

Elektrische Netze

Drehstrom -
Symmetrische
Komponenten

**Prof. Dr. Eberhard
Waffenschmidt**

TH-Köln 2022



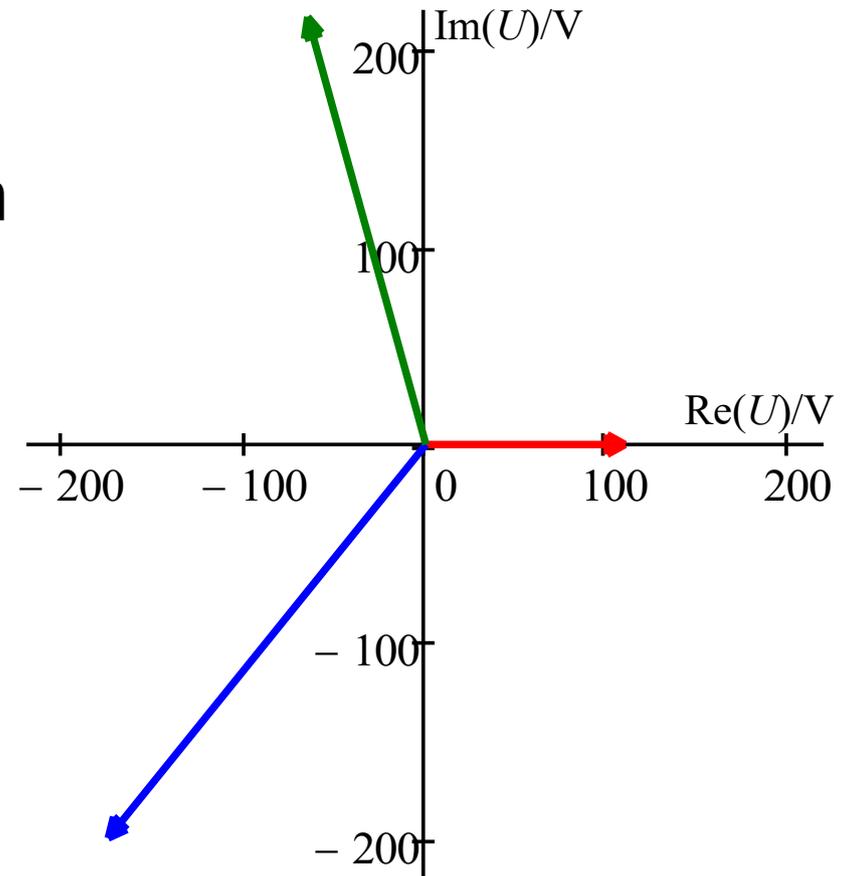
Symmetrische Komponenten

- Wann braucht man „symmetrische Komponenten“
- Herleitung und Erläuterung
- Einphasige Ersatzschaltbilder
- Physikalische Bedeutung

