

④

Elektrische Maschinen

Motor: wandelt elektrisch \rightarrow mechanisch

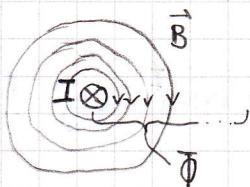


Generator: wandelt mechanisch \rightarrow elektrisch



Magnetisches Feld:

Stromdurchflossener Leiter bildet ein magnetisches Feld



$$\text{magn. Flussdichte: } \vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

material

$$\Phi = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\text{Fluss: } \Phi \quad [\text{Vs}] \quad \text{Flussdichte: } \vec{B} \quad [T = \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}] \quad \text{Feldstärke: } H \quad [\frac{\text{A}}{\text{m}}]$$

$$\text{Sonderfall: } \perp \text{ und homogen} \Rightarrow \Phi = B \cdot A$$

Ursache aller magn. Erscheinung ist die Durchflutung \odot
 (durchflutenden Ströme)

$$\odot = I \cdot N = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l}$$

Durchflutungsgesetz

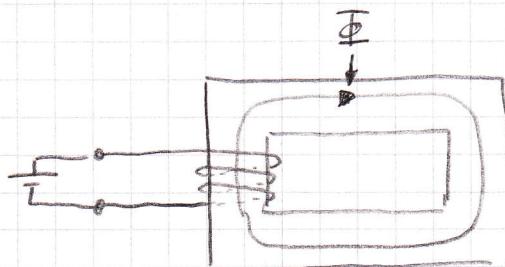
Fluss zeitlich ändern über Windungszahl ergibt Spannung!

\Rightarrow Induktionsgesetz:

$$u = N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\hat{u} = w \cdot N \cdot \hat{\Phi}$$

$$\Rightarrow \hat{u} \sim \hat{\Phi}$$



$$1) \text{ Durchflutung: } \odot = I \cdot N$$

$$2) \text{ Feldstärke: } H = \frac{\odot}{L}$$

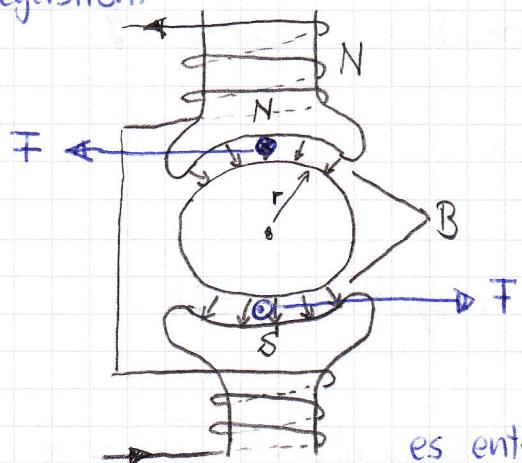
$$3) \text{ Material } \Rightarrow \text{Flussdichte: } B = \mu \cdot H$$

$$4) \text{ Fläche } \Rightarrow \text{Fluss: } \Phi = B \cdot A$$

Motorprinzip! Stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld erfährt eine Kraft

(2)

Erregerstrom



$$\vec{F} = (\vec{I} \times \vec{B}) \cdot L$$

$$\text{Sonderfall: } \perp \Rightarrow F = I \cdot l \cdot B$$

~~Nachrichtlich~~

$$\text{mit } N : F = N \cdot I \cdot l \cdot B$$

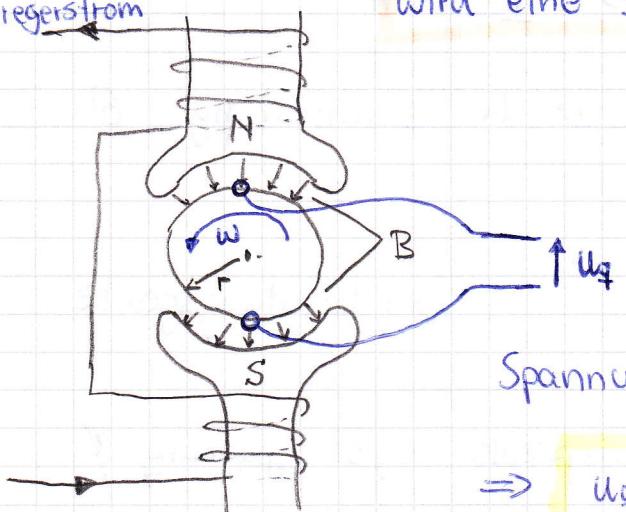
es entsteht Moment: Kraft mal Weg!

Achtung: Kraft trifft je Pol auf $\Rightarrow M = 2 \cdot N \cdot I \cdot l \cdot B \cdot r$

Generatorprinzip! In einem bewegten Leiter im Magnetfeld

Erregerstrom

wird eine Spannung induziert



$$u_g = \cancel{l} \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\uparrow u_g \quad \text{Sonderfall: } \perp \quad u_g = l \cdot v \cdot B$$

Spannung trifft je Pol auf, N berücksichtigen

$$\Rightarrow u_g = 2 \cdot N \cdot l \cdot w \cdot r \cdot B$$

③

Spule mit Eisenkern

- Warum Eisenkern:
- bündelt magn. Feld $\Rightarrow \mu_r$
(magn. Fluss um μ_r verbessert)
 - Lenkung des Magnetfeldes (zum Luftspalt hin)
 - GS: mehr Fluss bei geg. I
 - WS: weniger Blindstrom zu vorgegebenem Fluss

Eigenschaften nur bis Sättigungsgrenze: üblich 0,3T (Ferrit)
2T (E-Blech)

Da gilt $\vec{\Phi} = S \vec{B} \cdot d\vec{A} \Rightarrow$ für bestimmten Fluss Φ braucht man bestimmtes A des Eisens!

Hystereseverluste (Wechseldurchflutung)

Durchlaufen der Magnetisierungskurve

$$P_{\text{Hysterese}} \sim f \cdot B^2$$

Wirbelstromverluste (Wechseldurchflutung)

$$P_{\text{Wirbelstrom}} \sim f^2 \cdot B^2$$

Drehmoment und mechanische Leistung

Wärmeverluste
 \downarrow

Motor: $P_{\text{mech}} = M \cdot \omega = P_{\text{el}} - P_{\text{Verl}} = U \cdot I - P_{\text{Verl}}$

Generator: $P_{\text{el}} = U \cdot I = P_{\text{mech}} - P_{\text{Verl}} = M \cdot \omega - P_{\text{Verl}}$

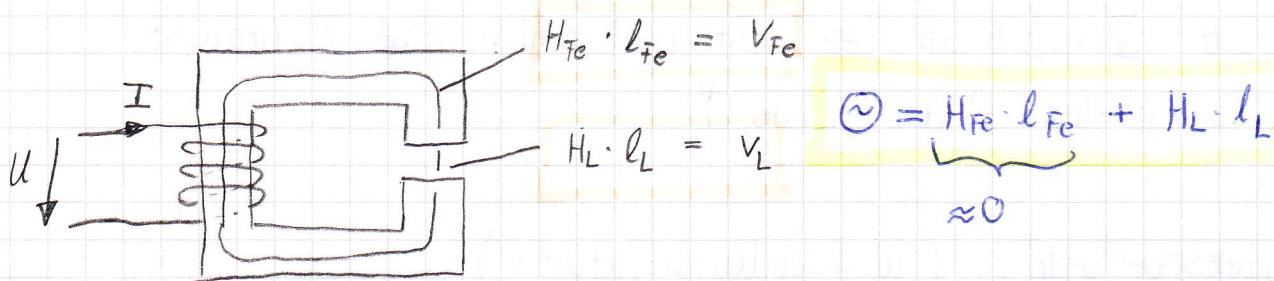
$$\eta_{\text{motor}} = \frac{P_{\text{mech}}}{P_{\text{el}}} = \frac{M \cdot \omega}{U \cdot I} \quad \eta_{\text{Gen}} = \frac{P_{\text{el}}}{P_{\text{mech}}} = \frac{U \cdot I}{M \cdot \omega}$$

- Leistungsangabe Typenschild betrifft mechanische Wellenleistung
- Baugröße Motor wächst näherungsweise mit Drehmoment
- Leistung Motor wächst näherungsweise mit Drehzahl

Gleichstromspeisung:

Strom I verursacht über N eine Durchflutung \circlearrowleft ($\circlearrowleft = I \cdot N$)
 es gilt Induktionsgesetz Durchflutungsgesetz: $\circlearrowleft = \int \vec{H} \cdot d\vec{l}$
 → magn. Umlaufspannung V_{ges}
 über mittlere Feldlinienlänge l_{Fe} wird magn. Feldstärke H
 festgelegt ($H = \frac{\circlearrowleft}{l_{Fe}}$)

über Materialeigenschaft $\mu \Rightarrow B = \mu \cdot H \rightarrow$ magn. Flussdichte B
 fester Eisenquerschnitt $A_{Fe} \Rightarrow$ magn. Fluss $\Phi = B \cdot A$



Wechselspannungsspeisung:

$$S = \frac{1}{x}$$

- Ideale Spule:
 - U_1 sinusförmig
 - $\sigma_{Fe} = 0$ ($S \rightarrow \infty$) → keine Wirbelströme
 - $\sigma_{cu} = \infty$ ($S = 0$) → kein Widerstand
 - $\mu_{Fe} \gg \mu_0$ → keine Streufelder
 - $\mu_{Fe} = \text{const}$ → I_M sinusförmig

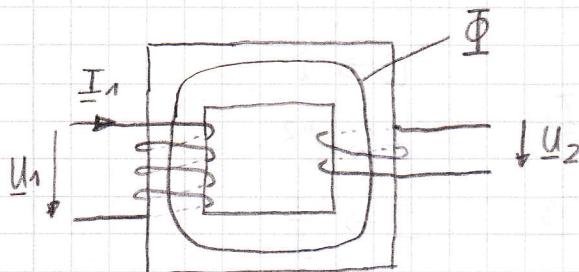
$$\hat{U} = \omega \cdot N \cdot \hat{\Phi} \quad ; \quad \hat{I}_M = I_M - \frac{\pi}{2} \quad ; \quad \hat{U} \sim \hat{\Phi} \quad [\text{unabhängig von } \hat{I}]$$

kleiner Magnetisierungsstrom

- Spannung U mit Induktionsgesetz führt zum Fluss ($\hat{\Phi} = \frac{\hat{U}}{\omega N}$)
- Eisenquerschnitt A_{Fe} führt zu Flussdichte B ($B = \frac{\hat{\Phi}}{A}$)
- Materialeigenschaft μ_{Fe} führt zu Feldstärke H ($H = \frac{B}{\mu_{Fe}}$)
- Feldlinienlänge führt zu magn. Umlaufspannung ($V_{\text{ges}} = H_{Fe} \cdot l_{Fe} + H_L \cdot l_L$)
- Durchflutungsgesetz $\circlearrowleft = V_{\text{ges}} \Rightarrow$ magn. Strom I_M ($I_M = \frac{\circlearrowleft}{N}$)

⑤ Idealer Transformator

(verlustfrei ; keine Streufelder)



U_1 anlegen \Rightarrow Induktionsgesetz : $U_1 = N_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt}$
 (für sinusförmige Größen : $\dot{\Phi} = \omega \cdot N_1 \cdot \hat{\Phi}$)

Fluß (Flußänderung) durchsetzt Sekundärwicklung

$$\Rightarrow \text{Induktionsgesetz} : U_2 = N_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = N_2 \cdot \frac{U_1}{N_1}$$

$$\Rightarrow \dot{\Phi} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

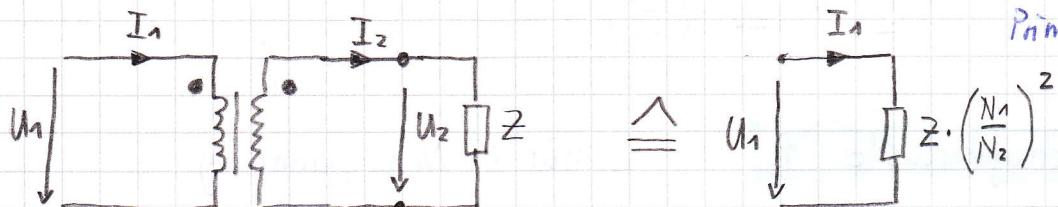
$$\varphi_{\Phi} = \varphi_{\mu_1} - \frac{\pi}{2}$$

Idealer Trafo $\Rightarrow |P_{ab}| = |P_{zu}|$

\Rightarrow Leerlauffall : $I_2 = 0 \Rightarrow I_1 = 0 \Rightarrow L_1 \rightarrow \infty !$

$$S_1 = U_1 \cdot I_1 = S_2 = U_2 \cdot I_2$$

Transformation von
Last Z auf die
Primärseite !



sekundär angeschlossene Last Z bestimmt $I_2 = \frac{U_2}{Z}$

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad \text{und} \quad U_2 = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

$$\Rightarrow I_1 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \cdot \frac{U_1}{Z} \quad \Rightarrow \frac{U_1}{I_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot Z$$

