

Thomas Barucki, Dresden

Realisierungsmöglichkeiten elektrischer Traktorantriebe

In verschiedenen Bereichen der Fahrzeugtechnik haben spezifische Anforderungen an den Antriebsstrang die Weiterentwicklung elektrischer Traktionsantriebe vorangetrieben. Auch in der Landtechnik beginnt man, über diese Alternative zu den gegenwärtig eingesetzten Getrieben nachzudenken. Nachfolgend sollen der Einsatz der elektrischen Traktion im Traktor mit anderen Anwendungen in der Fahrzeugtechnik verglichen sowie die Möglichkeiten und Probleme elektrischer Traktorantriebe dargestellt werden.

Dipl.-Ing. Thomas Barucki ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Landmaschinen (Leitung: Prof. Dr.-Ing. habil. Bernhardt), Institut für Verarbeitungsmaschinen, Landmaschinen und Verarbeitungstechnik der TU Dresden, Mommsenstr. 13, 01062 Dresden; e-mail: barucki@landmaschinen.mw.tu-dresden.de

Schlüsselwörter

Traktor, Antriebstechnik, Elektroantriebe

Keywords

Tractor, drive technology, electrical drives

Literatur

- [1] Gäring, M.: Betriebsstrategien für serielle Hybridantriebe. Dissertation, RWTH Aachen, 1997
- [2] Schmetz, R.: Elektromechanische Traktorgetriebe. Landtechnik 54 (1999), H. 2, S. 72 – 73

Die Wechselwirkungen zwischen den Anforderungen neuer Einsatzgebiete und den Fortschritten insbesondere auf dem Gebiet der Magnetwerkstoffe haben in den letzten Jahren zu einer Weiterentwicklung elektrischer Antriebe geführt.

Stand der Technik

Im Kfz-Bereich wurde besonders aufgrund der kalifornischen Gesetzgebung verstärkt an der Entwicklung leichter und hocheffizienter Elektroantriebe gearbeitet, um marktfähige Batteriefahrzeuge mit angemessener Reichweite anbieten zu können. Die Umweltbilanz solcher Fahrzeuge ist jedoch bestenfalls im Stadtverkehr positiv, da die vorgelagerten Energieumwandlungen stets Verluste verursachen. Es werden deshalb verstärkt dieselektrische Fahrzeuge entwickelt, bei denen eine Dieselmotor-Generator-Einheit die Batterie ersetzt. Wird in einem solchen System ein Energiespeicher integriert, der die Bremsenergie des Fahrzeuges und bei niedriger Antriebsleistung vom Verbrennungsmotor gelieferte Energie speichert, kann die Leistungsanforderung an den Verbrennungsmotor geglättet („phlegmatisiert“) werden [1]. Solche Konzepte ermöglichen Emissionsreduzierungen durch weitgehendes Vermeiden instationärer Zustände im Verbrennungsmotor, jedoch kaum Verbrauchseinsparungen.

Mehrere Hersteller von Nahverkehrsbusen haben Prototypen dieselektrischer Fahrzeuge entwickelt. Ein Hauptziel war dabei die Realisierung von Radantrieben, was

wiederum die Konstruktion durchgängig niederfluriger Fahrzeuge ermöglicht.

Elektrische Antriebe beim Traktor

Der Traktoreinsatz unterscheidet sich deutlich von allen bisher genannten Einsatzgebieten der Elektrotraktion. Aufgrund der Komplexität der gegenwärtigen Traktorgetriebe sind die Chancen für einen Technologiewechsel relativ günstig [2]. Eine besondere Rolle werden die hervorragenden Möglichkeiten zur Einbindung in ein Fahrzeugmanagement spielen, da kein anderer Antrieb derartig günstige Schnittstellen wie der Elektroantrieb bietet. Das Prinzip der „feldorientierten Regelung“ ermöglicht eine exakte Nachführung von Drehmomentsollwerten. Dadurch stehen jederzeit Informationen über den aktuellen und zu erwartenden Leistungsbedarf des Antriebes bereit. In Zukunft könnten sogenannte Superkondensatoren bei vertretbarer Baugröße den Fahrtrieb mehrere Sekunden mit Energie versorgen, während die Drehzahl des Dieselmotors gemäß seiner optimalen Betriebskennlinie einer wechselnden Leistungsanforderung angepasst wird.

Bei der Realisierung von elektrischen Achsantrieben kann die Problematik des Längsdifferentials gelöst und darüber hinaus durch unterschiedliche Momente auf der Vorder- und Hinterachse die Fahrdynamik beeinflusst werden.

