

# Fachpraktikum

## Elektrische Maschinen

### Versuch 4: Transformatoren

Versuchsanleitung

Basierend auf den Unterlagen von

LD Didactic

Entwickelt von

Thomas Reichert

am Institut von

Prof. J. W. Kolar

November 2013

### Praktikumsversuche

Bitte lesen Sie die folgende Einleitung zum Praktikum genau durch. Der Assistent wird Ihnen vor Beginn des Praktikums einige sicherheitsrelevante Fragen stellen.

Eines der zentralen Elemente der folgenden Versuche ist ein Netztransformator, welcher als Quelle dient. Dieser kann über einen Drehknopf von 0 V bis zur verfügbaren Netzspannung variiert werden (Abb. 1). Für die Versuche selbst wird ferner ein Dreiphasentransformator verwendet. Dieser verfügt auf der Primärseite über einen Mittelabgriff und auf der Sekundärseite über zwei getrennte Wicklungen pro Phase, welche gegebenenfalls auch zusammenschaltet werden können (Abb. 2).

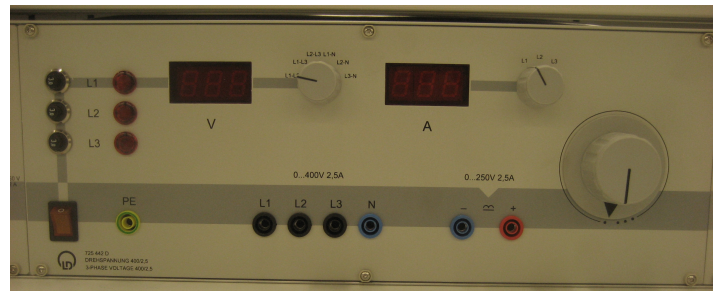


Abb. 1: Netztransformator

Achten Sie während der Versuche darauf, dass der Notausschalter gut zugänglich ist. Um die Anlage in Betrieb zu nehmen, vergewissern Sie sich zuerst, dass keine Kabel an den Dreiphasen- und den Netztransformator angeschlossen sind. Verbinden Sie nun den Erdanschluss dieser beiden Einheiten. Erst dann dürfen Sie beim Netzfeld den Schlüssel in Position 1 drehen und anschliessen den rechten Schalter auf 1 schieben. Danach können Sie das Messsystem CASSY (orangen Knopf) und den PC starten. Überprüfen Sie, dass CASSY mit dem Computer via USB verbunden ist. Nach dem Anmelden am PC starten Sie die Software CASSY und schalten Sie die Strommessung am Eingang A und die Spannungsmessung am Eingang B frei.

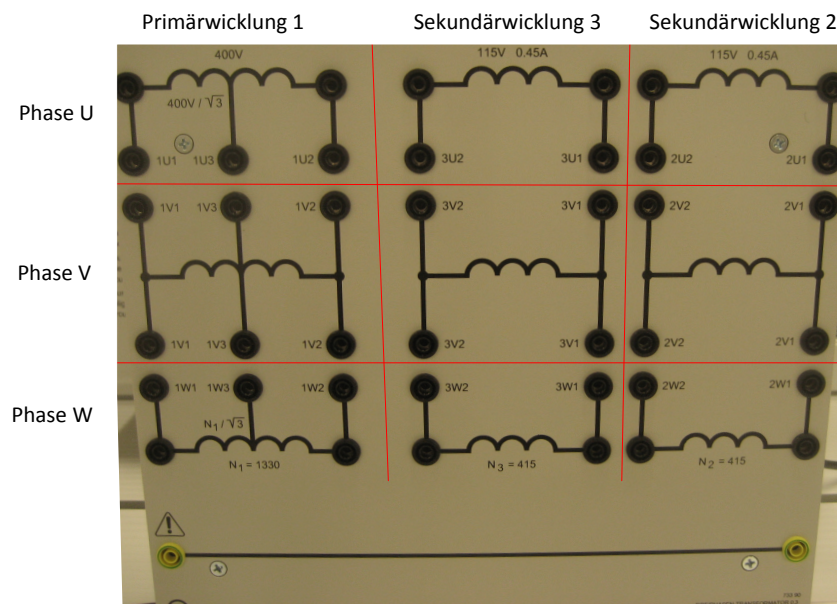


Abb 2: Dreiphasentransformator

### Teil 1: Einphasiger Transformator

Für den ersten Versuchsteil wird nur eine der drei Phasen des Tranformators aus Abb. 2 verwendet.

