2. Übung: Energieübertragung und Netzregelung

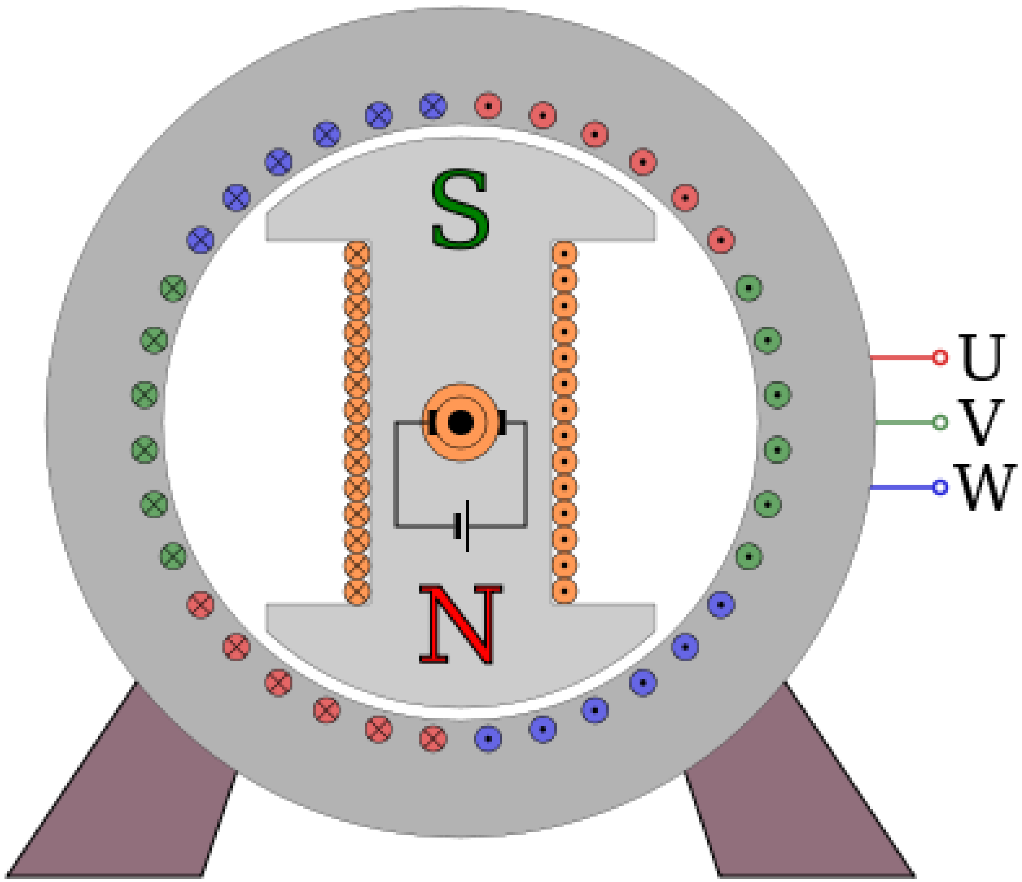
Institut für Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik

Themen 2. Übung EÜN

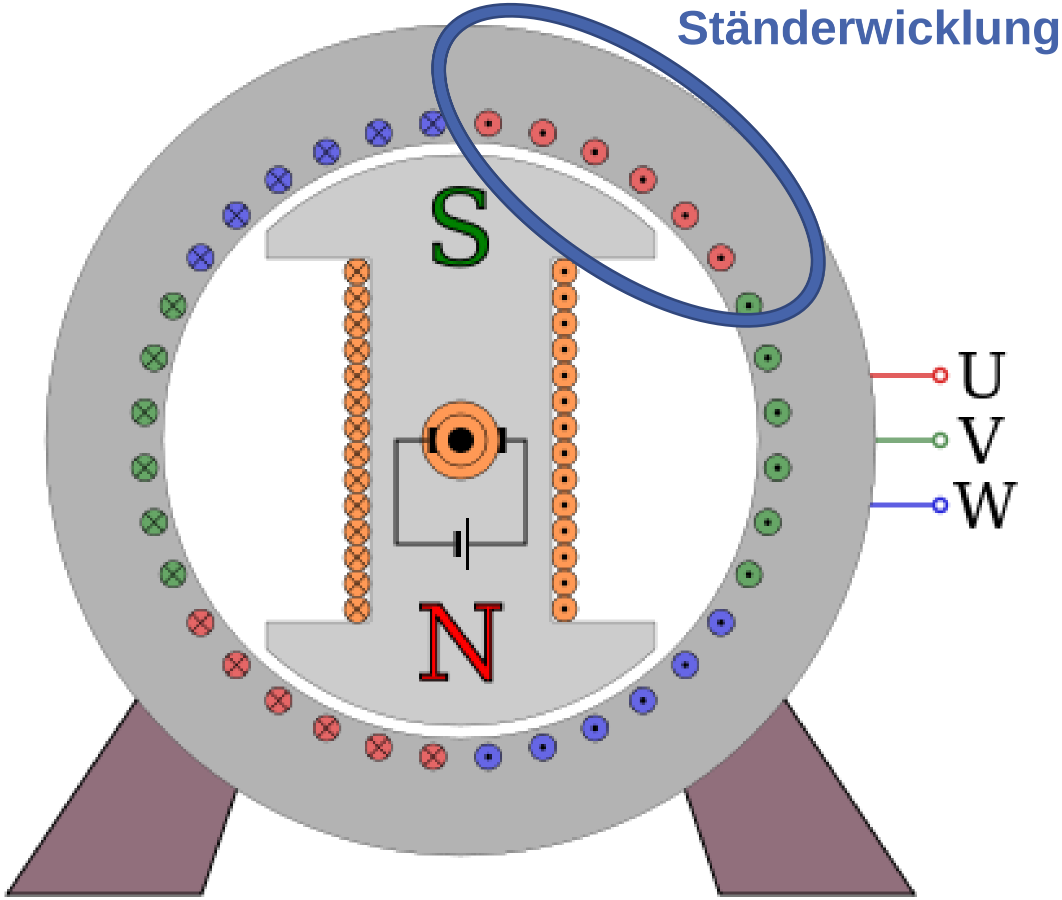
- Synchronmaschine
  - Aufbau
  - Stabilität
    - Laständerung
    - Kurzunterbrechung
  - Phasenschieberbetrieb

- Aufgaben
  - Laständerung
  - Kurzunterbrechung

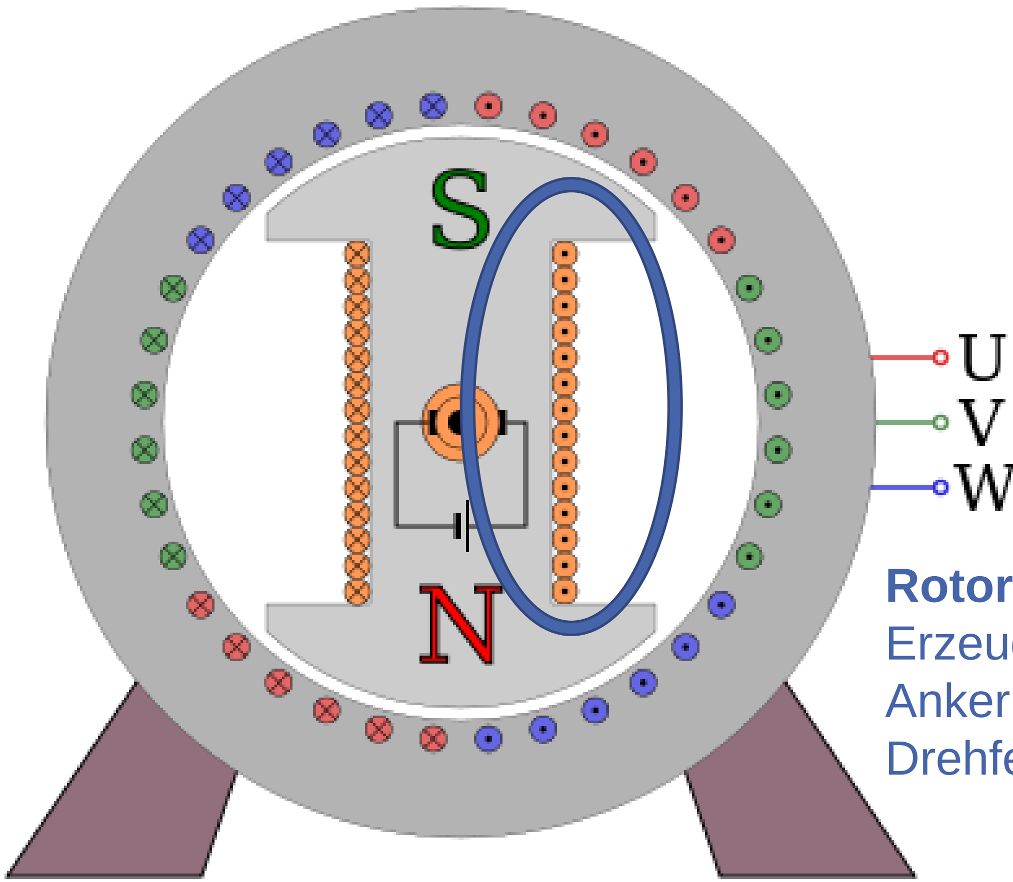
Synchronmaschine – Aufbau



Synchronmaschine – Aufbau

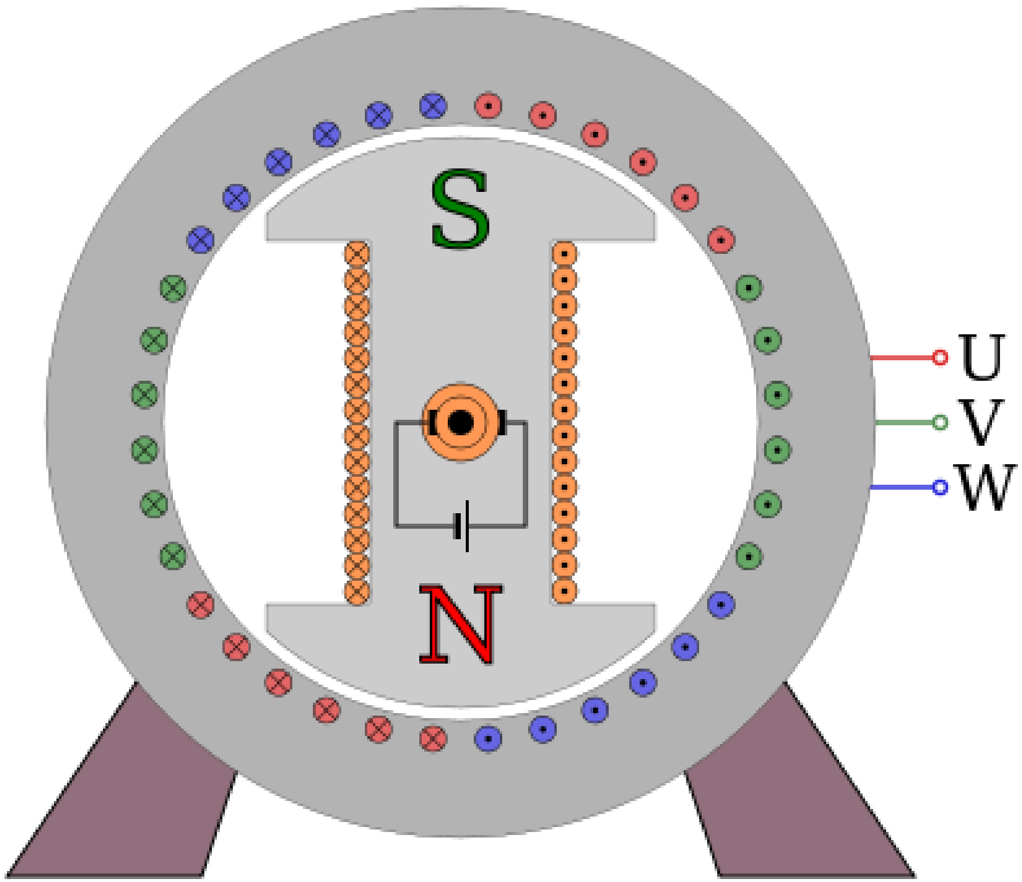


Synchronmaschine – Aufbau



Rotorwicklung:
Erzeugt bei rotierendem Anker ein sinusförmiges Drehfeld.

Synchronmaschine – Aufbau



Typischerweise wird eine Synchronmaschine als Innenpolmaschine ausgeführt.