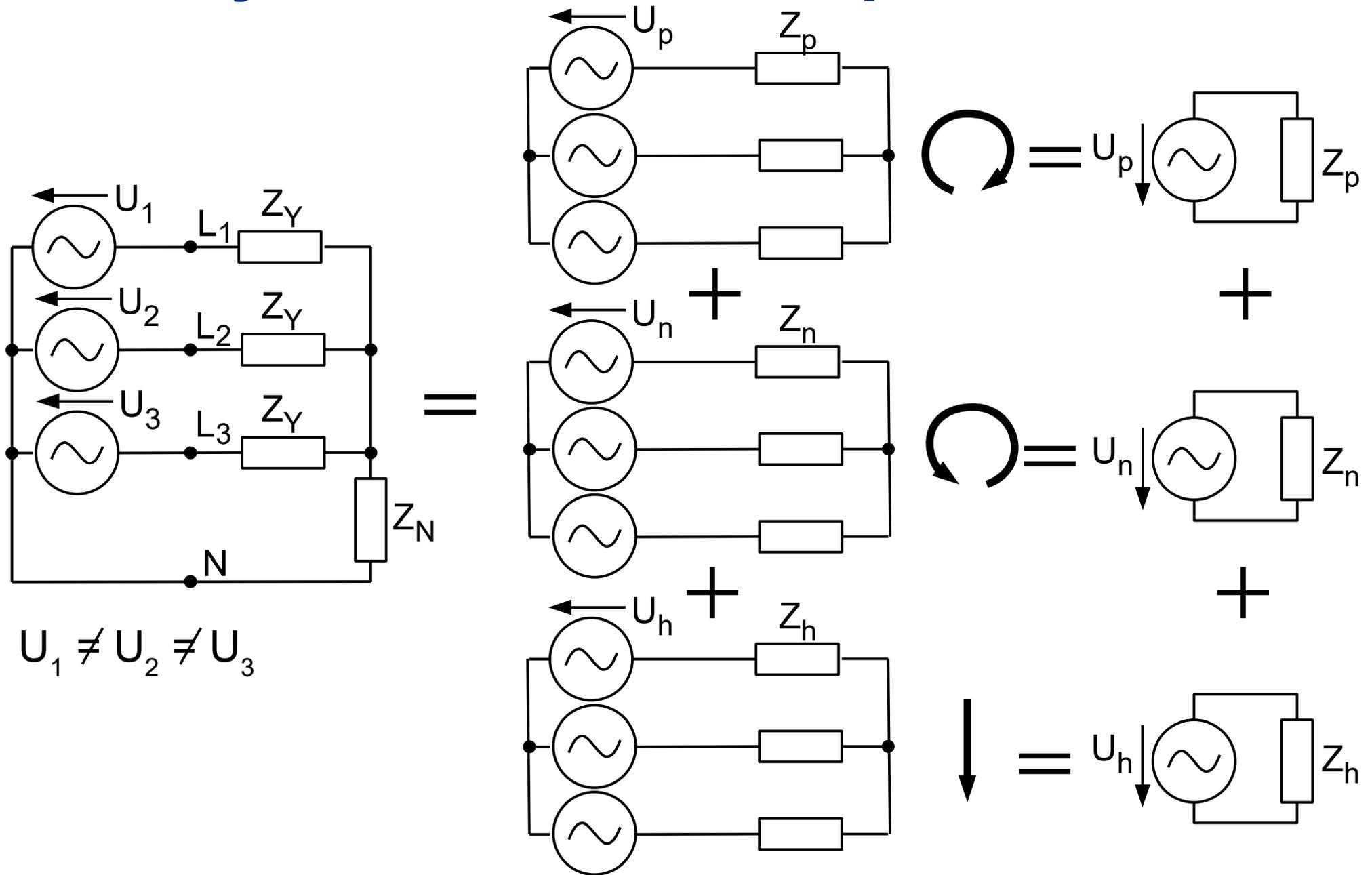
Symmetrische Komponenten

Verwendbar für

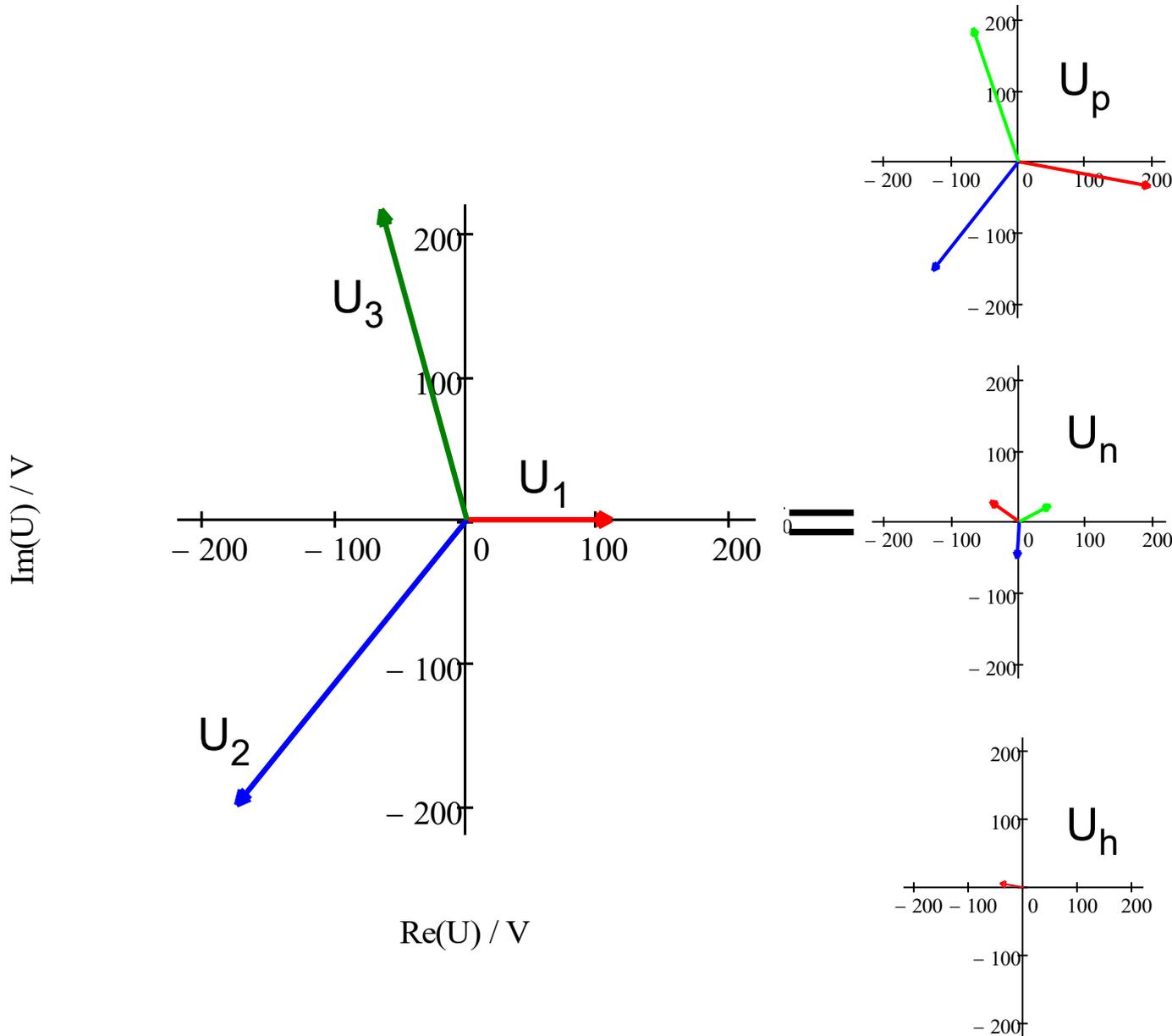
- **Unsymmetrische Speisung** in
- **Symmetrischen Netzen**
- **Punktförmiger Unsymmetrie**
- **Stationären Betrieb**



