

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

Proved'te 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 proved'te 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 Ohmovo 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 protékaný 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

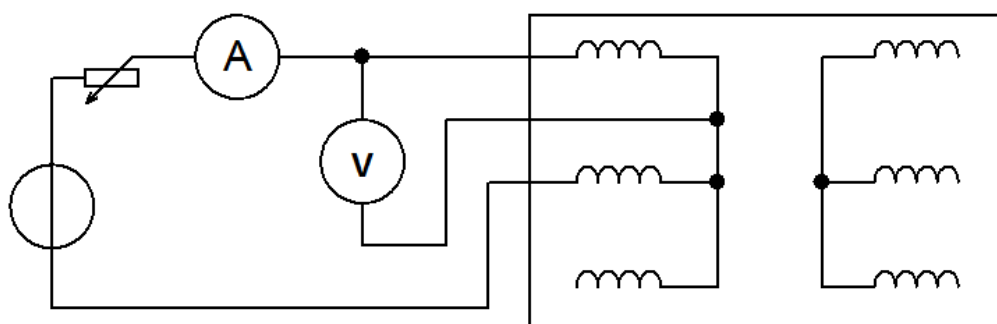
výpočtu Jouleových ztrát. Transformátor byl následně zapojen jako "hvězda - hvězda" a vstup transformátoru byl připojen k měřicímu převodníku DMK32 spojenému s počítačem a pomocí pultového autotransformátoru bylo zvyšováno napětí přibližně v rozmezí 0 - 120% jmenovitého napětí. Počítač automaticky po 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

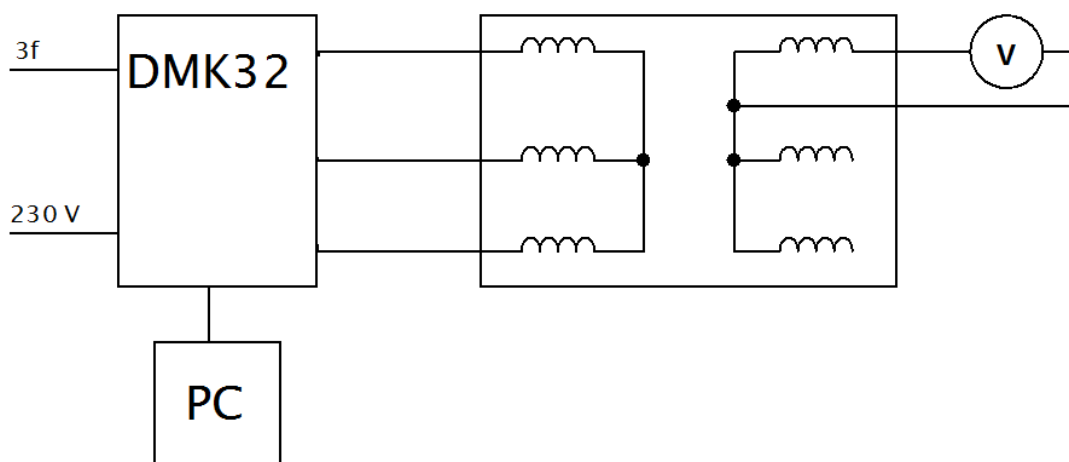
Tab. 1: Štítek měřeného stroje

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 pomocí počítače

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_I	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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

