

Ingo Biermann, Dresden

Elektrische Zusatzspeicher im Elektroantrieb von Landmaschinen

In landwirtschaftlichen Fahrzeugen mit elektrischem Antriebsstrang muss über die Möglichkeit nachgedacht werden, elektrische Energie zwischenspeichern, um Reserven zur Unterstützung des Dieselmotors bei Laständerungen vorzuhalten. Prinzipiell bieten sich dafür Schwungradspeicher, Batterien und Doppelschichtkondensatoren an. Der in das Antriebssystem zu integrierende Speicher sollte innerhalb einer relativ kurzen Zeit, in der das Fahrzeug beschleunigt wird, zusätzliche Energie für die Versorgung der Fahrtriebe bereitstellen können. Hauptkriterium ist also die Leistungsdichte des Speichers. Deshalb wird der Doppelschichtkondensator bevorzugt. Drei mögliche Anwendungen auf dem dieselelektrisch angetriebenen Fahrzeug werden untersucht.

Dipl.-Ing. Ingo Biermann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Landmaschinen im Institut für Verarbeitungsmaschinen, Landmaschinen und Verarbeitungstechnik der Technischen Universität Dresden, 01062 Dresden; e-mail: biermann@landmaschinen.tu-dresden.de

Schlüsselwörter

Doppelschichtkondensator, dieselelektrischer Antriebsstrang, Energiespeicher, DC-DC-Wandler, Gleichspannungszwischenkreis

Keywords

Blocking layer condenser, diesel electric drive train, energy storages, DC-DC-converter, intermediate circuit

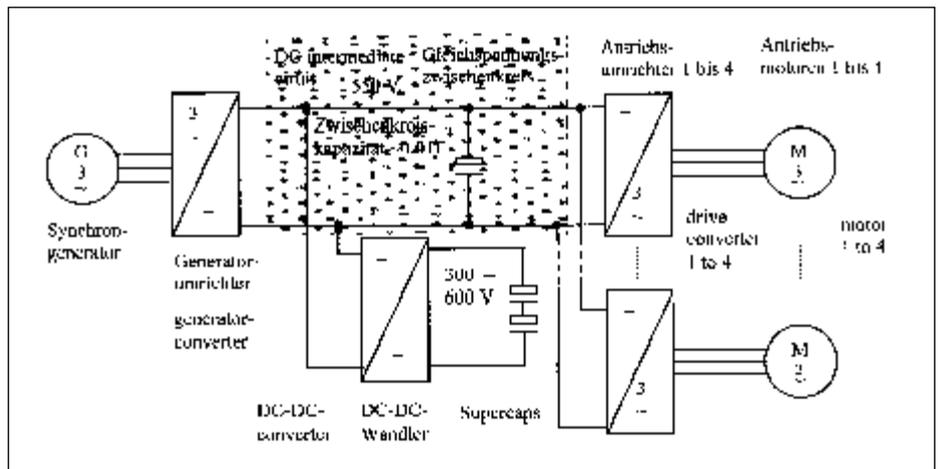


Bild 1: Ankopplung des Ultracap's an den Gleichspannungszwischenkreis

Fig. 1: Coupling the ultracap's on the intermediate circuit

In landwirtschaftlichen Fahrzeugen mit elektrischem Antriebsstrang muss über die Möglichkeit nachgedacht werden, elektrische Energie zwischenspeichern, um eine gewisse Reserve zur Unterstützung des Dieselmotors bei Laständerungen vorzuhalten. Prinzipiell bieten sich dafür Schwungradspeicher, Batterien und Doppelschichtkondensatoren an. Aufgrund der hohen Kosten (Spezialwerkstoffe, mechanische Kopplung) scheiden Schwungradspeicher für den Einsatz bei landwirtschaftlichen Fahrzeugen aus. Beim Vergleich elektrischer Speicher wird der auf das Gewicht bezogene Energieinhalt im Verhältnis auf das Gewicht bezogene Leistung bewertet. Der in das Antriebssystem zu integrierende Speicher wird vorrangig unter dem Gesichtspunkt gesucht, innerhalb einer relativ kurzen Zeit, in der das Fahrzeug beschleunigt wird, zusätzliche Energie für die Versorgung der Fahrtriebe bereitzustellen. Hauptkriterium ist also die Leistungsdichte des Speichers. Ein hoher Wert der gespeicherten Energie er-