#### 1.1 Spannung und Stromübersetzung

Der zu untersuchende Transformator wird zuerst im Leerlauf betrieben. Schalten Sie dazu den orangen Schalter des Netztransformators ein und drehen Sie die Spannung mit dem rechten Knopf auf 0 V. Verbinden Sie dann eine der Phasen des Netztransformators mit einer Phase des Dreiphasentransformators (z.B. L1 mit 1U1 und N mit 1U2). Schalten Sie die Messanzeigen für Strom und Spannung des Netztransformators auf die verwendete Phase.

Schliessen Sie die Sekundärseite (2U1 und 2U2) am Eingang B von CASSY an und drehen Sie anschliessen den Netztransformator voll auf. Bestimmen Sie die Spannungen auf der Primär- und Sekundärseite, sowie den Leerlaufstrom auf der Primärseite. Drehen Sie darauf den Netztransformator wieder auf Null. Wiederholen Sie die Messungen für die andere Sekundärwicklung (3U1 und 3U2). Danach können Sie die beiden Sekundärwicklungen verbinden (Bügel zwischen 3U1 und 2U2) und die Spannung über der kombinierten Sekundärwicklung bestimmen. Notieren Sie sämtliche Messwerte (Effektivwerte):

$$I_{p0} = \text{_____}; U_{1U1-1U2} = \text{_____}; U_{2U1-2U2} = \text{_____}; U_{3U1-3U2} = \text{_____}; U_{2U1-3U2} = \text{_____};$$

Beziehen Sie die Spannungen auf die Windungszahlen  $N_1$ ,  $N_2$  und  $N_3$ :

$$U_{1U1-1U2} / N_1 = \text{_____}; U_{2U1-2U2} / N_2 = \text{_____}; U_{3U1-3U2} / N_3 = \text{_____};$$

Leiten Sie daraus das Spannungsübersetzungsverhältnis als Gleichung von  $N_1$ ,  $N_2$  und  $N_3$  ab:

$$U_{1U1-1U2} / U_{2U1-2U2} = \text{_____}; U_{1U1-1U2} / U_{3U1-3U2} = \text{_____};$$

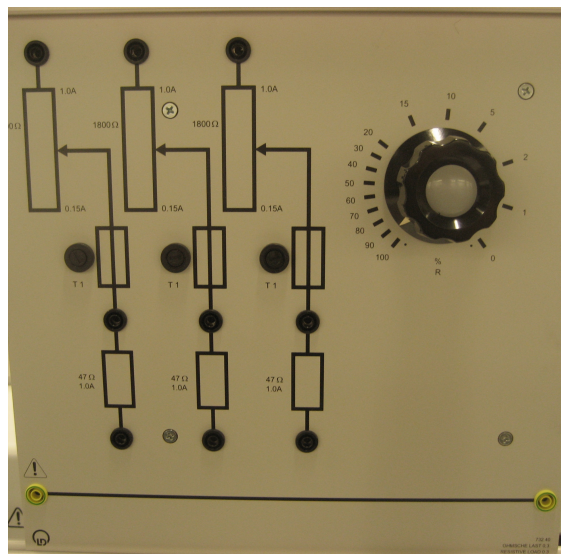


Abb. 3: Widerstände

Zur Bestimmung der Stromübersetzung wird auf der Sekundärseite ein Widerstand (Abb. 3) angeschlossen. Verbinden Sie zuerst die Erdung des Elements und drehen Sie den Knopf auf 100 %. Schalten Sie die drei Widerstände parallel (oben und unten jeweils durchverbinden). Verbinden Sie nun diese Widerstände mit der Sekundärwicklung, wobei ein Anschluss über die Strommessung am Eingang A von CASSY geführt werden soll. Drehen Sie den Netztransformator voll auf und verringern Sie den Widerstandsregler vorsichtig bis auf Nennstrom ( $I_{sN}$ ) der Sekundärseite.

