

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

FAKULTA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Charakteristiky autotransformátoru

Originál (kopie) zadání BP

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na elektrický stroj zvaný autotransformátor. Nejprve jsou uvedeny základní rozdíly mezi transformátorem, natáčecím transformátorem a autotransformátorem. Hlavním cílem je shrnout možnosti použití autotransformátorů v praxi, a poté při laboratorním měření ověřit základní charakteristiky předloženého stroje. Měření ve stavu naprázdno je provedeno pro celou délku regulace, měření ve stavu nakrátko pouze pro vytipované pozice regulace. Poslední měření, zatěžovacích charakteristik je poté provedeno pro stejné pozice regulace, při proměnné velikosti zátěže. Naměřené výsledky jsou poté zaznamenány a graficky vyhodnoceny.

Klíčová slova

Autotransformátor, charakteristika, chod nakrátko, chod naprázdno, zatěžování, účinník

Abstract

This bachelor thesis is focused on the electric machine called autotransformer. At first, the basic differences between transformer, adjustable transformer and autotransformer are stated. The main objective is to summarize the possibilities of usage of the autotransformers in practice and during the laboratory measurement to confirm the basic characteristics of one autotransformer. Measurement in no-load condition is performed for the whole length of regulation, measurement in short circuit condition only for particular positions. Last measurement of the characteristics under load condition, is performed for the same positions of regulation, for different sizes of load. The results are recorded and graphically analyzed.

Key words

Autotransformer, characteristic, no-load, short circuit, load, power factor

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 3.6.2013

Jakub Marek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Bohumilovi Skalovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 AUTOTRANSFORMÁTOR	10
1.1 OBECNÉ ROZDĚLENÍ TRANSFORMÁTORŮ	10
1.2 KONSTRUKČNÍ ROZDÍLY	10
1.2.1 <i>Transformátor</i>	10
1.2.2 <i>Natáčivý transformátor - booster</i>	12
1.2.3 <i>Autotransformátor</i>	13
1.3 VYUŽITÍ AUTOTRANSFORMÁTORU	15
1.3.1 <i>Distribuční soustava</i>	15
1.3.2 <i>Železnice</i>	16
1.3.3 <i>Napájení motorů</i>	16
1.3.4 <i>Elektronika</i>	16
2 MATLAB	17
2.1 PROSTŘEDÍ MATLABU	17
2.2 VÝHODY A NEVÝHODY VYUŽITÍ MATLABU	17
3 MĚŘENÍ NAPRÁZDNO A NAKRÁTKO NA AUTOTRANSFORMÁTORU	18
3.1 MĚŘENÍ NAPRÁZDNO	18
TAB. 3.2 HODNOTY MĚŘENÍ NAPRÁZDNO	19
3.2 MĚŘENÍ NAKRÁTKO	20
3.2.1 <i>Proud nakrátko při U_n</i>	21
3.2.2 <i>Napětí nakrátko</i>	21
4 MĚŘENÍ ZATĚŽOVACÍCH CHARAKTERISTIK	24
ZÁVĚR	27
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	28
PŘÍLOHY	29

Seznam symbolů a zkratek

I_1, I_2	Proud autotransformátoru, primární a sekundární strana
U_1, U_2	Napětí autotransformátoru, primární a sekundární strana
I_f, U_f	Fázové hodnoty proudu a napětí
I_k, U_k	Hodnoty proudu a napětí ve stavu nakrátko
I_n, U_n	Jmenovité hodnoty proudu a napětí
U_{reg}	Hodnota napětí na výstupu z boosteru
u_i	Indukované napětí
u_k	Poměrná hodnota napětí
N	Počet závitů cívky
L_1, L_2, N	Označení fázových vodičů a středního pracovního vodiče
R, S, T	Označení fázových vodičů
Z	Zatěžovací impedance
Φ	Magnetický tok jádra
α	Úhel natočení boosteru
φ	Účinit
MATLAB	Matric laboratory

Úvod

Přeměna a rozvod elektrické energie je důležitá součást elektrických systémů a energetických sítí. Přeměna parametrů elektrické energie vyžaduje speciální stroj – transformátor. Transformátor s klasickou konstrukcí není vhodný pro všechny aplikace, a proto bylo nutné jej modifikovat. V této práci je uvedeno několik základních typů transformátorů, detailněji zde bude popsán pouze jeden typ – autotransformátor. Autotransformátor pracuje na podobném principu jako klasický transformátor, má však pouze jedno vinutí. Neposkytuje galvanické oddělení obvodů, ale umožňuje plynulou regulaci napětí na sekundární straně. V práci je uveden souhrn aplikací, v kterých jsou tyto vlastnosti s výhodou využívány. Druhá část se věnuje měření na konkrétním autotransformátoru, bylo provedeno měření ve stavu naprázdno, nakrátko a při zatížení. Z naměřených hodnot byly sestaveny grafické charakteristiky pro jednotlivé stavy transformátoru a v závěru práce jsou výsledky vyhodnoceny. Grafické charakteristiky byly vytvořeny v programu MATLAB, základní informace o tomto programu jsou také součástí práce.

1 Autotransformátor

1.1 Obecné rozdělení transformátorů

Transformátor patří do skupiny elektrických strojů, které nazýváme měniče. Točivé elektrické stroje mění elektrickou energii na mechanickou (motory), anebo mechanickou energii na elektrickou (generátory). Transformátor je netočivý elektrický stroj, umožňující přenos elektrické energie mezi obvody o rozdílných potenciálech. Můžeme jej tedy nazývat měničem střídavého napětí, mění střídavý proud o určitém napětí na střídavý proud a napětí jiných hladin, ale stejné frekvence. U výkonových systémů jako napájení nejčastěji využíváme klasický transformátor, natáčivý transformátor nebo autotransformátor.

