

3.2 Elektromotor

Als Antriebselement übernimmt der Elektromotor eine zentrale Rolle und stellt den eigentlichen Vorzug des Elektrofahrzeuges gegenüber Verbrennungskraftmaschinen dar.

Neben dem im Vergleich sehr hohen Wirkungsgrad sind Elektromotoren auch in der Lage einen Teil der Antriebsenergie bei Bremsvorgängen zu rekuperieren und wieder in die Batterie zu speisen, was den Gesamtwirkungsgrad zusätzlich erhöhen kann. Darüber hinaus können Elektromotoren dank ihrer kompakten Größe und des leisen und vibrationsarmen Betriebsverhaltens unterschiedlich im Fahrzeug positioniert und eingesetzt werden. So ist neben einem zentralen Antrieb jeweils ein Motor an Vorder- und Hinterachse oder sogar der Einsatz von Radnabenmotoren möglich. Letztere bieten neben noch zu lösbaren praktischen Umsetzungsschwierigkeiten weitere zusätzliche Vorteile, z.B. eine selektive Ansteuerung der einzelnen Räder, welches aufwendige technische Lösungen wie das ESP problemlos ersetzen könnte. Aufgrund dieser Eigenschaften können neue Freiräume in der Karosserie und Gewichtsreduzierung erreicht werden, die dann für die Auslegung der Batterien genutzt werden können. Da Elektromotoren kaum Verschleißteile aufweisen, sind sie sehr wartungsarm und weisen eine lange Lebensdauer auf.

Übersicht verfügbarer Technologien

Bei der Auswahl des Motortyps gibt es bei den Fahrzeugherstellern zurzeit noch keine einheitliche Strategie. Die grundsätzlich für Traktionsanwendungen in Frage kommenden Technologien sind:

=>Gleichstrommaschine =>Asynchronmaschine =>Synchronmaschine
=>Reluktanzmaschine => Transversalflussmaschine

Der Gleichstrommotor eignet sich aufgrund seines relativ schlechten

Wirkungsgrades und großen Volumina und Gewichten nur bedingt für den Einsatz in Elektrofahrzeugen. Verbreiteter ist die Asynchronmaschine, welche mit Drehstrom betrieben wird. Sie kann konstruktionsbedingt viel höhere Drehzahlen erreichen, ist sehr kompakt von den Abmessungen und weist so gut wie keine Verschleißteile auf. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Asynchronmaschine aufgrund des Induktionsprinzips ohne Permanentmagneten auskommt, und man daher bei der Herstellung nicht auf die Seltenen Erden angewiesen ist. Sie wird aus diesem Grund sehr häufig in Elektrofahrzeugen eingesetzt.

Die Synchronmaschine gibt es genauso wie die Gleichstrommaschine in zwei Ausführungen, der Variante mit Fremderregung und mit Permanentmagneten. Bei der fremderregten Bauart sind Schleifkontakte für die Stromversorgung der Erregerwicklungen nötig, was zu erhöhtem Verschleiß und somit Wartungsaufwand führt. Deshalb wird diese Variante fast ausschließlich in Nischenanwendungen

eingesetzt. Die Ausführung mit Permanentmagneten hat im Vergleich zu den anderen auf dem Markt verfügbaren Technologien die mit Abstand höchste Leistungsdichte bei gleichzeitig sehr hohen Wirkungsgraden von bis zu 92%. Die permanenterrechte Synchronmaschine hat einige Nachteile im Hinblick auf die Sicherheit, da im Fehlerfall durch die Maschine Spannungen induziert werden können. Weiterhin ist sie sehr komplex im Aufbau, wird aber aufgrund ihrer positiven Eigenschaften neben der Asynchronmaschine am häufigsten für Elektrofahrzeuge eingesetzt.

