

## 1 Versuchsziel

Vertiefen der Kenntnisse über die Strom-, Spannungs- und Leistungszusammenhänge für die verschiedenen Grundschaltungen bei Drehstrom.  
Kennenlernen der Methoden zur Leistungsmessung in Drehstromsystemen.

## 2 Literatur

- /1/ : Vorlesung „Grundlagen der Elektrotechnik“;  
Hochschule Zittau/Görlitz (FH)
- /2/ Führer, A./: Grundgebiete der Elektrotechnik  
Heidemann, K./ Band 2: Zeitabhängige Vorgänge  
Nerreter, W. Studienbücher der Technischen Wissenschaften  
Carl Hanser Verlag München Wien
- /3/ Oese, R.: Elektrotechnik für Ingenieure  
Band 1: Grundlagen  
Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag München,  
Wien

## 3 Grundlagen

### **Symmetrisches 3-Phasen-System**

Es besteht aus drei um  $120^\circ$  phasenverschobenen Wechselstromsystemen gleicher Amplitude und Frequenz.

### **Unsymmetrisches 3-Phasen-System**

Es besteht aus drei Wechselstromsystemen mit gleicher Frequenz, aber ungleicher Amplitude und / oder einer von  $120^\circ$  abweichenden Phasenverschiebung.

### **Verkettung**

Erfolgt durch die Zusammenschaltung der drei Wechselstromsysteme in folgender Weise (im Bild1 für den Abnehmer dargestellt):

1. Sternschaltung – Speisung des Abnehmers mit den Leitern L1, L2, L3 (Drehstrom-Dreileitersystem) oder zusätzlich mit dem Neutralleiter N (Drehstrom-Vierleitersystem)

