



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

ELEKTRICKÉ STROJE

Laboratorní cvičení

LS 2015/2016

Kompenzace účinníku

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

Cvičení: St 9-10

Elaborát zpracoval: Kaska Jan

Datum měření: 16.3.2016

Datum vypracování: 27.3.2016

1 Zadání

Proveďte měření na 3f kondenzátorové baterii ($C_1=10\text{ }\mu\text{F}$, $C_2=2\text{ }\mu\text{F}$, $C_3=4\text{ }\mu\text{F}$, $C_4=8\text{ }\mu\text{F}$). Kondenzátory zapojte dle pokynů vyučujícího (D, Y, V). V žádném případě nepřekračujte napájecí napětí (sdružené hodnoty) $U_s=400\text{V}$ pro jakékoliv spojení kondenzátorové baterie! Měření proveďte pro všechny tři varianty spojení kondenzátorové baterie.

Vypočítejte pro jmenovité napájecí napětí transformátoru (z předešlé úlohy) kompenzační výkon příslušné ($C_1=10\text{ }\mu\text{F}$, $C_2=2\text{ }\mu\text{F}$, $C_3=4\text{ }\mu\text{F}$, $C_4=8\text{ }\mu\text{F}$) kondenzátorové baterie pro spojení Y.

Takto zapojenou kondenzátorovou baterii připojte paralelně k napájeným svorkám transformátoru. Od minimálního napětí regulovatelného napájecího zdroje postupně napětí zvyšujte až na jmenovité napájecí napětí transformátoru. Pouze pro tuto hodnotu proveďte měření (odečet) celkového 3f jalového příkonu. Napájecí napětí snižte na minimum, zdroj vypněte a tímto zajistěte, aby při dalším zapnutí zdroje bylo jeho napětí opět minimální (sjedťte s regulací na minimum).

Naměřené a vypočtené hodnoty zpracujte tabelárně a pro všechny tři varianty spojení kondenzátorové baterie (Y, D a V) a provedená měření graficky vynesete závislosti:

- $I_C=f(U)$ pro jednotlivé fáze
- $Q_C=f(U)$ pro jednotlivé fáze
- $Q_{3C}=f(U)$ (celková 3f hodnota, součet všech 3f)

2 Teoretický úvod

Kompenzace účinníku

Jalový výkon je výkon, který se vrací zpět ke zdroji, ve spotřebiči žádnou práci nevykonává, jeho střední hodnota se rovná nule, vytváří pouze elektromagnetické a elektrické pole. Zdrojem jsou buďto cívky nebo kondenzátory. Bez jalového výkonu není možné provozovat žádné stroje, kde se vyskytují vinutí (transformátory, motory, zářivky atd.). Na rozdíl od činného výkonu není jalový výkon spotřebováván a kmitá mezi zdrojem a spotřebičem a zatěžuje tak vedení.

Kompenzace se provádí paralelním připojením kompenzačního zařízení ke spotřebiči. Ke kompenzaci se používají kondenzátory, synchronní kompenzátory nebo aktivní filtry. Vliv kompenzace se projevuje v části soustavy mezi zdrojem a místem připojení kompenzačního zařízení, účinník spotřebiče zůstává i po kompenzaci nezměněn. V kompenzačních zařízeních nízkého napětí jsou používány 3f kondenzátorové jednotky jejichž svitky jsou zapojeny na sdružené napětí - do trojúhelníka, svitky kondenzátorů pro vysoká napětí jsou naopak zapojeny na fázová napětí - do hvězdy.

3 Měření

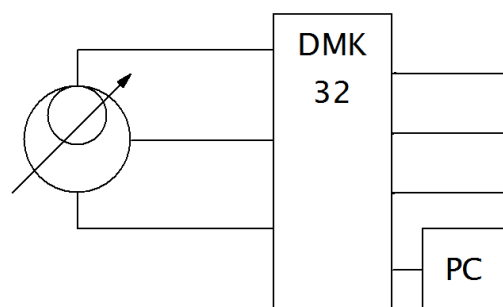
Kondenzátorová baterie byla nejprve zapojena do některé z variant (hvězda, trojúhelník, věčko) a následně připojena ke zdroji střídavého proudu. Pomocí autotransformátoru bylo postupně zvyšováno napětí až do jmenovitého napětí transformátoru. Počítač automaticky po několika sekundách odečítal hodnoty napětí, proudu a činného a jalového výkonu. Toto měření proběhlo pro všechny tři varianty zapojení. V dalším kroku byla kondenzátorová baterie zapojena do hvězdy a připojena paralelně ke svorkám transformátoru naprázdno, zapojeného též do hvězdy a byla odečtena hodnota jalového výkonu tohoto spojení. Hodnoty proudů a výkonů bylo nutno následně vynásobit konstantou 1/5.