Symmetrische Komponenten



Symmetrische Komponenten



Positiv drehendes System
= Mit-System

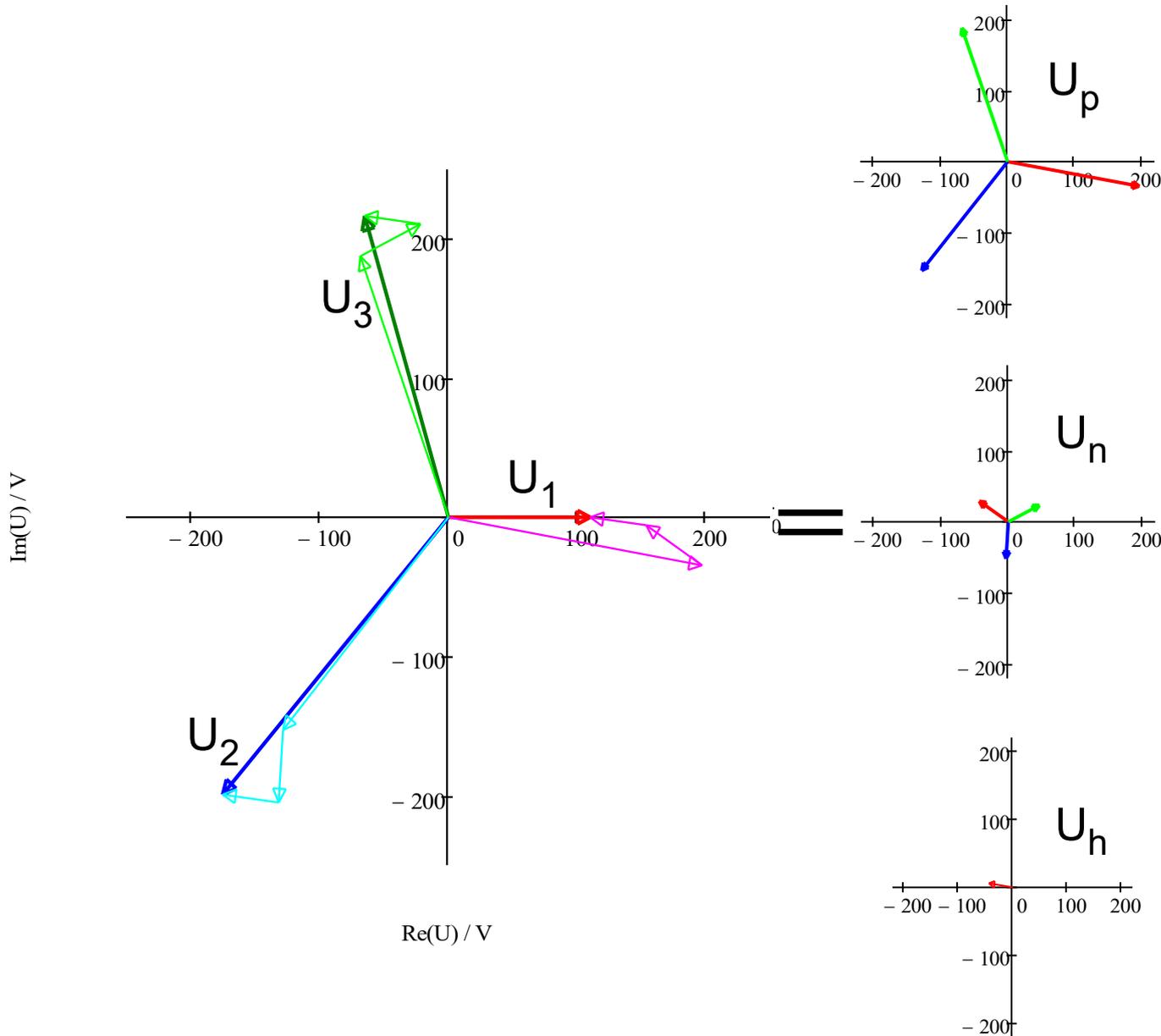
+

Negativ drehendes System
= Gegen-System
= Invers-System

+

Homopolar-System
= Null-System

Symmetrische Komponenten



Positiv drehendes System
= Mit-System

+

Negativ drehendes System
= Gegen-System
= Invers-System

+

Homopolar-System
= Null-System

Symmetrische Komponenten: Herleitung

$$\begin{aligned}
 U_1 &= U_{1p} + U_{1n} + U_{1h} \\
 U_2 &= U_{2p} + U_{2n} + U_{2h} \\
 U_3 &= U_{3p} + U_{3n} + U_{3h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_1 &= U_p \cdot 1 + U_n \cdot 1 + U_h \cdot 1 \\
 U_2 &= U_p \cdot e^{-j120^\circ} + U_n \cdot e^{+j120^\circ} + U_h \cdot 1 \\
 U_3 &= U_p \cdot e^{+j120^\circ} + U_n \cdot e^{-j120^\circ} + U_h \cdot 1
 \end{aligned}$$

