



Drehstromtransformator



Trafoarbeitsplatz

Raum: T010

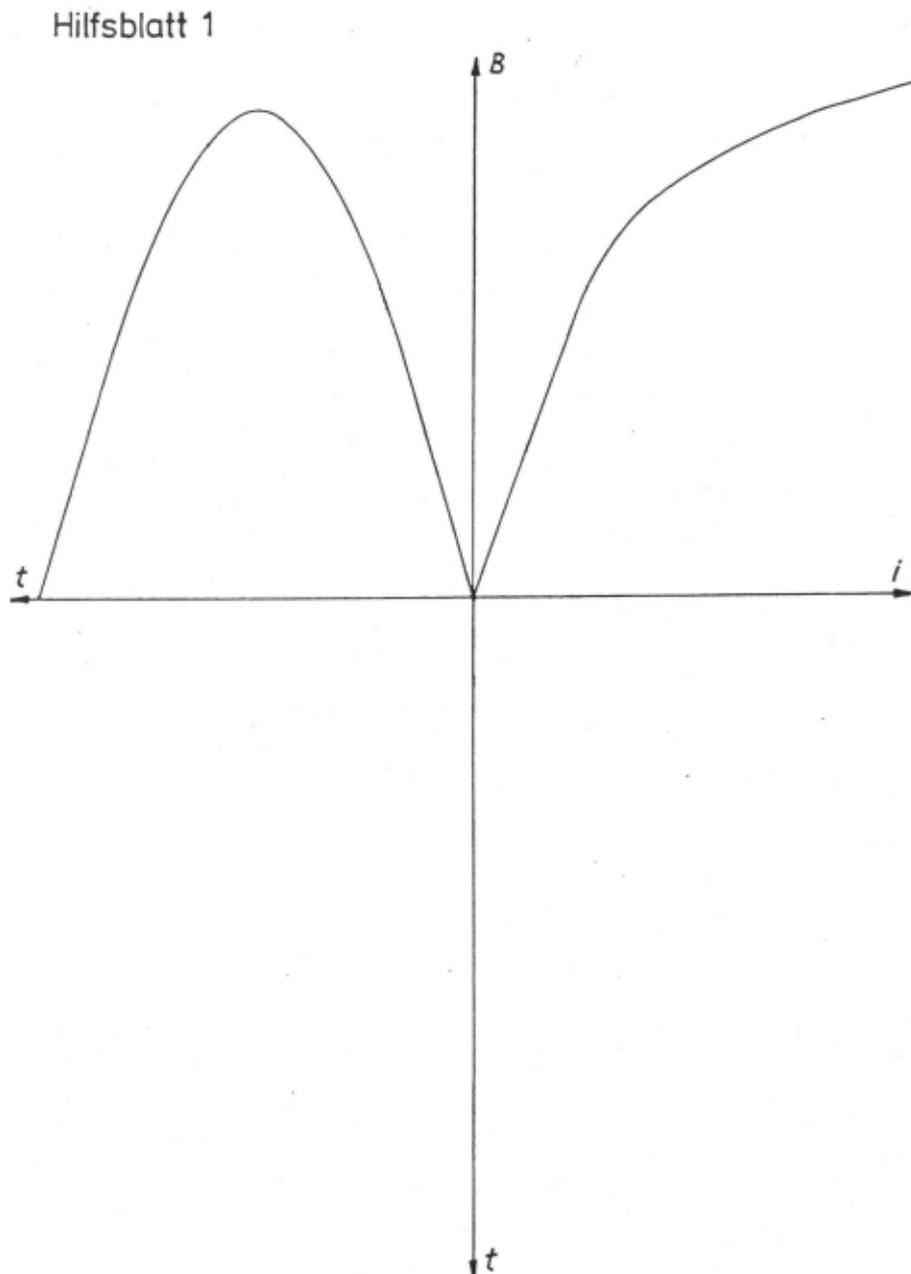


1.	Versuchsvorbereitung	3
2.	Versuchsdurchführung.....	5
2.1	Bestimmung der ohmschen Kaltwiderstände der Primärwicklung des Versuchstransformators.....	5
2.2	Versuchsaufbau nach dem beigefügten Schaltplan für Leerlauf und Kurzschluss.....	5
2.3	Leerlaufversuch - Schaltung: YyO	6
2.4	Kurzschlussversuch.....	9
2.5	Versuchsaufbau nach dem beigefügten Schaltplan für den Belastungsversuch.....	11
2.6	Belastungsversuch mit symmetrischer ohmscher Last	11
2.7	Spannungsänderung $u\varphi$	13
2.8	Schaltungen.....	14
2.9	Unsymmetrischer Betrieb.....	15
2.10	Oszillographieren der Leerlaufströme	16
3.	Schaltplan.....	17
4.	Schaltgruppen und Übersetzungen von Drehstromtransformatoren	18

1. Versuchsvorbereitung

Hinweise: Zur Vorbereitung auf den vorliegenden Praktikumsversuch sind Kenntnisse der Theorie des Transformators erforderlich. Hierzu wird auf die einschlägigen Vorlesungen bzw. Vorlesungsmitschriften und Skripte verwiesen.

- 1.1 Auf dem Hilfsblatt 1 ist aus dem vorgegebenen zeitlichen Verlauf der Induktion mit Hilfe der Magnetisierungskennlinie der zeitliche Verlauf des Magnetisierungsstromes zu konstruieren.