1. Warum?
2. Was ist die Polpaarzahl in der abgebildeten Innenpolmaschine?

Themen 2. Übung EÜN

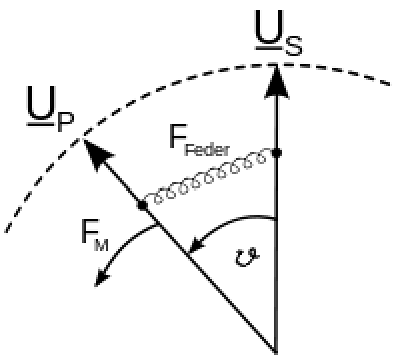
- Synchronmaschine
  - Aufbau
  - **Stabilität**
    - Laständerung
    - Kurzunterbrechung
  - Phasenschieberbetrieb

- Aufgaben
  - Laständerung
  - Kurzunterbrechung

Synchronmaschine am starren Netz

- Einspeisung in ein starres Netz:

$$P_1 = P_2 = \frac{U_\mathrm{P} \cdot U_2}{X} \cdot \sin(\vartheta)$$

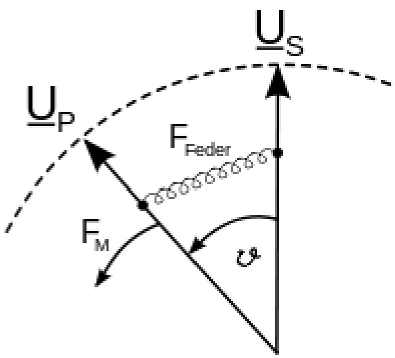


Federmodell des Polradwinkels

Synchronmaschine am starren Netz

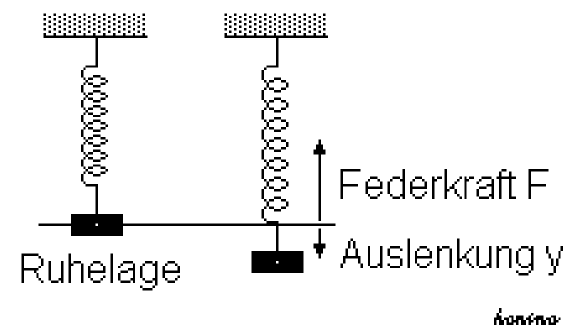
- Einspeisung in ein starres Netz:

$$P_1 = P_2 = \frac{U_\mathrm{P} \cdot U_2}{X} \cdot \sin(\vartheta)$$



Federmodell des Polradwinkels

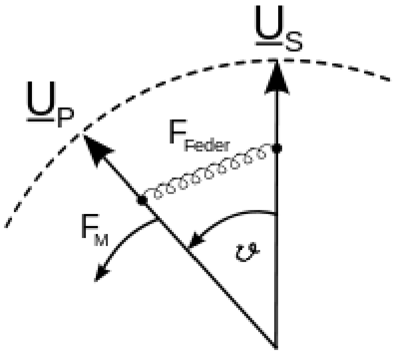
Vergleich



Synchronmaschine am starren Netz

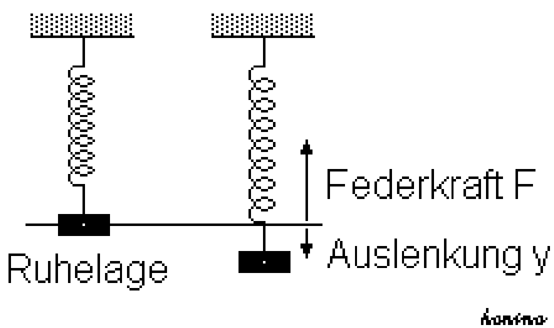
- Einspeisung in ein starres Netz:

$$P_1 = P_2 = \frac{U_\mathrm{P} \cdot U_2}{X} \cdot \sin(\vartheta)$$



Federmodell des Polradwinkels

Vergleich



Pendelt bei Auslenkung aus stationärer Lage.

Themen 2. Übung EÜN

- Synchronmaschine
  - Aufbau
  - Stabilität
    - **Laständerung**
    - Kurzunterbrechung
  - Phasenschieberbetrieb

- Aufgaben
  - Laständerung
  - Kurzunterbrechung

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

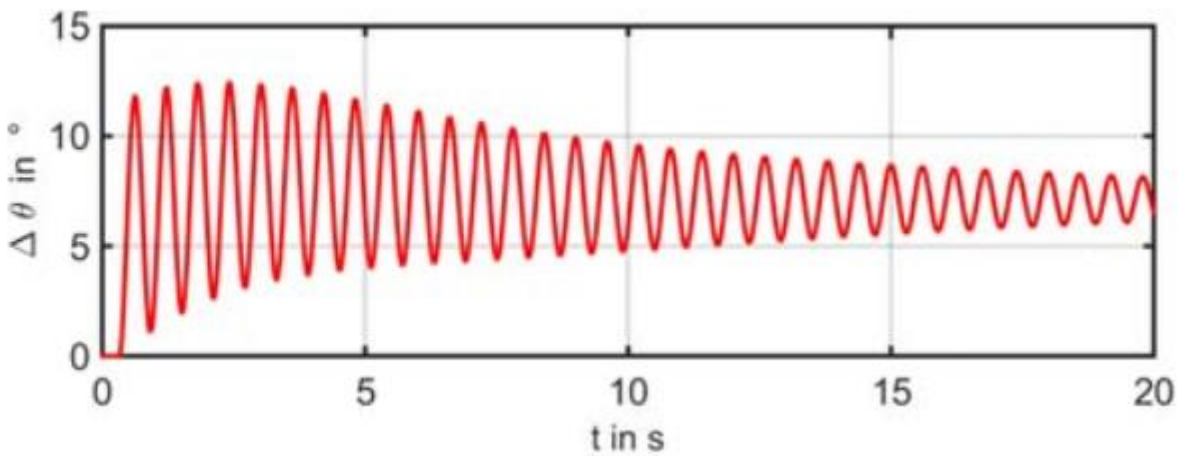
$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

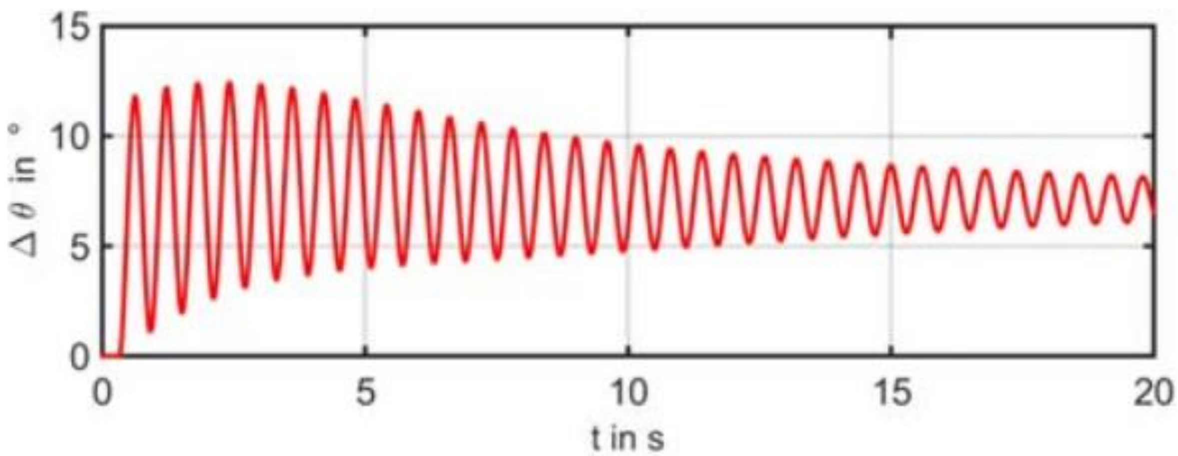


Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$



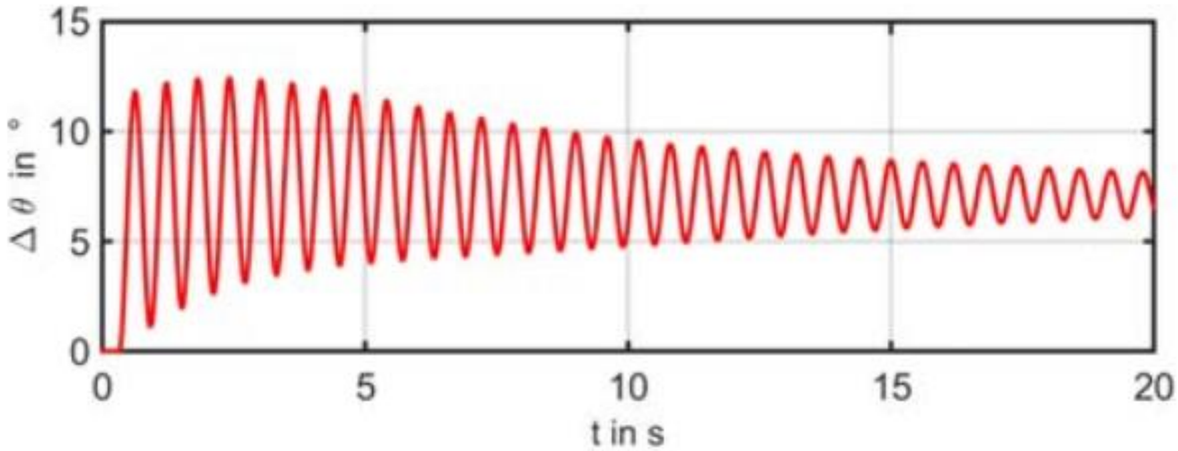
Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

anfängliche Amplitude

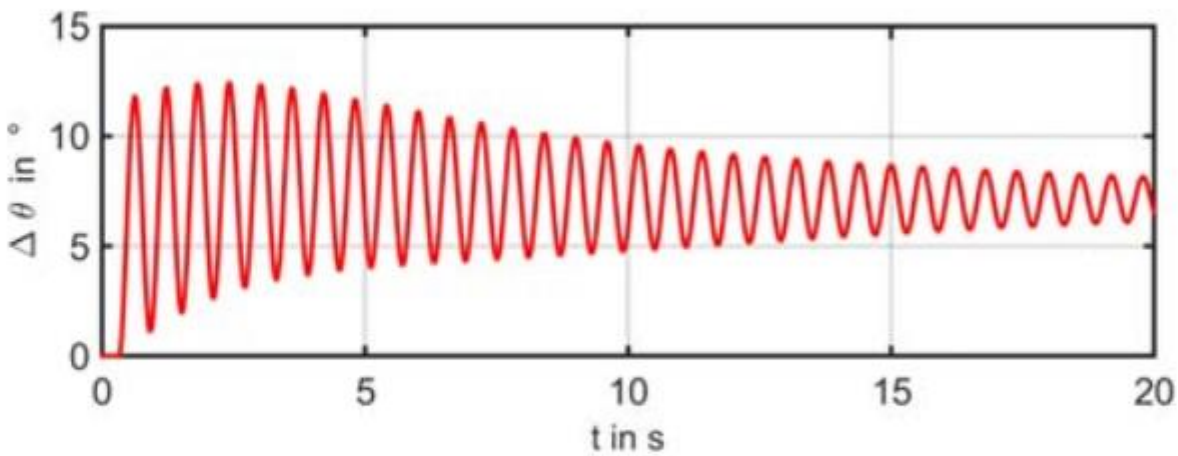


Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$



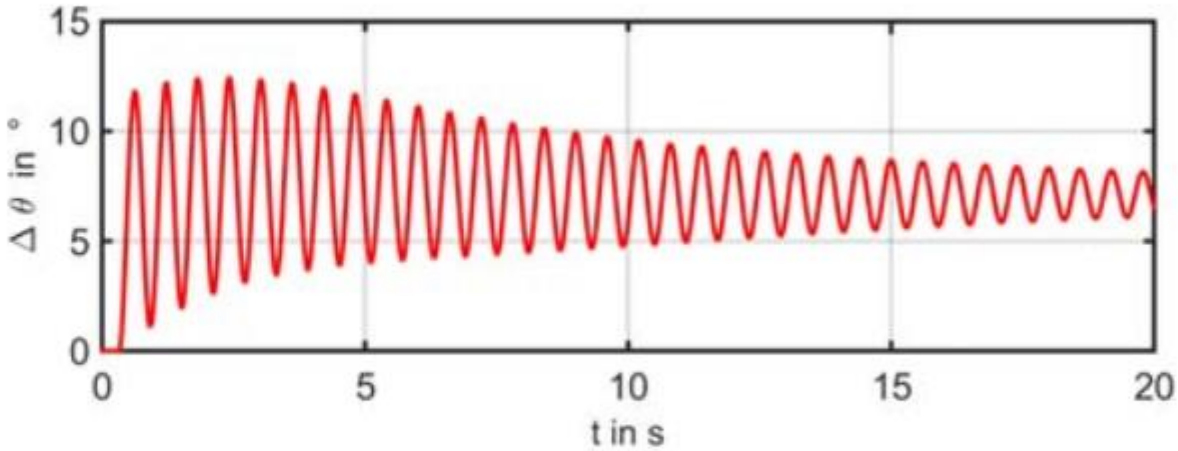
Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

Frequenz

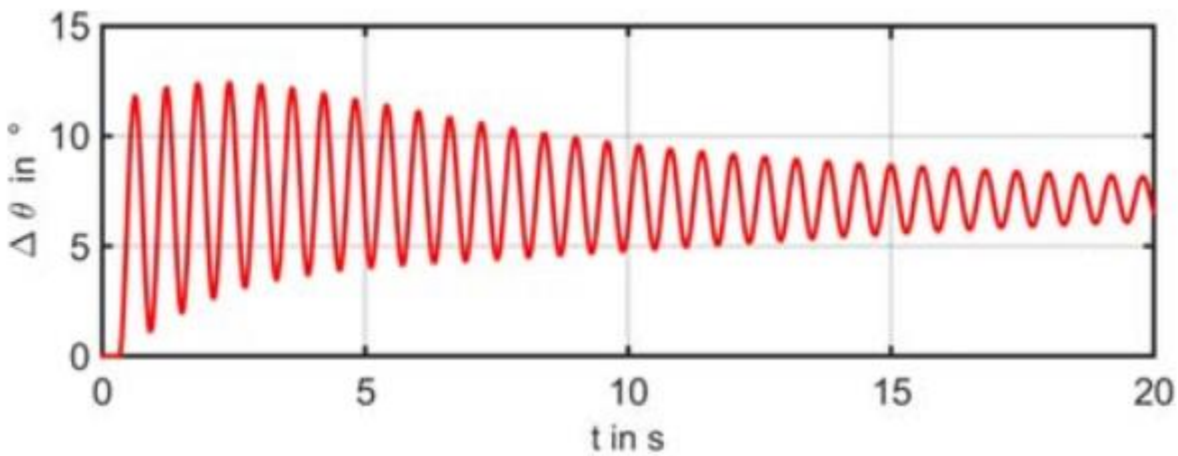


Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$



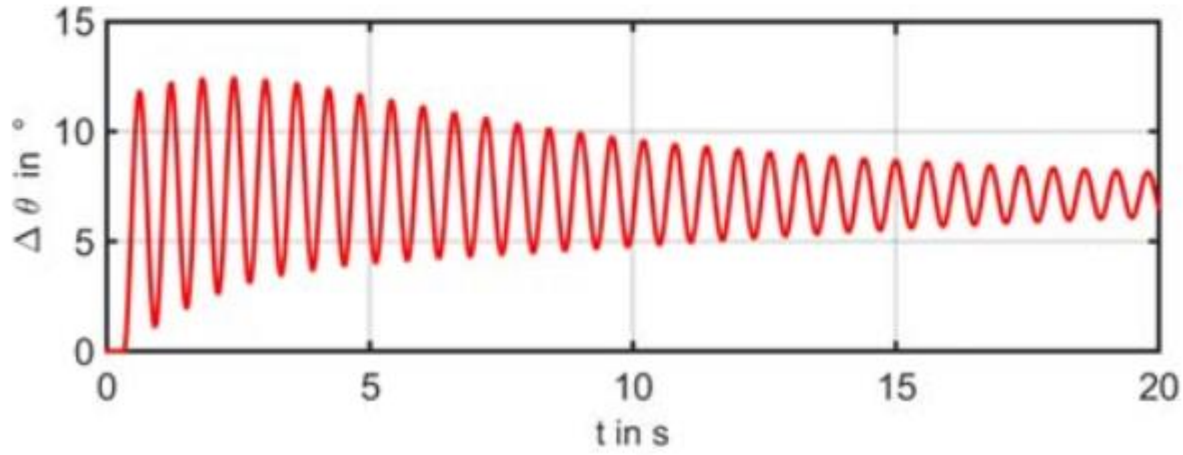
Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

