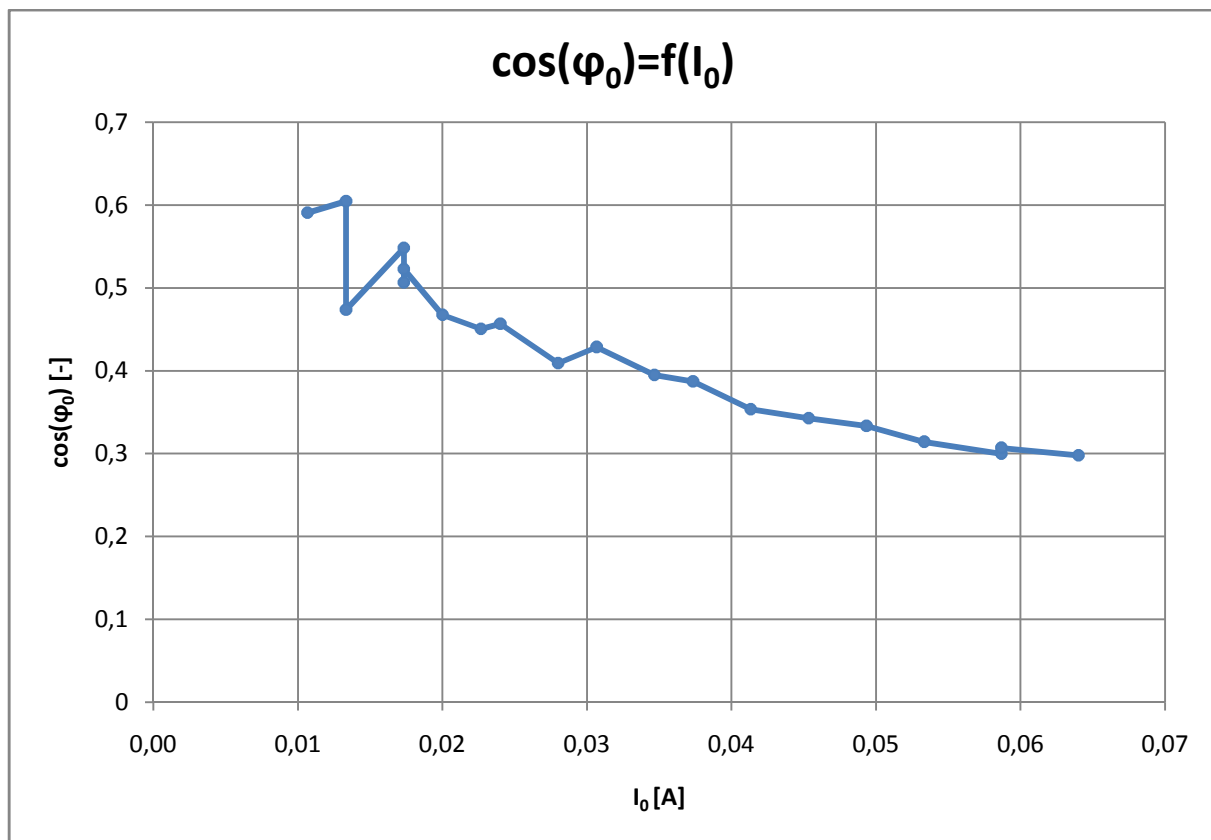
Graf 2: $P_0 = f(U_0)$



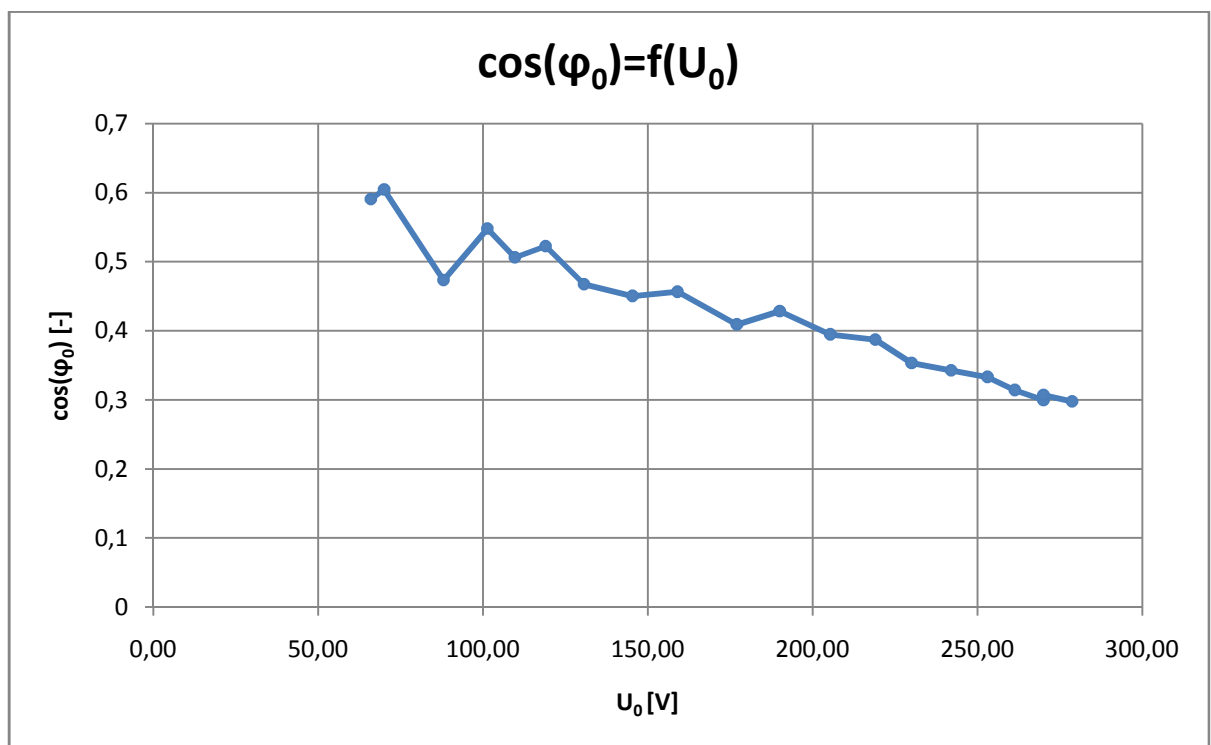
Graf 3: $Q=f(U_0)$



Graf 4: $P=f(U_0)$



Graf 5: $\cos \varphi_0 = f(I_0)$



Graf 6: $\cos \varphi_0 = f(U_0)$

4 Závěr

Odpory vinutí vyšly malé a pro jednotlivá vinutí se příliš nelišily, průměrný odpor potom vyšel $3,25 \Omega$. Převod transformátoru je pro dané spojení 1,65, tedy větší než 1 a jedná se o snižující transformátor (napětí na sekundárním vinutí je nižší). Jouleovy ztráty jsou v případě jmenovitého napětí 16,66 mW, ztráty v železe potom 9,98 W. Proud protékaný při jmenovitém napětí činí v průměru 0,04 A. Během měření nebyl shledán žádný důvod proč by nebylo možné označit transformátor za provozuschopný. Při měření bylo zaměněno jmenovité napětí transformátoru (400 V) za 230 V, naměřené údaje tedy nejsou kompletní.