-
- 1.2 Konstruieren Sie den Verlauf des Leerlaufstromes in den Netzleitungen eines primärseitig im Dreieck geschalteten Drehstromtransformators! Nehmen Sie dazu an, dass der Leerlaufstrom jedes Stranges den oben ermittelten Verlauf besitzt, und dass der Transformator völlig symmetrisch aufgebaut ist (Hilfsblatt 1).
 - 1.3 Gegeben sei ein Transformator mit $U_N = 380\text{ V}$, $u_K = 2,9\%$, $u_R = 1,1\%$, $u_X = 2,75\%$. Es ist der Verlauf von $U_2 = f(\varphi)$ bei $I_2 = I_N$ von $\varphi = 90^\circ$ kapazitiv bis $\varphi = 90^\circ$ induktiv zu ermitteln und in ein Diagramm einzuzeichnen.
 - 1.4 Weshalb sind die Ströme in den 3 Zuleitungen des leerlaufenden Transformators unterschiedlich?
 - 1.5 Warum werden die Eisenverluste in Form eines Wirkwiderstandes R_{Fe} parallel zur Hauptreaktanz x_h im Ersatzschaltbild eingetragen?
 - 1.6 Warum hängt der Wirkungsgrad des Transformators von der Belastung ab?
 - 1.7 Welche Bedingungen müssen für einen Parallelbetrieb von Transformatoren erfüllt werden? Es ist zu erwähnen, dass die Indizes 1- für Primärwicklung und 2- für die Sekundärwicklung wie in der Literatur gewählt wurden.



2. Versuchsdurchführung

Mit diesem Versuch werden das Betriebsverhalten des Drehstrom-Zweiwicklungstransformators untersucht und die Elemente des vollständigen Ersatzschaltbildes messtechnisch ermittelt.

Hinweis: Die 6A Nennstrom des Trafos bitte nicht überschreiten.

Die Berechnungen und qualitative Analysen (Interpretation) der aufgenommenen Kennlinien incl. Bericht sind zu Hause zu erstellen.

2.1 Bestimmung der ohmschen Kaltwiderstände der Primärwicklung des Versuchstransformators

Hinweis: Es ist das Milliohm-Meter von Gossen Metrawatt mit der Typenbezeichnung Metra Hit 27M zu verwenden. Mit dem Messgerät soll in Vierleitertechnik gemessen werden. Die Messung soll mit 1A Messstrom vorgenommen werden. Nach einer Messzeit von ca. 30 Minuten sind die Batterien leer, deswegen soll die Messung möglichst schnell durchgeführt werden.

$$R_{1U} =$$

$$R_{1V} =$$

$$R_{1W} =$$

$$R_{Mittel} =$$

(für weitere Rechnungen)

2.2 Versuchsaufbau nach dem beigefügten Schaltplan für Leerlauf und Kurzschluss

2.3 Leerlaufversuch - Schaltung: Yy0

Hinweis: Die Speisung des Versuchstransformators erfolgt vom ferngesteuerten Regeltransformator 16 kVA, 0-500 V siehe Arbeitsplatz - rechtes Versorgungsfeld

Einstellen: Primärspannung des Versuchstransformators
 $U_{1U-V} = 0 \dots 400 \text{ V}$ (ca. 12 Messpunkte)

Messen: $I_{1U}, I_{1V}, I_{1W}, P_{11}, P_{12}, U_{2U-V}$

Ermitteln: Leerlaufstrom I_{10} , Leerlaufleistung P_{10}

Dabei ist: $I_{10} = \frac{1}{3} \cdot (I_{1U} + I_{1V} + I_{1W})$
 $P_{10} = P_{11} + P_{12} = u_{U-V} \cdot i_{1U} + u_{W-V} \cdot i_{1W}$

Berechnen: (für Nennspannung auf der Primärseite)

Übersetzungsverhältnis $\frac{U_1}{U_{20}} \approx \frac{w_1}{w_2}$

Leerlaufleistungsfaktor $\cos\varphi_0 = \frac{P_{10}}{\sqrt{3} \cdot U_{1N} \cdot I_{10}}$

Kupferverluste im Leerlauf $P_{VCu} = 3 \cdot R_1 \cdot I_{10}^2$

Eisenverluste $P_{VFe} = P_{10} - P_{VCu}$

Fiktiver Eisenverluststrom $I_{Fe} = \frac{P_{VFe}}{\sqrt{3} \cdot U_{10}}$

Magnetisierungsstrom $I_\mu = \sqrt{I_{10}^2 - I_{Fe}^2}$

Auftragen: $U_1 = f(I_{10}), U_1 = f(\cos\varphi_0), P_{10} = f\left(\frac{U_1}{U_{1N}}\right)^2$ in einem Diagramm