Zeitkonstante
der Dämpfung

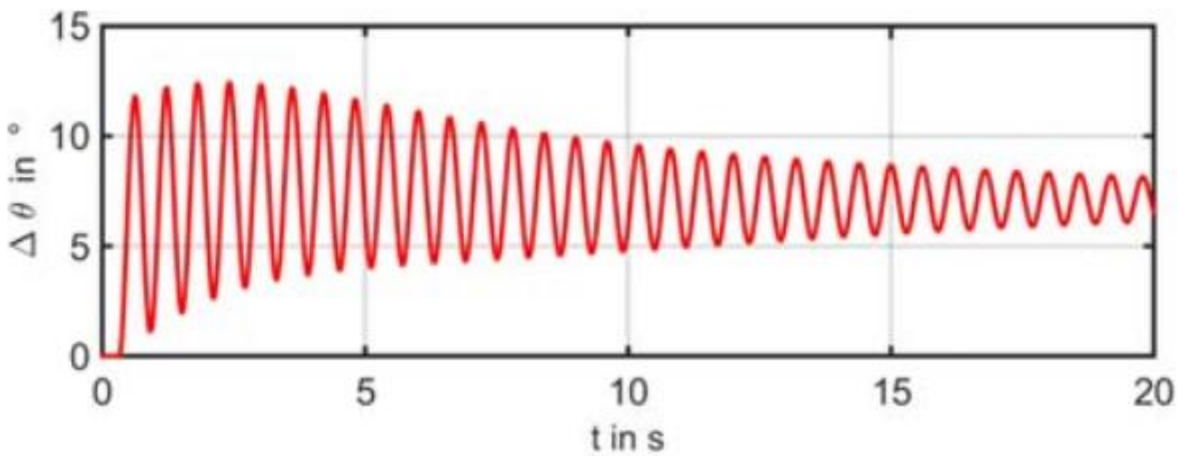


Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$



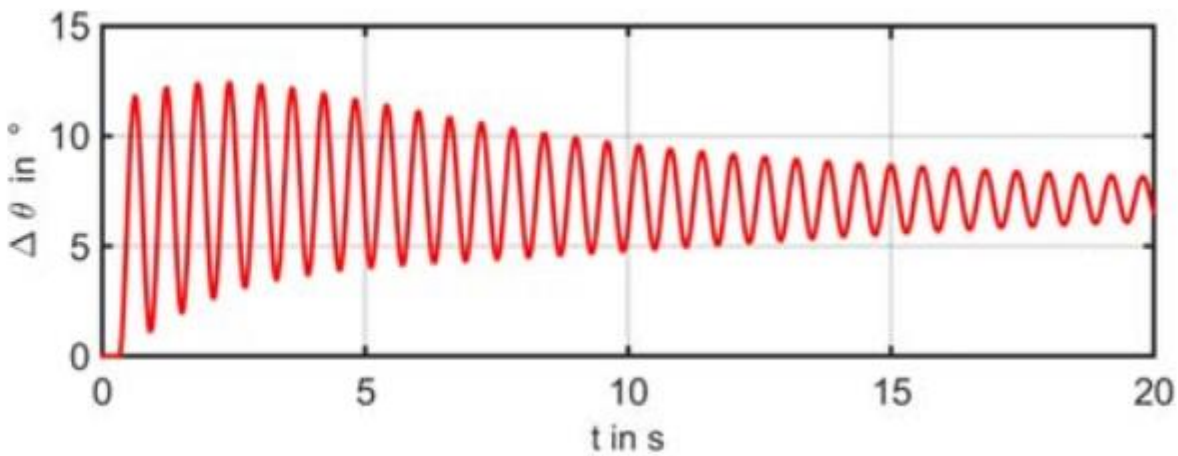
Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

Finaler Wert



Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

Änderung des Polradwinkels
nach Einschwingvorgang

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

Änderung des Polradwinkels
nach Einschwingvorgang

Änderung des Polradwinkels
proportional zu ΔP_T

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

Änderung des Polradwinkels
nach Einschwingvorgang

Änderung des Polradwinkels
proportional zu ΔP_T

Vergleich mit Formel:

$$P_1 = P_2 = \frac{U_\mathrm{P} \cdot U_2}{X} \cdot \sin(\vartheta)$$

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

Änderung des Polradwinkels nach Einschwingvorgang

Änderung des Polradwinkels proportional zu ΔP_T

Vergleich mit Formel:

Änderung des Polradwinkels **nicht** proportional zu ΔP_T

$$P_1 = P_2 = \frac{U_\mathrm{P} \cdot U_2}{X} \cdot \sin(\vartheta)$$

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot [1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} (\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t))]$$

Änderung des Polradwinkels nach Einschwingvorgang

Änderung des Polradwinkels proportional zu ΔP_T

Vergleich mit Formel:

Änderung des Polradwinkels **nicht** proportional zu ΔP_T

$$P_1 = P_2 = \frac{U_\mathrm{P} \cdot U_2}{X} \cdot \sin(\vartheta)$$

Grund: Obere Formel ist linearisiert.

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_{\mathrm{T}}}{P_{\max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

Zeitkonstante
der Dämpfung

$$\tau = \frac{2J \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{\mathrm{D}}$$

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot [1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} (\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t))]$$

Zeitkonstante
der Dämpfung

$$\tau = \frac{2J \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{\mathrm{D}}$$

J: Trägheitsmoment
Ω_0: mechanische Drehzahl
P: Polpaarzahl
D: Dämpfung

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

Zeitkonstante
der Dämpfung

$$\tau = \frac{2J \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{\mathrm{D}}$$

J: Trägheitsmoment
Ω_0: mechanische Drehzahl
P: Polpaarzahl
D: Dämpfung

Zusatzfrage:
Wie kann die Dämpfung D erhöht werden?

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

Zeitkonstante der Dämpfung

$$\tau = \frac{2J \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{\mathrm{D}}$$

J: Trägheitsmoment
Ω_0: mechanische Drehzahl
P: Polpaarzahl
D: Dämpfung

Zusatzfrage:
Wie kann die Dämpfung D erhöht werden?

Antwort:
- Dämpferwicklung
- Power System Stabilizer (PSS)

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 1: Lastsprung verursacht Polradwinkelpendelung

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{\Delta P_\mathrm{T}}{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)} \cdot \left[1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \left(\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{\omega_1 \cdot \tau} \cdot \sin(\omega_1 t)\right)\right]$$

Frequenz

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{P_\mathrm{max} \cdot \cos(\vartheta_0)}{J \cdot \frac{\Omega_0}{p}} - \left(\frac{1}{\tau}\right)^2}$$

τ: Zeitkonstante der Dämpfung

Themen 2. Übung EÜN

- Synchronmaschine
  - Aufbau
  - Stabilität
    - Laständerung
    - **Kurzunterbrechung**
  - Phasenschieberbetrieb

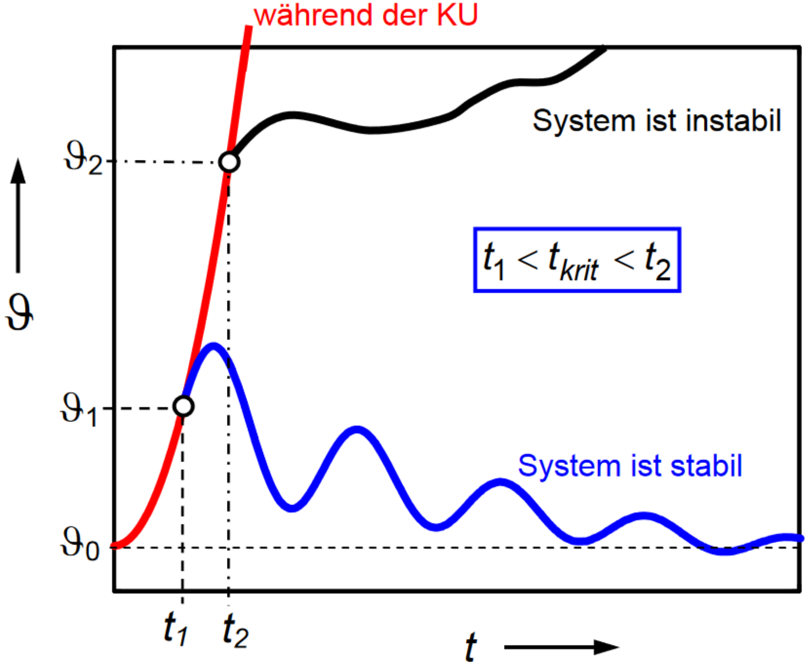
- Aufgaben
  - Laständerung
  - Kurzunterbrechung

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 2: Generator wird kurzzeitig vom Netz getrennt.

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}} \cdot \mathrm{t}^2$$



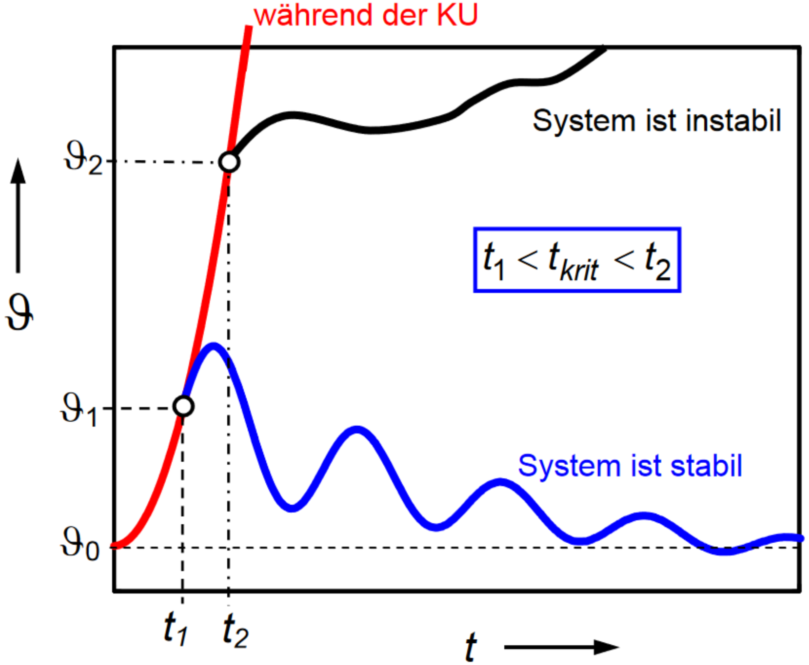
Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 2: Generator wird kurzzeitig vom Netz getrennt.

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}} \cdot \mathrm{t}^2$$

Konstantes mechanisches Antriebsmoment und kein elektrisches Gegenmoment



Synchronmaschine am starren Netz

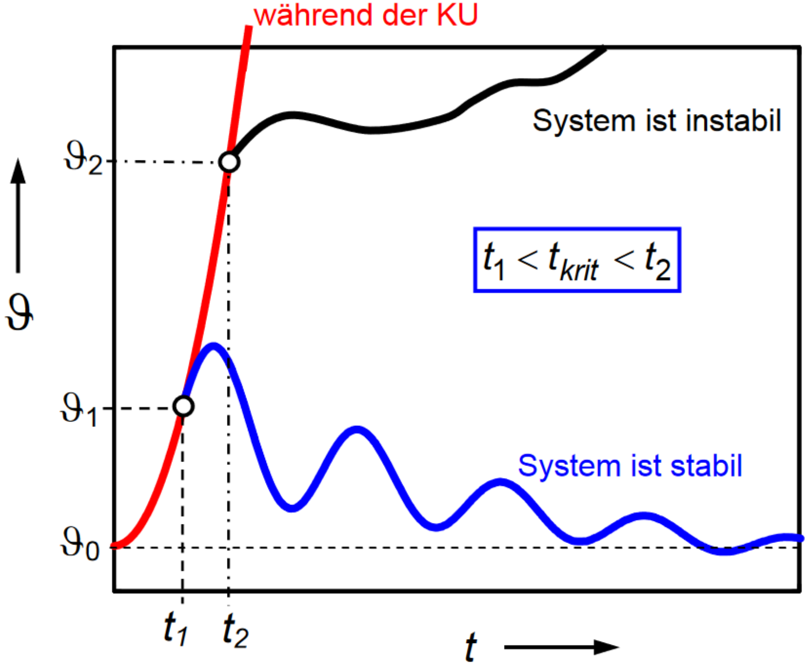
- Szenario 2: Generator wird kurzzeitig vom Netz getrennt.

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}} \cdot \mathrm{t}^2$$

Konstantes mechanisches Antriebsmoment und kein elektrisches Gegenmoment

→ Konstante Beschleunigung

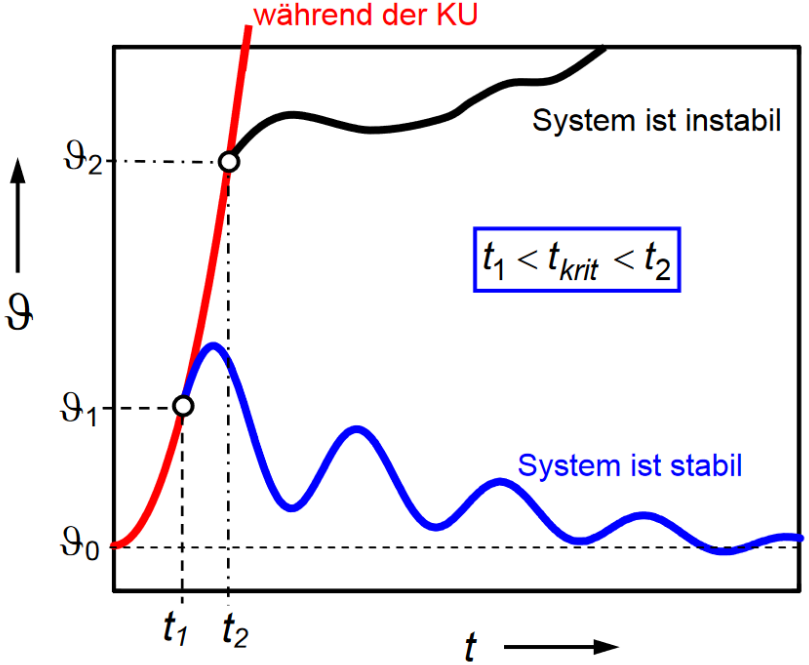


Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 2: Generator wird kurzzeitig vom Netz getrennt.

