



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:

Matrikel-Nr.:

Gruppe:

WS / SS

Vorbereitung:

Durchführung:

Rücksprachen / Nachbesserungen:

Testat:

1 Versuchsanleitung

Ziel dieses Versuchs ist die Bestimmung von Netzformen des Drehstromnetzes, das Kennenlernen der Arbeitsweise eines Sicherungsautomaten, sowie der Umgang mit symmetrischen und unsymmetrischen Belastungen des Netzes.

1.1 Grundlagen

Ein Mehrphasen-System ist ein Wechselstromsystem mit mehr als zwei Strombahnen. Als Strang wird der Teil des Systems bezeichnet, in dem ein einheitlicher Schwingungszustand des Stromes herrscht. Die elektrischen Größen haben in den verschiedenen Strängen eines Mehrphasen-Systems gleiche Frequenz, aber unterschiedliche Nullphasenwinkel.

Von großer technischer Bedeutung ist das Dreiphasen-System; es wird in der elektrischen Energietechnik häufig verwendet. Bei ihm sind drei Stränge vorhanden. Die gleichartigen elektromagnetischen Sinusgrößen eines Dreiphasensystems werden symmetrisch genannt, wenn ihre Amplituden in den drei Strängen gleich sind und ihre Nullphasenwinkel sich jeweils um 120° unterscheiden.

$$\underline{U}_1 = U \quad (1)$$

$$\underline{U}_2 = U \cdot e^{-j120^\circ} = U \cdot (-0,5 - j0,866) \quad (2)$$

$$\underline{U}_3 = U \cdot e^{-j240^\circ} = U \cdot e^{+j120^\circ} = U \cdot (-0,5 + j0,866) \quad (3)$$

Die Summe von drei symmetrischen Spannungen ist stets Null.

$$\sum_{i=1}^3 \underline{U}_i = \underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_3 = 0 \quad (4)$$

Drehstromerzeuger, wie in Bild 1 bzw. 2 dargestellt, können in Stern- oder der Dreieckschaltung ausgeführt werden. Bei der Sternschaltung kann ein Vierleitersystem mit dem Sternpunktleiter N und den Außenleitern L1, L2 und L3 oder ein Dreileitersystem nur mit Außenleitern realisiert werden. Bei der Dreieckschaltung sind nur die Außenleiter vorhanden.

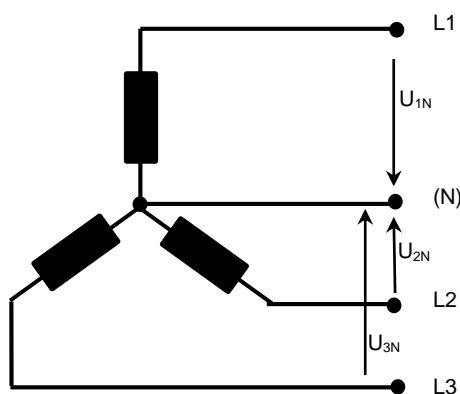


Bild 1: Erzeuger in Sternschaltung mit herausgeführten Sternpunkt

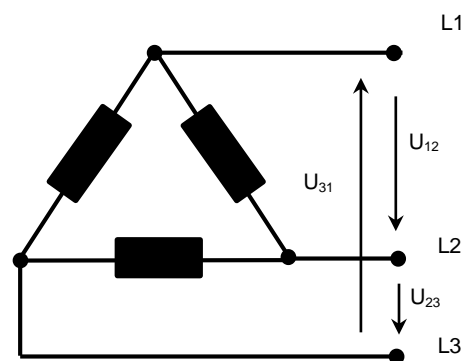


Bild 2: Erzeuger in Dreieckschaltung

Die folgenden Bilder zeigen mögliche grafische Anordnungen der zugehörigen Spannungen. Welches Zeigerdiagramm bevorzugt wird, hängt vom Verwendungszweck ab.