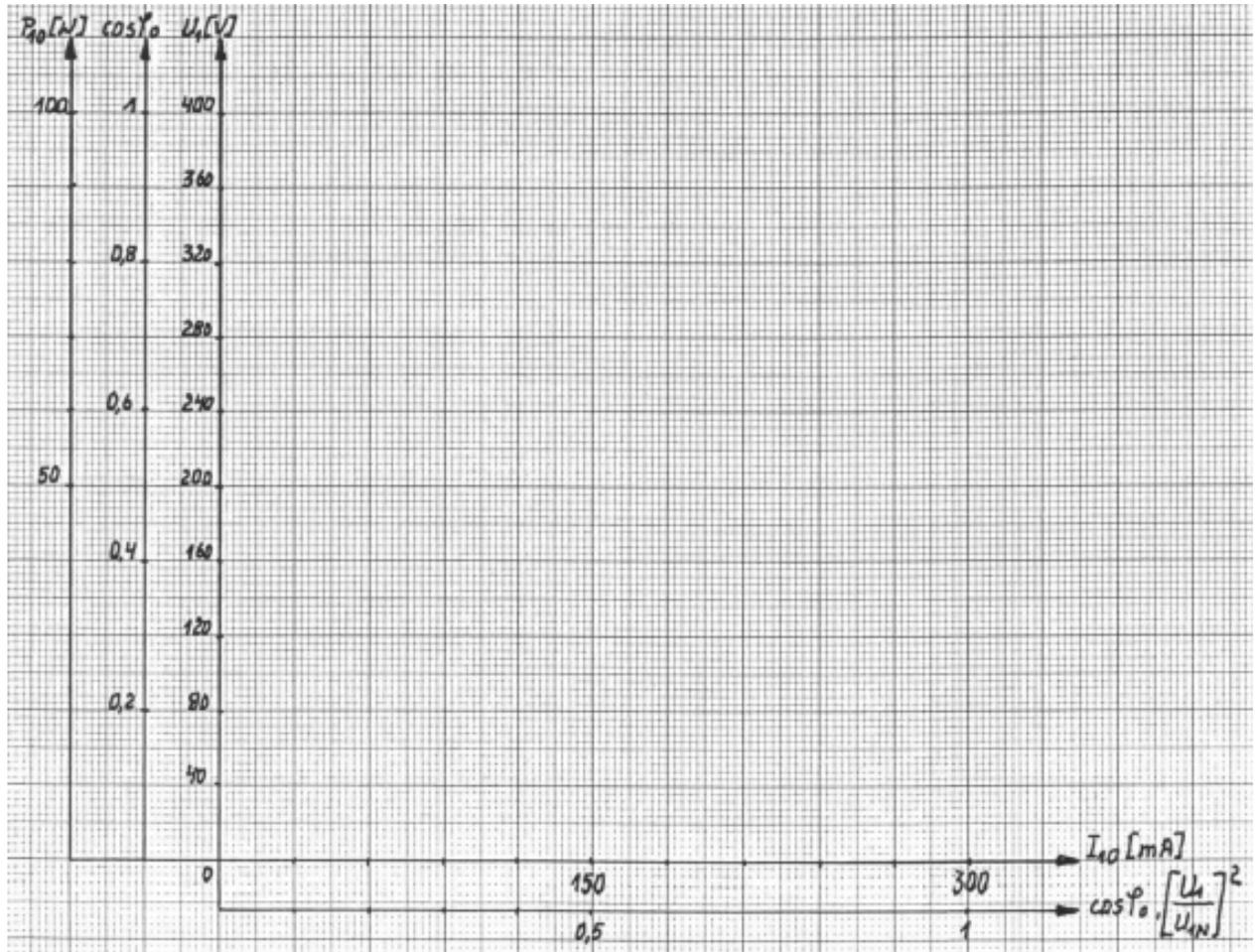
Zeichnen: Zeigerdiagramm (nicht maßstäblich) des Transformators im Leerlauf

U_1	ϑ_i	I_{1U}	I_{1V}	I_{1W}	I_{10} $I_{10} \cdot \vartheta_i$	P_1	P_2	P_{10}	U_2	$\left(\frac{U_1}{U_{1N}}\right)^2$	$\cos\varphi_0$
V	-	mA	mA	mA	mA	W	W	W	V	-	-
20	$\vartheta_i = \frac{2,5}{5} = 0,5$										
40											
60											
100											
140											
180											
240											
280											
320											
360											
380											
400											