Bestimmen Sie den Primärstrom und berechnen Sie auch hier das Übersetzungsverhältnis: (Hinweis: Der Primärstrom wird etwas zu gross gemessen wegen dem Leerlaufstrom)

$$I_{pN} = \underline{\hspace{2cm}}; I_{sN} = \underline{0.45 \text{ A}}; I_{pN} / N_2 = \underline{\hspace{2cm}}; I_{sN} / N_1 = \underline{\hspace{2cm}}; \rightarrow I_p / I_s = \underline{\hspace{2cm}};$$

### 1.2 Kurzschlussspannung und Dauerkurzschlussstrom

Zur Bestimmung der Kurzschlussspannung werden die beiden Sekundärwicklungen wieder mit einem Bügel verbunden und die offenen Enden kurzgeschlossen. Drehen Sie danach die Netzspannung **vorsichtig und langsam** hoch, bis auf der Primärseite Nennstrom fliesst (gemäss vorherigem Resultat). Wie gross ist die Kurzschlussspannung (Primärseite):

$$U_{pk} = \underline{\hspace{2cm}}; \text{ Relative Kurzschlussspannung: } u_{pk} = U_{pk} / U_{1U1-1U2} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}}\%;$$

Der Dauerkurzschlussstrom ist der Strom, der nach Abklingen der Ausgleichsvorgänge fliesst, wenn primärseitig die Nennspannung anliegt. Da er wegen seines hohen Wertes nicht direkt messbar ist, berechnet man ihn aus dem sekundärseitigen Nennstrom und der relativen Kurzschlussspannung:

$$I_k = I_{sN} / u_{pk} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}};$$

### 1.3 Bestimmung von Leistungsfaktor und Wirkungsgrad

Zur Bestimmung von Leistungsfaktor und Wirkungsgrad sollen zwei Messungen durchgeführt werden, jeweils bei maximaler Primärspannung. Dazu sollen wie zuvor wieder die parallelgeschalteten Widerstände an eine der Sekundärwicklungen angeschlossen werden. Messen Sie mit CASSY die Sekundärspannung und den Sekundärstrom für verschiedene Widerstandswerte bei maximaler Primärspannung und füllen Sie die ersten beiden Zeilen der folgenden Tabelle aus. Anschliessend soll mittels CASSY der Leistungsfaktor auf der Primärseite bestimmt werden. Dazu müssen entsprechend die Primärspannung und der Primärstrom an CASSY angeschlossen werden und anschliessend die Messreihe wiederholt werden. Zum Schluss sollen die Leistungen auf der Eingangs- und Ausgangsseite und daraus der Wirkungsgrad bestimmt werden. Wie lauten die entsprechenden Gleichungen?

$$P_p = \underline{\hspace{2cm}}; P_s = \underline{\hspace{2cm}}; \eta = \underline{\hspace{2cm}};$$

	R / %	100	90	80	70	60	50	40	30
	$U_p / V$	230	230	230	230	230	230	230	230
messen	$I_s / A$								
	$U_s / V$								
	$I_p / A$								
	$\cos \varphi$								
berechnen	$P_p / W$								
	$P_s / W$								
	$\eta / \%$								

## Teil 2: Drehstromtransformator

In einem zweiten Teil sollen nun alle drei Phasen verwendet und verschiedene Schaltungsarten aus dem Theorieteil ausprobiert werden.

