

Elektrotechnische Grundlagen für das Verkehrswesen

Übung 3: Strömungsfelder und elektrische Felder

Aufgabe 3.1: Dimensionierung eines Zwischenkreiskondensators

Seit den 1980er-Jahren werden bei elektrischen Schienenfahrzeugen fast ausschließlich Dreiphasen-Asynchronmaschinen als Fahrmotore eingesetzt. Diese werden durch einen Motorstromrichter gespeist, der eine in Amplitude und Frequenz veränderliche, dreiphasige Wechselfspannung erzeugt. Bei aktuellen DC-Schienenfahrzeugen wird der MSR i. d. R. direkt (über einen Hauptschalter und einen Überspannungsableiter) an der Fahrleitungsspannung betrieben. Zur Glättung der Fahrleitungsspannung und zur Pufferung von sehr kurzen Spannungsunterbrechungen (z. B. an Streckentrennern oder bei vereister Oberleitung) wird quer im Hauptstromkreis ein sogenannter Zwischenkreiskondensator angeordnet. Die darin gespeicherte Energie muss die Zwischenkreisspannung stabilisieren, bis die Antriebsregelung eine Pulssperre bewirkt. Der Hauptstromkreis eines derartigen Fahrzeugs ist in Abbildung 1 dargestellt.

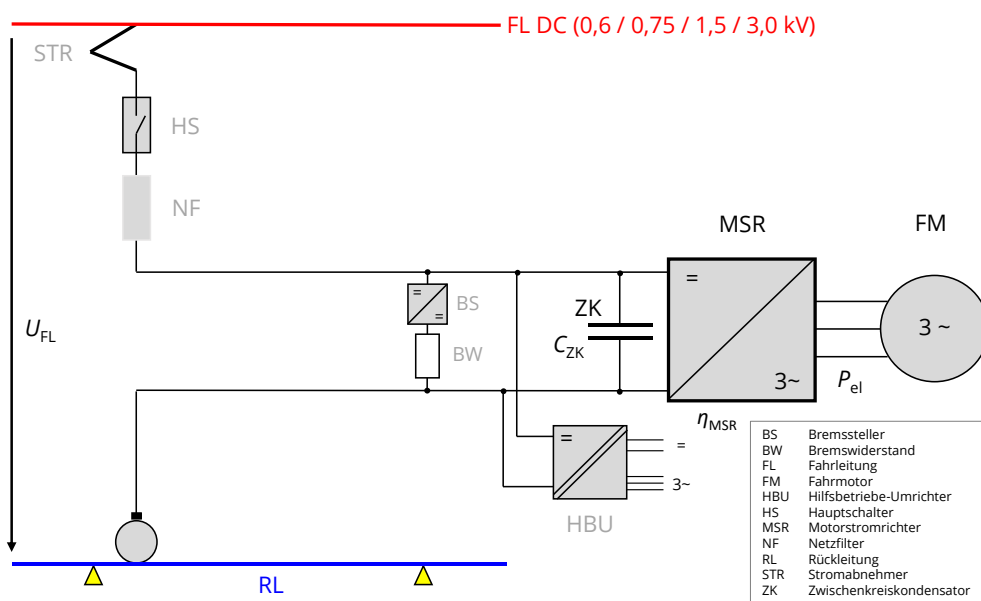


Abbildung 1: Hauptstromkreis eines aktuellen DC-Triebfahrzeugs (alle in Aufgabe 3.1 nicht zu betrachtenden Komponenten sind grau beschriftet)

In dieser Aufgabe soll die Dimensionierung des Zwischenkreiskondensators am Beispiel eines Straßenbahnfahrzeugs vom Typ NGT D12DD der Dresdner Verkehrsbetriebe durchgeführt werden. Gehen Sie dabei von den folgenden Randbedingungen aus:

- Das Fahrzeug fährt konstant mit einer mechanischen Antriebsleistung P_{mech} von 600 kW; die Hilfsbetriebeleistung wird vernachlässigt.
 - Der Zwischenkreiskondensator ist vollständig geladen vor Eintreten der Spannungsunterbrechung.
 - Der Wirkungsgrad η des Antriebs (Motorstromrichter, Fahrmotore und Getriebe) wird als konstant mit 0,92 angesetzt.
 - Die Fahrleitungsspannung U_{FL} liegt bei der Nennspannung von 600 V.
 - Die Dauer ΔT bis zur Reaktion der Antriebsregelung beträgt 2 ms.
 - Die Zwischenkreisspannung U_{ZK} soll nicht unter $U_{\text{min}} = 450$ V sinken.
- a)** Berechnen Sie die erforderliche Kapazität C_{ZK} des Zwischenkreiskondensators, damit das Fahrzeug unter den oben angegebenen Randbedingungen während der Spannungsunterbrechung mit der erforderlichen Leistung versorgt wird.
- b)** Diskutieren Sie, wie sich eine Änderung der Fahrleitungsspannung auf die Dimensionierung des Zwischenkreiskondensators auswirkt. Geben Sie an, ob die höhere oder die niedrigere Fahrleitungsspannung den kritischen Fall darstellt.

Aufgabe 3.2: Elektrisches Feld, Kapazitäts- und Ableitbelag eines Koaxialkabels

Koaxialkabel werden in vielen technischen Anwendungen eingesetzt.

Gegeben sei die in Abbildung 2 im Querschnitt dargestellte geometrische Anordnung eines langen, geraden Koaxialkabels. Die Leiter werden als ideal leitend ($\kappa \rightarrow \infty$) angenommen und Randeffekte werden vernachlässigt.

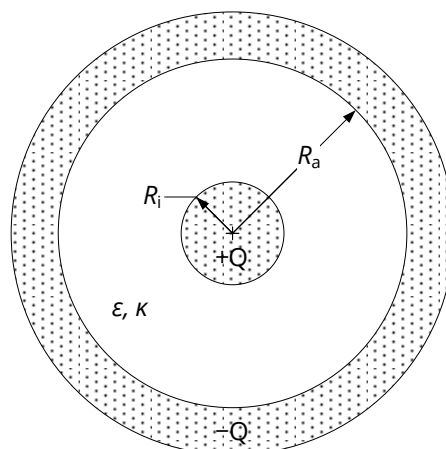


Abbildung 2: Querschnitt eines Koaxialkabels (gepunktet: Leiter, leer: Dielektrikum)

- a)** Zeichnen Sie die E-Feldlinien im Dielektrikum zwischen innerem und äußerem Leiter.

- b)** Berechnen Sie den Feldverlauf $E(r)$ im Dielektrikum für ein Kabel der Länge l , wobei r den radialen Abstand ausgehend von der Symmetrieachse bezeichnen soll. Gehen Sie dabei aus vom Gaußschen Gesetz:

$$\iiint_V \rho_V dV = Q = \oiint_O \vec{D} d\vec{A} = \oiint_O \epsilon \vec{E} d\vec{A}.$$

Die physikalische Aussage ist, dass die in einem Volumen enthaltene Ladung dem elektrischen Fluss durch die Oberfläche des Volumens entspricht (Vorzeichen der Ladung und des elektrischen Flusses beachten).

- c)** Berechnen Sie den Kapazitätsbelag C' des Koaxialkabels in F/m.
d) Berechnen Sie den Ableitbelag G' des Koaxialkabels in S/m.

Betrachtet werden soll ein Kabel mit den folgenden Parametern: $l = 10 \text{ m}$, $\epsilon_{\text{rel}} = 2.500$, $\kappa = 4 \cdot 10^{-9} \text{ S/m}$, $R_i = 0,5 \text{ mm}$, $R_a = 3 \text{ mm}$.

- e)** Berechnen Sie den Ableitstrom I_G und den kapazitiven Ladestrom I_C , wenn das o. g. Koaxialkabel im Leerlauf an eine ideale Gleichspannungsquelle mit $U_q = 12 \text{ V}$ angeschlossen ist.