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_{\mathrm{m}}}{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}} \cdot \mathrm{t}^2$$



Konstantes mechanisches Antriebsmoment und kein elektrisches Gegenmoment

→ Konstante Beschleunigung

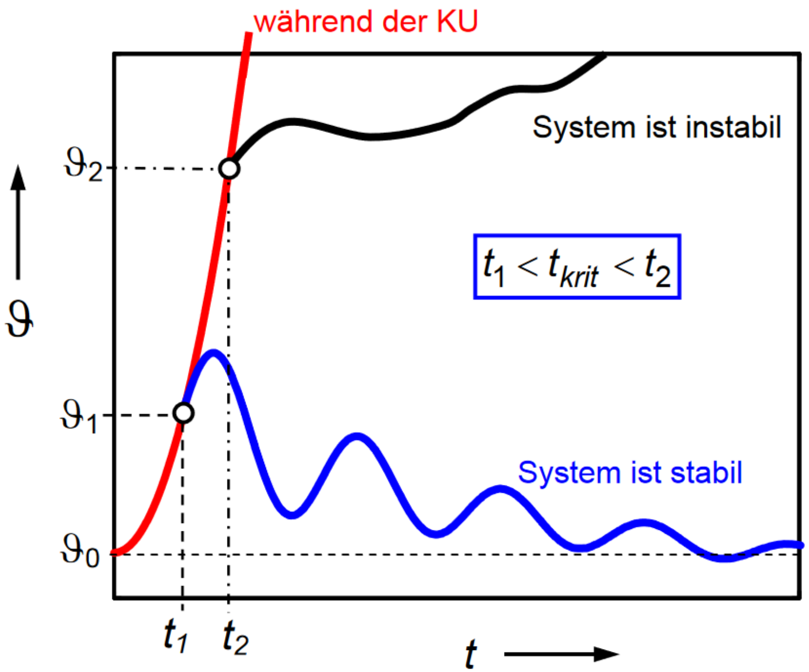
→ Änderung Winkelgeschwindigkeit proportional zur Zeit

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 2: Generator wird kurzzeitig vom Netz getrennt.

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}} \cdot \mathrm{t}^2$$



Konstantes mechanisches Antriebsmoment und kein elektrisches Gegenmoment

→ Konstante Beschleunigung

→ Änderung Winkelgeschwindigkeit proportional zur Zeit

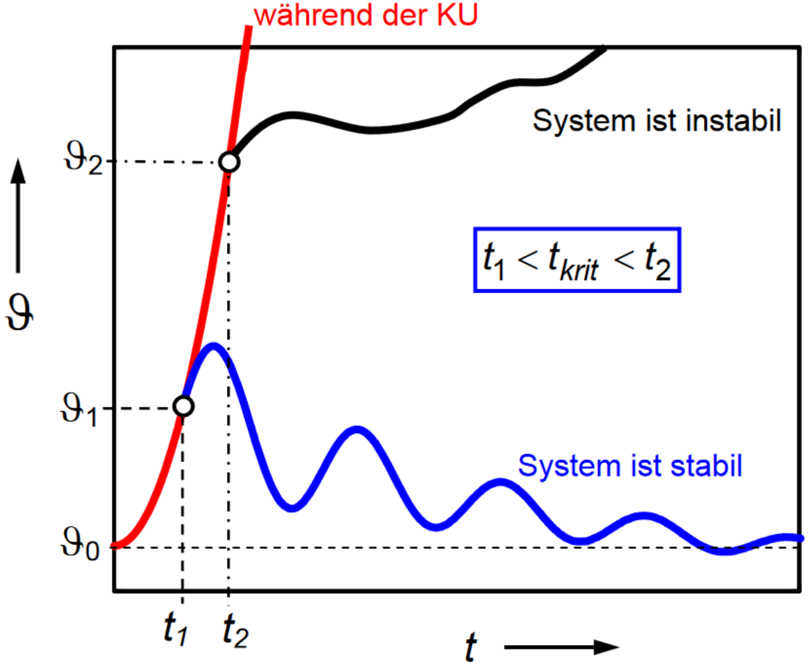
→ Änderung Polradwinkel quadratisch zur Zeit

Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 2: Generator wird kurzzeitig vom Netz getrennt.

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}} \cdot \mathrm{t}^2 \qquad t_\mathrm{krit} = \sqrt{\frac{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{P_\mathrm{m}} \cdot (\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0)}$$



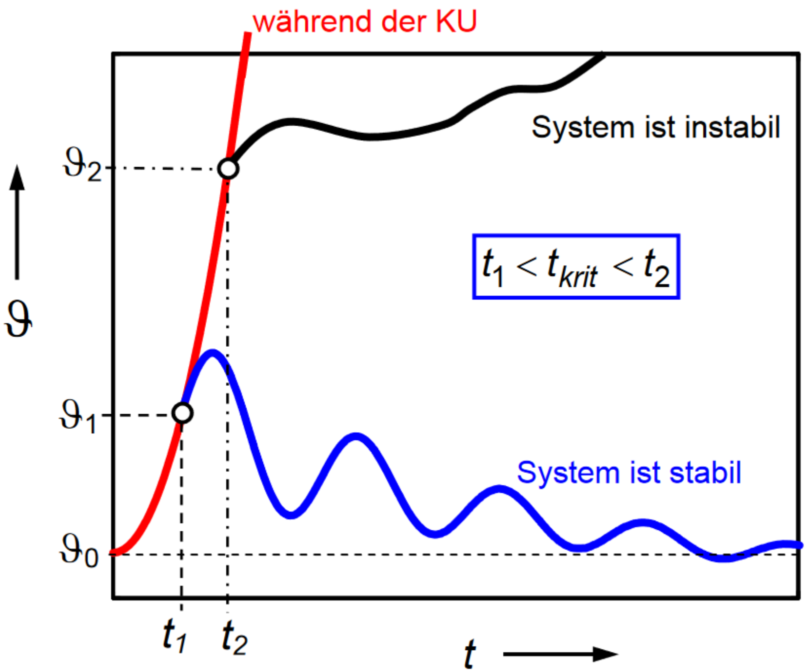
Synchronmaschine am starren Netz

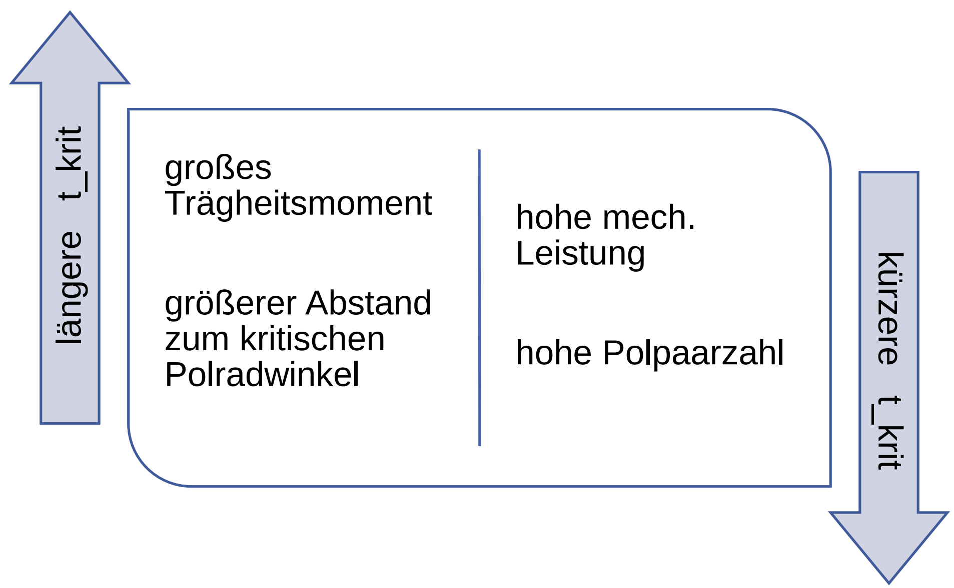
- Szenario 2: Generator wird kurzzeitig vom Netz getrennt.

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}} \cdot \mathrm{t}^2$$

$$t_\mathrm{krit} = \sqrt{\frac{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{P_\mathrm{m}} \cdot (\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0)}$$





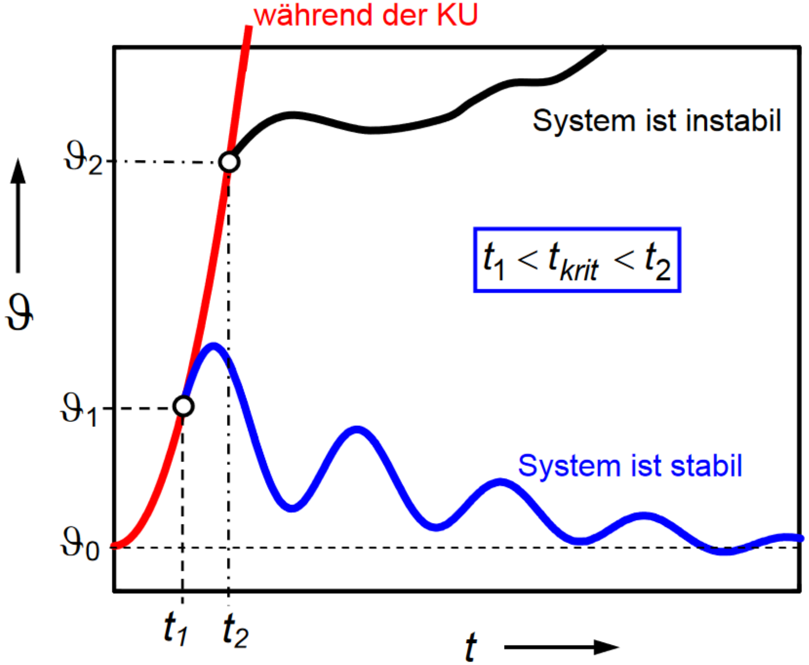
Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 2: Generator wird kurzzeitig vom Netz getrennt.

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2\mathrm{J}\cdot\frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}\cdot \mathrm{t}^2$$

$$t_\mathrm{krit} = \sqrt{\frac{2\mathrm{J}\cdot\frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{P_\mathrm{m}}\cdot(\vartheta_{1,\mathrm{krit}}-\vartheta_0)}$$



$$\vartheta_{1,\mathrm{krit}} = \arccos[(\pi - 2\vartheta_0)\cdot\sin(\vartheta_0) - \cos(\vartheta_0)]$$

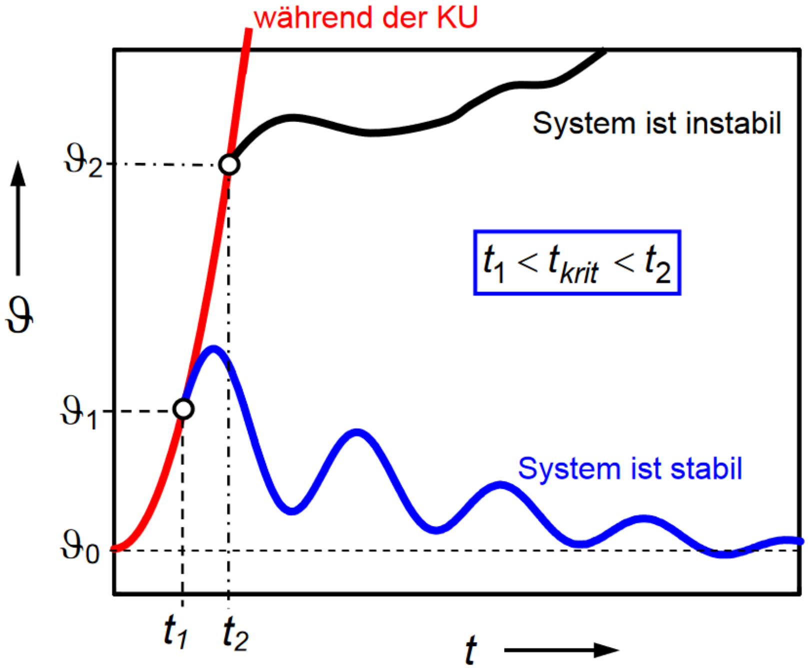
Synchronmaschine am starren Netz

- Szenario 2: Generator wird kurzzeitig vom Netz getrennt.