### 2.1 Transformator in Stern-Stern-Schaltung Yy0

Verbinden Sie nun alle 3 Phasen des Netztransformators mit den linken Anschlüssen der Primärwicklung (L1-1U1, L2-1V1, L3-1W1). Verbinden Sie ausserdem die Mittelabgriffe der Primärschaltung miteinander zum Stern (1U3-1V3-1W3). Auf der Sekundärseite ganz rechts erstellen Sie ebenfalls eine Sternschaltung (2U1-2V1-2W1). Drehen Sie dann den Netztransformator auf und messen Sie nacheinander die drei Leerlaufströme  $I_{p01}$  bis  $I_{p03}$  auf der Primärseite sowie mittels CASSY die Aussenleiterspannungen zwischen den Klemmen 2U2-2V2, 2U2-2W2 und 2W2-2V2 auf der Sekundärseite:

$$I_{p01} = \text{_____}; I_{p02} = \text{_____}; I_{p03} = \text{_____}; U_{2U2-2V2} = \text{_____}; U_{2U2-2W2} = \text{_____}; U_{2W2-2V2} = \text{_____};$$

Bilden Sie aus den Spannungs-Messwerten das Übersetzungsverhältnis der Schaltgruppe Yy0 und vergleichen Sie es mit dem Windungszahlverhältnis. Durch den Mittelabgriff beträgt die Windungszahl der Primärseite  $N_1' = N_1 / \sqrt{3}$ . Durch die Sternschaltung würde ausserdem auf beiden Seiten noch ein Faktor  $\sqrt{3}$  dazukommen, der sich jedoch aufhebt.

$$U_{1U2-1V2} / U_{2U2-2V2} = \text{_____}; N_1' / N_2 = \text{_____} / \text{_____} = \text{_____};$$

Zur Bestimmung des Stromübersetzungsverhältnisses werden wieder die Widerstände verwendet. Verbinden Sie die Widerstände an den unteren Anschlüssen im Stern und den Sternpunkt mit demjenigen der Sekundärwicklung. Verbinden Sie ausserdem die einzelnen Phasen (2U2, 2V2 und 2W2) der Sekundärwicklung mit den oberen Anschlüssen der einzelnen Widerstände, wobei eine der

Phasen über CASSY zur Strommessung geführt werden soll. Drehen Sie den Widerstandsregler auf 100% und anschliessend auch den Netztransformator wieder voll auf. Verringern Sie dann den Widerstandsregler bis auf der Sekundärseite Nennstrom (0.45 A) fliesst. Messen Sie den zugehörigen Primärstrom und überprüfen Sie das Übersetzungsverhältnis:

$$I_{pN} = \text{_____}; I_{sN} = \underline{0.45 \text{ A}}; I_p / I_s = \text{_____}; N_2 / N_1 = \text{_____};$$

Wie erklären Sie sich die Abweichung? \_\_\_\_\_

Im Folgenden soll das Verhalten des Dreiphasentransformators bei unsymmetrischer Last untersucht werden. Vor jeder Änderung zuerst den Widerstandsregler auf 100% und den Netztransformator auf 0 V drehen. Beim veränderten Setup dann den Netztransformator wieder hochdrehen und anschliessend den Widerstandsregler jeweils verringern, bis auf der Sekundärseite Nennstrom (0.45 A) fliesst. Messen Sie dann immer die drei Primärströme  $I_{p1}$  bis  $I_{p3}$  auf der Primärseite sowie mittels CASSY die Aussenleiterspannungen zwischen den Klemmen 2U2-2V2, 2U2-2W2 und 2W2-2V2 auf der Sekundärseite.

Entfernen Sie zuerst die Verbindung zwischen 2W2 und dem Widerstand, so dass eine zweisträngige Belastung entsteht.

$$I_{p1} = \text{_____}; I_{p2} = \text{_____}; I_{p3} = \text{_____}; U_{2U2-2V2} = \text{_____}; U_{2U2-2W2} = \text{_____}; U_{2W2-2V2} = \text{_____};$$

Zur Untersuchung des Transformators bei einsträngiger Belastung zoll zusätzlich die Verbindung zwischen 2V2 und dem Widerstand entfernt werden.

$$I_{p1} = \text{_____}; I_{p2} = \text{_____}; I_{p3} = \text{_____}; U_{2U2-2V2} = \text{_____}; U_{2U2-2W2} = \text{_____}; U_{2W2-2V2} = \text{_____};$$

Verbinden Sie nun zusätzlich den Sternpunkt der Primärseite mit dem Sternpunkt der speisenden Netzspannung (Anschluss N am Netztransformator).

