

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung	3
2 Grundlagen	3
3 Versuchsanordnung	4
3.1 ohmsche Last in Wechselstromkreis	4
3.2 Symmetrische Last in Dreieckschaltung	5
3.3 Symmetrische Last in Sternschaltung	7
3.4 Asymmetrische Last in Sternschaltung	9
3.5 Asymmetrische Last in Sternschaltung und simulierten Kabelbruch	10
3.6 Wirkleistungsmessung	10
3.7 Blindleistungsmessung	13
3.8 Bau eines rudimentären Asynchron-Drehstrommotors	13
4 Geräteliste	14
5 Versuchsdurchführung und Messergebnisse	15
5.1 ohmsche Last in Wechselstromkreis	15
5.2 Symmetrische Last in Dreieckschaltung	16
5.3 Symmetrische Last in Sternschaltung	17
5.4 Asymmetrische Last in Sternschaltung	18
5.5 Asymmetrische Last in Sternschaltung und simulierten Kabelbruch	19
5.6 Wirkleistungsmessung	19
5.7 Blindleistungsmessung	21
5.8 Bau eines rudimentärern Asynchron-Drehstrommotors	21
6 Auswertung	22
6.1 ohmsche Last in Wechselstromkreis	22
6.2 Symmetrische Last in Dreieckschaltung	23
6.3 Sternschaltungen	24
6.4 Wirk- und Blindleistungsmessung bei allgemeiner Last im Dreiphasennetz	27
6.5 Bau eines rudimentärern Asynchron-Drehstrommotors	29
7 Diskussion	29
7.1 ohmsche Last in Wechselstromkreis	29
7.2 Symmetrische Last in Dreieckschaltung	29
7.3 Symmetrische Last in Sternschaltung	29
7.4 Asymmetrische Last in Sternschaltung	29
7.5 Asymmetrische Last in Sternschaltung und simulierten Kabelbruch	29
7.6 Wirkleistungsmessung	29

7.7	Blindleistungsmessung	29
7.8	Bau eines rudimentärern Asynchron-Drehstrommotors	29
8	Zusammenfassung	30
8.1	ohmsche Last in Wechselstromkreis	30
8.2	Symmetrische Last in Dreieckschaltung	30
8.3	Sternschaltungen	30
8.4	Asymmetrische Last in Sternschaltung	30
8.5	Asymmetrische Last in Sternschaltung und simulierten Kabelbruch .	30
8.6	Wirkleistungsmessung	30
8.7	Blindleistungsmessung	30
8.8	Bau eines rudimentären Asynchron-Drehstrommotors	30

1 Aufgabenstellung

- Leistungsmessung einer ohmschen Last in einem Wechselstromkreis
- Wirkleistungsmessung im Drehstromnetz bei einer symmetrischen ohmschen Last in Stern- und Dreieckschaltung mit Aronschaltung
- Wirk- und Blindleistungsmessung bei einer allgemeinen Last im Dreiphasennetz
- Bauen eines rudimentärern Asynchron-Drehstrommotors

2 Grundlagen

Für die Wirkleistung P eines ohmschen Verbrauchers gilt unter Verwendung des Ohmschen Gesetzes, Gleichung 2, folgender Zusammenhang:

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R} \quad (1)$$

$$U = R \cdot I \quad (2)$$

Dabei Beschreibt U die Spannung, I die Stromstärke und R den ohmschen Widerstand.

Werden im Wechselstromkreis nun Spulen oder Kondensatoren betrachtet, empfiehlt es sich komplexe Zahlen einzuführen, da hier die Impedanz Z betrachtet werden muss, die sich nach folgender Formel berechnet:

$$Z = R + iX \quad (3)$$

R bezeichnet dabei den Realteil des Widerstands der entsprechenden Last und X die entsprechende Reaktanz. Diese kann für Induktivitäten, X_L , und Kapazitäten, X_C , folgendermaßen berechnet werden:

$$X_L = i\omega L \quad (4)$$

$$X_C = -\frac{i}{\omega C} \quad (5)$$

L steht dabei für die Induktivität der Spule, C für die Kapazität des Kondensators und ω für die vorliegende Frequenz des Wechselstroms.

Mit der eingeführten Größe der Impedanz Z kann nun das ohmsche Gesetz folgendermaßen verallgemeinert werden:

$$U = Z \cdot I \quad (6)$$

Die komplexen Spannungen und Ströme werden am übersichtlichsten in einem Zeigerdiagramm dargestellt. Dazu empfiehlt sich folgende Schreibweise:

$$\underline{U} = U_{\text{eff}} \cdot e^{i(\omega t + \phi_U)} \quad (7)$$

$$\underline{I} = I_{\text{eff}} \cdot e^{i(\omega t + \phi_I)} \quad (8)$$

U_{eff} und I_{eff} entsprechen dabei der jeweiligen Größe, wenn sie ein rein ohmsche Verbraucher, ohne komplexe Anteile, wäre.

Dadurch kann die erhaltene Wirkleistung P folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$P = \text{Re}(\underline{U}\underline{I}^*) \quad (9)$$

Weiters können auch die vom System tatsächlich aufgewendete Scheinleistung, S , und die nicht nutzbare Blindleistung, Q , berechnet werden.

$$S = \sqrt{\underline{U}\underline{U}^* \underline{I}\underline{I}^*} \quad (10)$$

$$Q = \text{Re}(\underline{U}\underline{I}^*) \quad (11)$$

3 Versuchsanordnung

3.1 ohmsche Last in Wechselstromkreis

Um die ohmsche Last einer Glühlampe im Wechselstromkreis zu messen, wird folgender Versuchsaufbau aus Abbildung 1 realisiert.



Abbildung 1: Realer Versuchsaufbau für die Messung einer ohmschen Last

- 1 ... Transformator
- 2 ... seriell geschaltetes Strommessgerät
- 3 ... seriell geschaltetes Leistungsmessgerät mit parallelen Anschluss zum Verbraucher
- 4 ... ohmscher Verbraucher (Glühlampe)
- 5 ... parallel geschaltetes Spannungsmessgerät

3.2 Symmetrische Last in Dreieckschaltung

Um die Wirkleistung von symmetrischen Verbrauchern in einer Dreiecksschaltung zu messen, wird die Aronschaltung nach folgendem Schaltplan aus Abbildung 2 realisiert. Der tatsächliche Versuchsaufbau ist in Abbildung 3 ersichtlich.

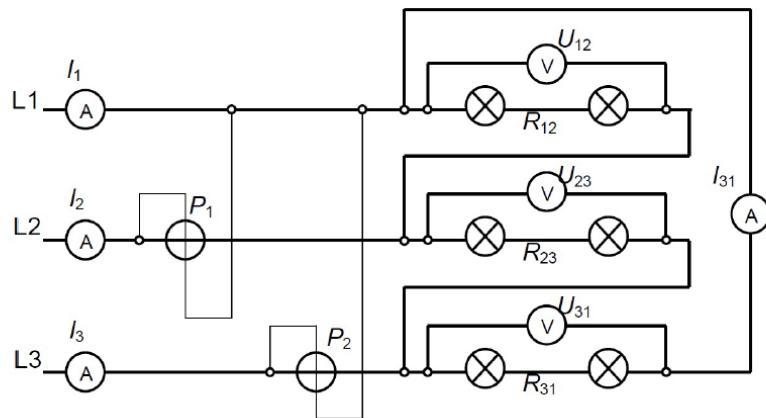


Abbildung 2: Schaltplan für die Messung der Wirkleistung mit Aronschaltung für symmetrische Verbraucher in Dreiecksschaltung [leistungsmessungvorbereitung]