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}} \cdot \mathrm{t}^2$$

$$t_\mathrm{krit} = \sqrt{\frac{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{P_\mathrm{m}} \cdot (\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0)}$$



$$\vartheta_{1,\mathrm{krit}} = \arccos[(\pi - 2\vartheta_0) \cdot \sin(\vartheta_0) - \cos(\vartheta_0)]$$

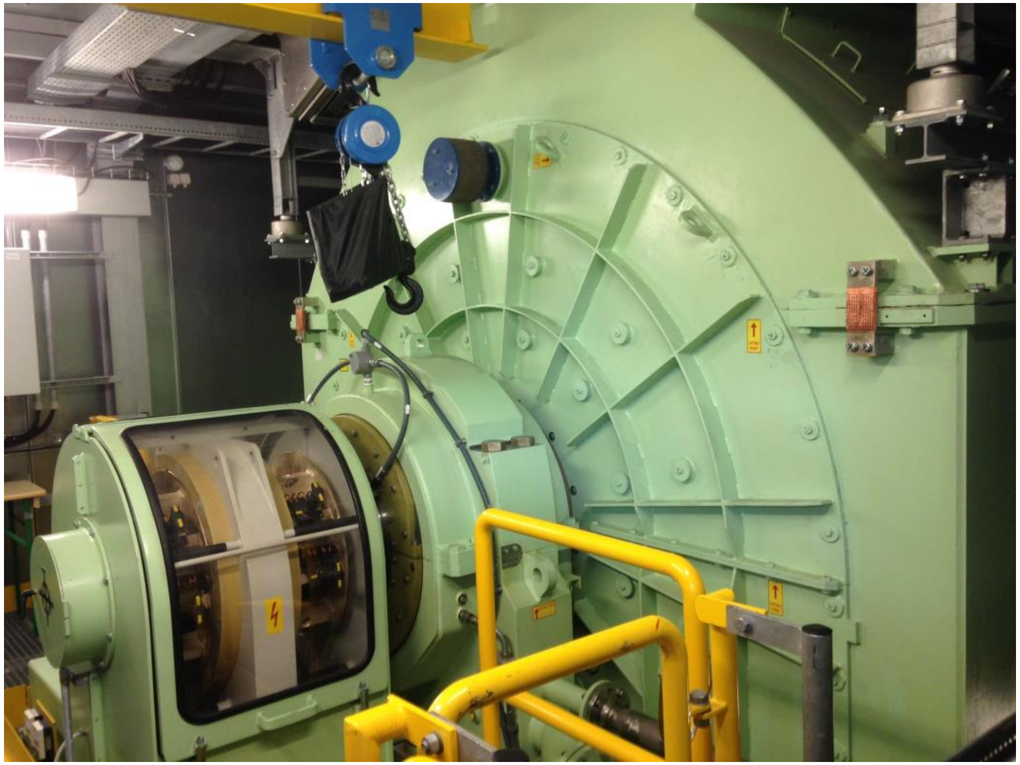
Kritischer Polradwinkel hängt nur vom anfänglichen Polradwinkel ab.

Themen 2. Übung EÜN

- Synchronmaschine
  - Aufbau
  - Stabilität
    - Laständerung
    - Kurzunterbrechung
  - **Phasenschieberbetrieb**

- Aufgaben
  - Laständerung
  - Kurzunterbrechung

Synchronmaschine im Phasenschieberbetrieb



Rotierender Phasenschieber der TenneT in Bergrheinfeld (Gewicht Generator: 360 t)

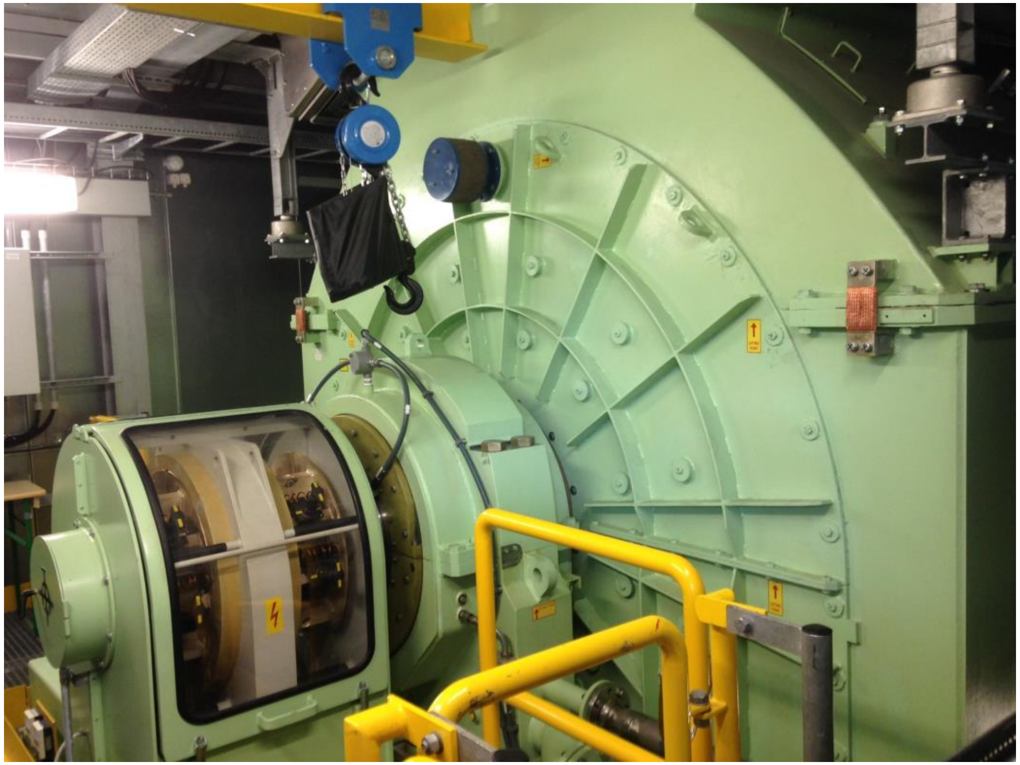
- Keine Wirkleistungs-einspeisung, nur Blindleistung
- Aufgaben:

Synchronmaschine im Phasenschieberbetrieb

Rotierender Phasenschieber der TenneT in Bergrheinfeld (Gewicht Generator: 360 t)

- Keine Wirkleistungseinspeisung, nur Blindleistung
- Aufgaben:
  - Blindleistungsbereitstellung

Synchronmaschine im Phasenschieberbetrieb



Rotierender Phasenschieber der TenneT in Bergrheinfeld (Gewicht Generator: 360 t)

- Keine Wirkleistungs-einspeisung, nur Blindleistung
- Aufgaben:
  - Blindleistungsbereitstellung
  - **Momentanreserve**

Themen 2. Übung EÜN

- Synchronmaschine
  - Aufbau
  - Stabilität
    - Laständerung
    - Kurzunterbrechung
  - Phasenschieberbetrieb

- Aufgaben
  - **Laständerung**
  - Kurzunterbrechung

Ein Kohlekraftwerk speist über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz. Plötzlich tritt eine Leistungsänderung von 50 MW auf. Berechnen Sie die Ausgleichsschwingung.

Daten:

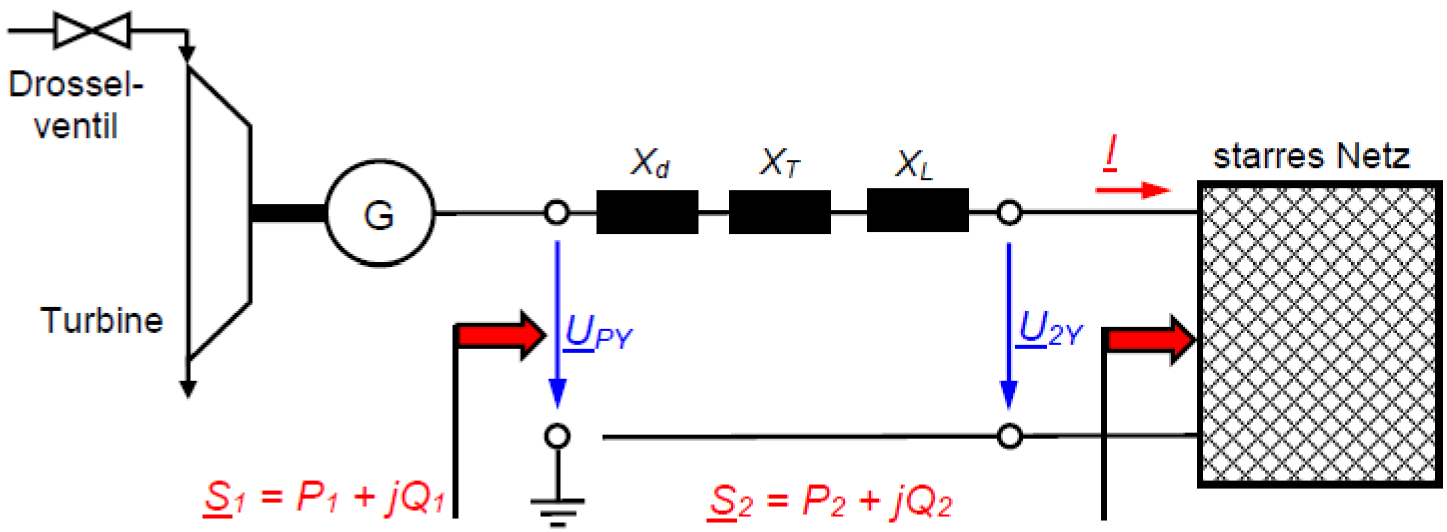
Generator und Turbine: J = 28000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

D = 88 MWs (Dämpfungskonstante)

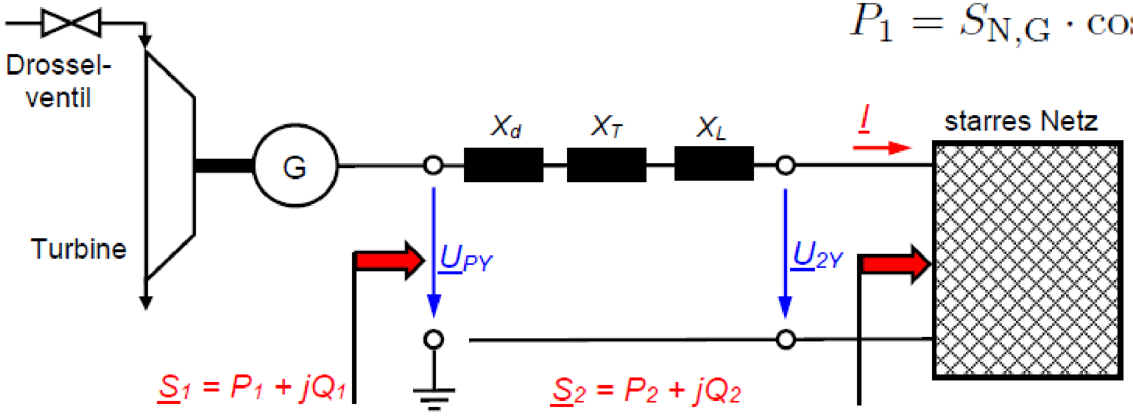
Generator: $S_{N,G}$ = 555 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV cos(φ) = 0,9 f = 60 Hz p=1 L_d = 1,99 mH

Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Leitung: X_L' = 0,26 Ω/km Leitungslänge: 5 km



Ein Kohlekraftwerk speist über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz. Plötzlich tritt eine Leistungsänderung von 50 MW auf. Berechnen Sie die Ausgleichsschwingung.



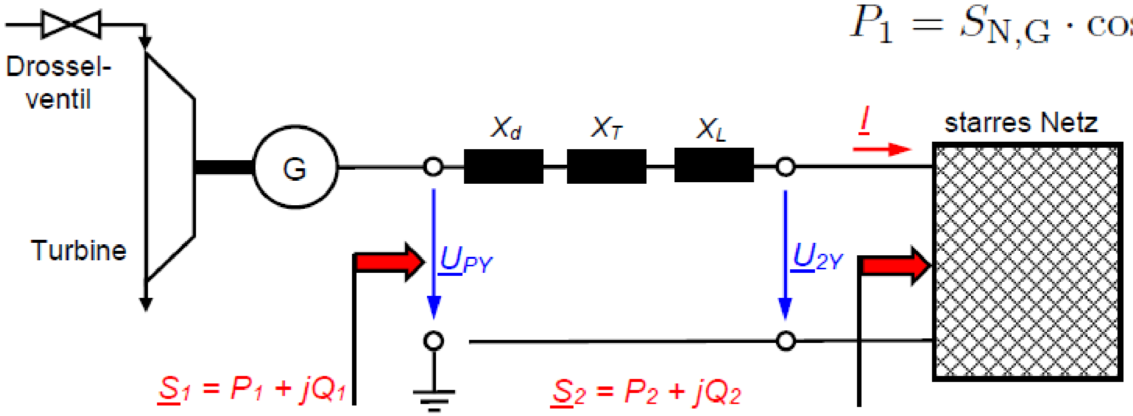
$$P_1 = S_{\mathrm{N,G}} \cdot \cos\varphi = 555\ \mathrm{MVA} \cdot 0,9 = 499,5\ \mathrm{MW}$$

$$X_{27} = X_\mathrm{d} + X_\mathrm{T} + X_\mathrm{L} = 0,9505\ \Omega$$

$$\vartheta = \arcsin\left(\frac{P_1 \cdot X_{27}}{U_\mathrm{B}^2}\right)$$

$$= 40,637^\circ$$

Ein Kohlekraftwerk speist über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz. Plötzlich tritt eine Leistungsänderung von 50 MW auf. Berechnen Sie die Ausgleichsschwingung.



$$P_1 = S_{\mathrm{N,G}} \cdot \cos\varphi = 555\,\mathrm{MVA} \cdot 0,9 = 499,5\,\mathrm{MW}$$

$$X_{27} = X_{\mathrm{d}} + X_{\mathrm{T}} + X_{\mathrm{L}} = 0,9505\,\Omega$$

$$\vartheta = \arcsin\left(\frac{P_1 \cdot X_{27}}{U_{\mathrm{B}}^2}\right)$$

$$= 40,637^\circ$$

In einem Stahlwerk, das durch das 400-kV-Netzwerk gespeist wird, fällt ein Hochofen aus. Dadurch verringert sich die Einspeiseleistung durch das Kraftwerk an der Einspeisestelle um 50 MW.

Berechnen Sie:

- den Endwert, auf den sich der Leitungswinkel ϑ einstellt.
- die Zeitkonstante τ, mit welcher die Oszillation des Leitungswinkels ϑ abklingt
- die Kreisfrequenz ω_1 und die Frequenz f_1, mit welcher der Leitungswinkel ϑ oszilliert.