Durchflutungsgesetz : $\textcircled{z} = \underbrace{\oint \vec{H} \cdot d\vec{l}}_{=0 \text{ bei } M_{Fe} = \infty}$

$$\Rightarrow \textcircled{z} = \underbrace{i_1 \cdot N_1 + i_2 \cdot N_2}_{=0 \text{ (Durchflutungsgleichgewicht)}}$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Realer Transformator

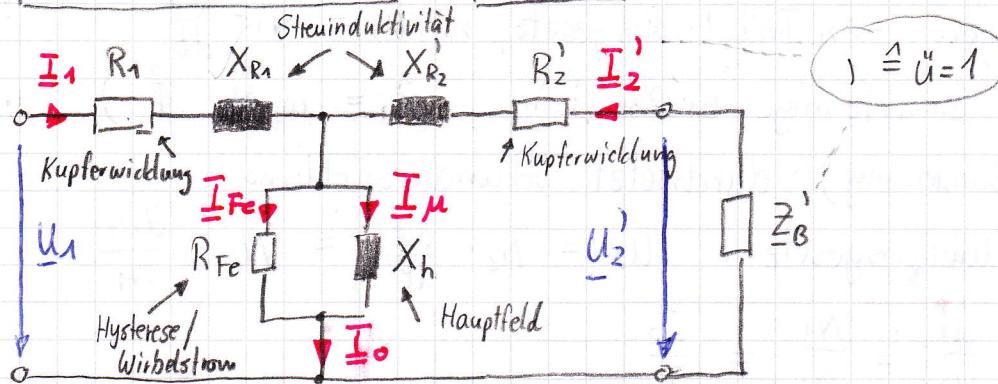
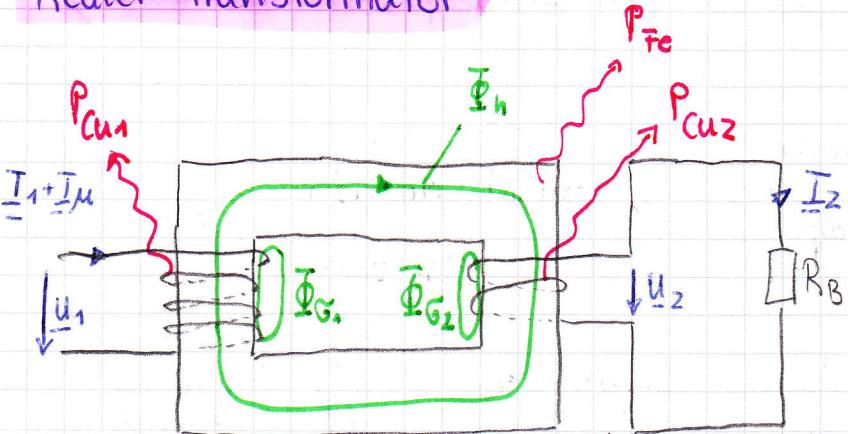
(6)

Umrechnung:

$$U \rightarrow \ddot{U}$$

$$Z \rightarrow \ddot{U}^2$$

$$I \rightarrow \frac{1}{\alpha}$$



Leerlauf: $I_2 = 0$ aber I_μ (Magnetisierungsstrom)

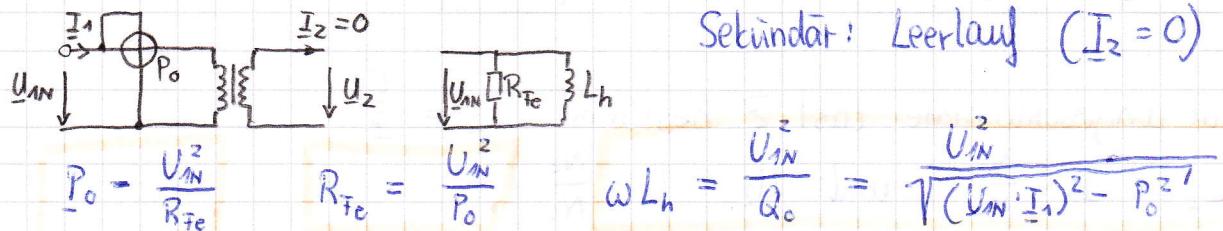
$$\text{Mit "Umrechnung": } L_{R_2'} = L_{R_2} \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad \text{und} \quad R_2' = R_2 \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

$$Z_B' = Z_B \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad \text{und} \quad U_2' = U_2 \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right)$$

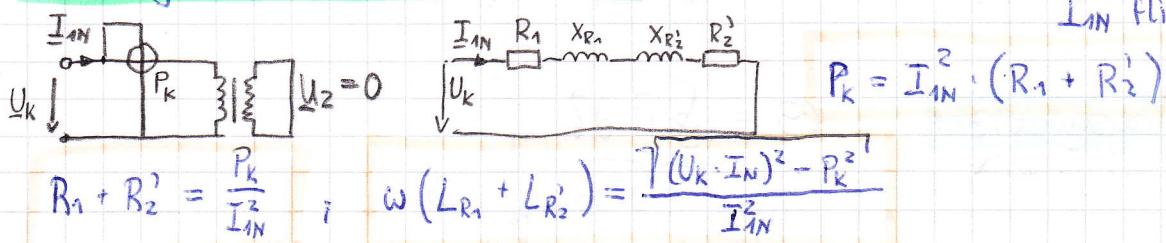
$$I_2' = I_2 \cdot \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$$

Messung Leerlaufverluste P_0 : Primär: Nennspannung

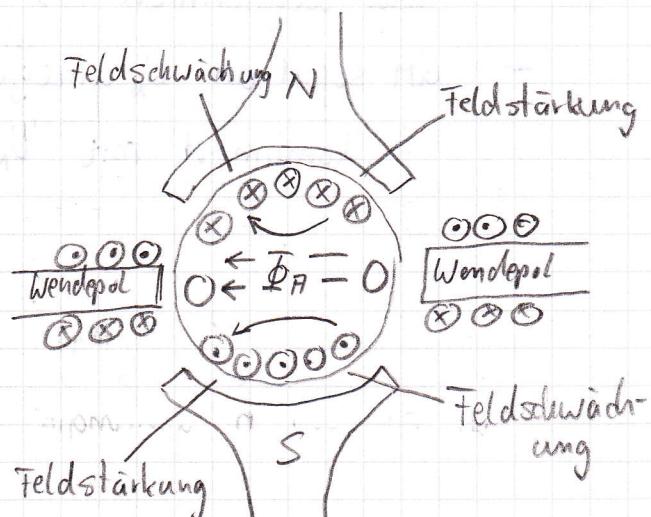
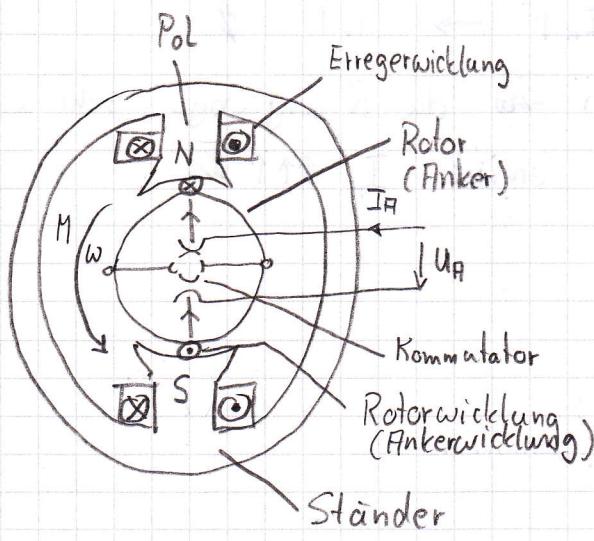
Sekundär: Leerlauf ($I_2 = 0$)