## 2. Dreieckschaltung – Speisung des Abnehmers mit den Leitern L1, L2, L3

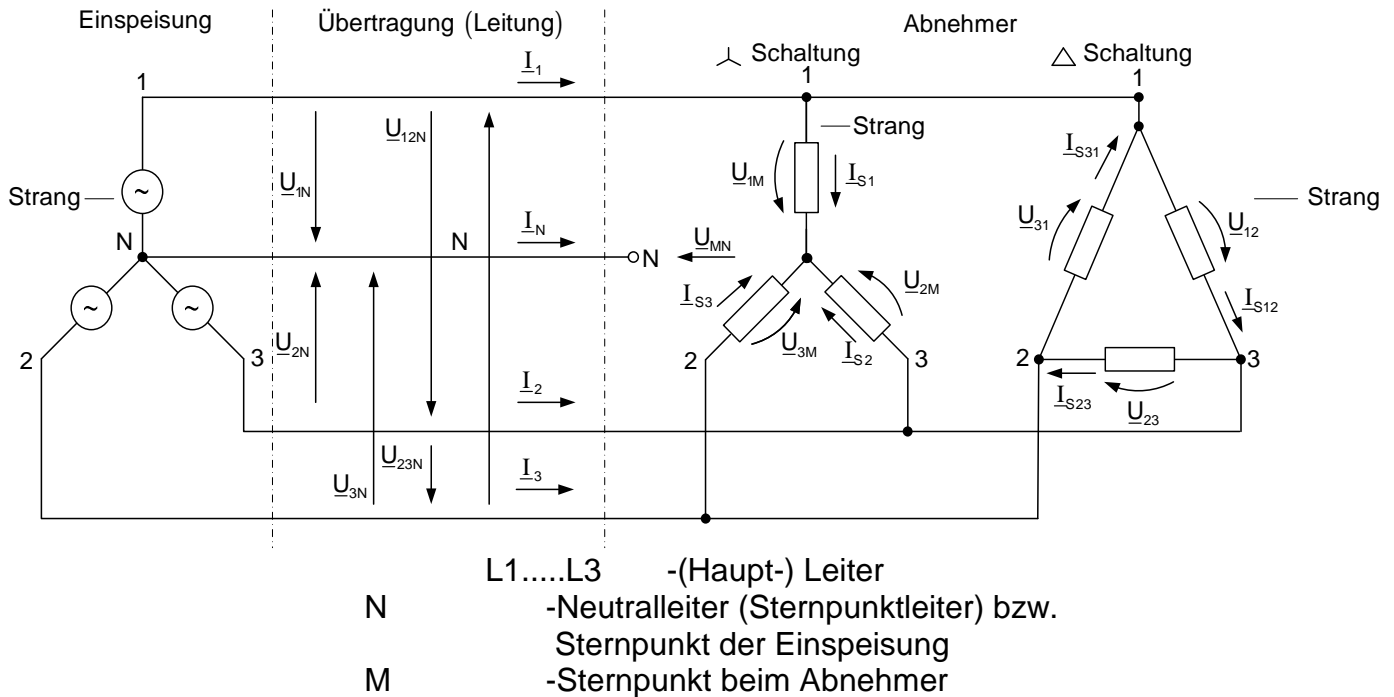


Bild 1: Schaltungen in einem Dreiphasensystem

Begriffe:

- Leiter-Neutraleiter-Spannung: ist die Spannung zwischen den Leitern L1-N, L2-N, L3-N
- Leiter-Leiter-Spannung            ist die Spannung zwischen den Leitern L1-L2, L2-L3, L3-L1
- Sternpunktverlagerungs-Spannung: ist die Spannung zwischen den Sternpunkten M und N
- Leiterstrom:                        ist der Strom durch die Leiter L1, L2, L3 (Hauptleiterstrom)
- Sternpunktleiterstrom:            ist der Strom durch den Leiter N (Neutraleiterstrom)
- Strang:                                ist ein einzelnes, der in Stern oder Dreieck zusammenschalteten Bauelemente (Widerstand, Wicklung)
- Strangspannung:                    ist die Spannung über einem Widerstand oder Wicklungsteil
- Strangstrom:                        ist der Strom durch einen Widerstand oder Wicklungsteil

Spannungs- und Stromzusammenhänge:

Diese Zusammenhänge gelten unter Vernachlässigung der Leiterimpedanzen. Das entspricht in 1. Näherung der Situation in realen Systemen, wenn die Spannungsabfälle entlang der Leitung nicht der Betrachtungsgegenstand sind.

## 1. Sternschaltung

$$\begin{array}{l} \underline{U}_{12} = \underline{U}_{1N} - \underline{U}_{2N} \\ \underline{U}_{23} = \underline{U}_{2N} - \underline{U}_{3N} \\ \underline{U}_{31} = \underline{U}_{3N} - \underline{U}_{1N} \end{array} \quad \underline{U}_{MN} = \left\{ \begin{array}{l} \underline{U}_{1N} - \underline{U}_{1M} \\ \underline{U}_{2N} - \underline{U}_{2M} \\ \underline{U}_{3N} - \underline{U}_{3M} \\ 0 \text{ wenn M und N verbunden sind} \end{array} \right.$$

$$\underline{U}_{S1} = \underline{U}_{1M} \quad \underline{I}_{S1} = \underline{I}_1$$

$$\underline{U}_{S2} = \underline{U}_{2M} \quad \underline{I}_{S2} = \underline{I}_2$$

$$\underline{U}_{S3} = \underline{U}_{3M} \quad \underline{I}_{S3} = \underline{I}_3$$

$$\underline{I}_N = \left\{ \begin{array}{l} -\underline{I}_1 - \underline{I}_2 - \underline{I}_3 \\ 0 \text{ wenn } \underline{I}_1, \underline{I}_2 \text{ und } \underline{I}_3 \text{ ein symmetrisches System} \\ \text{bilden bzw. M und N nicht verbunden sind} \end{array} \right.$$

## 2. Dreieckschaltung

$$\underline{U}_{S12} = \underline{U}_{12} = \underline{U}_{1N} - \underline{U}_{2N}$$

$$\underline{U}_{S23} = \underline{U}_{23} = \underline{U}_{2N} - \underline{U}_{3N}$$

$$\underline{U}_{S31} = \underline{U}_{31} = \underline{U}_{3N} - \underline{U}_{1N}$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{S12} - \underline{I}_{S31}$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_{S23} - \underline{I}_{S12}$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_{S31} - \underline{I}_{S23}$$

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

Leistungszusammenhänge

## 1. Dargestellt mit Leitergrößen

$$\begin{aligned} \underline{S}_{\text{ges}} &= \underline{S}_{L1} + \underline{S}_{L2} + \underline{S}_{L3} \\ &= \underline{U}_{1N}\underline{I}_1^* + \underline{U}_{2N}\underline{I}_2^* + \underline{U}_{3N}\underline{I}_3^* \end{aligned}$$