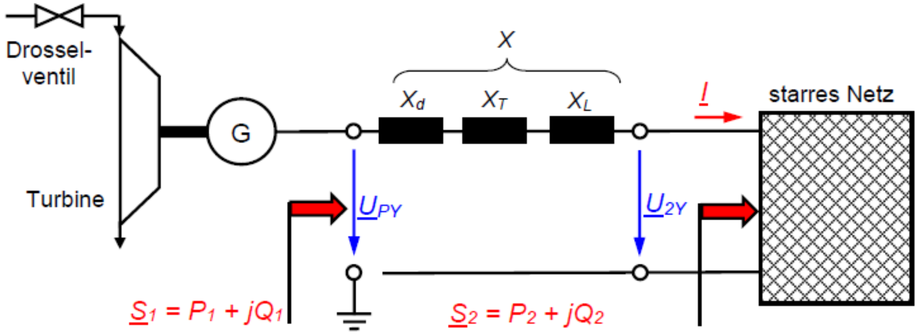
→ Tafel

Themen 2. Übung EÜN

- Synchronmaschine
  - Aufbau
  - Stabilität
    - Laständerung
    - Kurzunterbrechung
  - Phasenschieberbetrieb

- Aufgaben
  - Laständerung
  - **Kurzunterbrechung**

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

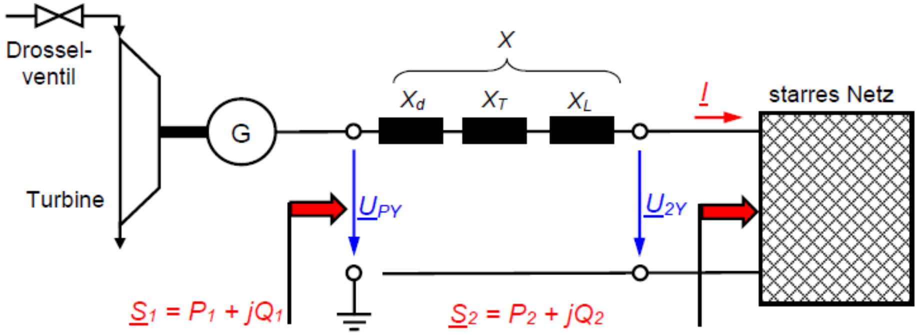
Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV cos(φ) = 0,88 f = 50 Hz p = 1

Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

Bestimmen Sie den zeitlichen Verlauf des Polradwinkels nach dem Öffnen des Leistungsschalters auf der 400-kV-Seite.

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

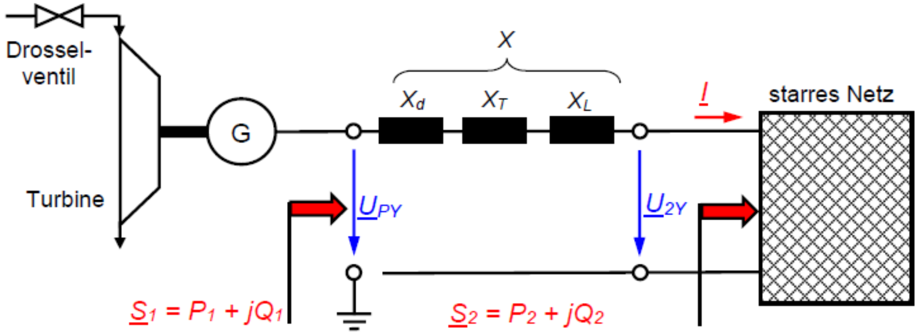
Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV cos(φ) = 0,88 f = 50 Hz p = 1

Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2J\frac{\Omega_0}{p}} \cdot t^2$$

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: $J = 30000\ \mathrm{kgm^2}$ (Massenträgheitsmoment)

Generator: $S_{N,G} = 580$ MVA $U_{N,G} = 27$ kV $\cos(\varphi) = 0{,}88$ $f = 50$ Hz $p = 1$

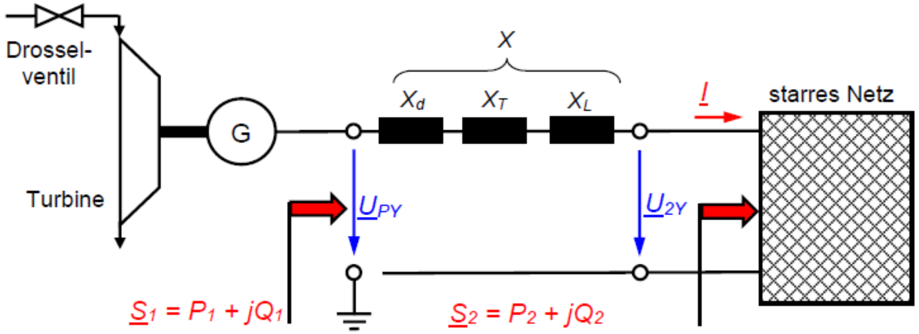
Transformator: $S_{N,T} = 600$ MVA *Übersetzung:* 400/27 kV $u_k = 16\%$

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): $X = 219{,}48\ \Omega$

Mechanische Leistung

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2J\frac{\Omega_0}{p}} \cdot t^2$$

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV cos(φ) = 0,88 f = 50 Hz p = 1

Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

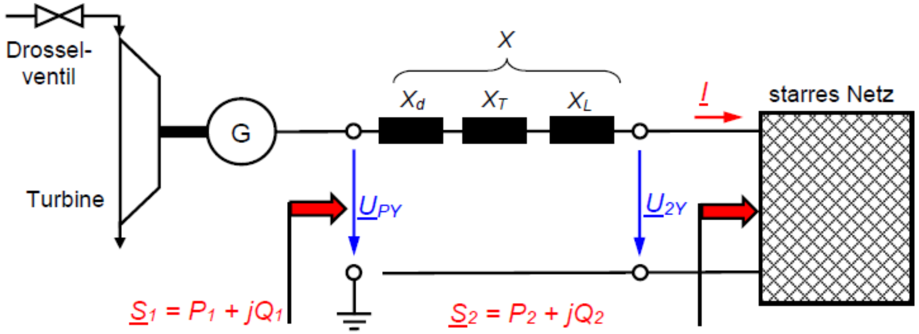
Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

Mechanische Leistung

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2J\frac{\Omega_0}{p}} \cdot t^2$$

$$P_{1,\mathrm{N}} = P_{\mathrm{N,G}} = S_{\mathrm{N,G}} \cdot \cos\varphi = 580\,\mathrm{MVA} \cdot 0,88 = 510,4\,\mathrm{MW}$$

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV cos(φ) = 0,88 f = 50 Hz p = 1

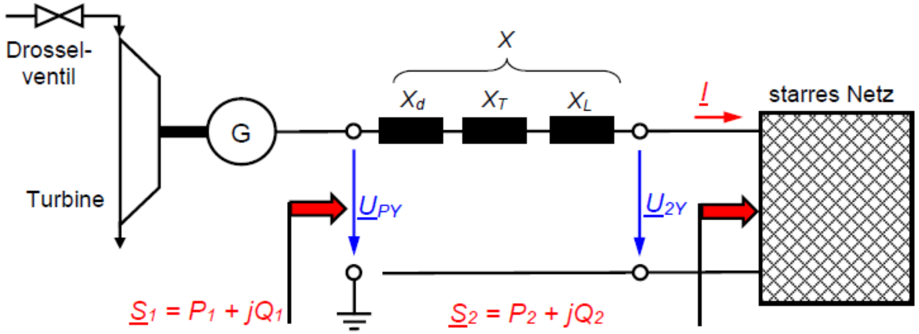
Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

Polradwinkel
t = 0

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2J\frac{\Omega_0}{p}} \cdot t^2$$

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV cos(φ) = 0,88 f = 50 Hz p = 1

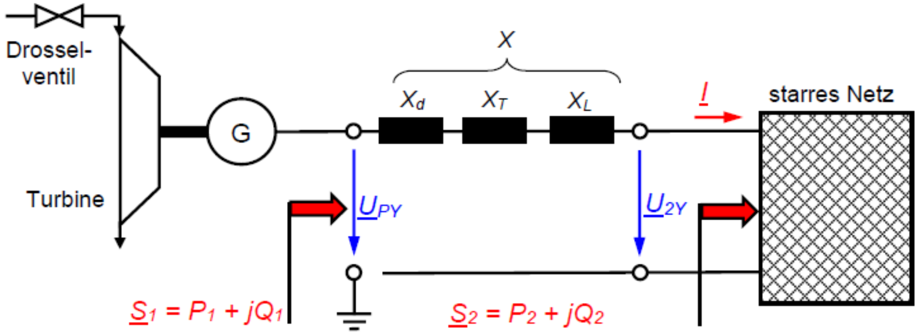
Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

Polradwinkel
t = 0

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2J\frac{\Omega_0}{p}} \cdot t^2 \qquad \vartheta = \arcsin\left(\frac{P_{\mathrm{N,G}} \cdot X}{U_\mathrm{B}^2}\right)$$

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV cos(φ) = 0,88 f = 50 Hz p = 1

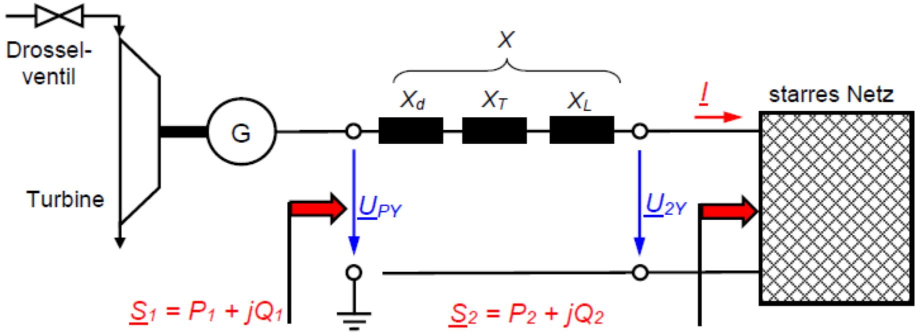
Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

Polradwinkel
t = 0

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2J\frac{\Omega_0}{p}} \cdot t^2 \qquad \vartheta = \arcsin\left(\frac{P_\mathrm{N,G} \cdot X}{U_\mathrm{B}^2}\right)$$

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV cos(φ) = 0,88 f = 50 Hz p = 1

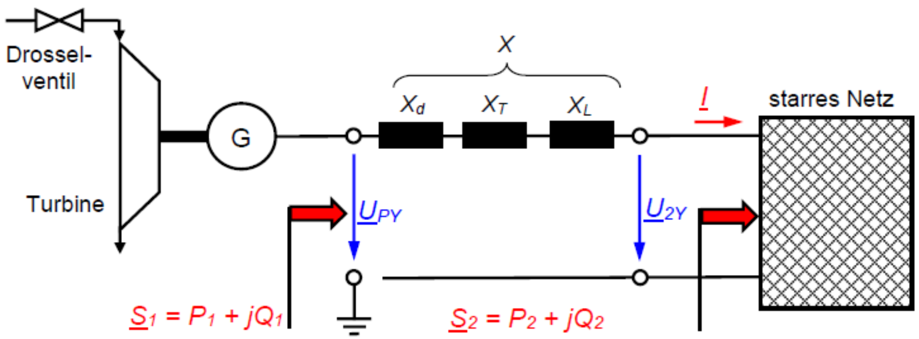
Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

Massenträgheits-
moment

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2J\frac{\Omega_0}{p}} \cdot t^2$$

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV cos(φ) = 0,88 f = 50 Hz p = 1

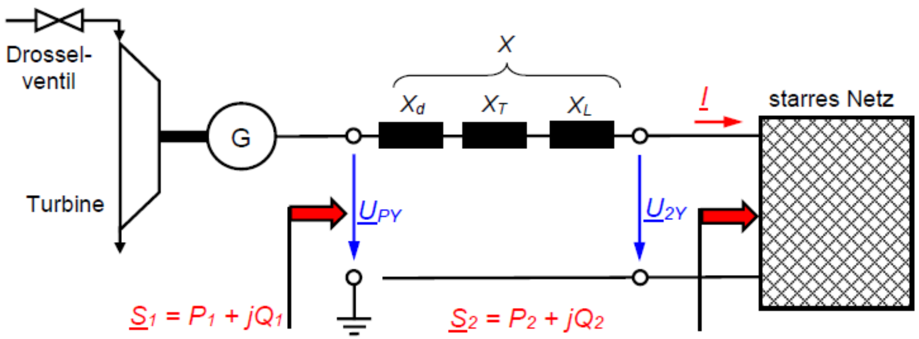
Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

Polpaarzahl

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2J\frac{\Omega_0}{p}} \cdot t^2$$

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

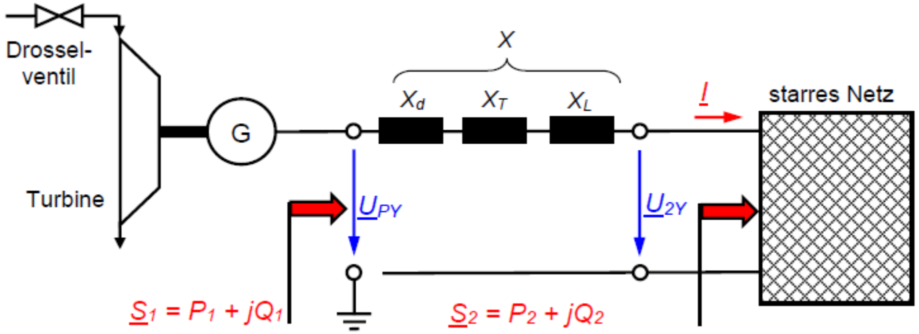
Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV cos(φ) = 0,88 f = 50 Hz p = 1

Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2J\frac{\Omega_0}{p}} \cdot t^2$$

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV cos(φ) = 0,88 f = 50 Hz p = 1

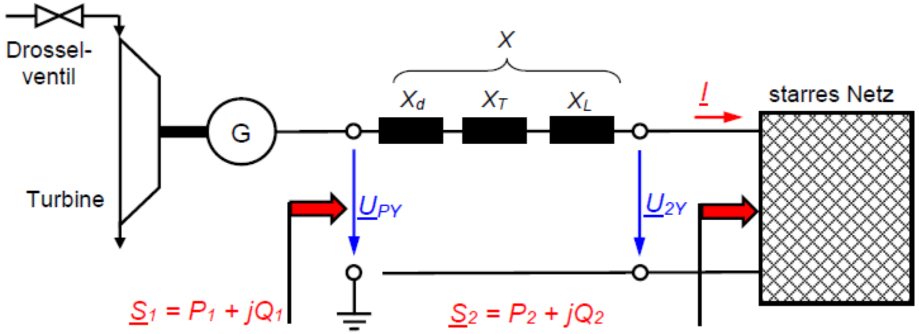
Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

Mechanische Winkelgeschwindigkeit

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2J\frac{\Omega_0}{p}} \cdot t^2$$

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV cos(φ) = 0,88 f = 50 Hz p = 1