$$I_{p1} = \text{_____}; I_{p2} = \text{_____}; I_{p3} = \text{_____}; U_{2U2-2V2} = \text{_____}; U_{2U2-2W2} = \text{_____}; U_{2W2-2V2} = \text{_____};$$

Was stellen Sie fest? \_\_\_\_\_

Um die Phasendrehung zwischen Primär- und Sekundärseite zu bestimmen, soll der Widerstand wieder komplett abgehängt werden. Messen Sie anschliessen mittels CASSY (Eingänge A und B auf

Spannungsmessung) die Primär- ( $U_{1U1-1V1}$ ) und die Sekundärspannung ( $U_{2U2-2V2}$ ) und zeichnen Sie deren Verlauf auf dem Computer für eine volle Schwingung auf. **Achten Sie darauf, dass die höchste gemessene Spannung 250 V nicht überschreitet (Netztransformator kann nicht voll aufgedreht werden).**

Wie gross ist die Phasenverschiebung zwischen Primär- und Sekundärseite? \_\_\_\_\_

## 2.2 Transformator in Dreieck-Stern-Schaltung Dy5

Um die Primärseite in Dreieck zu schalten, erstellen Sie neue Netzverbindungen (L1-1U1, L2-1V1, L3-1W1). Die Sternverbindung wird ersetzt durch drei einzelne Verbindungen (1U2-1V1, 1V2-1W1 und 1W2-1U1). Auf der Sekundärseite ganz rechts belassen Sie die Sternschaltung (2U1-2V1-2W1). Drehen Sie dann den Netztransformator auf und messen Sie nacheinander die drei Leerlaufströme  $I_{p01}$  bis  $I_{p03}$  auf der Primärseite sowie mittels CASSY die Aussenleiterspannungen zwischen den Klemmen 2U2-2V2, 2U2-2W2 und 2W2-2V2 auf der Sekundärseite:

$I_{p01} =$  \_\_\_\_\_;  $I_{p02} =$  \_\_\_\_\_;  $I_{p03} =$  \_\_\_\_\_;  $U_{2U2-2V2} =$  \_\_\_\_\_;  $U_{2U2-2W2} =$  \_\_\_\_\_;  $U_{2W2-2V2} =$  \_\_\_\_\_;

Bilden Sie aus den Spannungs-Messwerten das Übersetzungsverhältnis der Schaltgruppe Dy5 und vergleichen Sie es mit dem Windungszahlverhältnis. Durch den Sternpunkt beträgt die Windungszahl der Sekundärseite  $N'_2 = \sqrt{3}N_2$ .

$U_{1U1-1V1} / U_{2U2-2V2} =$  \_\_\_\_\_;  $N_1 / N'_2 =$  \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_;

Zur Bestimmung des Stromübersetzungsverhältnisses werden wieder die Widerstände verwendet. Verbinden Sie die Widerstände an den unteren Anschlüssen im Stern und den Sternpunkt mit demjenigen der Sekundärwicklung. Verbinden Sie ausserdem die einzelnen Phasen (2U2, 2V2 und 2W2) der Sekundärwicklung mit den oberen Anschlüssen der einzelnen Widerstände, wobei eine der Phasen über CASSY zur Strommessung geführt werden soll. Drehen Sie den Widerstandsregler auf 100% und anschliessend auch den Netztransformator wieder voll auf. Verringern Sie dann den Widerstandsregler bis auf der Sekundärseite Nennstrom (0.45 A) fliesst. Messen Sie den zugehörigen Primärstrom und überprüfen Sie das Übersetzungsverhältnis:

$I_{pN} =$  \_\_\_\_\_;  $I_{sN} = 0.45 \text{ A}$ ;  $I_p / I_s =$  \_\_\_\_\_;  $N'_2 / N_1 =$  \_\_\_\_\_;

Im Folgenden soll das Verhalten des Dreiphasentransformators bei unsymmetrischer Last untersucht werden. Vor jeder Änderung zuerst den Widerstandsregler auf 100% und den Netztransformator auf 0 V drehen. Beim veränderten Setup dann den Netztransformator wieder hochdrehen und anschliessend den Widerstandsregler jeweils verringern, bis auf der Sekundärseite Nennstrom (0.45 A) fliesst. Messen Sie dann immer die drei Primärströme  $I_{p1}$  bis  $I_{p3}$  auf der Primärseite sowie

mittels CASSY die Aussenleiterspannungen zwischen den Klemmen 2U2-2V2, 2U2-2W2 und 2W2-2V2 auf der Sekundärseite.