1.2 Konstrukční rozdíly

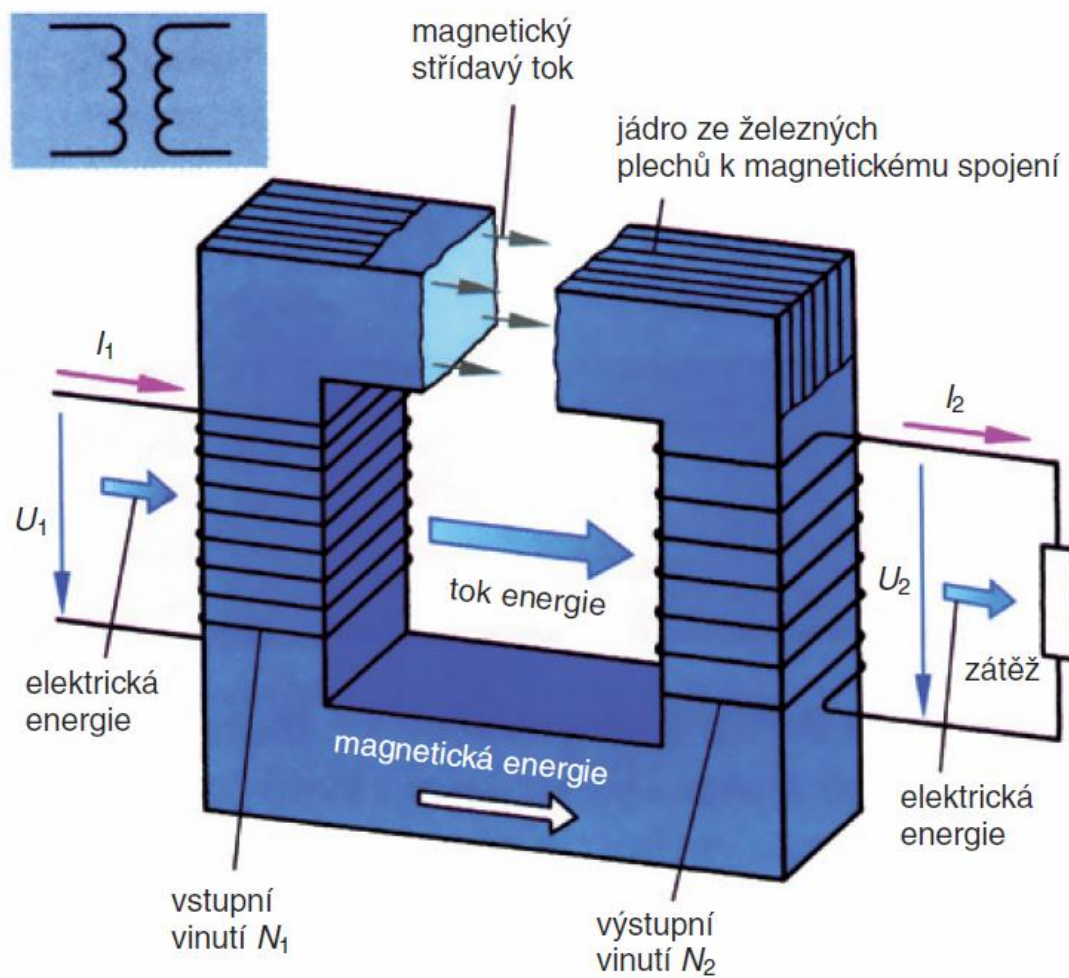
1.2.1 Transformátor

Základní představu o transformátoru můžeme získat jako soustavu dvou izolovaných cívek, navinutých na společném feromagnetickém jádru. Pokud do vstupního (primárního) vinutí přivedeme střídavý proud, vytvoří se uvnitř feromagnetického jádra magnetický tok Φ . Vlivem magnetického toku v jádře se na výstupním (sekundárním) vinutí indukuje elektrické napětí podle principu Faradayova indukčního zákona.

$$u_i = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.1)$$

Pokud budeme uvažovat ideální transformátor, bude poměr vstupních a výstupních veličin záviset pouze na volbě poměru závitů na primární a sekundární straně. [1]

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1.2)$$



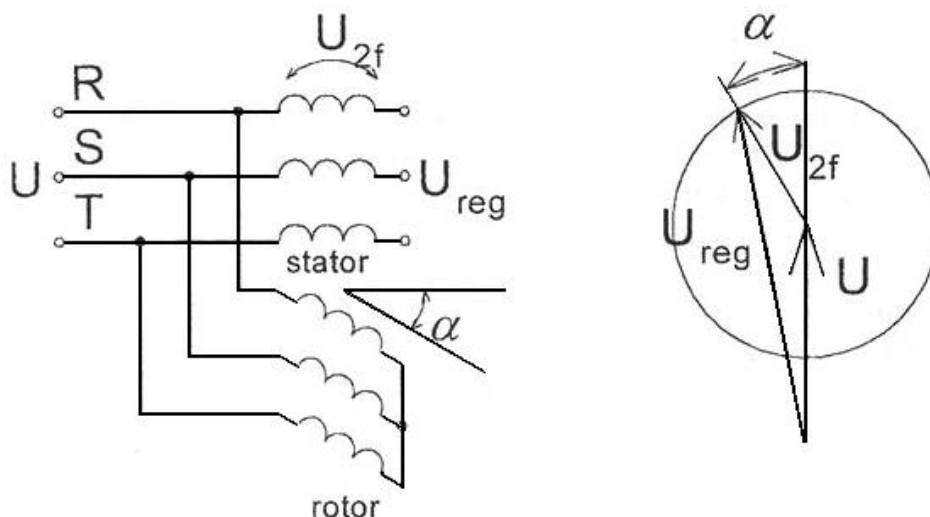
Obr. 1.1 Konstrukce transformátoru [1]

1.2.2 Natáčivý transformátor - booster

Konstrukčně je tento transformátor v podstatě asynchronní stroj s vinutým rotorem. Avšak rotor lze pouze natáčet pomocí samosvorného převodu. Natáčení je možné ručně, v rámci automatizace většinou realizujeme motoricky. Řízení natáčení se poté provádí pomocí dvojtlačítka (napětí nahoru – napětí dolů). Booster je využíván pro získání maximálního napětí vyššího, než je síťové, ale je zde i možnost získání napětí nižšího (ne však nulového).

$$U \pm \sqrt{3}U_{2f} \quad (1.3.)$$

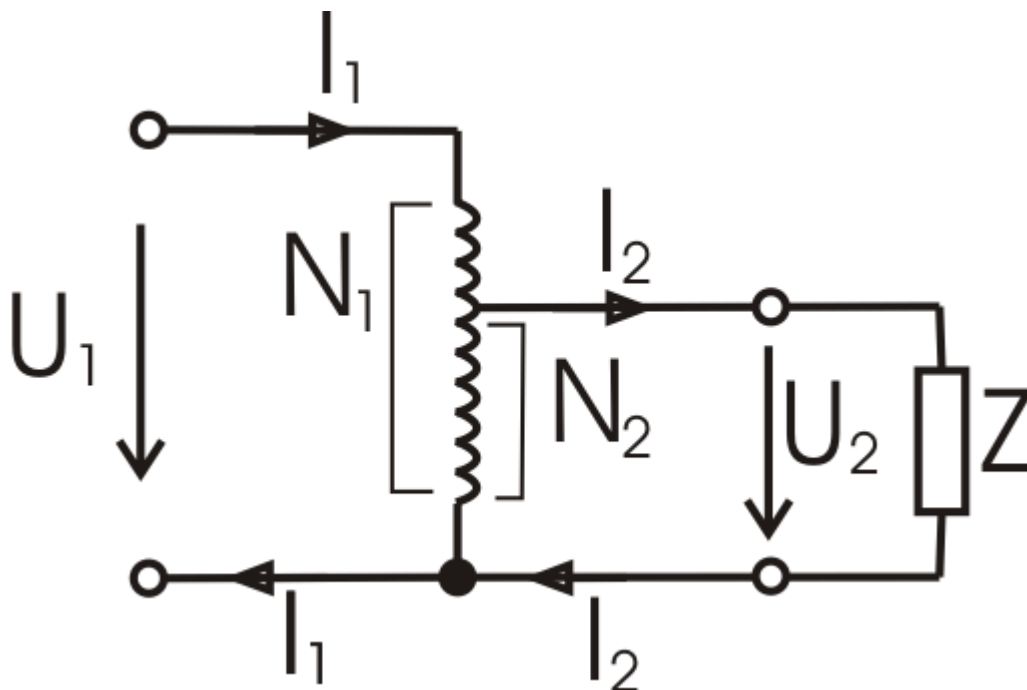
Napájené vinutí bývá většinou na rotoru, indukované napětí ve statorovém vinutí je fázově posunuto vlivem natočení rotoru. Pokud je nutné zachovat fázi konstantní, musíme použít dvojitý indukční regulátor – jedná se o dva natáčivé transformátory, které mají rotorová vinutí na společné hřídeli, připojené do stejné sítě ale s opačným sledem fází. Točivé magnetická pole se pohybují na opačné strany, sled fází na sekundárních vinutích musíme dodržet také opačný. Tím dosáhneme stavu, kdy se oba rotory natáčejí mechanicky stejně a jejich sekundární indukovaná napětí mění fázi na opačné strany. Pokud zapojíme výstupní svorky do série, získáme proměnné napětí s konstantním fázovým posuvem. [2]



