



University of Applied Sciences

**HOCHSCHULE  
EMDEN·LEER**



**Labor**

Grundlagen der Elektrotechnik

FB Technik, Abteilung Elektrotechnik und Informatik

## **Praktikum Grundlagen der Elektrotechnik B**

### **Versuch B-2**

#### **Drehstromnetz**

Name, Vorname: <b>Alsaady, Yaman</b>	Matrikel-Nr.: <b>7023554</b>	<b>Gruppe: A2a</b>
<b>Schmidt, Oliver</b>	<b>7023462</b>	<b>WS / SS</b>

<b>Vorbereitung:</b>	<b>Durchführung:</b>	<b>Rücksprachen / Nachbesserungen:</b>
<b>Testat:</b>		

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>II</b>
<b>2 Vorbereitung</b>	<b>1</b>
<b>3 Messungen und Auswertung</b>	<b>8</b>
3.1 Welche Netzform hat das 400-V-Drehstromnetz? . . . . .	8
3.2 Fehlerstromschutzschalter zum Personenschutz . . . . .	8
3.3 Symmetrische Drehstromlast ohne/mit Kompensation . . . . .	9
3.4 Unsymmetrische Drehstromlast . . . . .	14
<b>4 Auswertung</b>	<b>19</b>
4.1 Symmetrische Drehstromlast . . . . .	19
4.2 Unsymmetrische Drehstromlast . . . . .	20

## Abbildungsverzeichnis

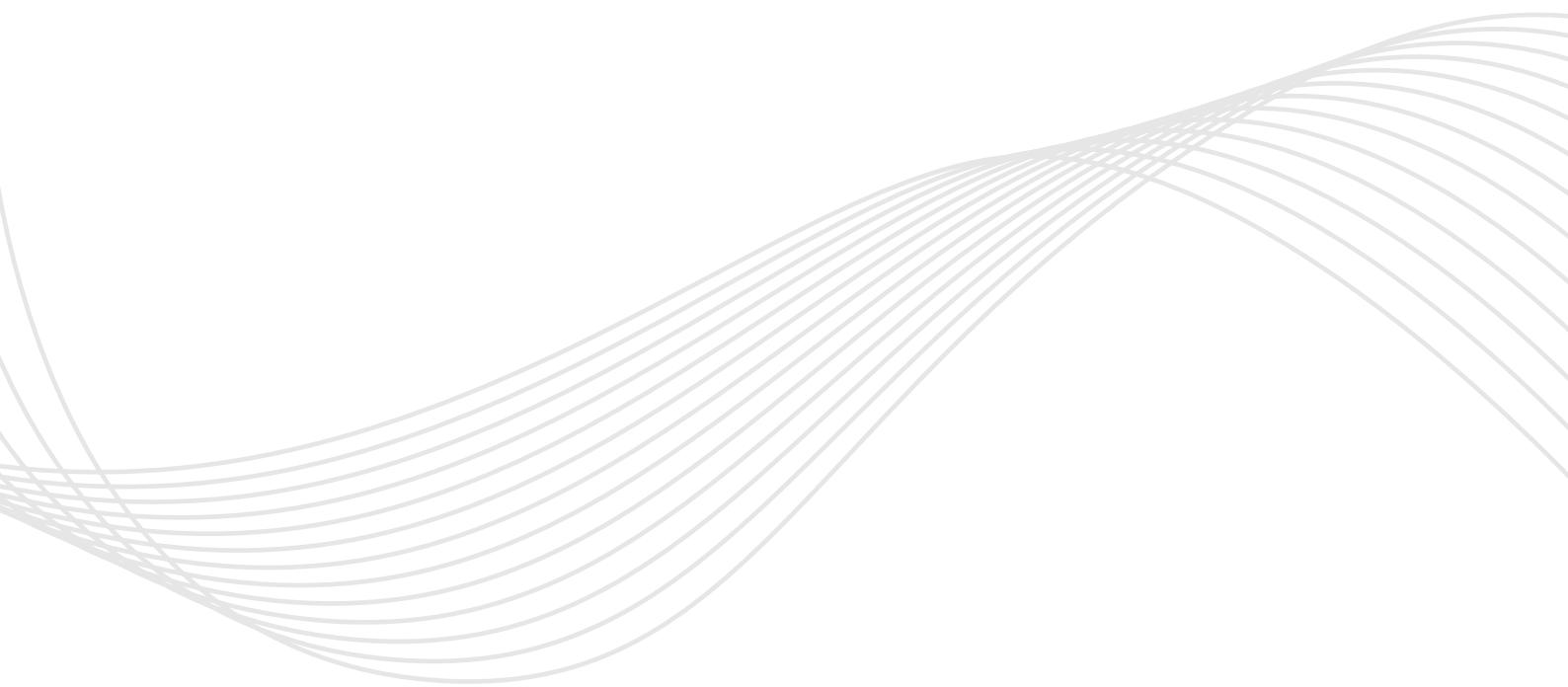
1 Netzmodell am Versuchstisch . . . . .	1
2 Skizze Messung, um Netzform zuermitteln . . . . .	1
3 FI-Schutzschalter und FI-Tester . . . . .	2
4 Fehlerstrommessung am FI-Schutzschalter mit FI-Tester und Multimetern . . . . .	2
5 Aufgabe e) $I_1$ , $I_2$ , $I_3$ und $I_N$ . . . . .	5
6 Zeigerdiagramm der Spannungen $U_{1K}$ , $U_{2K}$ und $U_{3K}$ . . . . .	7
7 Last a mit und ohne angeschlossenen Neutralleiter (Gruppe XXa) . . . . .	7
8 Oszillogramm von $u_1$ mit $i_1$ - Symmetrische Drehstromlast ohne Kompensation . . . . .	9
9 Skizze der Messschaltung - Symmetrische Drehstromlast ohne Kompensation . . . . .	10
10 Oszillogramm von $i_N$ - Verbindung zwischen Neutralleiter und Sternpunkt . . . . .	11
11 Skizze zur Kompensation - Symmetrischen Drehstromlast in Dreieckschaltung . . . . .	13
12 Oszillogramm von $u_N$ und $i_N$ - Symmetrischen Drehstromlast in Dreieckschaltung . . . . .	13
13 Skizze zur Kompensation - Symmetrischen Drehstromlast in Sternschaltung . . . . .	14
14 Oszillogramm von $u_N$ und $i_N$ - Symmetrischen Drehstromlast in Sternschaltung . . . . .	14
15 Oszillogramm von $u_1$ mit $u_{KN}$ - Unsymmetrische Drehstromlast mit Neutralleiter . . . . .	15
16 Oszillogramm von $u_1$ mit $i_N$ - Unsymmetrische Drehstromlast mit Neutralleiter . . . . .	15
17 Skizze der Spannungen - Unsymmetrische Drehstromlast mit Neutralleiter . . . . .	16
18 Oszillogramm von $u_1$ mit $u_{KN}$ - Unsymmetrische Drehstromlast Ohne Neutralleiter . . . . .	17
19 Oszillogramm von $u_1$ mit $i_N$ - Unsymmetrische Drehstromlast Ohne Neutralleiter . . . . .	17
20 Skizze der Spannungen - Unsymmetrische Drehstromlast Ohne Neutralleiter . . . . .	18
21 Skizze der Spannungen - Symmetrische Drehstromlast ohne Kompensation . . . . .	19
22 Skizze der Ströme - Symmetrische Drehstromlast ohne Kompensation . . . . .	20

## Tabellenverzeichnis

1 Messwerte - Auslösestrom eines FI-Schutzschalters . . . . .	8
2 Messwerte - Abschaltzeit eines FI-Schutzschalters . . . . .	9

---

3	Messwerte - Komplexen Effektivwerte der Spannungen und Ströme . . . . .	9
4	Messwerte - Komplexe Impedanzen . . . . .	12
5	Komplexen Effektivwerte der Spannungen und Ströme - Unsymmetrische Drehstromlast mit Neutralleiter . . . . .	15
6	Komplexen Effektivwerte der Spannungen und Ströme - Unsymmetrische Drehstromlast Ohne Neutralleiter . . . . .	16
7	Vergleich die gemessenen Werten unter 3.4 (a) mit den errechneten Messwerten . . .	20
8	Vergleich die gemessenen Werten unter 3.4 (b) mit den errechneten Messwerten . .	21



## 2 Vorbereitung

Die Versuchsvorbereitung ist Bestandteil des Versuchs. Sie erhalten dafür ein gesondertes Testat.

Ohne testierte Vorbereitung können Sie den Versuch nicht durchführen.