Anforderungen an den Antrieb

Das Kennfeld eines Traktorantriebes wird von einer Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie begrenzt, die einen Bereich konstanten Drehmomentes (bestimmt durch übertragbare Zugkraft) und einen Bereich konstanter Zugleistung (bestimmt durch Nennleistung des Dieselmotors) beschreibt. Der Übergang zwischen beiden Bereichen liegt bei etwa 5 km/h. Bild 1 stellt die auf Nennwerte normierten Verläufe von Drehzahl und Drehmoment dar.

Zur Charakterisierung des Antriebes wird

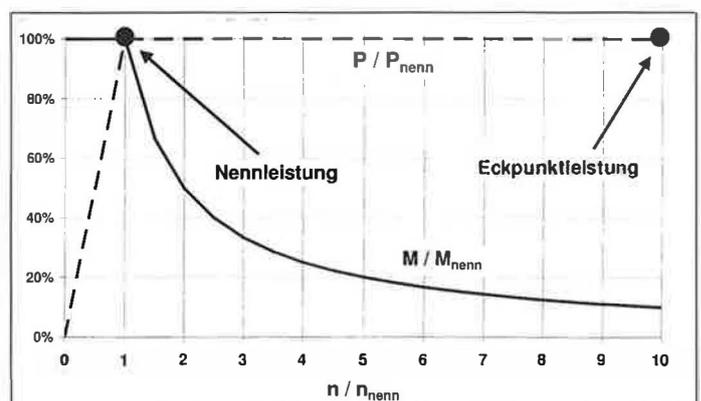


Bild 1: Normierter Verlauf von Antriebsmoment und -leistung

Fig. 1: Normalized course of drive torque and power

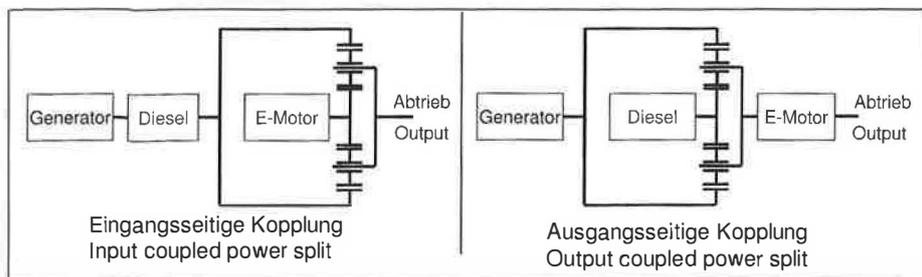


Bild 2: Ausführungen leistungsverzweigter Antriebe

Fig. 2: Types of power split drives

der Begriff der (physikalisch nicht existenten) Eckpunktleistung verwendet, die aus dem Produkt des maximalen Drehmomentes und der Maximaldrehzahl gebildet wird. Da die Maximaldrehzahl naturgemäß begrenzt ist, lässt die Eckpunktleistung qualitative Rückschlüsse auf die vom maximalen Drehmoment abhängige Baugröße der elektrischen Maschine zu.

Bei einer Höchstgeschwindigkeit des Traktors von 50 km/h ergibt sich eine Spreizung des Fahrzeugantriebes (Quotient aus Eckpunktleistung und Nennleistung) von 10:1. Da derzeit elektrische Traktionsantriebe keine solche Spreizung aufweisen, muss eine gewisse Überdimensionierung in Kauf genommen werden. Daraus folgen eine höhere strom- und spannungsmäßige Belastung von Motor und Umrichter im Vergleich zu Antrieben gleicher Nennleistung, aber geringerer Spreizung.

Antriebsrealisierung

In den letzten Jahrzehnten wurde besonders der Asynchronmotor für Traktionsantriebe eingesetzt. Durch die elektrische Erregung kann die magnetische Feldstärke an die Drehzahl angepasst werden. Dadurch bleiben die Klemmenspannung der Maschine im Bereich konstanter Leistung annähernd konstant und die Eigenverluste im Magnetkreis gering. Die Kühlung des Läufers ist problematisch. Bisher wurden Traktionsantriebe mit Asynchronmotoren mit einer Spreizung bis zu 7:1 ausgeführt.