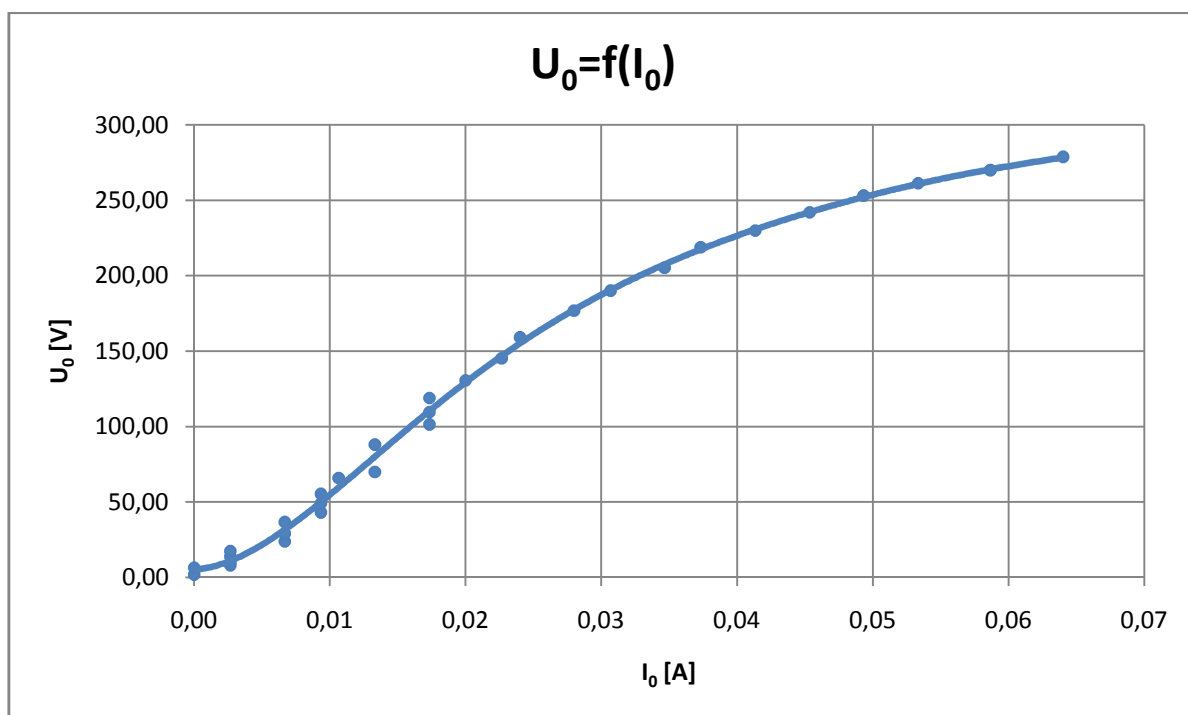
$$\Delta P_J = 3 \cdot R_{průměrný} \cdot I_0^2 = 3 \cdot 3,25 \cdot 0,064^2 \doteq 39,94 \, mW$$

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

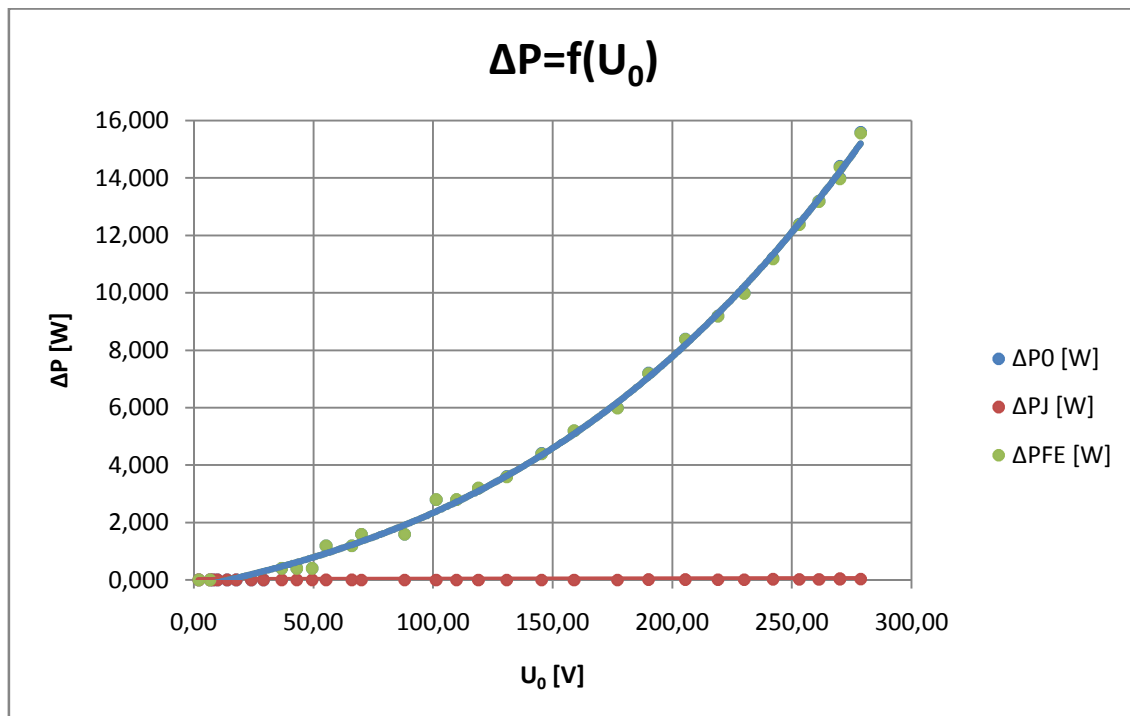
$$Q_{TR} = Q_{L1-s} + Q_{L2-s} + Q_{L3-s} = 8,4 + 6,8 + 11,6 = 26,8 \, VAr$$