Obr. 1.2 Natáčivý transformátor – booster a fázorový diagram [2]

1.2.3 Autotransformátor

Jedná se o transformátor kde je jako primární i sekundární vinutí použita stejná cívka. Ušetříme díky tomu množství materiálu a zjednodušíme výrobu. Konstrukčně jde totiž o cívku navinutou na feromagnetickém jádře, která má vyvedeny odbočky pro primární a sekundární stranu. Odbočky na primární straně jsou provedeny jako pevné na koncích vinutí. Sekundární strana má zpravidla jeden vývod společný s primární stranou, druhý bývá realizován pomocí pevného vývodu nebo posuvného jezdce. Nastavením jezdce regulujeme velikost sekundárního napětí, posuv jezdce lze v rámci automatizace realizovat elektrickým pohonem.



Obr. 1.3 Schéma autotransformátoru [3]

- **Výhody**

Výstupní napětí je regulovatelné v mezích 0V-120% U_n .

Průchozí výkon se rozdělí mezi transformační přenos a galvanický přenos - menší rozměry použitím jediné cívky.

Je možné jednofázové i třífázové provedení.

Autotransformátor je při stejném výkonu menší, lehčí a levnější než klasický transformátor.

- **Nevýhody**

Neposkytuje galvanické oddělení obvodů.

Používáme do převodu 1:4, dále už je výhodnější použít klasický transformátor

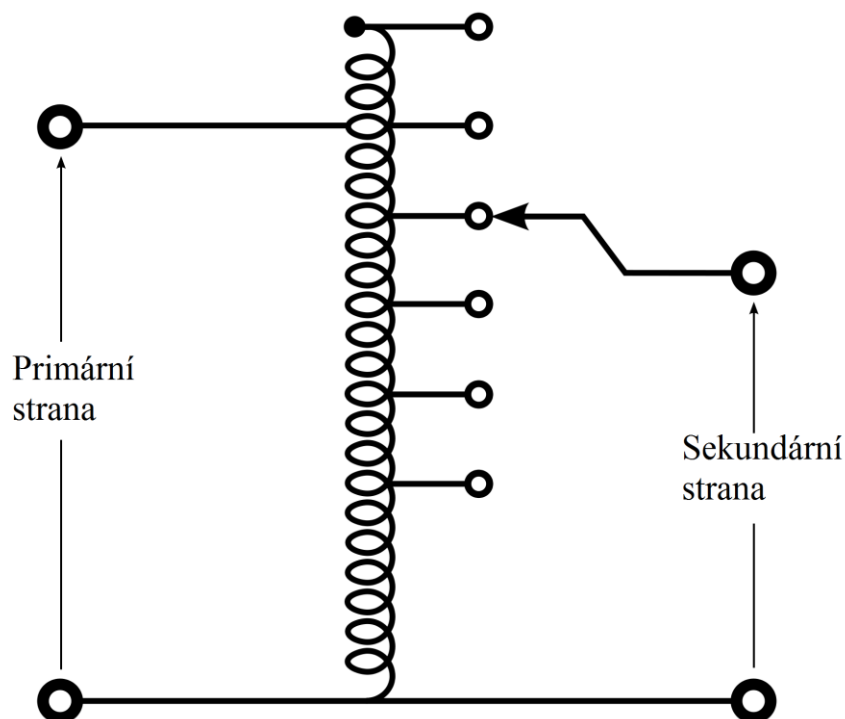
Vyžaduje přidání mechanické části – jezdce, případně i servomotoru pro dálkové řízení.

1.3 Využití autotransformátoru

Autotransformátory využíváme u aplikací vyžadujících rozdílné než síťové napětí, případně aplikací vyžadujících regulovatelnou úroveň napětí během provozu.

1.3.1 Distribuční soustava

Výkonové autotransformátory jsou často využívány pro propojení systémů s rozdílnými hladinami napětí. Speciální autotransformátory s automatickým přepínáním odboček se používají pro regulaci napětí u dlouhých vedení, zajišťujeme jimi stejné napětí pro všechny odběratele, nezávisle na jejich vzdálenosti od odbočky distribuční sítě.



Obr. 1.4 Schéma autotransformátoru s vyvedenými odbočkami [4]

1.3.2 Železnice

Na vysokorychlostních železničních tratích se autotransformátory používají pro snížení ztrát a zvětšení odstupů napájecích stanic. Autotransformátor je zapojen mezi trolej trakčního vedení a kolejnici, dodává potřebný výkon a může dočasně zvyšovat napětí na troleji pro dosažení vyšších rychlostí projíždějících vlaků. [5] Autotransformátorem mohou být osazeny i samotné lokomotivy (viz 1.3.3 Napájení motorů).

1.3.3 Napájení motorů

Autotransformátory využíváme i u vozidel s elektrickým pohonem. Jelikož nemůžeme na velké motory při rozběhu přivádět rovnou plné napětí, ať už z důvodu velkých rozběhových proudů, či čistě mechanických důvodů (proklouznutí kol), musíme napětí zvyšovat postupně. Nejjednodušší odporová regulace výkonu, postupné vyřazování rozjezdových odporů v sérii před motorem, je nevýhodná z hlediska velkých energetických ztrát při rozběhu. Dokud nevyřadíme všechny předřadné odpory, dochází k velkým energetickým ztrátám a vzniku odpadního tepla. Další možností je tyristorová regulace, ztráty na polovodičových součástkách jsou sice výrazně nižší, ale trvalé. Klasické transformátory s regulací danou počtem odboček lze považovat za bezztrátovou regulaci výkonu, jejich hlavní nevýhodou je ale velká hmotnost a nutnost pravidelné údržby. Hmotnost a velké rozměry jsou značně limitující parametry, pokud se jedná o zařízení určené k provozu na dopravním zařízení, je proto vhodné je co nejvíce snížit. Zvolením autotransformátoru namísto klasického transformátoru se nám daří tyto nevýhodné parametry redukovat.

1.3.4 Elektronika

Nízkonapěťový autotransformátor s množstvím vývodů, případně jezdcem pohybujícím se po vinutí nachází využití jako regulátor napětí při proměnné zátěži. Posuvem jezdce lze velmi jemně regulovat výstupní napětí, není limitován přesnými hodnotami výstupního napětí, jako je tomu u odboček.