Entfernen Sie zuerst die Verbindung zwischen 2W2 und dem Widerstand, so dass eine zweisträngige Belastung entsteht.

$$I_{p1} = \text{_____}; I_{p2} = \text{_____}; I_{p3} = \text{_____}; U_{2U2-2V2} = \text{_____}; U_{2U2-2W2} = \text{_____}; U_{2W2-2V2} = \text{_____};$$

Zur Untersuchung des Transformators bei einsträngiger Belastung soll zusätzlich die Verbindung zwischen 2V2 und dem Widerstand entfernt werden.

$$I_{p1} = \text{_____}; I_{p2} = \text{_____}; I_{p3} = \text{_____}; U_{2U2-2V2} = \text{_____}; U_{2U2-2W2} = \text{_____}; U_{2W2-2V2} = \text{_____};$$

Um die Phasendrehung zwischen Primär- und Sekundärseite zu bestimmen, soll der Widerstand wieder komplett abgehängt werden. Messen Sie anschliessen mittels CASSY (Eingänge A und B auf Spannungsmessung) die Primär- ( $U_{1U1-1V1}$ ) und die Sekundärspannung ( $U_{2U2-2V2}$ ) und zeichnen Sie deren Verlauf auf dem Computer für eine volle Schwingung auf. **Achten Sie darauf, dass die höchste gemessene Spannung 250 V nicht überschreitet (Netztransformator kann nicht voll aufgedreht werden).**

Wie gross ist die Phasenverschiebung zwischen Primär- und Sekundärseite? \_\_\_\_\_

### 2.3 Transformator in Stern-Dreieck-Schaltung Yd5

Die Dreieckverbindung auf der Primärseite wird nun wieder durch einen Sternpunkt der Mittelabriffe ersetzt (1U3-1V3-1W3). Belassen Sie ausserdem die Netzverbindungen (L1-1U1, L2-1V1, L3-1W1). Auf der Sekundärseite erstellen wir neu eine Dreieckschaltung (2U1-2W2, 2V1-2U2 und 2W1-2V2). Drehen Sie dann den Netztransformator auf und messen Sie nacheinander die drei Leerlaufströme  $I_{p01}$  bis  $I_{p03}$  auf der Primärseite sowie mittels CASSY die Aussenleiterspannungen zwischen den Klemmen 2U2-2V2, 2U2-2W2 und 2W2-2V2 auf der Sekundärseite:

$$I_{p01} = \text{_____}; I_{p02} = \text{_____}; I_{p03} = \text{_____}; U_{2U2-2V2} = \text{_____}; U_{2U2-2W2} = \text{_____}; U_{2W2-2V2} = \text{_____};$$

Bilden Sie aus den Spannungs-Messwerten das Übersetzungsverhältnis der Schaltgruppe Yd5 und vergleichen Sie es mit dem Windungszahlverhältnis. Durch den Sternpunkt beträgt die Windungszahl der Primärseite  $N_1'' = \sqrt{3}N_1' = \sqrt{3}(N_1 / \sqrt{3}) = N_1$ .

$$U_{1U1-1V1} / U_{2U2-2V2} = \text{_____}; N_1 / N_2 = \text{_____} / \text{_____} = \text{_____};$$