3.1 Štítek měřeného stroje

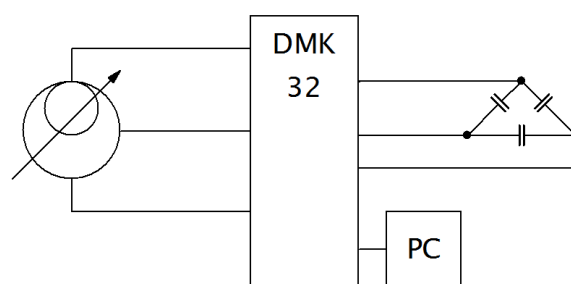
Tab. 1: Štítek měřeného stroje

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

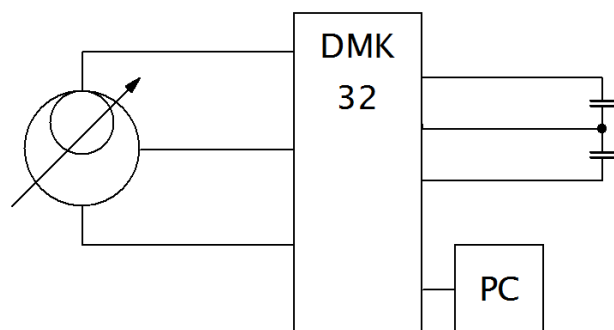
3.2 Schéma zapojení



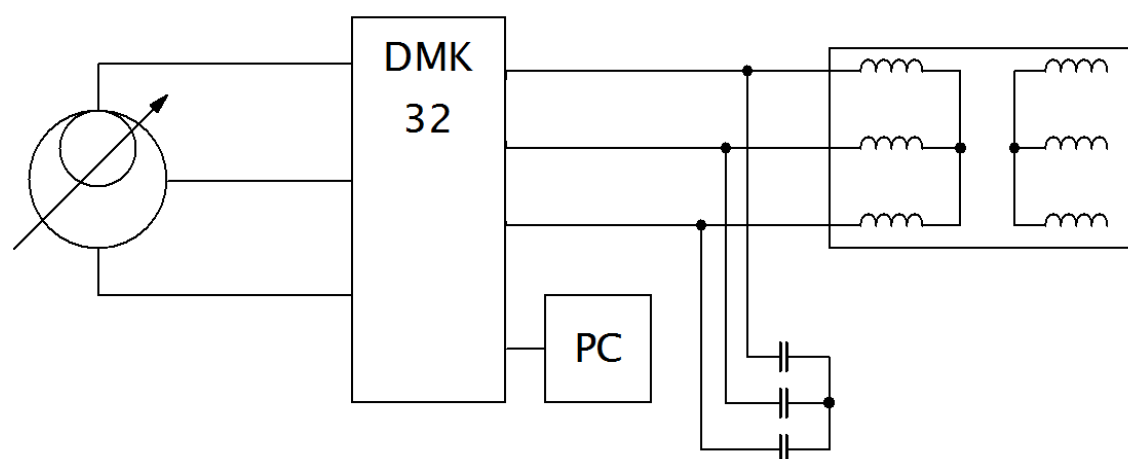
Obrázek 1: Zapojení kondenzátorové baterie do hvězdy



Obrázek 2: Zapojení kondenzátorové baterie do trojúhelníka



Obrázek 3: Zapojení kondenzátorové baterie do V



Obrázek 4: Kompenzace jalového výkonu transformátoru

3.3 Naměřené a vypočítané hodnoty

Tab. 2: Naměřené hodnoty

Naprázdno Q_{TR}	
U [V]	400
Q [VAr]	129,2

S kompenzací Q_{TR+C}	
U [V]	400
Q [VAr]	69,2

Tab. 3: Naměřené hodnoty

U_{L1L2}	U_{L2L3}	U_{L3L1}	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]
Hvězda (Y)											
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31,00	30,00	31,00	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	-1,00	-1,00	-1,00
43,00	42,00	43,00	0,07	0,07	0,08	0,00	0,00	0,00	-2,00	-2,00	-2,00
53,00	51,00	53,00	0,09	0,09	0,09	1,00	0,00	0,00	-3,00	-3,00	-3,00
62,00	61,00	62,00	0,10	0,10	0,11	1,00	1,00	1,00	-4,00	-3,00	-4,00
77,00	76,00	77,00	0,13	0,13	0,14	1,00	1,00	1,00	-6,00	-6,00	-6,00
99,00	98,00	99,00	0,17	0,17	0,18	2,00	2,00	1,00	-10,00	-9,00	-10,00
124,00	123,00	124,00	0,22	0,22	0,23	3,00	2,00	2,00	-16,00	-15,00	-17,00
145,00	144,00	144,00	0,25	0,25	0,27	3,00	3,00	2,00	-21,00	-21,00	-23,00
167,00	166,00	167,00	0,29	0,30	0,31	4,00	4,00	3,00	-28,00	-29,00	-30,00
190,00	189,00	189,00	0,34	0,34	0,36	6,00	5,00	4,00	-37,00	-37,00	-40,00
217,00	216,00	215,00	0,38	0,38	0,41	7,00	6,00	5,00	-47,00	-47,00	-51,00
244,00	243,00	242,00	0,43	0,43	0,46	8,00	8,00	6,00	-62,00	-60,00	-65,00
272,00	271,00	270,00	0,49	0,49	0,51	9,00	8,00	7,00	-77,00	-74,00	-80,00
299,00	298,00	297,00	0,54	0,53	0,56	11,00	10,00	8,00	-93,00	-90,00	-96,00
323,00	322,00	321,00	0,58	0,58	0,61	12,00	11,00	8,00	-107,00	-107,00	-113,00
345,00	344,00	343,00	0,62	0,62	0,65	13,00	13,00	11,00	-122,00	-122,00	-129,00
364,00	363,00	362,00	0,65	0,65	0,69	15,00	14,00	11,00	-136,00	-135,00	-144,00
364,00	364,00	363,00	0,66	0,66	0,69	16,00	15,00	12,00	-143,00	-143,00	-154,00
383,00	382,00	381,00	0,69	0,69	0,72	16,00	15,00	12,00	-152,00	-151,00	-161,00
392,00	390,00	389,00	0,71	0,70	0,74	16,00	15,00	12,00	-160,00	-159,00	-167,00

