

Fachpraktikum

Hochdynamische Antriebssysteme

Theoretische Grundlagen

Gleichstrommaschine

Christof Zwysig

Franz Zürcher

Philipp Karutz

Gleichstrommaschine

Die hier aufgeführten theoretischen Betrachtungen dienen dem Grundverständnis für die Versuchsumgebung des Praktikumsversuches. Sie sollen nur einen Überblick über die physikalischen Vorgänge geben und das bereits Gelernte noch einmal auffrischen. Auf eine vollständige Herleitung der Gleichungen wird daher verzichtet.

Die grundsätzliche Funktionsweise der Gleichstrommaschine kann mit Hilfe einer stromdurchflossenen Leiterschleife im homogenen Magnetfeld verdeutlicht werden (vgl. Abb. 1).

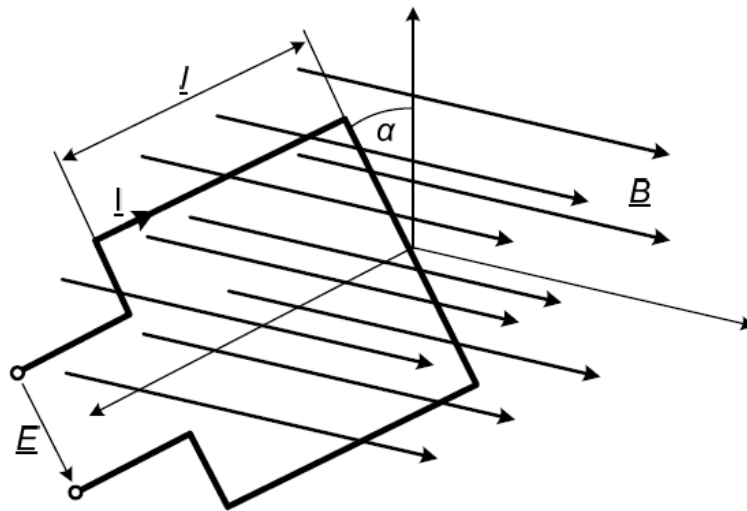


Abb. 1: Leiterschleife im homogenen Magnetfeld.

Aus dem Induktionsgesetz folgt die Spannung E an den Klemmen der Leiterschleife, die abhängt vom Fluss ϕ_m der von der Leiterschleife umfasst wird (abhängig vom Winkel α der Leiterschleife zum Magnetfeld und der Fläche A) und der Geschwindigkeit der Änderung dieses Flusses (Winkelrotationsgeschwindigkeit Ω). Daher wird bei einer gleichförmigen Drehung an den Klemmen eine Wechselspannung induziert. Dieser Vorgang kann mathematisch durch folgenden Ausdruck beschrieben werden:

$$E = -\frac{d\phi_m}{dt} = -\frac{d}{dt}(A \cdot B \cdot \cos(\Omega \cdot t)) = \Omega \cdot A \cdot B \cdot \sin(\Omega \cdot t)$$

Wird die Leiterschleife nun bestromt, so wirkt eine Kraft F auf die mit l gekennzeichnete Spulenseite, welche durch den gemeinsamen Kraftbeitrag der beiden Spulenseiten aus Abb. 1 zu einem Drehmoment M führt. Die mathematische Beschreibung dieses Vorgangs lautet wie folgt:

$$M = 2 \cdot r \cdot l \cdot I \cdot B \cdot \sin \alpha = A \cdot I \cdot B \cdot \sin \alpha$$

In realen Maschinen wird eine homogene Magnetfeldverteilung im Luftspalt der Maschine erreicht, indem der magnetische Fluss durch die Polschuhe (meist aus geblechtem Eisen) kanalisiert wird. Der Fluss in der Leiterschleife ändert sich bei der Drehung des Rotors dreieckförmig, wodurch die induzierte Spannung und das Drehmoment einen rechteckförmigen Verlauf haben (siehe Abb. 2).