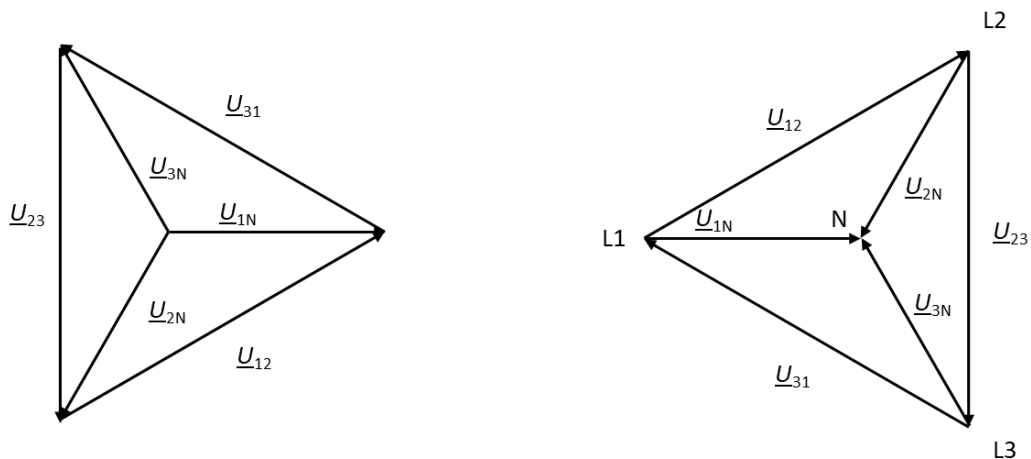


Bild 3: Zeigerdiagramme der symmetrischen Strang- und Außenleiterspannungen
(Darstellungen mit unterschiedlichen Koordinatensystemen)

Die komplexe Scheinleistung berechnet sich wie folgt:

$$\underline{S} = \underline{U}_{1N} \cdot \underline{I}_1^* + \underline{U}_{2N} \cdot \underline{I}_2^* + \underline{U}_{3N} \cdot \underline{I}_3^* = P + jQ \quad (5)$$

Sie setzt sich aus dem Realteil, der Wirkleistung P , sowie dem Imaginärteil, der Blindleistung Q , zusammen.

Die Außenleiterspannungen können aus den Strangspannungen berechnet werden. Es gilt:

$$\underline{U}_{12} = \underline{U}_{1N} - \underline{U}_{2N} \quad \underline{U}_{23} = \underline{U}_{2N} - \underline{U}_{3N} \quad \underline{U}_{31} = \underline{U}_{3N} - \underline{U}_{1N} \quad (6)$$

In nahezu symmetrischen Netzen und bei nahezu symmetrischer Last können die Schein-, Wirk- und Blindleistungen aus den Mitkomponenten der Außenleiterspannungen und Außenleiterströme berechnet werden.

$$S = \sqrt{3} \cdot U_m \cdot I_m \quad P = \sqrt{3} \cdot U_m \cdot I_m \cdot \cos \varphi \quad Q = \sqrt{3} \cdot U_m \cdot I_m \cdot \sin \varphi \quad (7)$$

Die Mittelungen der Außenleiterspannungen und Außenleiterströme immer ergeben sich wie folgt:

$$U_m = \frac{U_{12} + U_{23} + U_{31}}{3} \quad I_m = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \quad (8)$$

1.2 Netzformen

Unter Netzform wird der Aufbau eines Netzes hinsichtlich der verwendeten Stromart, der Anzahl der aktiven Leiter der Einspeisung und der Art der Erdverbindungen im Netz verstanden. Bild 4 zeigt einige Netzformen.

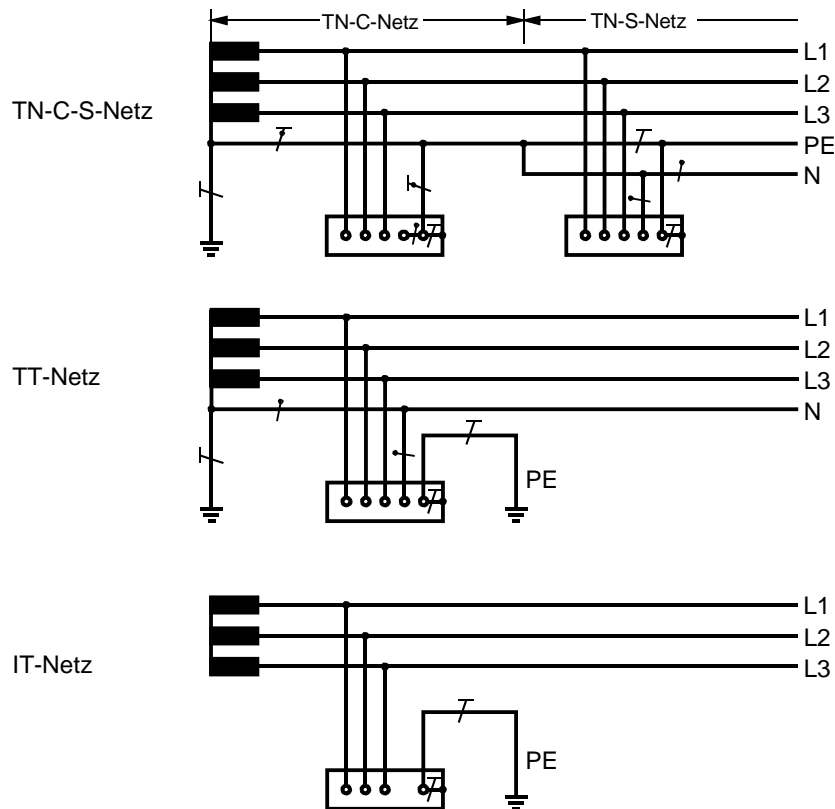


Bild 4: Netzformen

Für Drehstromnetze (Dreiphasen-Wechselstromnetze) werden abhängig vom Anwendungsbereich die Netzformen "TN" oder "TT" oder "IT" verwendet. In TN-Netzen unterscheidet man zwischen TN-C-Netz (Neutralleiter- und Schutzleiterfunktion sind im PEN-Leiter zusammengefasst) und TN-S-Netz (PE-Leiter und N-Leiter sind getrennt verlegt); die Kombination von TN-C-Netz und TN-S-Netz ist grundsätzlich möglich.

1.3 Drehstromlasten

Drehstromlasten können, wie in Bild 5 dargestellt, in Stern oder Dreieck geschaltet werden. Dabei wird zwischen symmetrischen und unsymmetrischen Lasten unterschieden.

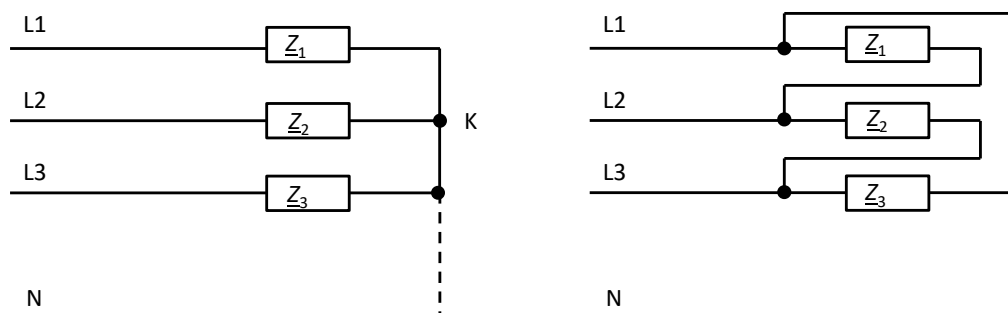


Bild 5: Drehstromlast in Stern- bzw. Dreieckschaltung

1.3.1 Symmetrische Drehstromlast

Symmetrische Drehstromlasten bestehen aus den gleichen ohmsch-induktiven oder ohmsch-kapazitiven Impedanzen $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3$ in Stern- oder Dreieckschaltung. Ist der Sternpunkt K bei der Sternschaltung mit dem Neutraleiter verbunden, so ist $\underline{I}_N = 0$.

1.3.2 Unsymmetrische Drehstromlast

Unsymmetrische Drehstromlasten bestehen aus unterschiedlichen Impedanzen \underline{Z}_1 , \underline{Z}_2 und \underline{Z}_3 in Stern- oder Dreieckschaltung. Die Impedanzen \underline{Z}_1 , \underline{Z}_2 und \underline{Z}_3 werden aus einem Wirk- und einem Blindwiderstand in Reihen- oder Parallelschaltung gebildet. Wird der Sternpunkt K bei der Sternschaltung mit dem Neutraleiter N verbunden, so ist der Strom $\underline{I}_N \neq 0$.