- a) Für die Versuchsdurchführung verwenden Sie das im Labortisch eingebaute Netzmodell nach Abbildung 1. Skizzieren Sie eine Schaltung zur Bestimmung der Netzform (siehe Aufgabe 3.1)

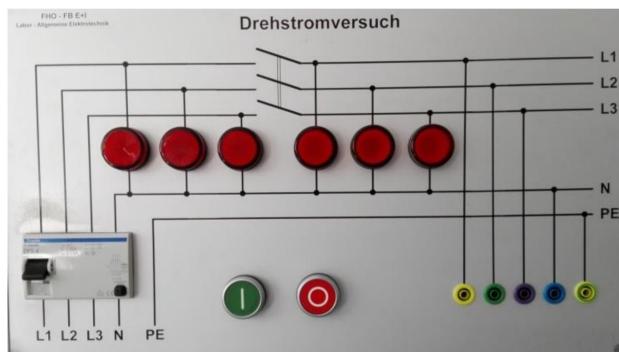


Abbildung 1: Netzmodell am Versuchstisch

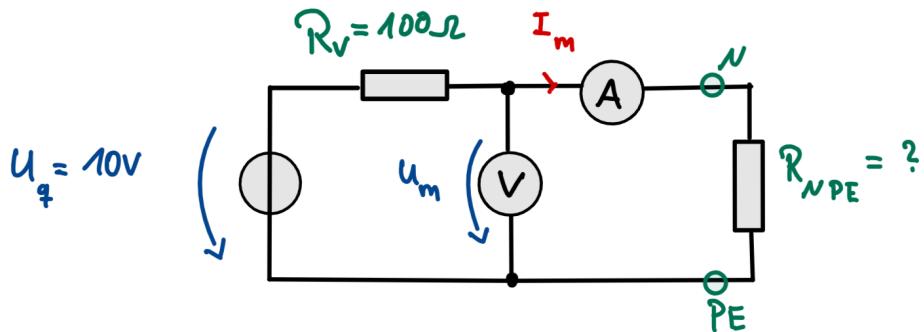


Abbildung 2: Skizze Messung, um Netzform zu ermitteln

Um die Netzform zu bestimmen, ist die Messung des Innenwiderstands zwischen den Leitern N (Neutralleiter) und PE (Schutzleiter) erforderlich. Im vorliegenden Fall gehen wir davon aus, dass es sich um ein TN-C-S-Netz handelt, bei dem der Neutralleiter und der Schutzleiter miteinander verbunden sind und somit einen gemeinsamen PEN-Leiter bilden. Daher sollten sowohl der Neutralleiter als auch der Schutzleiter einen messbaren Innenwiderstand aufweisen. Diesen Innenwiderstand bestimmen wir mithilfe einer Spannungsfehlerschaltung.

- b) Skizzieren Sie eine Schaltung zur Bestimmung des Fehlerstromes des FI-Schutzschalters mit Hilfe des FI-Testers aus Abbildung 3 und Multimetern zur Strom- bzw. Spannungsmessung.

Der FI-Tester wird an einen Außenleiter, den Neutralleiter und die Erde angeschlossen. Im Tester sind drei Widerstände in Reihe geschaltet, die über drei Anschlusspunkte verfügen.

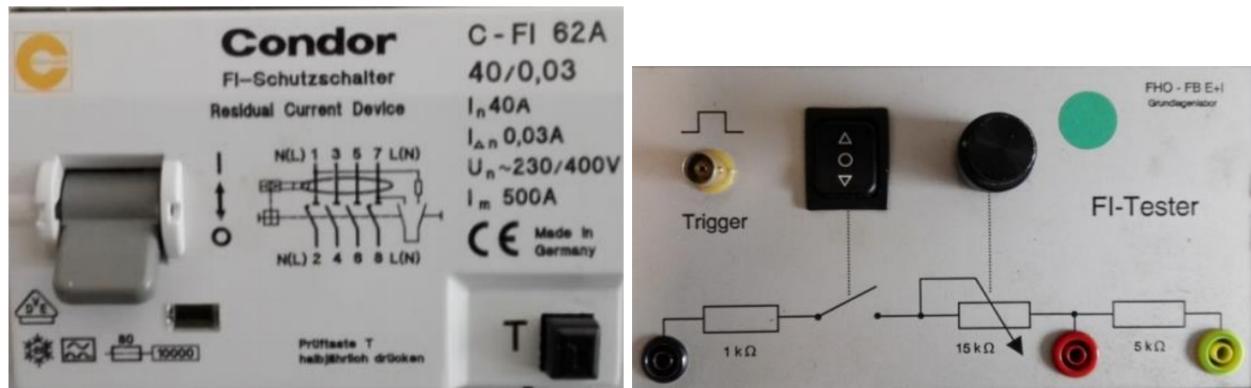


Abbildung 3: FI-Schutzschalter und FI-Tester

Der Lastwiderstand und der variable Widerstand werden zwischen dem Neutralleiter und L1 angeschlossen, während der Fehler-Widerstand parallel dazu geschaltet ist.

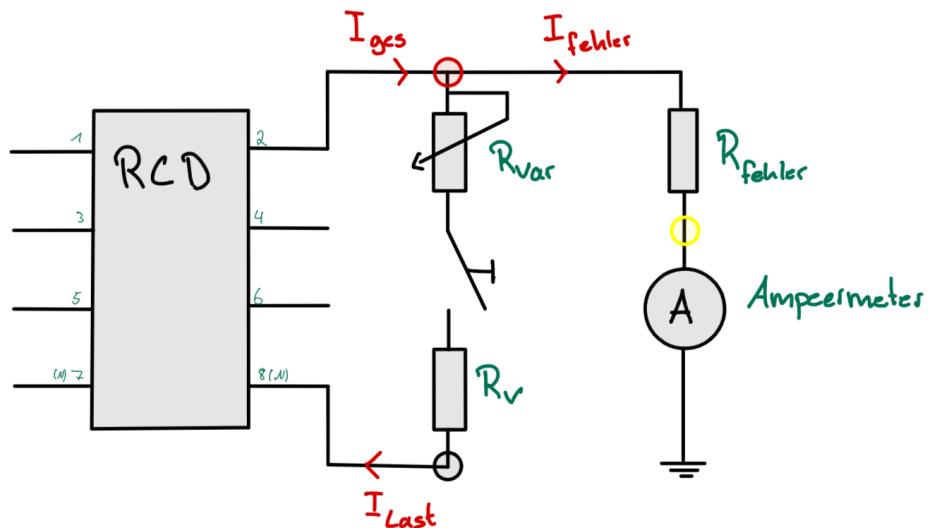


Abbildung 4: Fehlerstrommessung am FI-Schutzschalter mit FI-Tester und Multimetern

Das Hauptziel besteht darin, den FI-Schutzschalter auszulösen, sobald ein Differenzstrom von mehr als 30 mA auftritt. Aus diesem Grund muss der Wert des variablen Widerstands, der anfänglich bei 15k Ohm liegt, schrittweise verringert werden, bis der FI-Schalter auslöst.

- c) An einem Vierleiter-Drehstromnetz ist eine symmetrische ohmsch-induktive Last (Reihenschaltung von Induktivität und Widerstand) in Sternschaltung angeschlossen. Bestimmen Sie formelmäßig die nötige Kapazität in Parallelschaltung (Sternschaltung), um eine vollständige Kompensation ( $\cos \varphi = 1$ ) zu erreichen.

$$\begin{aligned}
 \underline{Y} &= \frac{1}{(R + j\omega L)} + j\omega C \\
 \underline{Y} &= \frac{1 + j\omega C(R + j\omega L)}{R + j\omega L} \\
 \underline{Y} &= \frac{1 - \omega^2 LC + j\omega CR}{R + j\omega L} \\
 \underline{Y} &= \frac{(1 - \omega^2 LC + j\omega CR) \cdot (R + j\omega L)}{R^2 + (\omega L)^2} \\
 \underline{Y} &= \frac{R - \omega^2 RLC - \omega^3 RLC}{R^2 + (\omega L)^2} + j \frac{\omega L - \omega^3 CL^2 + \omega CR^2}{R^2 + (\omega L)^2} \\
 \underline{Y}_{komp} &= \operatorname{Re}\{\underline{Y}\} = \frac{R - \omega^2 RLC - \omega^3 RLC}{R^2 + (\omega L)^2} \\
 &\Rightarrow \operatorname{Im}\{\underline{Y}\} = 0 \\
 \omega L - \omega^3 CL^2 + \omega CR^2 &= 0 \\
 C \cdot (\omega^3 L^2 + \omega R^2) - \omega L &= 0 \\
 C &= \frac{\omega L}{\omega^3 L^2 + \omega R^2} \\
 C_Y &= \frac{L}{\omega^2 L^2 + R^2}
 \end{aligned}$$

- d) Bestimmen Sie formelmäßig die nötige Kapazität, wenn die Kondensatoren in Dreieck verschaltet sind.

$$\begin{aligned}
 C_Y &= \frac{L}{\omega^2 L^2 + R^2} \\
 C_\Delta &= \frac{1}{3} \cdot C_Y \\
 C_\Delta &= \frac{1}{3} \cdot \frac{L}{\omega^2 L^2 + R^2}
 \end{aligned}$$

- e) An einem Vierleiter-Drehstromnetz mit der konstanten Außenleiterspannung  $U = 380 \text{ V}$  sind nach Abbildung 7 unsymmetrische Lasten angeschlossen. Bestimmen Sie rechnerisch und grafisch den Strom im Nullleiter, legen Sie dazu  $\underline{U}_1$  in die reelle Achse,  $f = 50 \text{ Hz}$ !