Messung Stromwärmeverluste: (Kurzschlussversuch) U_K hochdrehen bis I_{1N} fließt!



⑦ Gleichstrommaschinen [GM]



- Rotor / Anker führt den Arbeitsstrom \Rightarrow Drehmomentbildend
- Erregerwicklung / Permanentmagnet erzeugt Magnetfeld
- Magnetpole erzeugen magn. Fluß im Luftspalt.
- Stromdurchflossene Rotorwicklung im M-Feld erzeugt Drehmoment
- Ankerstrom erzeugt zusätzliches M-Feld das ~~sinn~~ sich dem Erregerfeld überlagert \Rightarrow Feldschwächung - Stärkung
- Luftspaltfeld wird durch Ankerstrom verändert \Rightarrow Drehmoment steigt nicht prop. zum mit Ankerstrom (etwas geringer)
 \Rightarrow Ankertückwirkung

Betriebsarten: Motor, Generator, Leerlauf

Grundgleichungen: $U_i = (c\Phi) \cdot \Omega$

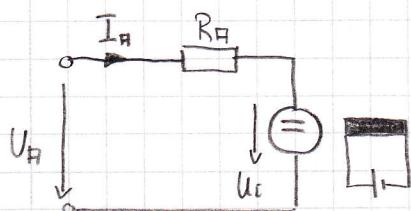
$$U_i \sim \Omega$$

U_i = ind. Spannung, $(c\Phi)$ = Flusskonstante, $\Omega = 2\pi \cdot n$

$$M = (c\Phi) \cdot I_A$$

$$M \sim I_A$$

M = Drehmoment, I_A = Ankerstrom



$$\Omega = \frac{U_A}{(c\Phi)} - \frac{R_L}{(c\Phi)^2} \cdot M$$

Ω_0 Leerlauf $\Delta \Omega$ Belastung / Drehmoment

Achtung: Unzulässiges Vorgehen!

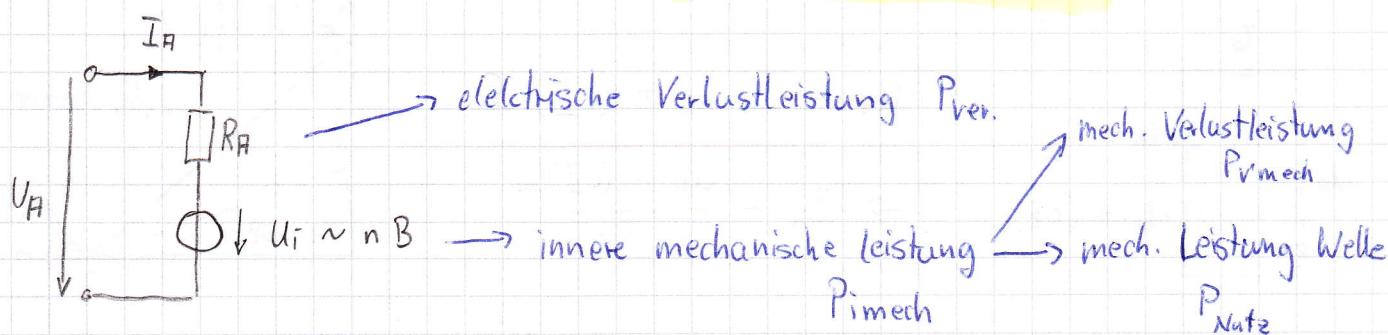
(8)

- Feld wegnehmen $\rightarrow I_A \uparrow \rightarrow n \uparrow \not\rightarrow$
- GM sofort an U_N anlegen \rightarrow da R anfangs sehr klein
kombiniert mit U_N ergibt $I_A \uparrow\uparrow$

⑨ Drehender Rotor

- U_A am Rotorwicklung \Rightarrow zunächst $I_A = \frac{U_A}{R_A}$
- Strom + magnetisches Feld \Rightarrow Drehmoment (Motor läuft an)
- drehender Rotor $\Rightarrow U_{\text{ind}}$ in Rotorwicklung (wirkt U_A entgegen)
 \Rightarrow für Ankerstrom I_A wirksame Spannung $= (U_A - U_i)$
 $n \uparrow \rightarrow U_i \uparrow \rightarrow I_A \downarrow$

$$I_A = (U_A - U_i) / R_A \quad \Rightarrow \quad U_A = I_A \cdot R_A + U_i \quad U_i = N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$



Leistungsbilanz

$$P_e = U_A \cdot I_A = P_{\text{imech}} + P_{\text{ver.}} = U_i \cdot I_A + R_A \cdot I_A^2$$

ohmsches R im Anker

\uparrow zugeführte el. P \downarrow innere mech. P

$$P_{\text{imech}} = M_i \cdot \omega$$

- U_i representiert die Energiewandlung von elektrischer zu mechanischer Energie

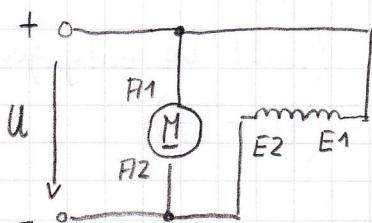
Messtechnik:

- R_A mittels U/I -Messung $\Rightarrow P_{\text{el.}} = I_A^2 \cdot R_A$
- Leerlaufversuch \Rightarrow Gesamtverlustleistung $=$ gesamte elektrische Leistung
 $\Rightarrow P_{\text{ver.}} = U_A \cdot I_A - I_A^2 \cdot R$