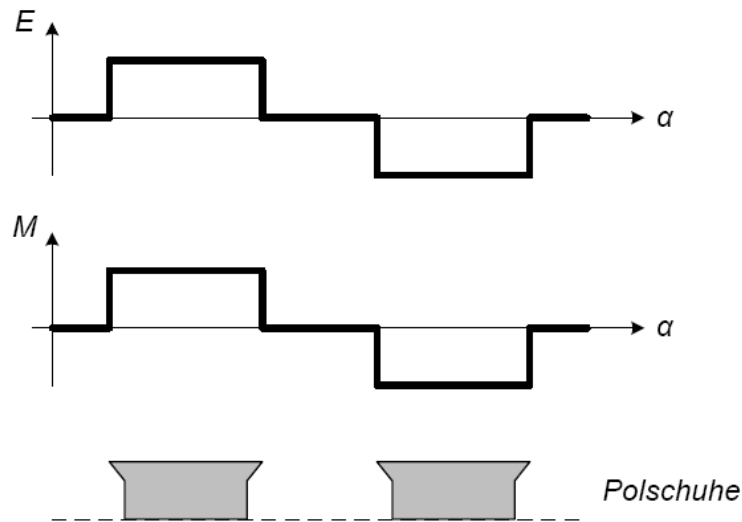


Abb. 2: Verlauf der induzierten Spannung und des Drehmomentes.

Wie aus Abb. 2 ersichtlich ist, ändert sich das Vorzeichen des Drehmomentes bei einem Motor mit zwei Polschuhen genau zwei Mal bei einer vollen Umdrehung. Dies würde dazu führen, dass der Rotor zwischen zwei Positionen schwingt. Für eine gleichförmige Rotation ist es also notwendig die induzierte Spannung und somit das Drehmoment gleichzurichten.

In realen Maschinen wird die Gleichrichtung der induzierten Spannung mit Hilfe des Kommutators erreicht. Dabei wird die Leiterschleife auf unterteilte Schleifringe geführt, die über Bürsten (typischerweise selbstschmierendes Graphit) mechanisch und elektrisch kontaktiert werden (siehe Abb. 3).

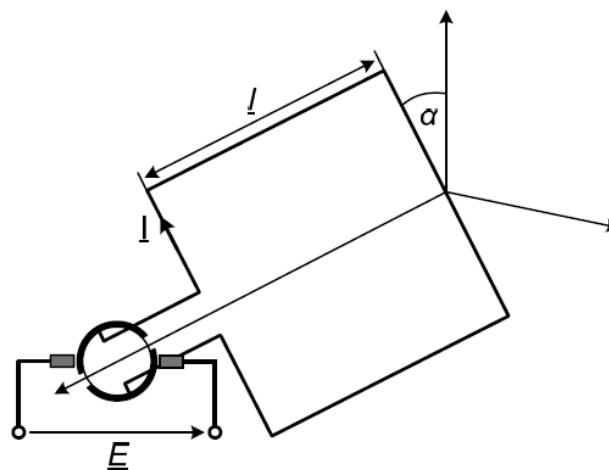


Abb. 3: Schematische Darstellung des Prinzips des Kommutators

Hierdurch wird bei jedem Nulldurchgang der Spannung automatisch die Polarität gewechselt und somit auch der zugeführte Strom gleichgerichtet. Das daraus resultierende gleichgerichtete Moment ist in Abb. 4 dargestellt.

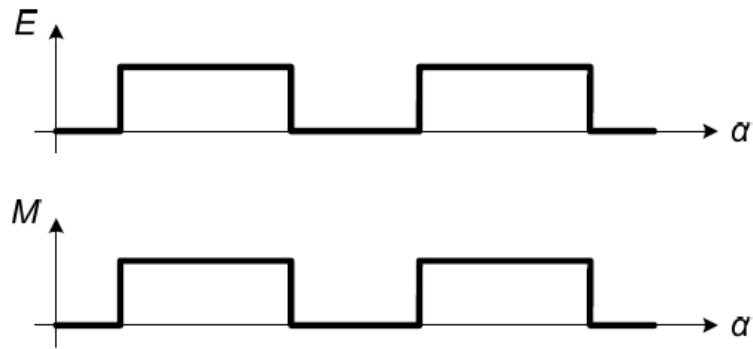


Abb. 4: Gleichgerichtete induzierte Spannung und gleichgerichtetes Moment.