1.3.3 Blindleistungskompensation

Bei induktiven Lasten kann durch Parallelschaltung von Kondensatoren eine Verbesserung des Leistungsfaktors bewirkt werden. Dies führt zur

- Entlastung der Betriebsmittel (z. B. Leitungen, Transformator),
- Verringerung der Verluste sowie
- Verminderung des Spannungsabfalls an Leitungen.

1.4 FI-Schutzschalter

1.4.1 Funktionsprinzip

Ein Fehlerstrom-Schutzschalter (RCD: Residual Current Device) bildet die arithmetische Summe aller Augenblickswerte der Ströme in den Außenleitern und dem Neutraleiter. In einer fehlerfreien Anlage ist die Summe stets Null. Bild 6 zeigt das Funktionsprinzip eines Fehlerstrom-Schutzschalters.

Ist die Summe der Ströme ungleich Null, resultiert ein magnetischer Fluss im Wandlerkern und induziert eine Spannung in der Sekundärwicklung. Der Sekundärstrom löst dann den Schutzschalter aus und schaltet den Stromkreis allpolig ab.

Der Summenstromwandler arbeitet wie ein Transformator. Daher kann er nur Wechselfehlerströme oder pulsierende Gleichfehlerströme erfassen.

Allstromsensitive Fehlerstromschutzschalter, z. B. der Typ B, haben zur Erkennung von Gleichfehlerströmen noch einen zweiten Wandlerkern, der mit einem Hall-Sensor ausgestattet ist.

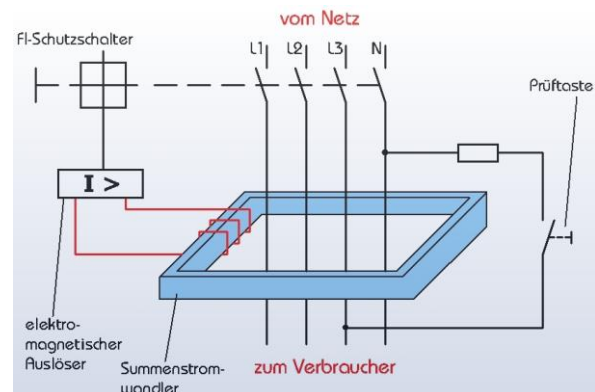


Bild 6: Funktionsprinzip eines FI-Schutzschalters
(Quelle: elektro-wissen.de)

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 Bild 7. Skizzieren Sie eine Schaltung zur Bestimmung der Netzform (siehe Aufgabe 3.1)

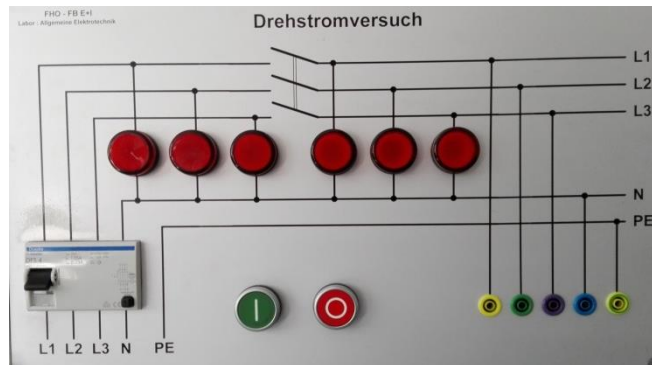


Bild 7: Netzmodell am Versuchstisch

- (b) Skizzieren Sie eine Schaltung zur Bestimmung des Fehlerstromes des FI-Schutzschalters mit Hilfe des FI-Testers aus Bild 8 und Multimetern zur Strom- bzw. Spannungsmessung.