Trojúhelník (D)											
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25,00	24,00	25,00	0,13	0,13	0,14	0,00	0,00	0,00	-2,00	-2,00	-2,00
53,00	52,00	53,00	0,28	0,28	0,30	1,00	1,00	1,00	-9,00	-8,00	-9,00
77,00	76,00	77,00	0,42	0,41	0,43	3,00	2,00	2,00	-19,00	-18,00	-19,00
104,00	103,00	104,00	0,56	0,56	0,59	4,00	4,00	3,00	-35,00	-33,00	-36,00
129,00	128,00	129,00	0,71	0,70	0,73	6,00	5,00	4,00	-52,00	-51,00	-55,00
157,00	156,00	157,00	0,86	0,85	0,90	7,00	7,00	5,00	-78,00	-76,00	-82,00
181,00	180,00	180,00	0,99	0,99	1,04	9,00	8,00	7,00	-103,00	-102,00	-109,00
205,00	204,00	204,00	1,13	1,13	1,18	11,00	9,00	8,00	-134,00	-132,00	-140,00
229,00	228,00	227,00	1,26	1,27	1,31	12,00	11,00	8,00	-166,00	-166,00	-173,00
250,00	250,00	249,00	1,39	1,40	1,45	13,00	11,00	9,00	-201,00	-200,00	-210,00
275,00	274,00	273,00	1,53	1,54	1,60	14,00	11,00	11,00	-243,00	-242,00	-254,00
299,00	298,00	297,00	1,67	1,68	1,74	16,00	13,00	11,00	-288,00	-287,00	-300,00
324,00	324,00	322,00	1,82	1,83	1,90	18,00	14,00	12,00	-341,00	-341,00	-356,00
352,00	352,00	351,00	1,98	1,99	2,07	18,00	16,00	15,00	-403,00	-402,00	-422,00
381,00	380,00	379,00	2,15	2,16	2,24	21,00	16,00	15,00	-473,00	-470,00	-493,00
393,00	392,00	390,00	2,22	2,22	2,31	21,00	16,00	13,00	-503,00	-500,00	-524,00
Véčko (V)											
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25,00	24,00	25,00	0,07	0,13	0,08	0,00	0,00	1,00	-1,00	-2,00	-1,00
47,00	47,00	48,00	0,14	0,26	0,15	1,00	1,00	3,00	-4,00	-7,00	-3,00
71,00	70,00	70,00	0,22	0,39	0,23	3,00	1,00	5,00	-8,00	-16,00	-8,00
96,00	95,00	96,00	0,30	0,53	0,32	7,00	2,00	10,00	-16,00	-30,00	-15,00
125,00	124,00	125,00	0,39	0,70	0,41	12,00	3,00	17,00	-26,00	-50,00	-25,00
151,00	150,00	151,00	0,48	0,85	0,50	17,00	4,00	25,00	-39,00	-73,00	-37,00
180,00	179,00	178,00	0,57	1,01	0,60	25,00	6,00	34,00	-54,00	-104,00	-52,00
203,00	202,00	202,00	0,65	1,15	0,68	32,00	7,00	44,00	-70,00	-134,00	-67,00
227,00	226,00	225,00	0,72	1,28	0,76	40,00	8,00	55,00	-86,00	-166,00	-83,00
263,00	262,00	261,00	0,84	1,49	0,88	55,00	10,00	72,00	-115,00	-224,00	-112,00
293,00	292,00	291,00	0,94	1,66	0,99	70,00	10,00	89,00	-143,00	-278,00	-141,00
312,00	311,00	310,00	1,00	1,77	1,05	79,00	11,00	100,00	-162,00	-317,00	-159,00
340,00	340,00	338,00	1,09	1,93	1,14	95,00	13,00	121,00	-192,00	-376,00	-189,00
367,00	366,00	364,00	1,18	2,09	1,24	111,00	14,00	140,00	-224,00	-441,00	-222,00
392,00	391,00	390,00	1,26	2,23	1,32	126,00	16,00	159,00	-256,00	-500,00	-252,00