Nebenschluss - VS - Reihenschluss

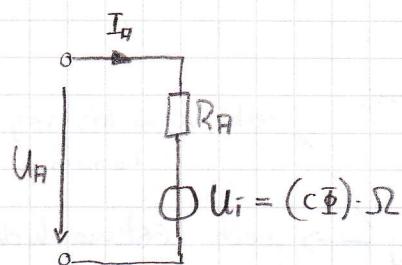
10

Nebenschluss :



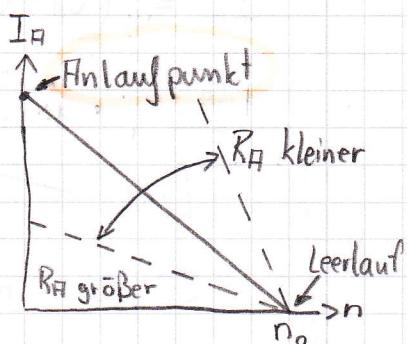
- in allen Betriebspunkten konstanter Fluss
- Erregerfeld bleibt in allen Drehzahl- und Lastbereich konstant
- Erregerfeld mittels Permanentmagnet oder Versorgung mit konstantem Strom

$\Rightarrow U_A$ nur von n abhängig (linear)



$$U_A = I_A \cdot R_A + (c\Phi) \cdot \Sigma$$

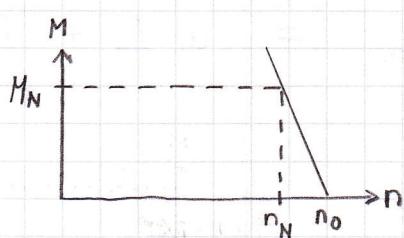
$$\Rightarrow I_A = \frac{U_A - (c\Phi) \cdot \Sigma}{R_A}$$



- wirksame Ankerspannung : $(U_A - U_i)$

\Rightarrow Wenn $U_A = U_i \Rightarrow I_A = 0 \Rightarrow M = 0$

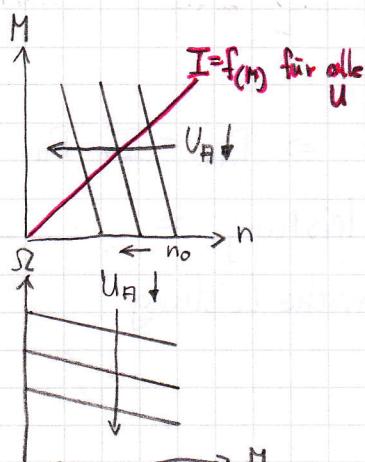
- $M \sim I_A$



\cong Nebenschlussverhalten !

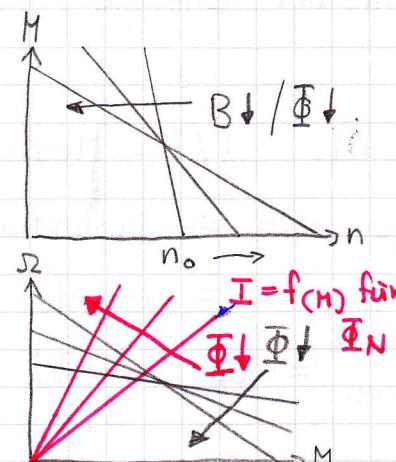
Drehzahlveränderung:

U_A verändern



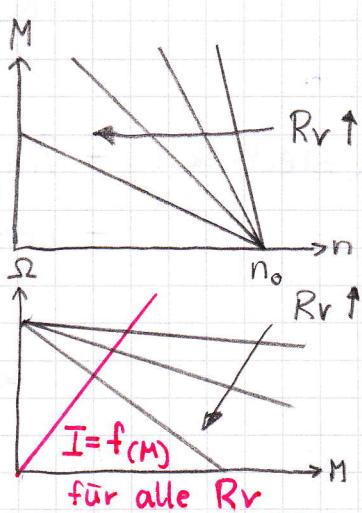
Steigung konst. da von R_A abhängig

Feldschwächung



$\Phi \downarrow$ zu stark $\Rightarrow n \uparrow \uparrow$
 \Rightarrow mech. Zerstörung

Vorwiderstand

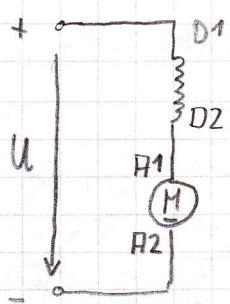


$I = f(m)$ für alle R_v

(11)

Reihenschluss

"Universalmotor"

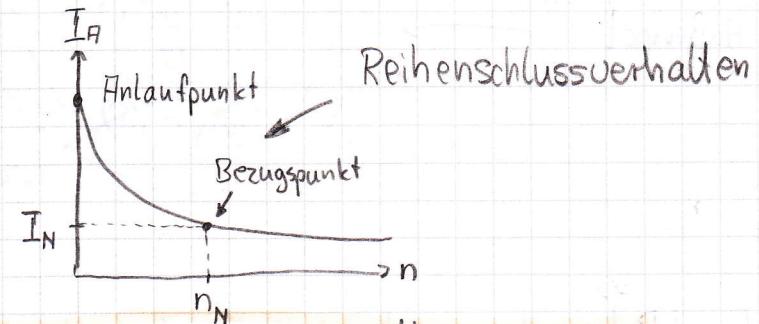
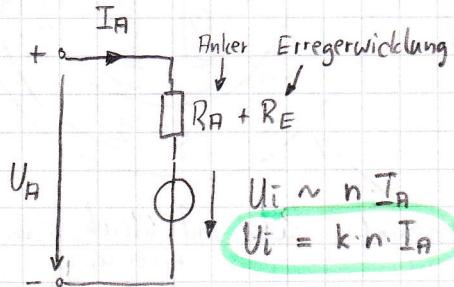


- Erregerfeld \sim Ankerstrom

- $U_i \sim n$ und I_A

$$\Rightarrow M \sim I_A^2 \Rightarrow \frac{M}{M_N} = \left(\frac{I_A}{I_N} \right)^2$$

- kann mit Wechselstrom betrieben werden



$$U_A = I_A \cdot (R_A + R_E) + U_i \Rightarrow I_A = \frac{U_A}{k \cdot n + (R_A + R_E)}$$

$$U_i \text{ repräsentiert } P_{\text{mech}} \quad P_{\text{mech}} = U_i \cdot I_A = M \cdot \omega$$