In Vektor- und Matrix-Schreibweise:

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ e^{-j120^\circ} & e^{+j120^\circ} & 1 \\ e^{+j120^\circ} & e^{-j120^\circ} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_p \\ U_n \\ U_h \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_p \\ U_n \\ U_h \end{pmatrix}$$

mit $a = e^{+j120^\circ} = e^{j\frac{2\pi}{3}}$

$|U_{1p}| = |U_{2p}| = |U_{3p}|$
 Besser: Phase berücksichtigen
 $U_{1p} = U_p \cdot 1$
 $U_{2p} = U_p \cdot e^{-j120^\circ}$
 $U_{3p} = U_p \cdot e^{+j120^\circ}$
 Entsprechend: negativ drehend
 $U_{1n} = U_n \cdot 1$
 $U_{2n} = U_n \cdot e^{+j120^\circ}$
 $U_{3n} = U_n \cdot e^{-j120^\circ}$
 Null-System
 $U_{1h} = U_h \cdot 1$
 $U_{2h} = U_h \cdot 1$
 $U_{3h} = U_h \cdot 1$

$a^2 = e^{-j120^\circ} = e^{-j\frac{2\pi}{3}}$



Symmetrische Komponenten

$$\underbrace{\begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{pmatrix}} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix}} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} U_p \\ U_n \\ U_h \end{pmatrix}}$$

$$u = T \cdot u'$$

$$u' = T^{-1} \cdot u$$

$$\underbrace{\begin{pmatrix} U_p \\ U_n \\ U_h \end{pmatrix}} = \frac{1}{3} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{pmatrix}}$$