Tab. 5: Vypočítané hodnoty

I_{L1S}	I_{L2S}	I_{L3S}	P_{L1S}	P_{L2S}	P_{L3S}	Q_{L1S}	Q_{L2S}	Q_{L3S}	U_0	Q_{3c}
[A]	[A]	[A]	[W]	[W]	[W]	[VAr]	[VAr]	[VAr]	[V]	[VAr]
Hvězda (Y)										
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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,33	0,00
0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,20	-0,20	-0,20	30,67	-0,60
0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	-0,40	-0,40	-0,40	42,67	-1,20
0,02	0,02	0,02	0,20	0,00	0,00	-0,60	-0,60	-0,60	52,33	-1,80
0,02	0,02	0,02	0,20	0,20	0,20	-0,80	-0,60	-0,80	61,67	-2,20
0,03	0,03	0,03	0,20	0,20	0,20	-1,20	-1,20	-1,20	76,67	-3,60
0,03	0,03	0,04	0,40	0,40	0,20	-2,00	-1,80	-2,00	98,67	-5,80
0,04	0,04	0,05	0,60	0,40	0,40	-3,20	-3,00	-3,40	123,67	-9,60
0,05	0,05	0,05	0,60	0,60	0,40	-4,20	-4,20	-4,60	144,33	-13,00
0,06	0,06	0,06	0,80	0,80	0,60	-5,60	-5,80	-6,00	166,67	-17,40
0,07	0,07	0,07	1,20	1,00	0,80	-7,40	-7,40	-8,00	189,33	-22,80
0,08	0,08	0,08	1,40	1,20	1,00	-9,40	-9,40	-10,20	216,00	-29,00
0,09	0,09	0,09	1,60	1,60	1,20	-12,40	-12,00	-13,00	243,00	-37,40
0,10	0,10	0,10	1,80	1,60	1,40	-15,40	-14,80	-16,00	271,00	-46,20
0,11	0,11	0,11	2,20	2,00	1,60	-18,60	-18,00	-19,20	298,00	-55,80
0,12	0,12	0,12	2,40	2,20	1,60	-21,40	-21,40	-22,60	322,00	-65,40
0,12	0,12	0,13	2,60	2,60	2,20	-24,40	-24,40	-25,80	344,00	-74,60
0,13	0,13	0,14	3,00	2,80	2,20	-27,20	-27,00	-28,80	363,00	-83,00
0,13	0,13	0,14	3,20	3,00	2,40	-28,60	-28,60	-30,80	363,67	-88,00
0,14	0,14	0,14	3,20	3,00	2,40	-30,40	-30,20	-32,20	382,00	-92,80
0,14	0,14	0,15	3,20	3,00	2,40	-32,00	-31,80	-33,40	390,33	-97,20
Trojúhelník (D)										
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	-0,40	-0,40	-0,40	24,67	-1,20
0,06	0,06	0,06	0,20	0,20	0,20	-1,80	-1,60	-1,80	52,67	-5,20
0,08	0,08	0,09	0,60	0,40	0,40	-3,80	-3,60	-3,80	76,67	-11,20
0,11	0,11	0,12	0,80	0,80	0,60	-7,00	-6,60	-7,20	103,67	-20,80
0,14	0,14	0,15	1,20	1,00	0,80	-10,40	-10,20	-11,00	128,67	-31,60
0,17	0,17	0,18	1,40	1,40	1,00	-15,60	-15,20	-16,40	156,67	-47,20
0,20	0,20	0,21	1,80	1,60	1,40	-20,60	-20,40	-21,80	180,33	-62,80
0,23	0,23	0,24	2,20	1,80	1,60	-26,80	-26,40	-28,00	204,33	-81,20
0,25	0,25	0,26	2,40	2,20	1,60	-33,20	-33,20	-34,60	228,00	-101,00
0,28	0,28	0,29	2,60	2,20	1,80	-40,20	-40,00	-42,00	249,67	-122,20
0,31	0,31	0,32	2,80	2,20	2,20	-48,60	-48,40	-50,80	274,00	-147,80
0,33	0,34	0,35	3,20	2,60	2,20	-57,60	-57,40	-60,00	298,00	-175,00
0,36	0,37	0,38	3,60	2,80	2,40	-68,20	-68,20	-71,20	323,33	-207,60
0,40	0,40	0,41	3,60	3,20	3,00	-80,60	-80,40	-84,40	351,67	-245,40
0,43	0,43	0,45	4,20	3,20	3,00	-94,60	-94,00	-98,60	380,00	-287,20
0,44	0,44	0,46	4,20	3,20	2,60	-100,60	-100,00	-104,80	391,67	-305,40

Véčko (V)										
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,20	-0,20	-0,40	-0,20	24,67	-0,80
0,03	0,05	0,03	0,20	0,20	0,60	-0,80	-1,40	-0,60	47,33	-2,80
0,04	0,08	0,05	0,60	0,20	1,00	-1,60	-3,20	-1,60	70,33	-6,40
0,06	0,11	0,06	1,40	0,40	2,00	-3,20	-6,00	-3,00	95,67	-12,20
0,08	0,14	0,08	2,40	0,60	3,40	-5,20	-10,00	-5,00	124,67	-20,20
0,10	0,17	0,10	3,40	0,80	5,00	-7,80	-14,60	-7,40	150,67	-29,80
0,11	0,20	0,12	5,00	1,20	6,80	-10,80	-20,80	-10,40	179,00	-42,00
0,13	0,23	0,14	6,40	1,40	8,80	-14,00	-26,80	-13,40	202,33	-54,20
0,14	0,26	0,15	8,00	1,60	11,00	-17,20	-33,20	-16,60	226,00	-67,00
0,17	0,30	0,18	11,00	2,00	14,40	-23,00	-44,80	-22,40	262,00	-90,20
0,19	0,33	0,20	14,00	2,00	17,80	-28,60	-55,60	-28,20	292,00	-112,40
0,20	0,35	0,21	15,80	2,20	20,00	-32,40	-63,40	-31,80	311,00	-127,60
0,22	0,39	0,23	19,00	2,60	24,20	-38,40	-75,20	-37,80	339,33	-151,40
0,24	0,42	0,25	22,20	2,80	28,00	-44,80	-88,20	-44,40	365,67	-177,40
0,25	0,45	0,26	25,20	3,20	31,80	-51,20	-100,00	-50,40	391,00	-201,60

3.4 Příklady výpočtu

$$U_0 = \frac{U_{L1L2} + U_{L2L3} + U_{L3L1}}{3} = \frac{392 + 390 + 389}{3} \doteq 390,33 \text{ V}$$

$$I_{L1s} = \frac{1}{5} \cdot I_{L1} = \frac{1}{5} \cdot 0,71 = 0,142 \text{ A}$$

$$P_{L1s} = \frac{1}{5} \cdot P_{L1} = \frac{1}{5} \cdot 16 = 3,2 \text{ W}$$

$$Q_{L1s} = \frac{1}{5} \cdot Q_{L1} = \frac{1}{5} \cdot (-160) = -32 \text{ VAr}$$

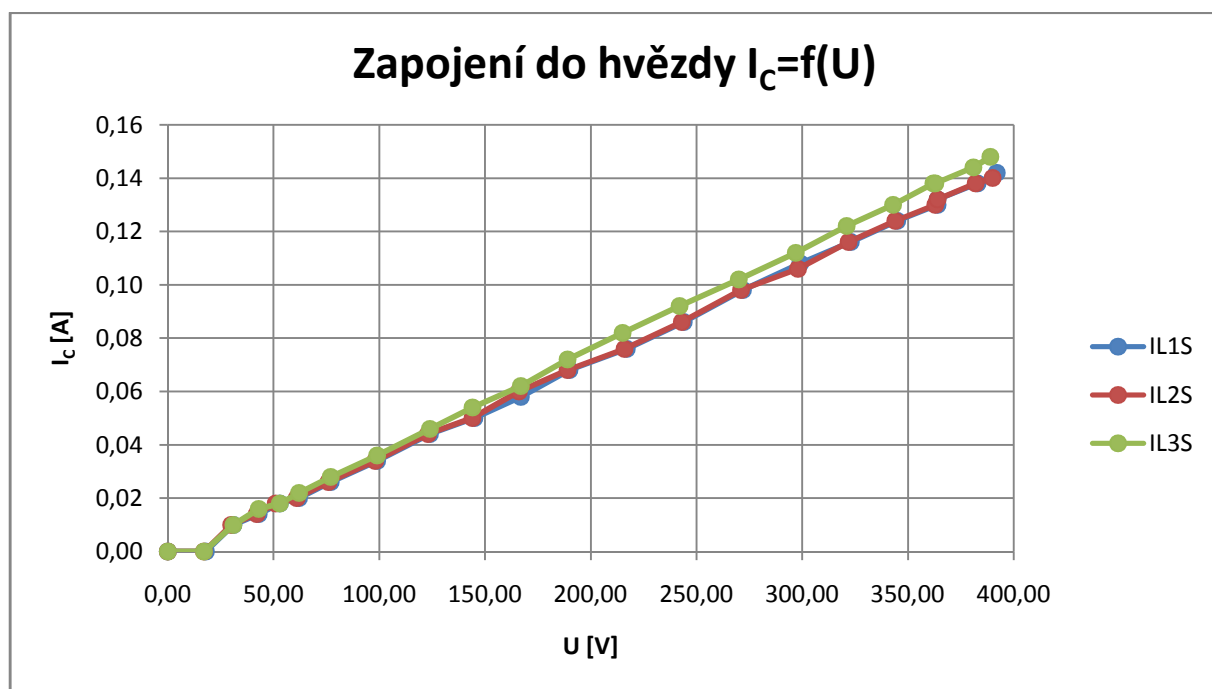
$$Q_{3C} = Q_{L1s} + Q_{L2s} + Q_{L3s} = (-32) + (-31,8) + (-33,4) = -97,2 \text{ VAr}$$

$$Q_C = Q_{TR} - Q_{TR+C} = 129,2 - 69,2 = 60 \text{ VAr}$$

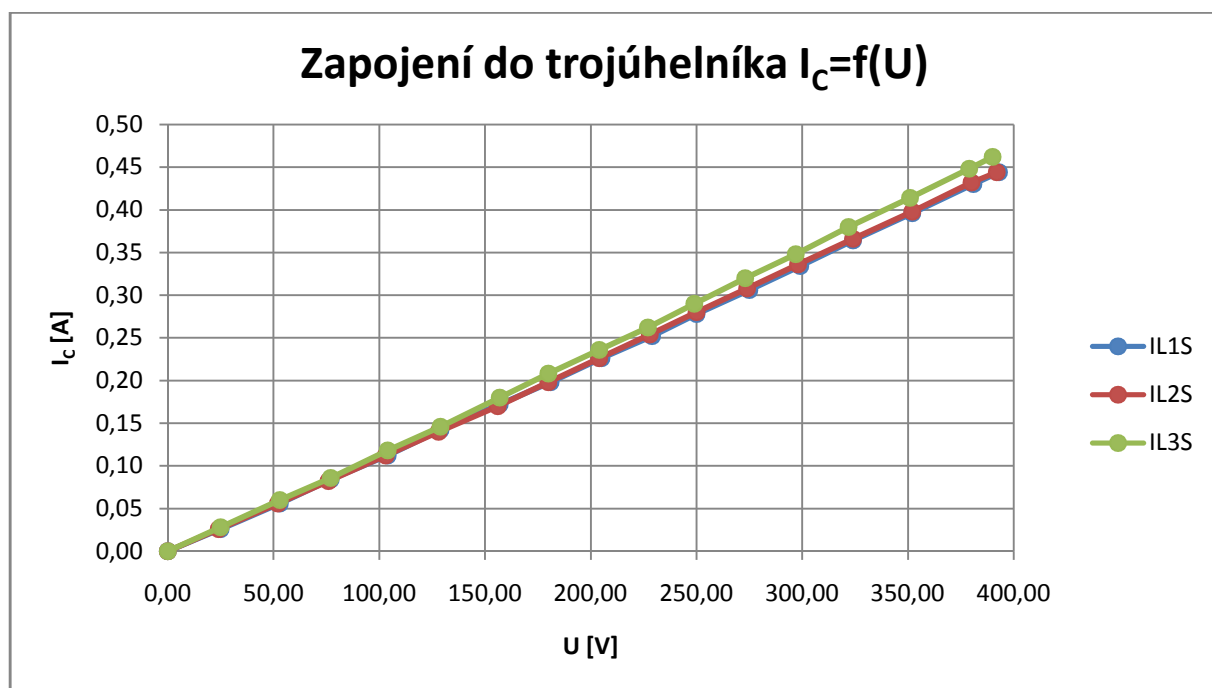
$$Q_Y = \omega \cdot C \cdot U^2 = (2 \cdot \pi \cdot 50) \cdot (2 \cdot 10^{-6}) \cdot 400^2 = 100,53 \text{ VAr}$$

$$Q_D = 3 \cdot Q_Y = 301,59 \text{ VAr}$$

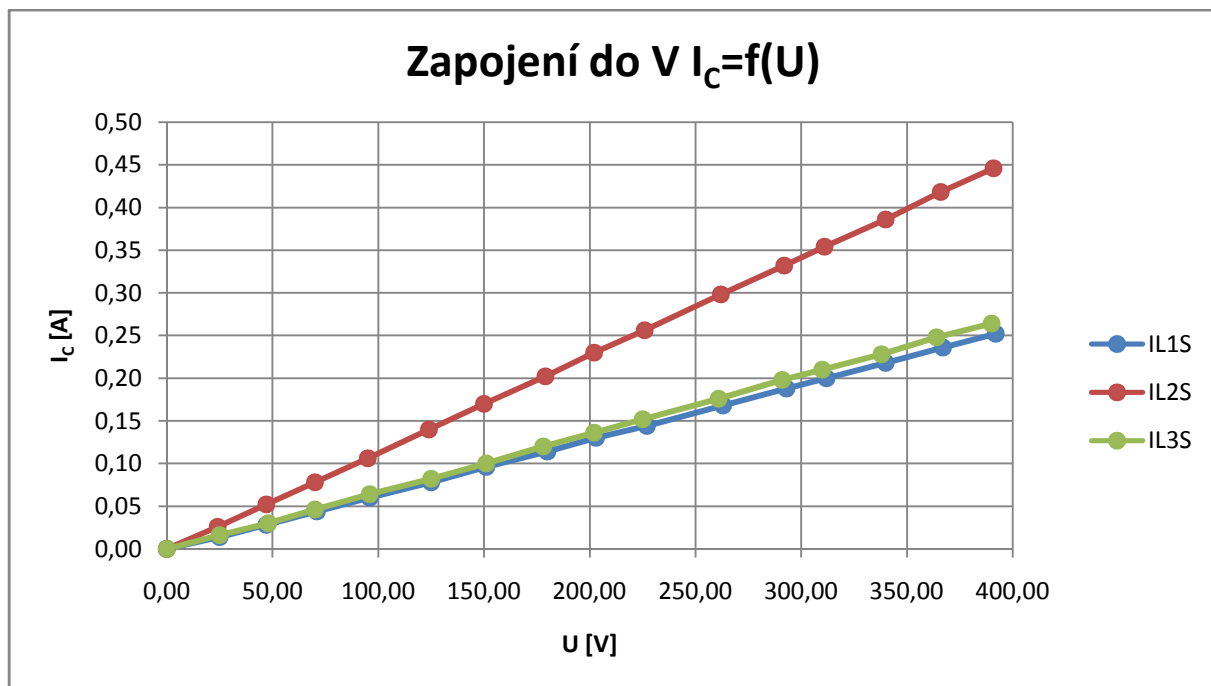
3.5 Grafy



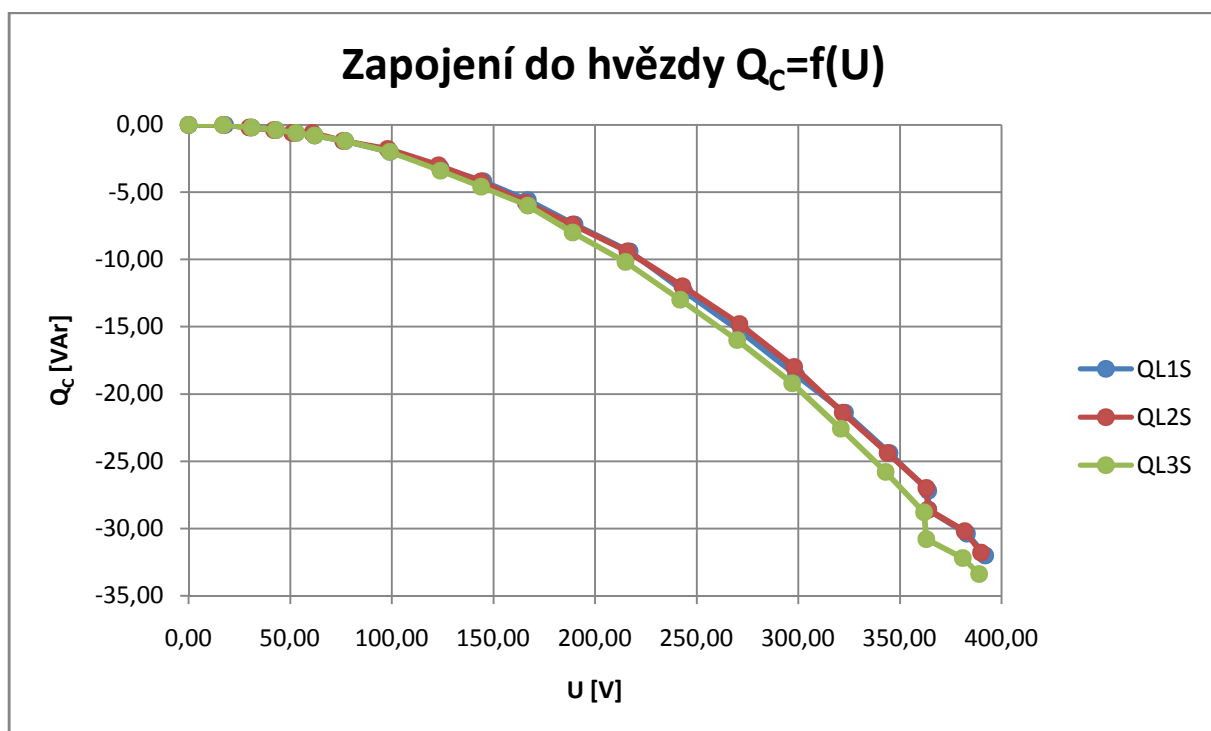
Graf 1: $I_c=f(U)$ "Y"