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

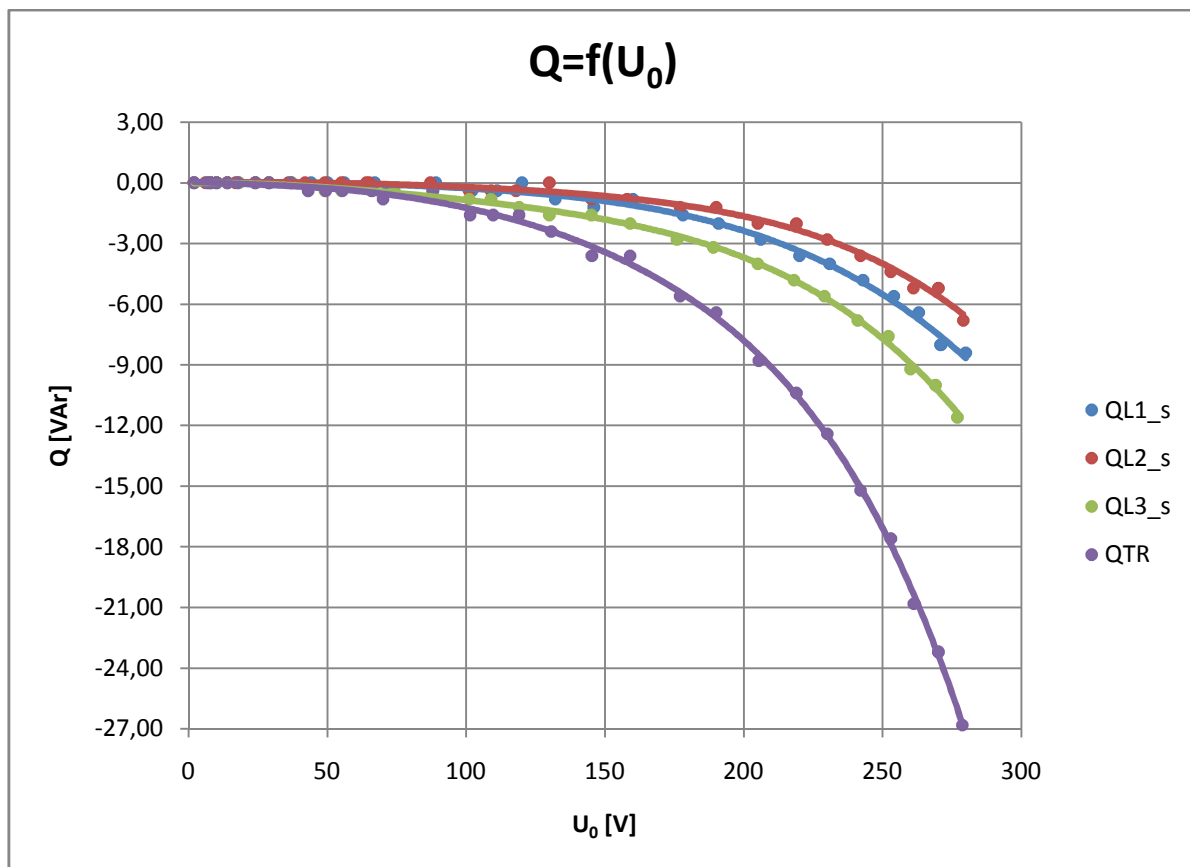
3.5 Grafy