$$U_1 = f(I_{10})$$

$$U_1 = f(\cos\varphi)$$

$$P_{10} = f\left(\frac{U_1}{U_{1N}}\right)^2$$



2.4 Kurzschlussversuch

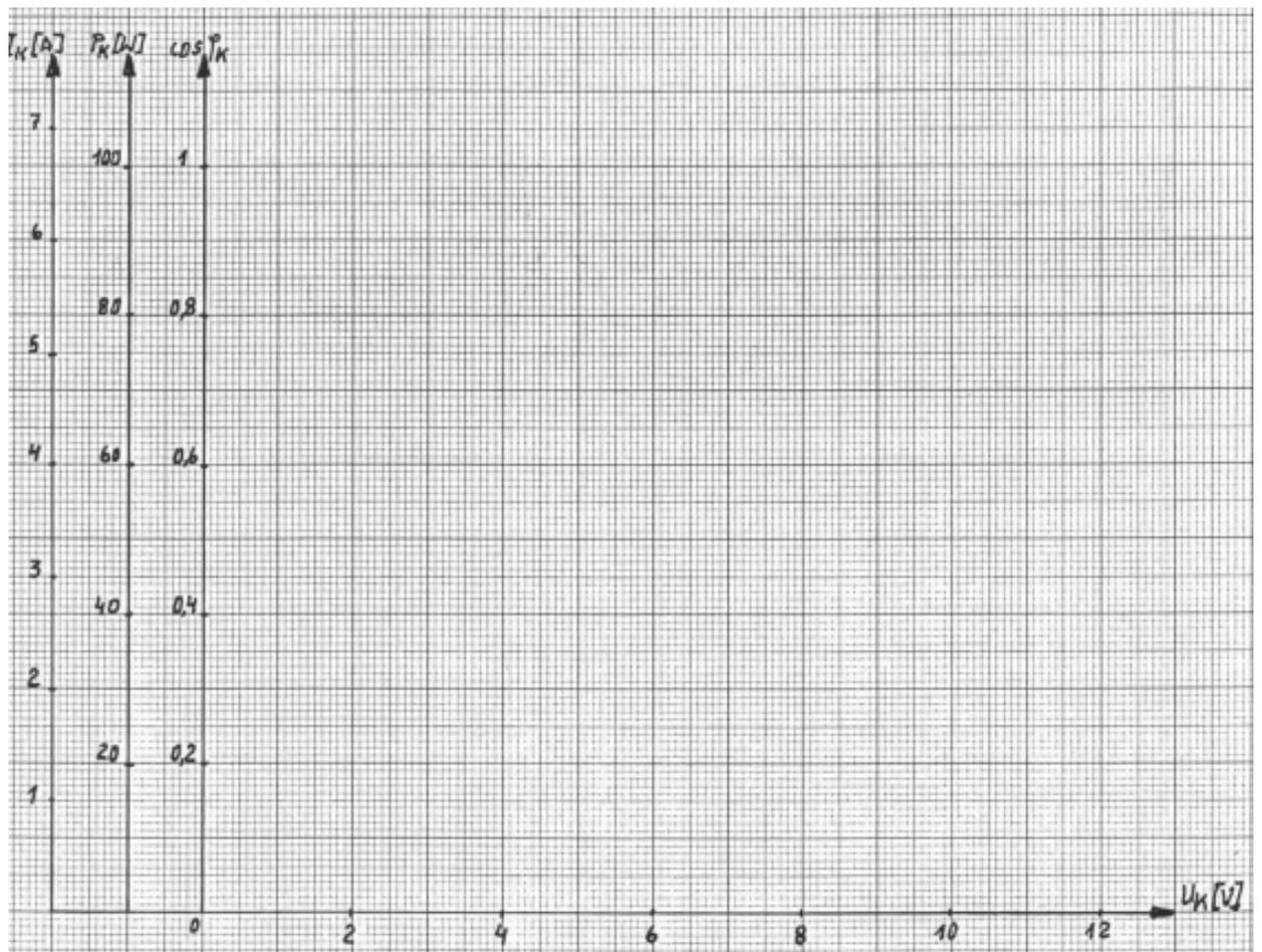
- Schalthandlungen: Spannung des Regeltransformators auf Null stellen.
Sekundärseite des Versuchstransformators dreiphasig kurzschließen.
- Einstellen: Die Primärspannung des Versuchstransformators ist von Null bis zur Nennkurzschlussspannung langsam zu erhöhen, bei der als Kurzschlussstrom der Nennstrom fließt.
 $U_{1k} = 0 \dots ca. 11 V$ (5 Messpunkte)
- Hinweise: 1. Die Ablesung muss innerhalb von ca. 3 Minuten nach Beginn des Versuches beendet sein, damit unzulässige Temperaturzunahmen vermieden werden.
2. Achten Sie auf das Übertragungsverhältnis der Stromwandler.
- Messen: $I_{1U}, I_{1V}, I_{1W}, I_2, U_{U-V}, U_{V-W}, U_{W-U}, P_{11}, P_{12}$
- Ermitteln: $I_{1k} = \frac{1}{3} \cdot (I_{1U} + I_{1V} + I_{1W})$ $U_{1k} = \frac{1}{3} (U_{U-V} + U_{V-W} + U_{W-U})$
 $P_{Vk} = P_{11} + P_{12}$ $\cos\varphi_k = \frac{P_{Vk}}{\sqrt{3} \cdot U_{1k} \cdot I_{1k}}$
- Auftragen: $I_{1k} = f(U_{1k}), P_{Vk} = f(U_{1k}), \cos\varphi_k = f(U_{1k})$
- Berechnen: Dauerkurzschlussstrom I_{1k} bei $U_1 = U_{1N}$ für $I_{1k} = I_N$
Kurzschlussimpedanz Z_k
Kurzschlussresistenz R_k
Kurzschlussreaktanz X_k
Parameter des vollständigen Ersatzschaltbildes: $R_1, R_2', X_{1\sigma}, X_{2\sigma}', R_{Fe}, X_h$
ohmscher Spannungsabfall u_R
induktiver Spannungsabfall u_X
relative Kurzschlussspannung u_k
- Kontrolle des Leerlaufstromes: $I_{10} \approx \frac{U_{1N} / \sqrt{3}}{\sqrt{R_1^2 + x_{1\sigma}^2} + 1} / \sqrt{\left(\frac{1}{R_{Fe}}\right)^2 + \left(\frac{1}{x_h}\right)^2}$
- Zeichnen: Zeigerdiagramm (nicht maßstäblich) bei Kurzschluss und vollständiges Ersatzschaltbild

U_{U-V}	U_{V-W}	U_{W-U}	U_1	ϑ_i	I_U	I_V	I_W	$\frac{I_{1k}}{I_{1K} \cdot \vartheta_i}$	P_{11}	P_{12}	P_{1k}	I_{2K}	$\cos\varphi_K$
V	V	V	V	-	A	A	A	A	W	W	W	A	-
1,7				$\vartheta_i = \frac{10}{5} = 2$									
4,8													
6,7													
8,8													
11,5													

$$I_K = f(U_K)$$

$$P_K = f(U_K)$$

$$\cos\varphi = f(U_K)$$



2.5 Versuchsaufbau nach dem beigefügten Schaltplan für den Belastungsversuch

2.6 Belastungsversuch mit symmetrischer ohmscher Last

An die Sekundärseite des Versuchstransformators ist das vorgesehene Belastungsgerät (über Handrad stufenlos einstellbar) anzuschließen. Schaltung des Versuchstransformators YyO .

