

Bremsenergie rekuperieren und dabei die Batterie wieder neu aufladen. Das tönt schön und funktioniert bei hybrid- und batterieelektrisch betriebenen Autos auch problemlos. Das Statorfeld aber aufrecht zu erhalten, um ein Magnetfeld für die Induktion aufzubauen, scheint auf den ersten Blick aber schwierig zu sein, denn der Strom müsste einerseits vom Wechselrichter zur E-Maschine und andererseits von der E-Maschine zurück zum Wechselrichter fliesen. Wenn man sich hingegen die Funktion der E-Maschine genau überlegt, ist das gar nicht nötig.

Gegen-EMK

Induktion entsteht, wenn sich ein Magnet in einer Spule bewegt. Es braucht dazu ein Magnetfeld, einen Leiter und eine (Dreh-)Bewegung. Beginnt eine Drehstrommaschine zu drehen, so sind anfänglich die Frequenz und damit die Drehzahl gering. Das Magnetfeld baut sich stark auf und die Maschine bringt ein grosses Drehmoment. Um das Drehmoment zu behalten, müssen das Magnetfeld und der Strom konstant bleiben. Dazu muss die angelegte Spannung angehoben werden. Warum? Einerseits steigt mit zunehmender Frequenz die Selbstinduktion, andererseits schneidet das Magnetfeld der rotorseitig angebrachten Permanentmagnete (PSM), bzw. des Kfiglufers (ASM) auch die

Erregerspulen des Stators und induziert eine Spannung. Diese induzierte Spannung wird Gegen-EMK, oder Gegen Elektromotorische Kraft genannt. «Gegen» weist darauf hin, dass diese Induktionsspannung der angelegten Spannung in ihrer Wirkung entgegenwirkt und diese schwächt.

Je höher die Drehzahl, desto stärker wird die Gegen-EMK. Wird die angelegte Spannung nicht mehr erhöht, beginnt der Feldschwächbereich (wird auch Feldschwchebereich genannt - Bild 1b). Die Gegen-EMK wird immer stärker und schwächt dadurch die in den Erregerspulen wirkende Spannung. Wenn diese schwächer wird, vermindert sich auch der Strom und mit ihm das Magnetfeld und das Drehmoment. Steigt die Drehzahl weiter, wird der Moment kommen, in welchem die Spannung der Gegen-EMK den Wert der angelegten Spannung erreicht und der Strom daher auf null abfällt. Damit hat der Motor seine höchste Drehzahl erreicht. Diese Drehzahl kann der Konstrukteur bestimmen und die E-Maschine entsprechend auslegen. Dieser Bereich kann aber auch elektronisch eingestellt werden. Würde ab diesem Punkt die E-Maschine noch weiter angetrieben, würde die Gegen-EMK auch weiter ansteigen, die angelegte Spannung könnte ihr aber nicht mehr folgen, es ergäbe sich ein Rückstrom, der Rekuperations- oder Laststrom.

Betriebskennfeld

Im Bild 1b sind die Quadranten eins und vier des Vier-Quadranten-Diagramms dargestellt. Dies sind jene Quadranten, in welchen die Maschine vorwärts dreht. In der oberen Hälfte des Bildes (1. Quadrant) läuft die E-Maschine als Motor. In diesem Bereich laufen Drehzahl und Drehmoment in die gleiche Richtung (Bild 1d) und die angelegte Spannung (Bild 1e - gelb) ist grösser als die Spannung der Gegen-EMK (grün). So bleibt eine resultierende Spannung (grau) brig, welche das Drehmoment aufrecht erhält und das Fahrzeug antreiben kann. Im Motor (Bild 1f) wirkt ein positiver Lastwinkel. Dieser wird natürlich grösser, wenn bei gleicher Drehzahl die angelegte Spannung vergrössert wird. Da die Gegen-EMK auch drehzahlabhängig ist, wird sie sich nicht gross verändern und deshalb kann das Drehmoment auf diese Art vergrössert werden, was sich auch in einem grösseren Lastwinkel äussert. Ausserdem wird der Betriebspunkt im ersten Quadranten des Betriebskennfeldes nach oben wandern, näher zu der Vollastlinie. Wenn sich dann auch die Drehzahl erhöht, bewegt sich der Punkt zusätzlich nach rechts. Der Strom verläuft gemäss dem Schema Bild 1a. Von der Batterie läuft die Spannung über den DC-DC-Wandler, wird dort auf die vorgesehene Lage gebracht. Im Zwischenkreiskondensator wird die Spannung erneut geglättet und der Strom fliesst anschliessend über einen der positiven IGBTs zur Maschine und durch einen anderen Strang wieder zurück, über einen negativen IGBT, Zwischenkreiskondensator, DC-DC-Wandler zur Batterie.

Verringert der Fahrer die Last oder befindet sich das Fahrzeug in einem Gefälle, wird die Geschwindigkeit oder die Motordrehzahl bei gleicher Last grösser. Das bedeutet, dass der gelbe Pfeil kürzer wird oder gleich bleibt, der grüne aber grösser wird und sich die beiden Spannungen in einem Betriebspunkt plötzlich aufheben. Damit fliesst kein Strom mehr durch die Statorwicklungen und es bildet sich kein Magnetfeld oder Drehmoment mehr. Die Drehzahl ist noch da, aber das Drehmoment beträgt null und in dem Motorenbild sind die Statorwicklungen stromlos. Natürlich bestehen die Feldlinien des Rotors noch. Sie schneiden die Wicklungen des Stators und induzieren die Gegen-EMK.

Wird das Gefälle steiler, wird die angelegte Spannung bei gleichbleibender Gegen-EMK kleiner. Im Stator fliesst der Strom in Gegenrichtung (Punkte und Kreuze in den Leitungen sind vertauscht - Bild 1d) und das Drehmoment wirkt nun entgegen der Drehrichtung. Das Fahrzeug verzögert und elektrische Energie wird rekuperiert oder regeneriert.

Da der rckfliessende Rekuperationsstrom nicht rückwärts durch die IGBTs strömen kann, fliesst er über die Freilaufdioden, welche aus diesem Grund auch als Gleichrichterdiode ausgeführt sind.

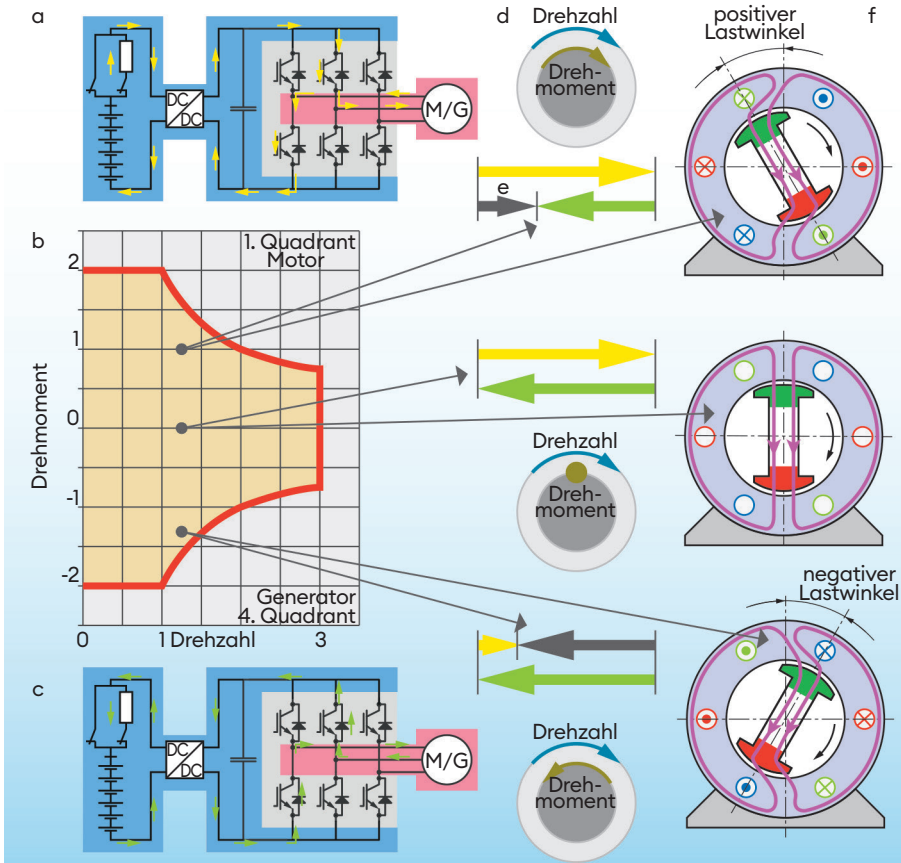


Bild 1: Einige Faktoren, welche im Betriebskennfeld der E-Maschinen zusammenspielen: a und c Leistungselektronische Schaltungen inklusive E-Maschinen - b 1. und 4. Quadrant des Vier-Quadrantendiagramms - d Drehzahl-Drehmoment-Kreise - e Spannungspfeile / angelegte Spannung: gelb / EMK: grün / resultierende Spannung: grau - f E-Maschinen mit Lastwinkeln