

## ÜBUNG 06

12.04.2024- LINA DE WINDT

Alle Unterlagen auf [n.ethz.ch/~ldewindt](https://n.ethz.ch/~ldewindt)

### Themen von heute:

1. Recap der Theorie von dieser Woche
  - 1.1 Superposition
  - 1.2 Ersatzquellen
  - 1.3 Transformatoren
  - 1.4 Stern-Dreieck Umwandlung (bei 3 $\phi$ -Systemen)
2. Beispielaufgaben
3. Vorbesprechung der Serie 6

# Superposition

Bei linearen Netzwerken können die Teileinflüsse einzelner Quellen .....  
werden, um das Gesamtergebnis zu erhalten:

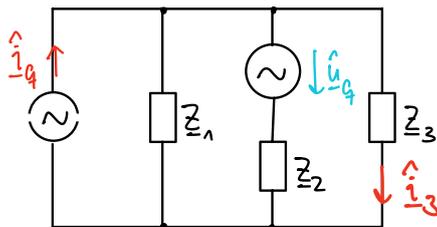
Um den Teileinfluss einer Quelle zu bestimmen, werden ① zuerst alle anderen  
Quellen zu Null gesetzt. Dabei werden Spannungsquellen zu .....  
(= 0V Spannungsabfall) & Stromquellen zu ..... (= 0A Stromfluss).

② Dann wird der Einfluss dieser ..... berechnet.

③ Schritt ① & ② wird für alle Quellen im Netzwerk wiederholt.

④ Am Schluss werden ..... um das Gesamtergebnis zu  
erhalten.

Beispiel:



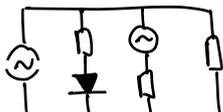
Gesucht:  $\hat{i}_3$

1.) Einfluss von  $\hat{u}_q$ :

2.) Einfluss von  $\hat{i}_q$ :

=> Insgesamt:

**⚠ ACHTUNG:** Superposition ist nicht gültig für nichtlineare Netzwerke !!

( z.B. Schaltungen mit Dioden:  nicht linear! )

## Beispielaufgabe:

### Aufgabe 1 Superposition

Gegeben sei das Widerstandsnetzwerk in Abbildung 1. Bestimmen Sie den Strom  $\hat{i}_C$  in Abhängigkeit von  $\hat{u}_0$  und  $\hat{i}_0$  mit Hilfe des Überlagerungssatzes. Verwenden Sie bei der Berechnung komplexe Impedanzen und gehen Sie von sinusförmigen Wechselgrößen mit der Kreisfrequenz  $\omega$  aus.

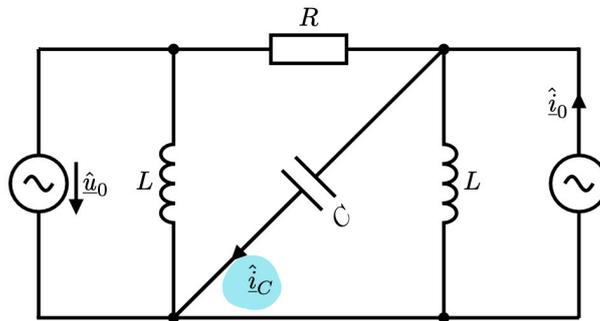


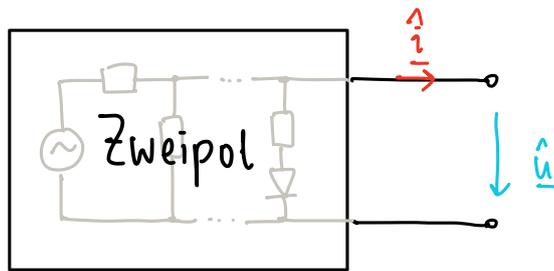
Abbildung 1: Gesucht ist der Strom  $\hat{i}_C$  mit Hilfe des Überlagerungssatzes





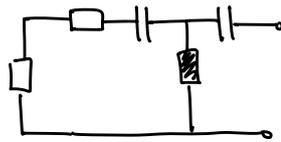
# Ersatzschaltungen

## Zweipol & Klemmverhalten:

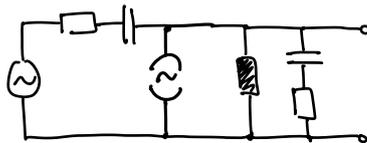


Ein Zweipol ist ein abgeschlossenes Netzwerk ohne elektrische oder magnetische Kopplung nach aussen.