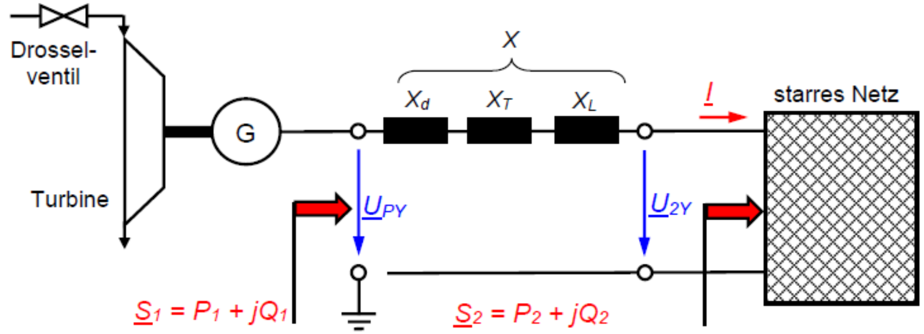
Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

Mechanische Winkelgeschwindigkeit

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2J\frac{\Omega_0}{p}} \cdot t^2 \qquad \Omega_0 = 2\pi\, n_0 = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2\pi\ 50\ \mathrm{Hz}}{1}$$

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

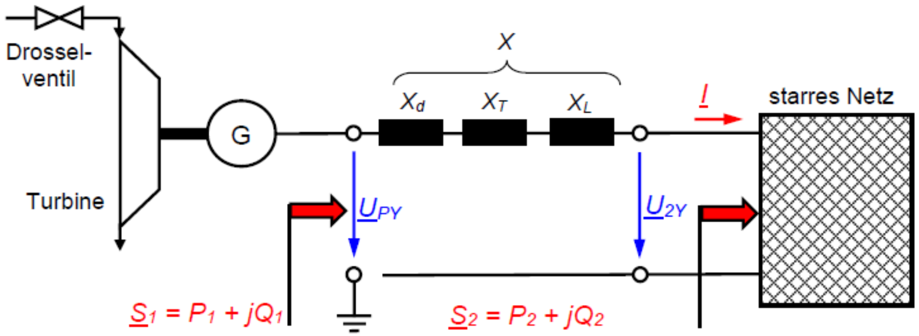
Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV $\cos(\varphi)$ = 0,88 f = 50 Hz p = 1

Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2J\frac{\Omega_0}{p}} \cdot t^2 = 0,7756 + 27,0776\frac{1}{\mathrm{s}^2} \cdot t^2$$

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

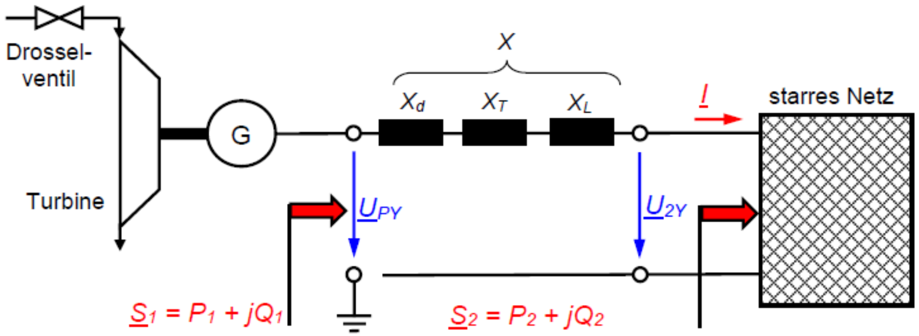
Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV cos(φ) = 0,88 f = 50 Hz p = 1

Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

Bestimmen Sie gemäß dem Flächensatz den Polradwinkel $\vartheta_{1,\mathrm{krit}}$ und die Zeit t_{krit}, welche die KU höchstens andauern darf, wenn der Polradwinkel des Generators nach der KU wieder in seinen Ausgangszustand zurückkehren soll.

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV $\cos(\varphi)$ = 0,88 f = 50 Hz p = 1

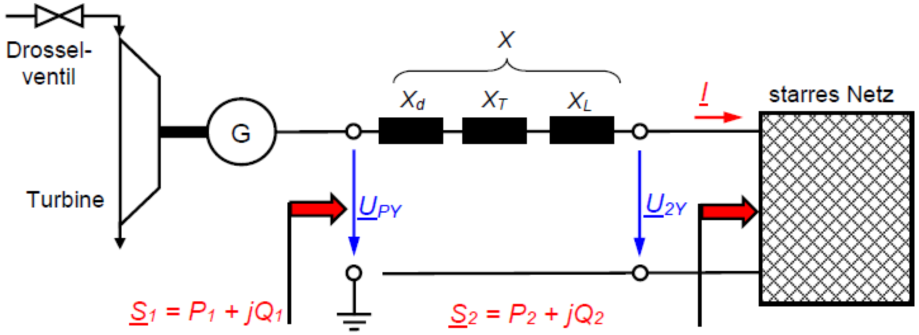
Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

$$\vartheta_{1,\mathrm{krit}} = \arccos[(\pi - 2\vartheta_0) \cdot \sin(\vartheta_0) - \cos(\vartheta_0)]$$

$$t_{\mathrm{krit}} = \sqrt{\frac{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{P_{\mathrm{m}}} \cdot (\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0)}$$

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: $J = 30000\ \mathrm{kgm}^2$ (Massenträgheitsmoment)

Generator: $S_{N,G} = 580$ MVA $U_{N,G} = 27$ kV $\cos(\varphi) = 0{,}88$ $f = 50$ Hz $p = 1$

Transformator: $S_{N,T} = 600$ MVA *Übersetzung:* 400/27 kV $u_k = 16\%$

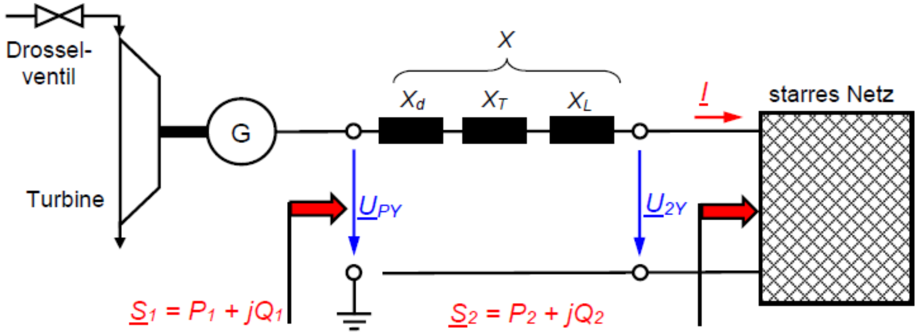
Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): $X = 219{,}48\ \Omega$

Polradwinkel t = 0 aus vorheriger Aufgabe

$$\vartheta_{1,\mathrm{krit}} = \arccos[(\pi - 2\vartheta_0) \cdot \sin(\vartheta_0) - \cos(\vartheta_0)]$$

$$t_{\mathrm{krit}} = \sqrt{\frac{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{P_{\mathrm{m}}} \cdot (\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0)}$$

Es soll ein Kraftwerk betrachtet werden, dessen Generator über einen 600-MVA-Transformator (400/27 kV) und eine 400-kV-Freileitung (Stichleitung) in das als starr anzunehmende 400-kV-Netz speist. Aufgrund eines zu hoch gewachsenen Baumes kommt es zu einem Überschlag von einem der Leiterseile gegen Erde. Um den Lichtbogen zu löschen wird der Leistungsschalter zwischen Transformator und 400-kV-Leitung kurzzeitig geöffnet (Kurzunterbrechung, KU). Bestimmen Sie die maximale Dauer der Kurzunterbrechung.



Generator und Turbine: J = 30000 kgm^2 (Massenträgheitsmoment)

Generator: $S_{N,G}$ = 580 MVA $U_{N,G}$ = 27 kV $\cos(\varphi)$ = 0,88 f = 50 Hz p = 1

Transformator: $S_{N,T}$ = 600 MVA *Übersetzung:* 400/27 kV u_k = 16%

Gesamtimpedanz von Generator, Transformator und Leitung (bezogen auf die 400-kV-Seite): X = 219,48 Ω

$$\vartheta_{1,\mathrm{krit}} = \arccos[(\pi - 2\vartheta_0) \cdot \sin(\vartheta_0) - \cos(\vartheta_0)]$$

$$t_{\mathrm{krit}} = \sqrt{\frac{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{P_\mathrm{m}} \cdot (\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0)}$$

Alle Parameter aus vorheriger Aufgabe bereits bekannt

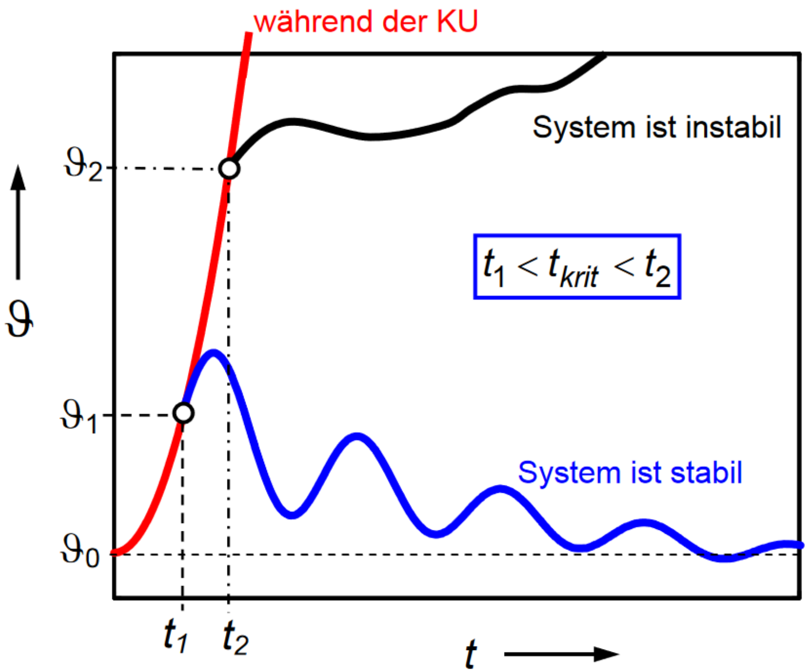
Synchronmaschine am starren Netz

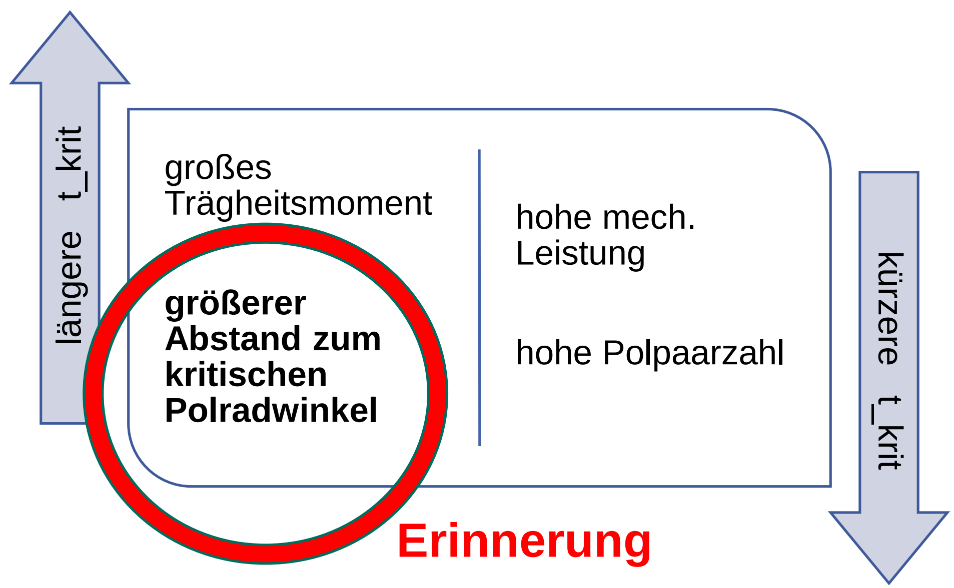
- Szenario 2: Generator wird kurzzeitig vom Netz getrennt.

Formel:

$$\vartheta(t) = \vartheta_0 + \frac{P_\mathrm{m}}{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}} \cdot \mathrm{t}^2$$

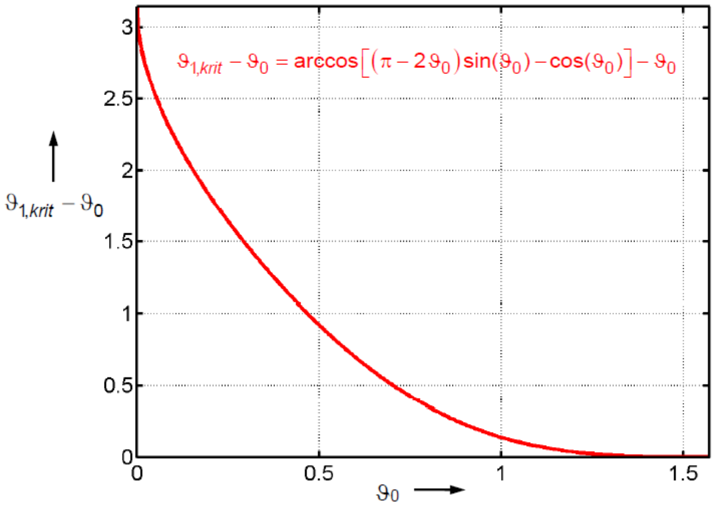
$$t_\mathrm{krit} = \sqrt{\frac{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{P_\mathrm{m}} \cdot (\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0)}$$





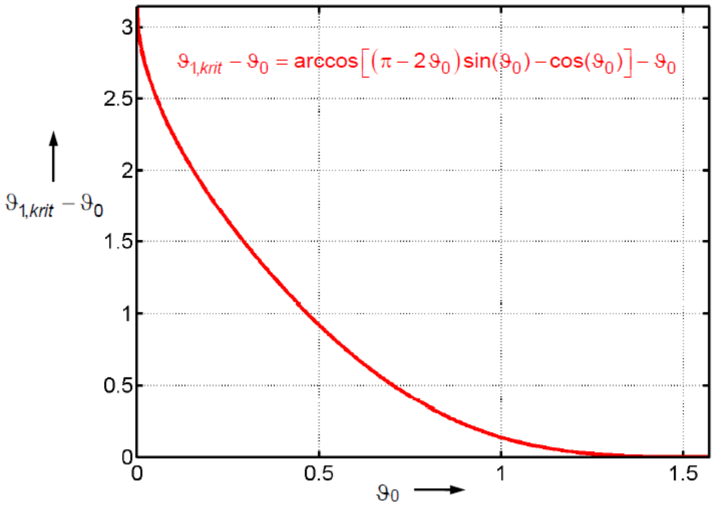
Um sicherzustellen, dass der Lichtbogen tatsächlich gelöscht ist, soll die Dauer der KU auf 0,2 s ausgedehnt werden können. Um dies zu erreichen, muss der Leitungswinkel ϑ_0 des Ausgangszustandes vor der KU verringert werden.