2 MATLAB

MATLAB (MATrix LABoratory) je numerický výpočetní software pro vědeckotechnické výpočty, simulace a analýzu dat. Jedná se o komplexní program využívající pro výpočty převážně maticový systém. V této práci bude program MATLAB využit pro výpočty s naměřenými hodnotami a pro grafické vykreslení charakteristik.[6]

2.1 Prostředí MATLABu

Po spuštění programu se objeví základní obrazovka MATLABu s příkazovým oknem ve kterém se zobrazuje výstup ze spuštěných funkcí, historií příkazů a editorem **.m file* souborů. Do souborů **.m file* vytváříme funkce a skripty potřebné pro náš výpočet.

2.2 Výhody a nevýhody využití MATLABu

Výhodou programu je jeho multiplatformnost, lze jej spustit na velkém množství operačních systémů (Windows, Mac OS, Linux, Unix a další). Existuje i nekomerční varianta programu se stejnou syntaxí a základními funkcemi – Octave.

Nevýhodou je chybějící podpora simulací, program je orientován hlavně na jednoduché průchody. Dále je nutná znalost programovacích jazyků C případně Fortran pro psaní vlastních aplikací. Není uživatelsky příjemný – není zde interaktivní prostředí, případně si jej musíme sami pro danou aplikaci vytvořit.

3 Měření naprázdno a nakrátko na autotransformátoru

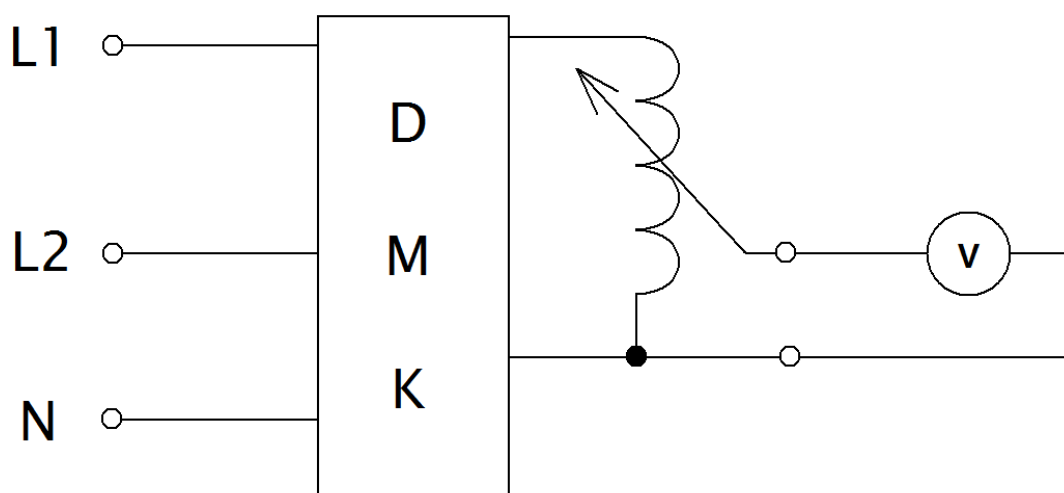
Tato část práce je zaměřena na samotné měření na předloženém autotransformátoru.

Autotransformátor	v.č. 117 666
Typ: RT 3x2,5A	U = 0 - 380V
f= 50Hz	S=950 VA

Tab. 3.1 Štítkové hodnoty

3.1 Měření naprázdno

Jedná se o jedno ze základních měření na autotransformátorech, sekundární vinutí nemá na výstupní svorky připojenou zátěž a nachází se ve stavu naprázdno. Jelikož neodebíráme na výstupu žádnou energii, musí být veškerý vstupní výkon spotřebováván na krytí ztrát v transformátoru. Přístroje pro měření proudu, napětí a ztrátového výkonu zapojujeme mezi napájecí zdroj a měřený transformátor, zpravidla ze strany nižšího napětí. Snižujeme tím požadavky na maximální hodnoty napětí zdroje a měřících přístrojů, případně i požadavky na zabezpečení pracoviště. Při měření byl použit digitální multimetr DMK pro zjištění hodnot na vstupu, napětí naprázdno bylo změřeno samostatným voltmetrem.



Obr. 3.1 Schéma zapojení naprázdno

Při vlastním měření měníme velikost napájecího napětí po vhodných krocích. V okolí nasycení magnetického jádra krok změny napětí zjemníme. Důležité je též změřit hodnotu při jmenovitém napětí. U třífázových autotransformátorů měříme hodnoty napětí a proudu ve všech třech fázích a pro další výpočty používáme aritmetický průměr, v technické zprávě ale musíme uvést veškerá naměřená data.

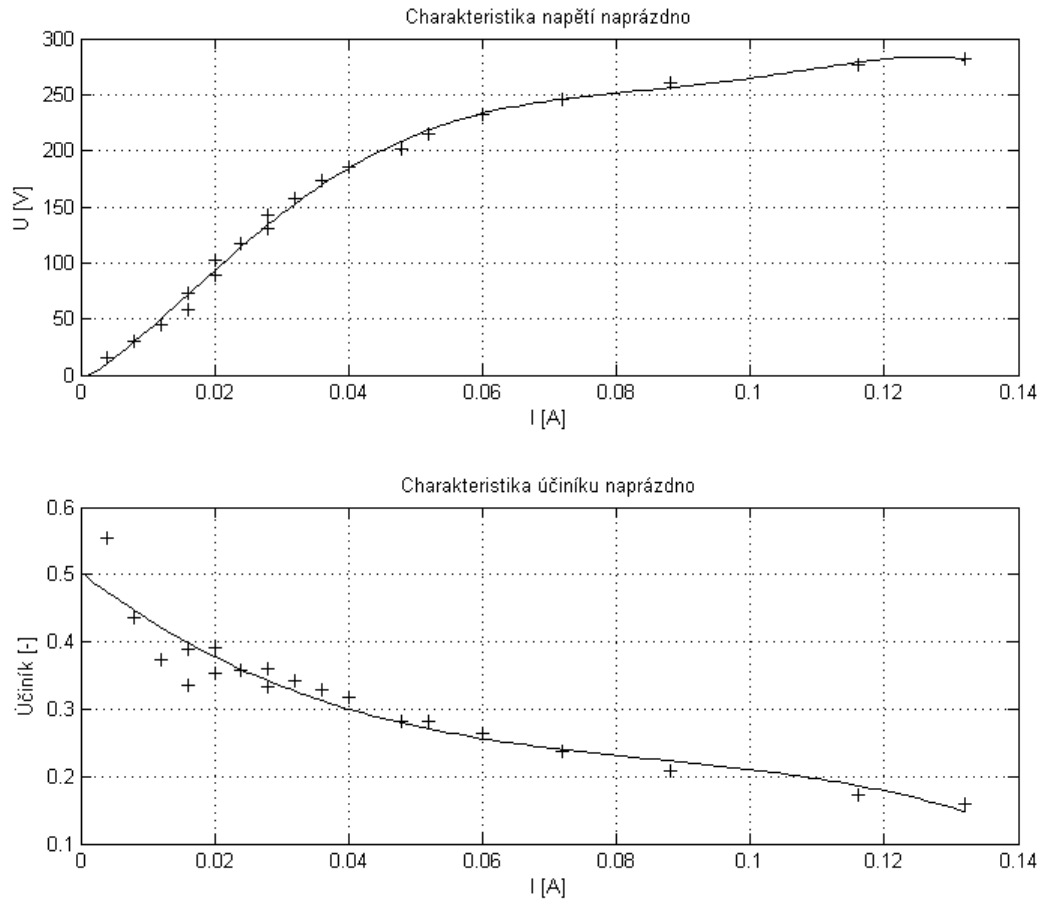
Účinník transformátoru v jednotlivých krocích vypočteme pomocí činného a zdánlivého výkonu, případně pomocí analyzátoru sítě. [2]

$$\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}U_n I_f} \quad (3.1)$$

Hodnoty získané při měření zaznamenané do tabulky a pro grafické zobrazení zpracované v programu MATLAB:

U _{nap} [V]	U _{změř} [V]	I[A]	P[W]
0	0	0	0
20	15,6	0,004	0,06
40	29,8	0,008	0,18
60	44,6	0,012	0,346
80	58,8	0,016	0,546
100	73,6	0,016	0,792
120	89,1	0,02	1,088
140	102	0,02	1,384
160	117	0,024	1,74
180	130	0,028	2,1
200	143	0,028	2,5
220	158	0,032	3
240	173	0,036	3,54
260	186	0,04	4,1
280	201	0,048	4,72
300	215	0,052	5,48
320	232	0,06	6,34
340	246	0,072	7,26
360	261	0,088	8,32
380	276	0,116	9,6
400	282	0,132	10,28

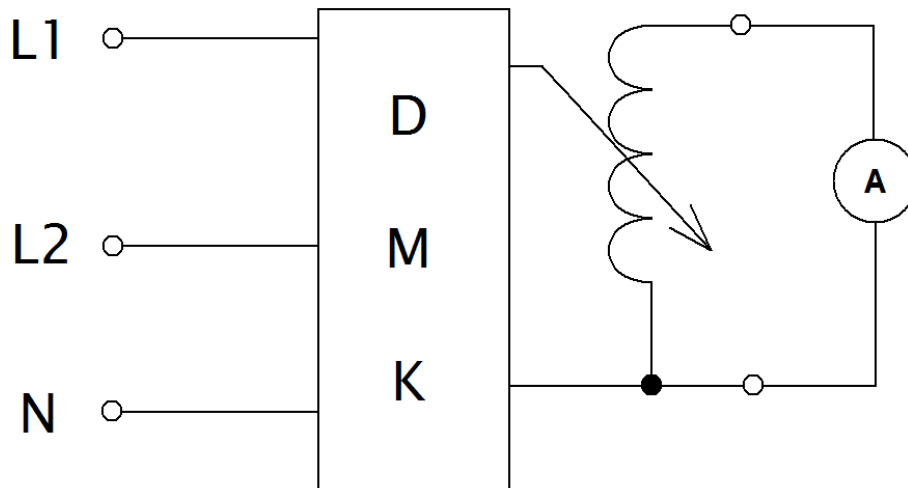
Tab. 3.2 Hodnoty měření naprázdno



Obr 3.2 Charakteristiky naprázdno – napětí, účinník

3.2 Měření nakrátko

Spojením svorek na jedné straně pomocí bezodporových spojek uvedeme autotransformátor do stavu nakrátko. Při měření v chodu nakrátko měřicí přístroje opět umístíme mezi napájecí zdroj a měřený autotransformátor, obvykle na straně vyššího napětí. Na této straně je nižší jmenovitý proud a snížíme tak požadavek na potřebný proud z napájecího zdroje. Z tohoto měření určíme charakteristiku nakrátko autotransformátoru a průběh účinníku. Při měření byl použit digitální multimetr DMK pro zjištění hodnot na vstupu, proud nakrátko na sekundární straně byl změřen samostatným ampérmetrem.



Obr. 3.3 Schéma zapojení nakrátko

Při měření nakrátko oběma vinutími procházejí jmenovité proudy a dochází k ohřevu vinutí a tím způsobené změně odporu. Jádru transformátoru není při tomto měření nasyceno a výsledná charakteristika nakrátko má tedy přímkový průběh, pro její stanovení nám tedy stačí méně měření, obvykle stačí čtyři. Kvůli ohřevu vinutí při chodu nakrátko je nutné měřit co nejrychleji a zároveň od vyšších hodnot k nižším hodnotám. Toto opakujeme pro každou z pozic regulace. [2]

3.2.1 Proud nakrátko při U_n

Za předpokladu že železo v jádře transformátoru nebude nasyceno ani při jmenovitém napětí při chodu nakrátko můžeme vypočítat proud nakrátko autotransformátoru pro jmenovité napětí pomocí vzorce [2]:

$$I_{kn} = \frac{U_n}{U_k} I_k \quad (2.2)$$

3.2.2 Napětí nakrátko

Můžeme také vypočítat napětí nakrátko – tedy takové napětí, které při chodu nakrátko vyvolává v obou vinutí jmenovité proudy. Z charakteristiky nakrátko jej získáme s využitím souřadnic naměřeného bodu (čárkované hodnoty) a vztahu:

$$U_k = \frac{I_n}{I'_k} U'_k \quad (2.3)$$

V zájmu omezení chyb můžeme využít přímkovou extrapolaci naměřené charakteristiky jako v případě výpočtu proudu nakrátko. Obvykle se napětí nakrátko udává pomocí poměrné hodnoty. [2]

$$u_k = \frac{U_k I_n}{U_n I_k} \quad (2.4)$$

Hodnoty získané při měření zaznamenané do tabulky a pro grafické zobrazení zpracované v programu MATLAB:

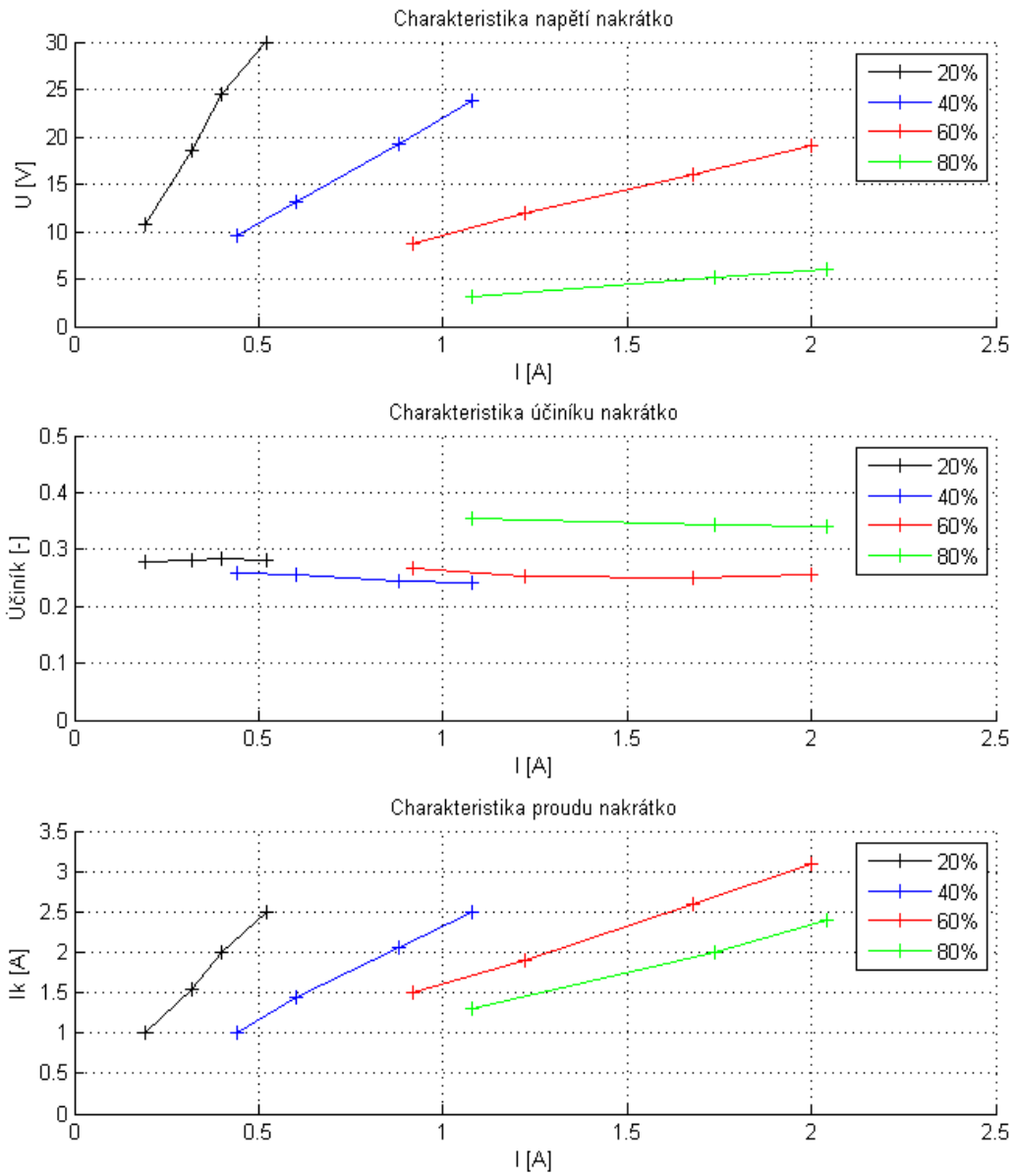
REG[%]	U[V]	I _{vstup} [A]	P[W]	I _{vystup} [A]
20	30	0,52	7,6	2,5
	24,5	0,4	4,8	2
	18,6	0,32	2,9	1,55
	10,8	0,192	1	1

REG[%]	U[V]	I _{vstup} [A]	P[W]	I _{vystup} [A]
40	23,8	1,08	10,8	2,5
	19,3	0,88	7,2	2,05
	13,2	0,6	3,52	1,45
	9,5	0,44	1,88	1

REG[%]	U[V]	I _{vstup} [A]	P[W]	I _{vystup} [A]
60	19	2	16,8	3,1
	16	1,68	11,6	2,6
	12	1,224	6,4	1,9
	8,8	0,92	3,76	1,5

REG[%]	U[V]	I _{vstup} [A]	P[W]	I _{vystup} [A]
80	6	2,04	7,2	2,4
	5,1	1,736	5,28	2
	3,2	1,08	2,12	1,3

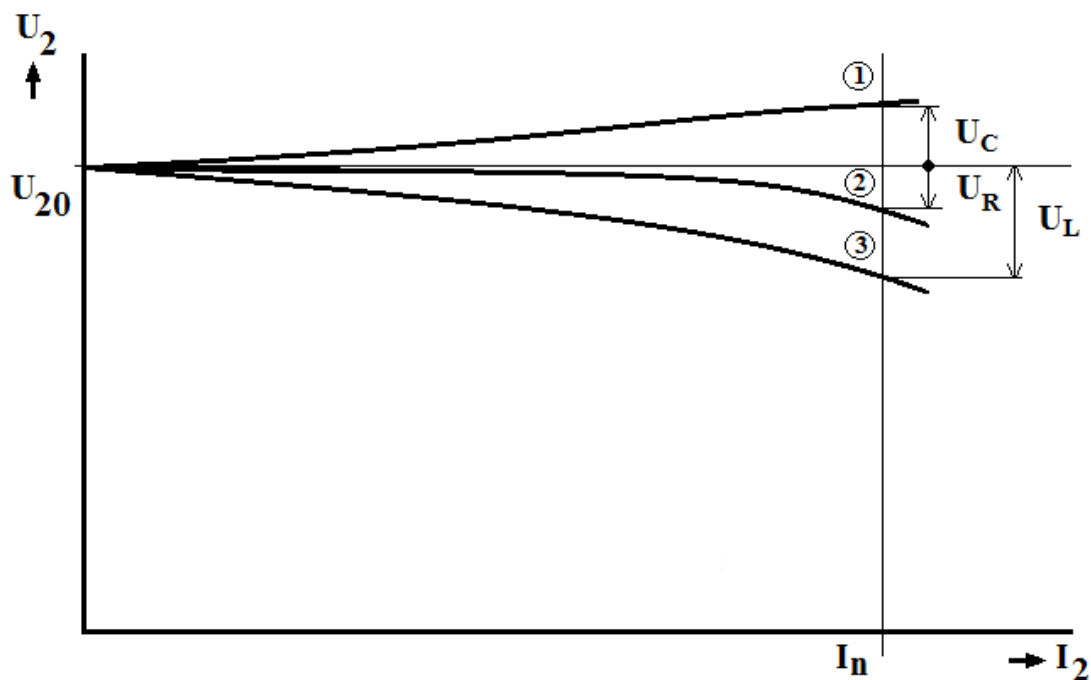
Tab. 3.3 Hodnoty měření nakrátko



Obr. 3.4 Charakteristiky nakrátko – napětí, účinník a proud pro různé hodnoty regulace

4 Měření zatěžovacích charakteristik

Cílem měření je zjistit tvar zatěžovací charakteristiky autotransformátoru, tedy napětí na výstupních svorkách v závislosti na velikosti zátěže. Z výsledného tvaru poté můžeme určit, zdali se jedná o tvrdý zdroj napětí, napětí se ideálně nemění v závislosti na zátěži, nebo zda se jedná o měkký zdroj a napětí bude s rostoucí zátěží rychle klesat. Dalším parametrem ovlivňujícím výsledné napětí je typ zátěže. Při indukční zátěži je největší pokles napětí na sekundární straně, pro čistě odporovou zátěž je pokles menší a pro kapacitní zátěž se napětí na výstupu zvyšuje.

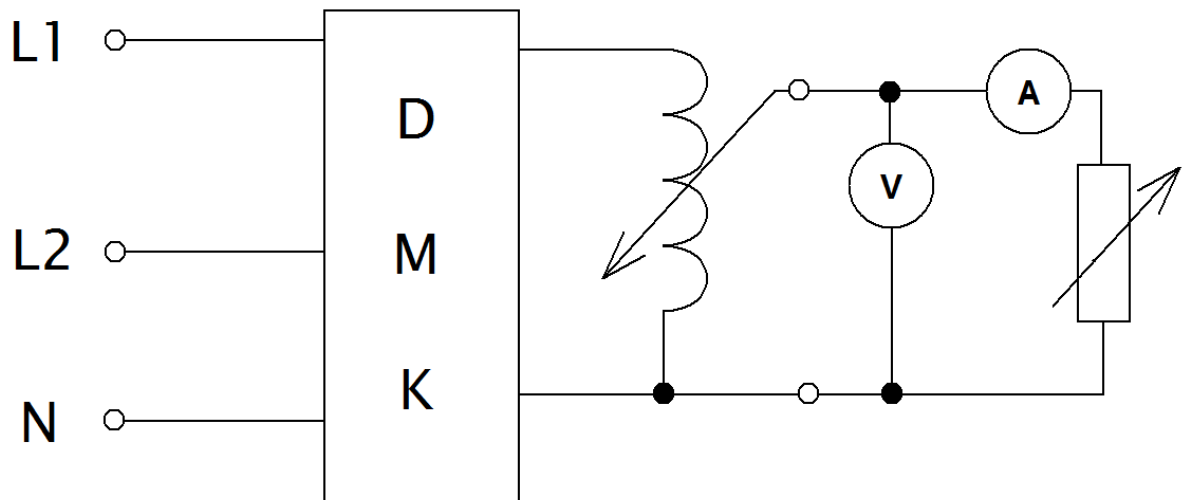


Obr 4.1 Zatěžovací charakteristiky pro různé typy zátěže.

1) Kapacitní zátěž 2) Odporová zátěž 3) Impedanční zátěž

Zapojení bylo provedeno podle schématu (Obr 4.2). Autotransformátor byl zatěžován pomocí odporové zátěže – potenciometrem. Bylo měřeno vždy 6 hodnot pro každou z pozic regulace použitých v předchozích měřeních (20%, 40%, 60% a 80% U_n). Postupně jsme

snižovali odpor potenciometru a sledovali pokles napětí a nárůst proudu na výstupu autotransformátorem. Během celého měření udržujeme na vstupních svorkách konstantní napětí U_{1n} . [7]



Obr 4.2 Schéma zapojení pro měření zatěžovacích charakteristik

Hodnoty získané při měření zaznamenané do tabulky a pro grafické zobrazení zpracované v programu MATLAB:

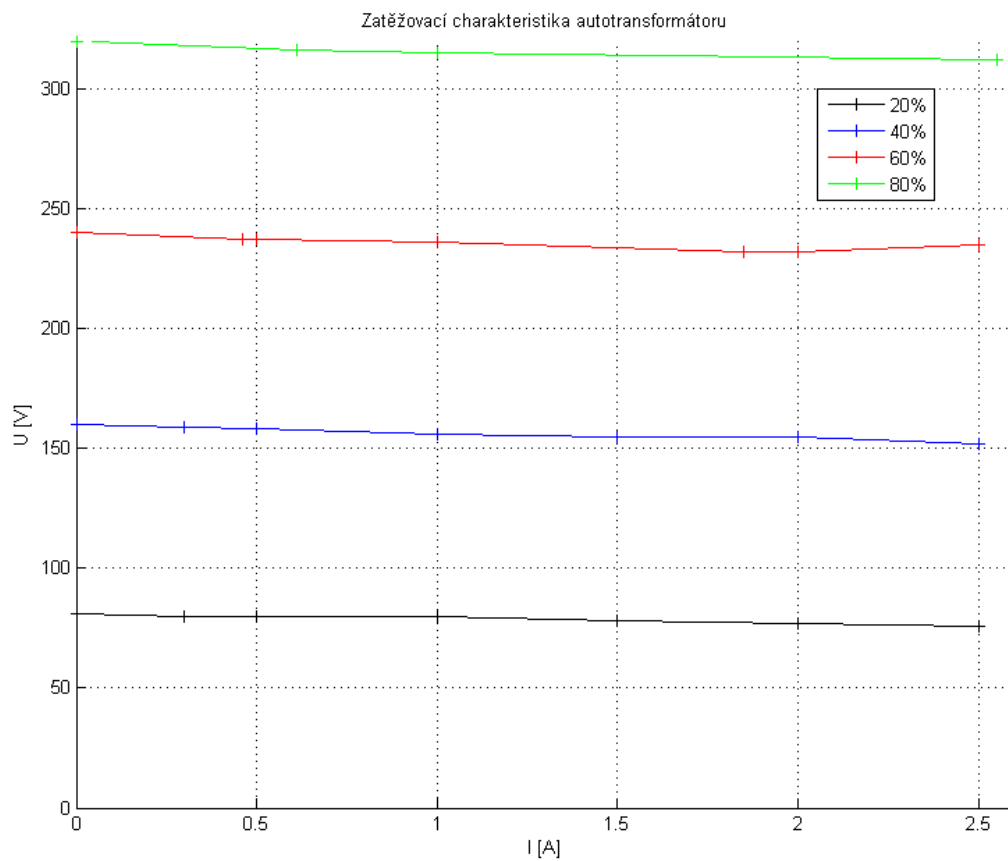
REG[%]	Zátěž	U2[V]	U1[V]	I2[A]	I1[A]	P1[A]
20	0	81	387	0	0,12	10
	1	80	388	0,3	0,16	22,4
	2	80	386	0,5	0,22	37,6
	3	80	387	1	0,284	50,8
	4	78	385	1,5	0,388	72
	5	77	387	2	0,504	94,4
	6	76	386	2,5	0,6	153,6

REG[%]	Zátěž	U2[V]	U1[V]	I2[A]	I1[A]	P1[A]
40	0	160	387	0	0,12	10,4
	1	159	387	0,3	0,208	34,8
	2	158	387	0,5	0,28	50
	3	156	387	1	0,492	92,4
	4	155	387	1,5	0,7	133,6
	5	155	387	2	0,912	174,8
	6	152	387	2,5	1,132	216

REG[%]	Zátěž	U2[V]	U1[V]	I2[A]	I1[A]	P1[A]
60	0	240	387	0	0,112	11,2
	1	237	387	0,46	0,344	64
	2	237	387	0,5	0,368	69,2
	3	236	387	1	0,688	131,6
	4	232	387	1,85	1,248	240
	5	232	387	2	1,34	259,2
	6	235	387	2,5	1,66	318

REG[%]	Zátěž	U2[V]	U1[V]	I2[A]	I1[A]	P1[A]
80	0	320	387	0	0,12	9,8
	1	316	387	0,61	0,56	109,6
	2	315	387	1	0,912	174,8
	3	312	387	2,55	2,264	720

Tab. 4.1 Hodnoty měření zatěžování autotransformátoru



Obr 4.3 Charakteristika zatěžovaného autotransformátoru

Závěr

První část se věnovala základnímu rozdělení transformátorů. Byly popsány základní rozdíly v konstrukcích transformátoru (1.2.1), natáčivého transformátoru (1.2.2) a autotransformátoru (1.2.3). U autotransformátoru byly shrnuty výhody a nevýhody oproti dalším typům konstrukce. V další části kapitoly se práce věnuje možnostem využití autotransformátoru v distribuční soustavě (1.3.1), na železniční síti (1.3.2), při napájení motorů (1.3.3) a v elektronice (1.3.4).