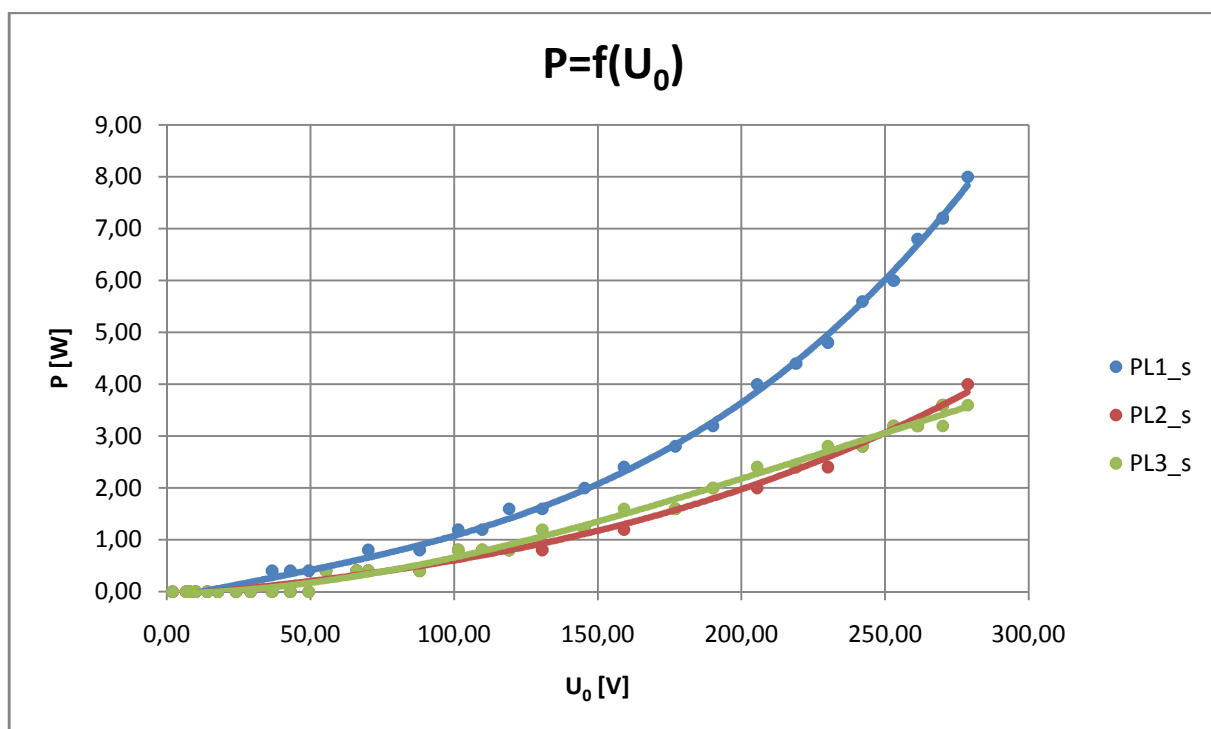
Graf 2: $U_0 = f(I_0)$



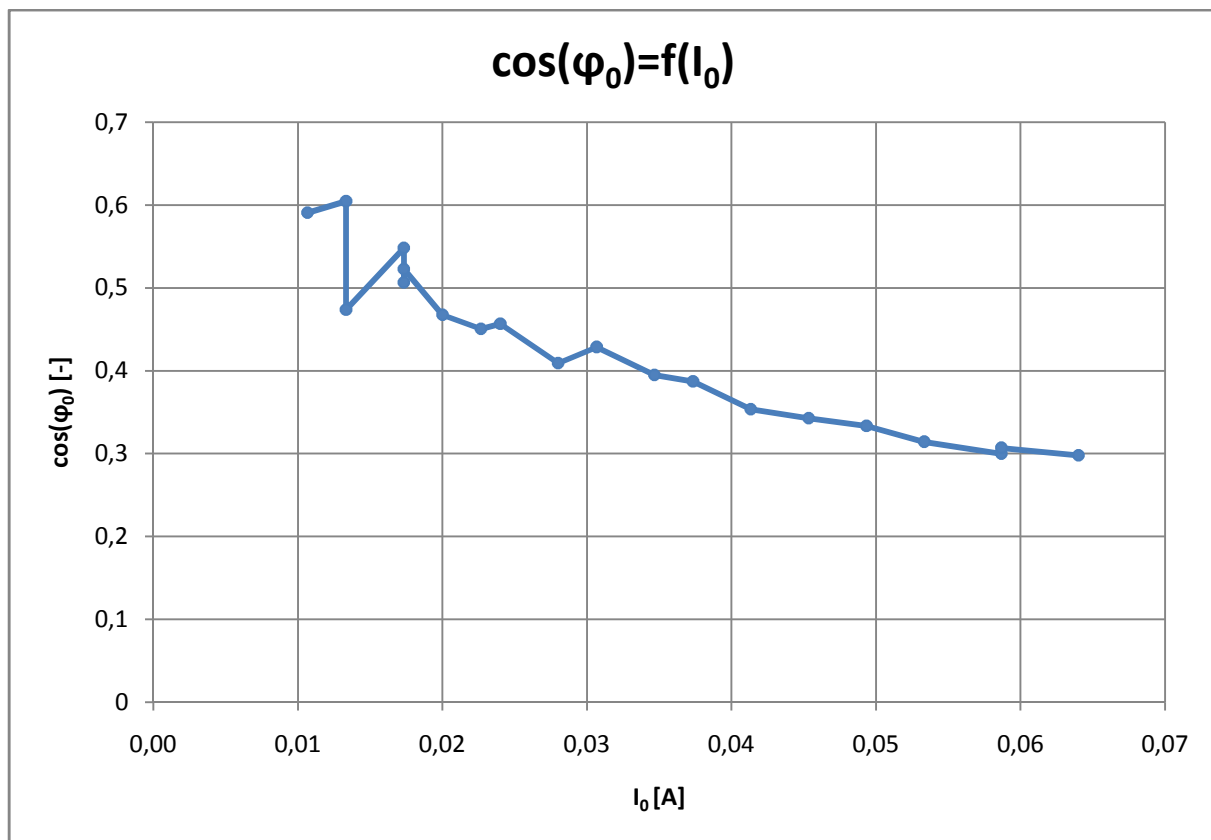
Graf 2: $P_0 = f(U_0)$