Einstellen: $U_1 = U_{1N} = 380\text{ V} = \textit{konstant}$
Der Sekundärstrom ist mit Hilfe des Belastungsgerätes zu verstellen
 $I_2 =$ siehe Messtabelle

Messen: $U_2, I_{1U}, I_{1V}, I_{1W}, P_1, P_2$

Auftragen: $I_1 = f(I_2), P_1 = f(I_2), \cos\varphi_1 = f(I_2)$

Berechnen: I_1

Leistungsfaktor $\cos\varphi$

für $I_2 = I_N$ $\eta = 1 - \frac{P_{Vges}}{P_1}$ wobei $P_{Vges} = P_{Vk} + P_{VFe}$

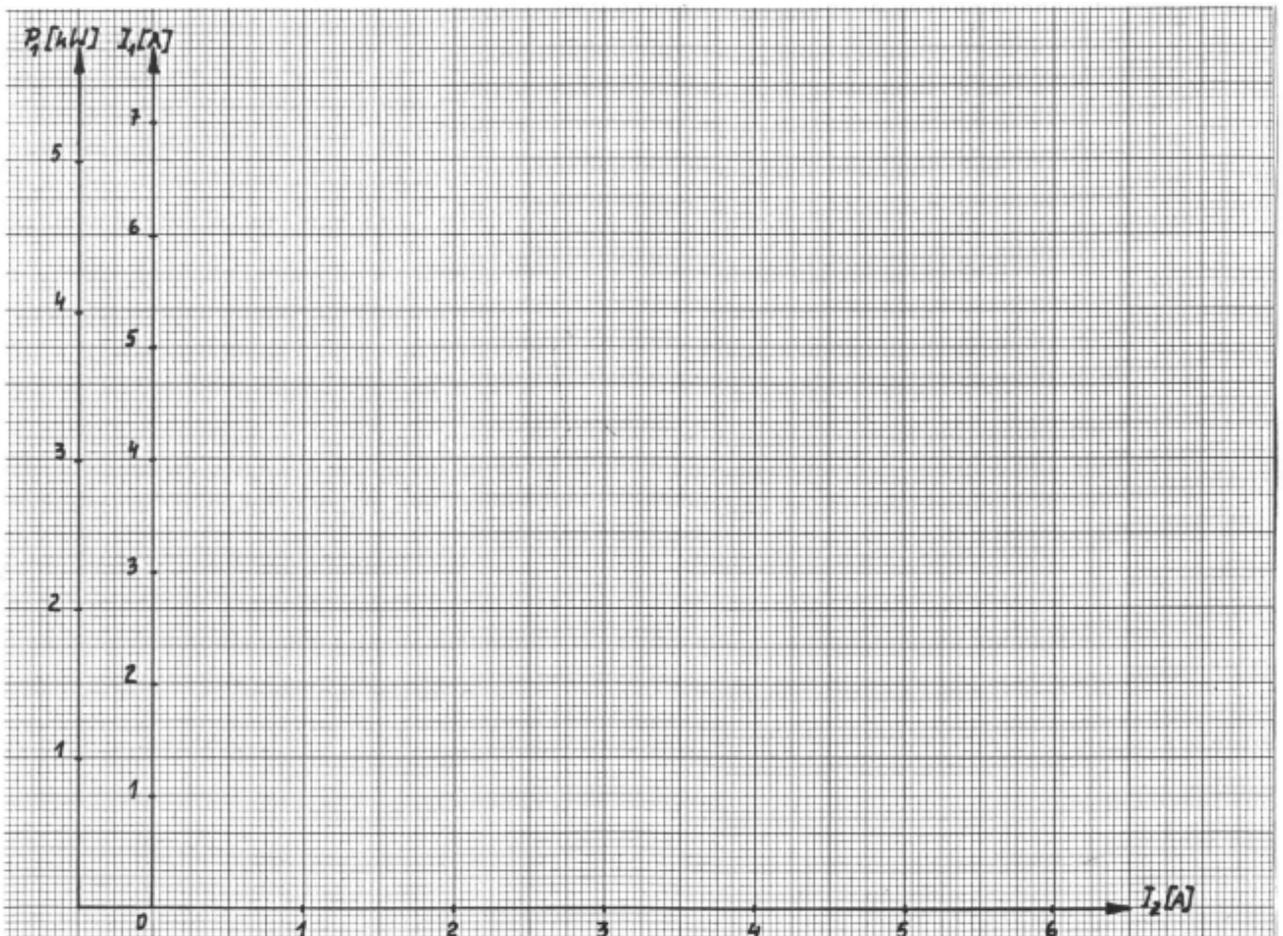
Wirkungsgrad $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{VFe} + P_{Vk} \cdot \left(\frac{I_1}{I_N}\right)^2}$

Zeichnen: Vollständiges Zeigerdiagramm (nicht maßstäblich) bei ohmscher, symmetrischer Belastung

U_1	ϑ_i	I_{1U}	I_{1V}	I_{1W}	$I_1 \cdot \vartheta_i$	P_1 $P_1 \cdot \vartheta_i$	P_2 $P_2 \cdot \vartheta_i$	U_2	I_2 $I_2 \cdot \vartheta_i$	$\cos\varphi_0$	η
V	-	A	A	A	A	W	W	V	A	-	-
380	$\vartheta_i = \frac{10}{5} = 2$								0,25 0,5		
380									1 2		
380									1,75 3,5		
380									2,5 5		
380									3 6		

$$I_1 = f(I_2)$$

$$P_1 = f(I_2)$$



2.7 Spannungsänderung u_φ

Mit Hilfe des Kapp'schen Dreiecks soll die Spannungsänderung für ohmsche Belastung und Nennbetrieb ($I = I_{2N}$) rechnerisch ermittelt werden.

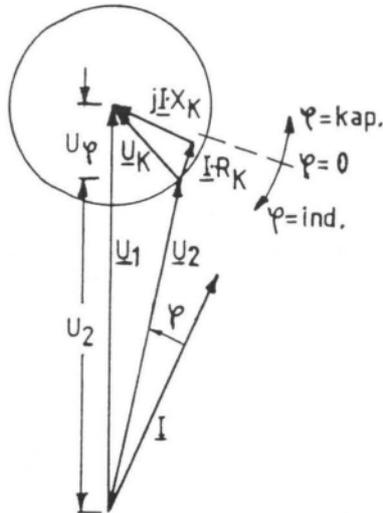


Bild 2.7-1 Vereinfachtes Zeigerdiagramm des Transformators (Kapp'sches Dreieck) bezogen auf die Primärseite.