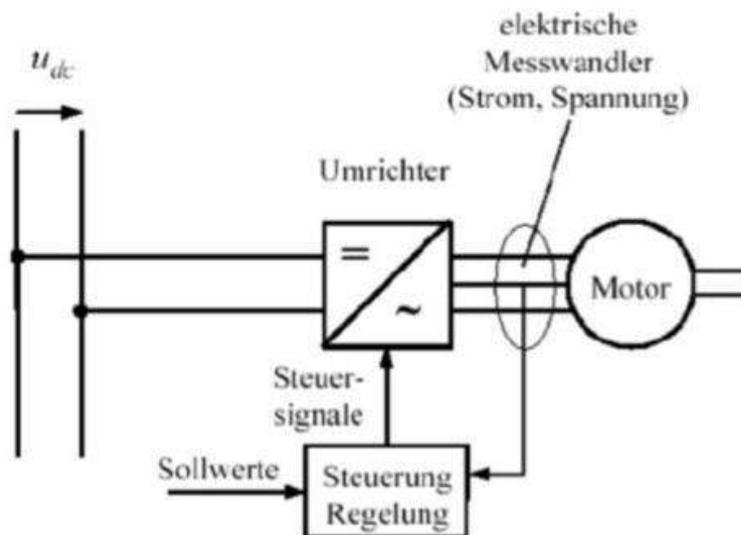


Abb. 3.5 - Typische Struktur eines elektrischen Drehstromantriebes

Die Reluktanz- sowie die Transversalflussmaschine, als Sonderfall der Reluktanzmaschine, finden noch keine Anwendung in Elektrofahrzeugen. Die Reluktanzmaschine verspricht zwar eine hohe Leistungsdichte und einen hohen Wirkungsgrad, problematisch ist aber vor allem die Drehmomentcharakteristik und der hohe Geräuschpegel bei falscher Auslegung. Ob sich diese Variante daher in Zukunft etablieren wird, ist fraglich. Die Transversalflussmaschine befindet sich noch stark im Entwicklungsstadium und ist noch nicht als Großserie verfügbar. Sie vereint zwar viele positive technische Eigenschaften, wie hohe Wirkungsgrade und Momentendichte, ist aber im Aufbau sehr komplex und daher mit hohen Kosten verbunden. Auch hier ist eine Einschätzung hinsichtlich zukünftiger Marktdurchdringung schwierig und hängt maßgeblich von den weiteren Fortschritten in Forschung und Entwicklung ab.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Asynchronmaschine und die permanenterrechte Synchronmaschine, beides Drehstrommaschinen, momentan bei

hoher Marktverfügbarkeit und gleichzeitig relativ niedrigen Kosten besonders für den Antrieb in Elektrofahrzeugen geeignet sind.

Auf ein Getriebe, wie es in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren nötig ist, kann daher in der Regel verzichtet werden, bzw. ein sehr kostengünstiges, einstufiges Getriebe verwendet werden. Aktuelle Fahrzeugmodelle oder Modellankündigen besitzen daher höchstens ein- oder zweistufige Getriebe, wie zum Beispiel der Tesla Roadster. Da moderne Getriebe in Verbrennungsmotoren eine technologisch ausgereifte aber auch sehr aufwendige Komponente darstellen, können bei einem Verzicht auf das Getriebe nicht unerhebliche Kosteneinsparungen erzielt werden. Jedoch ist dies im Einzelfall zu entscheiden und hängt vom eingesetzten Motortypen ab, da unter bestimmten Umständen auch ein Getriebe zu Einsparungen führen kann. Denn der Preis des Elektromotors richtet sich nach dem erforderlichen Drehmoment und der Motor kann mit einem Getriebe kleiner dimensioniert werden. Schnelllaufende Asynchronmotoren werden in der Regel mit Getriebe eingesetzt, wo hingegen Synchronmaschinen auch ohne Getriebe verwendet werden. Auch sei zu erwähnen, dass durch ein Getriebe Verluste entstehen, weshalb bei einer direkten Übersetzung eine Steigerung des Gesamtwirkungsgrades zu erwarten ist.

3.3 Leistungselektronik

Die Aufgabe der Leistungselektronik besteht darin, den Energiespeicher Batterie mit den elektrischen Verbrauchern im Fahrzeug und beim Ladevorgang auch mit dem öffentlichen Netz zu verbinden. Dabei wandelt die Elektronik die elektrische Energie in die jeweils für den Verbraucher nötige Spannungsebene und –form um. Zentraler Punkt ist das Hochvolt-Bordnetz, über welches alle Komponenten miteinander verbunden sind.

Da die Batterie einen Gleichstrom liefert, Synchron und Asynchronmotoren in der Regel aber mit Wechselspannung betrieben werden, müssen Umrichter die gewünschte Eingangsspannung erzeugen. Diese Wechselrichter dienen auch dazu, den bei Bremsvorgängen erzeugten Strom wieder gleichzurichten und ins

Hochvoltbordnetz zu speisen. Sie bestimmen also maßgeblich den Wirkungsgrad des Fahrzeugantriebes und der Rekuperation mit.

Ebenso wird ein Wechselrichter dort eingesetzt, wo das Fahrzeug mit dem öffentlichen Netz verbunden wird, um die Eingangsspannung des Netzes gleichzurichten und für zukünftige bidirektionale Einbindungen aus dem Gleichstrombordnetz Wechselstrom zu erzeugen. Dieser Wechselrichter übernimmt somit die Funktion des Ladegerätes innerhalb des Fahrzeuges.

Die Funktion der Lichtmaschine wird in einem Elektrofahrzeug von einem Gleichstromwandler übernommen, weil dieser im Vergleich zu einem zusätzlichen Generator viel höhere Effizienz, geringes Gewicht und Wartungsfreiheit bietet. Dazu muss die Hochvoltbordnetzspannung auf die 14V Spannungsebene der Nebenaggregate, z.B. des Radios, transformiert werden.