**Passive Zweipole** sind Zweipole, die nur aus ..... Bauelementen (R, L, C & Transformatoren) bestehen.



**Aktive Zweipole** sind Zweipole, die neben passiven Bauelementen auch ..... enthalten.

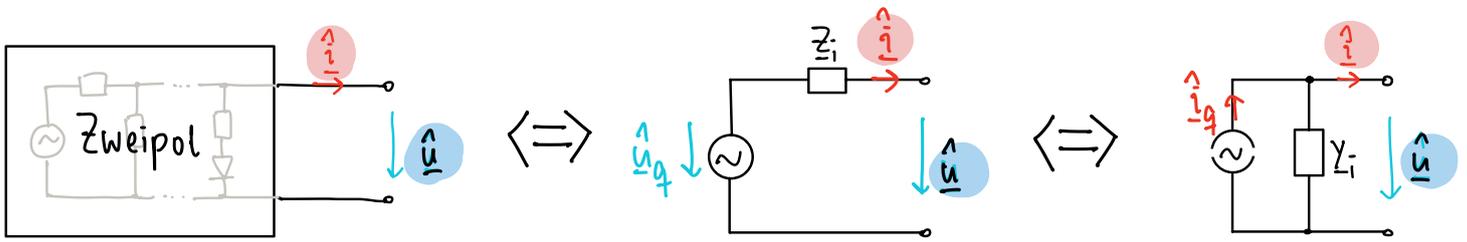


**Lineare Zweipole** sind Zweipole, deren Verhalten ..... von der Spannungs- & Stromamplitude ist. Sie weisen ein lineares Klemmverhalten auf.

$$\text{D.h. } u = \alpha \cdot i + \beta$$

## Ersatzschaltungen → Thévenin & Norton

Das Klemmverhalten eines Zweipols kann vollständig durch einen Ersatzzweipol beschrieben werden. Meistens verwendet man die Ersatzspannungsquelle ..... oder die Ersatzstromquelle .....



Thévenin

Norton

Klemmgleichung:  $\hat{u} = \hat{u}_g - Z_i \hat{i}$

$\hat{i} = \hat{i}_g - Y_i \hat{u}$

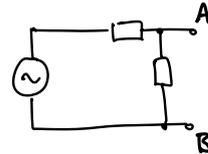
Zu bestimmen:

Klemmverhalten (d.h. ....) muss in allen Schaltungen gleich sein !!

Für die Berechnung der Ersatzschaltung verwenden wir folgende **Kenngrößen**:

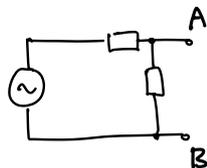
**Leerlaufspannung  $\hat{u}_{LL}$** : Strom zwischen den Klemmen ..... &

dann die daraus folgende Spannung berechnen:



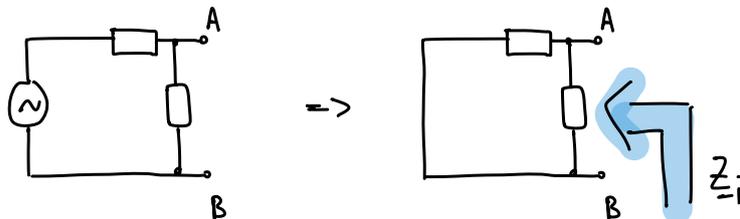
**Kurzschlussstrom  $\hat{i}_{KS}$** : Klemmen ..... & den daraus folgenden Strom

berechnen:



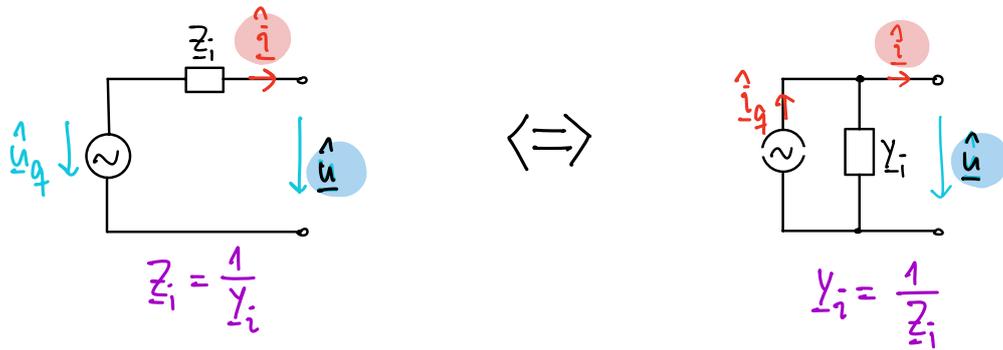
**Innerimpedanz/-admittanz  $Z_i$  resp.  $Y_i$** : Alle ..... &

dann die Impedanz / Admittanz zwischen den Klemmen berechnen:



⇒ Es kann sein, dass man für die Berechnung dieser Kenngrößen das Superpositionsprinzip verwenden muss !

Wenn man Thévenin- & Nortonersatzschaltung ineinander umrechnet, kann man folgende Beziehung zw. den Größen verwenden:



# Beispielaufgabe

## Aufgabe 2 Ersatzquellen

Bestimmen Sie für das Widerstandsnetzwerk in Abbildung 2 die für die Ersatzquellen (Thévenin und Norton) erforderlichen Kenngrößen **Leerlaufspannung  $\hat{u}_{LL}$** , **Kurzschlussstrom  $\hat{i}_{KS}$**  und **Innenimpedanz  $Z$**  bezüglich den Klemmen A und B. Gehen Sie bei  $\hat{u}_0$  von einer sinusförmigen Wechselspannung mit Kreisfrequenz  $\omega$  aus.

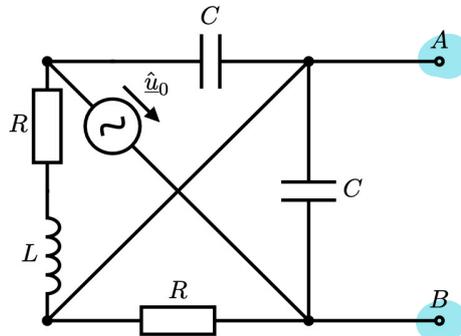


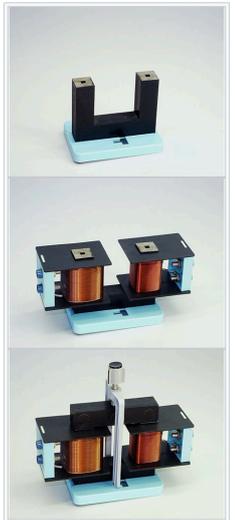
Abbildung 2: Gesucht sind die für die Thévenin- und Nortonersatzschaltung erforderlichen Kenngrößen Leerlaufspannung  $\hat{u}_{LL}$ , Kurzschlussstrom  $\hat{i}_{KS}$  und Innenimpedanz  $Z$  bezüglich den Klemmen A und B.