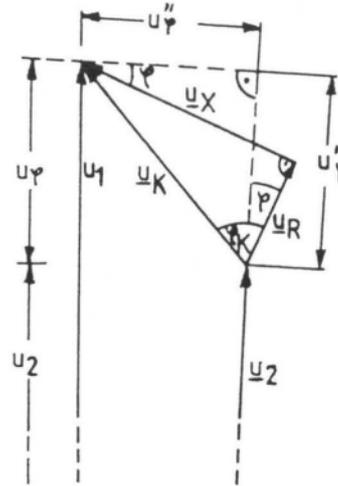


Bild 2.7-2 Kapp'sches Dreieck (vergrößert) (alle Spannungen sind bei $I = I_N$ auf U_{1N} bezogen)

$$u_\varphi = u'_\varphi + 1 - \sqrt{1 - u''_\varphi{}^2}$$

dabei ist $u'_\varphi = u_X \cdot \sin\varphi + U_R \cdot \cos\varphi$

$$u''_\varphi = u_X \cdot \cos\varphi - U_R \cdot \sin\varphi \quad \text{bei } I = I_N$$

bzw. $u'_\varphi = (u_X \cdot \sin\varphi + U_R \cdot \cos\varphi) \cdot \frac{I}{I_N}$

$$u''_\varphi = (u_X \cdot \cos\varphi - U_R \cdot \sin\varphi) \cdot \frac{I}{I_N}$$



2.8 Schaltungen

Die Schaltgruppen a) bis d) sind zu schalten. Im Beisein des Betreuers sind die Primär- und Sekundärspannungen jeweils zu oszillographieren, speichern und ihre Phasenlagen im Hinblick auf die Schaltgruppen nachzuprüfen. Die gespeicherten Oszillographen sind im Bericht einzubinden.

- a) Schaltgruppe Yy0
- b) Schaltgruppe Yd5
- e) Schaltgruppe Dy5
- d) Schaltgruppe Yz5

2.9 Unsymmetrischer Betrieb

Der Transformator wird mit ohmscher Last in folgenden Schaltungen einphasig und zweiphasig belastet.

- a) Schaltung Yy0 - zweiphasige Belastung
 $U_1 = 380 \text{ V}$ **Belastung** - $I_2 = 4 \text{ A}$
- b) Schaltung Yy0 mit Mp bzw. N auf Sekundärseite - einphasige Belastung
 $U_1 = 380 \text{ V}$ **Belastung** - $I_2 = 4 \text{ A}$
- c) Schaltung Yz5 mit Mp bzw. N auf Sekundärseite - einphasige Belastung
 $U_1 = 380 \text{ V}$ **Belastung** - $I_2 = 4 \text{ A}$
- d) Schaltung Dy5 mit Mp bzw. N auf Sekundärseite – einphasige Belastung
 $U_1 = 220 \text{ V}$ **Belastung** - $I_2 = 4 \text{ A}$

Bei jeder Schaltung wird I_{1U} , I_{1V} , I_{1W} gemessen

Gruppe	U_1	I_{1U}	I_{1V}	I_{1W}	I_2
-	V	A	A	A	A
Yy0					4
Yy0n0					4
Yz5n0					4
Dy5n0					4



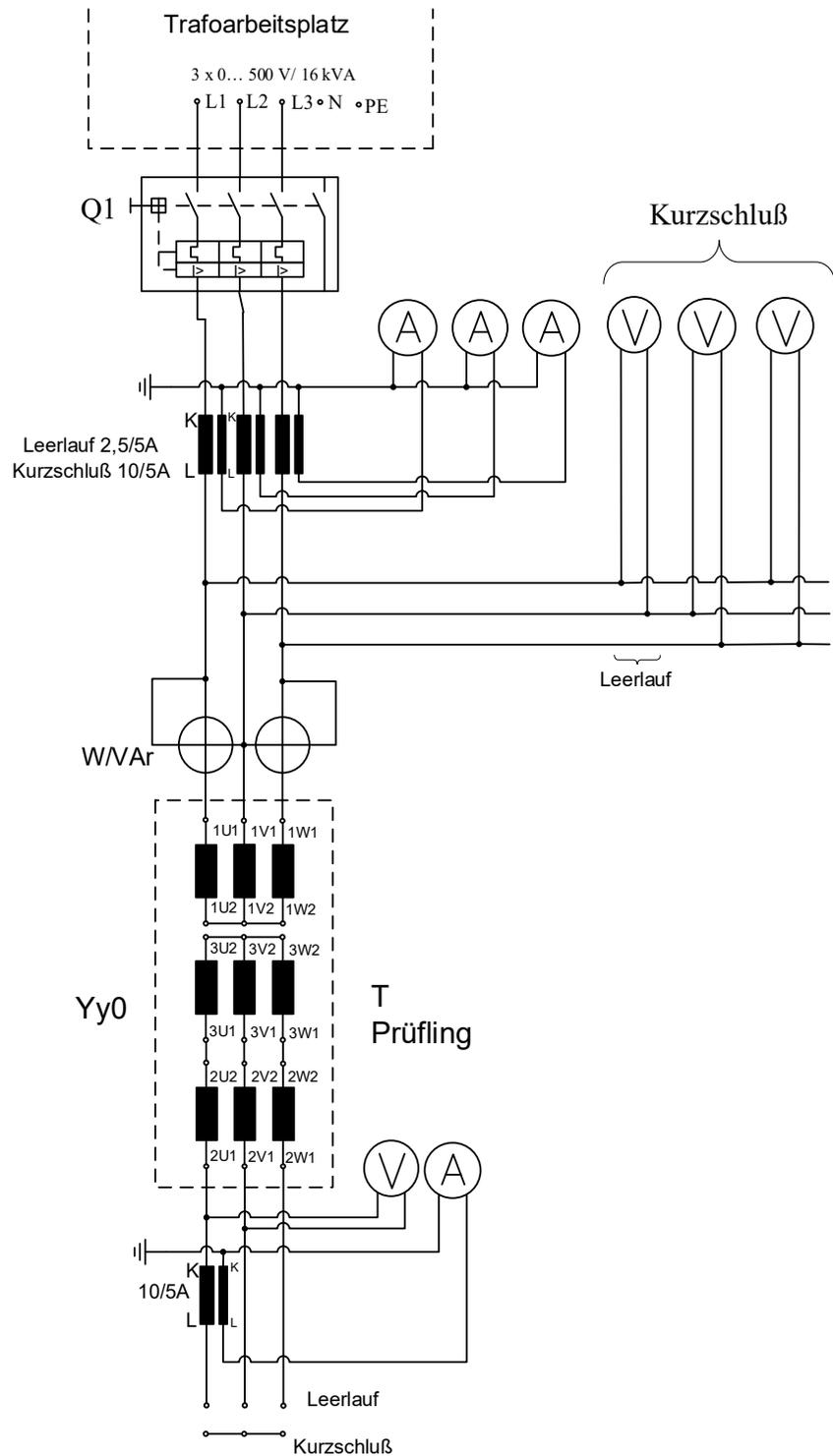
2.10 Oszillographieren der Leerlaufströme