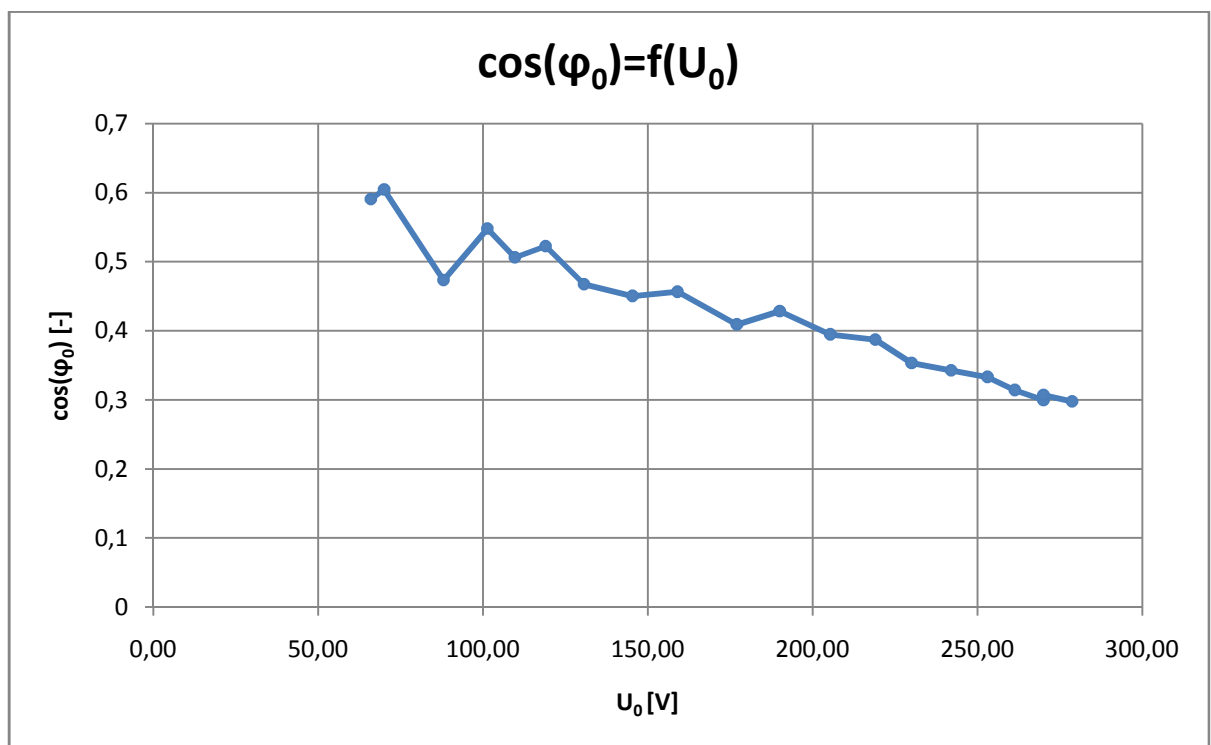
Graf 3: $Q=f(U_0)$



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.