In einer Sternschaltung müssen wir die Außenleiterspannung in die Strangspannung umrechnen, da die Spannung über die Widerstände aufgeteilt wird und zudem eine Phasenverschiebung von 120 Grad zwischen den jeweiligen Spannungen besteht.

$$U_{Str} = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

$$U_{Str} = \frac{380 \text{ V}}{\sqrt{3}}$$

$$U_{Str} = 219,39 \text{ V}$$

$$U_{1N} = 220 \text{ V} e^{j0^\circ} \quad U_{2N} = 220 \text{ V} e^{-j120^\circ} \quad U_{3N} = 220 \text{ V} e^{j120^\circ}$$

Die einzelnen komplexen Widerstände werden berechnet, um die Strangstromstärken zu ermitteln.

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 = 1,47 \text{ k}\Omega + j2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 1,5 \text{ H} = 1,54 \text{ k}\Omega e^{j17,77^\circ}$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 = 2 \text{ k}\Omega = 2 \text{ k}\Omega e^{j0^\circ}$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 + \frac{1}{j\omega C_3} = 2,18 \text{ k}\Omega + \frac{1}{j2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 2 \mu\text{F}} = 2,67 \text{ k}\Omega e^{-j36,13^\circ}$$

Die zuvor ermittelten Werte werden jetzt genutzt, um die Strangstrome zu berechnen.

$$I_1 = \frac{U_{1N}}{\underline{z}_1} = \frac{219,4 \text{ V} e^{j0^\circ}}{1,54 \text{ k}\Omega e^{j17,77^\circ}} = 0,14 \text{ A} e^{-j17,77^\circ}$$

$$I_2 = \frac{U_{2N}}{\underline{z}_2} = \frac{219,4 \text{ V} e^{-j120^\circ}}{4 \text{ k}\Omega e^{j0^\circ}} = 0,109 \text{ A} e^{-j120^\circ}$$

$$I_3 = \frac{U_{3N}}{\underline{z}_3} = \frac{219,4 \text{ V} e^{j120^\circ}}{2,67 \text{ k}\Omega e^{-j36,13^\circ}} = 0,081 \text{ A} e^{j156,13^\circ}$$

$$\sum I = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 + \underline{I}_N = 0$$

$$\Rightarrow \underline{I}_N = -(\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3)$$

$$\underline{I}_N = -(0,14 \text{ A} e^{-j17,77^\circ} + 0,109 \text{ A} e^{-j120^\circ} + 0,081 \text{ A} e^{j156,13^\circ})$$

$$\underline{I}_N = -(0,105 \text{ A} e^{-87,42^\circ}) = 0,105 \text{ A} e^{92,58^\circ}$$

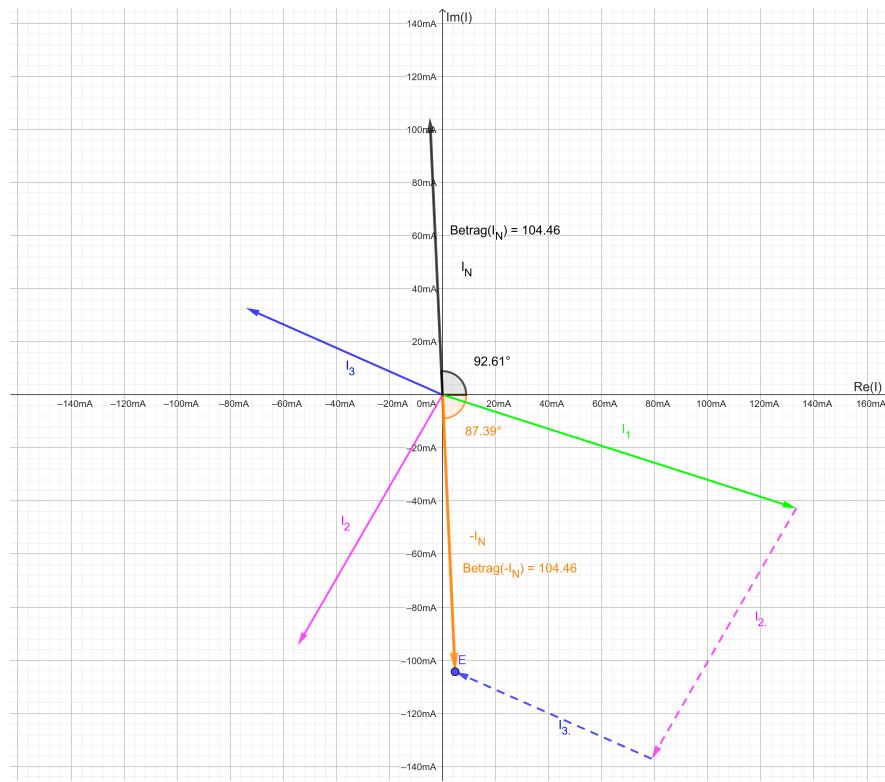


Abbildung 5: Aufgabe e)  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  und  $I_N$

- f) Bestimmen Sie nun für dieselbe Last alle Ströme und Spannungen ohne angeschlossenen Neutralleiter. Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm der Spannungen  $\underline{U_{1K}}$ ,  $\underline{U_{2K}}$  und  $\underline{U_{3K}}$ .

**Leitfähigkeit:**

$$\begin{aligned} \underline{Y_1} &= \frac{1}{R_1 + j\omega L_1} = \frac{1}{1,47 \text{ k}\Omega + j2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 1,5 \text{ H}} = 0,617 \text{ mS} - j0,198 \text{ mS} \\ \underline{Y_2} &= \frac{1}{R_2} = \frac{1}{2 \text{ k}\Omega} = 0,5 \text{ mS} \\ \underline{Y_3} &= \frac{1}{R_3 - j\frac{1}{j\omega C_3}} = \frac{1}{2,18 \text{ k}\Omega - j\frac{1}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 2 \mu F}} = 0,299 \text{ mS} + j0,218 \text{ mS} \\ \underline{Y} &= \underline{Y_1} + \underline{Y_2} + \underline{Y_3} = 1,416 \text{ mS} + j0,02 \text{ mS} = 1,416 \text{ mS} \cdot e^{j0,81^\circ} \end{aligned}$$

**Sternpunktspannung:**

$$\underline{U_{KN}} = \frac{\underline{Y_1} \cdot \underline{U_{1N}} + \underline{Y_2} \cdot \underline{U_{2N}} + \underline{Y_3} \cdot \underline{U_{3N}}}{\underline{Y}}$$

$$\begin{aligned} \underline{U_{KN}} &= \left( 0,648 \text{ mS} \cdot e^{-j17,79^\circ} \cdot 219,39 \text{ V} e^{j0} + 0,5 \text{ mS} \cdot e^{j0} \cdot 219,39 \text{ V} e^{-j120^\circ} \right. \\ &\quad \left. + 0,37 \text{ mS} \cdot e^{j36,1^\circ} \cdot 219,39 \text{ V} e^{j120^\circ} \right) \cdot \frac{1}{1,416 \text{ mS} \cdot e^{j0,81^\circ}} \end{aligned}$$

$$\underline{U}_{KN} = 3,45 \text{ V} - j74,71 \text{ V} = 74,8 \text{ V} e^{-j87,36^\circ}$$

**Spannungsmaschen:**

$$\underline{U}_{1K} = \underline{U}_{1N} - \underline{U}_{KN} = 219,39 \text{ V} e^{j0^\circ} - 74,8 \text{ V} e^{-j87,36^\circ}$$

$$\underline{U}_{1K} = 229,1 \text{ V} e^{j19^\circ}$$

$$\underline{U}_{2K} = \underline{U}_{2N} - \underline{U}_{KN} = 219,39 \text{ V} e^{-j120^\circ} - 74,8 \text{ V} e^{-j87,36^\circ}$$

$$\underline{U}_{2K} = 272,162,1 \text{ V} e^{-j134,4^\circ}$$

$$\underline{U}_{3K} = \underline{U}_{3N} - \underline{U}_{KN} = 219,39 \text{ V} e^{j120^\circ} - 74,8 \text{ V} e^{-j87,36^\circ}$$

$$\underline{U}_{3K} = 288,5 \text{ V} e^{j133,2^\circ}$$

**Ströme:**

$$\underline{I}_1 = \underline{Y}_1 \cdot \underline{U}_{1K} = 0,648 \text{ mS} \cdot e^{-j17,79^\circ} \cdot 229,1 \text{ V} e^{j19^\circ}$$

$$\underline{I}_1 = 148,4 \text{ mA} \cdot e^{j1,3^\circ}$$

$$\underline{I}_2 = \underline{Y}_1 \cdot \underline{U}_{1K} = 0,5 \text{ mS} \cdot e^{j0^\circ} \cdot 272,162,1 \text{ V} e^{-j134,4^\circ}$$