Berechnen Sie die erforderliche Differenz zwischen den Polradwinkeln $\vartheta_{1,krit}$ und ϑ_0, d. h. $\vartheta_{1,krit} - \vartheta_0$ und bestimmen Sie aus **Bild 5.2** zu dieser Winkeldifferenz $\vartheta_{1,krit} - \vartheta_0$ den zugehörigen Wert für ϑ_0.



Um sicherzustellen, dass der Lichtbogen tatsächlich gelöscht ist, soll die Dauer der KU auf 0,2 s ausgedehnt werden können. Um dies zu erreichen, muss der Leitungswinkel ϑ_0 des Ausgangszustandes vor der KU verringert werden.

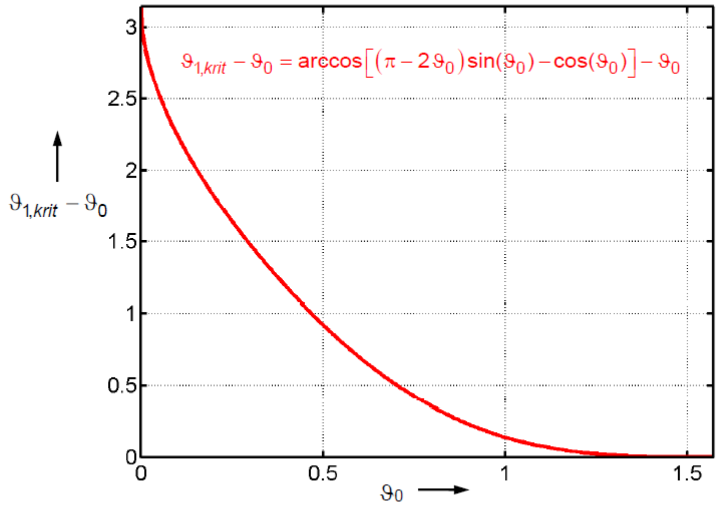
Berechnen Sie die erforderliche Differenz zwischen den Polradwinkeln $\vartheta_{1,\text{krit}}$ und ϑ_0, d. h. $\vartheta_{1,\text{krit}} - \vartheta_0$ und bestimmen Sie aus **Bild 5.2** zu dieser Winkeldifferenz $\vartheta_{1,\text{krit}} - \vartheta_0$ den zugehörigen Wert für ϑ_0.



Differenz $\vartheta_{1,krit} - \vartheta_0$ aus vorgegebenem t_{krit} bestimmen:

Um sicherzustellen, dass der Lichtbogen tatsächlich gelöscht ist, soll die Dauer der KU auf 0,2 s ausgedehnt werden können. Um dies zu erreichen, muss der Leitungswinkel ϑ_0 des Ausgangszustandes vor der KU verringert werden.

Berechnen Sie die erforderliche Differenz zwischen den Polradwinkeln $\vartheta_{1,\text{krit}}$ und ϑ_0, d. h. $\vartheta_{1,\text{krit}} - \vartheta_0$ und bestimmen Sie aus **Bild 5.2** zu dieser Winkeldifferenz $\vartheta_{1,\text{krit}} - \vartheta_0$ den zugehörigen Wert für ϑ_0.

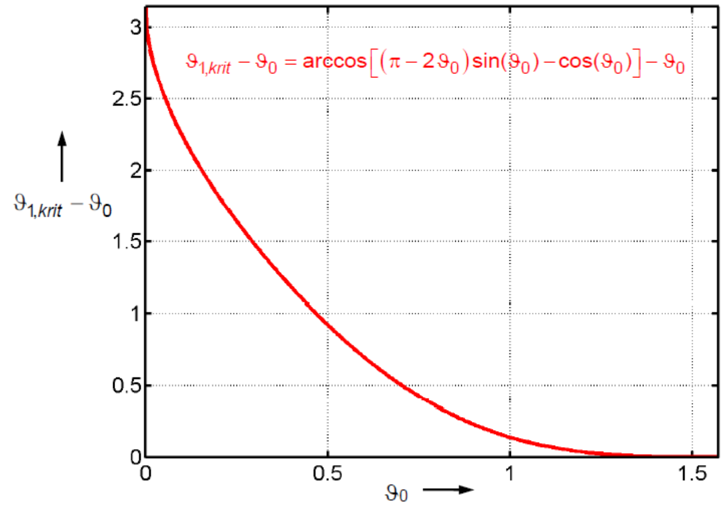


Differenz $\vartheta_{1,krit} - \vartheta_0$ aus vorgegebenem t_{krit} bestimmen:

$$t_{\mathrm{krit}} = \sqrt{\frac{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{P_{\mathrm{m}}} \cdot (\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0)}$$

Um sicherzustellen, dass der Lichtbogen tatsächlich gelöscht ist, soll die Dauer der KU auf 0,2 s ausgedehnt werden können. Um dies zu erreichen, muss der Leitungswinkel ϑ_0 des Ausgangszustandes vor der KU verringert werden.

Berechnen Sie die erforderliche Differenz zwischen den Polradwinkeln $\vartheta_{1,\mathrm{krit}}$ und ϑ_0, d. h. $\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0$ und bestimmen Sie aus **Bild 5.2** zu dieser Winkeldifferenz $\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0$ den zugehörigen Wert für ϑ_0.

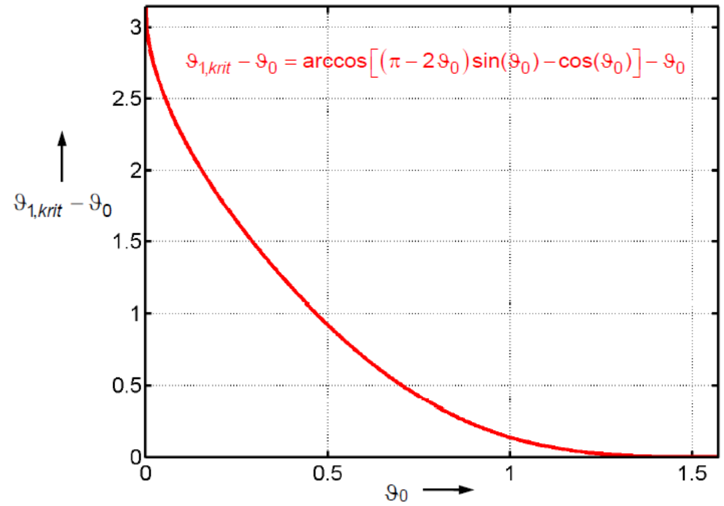


Differenz $\vartheta_{1,krit} - \vartheta_0$ aus vorgegebenem t_{krit} bestimmen:

$$t_{\mathrm{krit}} = \sqrt{\frac{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{P_{\mathrm{m}}} \cdot (\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0)} \quad \Rightarrow \quad \vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0 = t_{\mathrm{krit}}^2 \cdot \frac{P_{\mathrm{m}}}{2\, J \frac{\Omega_0}{p}}$$

Um sicherzustellen, dass der Lichtbogen tatsächlich gelöscht ist, soll die Dauer der KU auf 0,2 s ausgedehnt werden können. Um dies zu erreichen, muss der Leitungswinkel ϑ_0 des Ausgangszustandes vor der KU verringert werden.

Berechnen Sie die erforderliche Differenz zwischen den Polradwinkeln $\vartheta_{1,\mathrm{krit}}$ und ϑ_0, d. h. $\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0$ und bestimmen Sie aus **Bild 5.2** zu dieser Winkeldifferenz $\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0$ den zugehörigen Wert für ϑ_0.



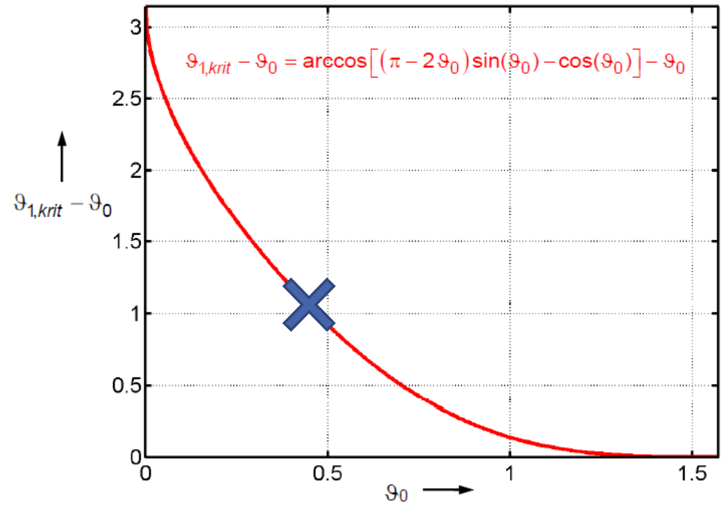
Differenz $\vartheta_{1,krit} - \vartheta_0$ aus vorgegebenem t_{krit} bestimmen:

$$t_{\mathrm{krit}} = \sqrt{\frac{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{P_{\mathrm{m}}} \cdot (\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0)} \Rightarrow \vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0 = t_{\mathrm{krit}}^2 \cdot \frac{P_{\mathrm{m}}}{2\,J\frac{\Omega_0}{p}}$$

$$= (0,2\,\mathrm{s})^2 \cdot 27,0776 \frac{1}{\mathrm{s}^2} = 1,0831\,\mathrm{rad} \mathrel{\widehat{=}} 62,06^\circ$$

Um sicherzustellen, dass der Lichtbogen tatsächlich gelöscht ist, soll die Dauer der KU auf 0,2 s ausgedehnt werden können. Um dies zu erreichen, muss der Leitungswinkel ϑ_0 des Ausgangszustandes vor der KU verringert werden.

Berechnen Sie die erforderliche Differenz zwischen den Polradwinkeln $\vartheta_{1,\mathrm{krit}}$ und ϑ_0, d. h. $\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0$ und bestimmen Sie aus **Bild 5.2** zu dieser Winkeldifferenz $\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0$ den zugehörigen Wert für ϑ_0.



Differenz $\vartheta_{1,krit} - \vartheta_0$ aus vorgegebenem t_{krit} bestimmen:

$$t_{\mathrm{krit}} = \sqrt{\frac{2\mathrm{J} \cdot \frac{\Omega_0}{\mathrm{p}}}{P_{\mathrm{m}}} \cdot (\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0)} \Rightarrow \vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0 = t_{\mathrm{krit}}^2 \cdot \frac{P_{\mathrm{m}}}{2\,J\frac{\Omega_0}{p}}$$

$$= (0,2\,\mathrm{s})^2 \cdot 27,0776 \frac{1}{\mathrm{s}^2} = 1,0831\,\mathrm{rad} \mathrel{\hat{=}} 62,06°$$

$$\text{aus Diagramm ablesen: } \vartheta_0 \approx 0,4\,\mathrm{rad} \mathrel{\hat{=}} 22,9°$$

Um sicherzustellen, dass der Lichtbogen tatsächlich gelöscht ist, soll die Dauer der KU auf 0,2 s ausgedehnt werden können. Um dies zu erreichen, muss der Leitungswinkel ϑ_0 des Ausgangszustandes vor der KU verringert werden.

Berechnen Sie die erforderliche Differenz zwischen den Polradwinkeln $\vartheta_{1,\mathrm{krit}}$ und ϑ_0, d. h. $\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0$ und bestimmen Sie aus **Bild 5.2** zu dieser Winkeldifferenz $\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0$ den zugehörigen Wert für ϑ_0.

aus Diagramm ablesen: $\vartheta_0 \approx 0,4\,\mathrm{rad} \mathrel{\widehat{=}} 22,9^\circ$

Was könnte man tun, um bei diesem Übertragungswinkel dennoch die volle mechanische Wirkleistung von 510,4 MW zu übertragen?

Um sicherzustellen, dass der Lichtbogen tatsächlich gelöscht ist, soll die Dauer der KU auf 0,2 s ausgedehnt werden können. Um dies zu erreichen, muss der Leitungswinkel ϑ_0 des Ausgangszustandes vor der KU verringert werden.

Berechnen Sie die erforderliche Differenz zwischen den Polradwinkeln $\vartheta_{1,\mathrm{krit}}$ und ϑ_0, d. h. $\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0$ und bestimmen Sie aus **Bild 5.2** zu dieser Winkeldifferenz $\vartheta_{1,\mathrm{krit}} - \vartheta_0$ den zugehörigen Wert für ϑ_0.

aus Diagramm ablesen: $\vartheta_0 \approx 0,4\,\mathrm{rad} \mathrel{\widehat{=}} 22,9°$

Was könnte man tun, um bei diesem Übertragungswinkel dennoch die volle mechanische Wirkleistung von 510,4 MW zu übertragen?

→ Impedanz der Leitung verringern.

Wie?

Um sicherzustellen, dass der Lichtbogen tatsächlich gelöscht ist, soll die Dauer der KU auf 0,2 s ausgedehnt werden können. Um dies zu erreichen, muss der Leitungswinkel ϑ_0 des Ausgangszustandes vor der KU verringert werden.

Berechnen Sie die erforderliche Differenz zwischen den Polradwinkeln $\vartheta_{1,krit}$ und ϑ_0, d. h. $\vartheta_{1,krit} - \vartheta_0$ und bestimmen Sie aus **Bild 5.2** zu dieser Winkeldifferenz $\vartheta_{1,krit} - \vartheta_0$ den zugehörigen Wert für ϑ_0.

aus Diagramm ablesen: $\vartheta_0 \approx 0,4\,\mathrm{rad} \mathrel{\widehat{=}} 22,9°$

Was könnte man tun, um bei diesem Übertragungswinkel dennoch die volle mechanische Wirkleistung von 510,4 MW zu übertragen?

→ Impedanz der Übertragungsstrecke verringern.

Wie?

→ Mit Kondensator: