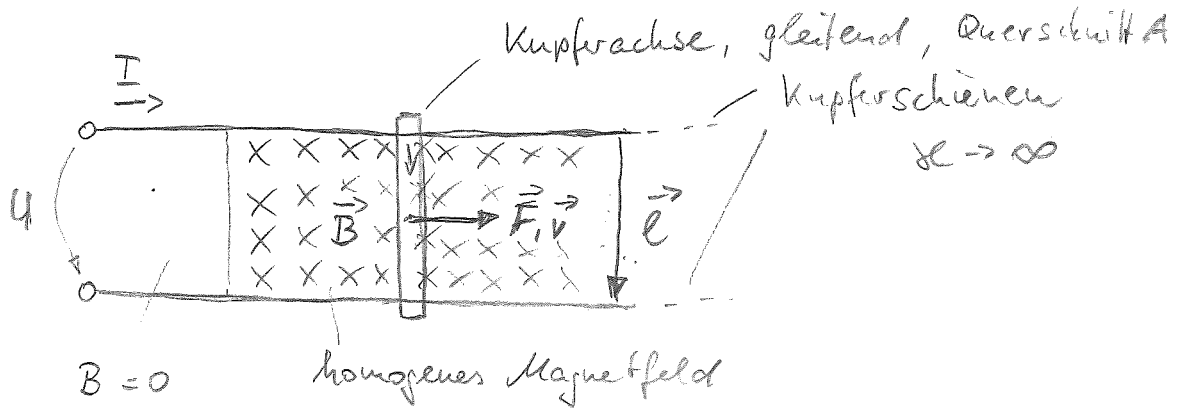


§ Elektrotraktion

16. Januar 2024 2033
solypa@pmx.de

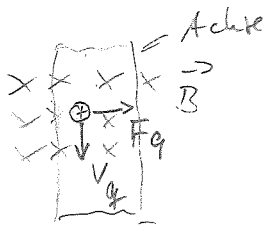
①



Ⓐ Kraft durch Strom

I gegeben / eingepreist (Stromquelle an Klemmen)

Betrachten positive Elementarladung q in der Achse, Achse wird festgehalten ($v=0$), LORENTZkraft



$$\vec{F}_q = q \vec{v}_q \times \vec{B} \quad (1)$$

Kraft \vec{F}_q wird auf Achse übertragen, weil q die Achse nicht verlassen kann. Gesamtkraft bei homogener Stromdichte \vec{j} und homogener Ladungsdichte ρ , Gesamtladung in Achse Q , Laufzeit T von q in Achse

$$\vec{F} = Q \vec{v}_q \times \vec{B} \quad (2)$$

$$Q \vec{v}_q = Q \vec{l} / T = Q / T \vec{l} = I \vec{l}$$

$$\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B} \quad (3)$$

oder kurz, siehe Skizze

$$\boxed{F = B l I} \quad (4)$$

typische Werte: Elektronendichte Kupfer/Silber $n = 8,4 \cdot 10^{28} / \text{m}^3$
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} \rightarrow g = 1,3 \cdot 10^{10} \text{ As/m}^3$

$$j = 1,3 \text{ A/(mm)}^2 \rightarrow v_q = (1,3 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2) / (1,3 \cdot 10^{10} \text{ As/m}^3) = 10^{-4} \text{ m/s}$$

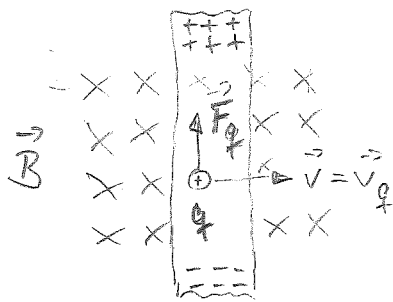
$$\rightarrow v_q = \frac{1}{10} \text{ mm/s}, \quad I = 100 \text{ A}, \quad d \approx 1 \text{ cm}, \quad B = 1 \text{ T}, \quad l = 1 \text{ m} \rightarrow F = 100 \text{ N}$$

Anmerkungen:

- bei festgehaltener Achse ($v=0$) erfolgt keine Leistungsaufnahme ($x \rightarrow \infty$), d.h. $U=0$ ist konsistent \rightarrow keine Aussage über Spannung bislang
- bei nicht festgehaltener Achse ($v \neq 0$) aber weiterhin vorgegebenem Strom bleiben die Zusammenhänge, d.h. $F = B l I$ gilt auch bei $v \neq 0$

B Spannung durch Bewegung

Klemmen unterbrochen, d.h. $I=0$ und U frei
 Achse wird mit fester Geschwindigkeit $v \neq 0$ bewegt,
 Elementarladungen q bewegen sich mit $v_q = v$



$$\vec{F}_q = q \vec{v} \times \vec{B} \quad (5)$$

LORENTZkraft bewirkt Ladungstrennung in der Achse und damit zwischen den Schienen Wirkung wie eingepreigtes el. Feld \vec{F}_q/q , d.h.