## 2. Dargestellt mit Stranggrößen

$$\underline{S}_{\text{ges}} = \underline{S}_{S1} + \underline{S}_{S2} + \underline{S}_{S3}$$

Sternschaltung

$$\underline{S}_{S1} = \underline{U}_{S1} \underline{I}_{S1}^* ; \underline{S}_{S2} = \underline{U}_{S2} \underline{I}_{S2}^* ; \underline{S}_{S3} = \underline{U}_{S3} \underline{I}_{S3}^*$$

Dreieckschaltung

$$\underline{S}_{S1} = \underline{U}_{S12} \underline{I}_{S12}^* ; \underline{S}_{S2} = \underline{U}_{S23} \underline{I}_{S23}^* ; \underline{S}_{S3} = \underline{U}_{S31} \underline{I}_{S31}^*$$

## 4 Versuchsvorbereitung

4.1 In der angegebenen Literatur sind die entsprechenden Abschnitte zu folgenden Problemkreisen zu studieren:

- Zusammenhänge für Strom, Spannung und Leistung bei Stern- und Dreieckschaltung
- Leistungsmessung in Drehstromsystemen
- Symmetrisches und unsymmetrisches Drehstromsystem
- Sternpunktverlagerungsspannung

4.2 In Vorbereitung auf die Versuche 5.2.1.1 und 5.2.1.3 sind von allen Mitgliedern der jeweiligen Versuchsgruppe unter Beachtung der einzustellenden Leiter-Neutralleiter-Spannungen die zur Einstellung der vorgegebenen Strangströme erforderlichen Strangwiderstände  $R_S$  zu berechnen und in der jeweiligen Tabelle einzutragen.

**Die Ergebnisse sind zu Beginn des Praktikums vorzulegen!**

4.3 In Vorbereitung auf die Versuche 5.2.2.1 und 5.2.2.2 sind analog zu 4.2 die erforderlichen Strangwiderstände  $R_S$  zu berechnen und in der jeweiligen Tabelle einzutragen.

**Die Ergebnisse sind zu Beginn des Praktikums vorzulegen!**

## 5 Versuchsdurchführung

### 5.1 Allgemeine Hinweise

Unter Nutzung der Steckschablonen sind die Schaltungen (Bild 2 und 3) zu realisieren!

**Hinweis:** Auf der Schablone sind die erforderlichen Verbindungen als graue und schwarze Linien dargestellt! Hierbei ist zu beachten, dass die grau gekennzeichneten Verbindungen bereits intern realisiert sind und alle schwarz gezeichneten Verbindungen sowie technischen Elemente durch die entsprechenden externen Beschaltungen (Einspeisungen, Bauelemente und Messgeräte etc.) realisiert werden müssen.