# Transformatoren

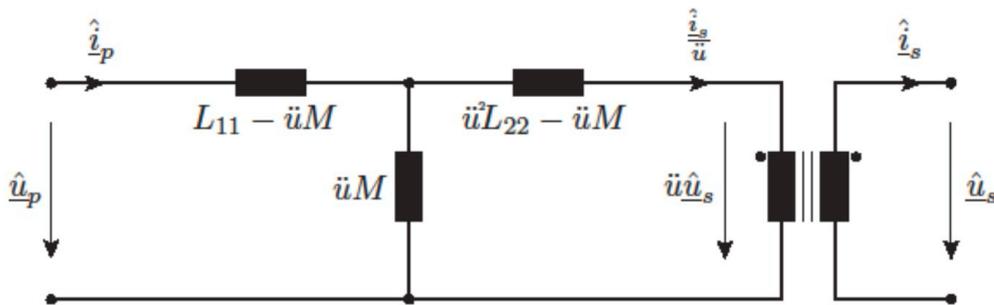
Ein **Transformator** (von *lateinisch transformare* ‚umformen, umwandeln‘; auch **Umspanner**, kurz **Trafo**) ist ein **Bauelement** der **Elektrotechnik**. Er besteht meist aus zwei oder mehr **Spulen (Wicklungen)**, die in der Regel aus isoliertem **Kupferdraht** gewickelt sind und sich auf einem gemeinsamen **Eisenkern** befinden. Ein **Transformator wandelt eine Eingangswechselspannung, die an einer der Spulen angelegt ist, in eine Ausgangswechselspannung um, die an der anderen Spule abgegriffen werden kann**. Dabei entspricht das Verhältnis von Eingangs- und Ausgangsspannung dem Verhältnis der Windungszahlen der beiden Spulen. So wird zum Beispiel bei einem Windungsverhältnis von 20 zu 1 eine Eingangsspannung von 240 Volt in eine Ausgangsspannung von 12 Volt *transformiert*. Je nach **Auslegung** des Transformators kann die Ausgangsspannung somit kleiner, größer oder gleich der Eingangsspannung sein.

Transformatoren dienen vielfach zur Spannungswandlung in **Energieversorgungsanlagen** und in technischen Geräten, dabei insbesondere in **Netzteilen** zur Bereitstellung von **Kleinspannungen** in vielen Arten von elektrischen und elektronischen Geräten. Weiterhin werden sie bei der **Signalübertragung** und der **Schutztrennung** benötigt.



Aus Komponenten zusammensetzbarer Transformator zu Anschauungszwecken. Oben der U-förmige Teil des Eisenkerns, im mittleren Bild mit aufgesteckten Spulen; im unteren Bild mit einem weiteren ferromagnetischen (Eisen-)Joch über dem „U“-Kern, mit dem der *magnetische Kreis* durchgehend geschlossen wird.

## Allgemeines Ersatzschaltbild (verlustloser Übertrager)

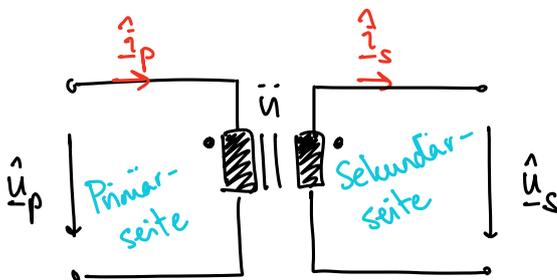


$$\begin{cases} \hat{u}_p = L_{11} \frac{d\hat{i}_p}{dt} - M \frac{d\hat{i}_s}{dt} \\ \hat{u}_s = -L_{22} \frac{d\hat{i}_s}{dt} + M \frac{d\hat{i}_p}{dt} \end{cases}$$

Im Frequenzbereich:

$$\begin{cases} \underline{u}_p(j\omega) = j\omega L_{11} \underline{I}_p(j\omega) - j\omega M \underline{I}_s(j\omega) \\ \underline{u}_s(j\omega) = -j\omega L_{22} \underline{I}_s(j\omega) + j\omega M \underline{I}_p(j\omega) \end{cases}$$

## Ideales Ersatzschaltbild:



Im Frequenzbereich:

$$\begin{cases} \underline{u}_p(j\omega) = \hat{u} \underline{u}_s(j\omega) \\ \underline{I}_s(j\omega) = \hat{u} \underline{I}_p(j\omega) \end{cases}$$

## Aufgabe 3 Impedanztransformation

Gegeben ist das Netzwerke in Abbildung 3 mit einem idealen Übertrager.