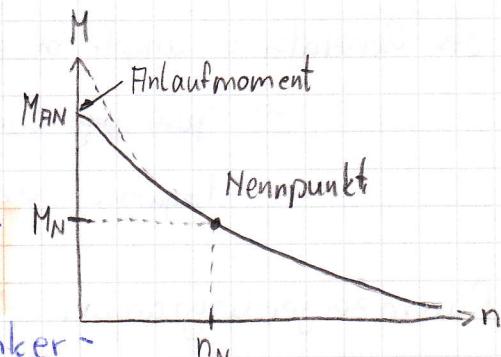
$$\Rightarrow U_i = \frac{M \cdot \omega}{I_A} = M_N \cdot \frac{I_A^2}{I_N^2} \cdot \frac{\omega}{I_A} = \underbrace{\frac{M_N}{I_N^2} \cdot \omega \cdot n \cdot I_A}_k$$

- U am R_A und R_E vernachlässigen!

$$- \Rightarrow I_A \sim \frac{1}{n} \Rightarrow \frac{I_A}{I_N} \approx \frac{n_N}{n}$$

$$- \Rightarrow M \sim \left(\frac{1}{n} \right)^2 \Rightarrow \frac{M}{M_N} \approx \left(\frac{n_N}{n} \right)^2$$

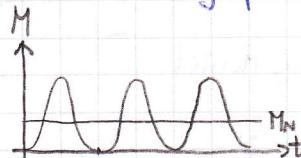
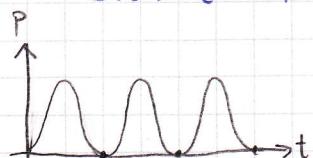
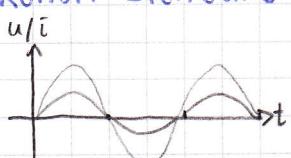
- Anlaufmoment wegen Sättigung und Ankerquerfeld verringert



am Wechselstromnetz

Richtung von Drehmoment bleibt konst. da Richtung von Strom und magn. Fluss gleichzeitig ändern.

konst. Drehzahl \Rightarrow Drehmoment mit Leistung pulsierend



Universalmotor gibt an 50 Hz ein mit 100 Hz pulsierendes Moment ab!

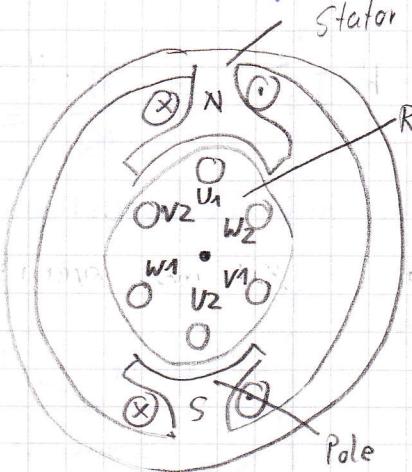
Synchronmaschine

12

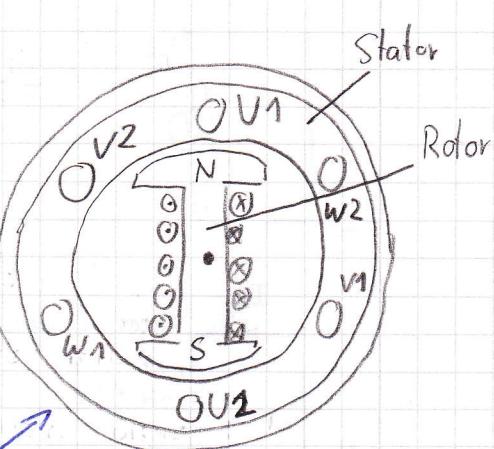
- Die Drehzahl des Synchronmotors ist gleich der Drehfelddrehzahl

- Bauarten:
 - Innenpol
 - Außenpol

Außenpol



Innenpol, Rotor mit Gleichstrom-
erregung



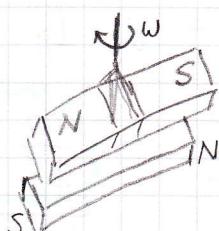
Läufer / Rotor kann als Vollpol oder als Schenkelpol gebaut werden.

höhe Drehzahl

niedrige Drehzahl

$$da \ n \sim f_i U_i p$$

Grundprinzip:

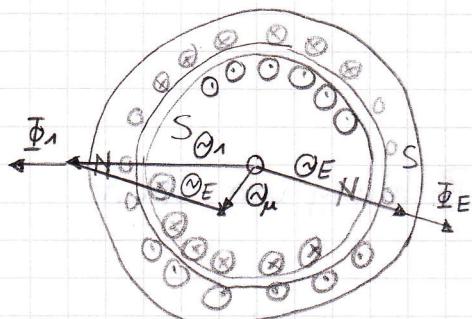


Untere Magnet wird sich
mit drehen mit gleicher / synchroner
Frequenz

als Generator: angetriebener Läufer erzeugt Feld

→ Spannung wird in Stator induziert (gleiche Amplitude und Frequenz von Strom und Spannung)

Raumzeigerdiagramm:



Index 1 = Stator

Θ_1 und Φ_1 sind gleichgerichtet

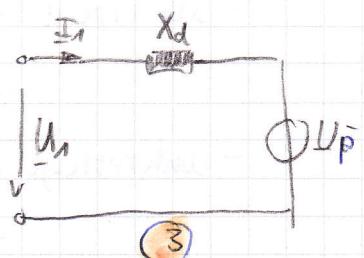
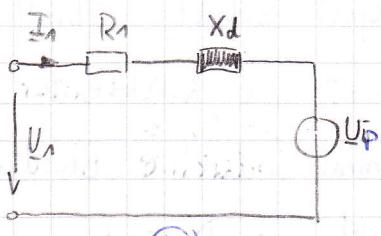
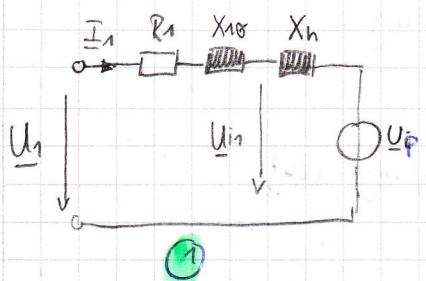
$$\Theta_E = \Theta_1 + \Theta_E$$

$$\Phi_E = \Phi_1 + \Phi_E$$

(13) Ersatzschaltbild

mit $X_d = X_h + X_{18}$

R_1 vernachlässigt
(nur bei Großen Maschinen)



