

**Fakulta elektrotechnická
Regionální inovační centrum elektrotechniky**

Protokol o měření dekompenzační tlumivky

TTC 34075 - 0024

Pracoviště:	RICE – elektrické stroje
Číslo dokumentu:	22190 – 035 – 2021
Typ zprávy:	Výzkumná zpráva / zkušební protokol / zpráva o provedení analýzy
Řešitelé:	Skala B., Klouda O., Ondřej Š., Kubaň M., Kindl V. Čermák R., Veg L., Tyrpekl M.
Vedoucí projektu:	Bohumil Skala
Počet stran:	26
Datum vydání:	5.10.2021
Oborové zařazení:	2.2 Electrical engineering, Electronic engineering, Information engineering - Robotics and automatic control

Zadavatel / zákazník:
ELZAT sro.
Rožmitál pod Třemšínem
Česká republika

František Henkl

Zpracovatel / dodavatel:
Západočeská univerzita v Plzni
Research and Innovation Centre
for Electrical Engineering
Univerzitní 8
306 14 Plzeň

Kontaktní osoba:
Bohumil Skala
tel. 377634 473
skalab@fel.zcu.cz

Práce vznikla s podporou projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024444.

Anotace

Tato výzkumná zpráva se zabývá měřením dekompenzační tlumivky TTC 34075 – 0024 od firmy Elektrokov a.s. Znojmo. Ve zprávě jsou zpracovány následující měření: měření odporů vinutí za studena a při ustálené teplotě vyvolané jmenovitým proudem, měření počtu závitů, měření ztrát a oteplovací zkouška.

Klíčová slova

Třífázová tlumivka, Odpor vinutí, Měření ztrát, Oteplovací zkouška

Název zprávy v anglickém jazyce / Report title

Measurement of the decompensation choke TTC 34075 - 0024

Anotace v anglickém jazyce / Abstract

This research report deals with the measurement of the decompensation choke TTC 34075 – 0024 from the manufacturer Elektrokov a.s. Znojmo. The following measurements are processed in the report: measurement of the winding resistance at cold state and at constant temperature induced by rated current, measurement of the number of turns, losses measurement and heating test.

Klíčová slova v anglickém jazyce / Keywords

Three-phase choke, Winding resistance, Losses measurement, Heating test

Obsah

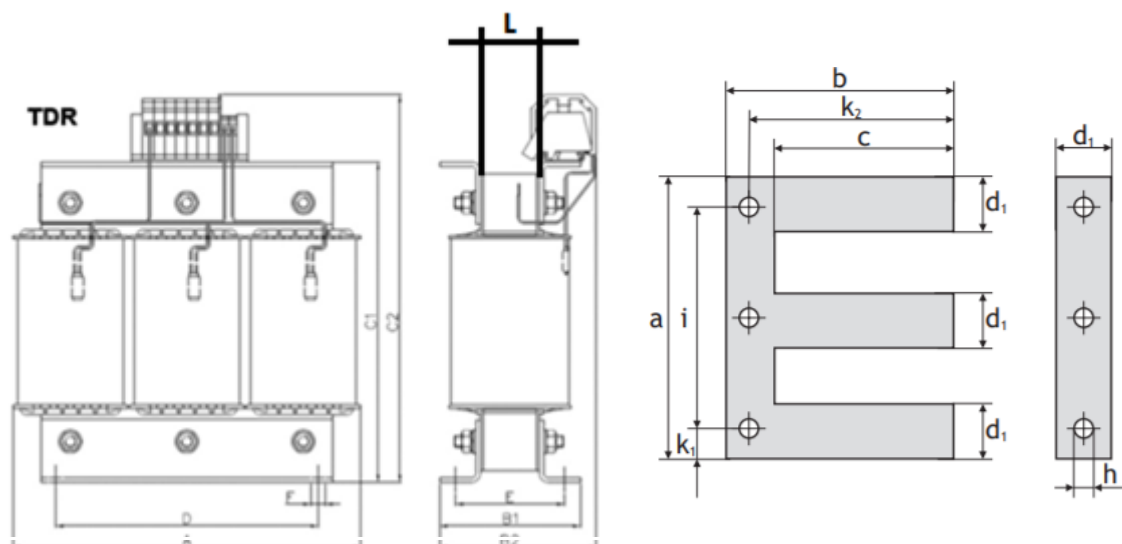
1.	ÚVOD	4
2.	DEKOMPENZAČNÍ TLUMIVKA TTC 34075 – 0026	5
3.	ZAPOJENÍ	6
3.1.	<i>POUŽITÉ PŘÍSTROJE</i>	7
4.	POSTUP MĚŘENÍ	8
5.	NAMĚŘENÉ HODNOTY DEKOMPENZAČNÍ TLUMIVKY	9
6.	VYHODNOCENÍ	11
6.1.1.	<i>Tabulky naměřených hodnot</i>	20

1. Úvod

V rámci projektu pro společnost ELZAT bylo provedeno měření třífázové dekompenzační tlumivky o $Q = 5kVar$. Ve zprávě jsou přiloženy dostupné informace o měřené tlumivce a výsledky měření odporů vinutí, počtu závitů, měření ztrát a výsledky z oteplovací zkoušky.

2. Dekompenzační tlumivka TTC 34075 – 0026

Na obrázku *Obr. 2.1* je náčrtek měřené tlumivky od firmy Elektrokov a.s. Znojmo s parametry uvedenými v tabulce 2.1. Měřením byla zjištěna tloušťka tlumivky $l = 73,5 \text{ mm}$. Elektromagnetické jádro tlumivky je dle dostupných informací složeno z elektrotechnických plechů od firmy Waasner o tloušťce $0,5 \text{ mm}$. Rozměry magnetického jádra a dostupné parametry elektrotechnických plechů jsou uvedeny v tabulkách 2.2 a 2.3.



Obr. 2.1: Náčrtek měřené tlumivky (vlevo) [1] a použité EI plechy (vpravo) [2]

Tabulka 2.1: Parametry referenční tlumivky [1]

Typ	Q (kVAR)	I _n (A)		L (mH)	ΔP _{max} (W) (za tepla)		ΔP _{max} (%)	ΔT (°C)	Svorka (mm ²)
TTC 34075 – 0026	5	7,22		101,9	155		3,1	70	4
	Rozměry (mm)								Hmotnost (kg)
	A	B1	B2	C1	C2	D	E	F	24
	239	132	145	220	270	180	110	10x18	

Tabulka 2.2: Rozměry referenčních plechů [2]

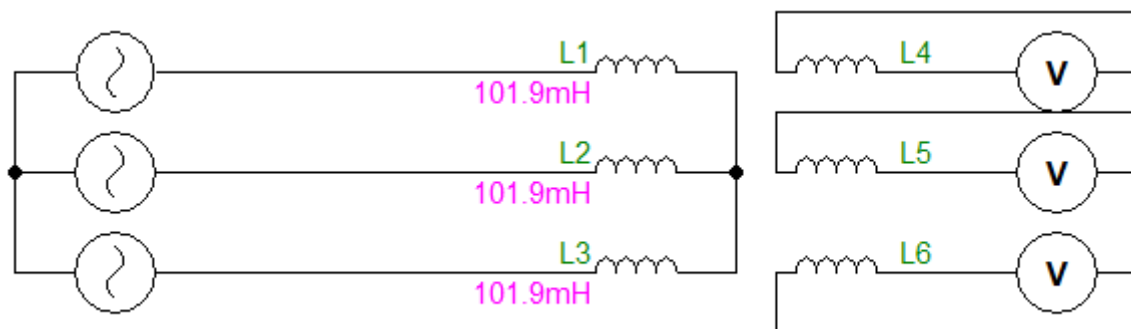
3 UI 120 / EI 200/200	Rozměry (mm)								
	A	b	c	d ₁	h	i	k ₁	k ₂	L
	200	160	120	40	11	160	20	140	73,5

Tabulka 2.3: Dostupné mag. vlastnosti neorientovaných elektrotechnických plechů od firmy Waasner [2]

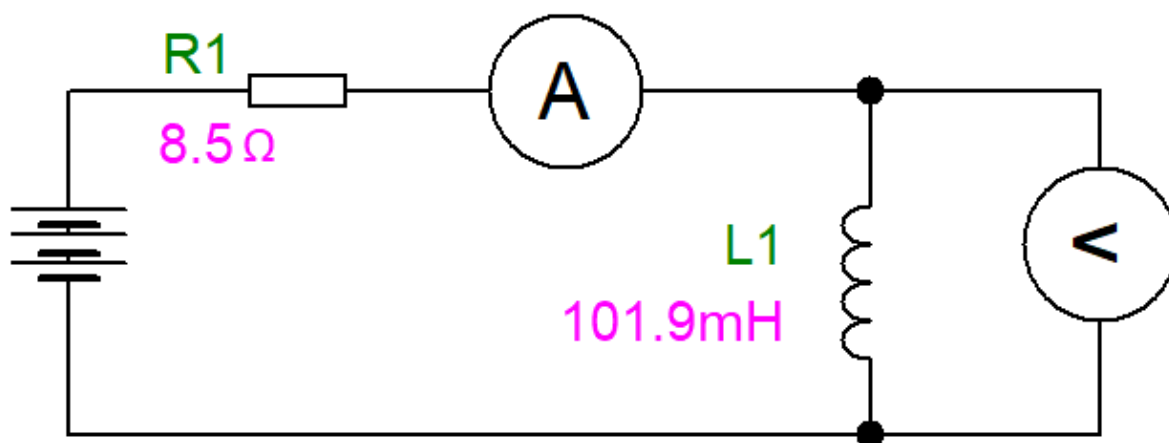
Tloušťka (mm)	Magnetické ztráty 50 Hz (W/kg) B=1,5 T	Hodnota B (T) při H = 800 A/m			Minimální činitel plnění železa
		H = 2 500 A/m	H = 5 000 A/m	H = 10 000 A/m	
0,5	2,5 – 8	1,49 – 1,6	1,6 – 1,7	1,7 – 1,77	0,95

3. Zapojení

Jako zdroj pro měření indukovaného napětí byl použit DMK, který umožňuje měřit napětí jak sdružená tak fázová a také proudy. Na všech sloupcích tlumivky byly navinuty pomocné závity s $N_m = 16$, a v jednom případě s $N_m = 9$, a bylo na nich změřeno indukované napětí pomocí multimetru.



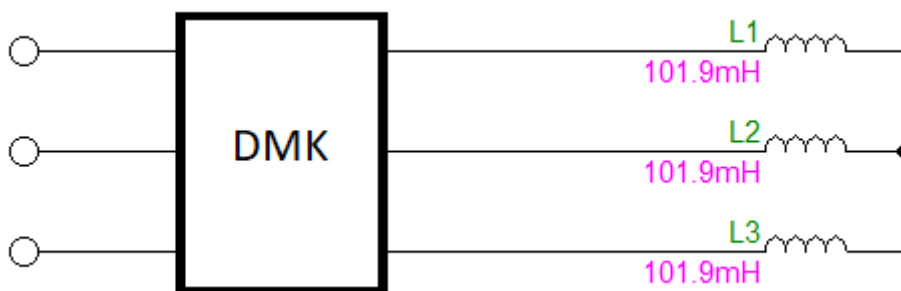
Obr. 3.1: Schéma zapojení pro měření indukovaných napětí na námi navinutých měřicích cívkách o N_m závitů



První měření odporů bylo prováděno za studena, kdy pomocí 12V baterie byl napájen stejnosměrný obvod, kde byl zapojen magnetoelektrický ampérmetr a paralelně k vinutí byl připojen voltmetr. Měření bylo provedeno na všech fázích a proměřeny byly i mezifázové odpory. Hodnota napětí byla kromě voltmetru měřena také multimetrem.

Obr. 3.2: Schéma zapojení Ohmovy metody pro měření malých odporů, které jsme využili jak pro měření studených, tak teplých odporů vinutí tlumivky

Měření ztrát bylo provedeno pomocí zdroje DMK který zaznamenává jak proudy, tak napětí, ze kterých byl dopočten výkon.



Obr. 3.3: Schéma zapojení pro měření ztrát tlumivky s využitím analyzátoru DMK

3.1. Použité přístroje

1. analyzátor DMK, inv. č. 234089
2. multimetr, výrobce UNI-T, typ UT33D, inv. č. 1110249428
3. ampérmetr, inv. č. 19378
4. voltmetr, inv. č. 5527
5. DC baterie 12V, výrobce CSB, typ GP 1272 F2
6. datový záznamník teploty, výrobce Testo, typ 175-T3, inv. č. 226658
7. tepelná sonda 1
8. tepelná sonda 2

4. Postup měření

4.1. **Měření odporů vinutí za studena**

1. Zapojili jsme měřenou tlumivku do obvodu pro měření malých odporů Ohmovou metodou, kde jsme jako zdroj stejnosměrného napětí použili 12V baterii a velikost proudu jsme omezili zapojením rezistoru s odporem $8,5 \Omega$ do měřicího obvodu.
2. Napájeli jsme nejprve každou fázi vinutí zvlášť a zaznamenávali jsme proud protékající obvodem a napětí na napájené fázi vinutí tlumivky. Měření napětí probíhalo na svorkovnici tlumivky analogovým voltmetrem a multimetrem (oba přístroje ukazovali stejné hodnoty).
3. Následně jsme napájeli proudem dvě fáze vinutí, které byly spojeny do série, a měřili jsme napětí na těchto dvou fázích. Měření napětí probíhalo na svorkovnici tlumivky analogovým voltmetrem a multimetrem (oba přístroje ukazovali stejné hodnoty).
4. Z naměřených hodnot jsme pomocí Ohmova zákona dopočítali odpor jedné fáze vinutí.

4.2. **Měření ztrát**

1. Tlumivku jsme připojili přes analyzátor k regulovatelnému zdroji napětí, který byl tvořený natáčivým transformátorem, neboli boosterem.
2. Postupně jsme zvyšovali napájecí napětí od přibližně 30 V až do 120 % U_n , a pomocí analyzátoru, a k němu připojenému PC, jsme zaznamenávali hodnoty fázových i sdružených napětí, proudů, činných i jalových výkonů.
3. Z těchto údajů jsme následně vypočítali Jouleovy ztráty, ztráty v železe a indukčnost.

4.3. **Měření indukovaného napětí**

1. Na jednotlivé sloupky jádra tlumivky jsme si přes vinutí tlumivky namotali izolované vodiče, a vytvořili jsme si tak na každém sloupku pomocí jednoho izolovaného vodiče známý počet závitů. Ve dvou případech bylo $N_m = 16$ a v jednom případě $N_m = 9$ závitů.
2. Napájeli jsme tlumivku třífázovým napětím, které bylo snižené oproti U_n .
3. Pomocí multimetru jsme změřili napětí naindukovaná na jednotlivých, námi vytvořených, vinutích z izolovaného vodiče se známým počtem závitů.
4. Díky znalosti napájecího napětí, naindukovaného napětí a počtu závitů izolovaného vodiče jsme mohli určit počet závitů vinutí tlumivky.

4.4. **Měření oteplovací zkoušky**

1. Připravili jsme sondy k měření teploty. Jednu jsme přiložili na prostřední vinutí a druhou z boku na horní část jádra.
2. Spustili jsme zaznamenávání teplot, a tlumivku jsme připojili na napájení jmenovitým napětím.
3. Po dosažení ustálené teploty jsme zvýšili napájecí napětí o 10 %.
4. Poté, co jsme dosáhli ustálené teploty při zvýšeném napětí, jsme tlumivku odpojili od napájení a po dobu 10 minut jsme prováděli měření odporů za tepla.

4.5. **Měření dynamické hysterezní smyčky**

5. Naměřené hodnoty dekompenzační tlumivky

Tabulka 5.1: Naměřené odpory vinutí

Fáze	I (A)	U (V)	R (Ω)
U-N	1,90	0,966	0,5084
V-N	1,88	0,964	0,5128
W-N	1,89	0,969	0,5127
U-V	1,74	1,783	1,0247
U-W	1,75	1,785	1,0200
V-W	1,73	1,769	1,0225

Tabulka 5.2: Tabulka naměřených indukovaných napětí a vypočítaných závitů

	U (V) – hlavní cívk		U _m (V) měřicí cívk		N _m (-) – měřicí cívk	N (-) – hlavní cívk	
U	172,6	113,9	11,0	7,1	16	251,05	256,7
V	172,2	113,6	10,9	7,1	16	252,77	256,0
W	172,7	113,9	6,0	3,9	9	259,05	262,84

Měření počtu závitů bylo provedeno na dvou napěťových hladinách. Výsledné naměřené hodnoty byly zprůměrovány na $N = 256$ závitů. Podle výpočtu v rovnici (5.1) byla vypočítána přibližná hodnota magnetické indukce:

$$B = \frac{U}{4,44 \cdot f \cdot N \cdot d_1 \cdot l} = \frac{230}{4,44 \cdot 50 \cdot 256 \cdot 0,04 \cdot 0,0735} = 1,38 \text{ T} \quad (5.1)$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{0,966}{1,9} = 0,5084 \text{ } \Omega \quad (5.2)$$

$$N = \frac{N_m \cdot U}{U_m} = \frac{16 \cdot 172,6}{11} = 251,05 \text{ (-)} \quad (5.3)$$

$$\Delta P_{jU} = R_U \cdot I_U^2 = 0,5084 \cdot 0,6^2 = 0,2 \text{ W} \quad (5.4)$$

