

Während ein Drehmoment-Leistungs-Diagramm über der Drehzahl von Verbrennungsmotoren in der Regel bekannt ist und Details, welche daraus gelesen werden können, auch verständlich sind, stellen Diagramme von E-Maschinen Fachleute aus dem Autogewerbe vor wesentlich grössere Herausforderungen. Dies vor allem, weil uns die Details im Maschinenaufbau weniger klar und die Details im Drehstrom schwieriger verständlich sind.

Grenzen

Auch für jede elektrische Maschine existieren mechanische und thermische Grenzen, welche nicht oder nur kurz überschritten werden dürfen, um keine nachhaltigen Schäden zu hinterlassen. Mechanisch geht es vor allem um die Rotordrehzahl. Wird die Maximaldrehzahl überschritten, besteht die Gefahr, dass der Rotor bersten kann. Bei permanenten Maschinen sind die Magnete meist in den Rotor eingelegt. Dazu müssen die Blechlamellen gestanzte und Aussparungen für die Magnete gefertigt werden. Die Festigkeit der Bleche muss für die maximalen Fliehkräfte ausgelegt sein.

Thermisch geht es eher um Elektrowärme in den Wickelköpfen des Stators. Dort sind die Leitungen eng beieinanderliegend oder bei Hairpin-Wicklungen verschweisst. Ist dabei der elektrische Widerstand etwas grösser, fällt einerseits Spannung ab und andererseits entsteht zusätzliche Wärme. An diesen Stellen sind auch die Temperatursensoren angebracht, welche der Steuerelektronik melden, wenn die Temperatur zu stark ansteigt, damit diese die Spannung senken kann, was zu kleineren Strömen und weniger Drehmoment führt.

Auch die Lager können bei zu hohen Temperaturen Schaden nehmen. Aus diesen Gründen werden E-Maschinen im automobilen Einsatz sehr exakt überwacht.

Kurzzeitig sind die Maschinen aber überlastfest und die elektrischen Grenzen können überschritten werden. Dann kann der Motor 1.5- bis 2.5- mal mehr Drehmoment abgeben (im Bild 2: zweifach). Der Vorteil liegt darin, dass der Motor kleiner und leichter gebaut werden kann und nur in speziellen Momenten das Überlastdrehmoment abgeben muss.

Funktion

In den drei Spulen des Stators werden Spannung und Strom (= elektrische Leistung) zu- oder abgeführt. Demgegenüber wird im Rotor der E-Maschine mechanische Leistung (= Drehmoment und Drehzahl) zu oder abgeführt.

Zwischen dem Stator und dem Rotor befindet sich ein Luftspalt, in welchem die Energiewandlung von elektrischer Leistung in mechanische Leistung (oder umgekehrt) stattfindet.

Grunddrehzahlbereich

Steht der Rotor still und fliesst ein Strom durch die Statorwicklungen, so handelt es sich um den Startpunkt. Durch Beeinflussung von Widerstand und Spannung seitens des Konstrukteurs kann der Strom bestimmt werden, welcher im Stator einen magnetischen Fluss Φ und dadurch im Rotor ein Drehmoment hervorruft. Um bei steigender Drehzahl den Strom, den magnetischer Fluss und das Drehmoment konstant zu halten, muss die Spannung erhöht werden.

Der ohmsche Widerstand hängt vom Material und Leitungsquerschnitt ab und verändert sich nicht. Beim Auf- und Abbau des Magnetfeldes im Stator entsteht eine Induktion in den eigenen Wicklungen. Diese Selbstinduktionsspannung ist der angelegten Spannung

entgegengesetzt und vermindert daher die wirksame Spannung und über den konstanten ohmschen Widerstand auch den Strom. Um trotz der steigenden Drehzahl den Strom konstant zu halten, wird die angelegte Spannung bis zu einer definierten Auslegungsspannung vergrössert (Grunddrehzahlbereich). Im Überlastbereich kann diese Spannung dann kurzzeitig noch einmal erhöht werden. Bis zur Grunddrehzahl verändert sich die Spannung aber proportional zur Drehzahl.

Feldschwächbereich

Nach dem Überschreiten der Grunddrehzahl (Bild 2) wird die Spannung nicht weiter gesteigert, die Drehzahl nimmt jedoch weiter zu, weshalb sich auch die Selbstinduktion vergrössert. Dadurch wird die in den Statorwicklungen wirksame Spannung kleiner, was den Strom, den magnetischen Fluss und somit auch das Drehmoment vermindert.

Wenn das Drehmoment im gleichen Masse kleiner wird, wie die Drehzahl steigt (gegenproportional), bleibt im Feldschwächbereich die Leistung konstant.

Vierquadrantendiagramm

Werden die x-Achse (Abszisse) und die y-Achse (Ordinate) eines Diagramms über die Nulllinie hinweg erweitert, öffnen sich drei neue Diagrammfelder (Quadranten). Die vier Quadranten werden im Gegenuhrzeigersinn durchnummeriert, wobei sich der erste Quadrant oben rechts befindet.

Für die E-Maschine bedeuten die vier Quadranten, dass sie motorisch vorwärts und rückwärts antreiben kann, dass sie aber auf beide Seiten auch generatorisch arbeiten kann. Das Diagramm in Bild 2 ist idealisiert, deshalb sind alle Kurven in den Quadranten deckungsgleich. Durch die Maschinenauslegung wird dies aber kaum geschehen.

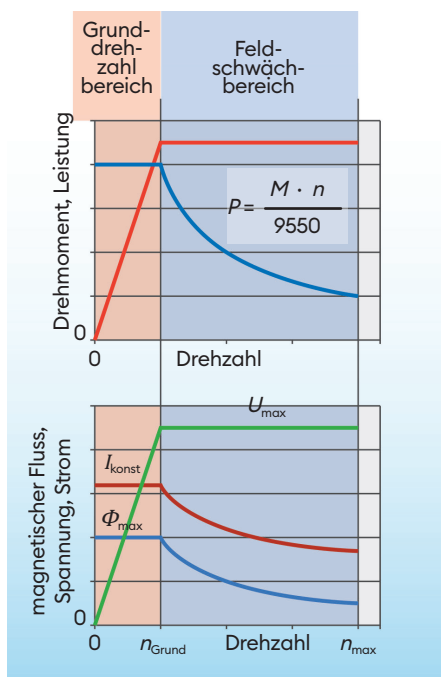


Bild 1: Idealisertes Leistungs-/Drehmomentdiagramm von Drehstrom-E-Maschinen mit den zugeführten physikalischen Grössen

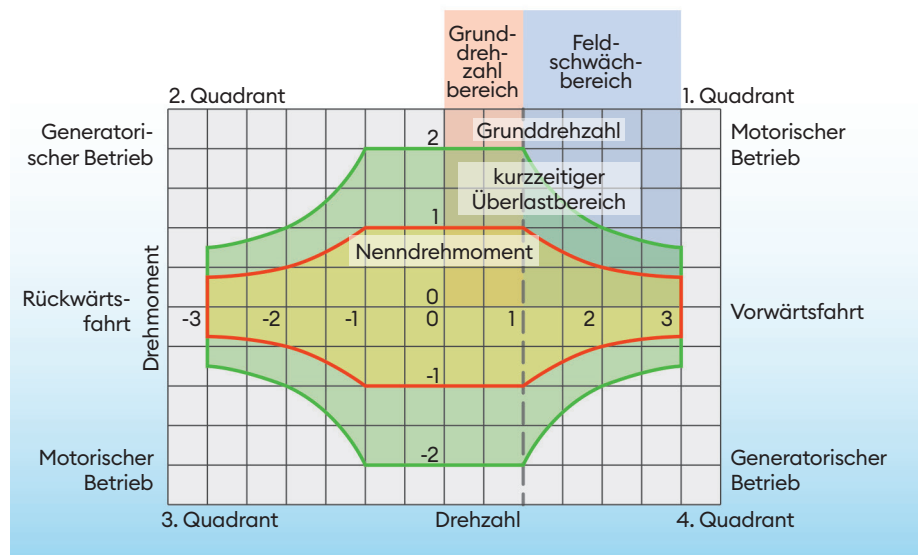


Bild 2: Idealisertes Leistungs-/Drehmomentdiagramm von Drehstrom-E-Maschinen in den vier Diagrammquadranten. Die Drehmomentverläufe sind in allen Quadranten identisch und die Überlastbereiche sind in allen Quadranten gleich.