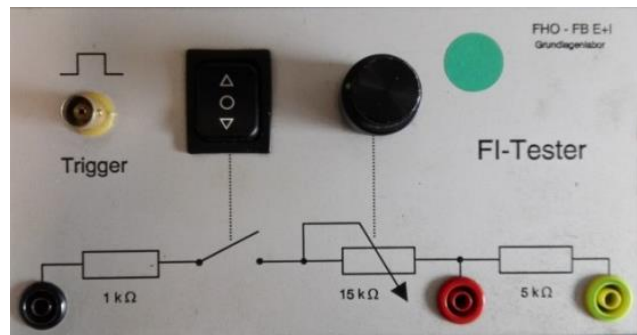


Bild 8: FI-Schutzschalter und FI-Tester

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

ACHTUNG!

Die Gruppen, deren Gruppennummer mit einem a enden, arbeiten nachfolgend mit der Last a, die Gruppen mit der Endung b mit der Last b.

- (e) An einem Vierleiter-Drehstromnetz mit der konstanten Außenleiterspannung $U = 380\text{ V}$ sind nach Bild 9 bzw. Bild 10 unsymmetrische Lasten angeschlossen. Bestimmen Sie rechnerisch und graphisch den Strom im Nullleiter, legen Sie dazu \underline{U}_1 in die reelle Achse, $f = 50\text{ Hz}$!
- (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} .

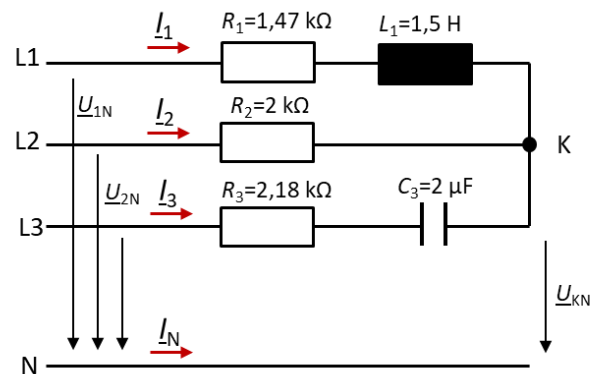
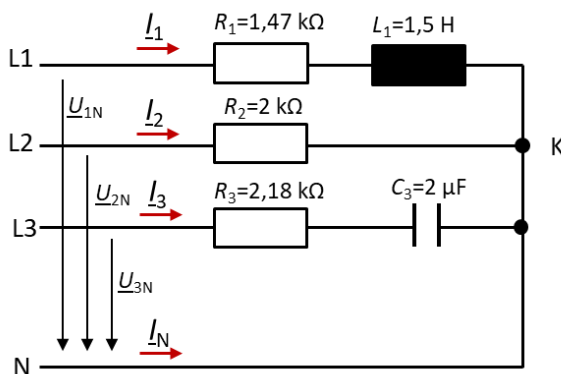


Bild 9: Last a mit und ohne angeschlossenen Neutralleiter (Gruppe XXa)

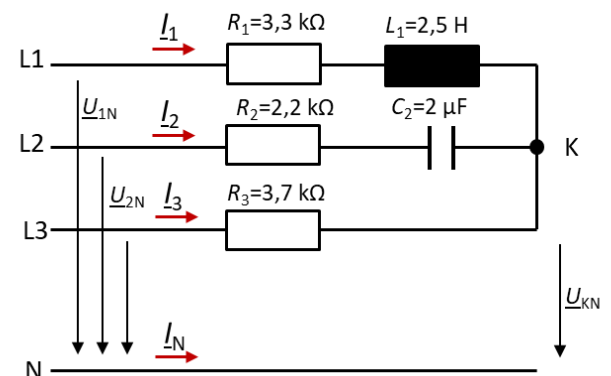
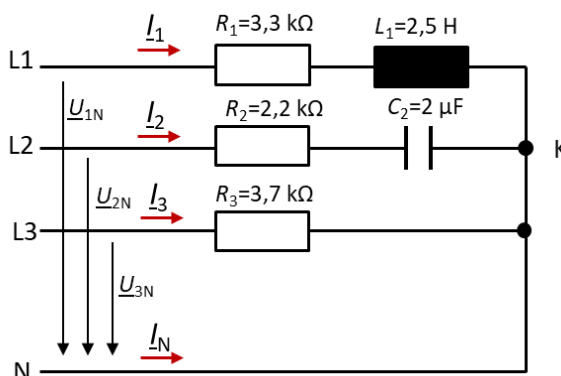