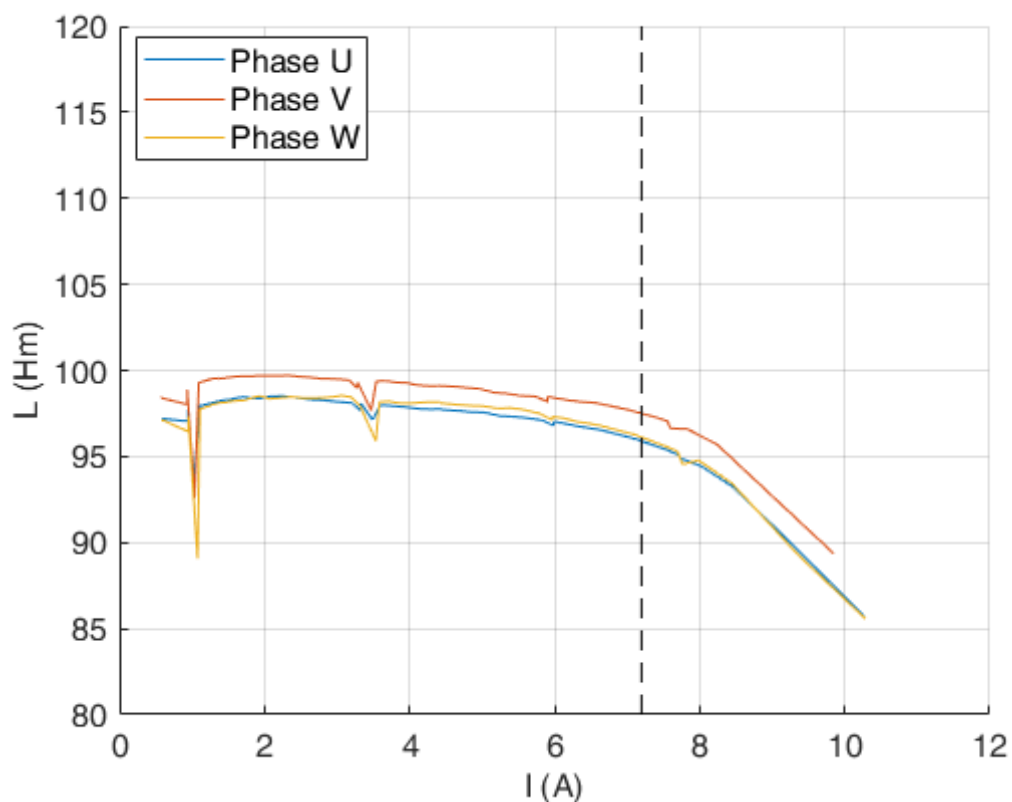
$$L_U = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50} \cdot \sqrt{\left(\frac{18}{0,6}\right)^2 - 0,5084^2} = 0,0972 \text{ H} = 97,2 \text{ mH} \quad (5.5)$$

$$P_{FeU} = P_{oU} - P_{jU} = 4 - 1,5 = 2,5 \text{ W} \quad (5.6)$$

$$\Delta\vartheta_V = \left(\frac{R_{tV}}{R_{sV}} - 1\right) \cdot (235 + \vartheta_s) = \left(\frac{0,7577}{0,5128} - 1\right) \cdot (235 + 23,4) = 123,405 \text{ K} \quad (5.7)$$

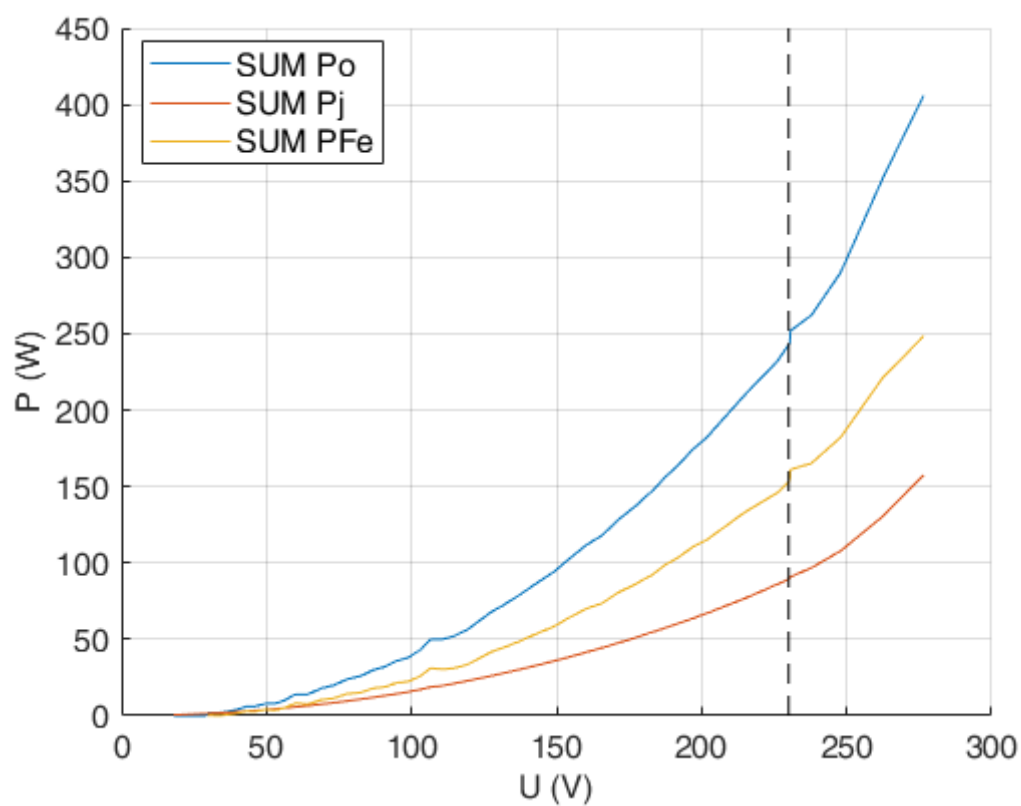
6. Vyhodnocení

Graf závislosti indukčnosti na proudu na obr. 6.1 ukazuje, že s nárůstem proudu postupně klesá indukčnost s tím, že do jmenovitého proudu (7,2 A) klesá v podstatě lineárně (výchyly viditelné v grafu jsou jednak způsobeny přesností měření a také rozsahem měřících přístrojů kdy u malých proudů (napětí) je větší chyba a tím zapříčiněn takovýto skok). Po překročení jmenovité hodnoty proudu je vidět pokles indukčnosti vlivem sycení magnetického obvodu.



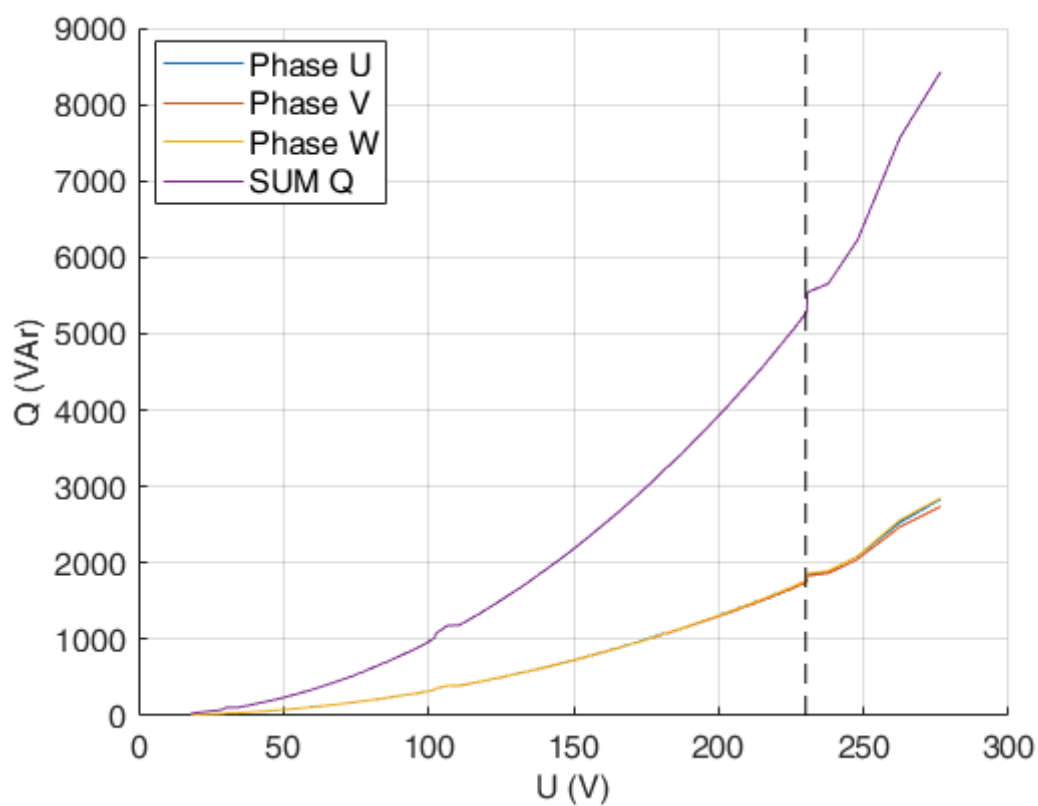
Obr. 6.1: Graf závislosti indukčnosti jednotlivých fází na fázovém proudu s vyznačenou jmenovitou hodnotou

Z grafu je vidět závislost celkových činných ztrát na napětí, jak je vidět jedná se o kvadratickou závislost, kdy největší nárůst nastane po překročení jmenovité hodnoty napětí (230 V). Jak je vidět, ztráty v železe jsou zhruba o třetinu menší než Jouleovy.



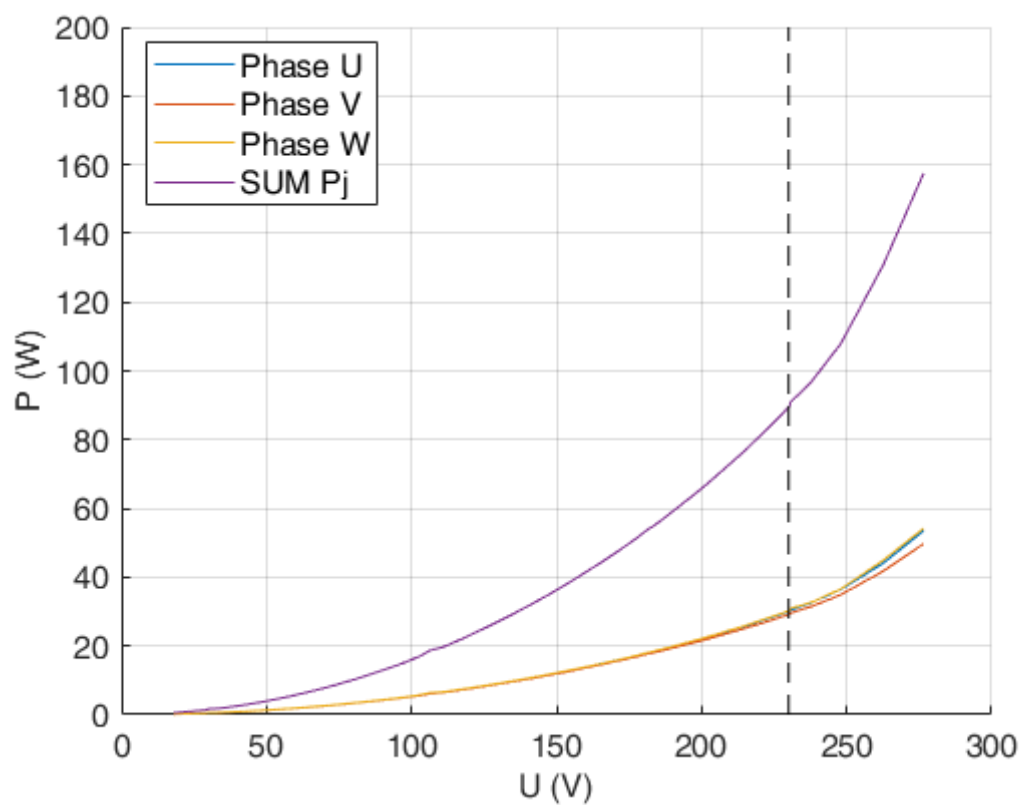
Obr. 6.2: Graf závislosti celkových činných (P_o), Jouleových (P_j) ztrát a ztrát v železe (P_{Fe}) na přiloženém fázovém napětí s vyznačenou jmenovitou hodnotou

Stejně jako u ztrát je vidět kvadratická závislost jalového výkonu na napětí, s tím, že je vidět stejné rozložení v jednotlivých fázích a celková hodnota je zhruba třikrát vyšší než je hodnota fázová.



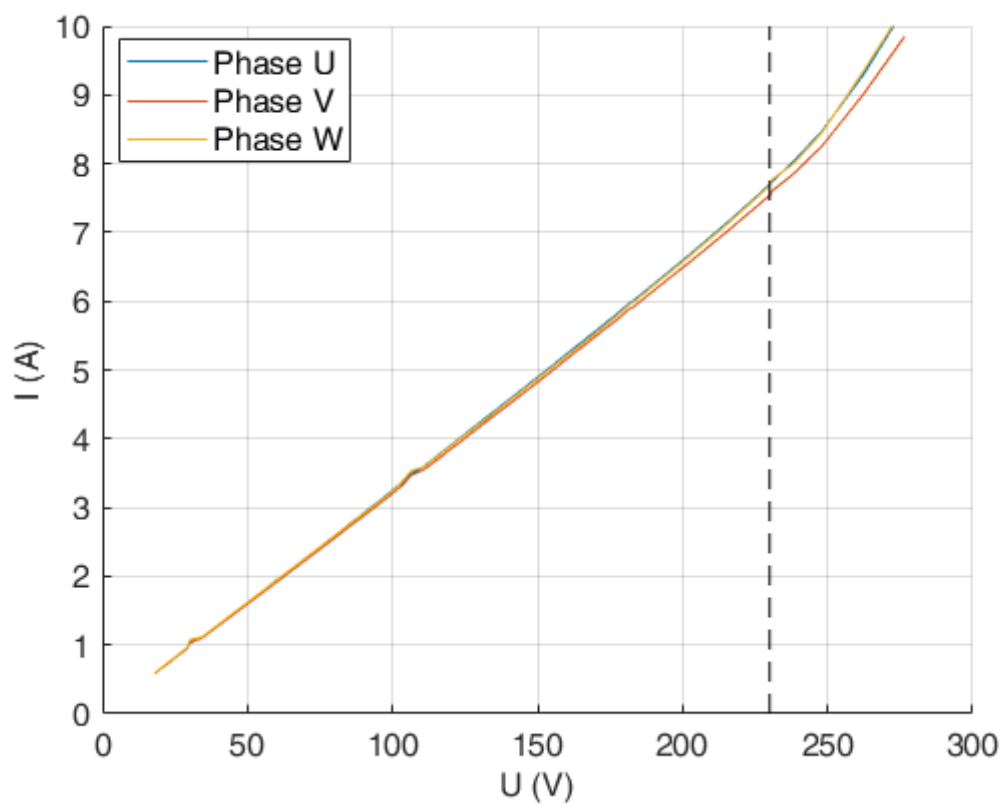
Obr. 6.3: Graf závislosti celkového jalového výkonu a jalového výkonu v jednotlivých fázích na fázovém napětí s vyznačenou jmenovitou hodnotou

Jouleovy ztráty jsou stejně jako jalový výkon závislé na kvadrátu napětí. Jejich průběh je proto stejný jako u jalového výkonu.



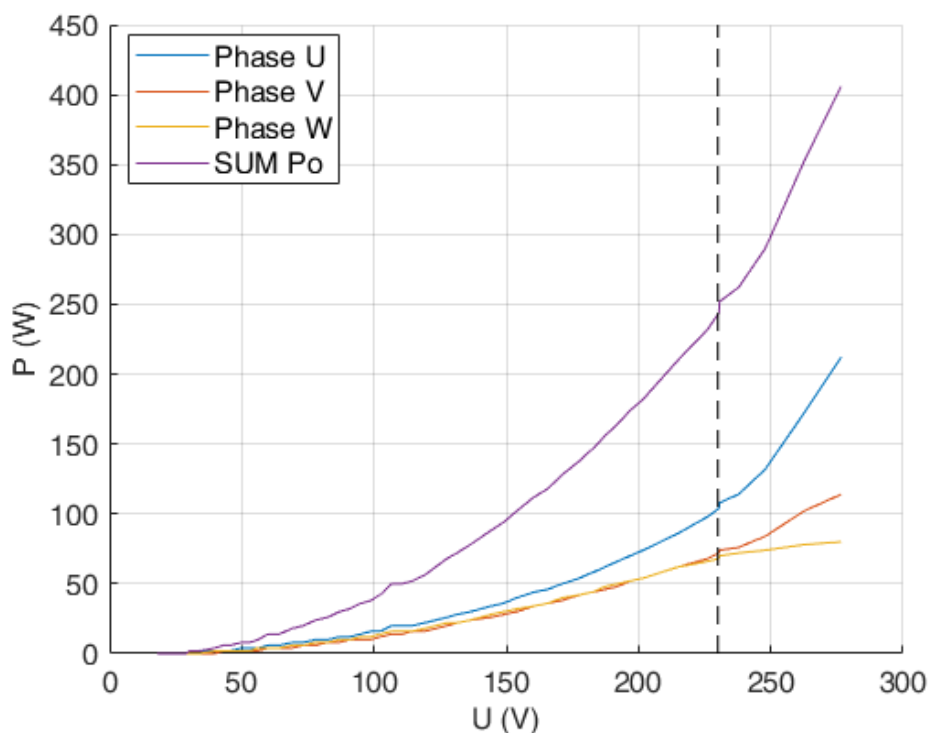
Obr. 6.4: Graf závislosti celkových jouleových ztrát a jouleových ztrát v jednotlivých fázích na fázovém napětí s vyznačenou jmenovitou hodnotou

Závislost proudu na napětí jak je vidět z grafu Obr. 6.5 je lineární až do jmenovité hodnoty proudu a napětí odkud dochází k změně závislosti a daleko prudšímu nárůstu proudu pro malou změnu napětí.



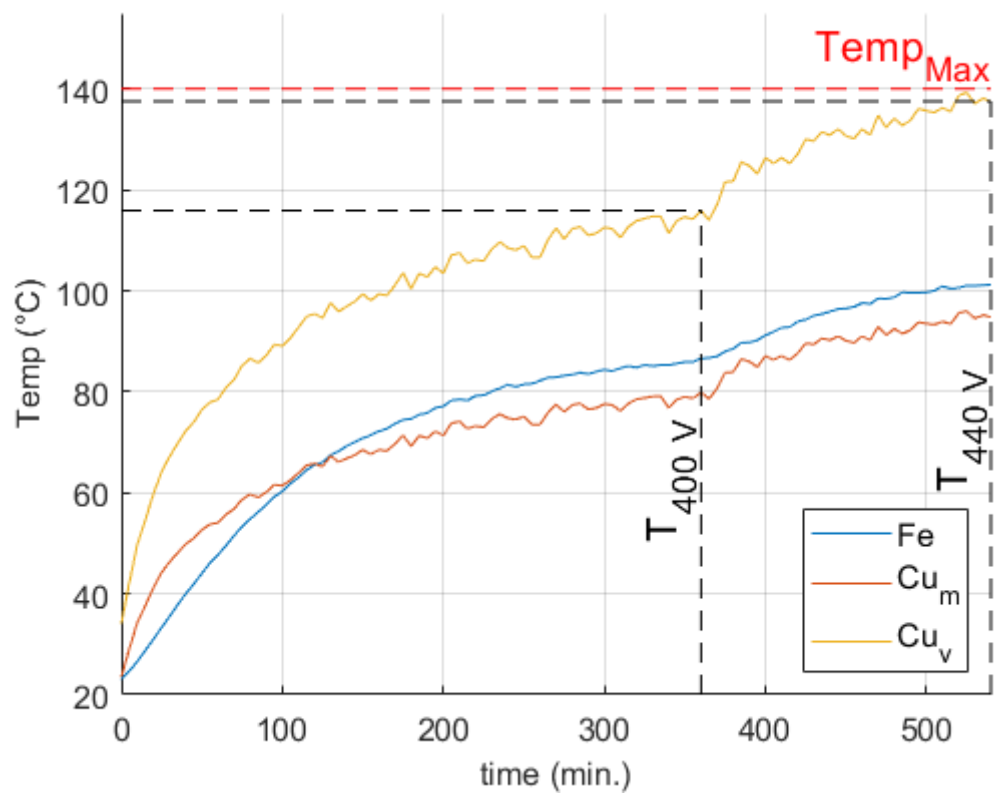
Obr. 6.5: Graf závislosti fázového proudu na fázovém napětí s vyznačenou jmenovitou hodnotou

Činný výkon nám narůstá kvadraticky s napětím jak je vidět z grafu Obr. 6.6.

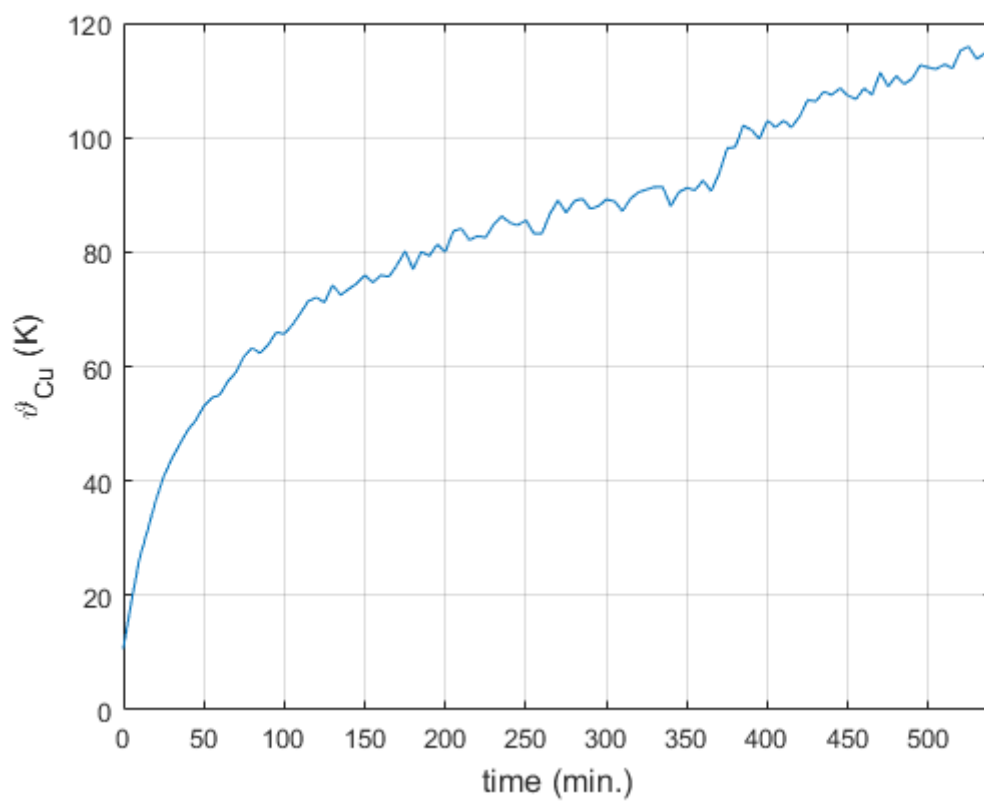


Obr. 6.6: Graf závislosti celkového činného výkonu a činného výkonu v jednotlivých fázích na fázovém napětí s vyznačenou jmenovitou hodnotou

Z grafu oteplení jsou vidět okamžiky ustálení teploty (za 30 minut nárůst méně než 1 °C) a maximální teplota dána výrobcem. Na obrázku Obr. 6.7 je patrná závislost teplot vinutí a železného jádra měřené tlumivky na čase. V obrázku je vyznačena maximální teplota ϑ_{Max} , která je udávána výrobcem 110 °C, dále jsou v grafu vyznačeny časy, ve kterých došlo k ustálení teplot, tedy čas $T_{400 \text{ V}}$ při napájení tlumivky napětím 400 V a čas $T_{440 \text{ V}}$ při 440 V, a jim odpovídající ustálené teploty železného jádra a vinutí.

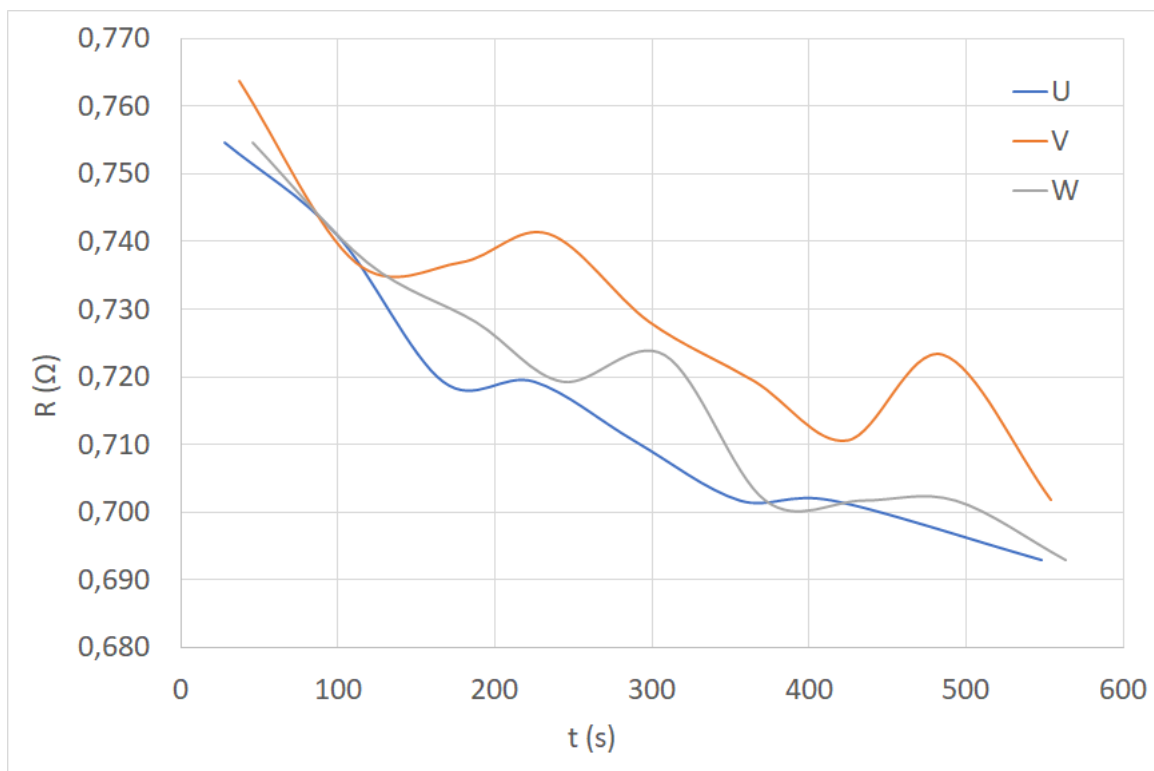


Obr. 6.7: Závislost teplot vinutí a železného jádra na čase v průběhu oteplovací zkoušky

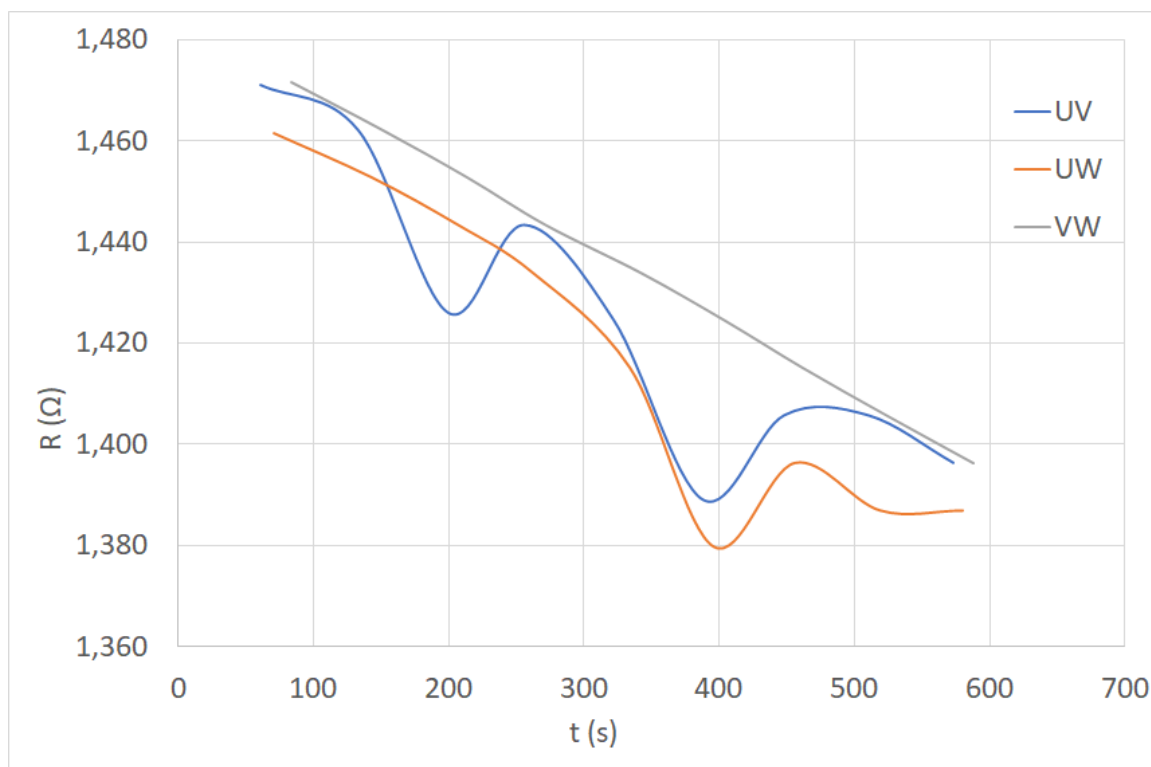


Obr. 6.8: Oteplení vinutí v průběhu oteplovací zkoušky

Na obrázcích Obr. 6.9 a 6.10 je vidět snižování odporu v závislosti na čase, který byl měřen od odpojení napájení tlumivky po dosažení ustáleného stavu teploty při 10% přepětí napájecího napětí.

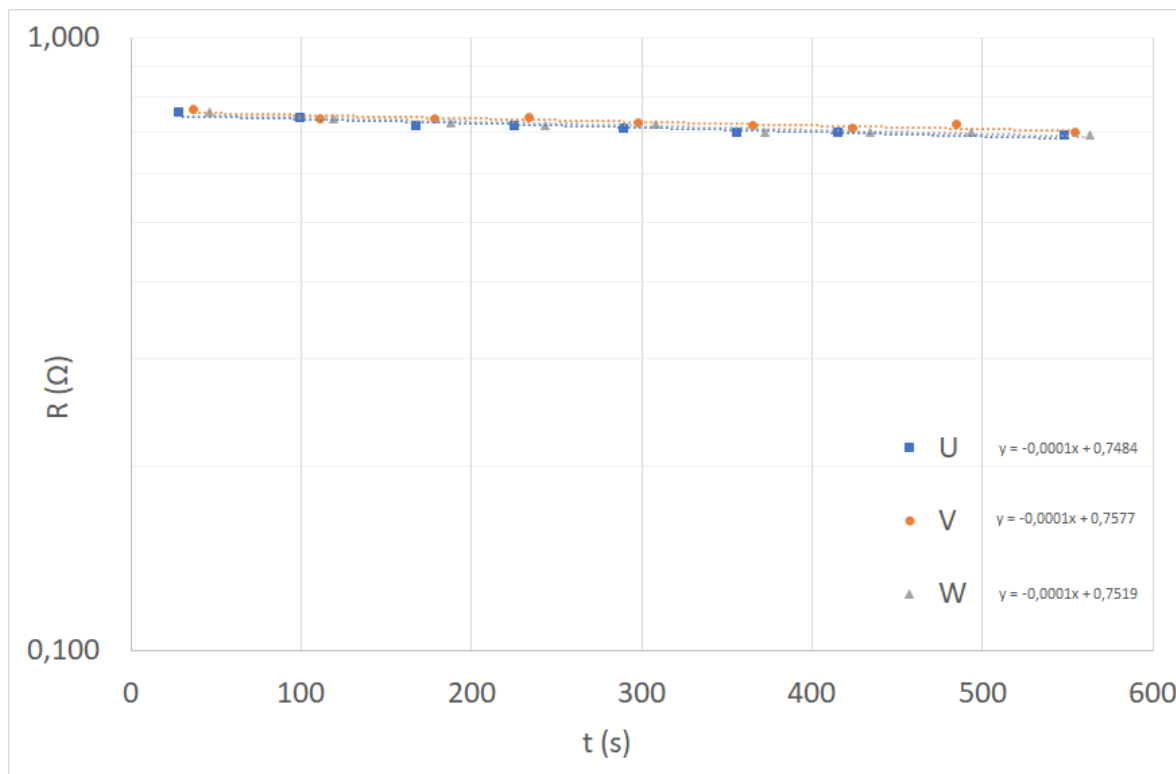


Obr. 6.9: Závislost odporů jednotlivých fází na čase

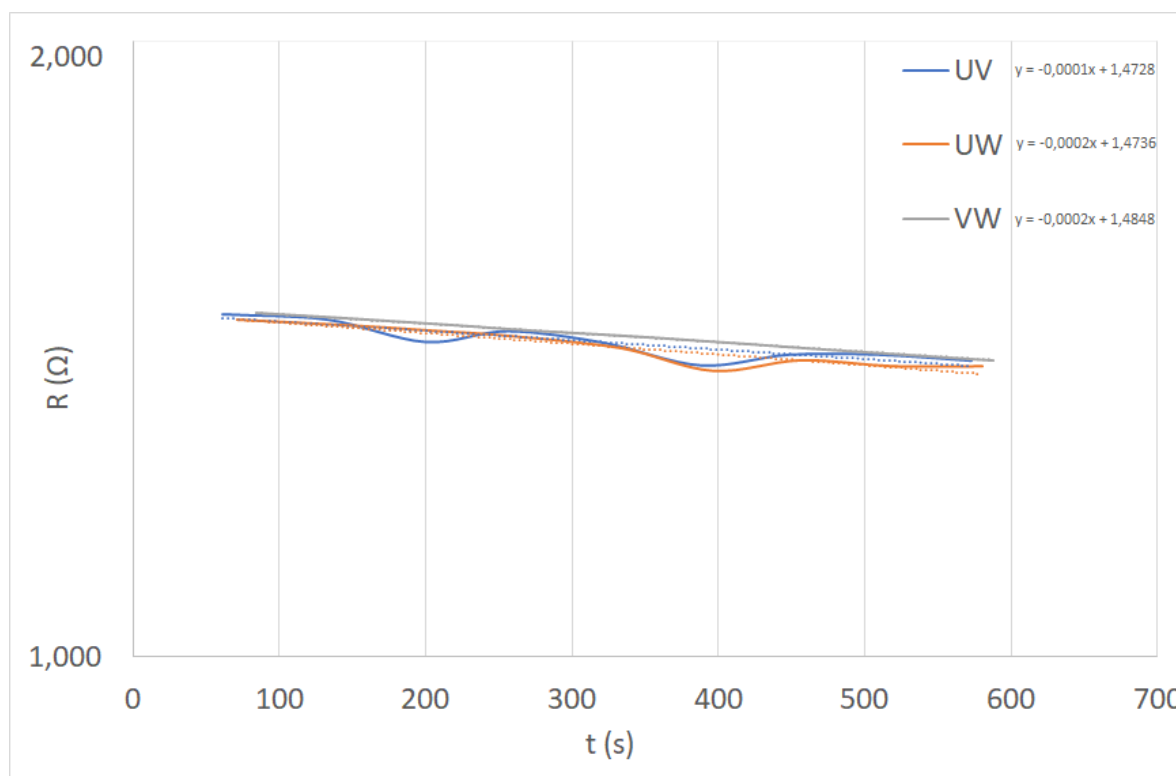


Obr. 6.10: Závislost odporů fází spojených do série na čase

Na obrázcích *Obr. 6.11* a *Obr. 6.12* jsou zobrazeny stejné závislosti jako na předchozích obrázcích *Obr. 6.9* a *Obr. 6.10*, ale při použití semilogaritmického měřítka. Tyto grafy slouží pro určení odporu v čase $t = 0$.



Obr. 6.11: Závislost odporů jednotlivých fází na čase při použití semilogaritmického měřítka



Obr. 6.12: Závislost odporů fází spojených do série na čase při použití semilogaritmického měřítka

6.1.1. Tabulky naměřených hodnot

Tabulka 6.1: Naměřené hodnoty proudu, činného a jalového výkonu a dopočtené hodnoty Jouleových ztrát, ztrát v železe a indukčnosti tlumivky v závislosti na zvyšujícím se napájecím napětí

$U_{f_{av}}$ s (V)	U_{avg} (V)	I_u (A)	I_v (A)	I_w (A)	P_{o_u} (W)	P_{o_v} (W)	P_{o_w} (W)	P_o (W)	Q_u (VAr)	Q_v (VAr)	Q_w (VAr)	Q (W)	P_{j_u} (W)	P_{j_v} (W)	P_{j_w} (W)	P_j (W)	P_{Fe_u} (W)	P_{Fe_v} (W)	P_{Fe_w} (W)	P_{Fe} (W)	L_u (mH)	L_v (mH)	L_w (mH)	L (mH)
18,0	31,26	0,6	0,6	0,6	0	0	0	0	10	10	10	30	0,2	0,2	0,2	0,5	-0,2	-0,2	-0,2	-0,5	97,2	98,4	97,0	97,6
30,2	52,26	1,0	1,0	1,1	2	0	0	2	36	36	36	108	0,5	0,6	0,6	1,7	1,5	-0,6	-0,6	0,3	93,7	92,6	89,1	91,8
39,7	68,83	1,3	1,3	1,3	2	0	2	4	50	50	50	150	0,8	0,8	0,9	2,5	1,2	-0,8	1,1	1,5	98,1	99,5	98,0	98,6
53,0	91,79	1,7	1,7	1,7	4	2	2	8	90	88	90	268	1,5	1,5	1,5	4,5	2,5	0,5	0,5	3,5	98,5	99,7	98,3	98,8
64,2	111,24	2,1	2,1	2,1	6	4	4	14	132	130	132	394	2,2	2,2	2,2	6,6	3,8	1,8	1,8	7,4	98,5	99,7	98,3	98,8
77,9	134,88	2,5	2,5	2,5	10	6	8	24	194	194	194	582	3,2	3,2	3,3	9,7	6,8	2,8	4,7	14,3	98,4	99,6	98,4	98,8
86,8	150,36	2,8	2,8	2,8	12	8	10	30	242	240	242	724	4,0	4,0	4,0	12,0	8,0	4,0	6,0	18,0	98,3	99,5	98,4	98,7
98,9	171,29	3,2	3,2	3,2	16	10	12	38	316	314	314	944	5,2	5,1	5,2	15,6	10,8	4,9	6,8	22,4	98,1	99,4	98,5	98,7
106,6	184,57	3,5	3,5	3,5	20	14	16	50	394	392	394	1 180	6,2	6,2	6,4	18,8	13,8	7,8	9,6	31,2	97,1	97,7	95,9	96,9
119,0	206,13	3,9	3,8	3,9	22	16	18	56	458	454	458	1 370	7,6	7,5	7,6	22,7	14,4	8,5	10,4	33,3	97,9	99,3	98,1	98,4
127,6	220,98	4,2	4,1	4,1	26	20	22	68	528	524	526	1 578	8,8	8,6	8,8	26,1	17,2	11,4	13,2	41,9	97,8	99,2	98,1	98,4
136,4	236,25	4,4	4,4	4,4	30	24	24	78	604	598	602	1 804	10,0	9,8	10,0	29,9	20,0	14,2	14,0	48,1	97,7	99,1	98,1	98,3
144,1	249,57	4,7	4,6	4,7	34	26	28	88	674	668	672	2 014	11,2	11,0	11,2	33,4	22,8	15,0	16,8	54,6	97,7	99,1	98,0	98,2
160,4	277,87	5,2	5,2	5,2	44	34	34	112	838	832	836	2 506	14,0	13,7	14,0	41,7	30,0	20,3	20,0	70,3	97,4	98,7	97,8	98,0
177,7	307,77	5,8	5,7	5,8	54	42	42	138	1 032	1 024	1 028	3 084	17,2	16,9	17,3	51,4	36,8	25,1	24,7	86,6	97,1	98,5	97,5	97,7
187,4	324,50	6,2	6,1	6,1	62	46	48	156	1 148	1 138	1 146	3 432	19,2	18,8	19,3	57,4	42,8	27,2	28,7	98,6	96,9	98,4	97,2	97,5
196,8	340,88	6,5	6,4	6,5	70	52	52	174	1 272	1 260	1 270	3 802	21,4	20,9	21,4	63,6	48,6	31,1	30,6	110,4	96,6	98,2	96,9	97,2
214,9	372,21	7,1	7,0	7,1	86	62	62	210	1 524	1 506	1 522	4 552	25,8	25,1	25,9	76,8	60,2	36,9	36,1	133,2	96,0	97,7	96,3	96,7
230,6	399,41	7,7	7,6	7,8	108	74	70	252	1 848	1 830	1 864	5 542	30,4	29,6	30,9	90,9	77,6	44,4	39,1	161,1	94,9	96,6	94,5	95,4
247,9	429,38	8,5	8,2	8,4	132	84	74	290	2 088	2 050	2 090	6 228	36,4	34,9	36,5	107,8	95,6	49,1	37,5	182,2	93,2	95,7	93,4	94,1
276,5	478,99	10,3	9,8	10,3	212	114	80	406	2 838	2 742	2 850	8 430	53,5	49,7	54,2	157,5	158,5	64,3	25,8	248,5	85,8	89,4	85,6	86,9

Tabulka 6.2: Naměřené hodnoty napětí a proudů a dopočítané hodnoty odporů v závislosti na čase

	U	V	W	UV	UW	VW
U₁ (V)	0,83	0,84	0,83	1,53	1,52	1,56
I₁ (A)	1,1	1,1	1,1	1,04	1,04	1,06
t₁ (s)	28	37	46	61	71	84
T₁ (°C)	146,282	148,026	146,282			
R₁ (Ω)	0,755	0,764	0,755	1,471	1,462	1,472
U₂ (V)	0,83	0,84	0,84	1,55	1,54	1,55
I₂ (A)	1,12	1,14	1,14	1,06	1,06	1,06
t₂ (s)	99	111	119	133	143	151
T₂ (°C)	143,569	142,794	142,794			
R₂ (Ω)	0,741	0,737	0,737	1,462	1,453	1,462
U₃ (V)	0,82	0,84	0,83	1,54	1,53	1,54
I₃ (A)	1,14	1,14	1,14	1,08	1,06	1,06
t₃ (s)	167	178	188	200	207	214
T₃ (°C)	139,307	142,794	141,051			
R₃ (Ω)	0,719	0,737	0,728	1,426	1,443	1,453
U₄ (V)	0,82	0,83	0,82	1,53	1,52	1,53
I₄ (A)	1,14	1,12	1,14	1,06	1,06	1,06
t₄ (s)	225	234	243	256	262	272
T₄ (°C)	139,307	143,569	139,307			
R₄ (Ω)	0,719	0,741	0,719	1,443	1,434	1,443
U₅ (V)	0,81	0,83	0,81	1,51	1,5	1,52
I₅ (A)	1,14	1,14	1,12	1,06	1,06	1,06
t₅ (s)	289	298	308	322	334	342
T₅ (°C)	137,757	141,051	140,082			
R₅ (Ω)	0,711	0,728	0,723	1,425	1,415	1,434
U₆ (V)	0,8	0,82	0,8	1,5	1,49	1,51
I₆ (A)	1,14	1,14	1,14	1,08	1,08	1,06
t₆ (s)	356	365	372	388	396	404
T₆ (°C)	136,013	139,307	136,013			
R₆ (Ω)	0,702	0,719	0,702	1,389	1,380	1,425
U₇ (V)	0,8	0,81	0,8	1,49	1,48	1,5
I₇ (A)	1,14	1,14	1,14	1,06	1,06	1,06
t₇ (s)	415	424	434	448	456	462
T₇ (°C)	136,013	137,757	136,013			
R₇ (Ω)	0,702	0,711	0,702	1,406	1,396	1,415
U₈ (V)	0,79	0,81	0,8	1,49	1,47	1,49
I₈ (A)	1,14	1,12	1,14	1,06	1,06	1,06
t₈ (s)	478	485	493	510	519	524
T₈ (°C)	134,269	140,082	136,013			
R₈ (Ω)	0,693	0,723	0,702	1,406	1,387	1,406
U₉ (V)	0,79	0,8	0,79	1,48	1,47	1,48
I₉ (A)	1,14	1,14	1,14	1,06	1,06	1,06
t₉ (s)	548	554	563	573	580	588
T₉ (°C)	134,269	136,013	134,269			
R₉ (Ω)	0,693	0,702	0,693	1,396	1,387	1,396