$U_1 \hat{=} \text{Stator-Klemmenspannung}$

$I_1 \hat{=} \text{Statorstrom}$

$X_h \hat{=} \text{Hauptreaktanz (Stator)}$

$X_{18} \hat{=} \text{Streureaktanz}$

$R_1 \hat{=} \text{Strangwiderstand}$

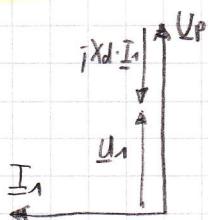
$X_d \hat{=} \text{Synchronektanz}$

U_p ist die Spannung bei Statorstrom Null,
Polrad dient mit n_1 , gemessen & an Klemmen
Statorwicklung

$$\textcircled{1} \quad U_1 = U_p + j X_h \cdot I_1 + j X_{18} \cdot I_1 + R_1 \cdot I_1$$

$$\textcircled{3} \quad U_1 = j X_d \cdot I_1 + U_p \quad \textcircled{2} \quad I_1 = \frac{U_1 - U_p}{j X_d} = -j \frac{U_1 - U_p}{X_d}$$

Leerlauf: U_1 auch U_p (Polradspannung) $U_p = U_p \cdot e^{j\beta}$



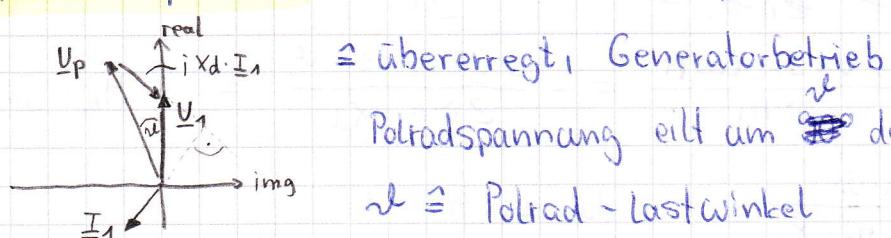
Erregerstrom erhöhen, so dass U_p größer als Netzspannung
 \Rightarrow Strom im Statorkreis, bestimmt durch synchrone
Reaktanz \Rightarrow wirkt wie Kondensator (übererregt)



Polradspannung kleiner als Netzspannung \Rightarrow
Spannungsabfall an Reaktanz \Rightarrow $j X_d \cdot I_1$

\Rightarrow wirkt Induktiv (untererregt)

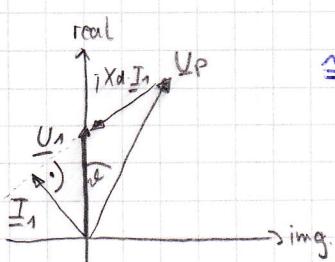
Generator / Motor: Drehmoment zu/abführen



$\hat{=}$ übererregt, Generatorbetrieb

Polradspannung eilt um ~~vor~~ der Netzspannung vor

$\varphi \hat{=} \text{Polrad-Lastwinkel}$



$\hat{=}$ übererregter Motorbetrieb

Polradspannung eilt um φ der Netzgg. nach

Blindleistung durch Polradspannung, somit durch Erregung, bestimmt

(14)

- übererregt \Rightarrow liefert Induktive Blindleistung

\Rightarrow wirkt wie Kondensator

- untererregt \Rightarrow nimmt induktive Blindleistung auf

\Rightarrow wirkt wie Drossel

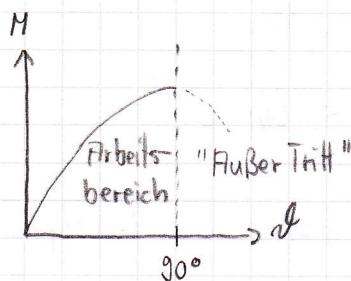
Wirkleistung durch Belastung am Welle bestimmt

- Generator: Abgabe von Wirkleistung ins Drehstromnetz

\Rightarrow mech. Belastung in Drehrichtung (Voreilung Polradfeld)

- Motor: Wirkleistungsaufnahme aus dem Netz

\Rightarrow mech. Belastung gegen Drehrichtung (Nachteilung Polradfeld)



Leistung | Drehmoment

Motor nimmt Strom auf; dessen Wirkkomponente $I_w = |I_1| \cdot \cos \varphi_1 = -\frac{U_p}{X_d} \cdot \sin \varphi$

vom Netz aufgenommene Wirkleistung $P_1 = 3 \cdot U_1 \cdot I_w = 3 \cdot U_1 \cdot \frac{-U_p}{X_d} \cdot \sin \varphi$

Verlustlose Maschine $\Rightarrow P_1 = P_{el} = P_{mech} = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_1 \quad n_1 = \frac{f_1}{P}$

$$\Rightarrow M = \frac{P_1}{2 \cdot \pi \cdot n_1} = \frac{3 \cdot U_1 \cdot I_w \cdot \cos \varphi_1}{2 \cdot \pi \cdot n_1} = \frac{3 \cdot U_1 \cdot I_w \cdot \sin \varphi}{2 \cdot \pi}$$

$$M = \frac{P_1}{2 \cdot \pi \cdot n_1} = \frac{3 \cdot U_1 \cdot I_w \cdot \cos \varphi_1}{2 \cdot \pi \cdot n_1} = -\frac{3 \cdot U_1 \cdot U_p \cdot \sin \varphi}{2 \cdot \pi \cdot n_1 \cdot X_d} = -M_k \cdot \sin(90^\circ)$$

$$\Rightarrow M_k = \frac{3 \cdot U_1 \cdot U_p}{2 \cdot \pi \cdot n_1 \cdot X_d} \quad \text{da } \sin 90^\circ = 1$$

oder auch: $M = -m \cdot \frac{P}{\omega} \cdot U \cdot I_k \cdot \sin \beta$

$$m = 3,$$

$$U = \text{Spannung pro Strang}$$

$$\omega = 2 \pi \cdot f$$

$$P = \text{Polpaarzahl}$$

$$I_k = \frac{U_p}{X_d}$$

⑯ Asynchronmaschine

Bei Netzbetrieb ist Drehzahl näherungsweise festgelegt:

\Rightarrow bei 50Hz : $p=1 \Rightarrow n = 3000 \text{ min}^{-1}$; $p=2, n = 1500 \text{ min}^{-1}$, ...

Funktionsprinzip:

- Ständer mit Drehstromwicklung \Rightarrow erzeugt Drehfeld
- Rotor auch mit Drehstromwicklung [Schleifringläufer]
- in Betrieb \Rightarrow Ständer induziert in Läufer \Rightarrow Strom in Rotorwicklung

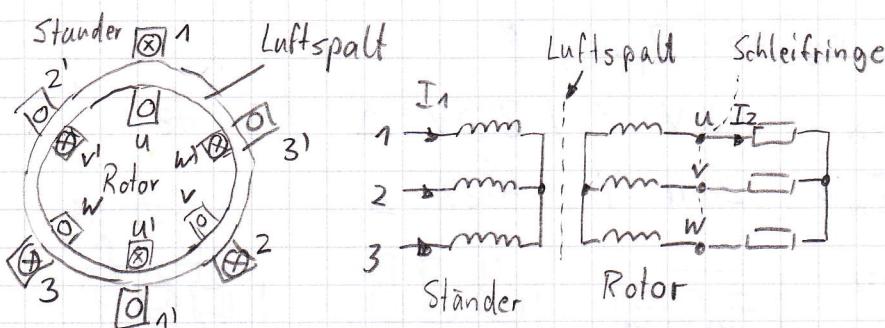
Anlauf: U_{ind} gleiche f und Flpmplitude wie Ständer; dann \Rightarrow

Hochlauf: $U = N \frac{d\Phi}{dt} \Rightarrow f$ und Flpmplitude in Rotor kleiner

Bei $n_{\text{Rot}} = n_{\text{Ständer}} \Rightarrow U_{\text{ind}} = 0 \Rightarrow f$ ist theoretisch Null.