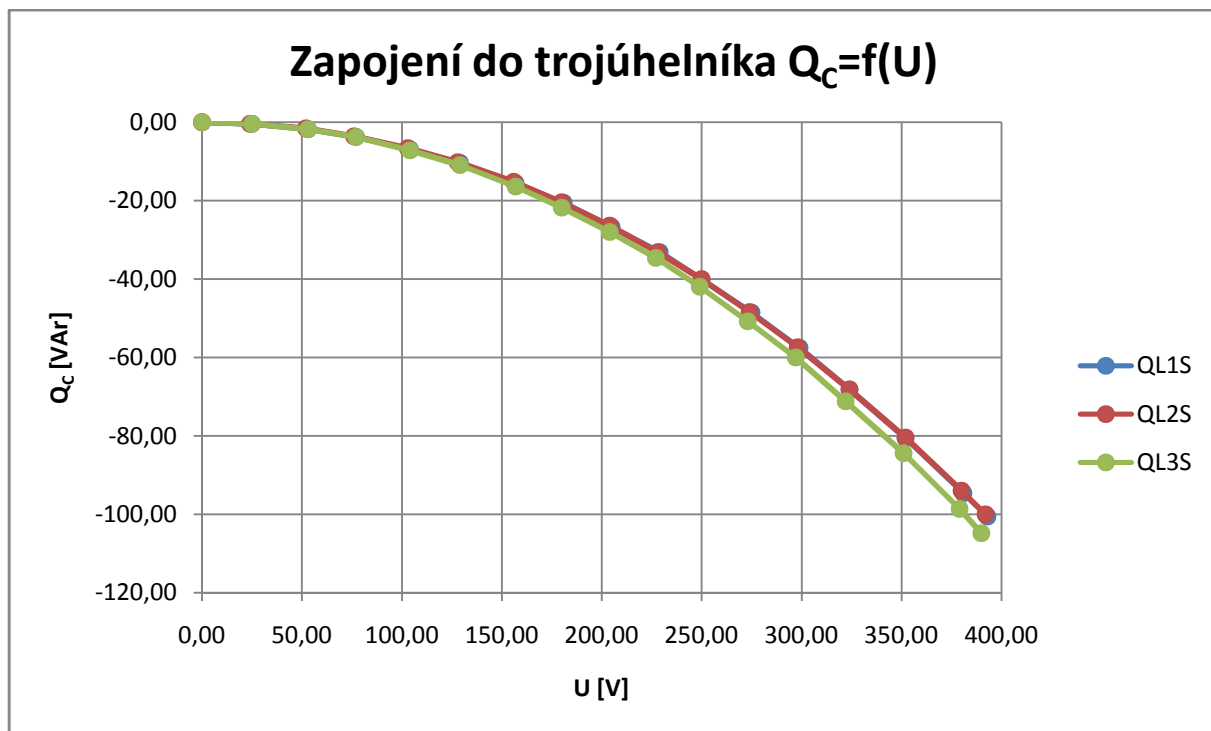
Graf 2: $P_0=I_c=f(U)$ "D"



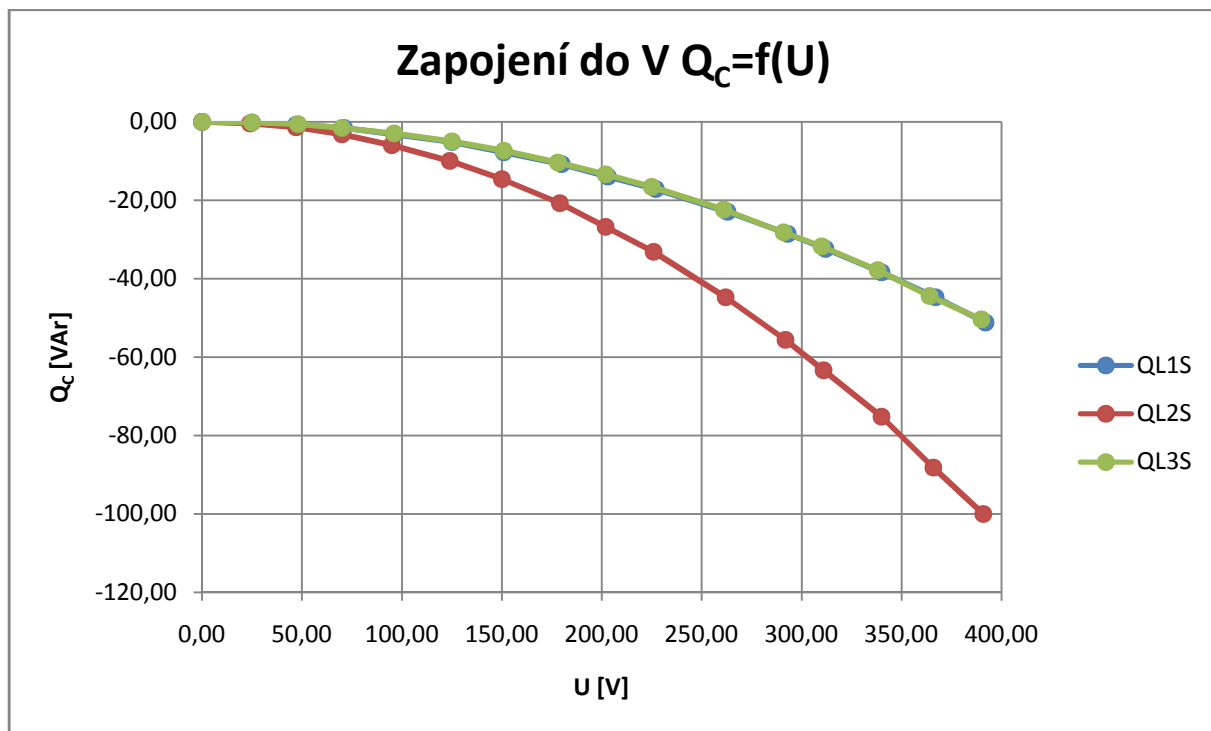
Graf 3: $I_c=f(U)$ "V"