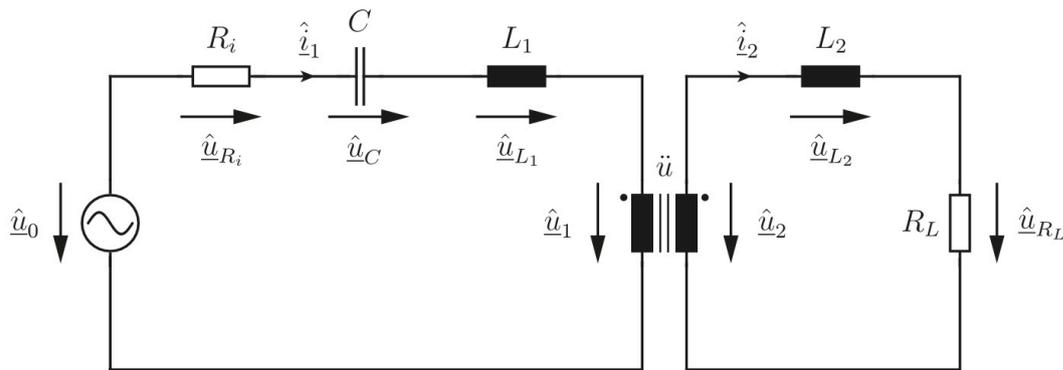
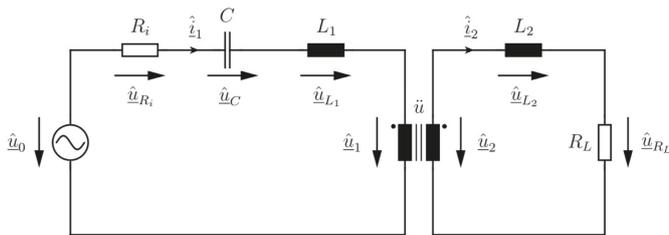


Abbildung 3: Betrachtetes Netzwerk

- 3.1) Geben Sie ein Ersatznetzwerk für die dargestellte Schaltung an, das keinen Übertrager mehr enthält, indem Sie alle Größen von der Sekundärseite auf die Primärseite transformieren.
- 3.2) Berechnen Sie die Zeiger  $\hat{i}_1$  und  $\hat{u}_{R_L}$  in Abhängigkeit der gegebenen Größen.
- 3.3) Bei welcher Frequenz  $f_0$  wird die Wirkleistungsaufnahme des Netzwerks maximal? Welche Bedingung muss für den Wert von  $R_L$  bei dieser Frequenz erfüllt sein, damit die Quelle ihrerseits die maximale Leistung abgeben kann? Wie wird dieser Betriebsfall genannt?
- 3.4) Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm für die Ströme und Spannungen bei einer Frequenz  $f > f_0$  und einem Übersetzungsverhältnis  $\ddot{u} = 2$ .

3.1)





# Stern- Dreieck- Umwandlung (für 3φ-Systeme)

Die Stern- & die Dreieckschaltung weisen mit den folgenden Zusammenhängen zwischen den Knoten 1,2 und 3 jeweils die gleichen Gesamtwiderstände auf:

$$\underline{Y}_{12} = \frac{Y_{10} Y_{20}}{\sum \underline{Y}}$$

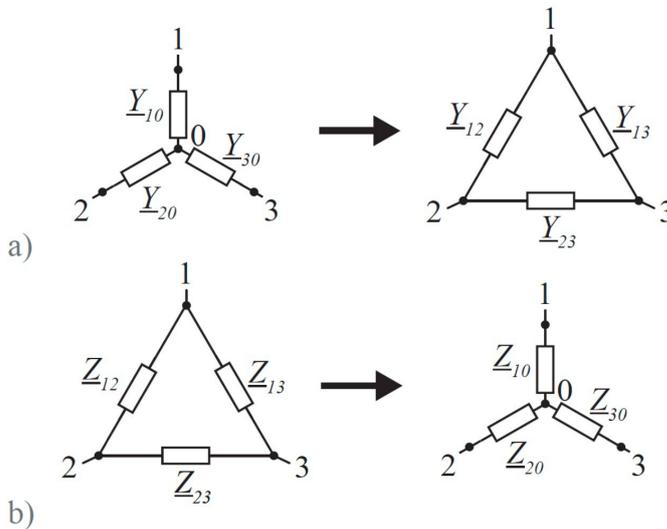
$$\underline{Y}_{13} = \frac{Y_{10} Y_{30}}{\sum \underline{Y}}$$