I_i ... entsprechende Ströme gemessen mit entsprechenden Ampermeter A

U_i ... entsprechende Spannungen gemessen mit entsprechenden Voltmeter V

R_i ... entsprechender Widerstand durch die jeweiligen Verbraucher
 P_i ... Powermeter in Aronschaltung

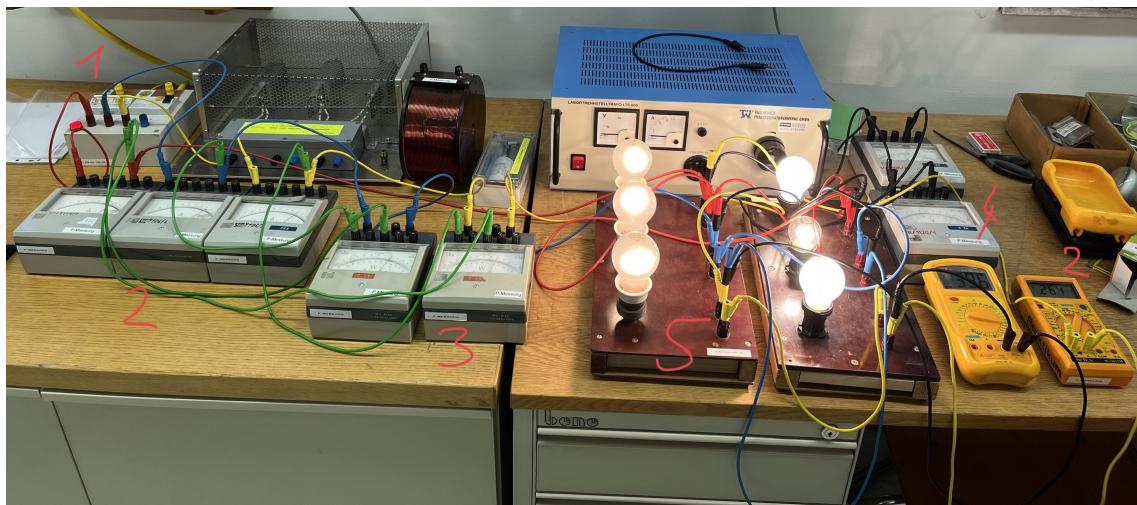


Abbildung 3: Realer Versuchsaufbau für die Messung der Wirkleistung mit Aronschaltung für symmetrische Verbraucher in Dreiecksschaltung. (Bei den Kabeln wurde ein Farbschema eingehalten, um eine bessere Übersicht zu ermöglichen.)

- 1 ... Versorgungsspannung (L_1 rot, L_2 blau, L_3 gelb)
- 2 ... seriell geschaltete Strommessgeräte
- 3 ... seriell geschaltete Leistungsmessgeräte mit parallelen Anschlüssen nach der Aronschaltung (grün)
- 4 ... parallel geschaltete Spannungsmessgeräte über die entsprechenden Verbraucher (schwarz)
- 5 ... symmetrisch verteilte ohmsche Verbraucher (Glühlampen)

3.3 Symmetrische Last in Sternschaltung

Um die Wirkleistung von symmetrischen Verbrauchern in einer Sternschaltung zu messen, wird die Aronschaltung nach folgendem Schaltplan aus Abbildung 4 realisiert. Der tatsächliche Versuchsaufbau ist in Abbildung 5 ersichtlich.

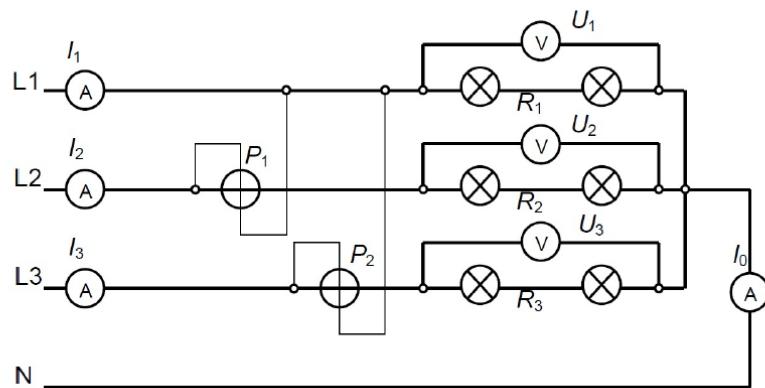


Abbildung 4: Schaltplan für die Messung der Wirkleistung mit Aronschaltung für symmetrische Verbraucher in Sternschaltung [leistungsmessungvorbereitung]

I_i ... entsprechende Ströme gemessen mit entsprechenden Ampermeter A

U_i ... entsprechende Spannungen gemessen mit entsprechenden Voltmeter V

R_i ... entsprechender Widerstand durch die jeweiligen Verbraucher
 P_i ... Powermeter in Aronschaltung

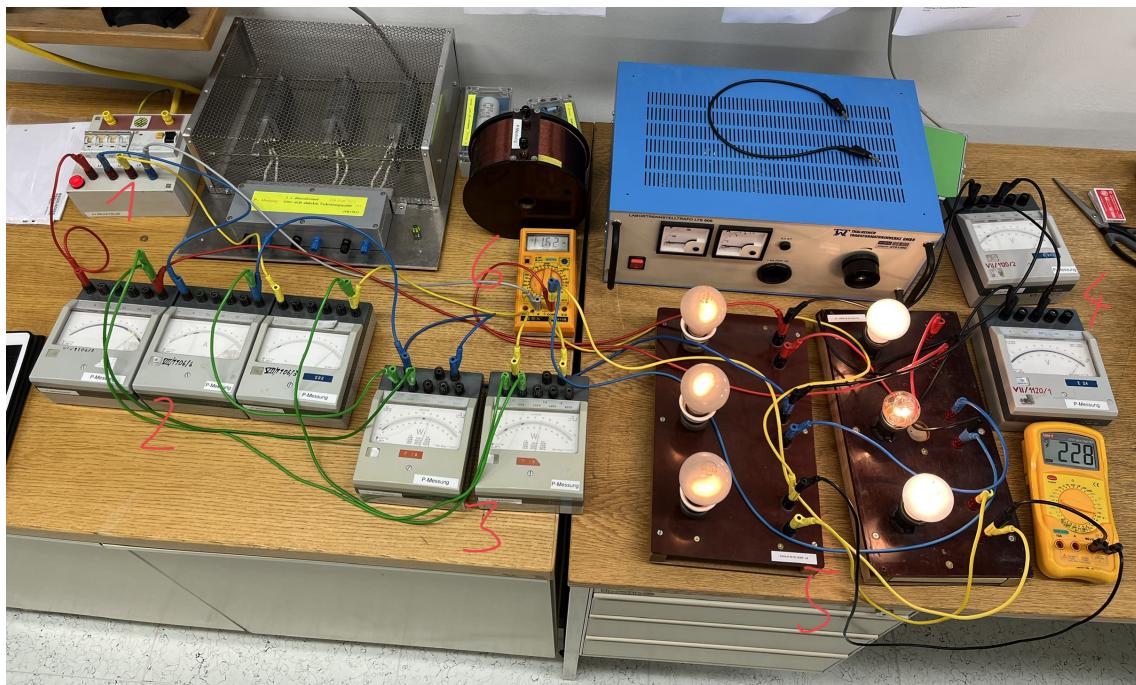


Abbildung 5: Realer Versuchsaufbau für die Messung der Wirkleistung mit Aronschaltung für symmetrische Verbraucher in Sternschaltung. (Bei den Kabeln wurde ein Farbschema eingehalten, um eine bessere Übersicht zu ermöglichen.)