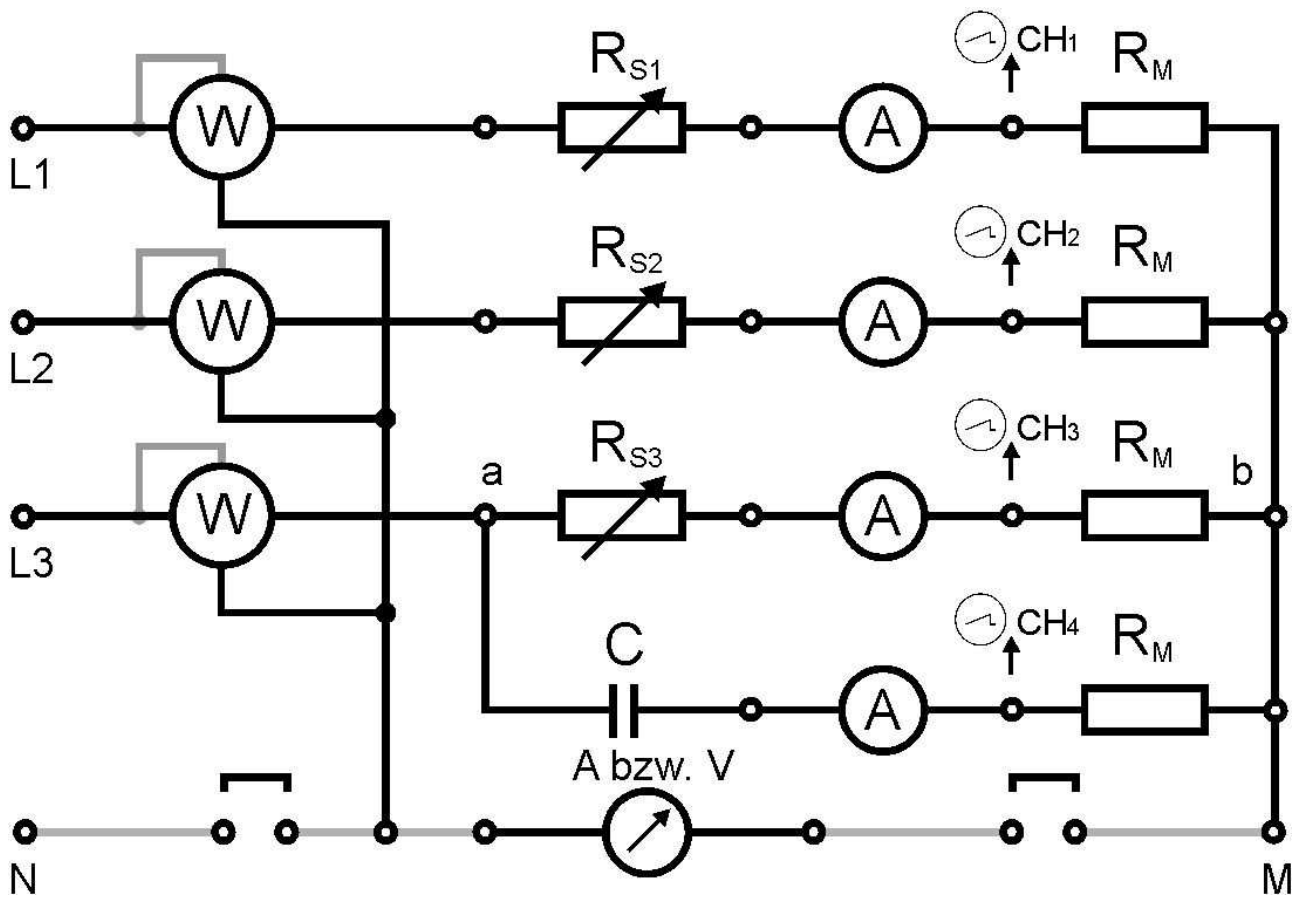


Bild 2

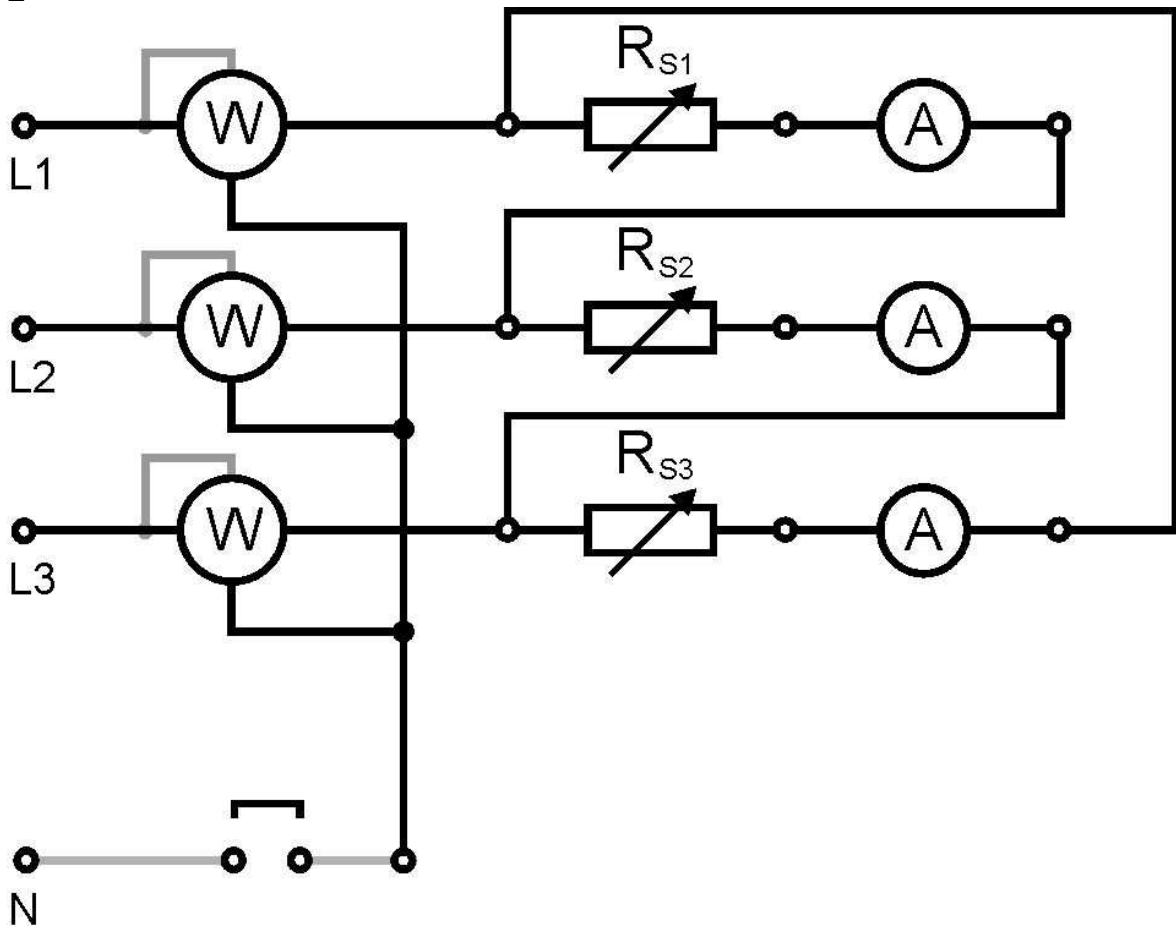


Bild 3

Für jede Schaltung sind bei symmetrischer und unsymmetrischer Belastung Strom, Spannung und Leistung zu messen.

Das Einstellen der Einspeise-Spannungen erfolgt am Trennstelltransformator (s. Bild 4) mit den dort eingebauten Potentiometern. Dabei sind folgende Leiter-Neutraleiter-Spannungen (Effektivwert) einzustellen:

$$U_{1N} = U_{2N} = U_{3N} = 23 \text{ V.}$$

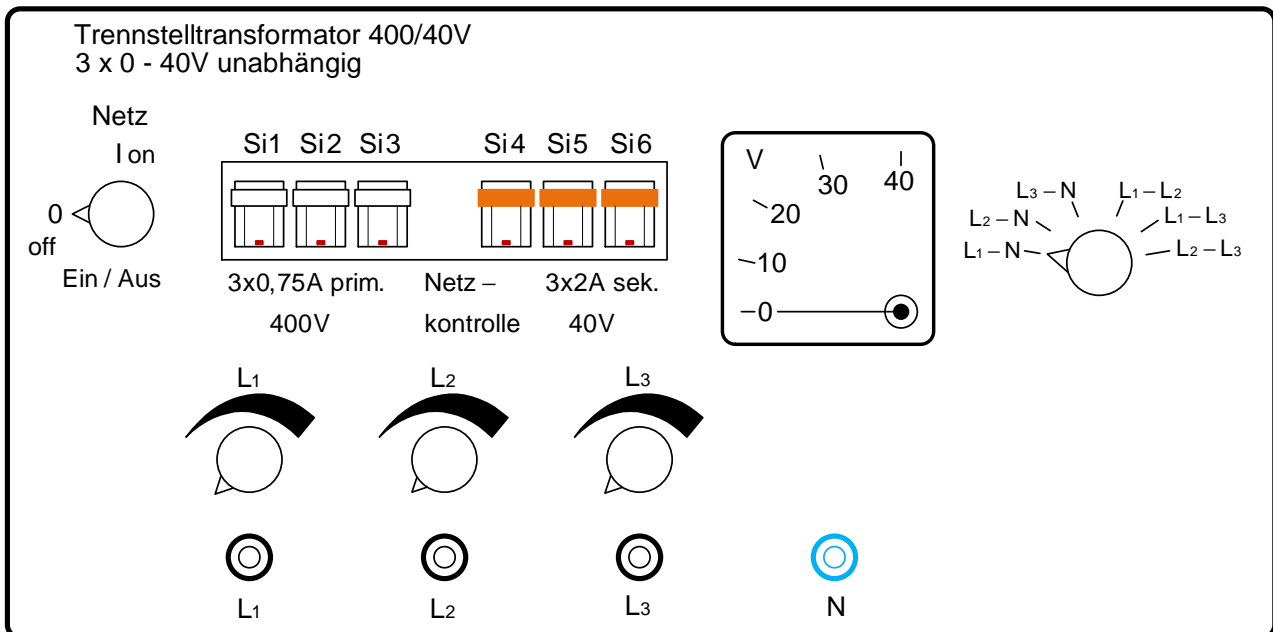


Bild 4: Trennstelltransformator 400/40 V

### Benötigte Versuchstechnik

- Digitales Speicheroszilloskop Rhode&Schwarz HMO724
- 3 Universalmessgerät Metrahit Energy
- 5 Universalmessgeräte UNIGOR 350 oder andere Fabrikate
- Widerstandsdekaden
  - Resistenz 1:  $0,1\Omega - 10\Omega$
  - Resistenz 2:  $1\Omega - 100\Omega$
  - Resistenz 3:  $10\Omega - 1k\Omega$
  - Resistenz 4:  $100\Omega - 10k\Omega$
  - Resistenz 5:  $10k\Omega - 1M\Omega$
- 1 Kondensator ca.  $100 \mu\text{F}$

## 5.2 Versuchsaufgaben

### 5.2.1 Sternschaltung

5.2.1.1 Aufbau der Schaltung entsprechend der Experimentierplatte (Bild 2), der zwischen den Punkten a und b im Strang 3 parallel geschaltete Kondensator hat den Wert  $C = 0\mu\text{F}$  (also offen lassen)!

Mit den Kaskadenwiderständen sind die unter 4.2 vorausgerechneten Strangwiderstände  $R_{S1} \dots R_{S3}$  einzustellen.

Zur Messung von  $I_N$  wird zwischen die Punkte M und N ein Amperemeter geschaltet. Die Messwiderstände  $R_M$  betragen jeweils  $R_M = 1 \Omega$

Nr. der Versuchsgruppe	$I_{S1}/\text{mA}$	$R_{S1}/\Omega$	$I_{S2}/\text{mA}$	$R_{S2}/\Omega$	$I_{S3}/\text{mA}$	$R_{S3}/\Omega$
1	400		400		400	
2	440		440		440	
3	480		480		480	
4	520		520		520	
5	560		560		560	
6	600		600		600	

Die Effektivwerte aller  $P_L$ ,  $I_L$ ,  $I_N$ ,  $I_S$ ,  $U_{LN}$  und  $U_{LL}$  sind mit den Multimetern messtechnisch zu erfassen! Außerdem sind die Zeitverläufe der Ströme  $i_L(t)$ ,  $i_N(t)$  zu oszillografieren.

5.2.1.2 Aufbau der Schaltung entsprechend 5.2.1.1, der zwischen den Punkten a und b im Strang 3 parallel geschaltete Kondensator hat nun den Wert entsprechend der Vorgabe durch den Versuchsbetreuer. Zusätzlich zu den Größen unter 5.2.1.1 sind die folgenden zu messen: Effektivwerte  $Q_L$ ,  $I_{w3}$  und  $I_{b3}$  und Oszillogramme  $i_{w3}(t)$ ,  $i_{b3}(t)$ ,  $i_N(t)$ .

5.2.1.3 Schaltung wie bei Versuch 5.2.1.1, jedoch mit (durch Veränderung der Strangwiderstände) unterschiedlich eingestellten Strangströmen.

Nr. der Versuchsgruppe	$I_{S1}/\text{mA}$	$R_{S1}/\Omega$	$I_{S2}/\text{mA}$	$R_{S2}/\Omega$	$I_{S3}/\text{mA}$	$R_{S3}/\Omega$
1	350		450		550	
2	600		500		400	
3	400		400		500	
4	500		500		400	
5	400		500		600	
6	500		350		500	

Es sind die gleichen Größen wie unter 5.2.1.1 zu messen!