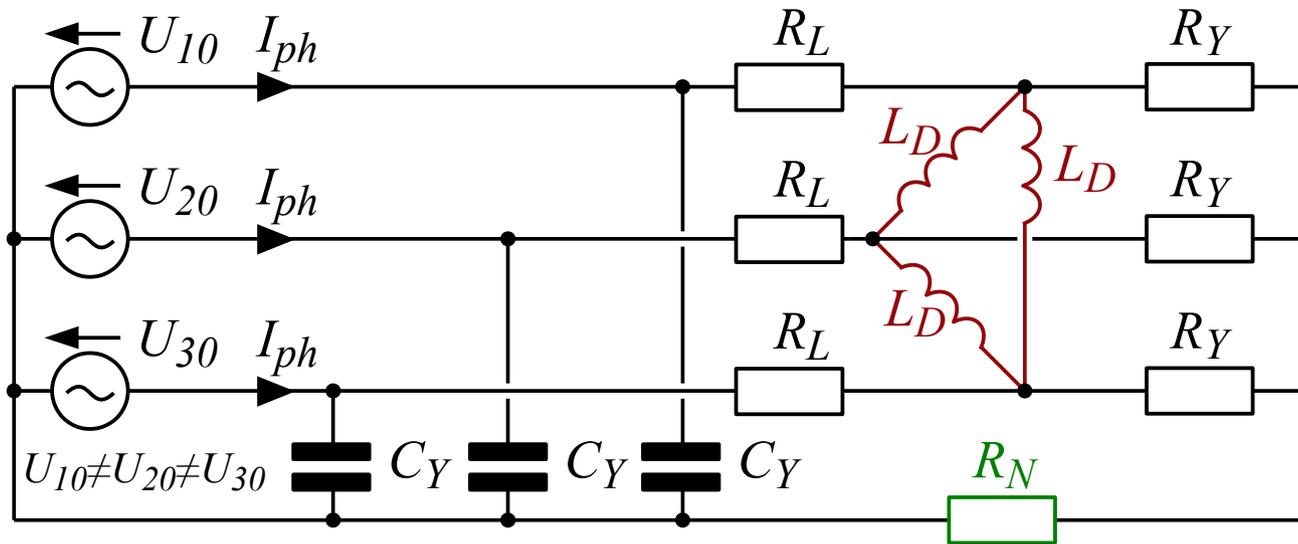


$$\begin{aligned} U_p &= \frac{1}{3} \cdot U_1 + \frac{1}{3} \cdot e^{+j120^\circ} \cdot U_2 + \frac{1}{3} \cdot e^{-j120^\circ} \cdot U_3 \\ U_n &= \frac{1}{3} \cdot U_1 + \frac{1}{3} \cdot e^{-j120^\circ} \cdot U_2 + \frac{1}{3} \cdot e^{+j120^\circ} \cdot U_3 \\ U_h &= \frac{1}{3} \cdot U_1 + \frac{1}{3} \cdot U_2 + \frac{1}{3} \cdot U_3 \end{aligned}$$

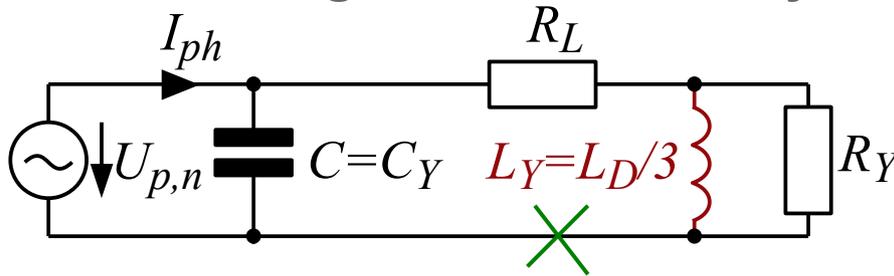
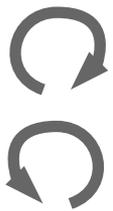
Phasenverschiebung 120°:

$$a = e^{+j120^\circ} = e^{j\frac{2\pi}{3}} \quad a^2 = e^{-j120^\circ} = e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$

Einphasiges Ersatzschaltbild

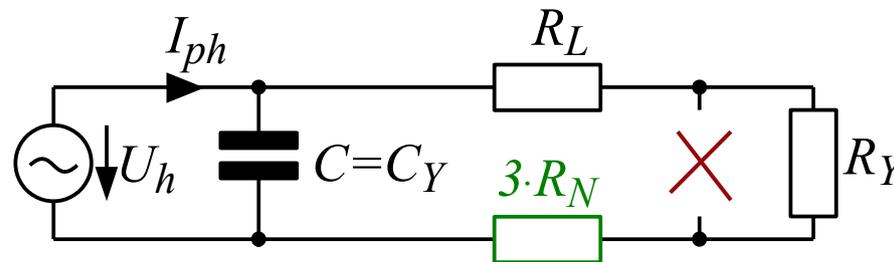
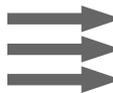


Für positiv und negativ drehendes System (Mit- und Gegensystem):



- Dreieckförmige Komponenten in sternförmige umwandeln
- Neutraleiter-Komponenten fallen weg

Für homopolares System (Null-System):



- Dreieckförmige Komponenten fallen weg
- Neutraleiter-Komponenten mit 3 multiplizieren

Physikalische Bedeutung

Drehstrom-Motor:

- Mit-System:
 - Lässt Motor vorwärts drehen
- Gegen-System:
 - Bremst den Motor
- Null-System:
 - Macht nur Verluste

Physikalische Bedeutung

Leitungen:

■ Mit-System = Gegen-System:

- Wird ganz normal übertragen
- Betriebsleitungsbelag relevant

■ Null-System:

- Verursacht Strom auf Neutral-Leiter:
Neutralleiter mitberücksichtigen
- Leitungsbeläge zwischen Leitern haben keine Wirkung:
Nur Leitungsbeläge zum Neutralleiter sind wirksam
=> *Extra Leitungsbeläge für Null-System!*

Physikalische Bedeutung

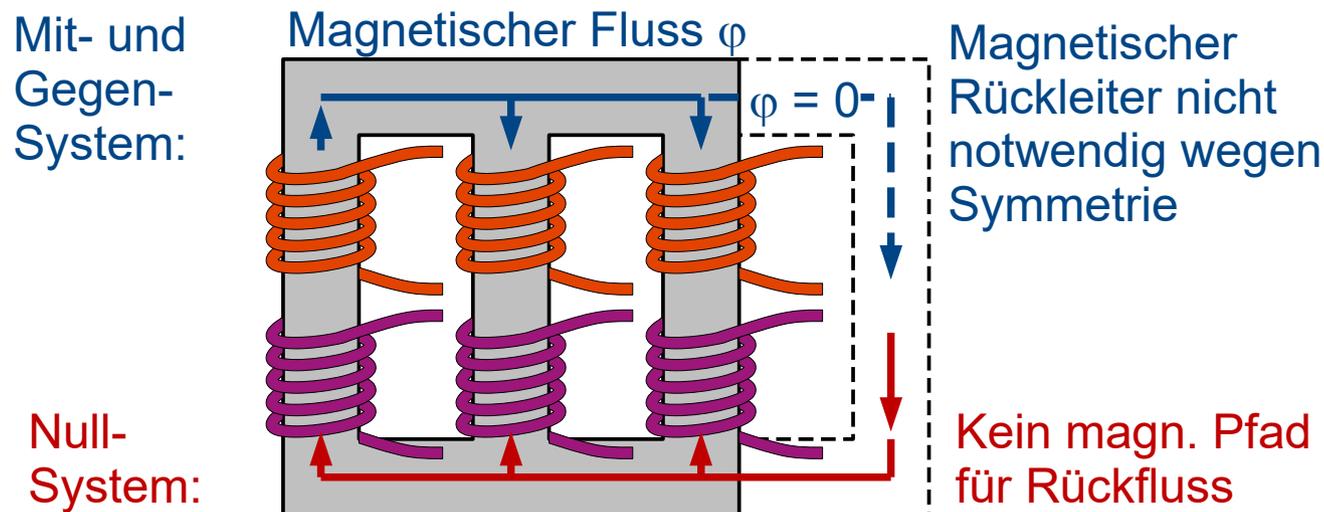
Transformator

■ Mit-System = Gegen-System:

- Wird ganz normal übertragen

■ Null-System:

- Drehstromtrafo kann kein Null-System übertragen



Weitere Anwendungen

- Einfache Charakterisierung von Betriebsmitteln (Trafo, Generator, Leitungen etc.)
- Punktförmige unsymmetrische Störungen

Kontakt

Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt

Professur Elektrische Netze

Fakultät für Informations-, Medien- und Elektrotechnik (F07)

Technische Hochschule Köln

Betzdorferstraße 2, Raum ZO 9-19

50679 Köln, Deutschland

Tel. +49 221 8275 2020

eberhard.waffenschmidt@th-koeln.de

<https://www.th-koeln.de/personen/eberhard.waffenschmidt/>

Lizenzbedingungen:

Diese Präsentation zur Vorlesung *Elektrische Netze* wird veröffentlicht von Eberhard Waffenschmidt unter der

Common Creatives Lizenz cc by nc sa



Sie dürfen:

- Das Material teilen und bearbeiten

Unter folgenden Bedingungen:

- Namensnennung
- Nicht für kommerzielle Zwecke
- Weitergabe unter gleichen Bedingungen

Details siehe:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>