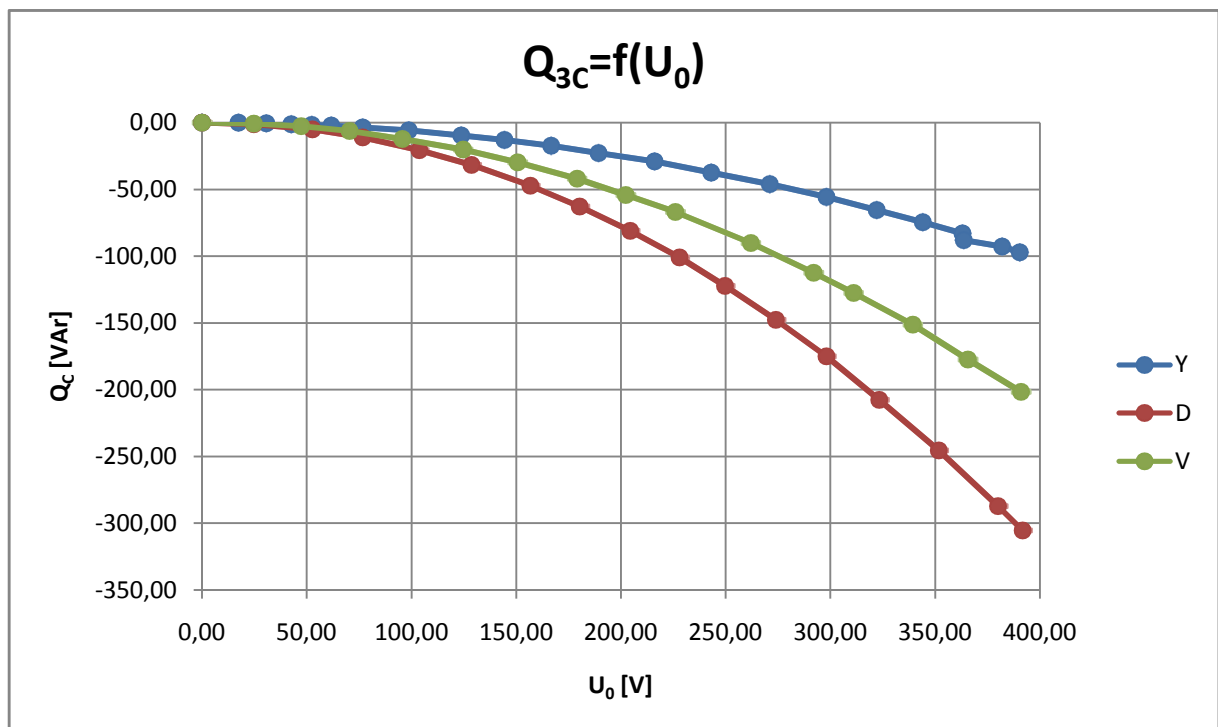
Graf 4: $Q_c=f(U)$ "Y"



Graf 5: $Q_c = f(U)$ "D"



Graf 6: $Q_c = f(U)$ "V"



Graf 7: $Q_{3C}=f(U_0)$

4 Závěr

Teoretická hodnota jalového výkonu zapojení kondenzátorové baterie do hvězdy při jmenovitém napětí transformátoru vyšla 100,53 VAr. Při odečtení jalových výkonů nekompensovaného a kompenzovaného transformátor naprázdno vyšel pokles o 60 VAr, jalový výkon se tedy znatelně zmenšil, ovšem ne o předpokládanou teoretickou hodnotu. Odchylka může být způsobena indukčností kondenzátorů, tepelnými ztrátami způsobenými ohřevem dielektrika, případně parazitními indukčnostmi v přívodních vodičích.

Co se týče celkového jalového výkonu jednotlivých zapojení kondenzátorové baterie, vyšel tento výkon největší v případě zapojení do trojúhelníku, druhý největší pro zapojení do V a nejmenší pro zapojení do hvězdy. Kromě zapojení do V se průběhy výkonů a proudů v jednotlivých fázích až na drobné odchylky neliší.