$$\vec{E}_e = \vec{v} \times \vec{B} \quad (6)$$

Das durch Ladungsverschiebung erzeugte Feld \vec{E} kompensiert das eingepreigte Feld (Gleichgewicht, $I=0$)

$$\vec{E} = -\vec{v} \times \vec{B} \quad | \cdot \vec{e}$$

\vec{E} ist gleichgerichtet mit \vec{e} , daher

$$\boxed{U = B l v} \quad (7)$$

Summe feldstärke in der Achse $E_{ges} = 0$

Anmerkungen

- Bei offenen Klemmen ($I=0$) erfolgt keine Leistungs-aufnahme (oder -abgabe), die Achse kann kraftfrei bewegt werden ($F=0$ gem. (4))
- mechanische Leistung der Kraft ist

$$P_m = \vec{F} \cdot \vec{v} = Blv I$$

- eingespeiste el. Leistung

$$P_{el} = U \cdot I = Blv I$$

→ $P_m = P_{el} = P$

$$P = Blv I$$

(8)

- Motor (in Arbeit) $P > 0 \Rightarrow I > 0$ ($v \geq 0$ sinnvoll)
- Generator (mit Last) $P < 0 \Rightarrow I < 0 \Rightarrow F < 0$
z.B. durch ohmsche Last an den Klemmen

- typische Werte $B = 1T$, $l = 1m$, $v = 1m/s$

⇒ $U = 1V$

bei 100A	$P = 100W$	$F = 100N$
10kA	10kW	10kN

- $Bl = 1Vs/m \rightarrow$ Flußänderung bei Bewegung Φ' kann auch durch Vergrößerung von l angeschlossen werden (Windungen, Spule)
- bislang B und l als konst. Konstanten betrachtet, Bei Erregung durch Elektromagneten kann B in der Praxis veränderbar werden (etw. praktisch $B \ll 1T$)

③ Statische Begrenzungen ($v=0$)

④

B_{max} - bei Permanentmagnet ohnehin konstant,
sonst Erregerspulen /-strom, Permeabilität, ...

I_{max} - Ankerspulen /-strom, Speisung

F_{max} - mechan. Belastung

Sinnvolle Dimensionierung gemäß (4)

$$F_{max} \propto B_{max} \cdot I_{max} \quad (9)$$

- aber nicht notwendig

Wegen (7) und (8) sind $u=0$ und $P=0 \Rightarrow$
keine zus. Begrenzungen deswegen.

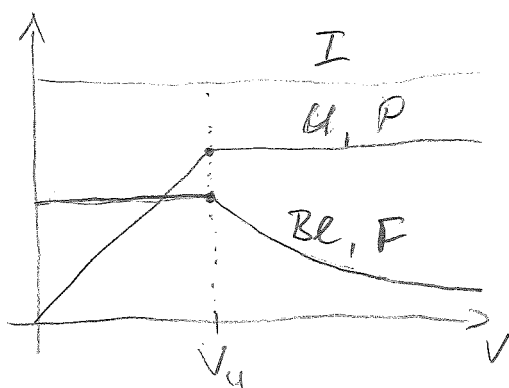
Motor muss statischen Fall (wenigstes kurzzeitw.)
lasten können, ggf. durch Ausschaltung, d.h.
Strombegrenzung.

④ Dynamische Begrenzungen ($v \geq 0$)

Betrachten Beschleunigung konstanter Masse aus
Stillstand, wechselndes v , früher über v

U_{max} - Durchschlag, Speisung, ... einfachster Fall
Wegen (7) muss für große v der Fluss gedrosselt

$$\text{werden: } v \geq v_{fl} = U_{max} / B_{max} \Rightarrow B = U_{max} / v$$

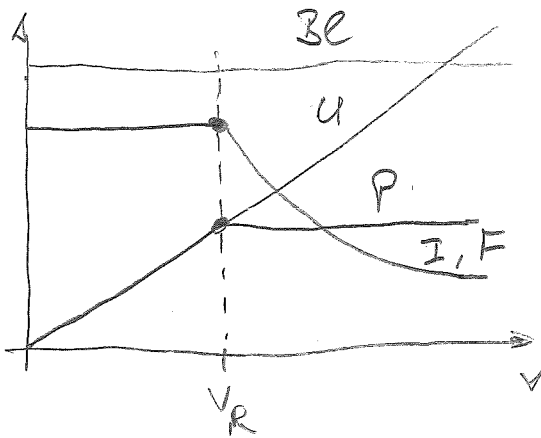
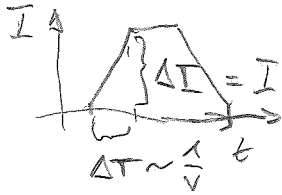


Annahme: Strom
zu drosseln ist
noch nicht notwendig
d.h. $v < v_R$

$I_{V_{max}}$ - Bürstener, Reibspannung

Selbstinduktionsspannung am Kommutator

$$U_R = L \frac{dI}{dt} = k I v, \quad k_r = \frac{U_R}{I v} = I v$$



Annahme: BE ist noch nicht zu drosseln, d.h.

$$v < v_u$$

P_{max} - prinzipiell vorstellbar, Kennlinien wie für Reibspannung, $v_p = v_R$

Beide Begrenzungen normalerweise sichtbar. Welcher Effekt zuerst wirkt, ist ausserhalb von der Konstruktion abhängig. Oft ist $v_R < v_u$