Rotorstrom und Ständerdrehfeld erzeugen Drehmoment ($T = B \cdot B \cdot I$)

$\Rightarrow M$ ist drehzahlabhängig und bei $n_s \Rightarrow M=0$



größter Strom bei Rotor-Kurzschluss \Rightarrow (keine Schleifringe, Bürsten)

\Rightarrow Kurzschlussläufer oder Käfigläufer

Um Drehmoment zu haben $\Rightarrow n \neq n_s \Rightarrow$ Rotor langsamer als Ständerdrehfeld \Rightarrow Schlupf s

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{f_2}{f_1}$$

← Rotordrehzahl

Stillstand / Anlauf / Blocklauf: $n=0, s=1$

synchrone Drehzahl, Leerlauf: $n=n_s, s=0$

Drehzahl: $n = n_s (1-s)$

$$\text{Läuferfrequenz } f_2 : \quad f_2 = f_1 \cdot s \quad f_1 = \text{Ständerfrequenz}$$

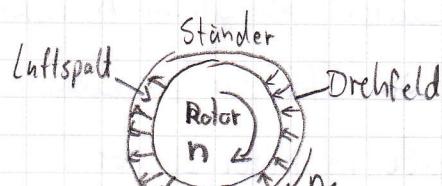
(16)

Nun Stromwärmeverluste vernachlässigen \Rightarrow je kleiner s desto höher n
Plausibilitätsvergleich mit Kupplung (wie für synchronmaschine)

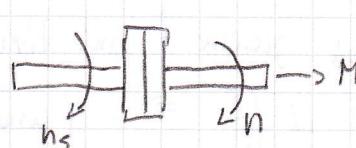
$$\text{Eingangsleistung: } P_{\text{ein}} = M \cdot w_s = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_s$$

$$\text{Ausgangsleistung: } P_{\text{aus}} = M \cdot w = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$

$$\text{Verluste: } P_{\text{verl.}} = M \cdot (w_s - w) = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot (n_s - n)$$



Asynchronmotor



Kupplung

Bemessungsdaten:

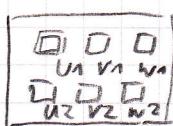
$$\text{Typenschild: } n_N = 2845 \text{ min}^{-1} \Rightarrow n_s = 3000 \text{ min}^{-1}$$

f=50 Hz mit n_s \Rightarrow 2polig !

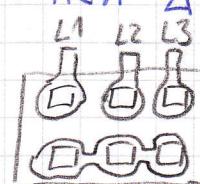
Nennspannung: U_N: 400V Y / 230V Δ / 50 Hz

Nennstrom I_N: 2,4A Y / 4,2A Δ

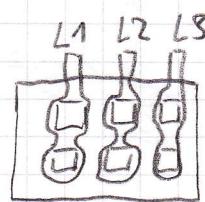
U₁ — m — U₂
V₁ — m — V₂
W₁ — m — W₂



Ständerwicklung

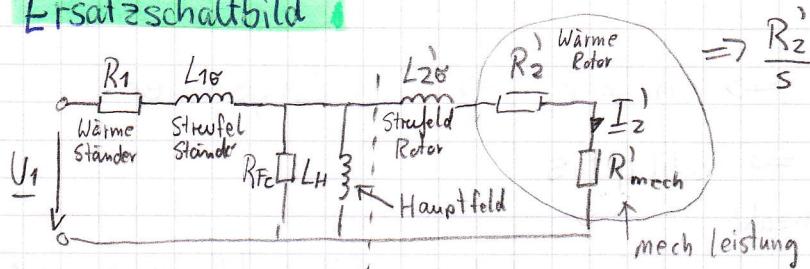


Klemmbrett



Dreieck

Ersatzschaltbild:



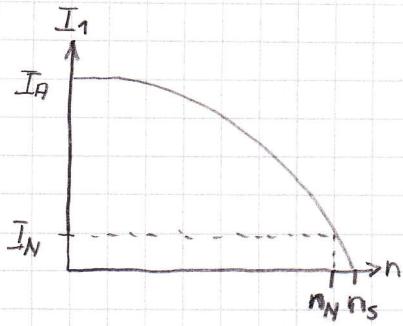
$$\text{Luftspaltleistung: } P_{\text{ein}} = P_{\text{Luftsp.}} = M \cdot w_s = I_2^2 \cdot (R_2' + R_{\text{mech}}')$$

$$\text{Läuferleistung: } P_{\text{aus}} = P_{\text{mech}} = M \cdot w = I_2^2 \cdot R_{\text{mech}}$$

$$\Rightarrow R_{\text{mech}}' = R_2' \cdot \frac{1-s}{s} \quad ; \quad \frac{n_s}{n} = \frac{w_s}{w} = \frac{R_2' + R_{\text{mech}}'}{R_{\text{mech}}'}$$

$$\Rightarrow R_2' + R_{\text{mech}}' = \frac{R_2'}{s}$$

(17)



Anlauf / Blockierfall [Läufer steht still] \Rightarrow höchste Spannung wird in ihm induziert \Rightarrow höchster I_2 [Läuferstrom] \Rightarrow höchster I_1

M im Anlauf sehr klein wegen Phasenverschiebung zwischen Luftspaltfeld und Läuferstrom [Streuinduktivität] erst mit höherer Drehzahl (Läuferfrequenz \uparrow) sinkt Einfluss der Streuinduktivität $\Rightarrow M \uparrow$
 Läuferdrehzahl n ^{in der Nähe} $= n_s \Rightarrow$ induzierte Spannung $\uparrow \Rightarrow$ Läuferstrom \uparrow
 $\Rightarrow M \uparrow$

Drehzahl / Drehmomentenverlauf /

Kloßsche Gleichung :

$$\frac{M}{M_K} = \frac{2}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}$$

Für kleine Schlupfwerte : $\frac{M}{M_K} \approx 2 \cdot \frac{s}{s_K}$