V druhé části je krátce představen výpočetní software – MATLAB, pomocí kterého jsou zpracovány naměřené hodnoty z dalších kapitol. Grafické znázornění charakteristik autotransformátoru bylo rovněž vykresleno tímto programem.

Třetí část obsahuje dvoje měření – naprázdno a nakrátko. Měření při stavu naprázdno (3.1) probíhá při rozpojených sekundárních svorkách (Obr. 3.1) a zjišťujeme při něm potřebný magnetizační proud a výsledný účinník autotransformátoru (Obr. 3.2). Měření nakrátko (3.2) probíhá naopak při spojení výstupních svorek do krátka (Obr. 3.3), při měření zjišťujeme napětí potřebné k vybuzení jmenovitých proudů v cívce autotransformátoru a výsledný účinník. Toto měření bylo provedeno pro čtyři různé pozice regulace (20%, 40%, 60%, 80%) (Tab. 3.3). Grafické znázornění výsledků je poté vidět na Obr. 3.4.

Závěrečná čtvrtá část se věnuje měření zatěžovacích charakteristik. Na autotransformátor je připojena proměnná zátěž (Obr. 4.2) a jsou měřeny výstupní hodnoty napětí a proudu. Předpokládaný tvar zatěžovací charakteristiky je na Obr. 4.1, skutečný tvar získaný z měření je na Obr. 4.3. Z porovnání obou charakteristik můžeme vyvodit, že zátěž byla čistě odporová – s rostoucím proudem zátěže se napětí mírně snižovalo. To odpovídá i skutečnému zapojení, kdy jako zátěž byl zapojen potenciometr.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] FCC PUBLIC [online] [cit. 10.5. 2013] Dostupné z:
<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43693.pdf>
- [2] BARTOŠ, Václav a SKALA, Bohumil. *Měření na elektrických strojích*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002. 109 s. ISBN 80-7082-896-X.
- [3] Wikimedia Commons [online] Poslední změna 18.1. 2008 [cit. 10.5. 2013] Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Autotransformator.png>
- [4] Wikimedia Commons [online] Poslední změna 28.7. 2011 [cit. 10.5. 2013] Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Tapped_autotransformer.svg
- [5] Wikipedia [online] [cit. 10.5.2013] Dostupné z:
http://en.wikipedia.org/wiki/25_kV_AC_railway_electrification#2_x_25_kV_autotransformer_system
- [6] MathWorks [online][cit. 10.5. 2013] Dostupné z:
<http://www.mathworks.com/products/matlab/>
- [7] SMÍLEK, Jiří. *Transformátory* [online][cit. 10.5. 2013] Dostupné z:
<http://www.jsmilek.cz/skripta%20pdf/esp%208%20trafa%20skripta.pdf>

Přílohy

Příloha A - Výpočet charakteristiky naprázdno

```
function Naprazdno
clc
data= 'Hodnoty_mereni.xlsx';
U=xlsread(data, 'B4:B23');
I=xlsread(data, 'C4:C23');
P=xlsread(data, 'D4:D23');
ucinik=(P./ (sqrt(3) .*U.*I));

subplot(2,1,1);
plot(I,U, '+k');
title('Charakteristika napětí naprázdno')
grid on
hold on
xlabel('I [A]')
ylabel('U [V]')
Ipr=0:0.001:0.132;
Upr=polyval(polyfit(I,U,5), Ipr);
Upr(find(Upr<0))=0;
plot(Ipr,Upr, 'k');

subplot(2,1,2);
plot(I,ucinik, '+k');
title('Charakteristika účíníku naprázdno')
grid on
hold on
xlabel('I [A]')
ylabel('Účíník [-]')
Ipr=0:0.001:0.132;
ucinikpr=polyval(polyfit(I,ucinik,3), Ipr);
plot(Ipr,ucinikpr, 'k');
end
```

Příloha B - Výpočet charakteristiky nakrátko

```
function Nakratko
clc
data= 'Hodnoty_mereni.xlsx';
%20% regulace
U20=xlsread(data, 'G3:G6');
I20=xlsread(data, 'H3:H6');
P20=xlsread(data, 'I3:I6');
Ik20=xlsread(data, 'J3:J6');
ucinik20=(P20./ (sqrt(3) .*U20.*I20));
%40% regulace
U40=xlsread(data, 'G9:G12');
I40=xlsread(data, 'H9:H12');
P40=xlsread(data, 'I9:I12');
Ik40=xlsread(data, 'J9:J12');
ucinik40=(P40./ (sqrt(3) .*U40.*I40));
%60% regulace
U60=xlsread(data, 'G15:G18');
I60=xlsread(data, 'H15:H18');
P60=xlsread(data, 'I15:I18');
Ik60=xlsread(data, 'J15:J18');
ucinik60=(P60./ (sqrt(3) .*U60.*I60));
%80% regulace
U80=xlsread(data, 'G21:G23');
I80=xlsread(data, 'H21:H23');
P80=xlsread(data, 'I21:I23');
```

```
Ik80=xlsread(data,'J21:J23');
ucinik80=(P80./ (sqrt(3).*U80.*I80));

subplot(3,1,1);
grid on
hold on
plot(I20,U20,'-+k');
plot(I40,U40,'-+b');
plot(I60,U60,'-+r');
plot(I80,U80,'-+g');
title('Charakteristika napětí nakrátko')
grid on
hold on
xlabel('I [A]')
ylabel('U [V]')
legend('20%', '40%', '60%', '80%')
subplot(3,1,2);
grid on
hold on
plot(I20,ucinik20,'-+k');
plot(I40,ucinik40,'-+b');
plot(I60,ucinik60,'-+r');
plot(I80,ucinik80,'-+g');
title('Charakteristika účíníku nakrátko')
xlabel('I [A]')
ylabel('Účíník [-]')
axis([0 2.5 0 0.5])
legend('20%', '40%', '60%', '80%')
subplot(3,1,3);
grid on
hold on
plot(I20,Ik20,'-+k');
plot(I40,Ik40,'-+b');
plot(I60,Ik60,'-+r');
plot(I80,Ik80,'-+g');
title('Charakteristika proudu nakrátko')
grid on
hold on
xlabel('I [A]')
ylabel('Ik [A]')
axis([0 2.5 0 3.5])
legend('20%', '40%', '60%', '80%')
end
```

Příloha C - Výpočet charakteristiky naprázdno

```
function Zatizeni
clc
data= 'Hodnoty_mereni.xlsx';
%20% regulace
U20=xlsread(data,'N3:N9');
I20=xlsread(data,'P3:P9');
%40% regulace
U40=xlsread(data,'N12:N18');
I40=xlsread(data,'P12:P18');
%60% regulace
U60=xlsread(data,'N21:N27');
I60=xlsread(data,'P21:P27');
%80% regulace
U80=xlsread(data,'N30:N33');
I80=xlsread(data,'P30:P33');

grid on
hold on
plot(I20,U20,'-+k');
plot(I40,U40,'-+b');
plot(I60,U60,'-+r');
plot(I80,U80,'-+g');
axis([0 2.6 0 320])
title('Zatěžovací charakteristika autotransformátoru')
xlabel('I [A]')
ylabel('U [V]')
h=legend('20%', '40%', '60%', '80%');
set(h,'Position',[0.75 0.79 0.08 0.05]);
end
```