- 1 ... Versorgungsspannung (L_1 rot, L_2 blau, L_3 gelb)
- 2 ... seriell geschaltete Strommessgeräte
- 3 ... seriell geschaltete Leistungsmessgeräte mit parallelen Anschlüssen nach der Aronschaltung (grün)
- 4 ... parallel geschaltete Spannungsmessgeräte über die entsprechenden Verbraucher (schwarz)
- 5 ... symmetrisch verteilte ohmsche Verbraucher (Glühlampen)
- 6 ... Strommessgerät zwischen Sternpunkt und Neutralleiter (grau)

3.4 Asymmetrische Last in Sternschaltung

Um eine asymmetrische Last zu erreichen, wird der Aufbau aus Abbildung 4 herangezogen, mit dem Unterschied, dass die Glühlampen nicht gleichmäßig auf die Leiter aufgeteilt werden. Die gewählte Konfiguration ist in Abbildung 6 ersichtlich.



Abbildung 6: Entsprechende Konfiguration für eine asymmetrische Verteilung der Last mit folgenden Verteilungen auf den Strängen:
 $L_1 \dots 1 \times 60 \text{ W}$
 $L_2 \dots 2 \times 75 \text{ W}$
 $L_3 \dots 1 \times 75 \text{ W und } 2 \times 60 \text{ W}$

3.5 Asymmetrische Last in Sternschaltung und simulierten Kabelbruch

Um einen Kabelbruch zu simulieren, wird der Aufbau aus Abbildung 4 herangezogen. Nun wird der Kontakt des Neutralleiters unterbrochen, indem das graue Kabel, sichtbar in Abbildung 3, aus dem Strompfad des Multimeters entfernt und in den Spannungsbereich gesteckt wird, um eine Spannungsmessung zu ermöglichen.

3.6 Wirkleistungsmessung

Um die Wirkleistung von allgemeinen Verbrauchern in Sternschaltung zu bestimmen, wird die Schaltung nach folgendem Schaltplan aus Abbildung 7 aufgebaut. Der tatsächliche Versuchsaufbau ist in Abbildung 8 ersichtlich.

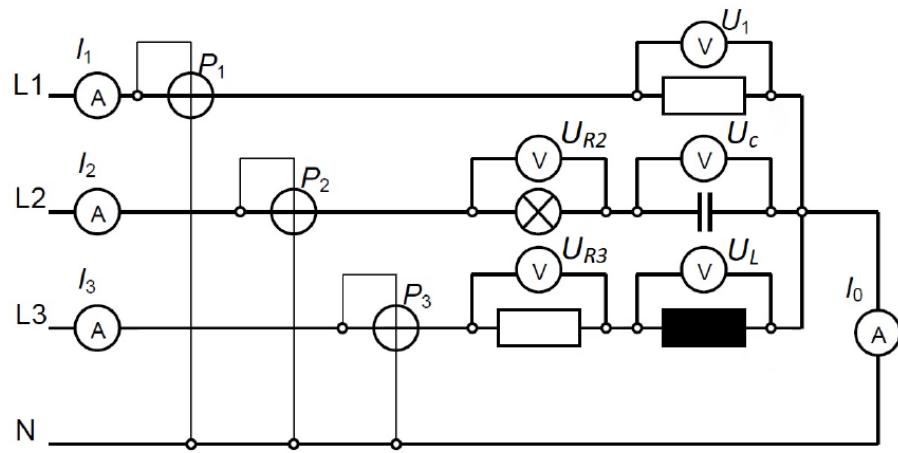


Abbildung 7: Schaltplan für die Messung der Wirkleistung für allgemeine Verbraucher in Sternschaltung [leistungsmessungvorbereitung]

I_i ... entsprechende Ströme gemessen mit entsprechenden Amperemeter A

U_i ... entsprechende Spannungen gemessen mit entsprechenden Voltmeter V

R_i ... entsprechender Widerstand durch die jeweiligen Verbraucher

P_i ... Powermeter

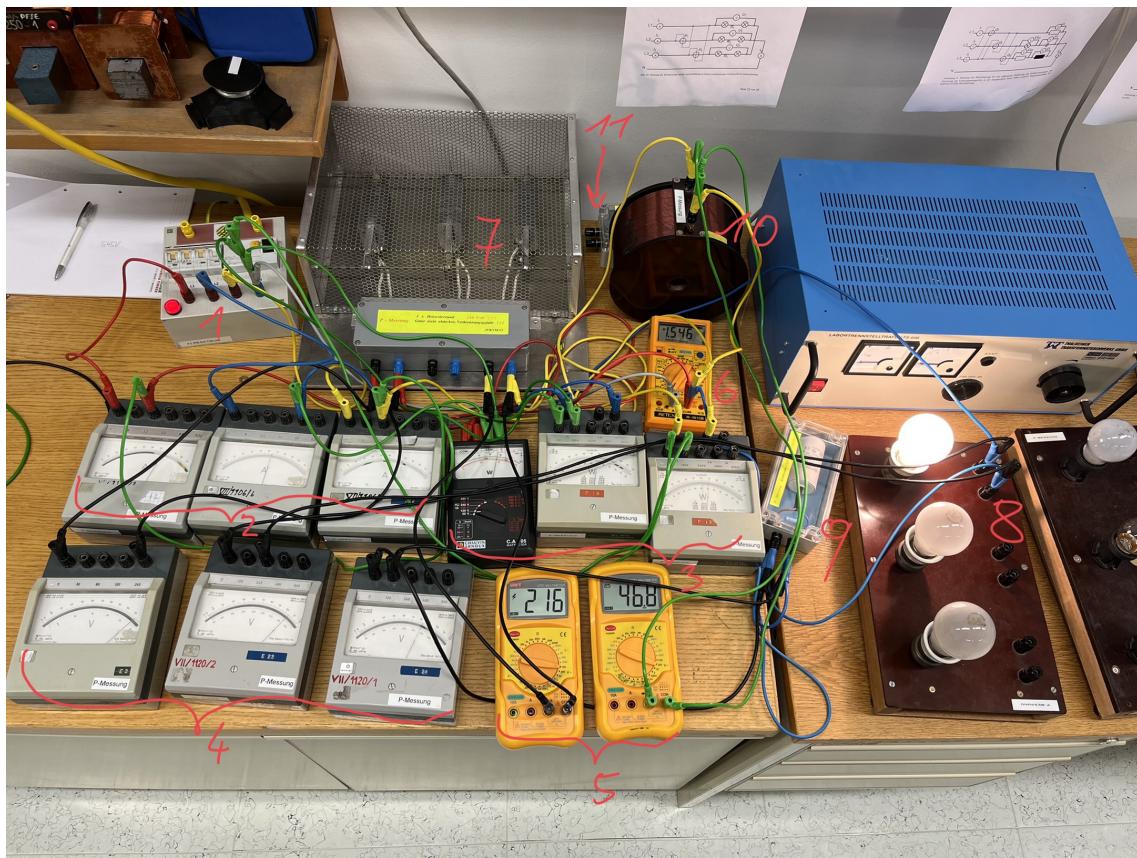


Abbildung 8: Realer Versuchsaufbau für die Messung der Wirkleistung für allgemeine Verbraucher in Sternschaltung. (Bei den Kabeln wurde ein Farbschema eingehalten, um eine bessere Übersicht zu ermöglichen.)