Bild 10: Last b mit und ohne angeschlossenen Neutralleiter (Gruppe XXb)

3 Aufgabenstellung

ACHTUNG!:

Für den Schaltungsaufbau dürfen nur Sicherheitsleitungen und Messgeräte mit Sicherheitsbuchsen verwendet werden. Die Gehäuse sind über Schutzleiter (grün/gelbe Leitung) an PE zu erden. Das Oszilloskop ist nur über Trennteiler oder Wandler anzuschließen.

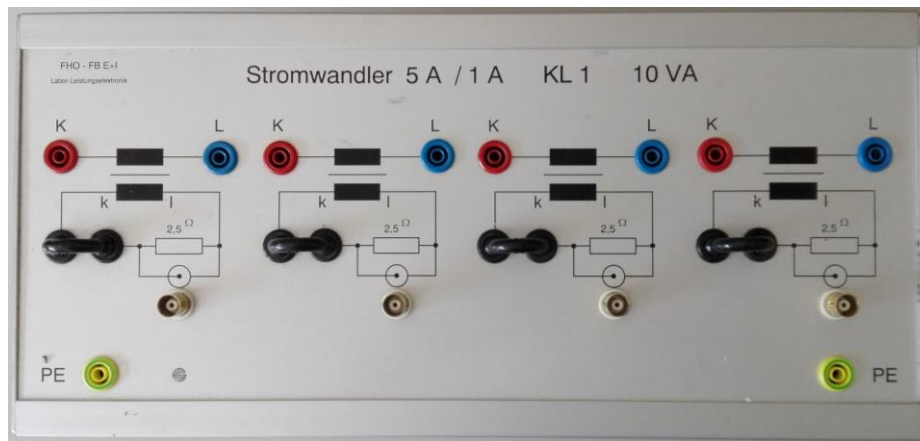


Bild 11: Stromwandler für die oszilloskopische Messung des Stromes

Genauigkeit der Messungen:

Die Messgrößen sind mit folgender Genauigkeit anzugeben:

- Effektivwerte der Spannungen auf 1 V,
- Effektivwerte der Ströme auf 5 mA und
- Winkel der Spannungen und Ströme auf 1°.

Impedanzen unter 20 Ω sind wie Kurzschlüsse, Impedanzen über 20 k Ω wie Unterbrechungen zu behandeln.

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!

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.
- 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!

3.3 Symmetrische Drehstromlast ohne/mit Kompensation

Für die folgenden Aufgabenstellungen benutzen Sie bitte die in Bild 12 abgebildete symmetrische Drehstromlast.

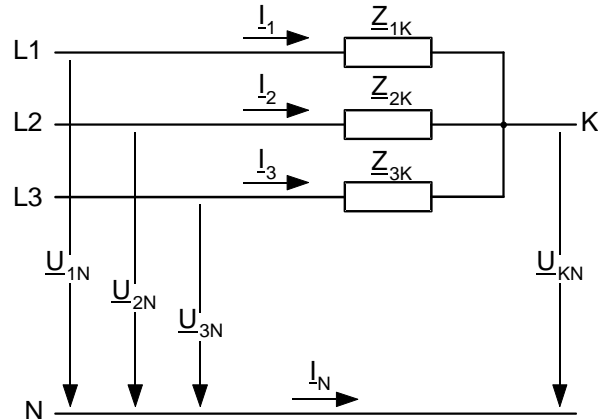
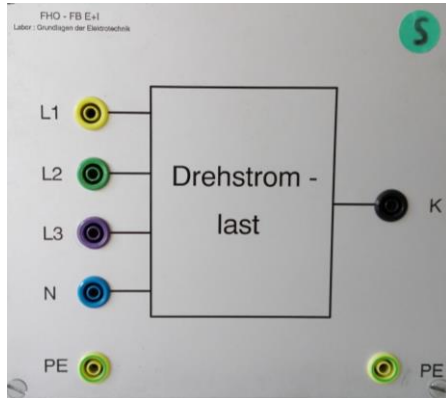