Zur Bestimmung des Stromübersetzungsverhältnisses werden wieder die Widerstände verwendet. Verbinden Sie die Widerstände an den unteren Anschlüssen im Stern. Verbinden Sie ausserdem die einzelnen Phasen (2U2, 2V2 und 2W2) der Sekundärwicklung mit den oberen Anschlüssen der



einzelnen Widerstände, wobei eine der Phasen über CASSY zur Strommessung geführt werden soll. Drehen Sie den Widerstandsregler auf 100% und anschliessend auch den Netztransformator wieder voll auf. Verringern Sie dann den Widerstandsregler bis auf der Sekundärseite Nennstrom (0.45 A) fliesst. Messen Sie den zugehörigen Primärstrom und überprüfen Sie das Übersetzungsverhältnis:

$$I_{pN} = \underline{\hspace{2cm}}; I_{sN} = 0.45 \text{ A}; I_p / I_s = \underline{\hspace{2cm}}; N_2 / N_1 = \underline{\hspace{2cm}};$$

Im Folgenden soll das Verhalten des Dreiphasentransformators bei unsymmetrischer Last untersucht werden. Vor jeder Änderung zuerst den Widerstandsregler auf 100% und den Netztransformator auf 0 V drehen. Beim veränderten Setup dann den Netztransformator wieder hochdrehen und anschliessend den Widerstandsregler jeweils verringern, bis auf der Sekundärseite Nennstrom (0.45 A) fliesst. Messen Sie dann immer die drei Primärströme  $I_{p1}$  bis  $I_{p3}$  auf der Primärseite sowie mittels CASSY die Aussenleiterspannungen zwischen den Klemmen 2U2-2V2, 2U2-2W2 und 2W2-2V2 auf der Sekundärseite.

Entfernen Sie zuerst die Verbindung zwischen 2W2 und dem Widerstand, so dass eine zweisträngige Belastung entsteht.

$$I_{p1} = \underline{\hspace{2cm}}; I_{p2} = \underline{\hspace{2cm}}; I_{p3} = \underline{\hspace{2cm}}; U_{2U2-2V2} = \underline{\hspace{2cm}}; U_{2U2-2W2} = \underline{\hspace{2cm}}; U_{2W2-2V2} = \underline{\hspace{2cm}};$$

Um die Phasendrehung zwischen Primär- und Sekundärseite zu bestimmen, soll der Widerstand wieder komplett abgehängt werden. Messen Sie anschliessen mittels CASSY (Eingänge A und B auf Spannungsmessung) die Primär- ( $U_{1U1-1V1}$ ) und die Sekundärspannung ( $U_{2U2-2V2}$ ) und zeichnen Sie deren Verlauf auf dem Computer für eine volle Schwingung auf. **Achten Sie darauf, dass die höchste gemessene Spannung 250 V nicht überschreitet (Netztransformator kann nicht voll aufgedreht werden).**

Wie gross ist die Phasenverschiebung zwischen Primär- und Sekundärseite?  $\underline{\hspace{2cm}}$

### 2.4 Transformator in Stern-Zickzack-Schaltung Yz5

Zum Abschluss soll die Sekundärwicklung zu einer Zickzack-Schaltung verbunden werden. Die Primärseite können Sie im Stern belassen. Entfernen Sie auf der Sekundärseite alle Kabel und stellen sie anschliessend die folgenden Verbindungen her: 2U1-2V1-2W1, 3U2-2V2, 3V2-2W2, 3W2-2U2.

Messen Sie mittels CASSY die Aussenleiterspannungen zwischen den Klemmen 3U1-3V1 auf der Sekundärseite. **Drehen Sie den Netztransformator nur so hoch, dass die Spannung im CASSY 250 V nicht überschreitet** und bestimmen sie die entsprechenden Primärspannungen.

$$U_{1U1-1V1} = \underline{\hspace{2cm}}; U_{1V1-1W1} = \underline{\hspace{2cm}}; U_{1W1-1U1} = \underline{\hspace{2cm}};$$

Bilden Sie aus den Spannungs-Messwerten das Übersetzungsverhältnis der Schaltgruppe Yz5 und vergleichen Sie es mit dem Windungszahlverhältnis. Durch den Sternpunkt beträgt die Windungszahl der Primärseite  $N_1'' = \sqrt{3}N_1' = \sqrt{3}(N_1 / \sqrt{3}) = N_1$ . Auf der Sekundärseite wird  $N_2' = 3N_2$