$$\underline{Y}_{23} = \frac{Y_{20} Y_{30}}{\sum \underline{Y}}$$

$$\underline{Z}_{10} = \frac{Z_{12} Z_{13}}{\sum \underline{Z}}$$

$$\underline{Z}_{20} = \frac{Z_{12} Z_{23}}{\sum \underline{Z}}$$

$$\underline{Z}_{30} = \frac{Z_{13} Z_{23}}{\sum \underline{Z}}$$



Äquivalenz einer Stern- und Dreieckschaltung ist nur gegeben, wenn die Schaltung nur aus Kapazitäten ODER nur aus Induktivitäten ODER nur aus Widerständen besteht. Ansonsten gilt die Gleichheit nur für eine bestimmte Frequenz!

## Beispielaufgabe:

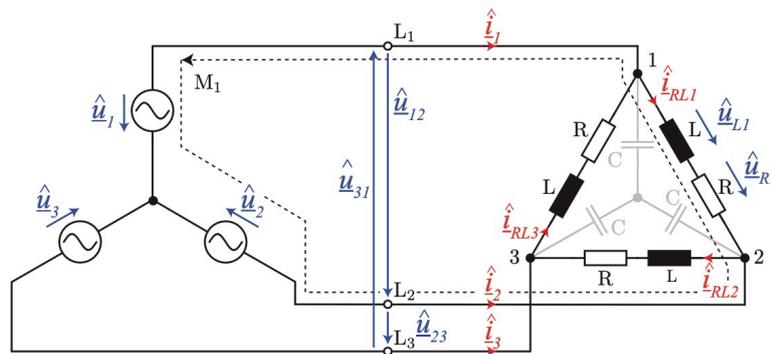


Abbildung 1: Dreiphasenspannungsquelle und Ersatzschaltbild eines elektrischen Motors mit einem Blindstromkompensationsnetzwerk.

In Abbildung 1 wird ein Motor an einem symmetrischen Dreiphasennetz ( $U = 230 \text{ V}$ ) mit einer Netzfrequenz von  $f = 50 \text{ Hz}$  betrieben. Der Motor stellt mit  $R = R_1 = R_2 = R_3 = 22 \Omega$  und  $L = L_1 = L_2 = L_3 = 12 \text{ mH}$  eine symmetrische Last am Netz dar. Für die Generatorspannungen gilt:

$$\hat{u}_1 = \hat{u} \cdot e^{j0^\circ}, \quad \hat{u}_2 = \hat{u} \cdot e^{-j120^\circ}, \quad \hat{u}_3 = \hat{u} \cdot e^{j120^\circ}$$

Für die Teilaufgaben a.) - e.) und Teilaufgabe g.) soll das in Abbildung 1 grau hinterlegte Blindstromkompensationsnetzwerk vernachlässigt werden.

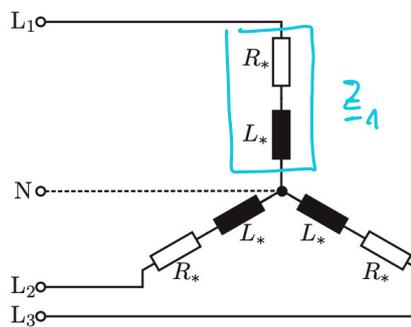


Abbildung 2: Elektrischer Motor als Sternschaltung (ohne Blindleistungskompensationsnetzwerk)

- g.) Die RL Serienschaltungen sollen nun, wie in Abbildung 2 gezeigt, in einer Sternschaltung angeordnet werden. Geben Sie die entsprechenden Werte für den Widerstand  $R_*$  und die Induktivität  $L_*$  der Sternschaltung an, so dass sich die von der Last aufgenommene Leistung, welche in Teilaufgabe e.) berechnet wurde, nicht verändert.

**Hinweis:**

$$\rightarrow \underline{S} = 21.0 \text{ kW} + j3.60 \text{ kVar}$$

Das Kompensationsnetzwerk mit den Kapazitäten soll in dieser Teilaufgabe vernachlässigt werden.