In den praktischen Maschinen sind auf dem Rotor sehr viele Leiterschleifen (Windungen) untergebracht. Sie sind jeweils um wenige Winkleinheiten versetzt und werden über den Kommutator so kontaktiert, dass die einzelnen Schleifenspannungen gleichgerichtet (vgl. Abb. 4) und in Serie geschaltet werden. Die praktische Realisierung eines solchen Kommutators mit vielen Schleifen ist nicht ganz einfach zu erkennen, daher wurde das Prinzip mit nur einer einzigen Leiterschleife erläutert. Durch die vielen leicht versetzten Schleifen und deren richtige Kommutierung wird nun die Welligkeit von Spannung und Strom so stark reduziert, dass diese als gleichförmige Größen betrachtet werden können.

Das konstante Magnetfeld der Gleichstrommaschine kann nun elektrisch (Reihenschluss-, Nebenschlussmotor) oder magnetisch (Permanentmagnete) erzeugt werden. Bei der Gleichstrommaschine des Versuchsaufbaus handelt es sich um eine permanenterrechte Gleichstrommaschine. Aus diesem Grund wird auf die elektrische Erzeugung des konstanten Magnetfeldes hier nicht weiter eingegangen.

Der grundsätzliche Aufbau einer permanenterrigten Gleichstrommaschine (mit vereinfachter Statorgeometrie und Wicklungsanordnung) ist in Abb. 5 dargestellt.

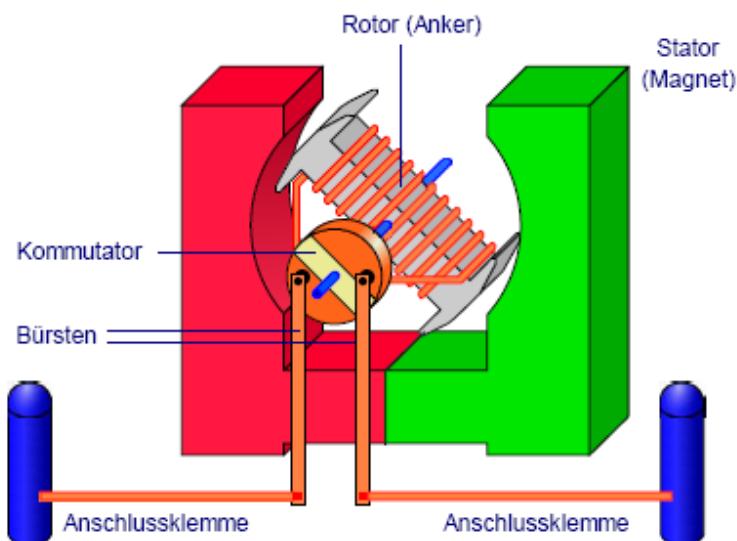


Abb. 5: Prinzipieller Aufbau einer permanenterrigten Gleichstrommaschine.

Der Vorteil dieses Maschinentyps ist, dass für die Erzeugung des Statormagnetfeldes keine zusätzliche Energie notwendig ist. Dennoch wird dieser Konstruktionsform nur für Antriebe kleiner Leistung eingesetzt, da die Kosten für die Permanentmagnete für grössere Maschinen wesentlich höher sind, als die für die elektrische Erregung.

Das stationäre Betriebsverhalten von Gleichstrommaschinen lässt sich durch einige wenige Gleichungen hinreichendgenau beschreiben. Zunächst einmal kann die induzierte Spannung U_{ind} durch

$$U_{ind} = K_G \cdot \omega$$

beschrieben werden. Hierbei ist der Faktor K_G eine Maschinenkonstante (Berücksichtigung der Auswirkung von Konstruktionsparametern auf die elektrischen Eigenschaften) und n die Rotordrehzahl. Die effektiv an den Motor anzulegende Klemmenspannung U_A ergibt sich zu

$$U_A = U_{ind} + R_A \cdot i_A + L_A \cdot \frac{di_A}{dt},$$

wobei hier sowohl der resistive Spannungsabfall über dem Windungswiderstand R_A als auch der induktive Spannungsabfall über der Windungsinduktivität L_A in Abhängigkeit des Ankerstromes I_A mit zu berücksichtigen sind. Das mittlere Drehmoment M des Motors ergibt sich zu

$$M = K_M \cdot I_A.$$

Auch hier bestimmt die konstruktive Gestaltung der Maschine (berücksichtigt durch K_M) wiederum das sich einstellende Moment.