In den letzten Jahren wurden neuartige Bauformen elektrischer Maschinen entwickelt. Der geschaltete Reluktanzmotor stellt im Prinzip einen geregelten Schrittmotor dar und ist in seinen Parametern mit der Asynchronmaschine vergleichbar. Die modulare Dauermagnetmaschine und die Transversalflussmaschine gehören zur Gruppe der permanentmagneterregten Maschinen. Im Vergleich zur Asynchronmaschine wird eine Steigerung der volumenbezogenen Drehmomentausbeute um den Faktor 2 bis 4 erreicht. Diese Maschinen werden aufgrund ihrer hohen Drehmomente von mehr als 30 Nm/dm³ (Volumen der elektrisch wirksamen Teile ohne Gehäuse) bevorzugt als Langsamläufer ausgeführt. Die Wirkungsgrade dieser Maschinen liegen im Bestpunkt etwa 2 bis 3% besser als bei Asynchronmaschinen. Aufgrund des Einsatzes der Permanentmagnete lässt sich das magne-

tische Feld jedoch nicht problemlos an die Drehzahl anpassen, so dass bei hohen Drehzahlen erhöhte Verluste im Magnetkreis und höhere induzierte Spannungen auftreten. Es wurden Antriebe mit einer Spreizung bis 5:1 ausgeführt.

Leistungsverzweigte Antriebe

Wird die gesamte Antriebsleistung elektrisch übertragen, entspricht die zu installierende elektrische Leistung der Nennleistung des Fahrzeuges. Wird weiterhin keine Schaltstufe vorgesehen, entspricht auch die Eckpunktleistung des elektrischen Antriebes der Eckpunktleistung des Fahrzeuges.

Getriebekonfigurationen mit Leistungsverzweigung, wie in Bild 2 schematisch dargestellt, können selbstverständlich auch in Verbindung mit Elektroantrieben realisiert werden. Sofern die geforderte Spreizung des Fahrzeugantriebes nicht zu groß ist, kann durch den Einsatz der Leistungsverzweigung die zu installierende Nennleistung der Elektroantriebe reduziert werden.

Bild 3 zeigt die minimal zu installierende elektrische Antriebsleistung in Abhängigkeit von der geforderten Spreizung des Fahrzeugantriebes. Die jeweils obere Kurve stellt den Verlauf für den Fall konstanter Dieseldrehzahl über den gesamten Geschwindigkeitsbereich dar. Die untere Kurve zeigt, dass mit einer Anpassung der Dieseldrehzahl an die Fahrgeschwindigkeit die Dimensionierung der Elektroantriebe weiter verringert werden kann.

Es ist zu erkennen, dass sich bei ausgangsseitiger Kopplung eine deutlich geringere zu installierende Leistung ergibt. Sofern keine Schaltstufen vorgesehen sind, entspricht hier die Eckpunktleistung des Elektroantriebes der des Fahrzeuges.

Die Vorteile der eingangsseitigen Kopplung liegen darin, dass die Generatordrehzahl aufgrund der Kopplung mit dem Dieselmotor innerhalb eines relativ kleinen Bereiches liegt. Die Eckpunktleistung des Elektroantriebes verringert sich in der gleichen Weise wie die zu installierende Leistung. Durch den Einsatz mehrerer Planetengetriebe können Umschaltungen zwischen Fahrbereichen ohne Zugkraftunterbrechungen realisiert werden, wie es von den stufenlosen Getrieben von Claas, Steyr und ZF bekannt ist.

Beim Einsatz von Schaltstufen gelten die dargestellten Verläufe für die Spreizung des betrachteten Fahrbereiches.

Wirkungsgrade

Der Wirkungsgrad moderner Generatoren oder Traktionsmotoren einschließlich ihrer Leistungselektronik liegt über einen weiten Bereich zwischen 90 und 95%. Sofern die Verluste in den mechanischen Komponenten niedrig gehalten werden können, sind Gesamtwirkungsgrade um 80% möglich, was gegenüber dem heutigen Stand der Lastschaltgetriebe und hydrostatisch – leistungsverzweigten Getriebe eine Einbuße von rund 4% bedeutete. Vorteile des Elektroantriebes sind im Teillastbereich und bei hohen Geschwindigkeiten zu erwarten. Durch Leistungsverzweigung kann ohne den Einsatz von Schaltstufen der Wirkungsgrad in bestimmten Betriebspunkten um etwa 5% verbessert werden. Beim Einsatz von Achsantrieben könnte eine intelligente Regelstrategie das Antriebsmoment der Vorderachse bei Bedarf zuschalten. Gelänge es, aus der Auswertung des Signals eines Radarsensors und dem vom Fahrmotor eingprägten Drehmoment Rückschlüsse auf den Bodenzustand zu ziehen, könnte auch der Radwirkungsgrad in eine solche Optimierung einfließen.

Das größte Optimierungspotential bietet eine an die aktuelle Fahrleistung angepasste Regelung der Dieselmotordrehzahl, da der spezifische Kraftstoffverbrauch des Dieselmotors stark drehzahlabhängig ist.

Bild 3: Zu installierende elektrische Leistung als Funktion der Antriebs-spreizung

Fig. 3: Electrical power to be installed as function of speed range