Im Beisein des Betreuers sind die Leerlaufströme (L1, L2, L3 gleichzeitig messen) des Versuchstransformators für die Schaltungen Yy und Dy zu oszillographieren und zu speichern. Hierzu bietet sich der 3-fach Shunt oder die Stromzange an.

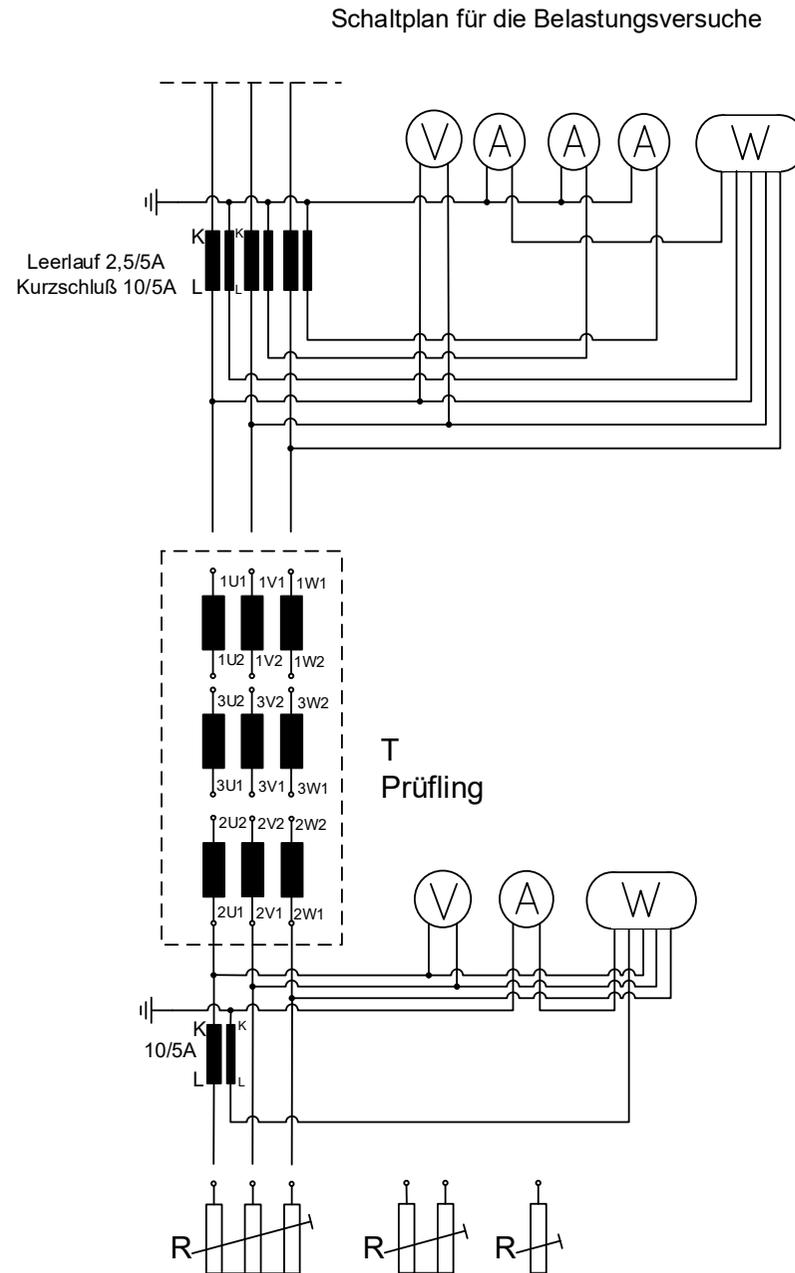
Die Ergebnisse sind mit den in 1.2 konstruierten Graphen zu vergleichen und zu diskutieren.

Die gespeicherten Oszillographen sind im Bericht einzubinden.

Hinweis: Am Ende des Praktikum die Spannung vom Trafo auf 0V stellen!