$$\underline{I}_2 = 81,1 \text{ mA} \cdot e^{-j134,5^\circ}$$

$$\underline{I}_3 = \underline{Y}_1 \cdot \underline{U}_{1K} = 0,37 \text{ mS} \cdot e^{j36,1^\circ} \cdot 288,5 \text{ V} e^{j133,2^\circ}$$

$$\underline{I}_3 = 106,74 \text{ mA} \cdot e^{j149,3^\circ}$$

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 \approx 0$$

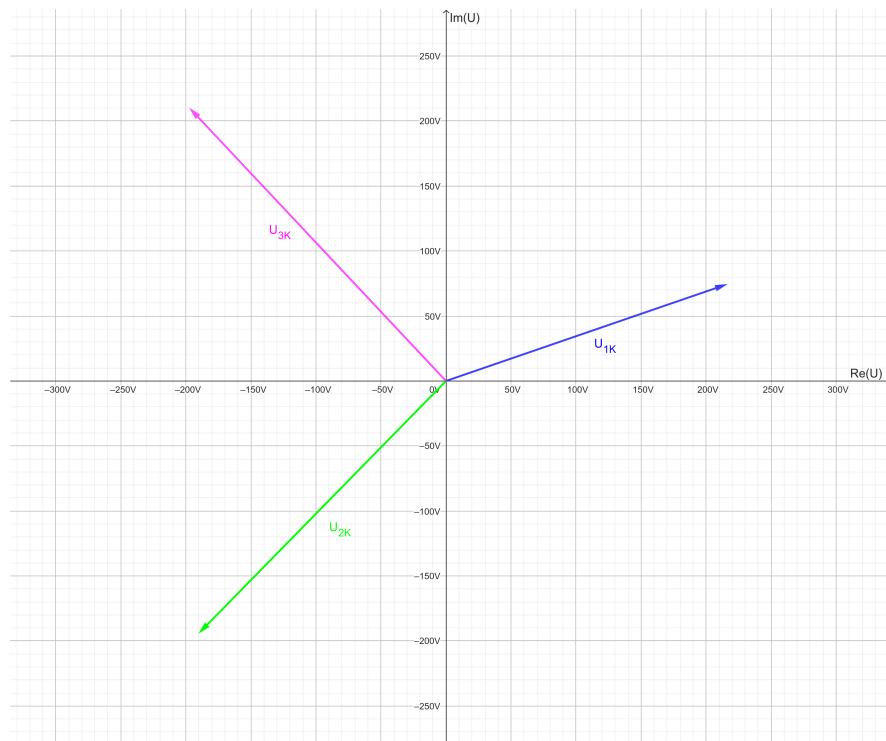


Abbildung 6: Zeigerdiagramm der Spannungen  $\underline{U}_{1K}$ ,  $\underline{U}_{2K}$  und  $\underline{U}_{3K}$

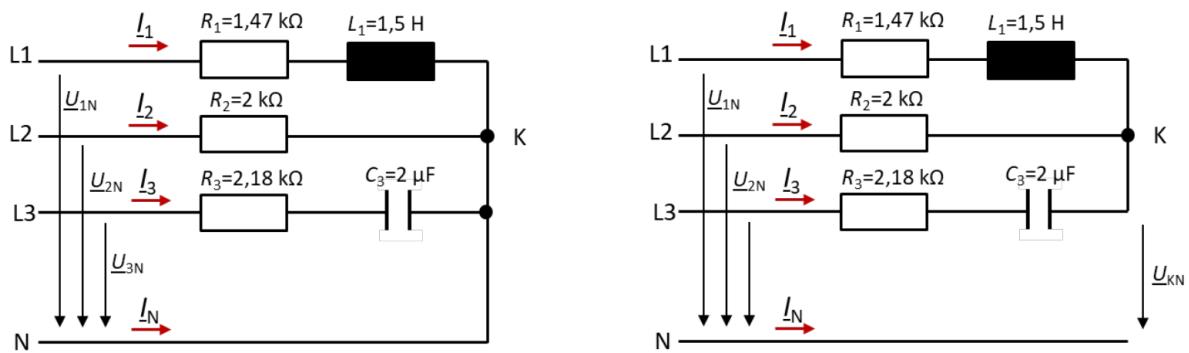


Abbildung 7: Last a mit und ohne angeschlossenen Neutralleiter (Gruppe XXa)

### 3 Messungen und Auswertung

#### 3.1 Welche Netzform hat das 400-V-Drehstromnetz?

- Bestimmen Sie durch eine Messung mit einem „Ohmmeter“ und mit einer Strom-Spannungsmessung ( $I < 100 \text{ mA}$ ,  $R = 100 \Omega$ ) die Netzform des im Labortisches eingebauten 400V-Drehstromnetzes. Erläutern Sie Ihre Beobachtungen!

Mit einem Ohmmeter wurde ein Innenwiderstand von  $0\Omega$  gemessen. Allerdings reicht die Messspannung des Ohmmeters nicht aus, um den Innenwiderstand  $R_{NPE}$  zwischen N und PE zu erfassen. Dies kann durch die Verwendung einer Spannungsfehlerschaltung erreicht werden, bei der die Spannung mithilfe einer externen Quelle entsprechend angepasst werden kann.

$$R_{NPE} = \frac{U_M}{I_M}$$
$$R_{NPE} = \frac{50 \text{ mV}}{100 \text{ mA}}$$
$$R_{NPE} = 0,5\Omega$$

Wenn ein Innenwiderstand gemessen wurde, lässt dies darauf schließen, dass es sich um ein **TN-C-S-Netz** handelt. In diesem Netztyp sind der Neutralleiter und der Schutzleiter (PE) miteinander verbunden, was den Innenwiderstand erklärt.

#### 3.2 Fehlerstromschutzschalter zum Personenschutz

- Ermitteln Sie den tatsächlichen Auslösestrom des FI-Schutzschalters durch Mittelwertbildung aus drei Messungen, benutzen Sie dazu Multimeter und den FI-Tester aus Bild 9. Nutzen Sie dazu die Min/Max-Funktion des Multimeters. Stellen Sie das Potentiometer auf einen großen Wert ein und verkleinern Sie dann langsam den Widerstandswert. Der Auslösestrom kann dann am Multimeter abgelesen werden.

Anzahl	$I \text{ in mA}$
1	20,75
2	20,60
3	20,00
Mittelwert	20,39 mA

Tabelle 1: Messwerte - Auslösestrom eines FI-Schutzschalters

- Bestimmen Sie die Abschaltzeit bei Nennfehlerstrom des FI-Schutzschalters durch Mittelwertbildung aus drei Messungen, benutzen Sie dazu Multimeter, FI-Tester, Oszilloskop und Trennteiler. Ein Oszillogramm ist für die Ausarbeitung aufzubereiten! 3

Anzahl	$t$ in ms
1	27,77
2	28,99
3	25,89
Mittelwert	27,55 ms

Tabelle 2: Messwerte - Abschaltzeit eines FI-Schutzschalters

### 3.3 Symmetrische Drehstromlast ohne/mit Kompensation

- a) Bestimmen Sie die komplexen Effektivwerte der Spannungen  $\underline{U}_{1N}$ ,  $\underline{U}_{2N}$ ,  $\underline{U}_{3N}$  und  $\underline{U}_{NK}$  und der Ströme  $\underline{I}_1$ ,  $\underline{I}_2$ ,  $\underline{I}_3$  und  $\underline{I}_K$  bei angeschlossener symmetrischer Drehstromlast nach Bild 12. Skizzieren Sie die Messschaltung und verwenden Sie zur Messung Oszilloskop, Trennteiler und Stromwandler. Das Oszillogramm von  $u_1$  mit  $i_1$  ist mit in die Ausarbeitung zu übernehmen und aufzuarbeiten.

Art	$U_{eff}$ in V	Phase $\varphi$ in °	Art	$I_{eff}$ in mA	Phase in °
$U_{1N}$	232	0	$I_1$	960	-70
$U_{2N}$	234	240	$I_2$	900	170
$U_{3N}$	233	120	$I_3$	920	50
$U_{KN}$	0	0	$I_N$	0	0

Tabelle 3: Messwerte - Komplexe Effektivwerte der Spannungen und Ströme

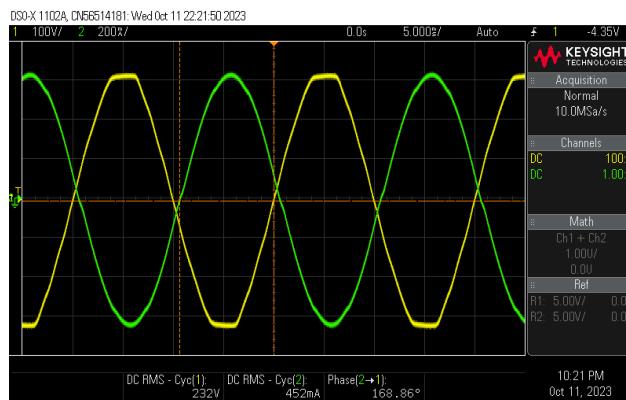


Abbildung 8: Oszillogramm von  $u_1$  mit  $i_1$  - Symmetrische Drehstromlast ohne Kompensation

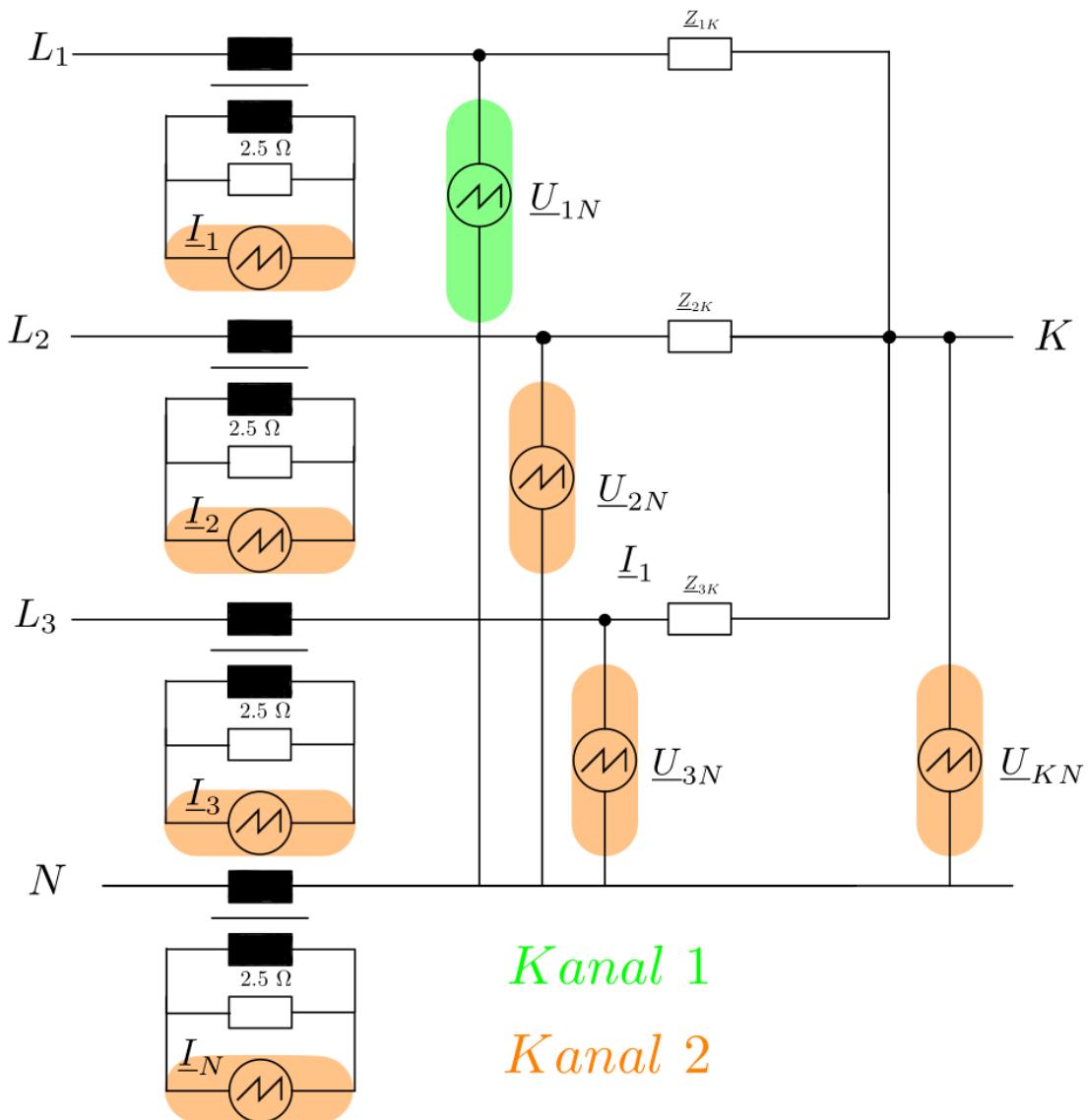


Abbildung 9: Skizze der Messschaltung - Symmetrische Drehstromlast ohne Kompensation

- b) Verbinden Sie nun den Neutralleiter mit dem Knoten K der Sternschaltung und messen Sie den Strom  $I_N$ . Nehmen Sie ein Oszillosrogramm auf und beschreiben Sie ihre Beobachtungen. Entfernen Sie anschließend wieder die Verbindung zwischen Neutralleiter und Sternpunkt K.

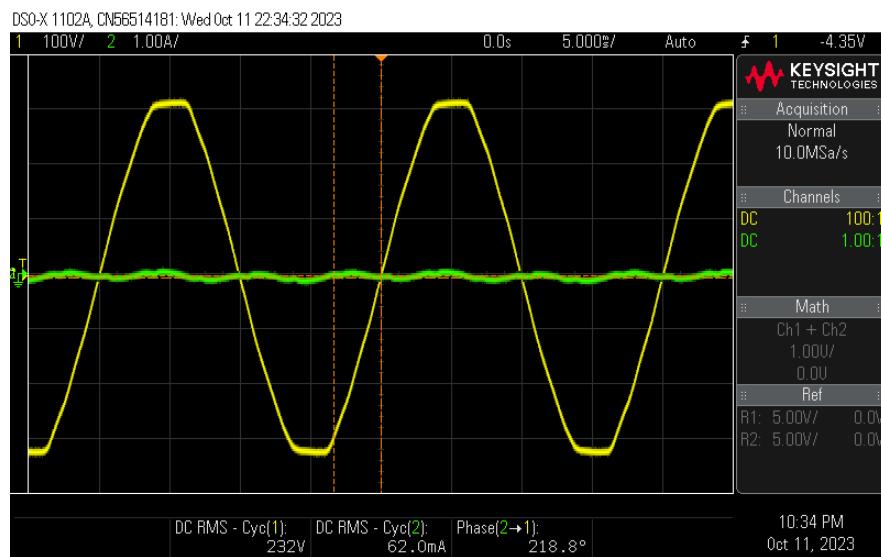


Abbildung 10: Oszillogramm von  $i_N$  - Verbindung zwischen Neutralleiter und Sternpunkt

$$\begin{aligned}
 I_N &= \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 \\
 \underline{I}_N &= 960 \text{ mA } e^{-j70^\circ} + 900 \text{ mA } e^{170^\circ} + 920 \text{ mA } e^{50^\circ} \\
 \underline{I}_N &= 52 \text{ mA } e^{-j50^\circ} \\
 \Rightarrow \underline{I}_N &\approx 0 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

Bei dieser Messung beträgt der Stromfluss im Knotenpunkt zum Neutralleiter ca. 52mA. Dieser Strom ist so gering, dass er vernachlässigt werden kann. Alle drei Phasen weisen mehrere komplexe Widerstände auf. Da in allen Phasen derselbe Strom fließt und zwischen ihnen eine Phasenverschiebung von  $120^\circ$  besteht, heben sich die Ströme gegenseitig auf, wodurch kein Strom durch den Sternpunkt-Leiter fließt.

- c) Bestimmen Sie aus den Messungen unter (a) die komplexe Impedanz  $\underline{Z}_K$  in kartesischen Koordinaten durch Mittelung der Werte  $\underline{Z}_{1K}$ ,  $\underline{Z}_{2K}$  und  $\underline{Z}_{3K}$ . Ermitteln Sie anschließend die nötige Kompensationskapazität in Stern- und Dreieckschaltung. Nehmen Sie dazu an, dass die symmetrische Last aus entsprechenden Bauteilen in Reihenschaltung besteht.

$$\begin{aligned}
\underline{Z}_K &= \frac{\underline{U}_{str}}{\underline{I}_{str}} \\
\underline{Z}_K &= \frac{U \cdot e^{j\varphi_U}}{I \cdot e^{j\varphi_I}} \\
\underline{Z}_K &= \frac{U}{I} \cdot e^{j\varphi_U} \cdot e^{-j\varphi_I} \\
\Rightarrow \underline{Z}_K &= \frac{U}{I} \cdot e^{j\varphi_U - \varphi_I}
\end{aligned}$$

$$|Z| = \frac{U}{I} \quad \varphi_Z = \varphi_U - \varphi_I \quad \operatorname{Re}\{Z\} = |Z| \cdot \cos(\varphi_Z) \quad \operatorname{Im}\{Z\} = |Z| \cdot \sin(\varphi_Z)$$

Um Impedanzen zu bestimmen, wird die Strangspannung durch den Strangstrom geteilt. Die Phase der Strangspannung wird von der Phase des Strangstroms subtrahiert, wodurch die Phasenkomponente der Impedanz ermittelt wird. Impedanzen werden in kartesischer Form ausgedrückt, da aus dieser Form die ohmschen Anteile und die induktiven oder kapazitiven Anteile leicht abgeleitet werden können.

Art	$Z$ in $\Omega$	Phase $\varphi$ in $^\circ$	$\operatorname{Re}\{z\}$	$\operatorname{Im}\{z\}$	$L$ in $mH$	$C$ in $\mu H$
$\underline{Z}_{1K}$	241	70	153	187	600	10, 19
$\underline{Z}_{2K}$	260	70	201	845	640	9, 47
$\underline{Z}_{3K}$	253	70	160	196	620	9, 73
$\underline{Z}_{KN}$	0	0	0	0	0	0

Tabelle 4: Messwerte - Komplexe Impedanzen

- d) Beobachten Sie die Spannungen  $\underline{u}_{1N}$ ,  $\underline{u}_{2N}$ ,  $\underline{u}_{3N}$  und  $\underline{u}_{NK}$  die Ströme  $\underline{i}_1$ ,  $\underline{i}_2$ ,  $\underline{i}_3$  und  $\underline{i}_N$  bei angeschlossener symmetrischer Drehstromlast und drei Kondensatoren  $C = 4\mu F$  in Dreieckschaltung. Skizzieren Sie die Schaltung und verwenden Sie zur Messung Oszilloskop, Trennteiler und Stromwandler. Halten Sie in einem Satz Ihre Beobachtungen mit einer entsprechenden Begründung fest (ein Oszillogramm in die Ausarbeitung übernehmen und aufarbeiten;  $\underline{u}_1$  mit  $\underline{i}_1$ ).

Durch die Implementierung der Kompensation bei der symmetrischen Drehstromlast konnten wir beobachten, dass die zuvor erfolgte Phasenverschiebung zwischen der Spannung ( $U$ ) und dem Strom ( $I$ ) vollständig aufgehoben wurde. Dies ist besonders gut auf Abbildung 12 zu erkennen, da der Phasenverlauf identisch ist, obwohl der Strom beträchtliche Ober- und Unterschwingungen aufweist. Diese Schwankungen sind eine natürliche Konsequenz der Herstellung von Bauteilen für die symmetrische Drehstromlast, da eine exakte Fertigung nur bis zu einem gewissen Grad möglich ist.

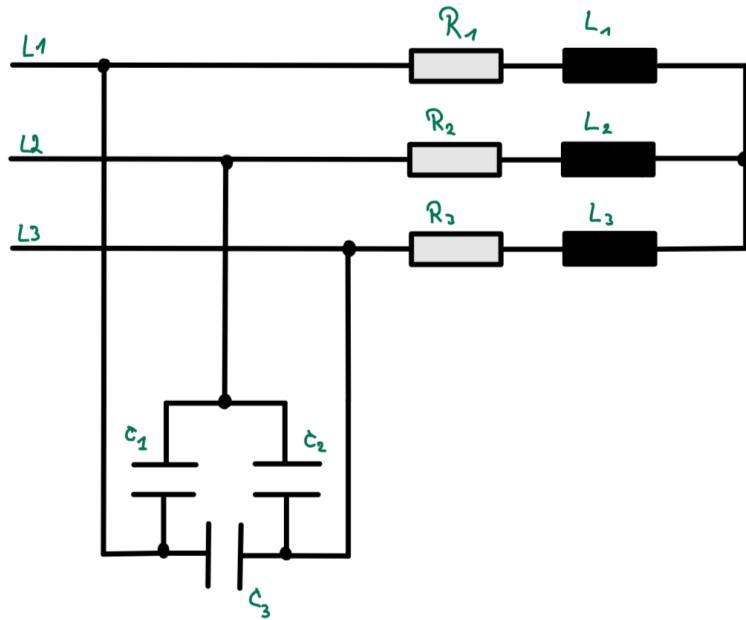


Abbildung 11: Skizze zur Kompensation - Symmetrischen Drehstromlast in Dreieckschaltung

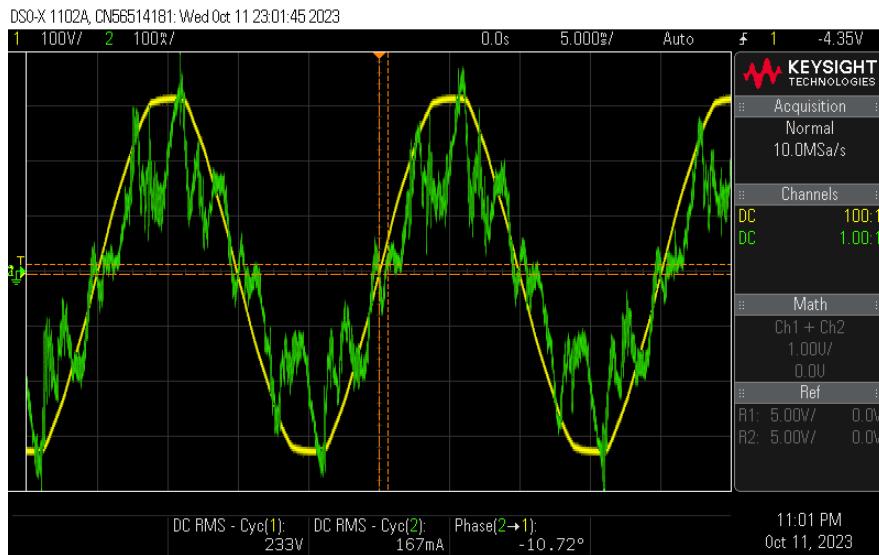


Abbildung 12: Oszillogramm von  $u_N$  und  $i_N$  - Symmetrischen Drehstromlast in Dreieckschaltung

- e) Schalten Sie nun die drei Kondensatoren in Stern und schließen Sie diese jetzt parallel zur Last an. Überlegen Sie, welche Auswirkungen das auf den Phasenwinkel hat und begründen Sie Ihre Beobachtungen.

In Bezug auf die Sternkompensation konnten wir keine Kompensation mit den  $4\mu F$  Kondensatoren feststellen, wie in Abbildung 14 dargestellt. Dies liegt daran, dass zwischen der Stern- und Dreieckkompensation ein Faktor von 3 besteht. Um eine Kompensation der Phasenverschiebung zu erreichen, müsste daher ein  $12\mu F$  Kondensator verwendet werden.

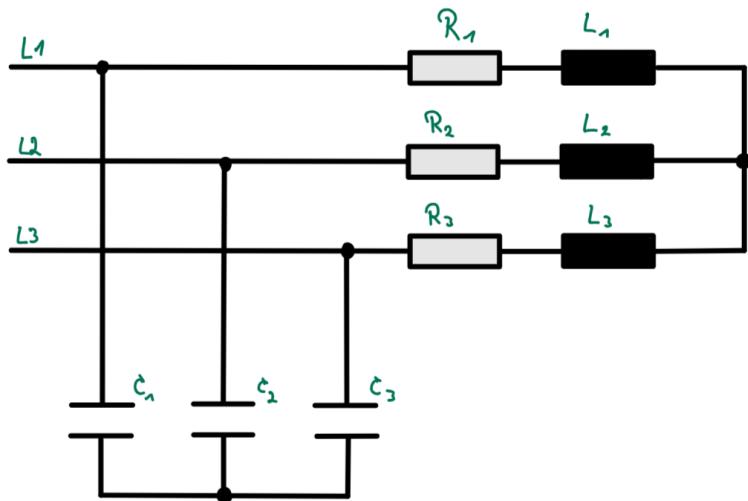


Abbildung 13: Skizze zur Kompensation - Symmetrischen Drehstromlast in Sternschaltung

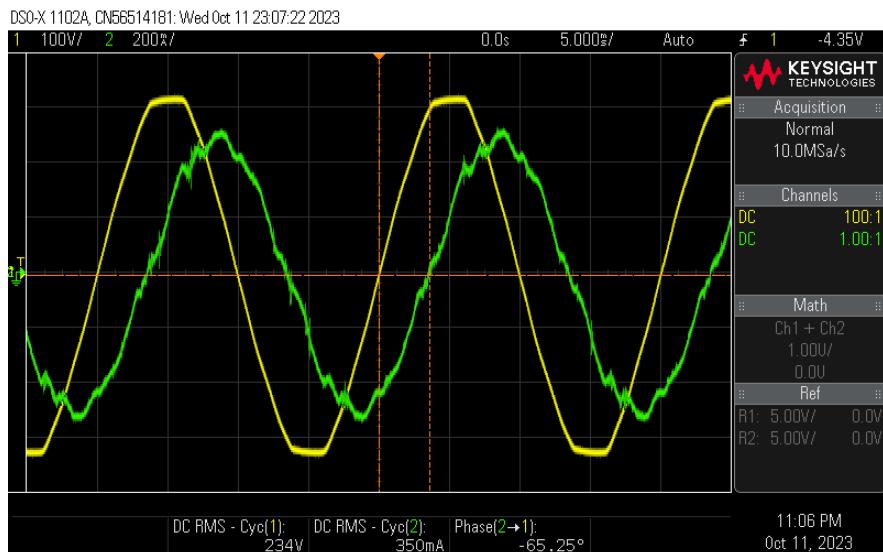


Abbildung 14: Oszillogramm von  $u_N$  und  $i_N$  - Symmetrischen Drehstromlast in Sternschaltung

### 3.4 Unsymmetrische Drehstromlast

- a) Bestimmen Sie die komplexen Effektivwerte der Spannungen  $U_{1N}$ ,  $U_{2N}$ ,  $U_{3N}$  und  $U_{NK}$  und der Ströme  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  und  $I_K$  bei der unsymmetrischen Drehstromlast nach Bild 13 mit angegeschlossenem Neutralleiter. (Gruppe: A2a).  
 Skizzieren Sie die Schaltung und verwenden Sie zur Messung Oszilloskop, Trennteiler und Stromwandler. Zwei Oszilloskopbilder sind mit in die Ausarbeitung zu übernehmen und aufzuarbeiten. ( $u_1$  mit  $u_{KN}$ ,  $u_1$  mit  $i_N$ ).

Art	$U_{eff}$ in V	Phase $\varphi$ in °	Art	$I_{eff}$ in mA	Phase in °
$U_{1N}$	234	0	$I_1$	140	-22
$U_{2N}$	233	240	$I_2$	116	240
$U_{3N}$	233	120	$I_3$	84	156
$U_{KN}$	0	0	$I_N$	114	90

Tabelle 5: Komplexen Effektivwerte der Spannungen und Ströme - Unsymmetrische Drehstromlast mit Neutralleiter

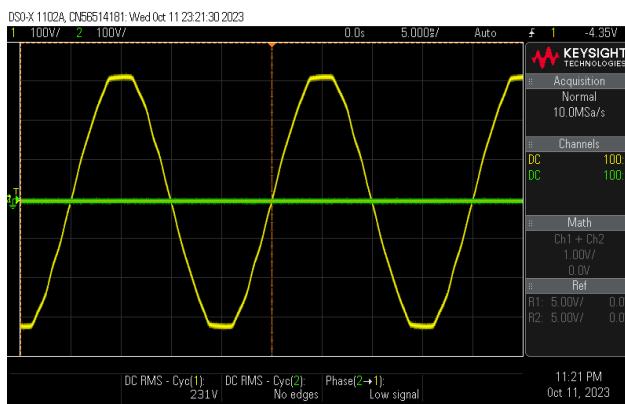


Abbildung 15: Oszillogramm von  $u_1$  mit  $u_{KN}$  - Unsymmetrische Drehstromlast mit Neutralleiter

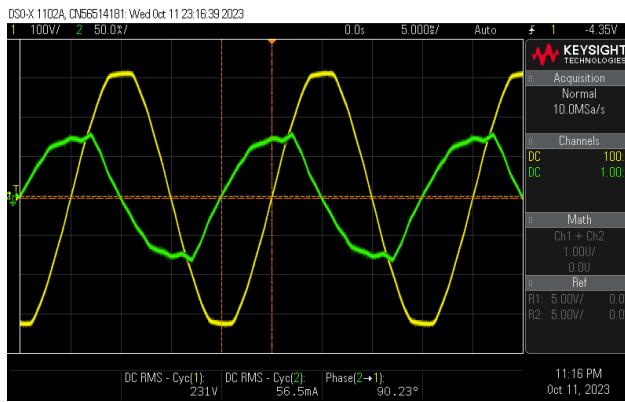


Abbildung 16: Oszillogramm von  $u_1$  mit  $i_N$  - Unsymmetrische Drehstromlast mit Neutralleiter

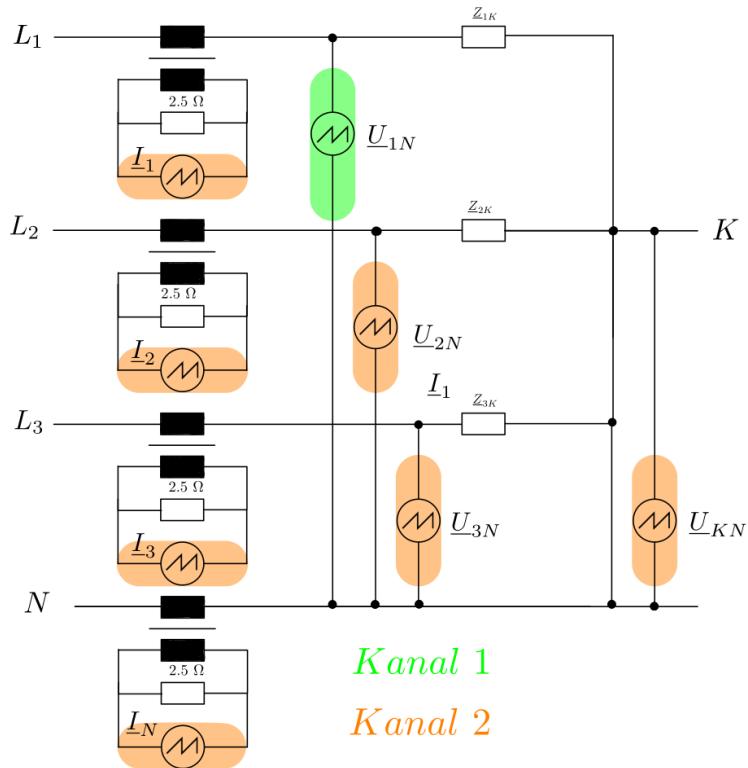


Abbildung 17: Skizze der Spannungen - Unsymmetrische Drehstromlast mit Neutralleiter

- b) Bestimmen Sie die komplexen Effektivwerte der Spannungen  $U_{1N}$ ,  $U_{2N}$ ,  $U_{3N}$  und  $U_{NK}$  und der Ströme  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  und  $I_K$  bei der unsymmetrischen Drehstromlast nach Bild 13 ohne angeschlossenem Neutralleiter. (Gruppe: A2a)
- Skizzieren Sie die Schaltung und verwenden Sie zur Messung Oszilloskop, Trennteiler und Stromwandler. Zwei Oszillogramme sind mit in die Ausarbeitung zu übernehmen und aufzuarbeiten. ( $u_1$  mit  $u_{KN}$ ,  $u_1$  mit  $i_N$ ).

Art	$U_{eff}$ in V	Phase $\varphi$ in °	Art	$I_{eff}$ in mA	Phase in °
$U_{1N}$	234	0	$I_1$	150	3
$U_{2N}$	231	239	$I_2$	81	228
$U_{3N}$	233	119	$I_3$	112	148
$U_{KN}$	82	268	$I_N$	0	0

Tabelle 6: Komplexen Effektivwerte der Spannungen und Ströme - Unsymmetrische Drehstromlast ohne Neutralleiter

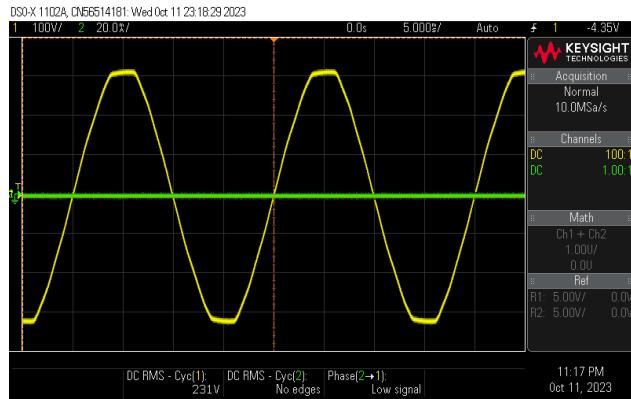


Abbildung 18: Oszillogramm von  $u_1$  mit  $u_{KN}$  - Unsymmetrische Drehstromlast Ohne Neutralleiter

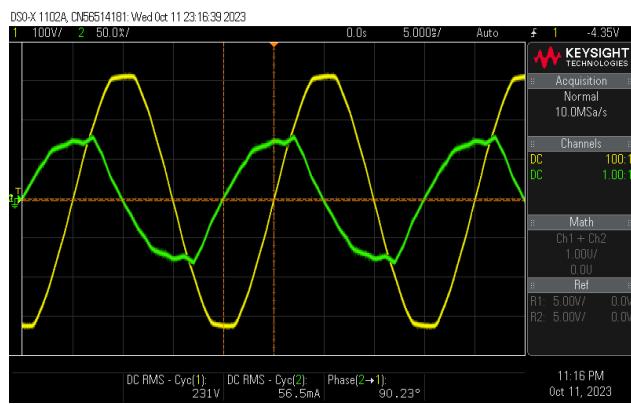


Abbildung 19: Oszillogramm von  $u_1$  mit  $i_N$  - Unsymmetrische Drehstromlast Ohne Neutralleiter

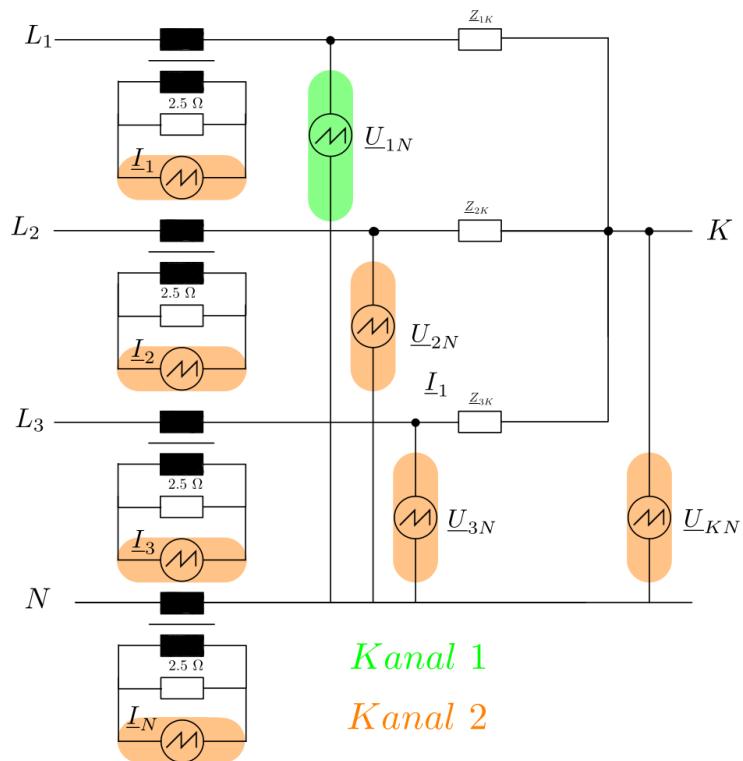


Abbildung 20: Skizze der Spannungen - Unsymmetrische Drehstromlast Ohne Neutralleiter

## 4 Auswertung

### 4.1 Symmetrische Drehstromlast

- a) Berechnen Sie unter Verwendung von Gleichung (7 oder 5??) für die Belastungen nach 3.3  
(a) die komplexe Scheinleistung  $\underline{S}$  aus den komplexen Größen  $\underline{U}_{1N}$ ,  $\underline{U}_{2N}$ ,  $\underline{U}_{3N}$  sowie  $\underline{I}_1$ ,  $\underline{I}_2$ ,  $\underline{I}_3$ , und ermitteln Sie hieraus die von der Last aufgenommene Wirk- und die Blindleistung.

$$\underline{S} = \underline{U}_{1N} \cdot \underline{I}_1^* + \underline{U}_{2N} \cdot \underline{I}_2^* + \underline{U}_{3N} \cdot \underline{I}_3^*$$

$$\underline{S} = 232V e^{j0^\circ} \cdot 0,96A e^{-(j70^\circ)} + 234V e^{j240^\circ} \cdot 0,9A e^{-(j170^\circ)} + 233V e^{j120^\circ} \cdot 0,2A e^{-(j50^\circ)}$$

$$\underline{S} = 650,44VA \cdot e^{j70^\circ} = 223.82W + j614.93Var$$

$$P = \operatorname{Re}\{\underline{S}\} = 223.82W$$

$$Q = \operatorname{Im}\{\underline{S}\} = 614.93Var$$

- b) Bestimmen Sie für 3.3 (a) den Wirkleistungsfaktor  $\cos \varphi$  der Last. Verwenden Sie hierfür die Ergebnisse aus (a).

$$\begin{aligned} \underline{S} &= |S| \cdot e^{j\varphi} = 650,44VA \cdot e^{j70^\circ} \\ \Rightarrow \varphi &= 70^\circ \end{aligned}$$

- c) Zeichnen Sie für die Belastungen nach 3.3 (a) das Zeigerdiagramm der Spannungen  $\underline{U}_{1N}$ ,  $\underline{U}_{2N}$ ,  $\underline{U}_{3N}$  und  $\underline{U}_K$  sowie das Zeigerdiagramm der Ströme  $\underline{I}_1$ ,  $\underline{I}_2$ ,  $\underline{I}_3$  und  $\underline{I}_N$ .

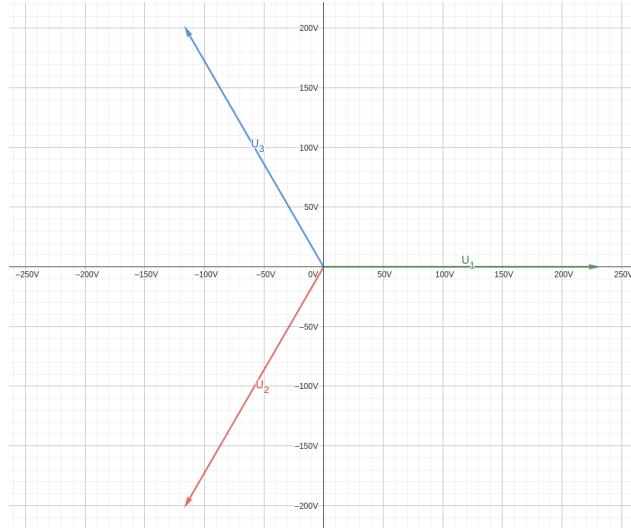


Abbildung 21: Skizze der Spannungen - Symmetrische Drehstromlast ohne Kompensation

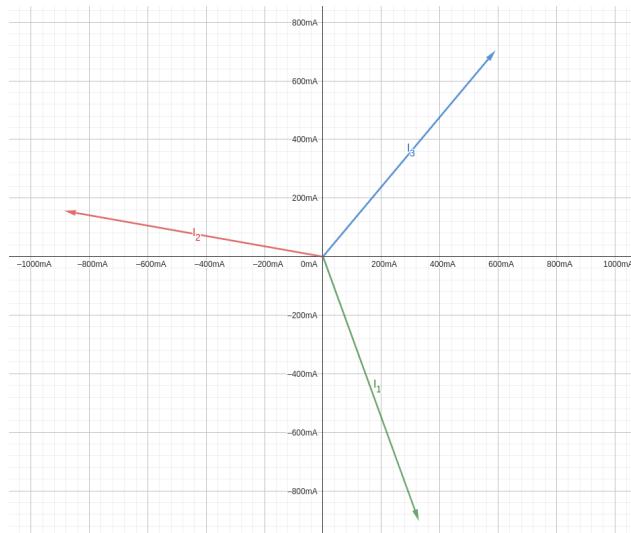


Abbildung 22: Skizze der Ströme - Symmetrische Drehstromlast ohne Kompensation

- d) Bewerten Sie Ihre Beobachtungen für 3.3 (b), (d) und (e) anhand der aufgenommenen Oszillogramme und Ihrer Versuchsvorbereitungen.

## 4.2 Unsymmetrische Drehstromlast

- a) Vergleichen Sie die gemessenen Werten unter 3.4 (a) und (b) mit den in der Vorbereitung errechneten Messwerten. Bewerten Sie die Unterschiede.

Art	Messung		Rechnung	
	$U_{eff}$ in V	Phase $\varphi$ in °	$U_{eff}$ in V	Phase $\varphi$ in °
$U_{1N}$	234	0	220	0
$U_{2N}$	233	240	220	240
$U_{3N}$	233	120	220	120
$U_{KN}$	0	0	0	0
Art	$I_{eff}$ in mA	Phase in °	$I_{eff}$ in mA	Phase in °
$I_1$	140	-22	140	-17,77
$I_2$	116	240	109	240
$I_3$	84	156	81	156
$I_N$	114	90	114	93

Tabelle 7: Vergleich die gemessenen Werten unter 3.4 (a) mit den errechneten Messwerten

Art	Messung		Rechnung	
	$\underline{U}_{eff}$ in V	Phase $\varphi$ in °	$\underline{U}_{eff}$ in V	Phase $\varphi$ in °
$\underline{U}_{1N}$	234	0	220	0
$\underline{U}_{2N}$	231	239	220	240
$\underline{U}_{3N}$	233	119	220	120
$\underline{U}_{KN}$	82	268	75	273
Art	$\underline{I}_{eff}$ in mA	Phase in °	$\underline{I}_{eff}$ in mA	Phase in °
$\underline{I}_1$	150	3	148	1,3
$\underline{I}_2$	81	228	81	225
$\underline{I}_3$	112	148	107	149
$\underline{I}_N$	0	0	0	0

Tabelle 8: Vergleich die gemessenen Werten unter 3.4 (b) mit den errechneten Messwerten

- b) Berechnen Sie die komplexe Scheinleistung  $\underline{S}$ , und ermitteln Sie hieraus die Wirk- und die Blindleistung (dreiphasig) für die unter 3.4 gemessenen Drehstromlast

$$\underline{S} = \underline{U}_{1N} \cdot \underline{I}_1^* + \underline{U}_{2N} \cdot \underline{I}_2^* + \underline{U}_{3N} \cdot \underline{I}_3^*$$

$$\underline{S} = 234V e^{j0^\circ} \cdot 0,15A e^{-(j3^\circ)} + 231V e^{j239^\circ} \cdot 0,08A e^{-(j228^\circ)} + 233V e^{j119^\circ} \cdot 0,11A e^{-(j148^\circ)}$$

$$\underline{S} = 76,37VA \cdot e^{-j8,08^\circ} = 75,61W - j10,74Var$$

$$P = \text{Re}\{\underline{S}\} = 75,61W$$

$$Q = \text{Im}\{\underline{S}\} = -10,74Var$$