Tabulka 6.3: Naměřené hodnoty napětí a proudů na začátku měření a při dosažení ustálených stavů

	začátek	ust. stav 400 V a 440 V	
čas (h)	7:05	13:06	16:09
U ₁ (V)	231,29	230,4	253,3
U ₂ (V)		232,2	255,2
U ₃ (V)		231,2	254,4
I ₁ (A)	7,66	7,79	8,908
I ₂ (A)		7,628	8,628
I ₃ (A)		7,772	8,872

Tabulka 6.4: Kontaktně naměřené teploty jádra a vinutí na prostřední fázi (L2), vypočítané hodnoty průměrné teploty vinutí na prostřední fázi (L2) a vypočítané oteplení vinutí na prostřední fázi (L2)

id	Čas (h:min:s)	Fe (°C)	Cu _m (°C)	Cu _v (°C)	θ _{Cu} (K)
1	7:05:20	23,1	23,5	34,09	10,69
2	7:10:20	24,7	29,1	42,21	18,81
3	7:15:20	26,6	34,3	49,76	26,36
4	7:20:20	28,8	37,7	54,69	31,29
5	7:25:20	31	41,2	59,77	36,37
6	7:30:20	33,3	44,2	64,12	40,72
7	7:35:20	35,5	46,3	67,16	43,76
8	7:40:20	37,8	48,1	69,78	46,38
9	7:45:20	40	49,8	72,24	48,84
10	7:50:20	41,9	51	73,98	50,58
11	7:55:20	44	52,7	76,45	53,05
12	8:00:20	46,1	53,7	77,90	54,50
13	8:05:20	47,7	54,1	78,48	55,08
14	8:10:20	49,5	55,7	80,80	57,40
15	8:15:20	51,5	56,8	82,40	59,00
16	8:20:20	53,3	58,7	85,15	61,75
17	8:25:20	54,8	59,7	86,60	63,20
18	8:30:20	56,2	59,1	85,73	62,33
19	8:35:20	57,6	60,1	87,18	63,78
20	8:40:20	59,2	61,6	89,36	65,96
21	8:45:20	60,3	61,4	89,07	65,67
22	8:50:20	61,8	62,5	90,67	67,27
23	8:55:20	63	63,9	92,70	69,30
24	9:00:20	64,5	65,4	94,87	71,47
25	9:05:20	65,5	65,8	95,45	72,05
26	9:10:20	66	65,2	94,58	71,18
27	9:15:20	67,5	67,3	97,63	74,23
28	9:20:20	68,2	66,1	95,89	72,49
29	9:25:20	69,3	66,8	96,90	73,50
30	9:30:20	70	67,5	97,92	74,52
31	9:35:20	70,8	68,5	99,37	75,97
32	9:40:20	71,4	67,6	98,06	74,66
33	9:45:20	72,2	68,5	99,37	75,97
34	9:50:20	72,7	68,3	99,08	75,68
35	9:55:20	73,7	69,7	101,11	77,71
36	10:00:20	74,5	71,4	103,58	80,18
37	10:05:20	74,6	69,2	100,38	76,98
38	10:10:20	75,5	71,3	103,43	80,03
39	10:15:20	75,8	70,8	102,71	79,31

40	10:20:20	76,8	72,2	104,74	81,34
41	10:25:20	77,1	71,3	103,43	80,03
42	10:30:20	78,3	73,8	107,06	83,66
43	10:35:20	78,5	74,1	107,49	84,09
44	10:40:20	78,3	72,7	105,46	82,06
45	10:45:20	79,2	73,2	106,19	82,79
46	10:50:20	79,3	73	105,90	82,50
47	10:55:20	80,1	74,6	108,22	84,82
48	11:00:20	80,7	75,6	109,67	86,27
49	11:05:20	81,4	74,8	108,51	85,11
50	11:10:20	81	74,5	108,07	84,67
51	11:15:20	81,5	75,1	108,94	85,54
52	11:20:20	81,6	73,5	106,62	83,22
53	11:25:20	82,2	73,5	106,62	83,22
54	11:30:20	82,8	75,9	110,10	86,70
55	11:35:20	82,9	77,5	112,42	89,02
56	11:40:20	83,2	76	110,25	86,85
57	11:45:20	83,4	77,4	112,28	88,88
58	11:50:20	83,8	77,7	112,72	89,32
59	11:55:20	83,5	76,5	110,97	87,57
60	12:00:20	84	76,8	111,41	88,01
61	12:05:20	84,4	77,6	112,57	89,17
62	12:10:20	84,1	77,4	112,28	88,88
63	12:15:20	84,7	76,2	110,54	87,14
64	12:20:20	85,1	77,7	112,72	89,32
65	12:25:20	84,8	78,5	113,88	90,48
66	12:30:20	85,3	78,8	114,31	90,91
67	12:35:20	85,1	79,1	114,75	91,35
68	12:40:20	85,3	79,1	114,75	91,35
69	12:45:20	85,3	76,8	111,41	88,01
70	12:50:20	85,6	78,5	113,88	90,48
71	12:55:20	85,9	79	114,60	91,20
72	13:00:20	85,9	78,7	114,17	90,77
73	13:05:20	86,6	79,9	115,91	92,51
74	13:10:20	86,7	78,6	114,02	90,62
75	13:15:20	87	80,7	117,07	93,67
76	13:20:20	88	83,8	121,56	98,16
77	13:25:20	88,5	83,9	121,71	98,31
78	13:30:20	89,7	86,5	125,48	102,08
79	13:35:20	89,8	86	124,76	101,36
80	13:40:20	90,2	84,9	123,16	99,76
81	13:45:20	91,2	87,1	126,35	102,95
82	13:50:20	91,9	86,3	125,19	101,79
83	13:55:20	92,7	87,1	126,35	102,95
84	14:00:20	92,8	86,3	125,19	101,79
85	14:05:20	93,9	87,6	127,08	103,68
86	14:10:20	94,3	89,6	129,98	106,58
87	14:15:20	95,1	89,4	129,69	106,29
88	14:20:20	95,4	90,6	131,43	108,03
89	14:25:20	95,9	90,2	130,85	107,45
90	14:30:20	96,4	91	132,01	108,61
91	14:35:20	96,5	90,1	130,70	107,30
92	14:40:20	96,8	89,7	130,12	106,72

93	14:45:20	97,6	91	132,01	108,61
94	14:50:20	97,4	90,2	130,85	107,45
95	14:55:20	98,5	92,9	134,76	111,36
96	15:00:20	98,4	91,2	132,30	108,90
97	15:05:20	98,7	92,5	134,18	110,78
98	15:10:20	99,7	91,5	132,73	109,33
99	15:15:20	99,6	92,2	133,75	110,35
100	15:20:20	99,6	93,8	136,07	112,67
101	15:25:20	99,7	93,5	135,64	112,24
102	15:30:20	100	93,3	135,35	111,95
103	15:35:20	100,9	93,9	136,22	112,82
104	15:40:20	100,4	93,4	135,49	112,09
105	15:45:20	100,6	95,6	138,68	115,28
106	15:50:20	101	96	139,26	115,86
107	15:55:20	101	94,5	137,09	113,69
108	16:00:20	101,1	95,2	138,10	114,70
109	16:05:20	101,2	94,8	137,52	114,12

Literatura

- [1] <http://www.elektrov.cz/produkty/dekompenzacni-tlumivky-pro-kompenzacni-kapacitnych-vykonu>
- [2] http://www.waasner.de/fileadmin/Assets/PDFs/Katalog_Waasner_01_2020.pdf#page=7

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum	Jméno