Die Traktionsbatterie speist Gleichstrom ins Hochvoltbordnetz ein. Theoretisch wäre dazu kein zusätzlicher Wandler mehr nötig, da die Hochvoltbordnetzspannung

an die Batteriespannung angepasst werden könnte. Jedoch variiert die Zellspannung der Batterie in Abhängigkeit vom Lade- und Belastungszustand, was dazu führt, dass die ans Bordnetz angeschlossenen Wechsel- und Umrichter hohe Spannungsschwankungen aushalten müssten. Der Einsatz von Komponenten mit solchen Eigenschaften würde zu nicht unerheblichen Mehrkosten führen, weshalb zur Traktionsspannungsstabilisierung ein zusätzlicher Gleichstromwandler zwischen dem Energiespeicher und dem Hochvoltbordnetz eingesetzt wird. Dies minimiert nicht nur die Kosten der eingesetzten Komponenten, sondern kann in Abhängigkeit vom Fahrzyklus auch zu Gesamtwirkungsgradsteigerungen, besonders im unteren Leistungsbereich, führen.

Umrichter

Elektrische Energie wird durch Umrichter in eine passende Form umgeformt. Als Antriebsumrichter werden heute ausschließlich Umrichter mit Gleichspannungszwischenkreis und hart schaltenden Stromrichterventilen eingesetzt. Die leistungselektronischen Strukturen basieren auf der Tiefsetzsteller-Schaltung (DC-DC-Steller) bzw. den daraus abgeleiteten Vollbrückentopologien. Lediglich der

Switched-Reluctance-Motor erfordert eine etwas andere Halbbrückentopologie.

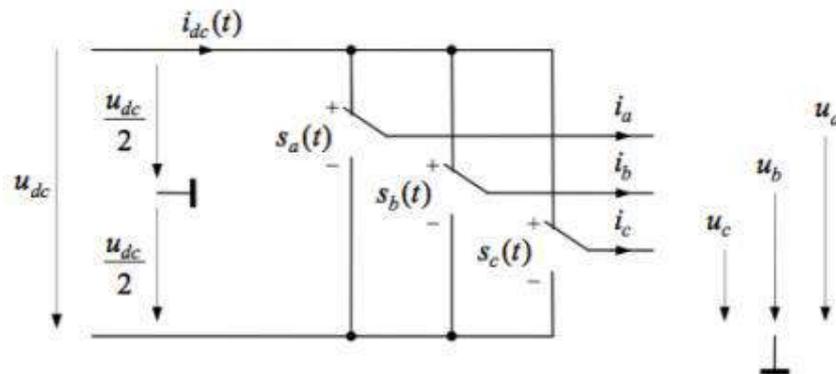


Abb 3.6- Umrichter (Pulswechselrichter) zur Speisung von Drehfeldmaschinen

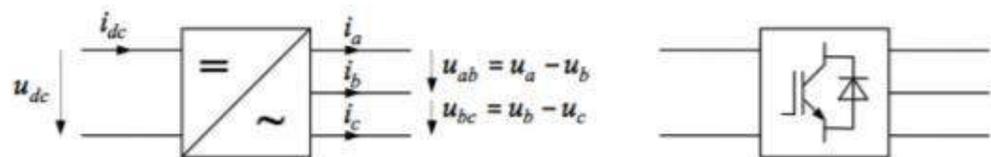


Abb. 3.7 - Gebräuchliche Schaltsymbole für den Umrichter mit Gleichspannungsspeisung

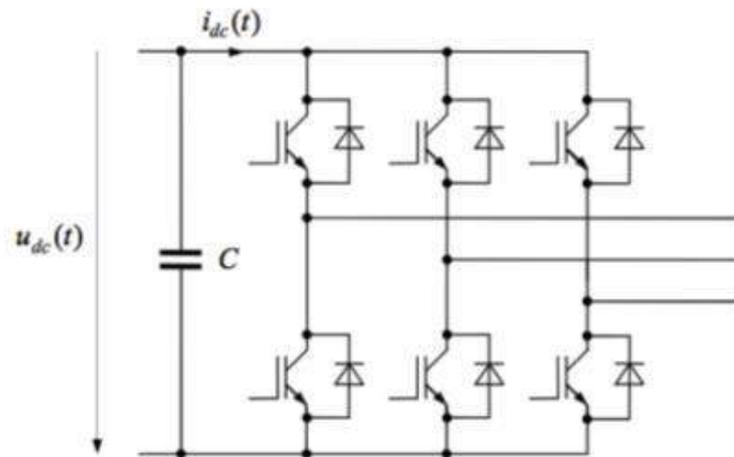


Abb 3.8 - Dreisträngiger Umrichter mit IGBT

Die Schalter jeden Zweiges werden komplementär getaktet und mittels einer Pulsweitenmodulation angesteuert, was hier nicht vertieft werden soll. Die maximale mögliche Spannung zwischen zwei Ausgangsklemmen des Pulswechselrichters nach Bild 3.6) beträgt

$$U_{LL \max} = \max u_{ab} = u_{dc} \quad (3.1)$$

Setzt man ein symmetrisches Drehstromsystem voraus, resultiert eine maximale Strangspannung von

$$u_{\max} = \max u_a = \frac{u_{dc}}{\sqrt{3}} \quad (3.2)$$

Die Stromtragfähigkeit der Umrichterventile ist aufgrund der maximal möglichen Stromdichte im Halbleiter und der Temperatur auf einen Maximalstrom i_{\max} begrenzt.