5.2.1.4 Die Schaltung gemäß Versuch 5.2.1.3 ist wie folgt zu verändern:

Zur Messung von  $U_{MN}$  wird zwischen die Punkte M und N ein Voltmeter geschaltet. Zu messen sind alle  $P_L$ ,  $I_L$ ,  $I_S$ ,  $U_{LN}$ ,  $U_{LM}$  und  $U_{LL}$  sowie  $U_{MN}$ .

## 5.2.2 Dreieckschaltung

5.2.2.1 Aufbau der Schaltung entsprechend der Experimentierplatte (Bild 3). Mit den Kaskadenwiderständen sind die unter 4.3 vorausgerechneten Strangwiderstände  $R_{S1} \dots R_{S3}$  einzustellen. Diese sind an Hand der zu messenden Strangströme gegebenenfalls so zu verändern, bis die für die jeweilige Versuchsgruppe vorgegebenen Strangströme annähernd fließen.

Nr. der Versuchsgruppe	$I_{S1}/\text{mA}$	$R_{S1}/\Omega$	$I_{S2}/\text{mA}$	$R_{S2}/\Omega$	$I_{S3}/\text{mA}$	$R_{S3}/\Omega$
1	250		250		250	
2	300		300		300	
3	350		350		350	
4	400		400		400	
5	450		450		450	
6	500		500		500	

Zu messen sind alle  $P_L$ ,  $I_L$ ,  $I_S$ ,  $U_{LN}$  und  $U_{LL}$ .

5.2.2.2 Schaltung wie für Versuch 5.2.2.1, jedoch sind unterschiedliche Strangströme durch Veränderung der Strangwiderstände einzustellen.

Nr. der Versuchsgruppe	$I_{S1}/\text{mA}$	$R_{S1}/\Omega$	$I_{S2}/\text{mA}$	$R_{S2}/\Omega$	$I_{S3}/\text{mA}$	$R_{S3}/\Omega$
1	250		250		400	
2	250		400		400	
3	250		250		500	
4	200		550		200	
5	400		300		250	
6	450		350		250	

Zu messen sind alle  $P_L$ ,  $I_L$ ,  $I_S$ ,  $U_{LN}$  und  $U_{LL}$ .

## 6 Auswertung

6.1 Die gemessenen Leistungen sind für alle Teilversuche mit den über die gemessenen Ströme und Spannungen zu berechnenden Leistungen zu vergleichen.

6.2 Die Zusammenhänge zwischen den Leiterströmen und den Sternpunktleiterströmen sind auf der Grundlage der Messergebnisse für die Versuche 5.2.1.1, 5.2.1.2 und 5.2.1.3 zu diskutieren.



- 6.3 Mit den gemessenen Spannungen der Versuche 5.2.1.1, 5.2.1.2, 5.2.1.3 und 5.2.1.4 sind maßstäbliche Zeigerbilder zu zeichnen.
- 6.4 Die bei dem Versuch 5.2.1.4 gemessene Sternpunktverlagerungsspannung ist mit der im Zeigerbild zeichnerisch ermittelten zu vergleichen.

Anlage: Messprotokoll

Mess-Größen Für alle Versuche	Stern-Schaltung				Dreieck-Schaltung	
	symmetrisch		unsymmetrisch		sym.	unsym.
	Sternpunkt geerdet		Sternpunkt geerdet			
	5.2.1.1	mit C 5.2.1.2	5.2.1.3	frei 5.2.1.4	5.2.2.1	5.2.2.2
U <sub>1N</sub> / V						
U <sub>2N</sub> / V						
U <sub>3N</sub> / V						
U <sub>12</sub> / V						
U <sub>23</sub> / V						
U <sub>13</sub> / V						
I <sub>1</sub> / A						
I <sub>2</sub> / A						
I <sub>3</sub> / A						
I <sub>s1</sub> / A						
I <sub>s2</sub> / A						
I <sub>s3</sub> / A						
I <sub>N</sub> / A				/	/	/
P <sub>L1</sub> / W						
P <sub>L2</sub> / W						
P <sub>L3</sub> / W						
	Q <sub>L1</sub> / VAr		U <sub>1M</sub> / V			
	Q <sub>L2</sub> / VAr		U <sub>2M</sub> / V			
	Q <sub>L3</sub> / VAr		U <sub>3M</sub> / V			
	I <sub>w3</sub> / A		U <sub>MN</sub> / V			
	I <sub>b3</sub> / A					