Schaltplan zum Praktikumsversuch: Drehstromtransformator



4. Schaltgruppen und Übersetzungen von Drehstromtransformatoren

Ein Transformator für Drehstrom besteht im Prinzip aus drei Einphasentransformatoren. Die auf der Oberspannungsseite vorhandenen Stränge können in Stern (Y) oder Dreieck (D) geschaltet werden. Entsprechend ist auch eine Schaltung der Unterspannungsseite in Stern (y) oder Dreieck (d) möglich. Praktische Bedeutung hat außerdem die Zickzackschaltung (z) der Unterspannungsseite. Bei dieser Schaltung ist jeder Strang auf zwei verschiedene Schenkel des Eisenpaketes verteilt. Dies hat den Vorteil, dass bei einer ausgangsseitigen Unsymmetrie die Oberspannungsseite gleichmäßiger belastet wird als bei einer Stern- oder Dreieckschaltung, und der Neutraleiter voll belastet werden kann. Je nach Anschluss der Verbraucher an Wicklungsanfang oder -ende der Unterspannungsseite ergeben sich zwischen Ober- und Unterspannung Phasenverschiebungen von 0° bzw. 180° bei einer Dreieck-Dreieck, Stern-Stern und Dreieck-Zickzack-Schaltung und 30° bzw. 330° bei einer Dreieck-Stern-, Stern-Dreieck- und Stern-Zickzack-Schaltung. Diese Phasenverschiebungen gibt man durch die Kennzahlen 0, 5, 6 und 11 an, wobei der Phasenverschiebungswinkel das

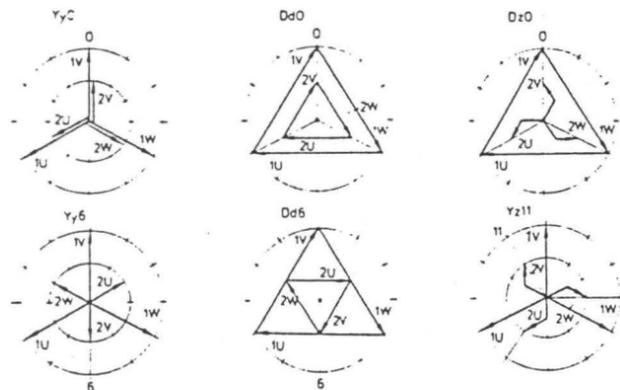


Bild 1: Phasenverschiebungen zwischen Ober- und Unterspannung bei verschiedenen Schaltgruppen.

Produkt aus der Kennzahl und dem Winkel 30° ist. Die Kombination der verschiedenen Schaltungsmöglichkeiten von Ober- und Unterspannungswicklung mit den Kennzahlen wird als Schaltgruppe des Transformators bezeichnet (Bild 1). Diese ist für das Parallelschalten von Transformatoren wichtig und wird auf dem Datenschild angegeben. Haben Transformatoren einen herausgeführten Sternpunkt, wird die Schaltgruppe durch ein N oder n ergänzt, z. B. Dy11 n bei einer Dreieck-Stern-Schaltung mit herausgeführtem Sternpunkt auf der Unterspannungsseite. Die Übersetzungsformeln für Einphasentransformatoren gelten bei Drehstromtransformatoren nur für die einzelnen Stränge auf gleichen Schenkeln. Bei unterschiedlichen Schaltungen von Ober- und Unterspannungswicklung muss die Verkettung berücksichtigt werden (Tafel 1). In Tafel 1 bedeuten:

Schaltgruppe	Schaltbild		Zeigerbild		Übersetzung $\bar{u} = U_1 / U_2$
	Oberspannung	Unterspannung	Oberspannung	Unterspannung	
Dd0					$\bar{u} = \frac{N_1}{N_2}$
Yy0 (Yyn0)					$\bar{u} = \frac{N_1}{N_2}$
Dz0 (Dzn0)					$\bar{u} = \frac{2 \cdot N_1}{3 \cdot N_2}$
Dy5 (Dyn5)					$\bar{u} = \frac{N_1}{\sqrt{3} \cdot N_2}$
Yd5					$\bar{u} = \frac{\sqrt{3} \cdot N_1}{N_2}$
Yz5 (Yzn5)					$\bar{u} = \frac{2 \cdot N_1}{\sqrt{3} \cdot N_2}$
Dd6					$\bar{u} = \frac{N_1}{N_2}$
Yy6 (Yyn6)					$\bar{u} = \frac{N_1}{N_2}$
Dz6 (Dzn6)					$\bar{u} = \frac{2 \cdot N_1}{3 \cdot N_2}$
Dy11 (Dyn11)					$\bar{u} = \frac{N_1}{\sqrt{3} \cdot N_2}$
Yd11					$\bar{u} = \frac{\sqrt{3} \cdot N_1}{N_2}$
Yz11 (Yzn11)					$\bar{u} = \frac{2 \cdot N_1}{\sqrt{3} \cdot N_2}$

Tafel 1: Schaltgruppen für Drehstrom-Transformatoren nach DIN VDE/532.

N_1 die Strangwindungszahl der Oberspannungswicklung.
 N_2 die Strangwindungszahl der Unterspannungswicklung,
 U_1 die Außenleiterspannung der Oberspannungsseite, U_2 die Außenleiterspannung der Unterspannungsseite und \bar{u} das Übersetzungsverhältnis. Die Formeln vernachlässigen die Trafoverluste (Verluste im Kern und in den Wicklungen). Da bei großen Transformatoren der prozentuale Anteil der Verluste an der Gesamtleistung in der Regel nicht sehr hoch ist, sind die Berechnungen mit den angegebenen Formeln meist genügend genau.