Bild 12: Symmetrische ohmsch-induktive Drehstromlast

- Bestimmen Sie die komplexen Effektivwerte der Spannungen \underline{U}_{1N} , \underline{U}_{2N} , \underline{U}_{3N} und \underline{U}_{KN} und der Ströme \underline{I}_1 , \underline{I}_2 , \underline{I}_3 und \underline{I}_N 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.
- Verbinden Sie nun den Neutraleiter mit dem Knoten K der Sternschaltung und messen Sie den Strom \underline{I}_N . Nehmen Sie ein Oszillogramm auf und beschreiben Sie ihre Beobachtungen. Entfernen Sie anschließend wieder die Verbindung zwischen Neutraleiter und Sternpunkt K.
- 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.
- Beobachten Sie die Spannungen u_{1N} , u_{2N} , u_{3N} und u_{KN} die Ströme i_1 , i_2 , i_3 und i_N bei angeschlossener symmetrischer Drehstromlast und drei Kondensatoren $C = 4 \mu\text{F}$ 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; u_1 mit i_1).
- 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.

3.4 Unsymmetrische Drehstromlast

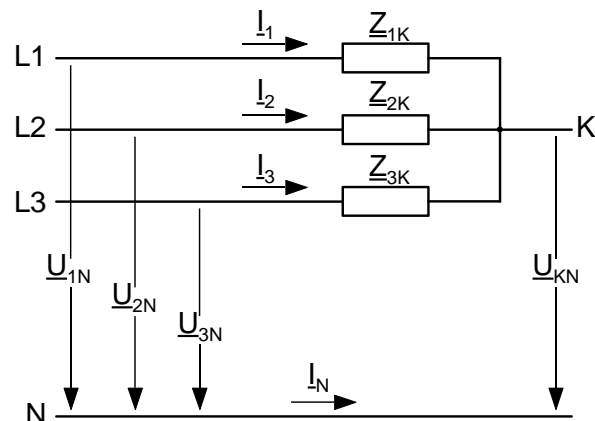
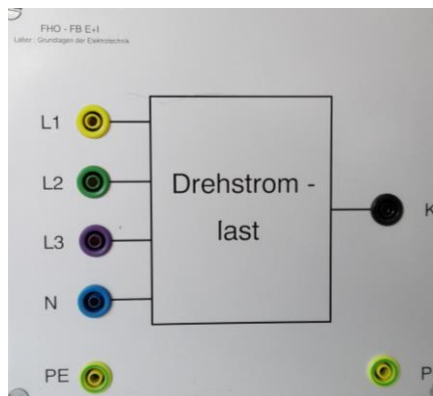


Bild 13: Unsymmetrische Drehstromlast

- (a) Bestimmen Sie die komplexen Effektivwerte der Spannungen \underline{U}_{1N} , \underline{U}_{2N} , \underline{U}_{3N} und \underline{U}_{KN} und der Ströme \underline{I}_1 , \underline{I}_2 , \underline{I}_3 und \underline{I}_N bei der unsymmetrischen Drehstromlast nach Bild 13 **mit** angeschlossenem Neutraleiter. (Last je nach Gruppennummer)

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).

- (b) Bestimmen Sie die komplexen Effektivwerte der Spannungen \underline{U}_{1N} , \underline{U}_{2N} , \underline{U}_{3N} und \underline{U}_{KN} und der Ströme \underline{I}_1 , \underline{I}_2 , \underline{I}_3 und \underline{I}_N bei der unsymmetrischen Drehstromlast nach Bild 13 **ohne** angeschlossenem Neutraleiter. (Last je nach Gruppennummer)

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).

4 Auswertungen

4.1 Symmetrische Drehstromlast

- (a) Berechnen Sie unter Verwendung von Gleichung (7) 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.
- (b) Bestimmen Sie für 3.3 (a) den Wirkleistungsfaktor $\cos \varphi$ der Last. Verwenden Sie hierfür die Ergebnisse aus (a).
- (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}_{KN} sowie das Zeigerdiagramm der Ströme \underline{I}_1 , \underline{I}_2 , \underline{I}_3 und \underline{I}_N .
- (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.
- (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.