- 1 ... Versorgungsspannung (L_1 rot, L_2 blau, L_3 gelb)
- 2 ... seriell geschaltete Strommessgeräte
- 3 ... seriell geschaltete Leistungsmessgeräte mit parallelen Anschlüssen zum Neutralleiter (grün)
- 4 ... parallel geschaltete analoge Spannungsmessgeräte über die entsprechenden Verbraucher (schwarz)
- 5 ... parallel geschaltete digitale Spannungsmessgeräte über die entsprechenden Verbraucher (schwarz/grün)
- 6 ... Strommessgerät zwischen Sternpunkt und Neutralleiter (grau)
- 7 ... Heizwiderstände
- 8 ... ohmscher Verbraucher
- 9 ... Kapazität (Kondensator)
- 10 ... Induktivität (Spule)
- 11 ... 2. Kapazität für Bonusaufgabe

Für die Bonusaufgabe werden folgende Änderungen vorgenommen:

- L_1 bleibt unverändert (Heizwiderstand)
- L_2 Schaltung von einem Heizwiderstand und einem Kondensator mit parallel geschalteter Induktivität
- L_3 Schaltung von einem Heizwiderstand und einem Kondensator

3.7 Blindleistungsmessung

Um die Blindleistung eines allgemeinen Verbrauchers sichtbar zu machen, wird nun die Schaltung nach folgendem Schaltplan aus Abbildung 9 aufgebaut, indem die grünen Kabel der Powermeter aus Abbildung 8 entsprechend modifiziert werden.

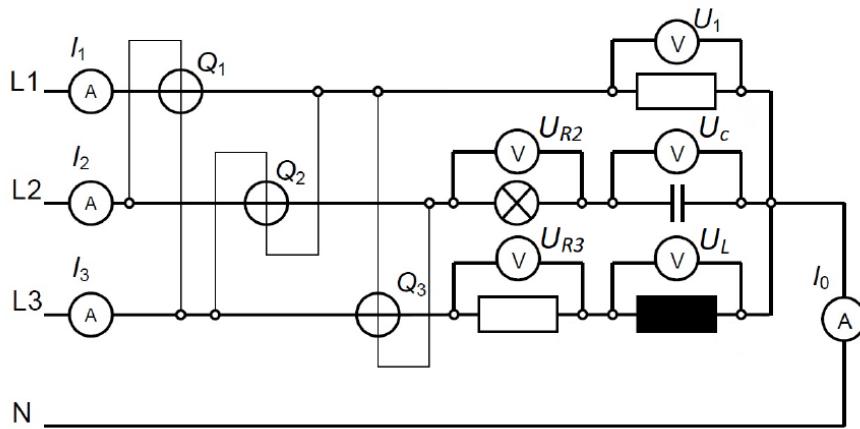


Abbildung 9: Schaltplan für die Messung der Blindleistung für allgemeine Verbraucher in Sternschaltung [leistungsmessungvorbereitung]

I_i ... entsprechende Ströme gemessen mit entsprechenden Ampermeter A

U_i ... entsprechende Spannungen gemessen mit entsprechenden Voltmeter V

R_i ... entsprechender Widerstand durch die jeweiligen Verbraucher

P_i ... Powermeter

3.8 Bau eines rudimentären Asynchron-Drehstrommotors

Um den Bau eines rudimentären Asynchron-Drehstrommotors zu realisieren, werden 3 Spulen mit Eisenkern wie in Abbildung 10 um eine drehbar gelagerte Metallscheibe

aufgestellt. Die Spulen werden mit vorgeschalteten Heizwiderständen an die Versorgungsspannung geschlossen.

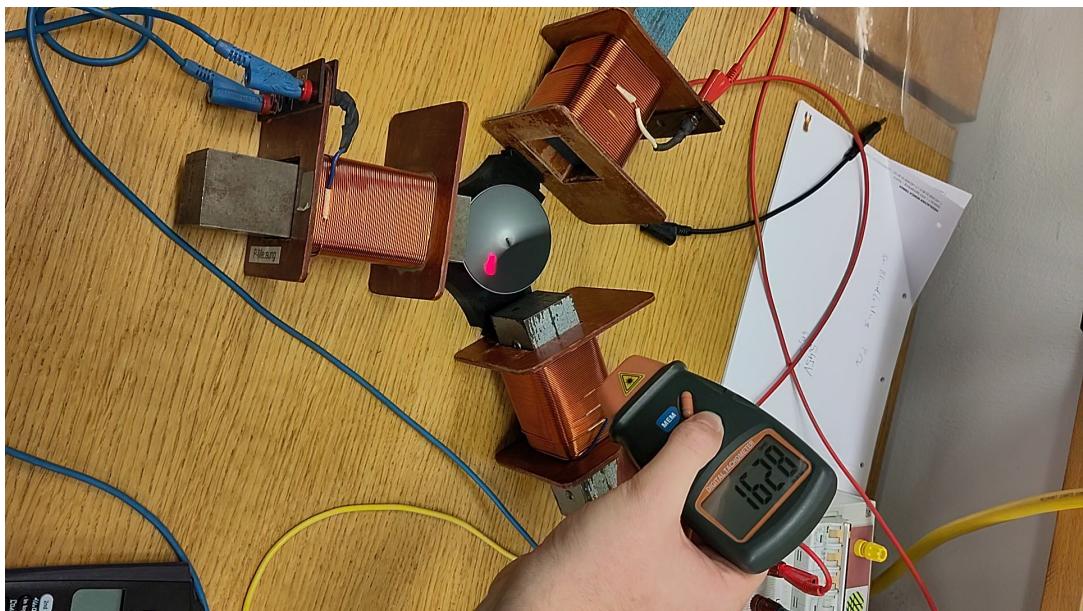


Abbildung 10: Drehzahlmessung des rudimentären Asynchron-Drehstrommotors.

4 Geräteliste

Für den Versuch werden die in Tabelle 1 aufgelisteten Geräte verwendet.

Tabelle 1: Verwendete Geräte

Gerätetyp	Hersteller	Typ	Inventar-Nr	Anmerkung
Transformator	Thalheimer	LTS 606	0161469	
Box mit Versorgungsspannung			F1	
Strommessgerät	Norma	analog	VII/1106/9 VII/1106/6 VII/1106/3	3 x
Spannungsmessgerät	Norma	analog	VII/1120/2 VII/1120/1 E3	3 x
Leistungsmessgerät	Norma	analog	F18 F19	2 x
Leistungsmessgerät	Chauvin Arnoux	analog	C.A.505	
Multimeter	UNI-T	UT51		2 x
Multimeter	METEX	M-3610B		
Glühbirnen		3x 60 W 3x 75 W		
Kondensator		12 µF	G5 V	2 x
Spule			P	
Heizwiderstand		3x 230 V	JFR/158/13	3 x
Bananenstecker				
Spule mit Eisenkern				3 x
Metallscheibe auf Sockel	Hancaner	DT2234C		

5 Versuchsdurchführung und Messergebnisse

5.1 ohmsche Last in Wechselstromkreis

Um die Leistung der ohmschen Last im Wechselstromkreis zu messen, wird der Verbraucher, der in diesem Fall einer 75 W Glühbirne entspricht, wie in Abbildung 1 ersichtlich, in den Stromkreis geschlossen. Dabei ist besonders darauf zu achten, dass die Geräte richtig in den Stromkreis geschlossen sind. Bei einem negativen Zeigerausschlag müssen also die Kabel vertauscht werden. Auch sollt bei den Geräten

der richtige Messbereich ausgewählt werden, um sicherzustellen, dass die Geräte nicht überlastet werden, aber dennoch ein genaues Ergebnis anzeigen.

Nun wird mithilfe des Schleifkontakte des Netzgeräts eine Ausgangsspannung von 20 V erzeugt und diese kontinuierlich erhöht, bis schließlich ein Wert von 240 V erreicht ist. Die entsprechenden Werte der Messgeräte werden abgelesen und in folgender Tabelle 2 aufgelistet.

Bei dem vom Leistungsmessungsgerät abgelesenen Wert ist dabei besonders darauf zu achten, ob das Gerät über die Verbindung für 1 A oder 5 A verwendet wird.

Tabelle 2: Gemessene Werte bei der Variation der ohmschen Last

U ... gemessene Spannung in V

I ... gemessener Strom in A

P ... gemessene Leistung in W

U / V	I / A	P / W
$20,0 \pm 0,6$	$0,106 \pm 0,004$	$2,5 \pm 0,6$
$40,0 \pm 0,6$	$0,136 \pm 0,004$	$6,0 \pm 0,6$
$60,0 \pm 0,6$	$0,164 \pm 0,004$	$10,5 \pm 0,6$
$80,0 \pm 0,6$	$0,191 \pm 0,004$	$16,0 \pm 0,6$
$100,0 \pm 0,6$	$0,215 \pm 0,004$	$22,0 \pm 0,6$
$120,0 \pm 0,6$	$0,238 \pm 0,004$	$30,0 \pm 0,6$
$140,0 \pm 1,2$	$0,250 \pm 0,009$	$37,0 \pm 1,2$
$160,0 \pm 1,2$	$0,270 \pm 0,009$	$46,0 \pm 1,2$
$180,0 \pm 1,2$	$0,288 \pm 0,009$	$54,0 \pm 1,2$
$200,0 \pm 1,2$	$0,305 \pm 0,009$	$64,0 \pm 1,2$
$220,0 \pm 1,2$	$0,320 \pm 0,009$	$74,0 \pm 1,2$
$240,0 \pm 1,2$	$0,335 \pm 0,009$	$84,0 \pm 1,2$

5.2 Symmetrische Last in Dreieckschaltung

Um die Leistung eines symmetrischen Verbrauchs bei einer Dreiecksschaltung zu betrachten, wird ein Aufbau nach Abbildung 2 herangezogen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Glühlampen symmetrisch auf die Stränge verteilt sind, sich also auf jeden jeweils eine mit 75 W und eine mit 60 W befindet. Alle abgelesenen Messwerte der Messgeräte sind in folgender Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Abgelesene Werte bei symmetrischer Belastung in Dreiecksschaltung

$I_i \dots$ gemessener Strom am i-ten Strang in A

$I_{31} \dots$ gemessener Strom zwischen Sternpunkt und Neutralleiter in A

$U_{ij} \dots$ gemessene Spannung zwischen den Strängen i und j in V

$P_i^M \dots$ gemessene Wirkleistungen in W (für genaue Bezeichnung siehe Abbildung 2)

I_1 / A	I_2 / A	I_3 / A	I_{31} / A
$0,460 \pm 0,014$	$0,480 \pm 0,014$	$0,470 \pm 0,014$	$0,264 \pm 0,008$

U_{12} / V	U_{23} / V	U_{31} / V	P_1^M / W	P_2^M / W
390 ± 8	390 ± 8	395 ± 8	163 ± 4	168 ± 4

5.3 Symmetrische Last in Sternschaltung

Nun wird die Schaltung insofern modifiziert, dass nun eine Sternschaltung vorliegt, wie in Abbildung 4 sichtbar.

Der besseren Übersicht halber, sind alle abgelesenen Werte der Messgeräte für die Sternschaltung in folgender Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4: Abgelesene Werte bei Sternschaltung

1. Zeile ... symmetrische Belastung
 2. Zeile ... asymmetrische Belastung
 3. Zeile ... asymmetrische Belastung mit simulierten Kabelbruch
- I_i ... gemessener Strom am i-ten Strang in A
 I_{31} ... gemessener Strom zwischen Sternpunkt und Neutralleiter in A
 U_i ... gemessene Spannung am i-ten Strang in V
 P_i^M ... gemessene Wirkleistungen in W (für genaue Bezeichnung siehe Abbildung 4)

I_1 / A	I_2 / A	I_3 / A	I_{31} / A
$0,218 \pm 0,006$	$0,220 \pm 0,006$	$0,226 \pm 0,006$	$0,0111 \pm 0,0005$
$0,270 \pm 0,014$	$0,255 \pm 0,014$	$0,172 \pm 0,006$	$0,092 \pm 0,005$
$0,255 \pm 0,014$	$0,253 \pm 0,014$	$0,184 \pm 0,006$	-

U_1 / V	U_2 / V	U_3 / V	P_1^M / W	P_2^M / W	P_3^M / W
228 ± 4	228 ± 4	224 ± 6	$73,0 \pm 0,8$	$70,0 \pm 1,6$	-
230 ± 4	230 ± 4	224 ± 6	$19,5 \pm 0,2$	$82,0 \pm 1,6$	$55,0 \pm 1,6$
202 ± 4	225 ± 4	261 ± 7	$16,00 \pm 0,16$	$88,0 \pm 1,6$	$58,0 \pm 1,6$

5.4 Asymmetrische Last in Sternschaltung

Nun werden die einzelnen Stränge verschieden stark beansprucht, indem die Glühlampen asymmetrisch auf die Stränge verteilt werden. Dabei wird, wie bereits in Abschnitt 3 angeführt, folgende Konfiguration verwirklicht:

- L_1 ... 1 x 60 W
- L_2 ... 2 x 75 W
- L_3 ... 1 x 75 W und 2 x 60 W

Alle abgelesenen Werte der Messgeräte sind, wie bereits erwähnt, in folgender Tabelle 4 in der 2. Zeile angefügt.

5.5 Asymmetrische Last in Sternschaltung und simulierten Kabelbruch

Um nun einen Kabelbruch zu simulieren, wird die Verbindung des Neutralleiters unterbrochen. Zusätzlich wird nun auch der Spannungsabfall an jener Stelle gemessen, indem das entsprechende Multimeter als Spannungsmessgerät umfunktioniert wird. Die so abgelesenen Werte der Messgeräte sind in folgender ?? in der 3. Zeile aufgelistet.

5.6 Wirkleistungsmessung

Um die Wirkleistung eines realen Verbrauchers zu bestimmen, werden auch Kapazitäten und Induktivitäten, wie in Abbildung 7 sichtbar, in die Schaltung integriert.

Es sind, der besseren Übersicht halber, wieder alle erhaltenen Werte für die nächsten Aufgaben in Tabelle 5 aufgelistet. Die gemessenen Werte der realen Verbraucher sind dabei in der 1. Zeile sichtbar.

Tabelle 5: Abgelesene Werte für die Bestimmung der Wirkleistung

1. Zeile ... Wirkleistung eines realen Verbrauchers
 2. Zeile ... Wirkleistung eines realen Verbrauchers mit vertauschten Außenleitern
 3. Zeile ... Wirkleistung bei modifizierter Schaltung
 4. Zeile ... Blindleistung eines realen Verbrauchers
 5. Zeile ... Blindleistung eines realen Verbrauchers mit vertauschten Außenleitern
 6. Zeile ... Blindleistung bei modifizierter Schaltung
- I_i ... gemessener Strom am i-ten Strang in A
 I_{31} ... gemessener Strom zwischen Sternpunkt und Neutralleiter in A
 U_i ... gemessene Spannung am i-ten Strang in V
 P_i^M ... gemessene Wirkleistungen am i-ten Strang in W

I_1 / A	I_2 / A	I_3 / A	I_{31} / A	U_1 / V	U_{R2} / V
$1,54 \pm 0,06$	$0,328 \pm 0,014$	$1,50 \pm 0,06$	$1,53 \pm 0,04$	229 ± 4	212 ± 4
$1,56 \pm 0,06$	$0,330 \pm 0,014$	$1,49 \pm 0,06$	$0,98 \pm 0,03$	230 ± 4	213 ± 4
$1,56 \pm 0,06$	$1,53 \pm 0,06$	$0,78 \pm 0,03$	$1,15 \pm 0,03$	230 ± 4	217 ± 4
$1,56 \pm 0,06$	$0,338 \pm 0,014$	$1,50 \pm 0,06$	$1,53 \pm 0,04$	230 ± 4	213 ± 4
$1,56 \pm 0,06$	$0,335 \pm 0,014$	$1,50 \pm 0,06$	$0,98 \pm 0,03$	230 ± 4	213 ± 4
$1,56 \pm 0,06$	$1,52 \pm 0,06$	$0,78 \pm 0,03$	$1,14 \pm 0,03$	230 ± 4	217 ± 4

U_C / V	U_{R3} / V	U_L / V	P_1^M / W	P_2^M / W	P_3^M / W
$84,0 \pm 1,6$	215 ± 6	76 ± 1	370 ± 4	$69,0 \pm 1,6$	345 ± 7
$84,5 \pm 1,6$	214 ± 6	$46,1 \pm 0,7$	375 ± 4	$70,0 \pm 1,6$	340 ± 7
$53,0 \pm 1,6$	201 ± 6	$109,1 \pm 1,2$	375 ± 4	345 ± 7	$86,0 \pm 1,6$
$84,5 \pm 1,6$	215 ± 6	$46,2 \pm 0,7$	$0,500 \pm 0,005$	$48,0 \pm 1,6$	$116,0 \pm 1,6$
$84,5 \pm 1,6$	214 ± 6	$46,0 \pm 0,7$	$0,500 \pm 0,005$	$49,0 \pm 1,6$	124 ± 4
$53,0 \pm 1,6$	201 ± 6	$108,8 \pm 1,2$	$1,000 \pm 0,010$	140 ± 4	270 ± 7

Nun werden die Außenleiter L_2 und L_3 vertauscht, wodurch die Werte, aus der 2.Zeile der Tabelle 5 entstehen.

Im Rahmen der Bonusaufgabe wird die Schaltung leicht modifiziert, wie bereits in Abschnitt 3 angeführt. Dabei ist darauf zu achten, dass am 2. Strang eine Parallelschaltung von Kapazität und Induktivität vorliegt.

Alle abgelesenen Werte der Messgeräte sind in der 3. Zeile in Tabelle 5 aufgelistet.

5.7 Blindleistungsmessung

Um die Blindleistung der Schaltung messbar zu machen, müssen die parallelen Verbindungen der Powermeter, nach Abbildung 9 umgebaut werden.

Alle abgelesenen Werte der Messgeräte sind in der 4. Zeile in Tabelle 5 aufgelistet.

Nun werden die Außenleiter L_2 und L_3 erneut vertauscht, wodurch die Werte aus Zeile 5, aus Tabelle 5 entstehen.

Im Rahmen der Bonusaufgabe wird auch die leicht modifizierte Schaltung mit der Parallelschaltung von Kapazität und Induktivität am 2. Strang aufgebaut.

Alle abgelesenen Werte der Messgeräte sind in der 6. Zeile von Tabelle 5 aufgelistet.

5.8 Bau eines rudimentärern Asynchron-Drehstrommotors

Beim Bau des Drehstrommotors ist darauf zu achten, dass die Spulen richtig in den Stromkreis geschlossen sind, sodass die maximale Drehzahl erreicht werden kann. Auch die Abstände der Eisenkerne sind durch Probieren so einzustellen, dass ein möglichst ruhiger Umlauf der Metallscheibe garantiert wird und sind nicht bei allen 3 Spulen gleich, da diese bezüglich der Anzahl an Wicklungen und Drahtdicke leicht verschieden sind.

Die Anzahl der Umdrehungen wird dabei mithilfe eines digitalen Zählers bestimmt, der anhand eines Laserstrahls die Markierung auf der Metallscheibe wahrnimmt. Die maximale Drehzahl, die mithilfe des Aufbaus realisiert werden konnte war 1691 Umdrehungen.

6 Auswertung

6.1 ohmsche Last in Wechselstromkreis

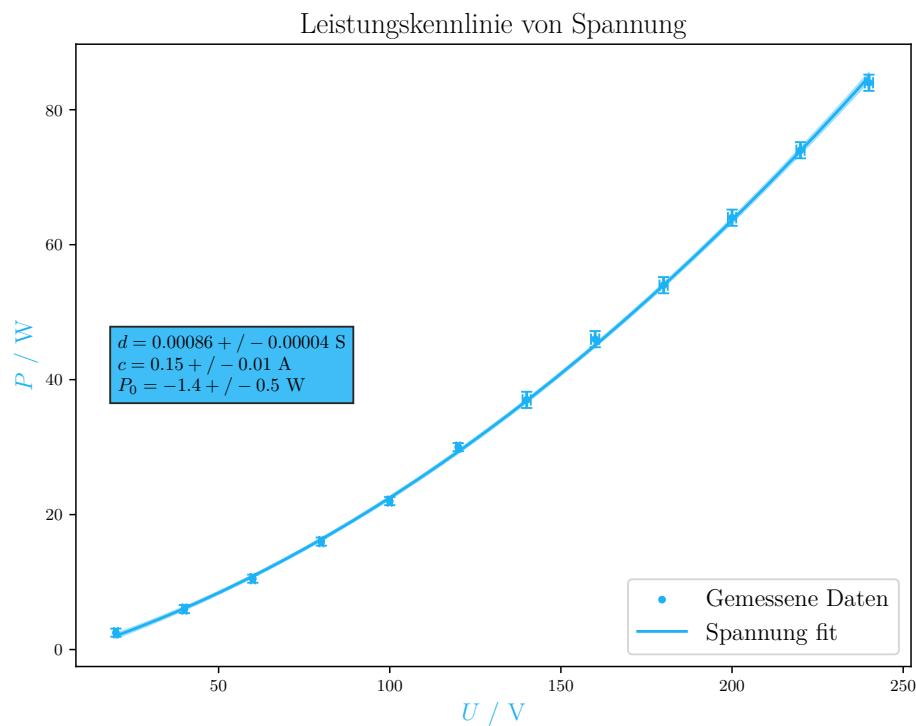


Abbildung 11: Aufgezeichnetes Gammaspektrum der ^{226}Ra Quelle und dessen Zerfallsprodukten, mit ausgemessen und markierten Energiepeaks.

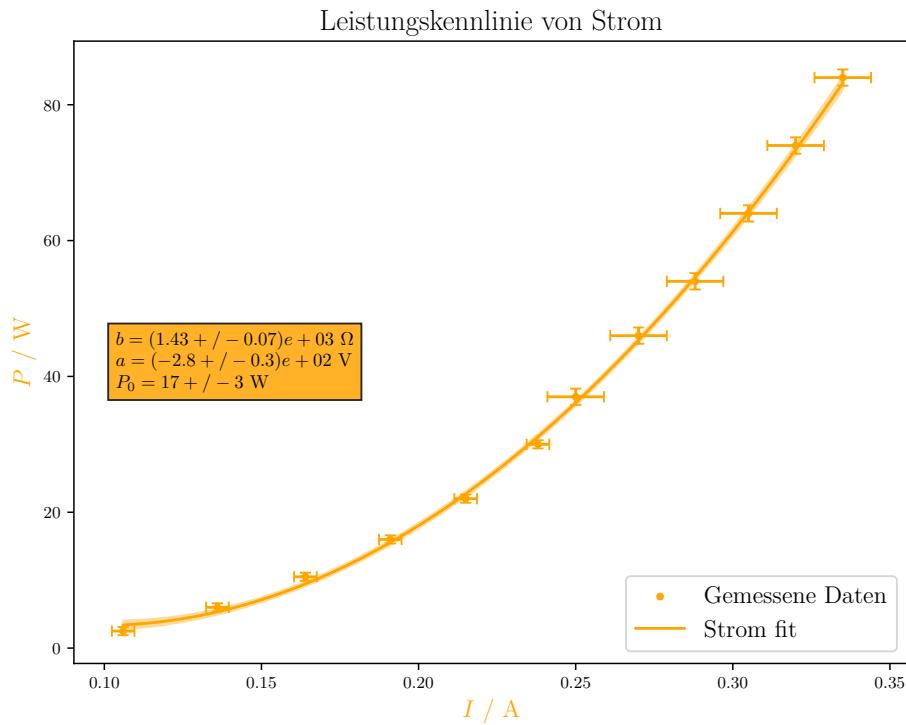


Abbildung 12: Hey

6.2 Symmetrische Last in Dreieckschaltung

Tabelle 6: Stuffing

P_1^C / W	P_2^C / W	P_3^C / W	P_{ges}^C / W	P_{ges}^M / W
104 ± 12	109 ± 12	104 ± 6	$(3,2 \pm 0,3) \cdot 10^2$	331 ± 7

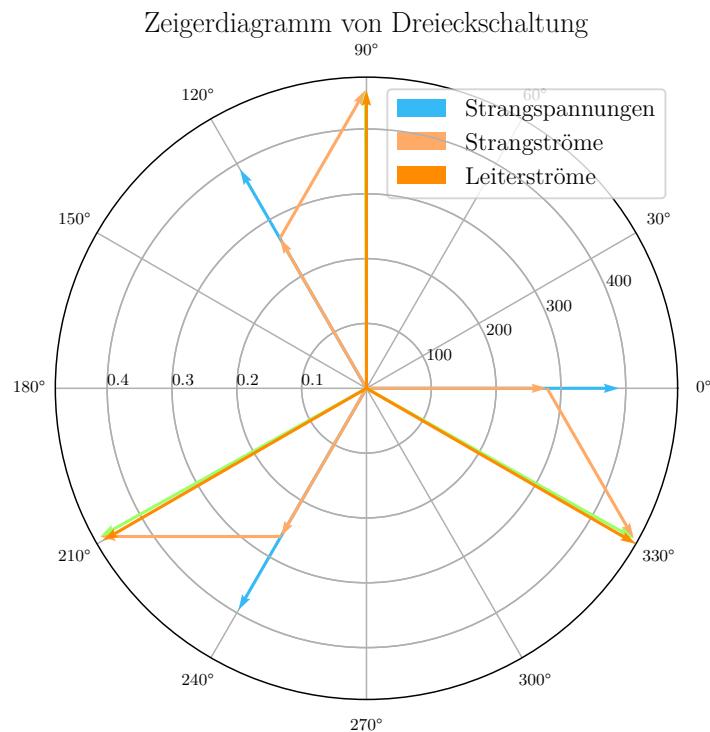


Abbildung 13: Hey

6.3 Sternschaltungen

Tabelle 7: Stuffing

P_1^C / W	P_2^C / W	P_3^C / W	P_{ges}^C / W	P_{ges}^M / W
50 ± 2	50 ± 2	51 ± 3	150 ± 7	143 ± 3
62 ± 5	59 ± 5	39 ± 3	159 ± 11	156 ± 4
52 ± 4	57 ± 4	48 ± 3	156 ± 11	162 ± 4

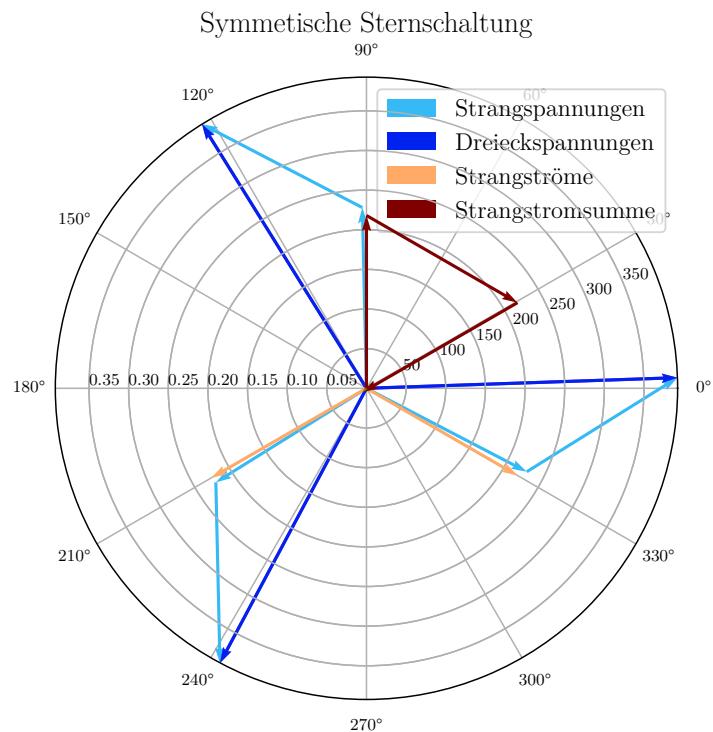


Abbildung 14: Hey

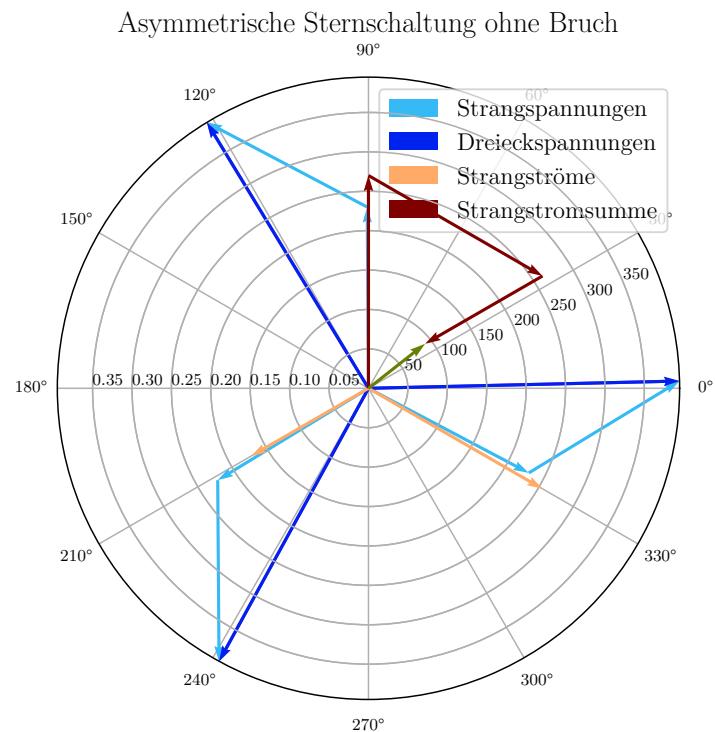


Abbildung 15: Hey

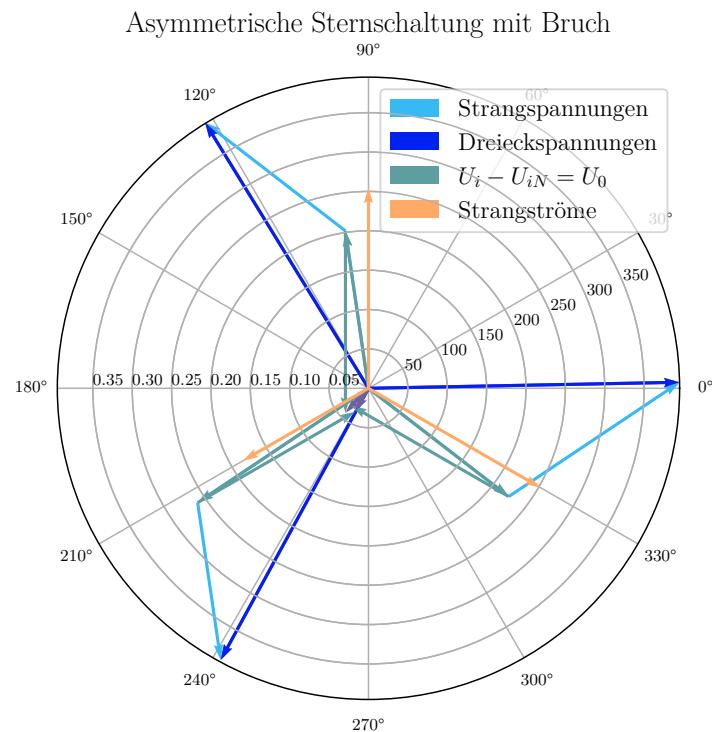


Abbildung 16: Hey

6.4 Wirk- und Blindleistungsmessung bei allgemeiner Last im Dreiphasennetz

text

Tabelle 8: Errechnete Werte für die Wirk- und Scheinleistungen, sowie gegenüberstellung mit dem gemessenen Wert bei allgemeiner Last, jeweils pro Block:

1. Zeile ... entsprechende Parameter bei Versuchsaufbau nach Abbildung 7

2. Zeile ... entsprechende Parameter bei Versuchsaufbau mit vertauschten Außenleitern

3. Zeile ... entsprechende Parameter bei Versuchsaufbau bei modifizierter Schaltung

P_i^C ... Errechnete Wirkleistung am i-ten Strang in W (im 1. Block aus den gemessenen Werten der Wirkleistung, im 4. Block aus den gemessenen Werten der Scheinleistung)

P_i^M ... Gemessene Wirkleistung am i-ten Strang in W

P_{ges}^C ... Errechnete gesamte Wirkleistung in W

P_{ges}^M ... Gemessene gesamte Wirkleistung in W

Q_i^C ... Errechnete Scheinleistung am i-ten Strang in W (im 2. Block aus den gemessenen Werten der Scheinleistung, im 3. Block aus den gemessenen Werten der Wirkleistung)

Q_i^M ... Gemessene Scheinleistung am i-ten Strang in W

Q_{ges}^C ... Errechnete gesamte Scheinleistung in W

Q_{ges}^M ... Gemessene gesamte Scheinleistung in W

P_1^C / W	P_1^M / W	P_2^C / W	P_2^M / W	P_3^C / W	P_3^M / W
353 ± 18	370 ± 4	69 ± 5	$69,0 \pm 1,6$	$(3,2 \pm 0,3) \cdot 10^2$	345 ± 7
359 ± 18	375 ± 4	70 ± 5	$70,0 \pm 1,6$	$(3,2 \pm 0,3) \cdot 10^2$	340 ± 7
359 ± 18	375 ± 4	332 ± 18	345 ± 7	$(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^2$	$86,0 \pm 1,6$
Q_1^C / var	Q_1^M / var	Q_2^C / var	Q_2^M / var	Q_3^C / var	Q_3^M / var
0,0	$1,443 \pm 0,015$	$28,5 \pm 1,8$	28 ± 1	69 ± 4	67 ± 1
0,0	$1,443 \pm 0,015$	$28,3 \pm 1,8$	28 ± 1	69 ± 4	$71,6 \pm 1,9$
0,0	$2,89 \pm 0,03$	81 ± 6	$80,8 \pm 1,9$	84 ± 4	156 ± 4
Q_1^C / var	Q_2^C / var	Q_3^C / var	Q_{ges}^C / var	P_{ges}^C / W	P_{ges}^M / W
0,0	$27,5 \pm 1,7$	114 ± 6	142 ± 8	$(7,4 \pm 0,5) \cdot 10^2$	784 ± 12
0,0	$27,9 \pm 1,8$	69 ± 4	97 ± 6	$(7,5 \pm 0,5) \cdot 10^2$	785 ± 12
0,0	81 ± 6	85 ± 4	$(1,7 \pm 0,1) \cdot 10^2$	$(8,5 \pm 0,5) \cdot 10^2$	806 ± 12
P_1^C / W	P_2^C / W	P_3^C / W	P_{ges}^C / W	Q_{ges}^C / var	Q_{ges}^M / var
359 ± 18	72 ± 5	$(3,2 \pm 0,3) \cdot 10^2$	$(7,5 \pm 0,5) \cdot 10^2$	98 ± 6	$96,1 \pm 1,9$
359 ± 18	71 ± 5	$(3,2 \pm 0,3) \cdot 10^2$	$(7,5 \pm 0,5) \cdot 10^2$	97 ± 6	101 ± 3
359 ± 18	330 ± 18	$(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^2$	$(8,4 \pm 0,5) \cdot 10^2$	$(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^2$	240 ± 6

6.5 Bau eines rudimentärern Asynchron-Drehstrommotors

7 Diskussion

7.1 ohmsche Last in Wechselstromkreis

7.2 Symmetrische Last in Dreieckschaltung

7.3 Symmetrische Last in Sternschaltung

7.4 Asymmetrische Last in Sternschaltung

7.5 Asymmetrische Last in Sternschaltung und simulierten Kabelbruch

7.6 Wirkleistungsmessung

7.7 Blindleistungsmessung

7.8 Bau eines rudimentärern Asynchron-Drehstrommotors

Nach Absprache mit dem Betreuer war der bisherige Rekord für die maximale Drehzahl bisher 680 Umdrehungen pro Minute, was mit unserem Ergebnis von 1691 beachtlich gesteigert werden konnte. Dies wurde vor allem durch feine Anpassungen der Eisenkerne und auch eine Schmierung der Metallscheibe durch Seife erreicht.

8 Zusammenfassung

8.1 ohmsche Last in Wechselstromkreis

8.2 Symmetrische Last in Dreieckschaltung

8.3 Sternschaltungen

8.4 Asymmetrische Last in Sternschaltung

**8.5 Asymmetrische Last in Sternschaltung und simulierten
Kabelbruch**

8.6 Wirkleistungsmessung

8.7 Blindleistungsmessung

8.8 Bau eines rudimentären Asynchron-Drehstrommotors

Abbildungsverzeichnis

1	Realer Versuchsaufbau für die Messung einer ohmschen Last	5
2	Schaltplan für die Messung der Wirkleistung mit Aronschaltung für symmetrische Verbraucher in Dreiecksschaltung	6
3	Realer Versuchsaufbau für die Messung der Wirkleistung mit Aronschaltung für symmetrische Verbraucher in Dreiecksschaltung	7
4	Schaltplan für die Messung der Wirkleistung mit Aronschaltung für symmetrische Verbraucher in Sternschaltung	8
5	Realer Versuchsaufbau für die Messung der Wirkleistung mit Aronschaltung für symmetrische Verbraucher in Sternschaltung	9
6	Entsprechende Konfiguration für eine asymmetrische Verteilung der Last	10
7	Schaltplan für die Messung der Wirkleistung für allgemeine Verbraucher in Sternschaltung	11
8	Realer Versuchsaufbau für die Messung der Wirkleistung für allgemeine Verbraucher in Sternschaltung	12
9	Schaltplan für die Messung der Blindleistung für allgemeine Verbraucher in Sternschaltung	13
10	Drehzahlmessung des rudimentären Asynchron-Drehstrommotors . . .	14
11	Energiespektrum der γ -Strahlung einer ^{226}Ra Probe	22
12	Stromabhängige Leistungskurve einer Glühbirne	23
13	Stromabhängige Leistungskurve einer Glühbirne	24
14	Stromabhängige Leistungskurve einer Glühbirne	25
15	Stromabhängige Leistungskurve einer Glühbirne	26
16	Stromabhängige Leistungskurve einer Glühbirne	27

Tabellenverzeichnis

1	Verwendete Geräte	15
2	Gemessene Werte bei der Variation der ohmschen Last	16
3	Abgelesene Werte bei symmetrischer Belastung in Dreiecksschaltung .	17
4	Abgelesene Werte bei Sternschaltung	18
5	Abgelesene Werte für die Bestimmung der Wirkleistung	20
6	Stuffing	23
7	Stuffing	24
8	Errechnete Werte für die Wirk- und Scheinleistungen bei allgemeiner Last	28