Tab. 1: Einsatzfälle und dazu notwendige Energie

Anwendung	Energie
Fahrzeugbeschleunigung	min 300 kW
Energie während Dieselmotorhochlauf	70 kW
Startvorgang	< 3 kW

möglicht die zusätzliche Funktion, bei niedrigen Leistungsanforderungen den Dieselmotor ganz abschalten zu können. Es ergeben sich drei mögliche Anwendungsfälle, die gespeicherte Energie zu nutzen:

- Bereitstellung zusätzlicher Energie während der Beschleunigungsphase
- Übernahme der Energielieferung an die Fahrtriebe während des Dieselmotorhochlaufes
- Energielieferung während des Startvorganges des Dieselmotors.

In Tabelle 1 sind die drei Einsatzfälle mit der notwendigen zu speichernden Energie gegenübergestellt.

Einsatz eines Energiespeichers auf dem Fahrzeug

Um einen Doppelschichtkondensator, dessen Spannung sich innerhalb eines weiten Bereichs ändert, an den mit einer relativ konstanten Spannung betriebenen Zwischenkreis koppeln zu können, ist der Einsatz eines DC-DC-Wandlers erforderlich. Bild 1 zeigt die Ankopplung des Doppelschichtkondensators an den Zwischenkreis.

Mögliche Varianten des Einsatzes

Boosten während der Beschleunigungsphase
Werden mehrere Kondensatoren parallelgeschaltet, ergibt sich die Gesamtkapazität als

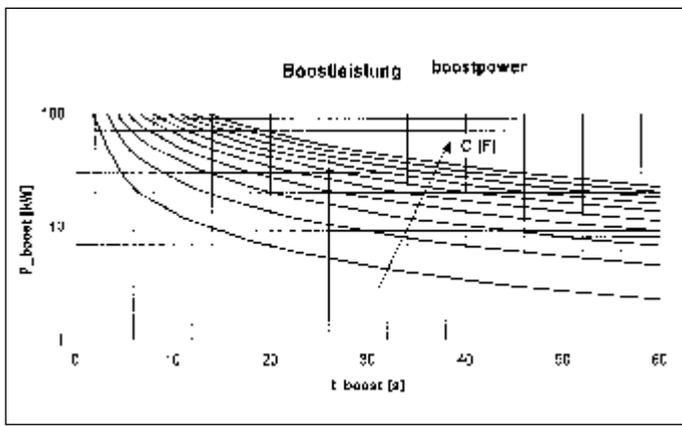


Bild 2: Benötigte Kapazität in Abhängigkeit der Boostleistung und Boostdauer

Fig 2: Required capacitance in depending on performance and duration of boost

Summe der Einzelkapazitäten

$$C_{ges} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Es können somit sehr große Kapazitäten bei hoher Spannung erreicht werden. Steht der benötigte Bauraum auf dem Fahrzeug zur Verfügung und ist die zusätzliche Masse auf dem Fahrzeug kein Problem, könnte eine Boostfunktion mittels elektrischem Zusatzspeicher realisiert werden. In Bild 2 ist die benötigte Gesamtkapazität des Kondensatorblocks in Abhängigkeit der Leistung (P_{boost}), die vom Kondensatorblock in den Zwischenkreis gelangen soll, und der Boostdauer (t_{boost}) bei einer Kondensatorspannung von 600 V aufgetragen. Mit einem Speicherblock von 6F bei 600 V können etwa 27 kW über 30 s in den Zwischenkreis gelangen.

Da der Bauraum begrenzt ist, müssen an der Boostzeit und/oder Boostleistung Abstriche gemacht werden. Es wird davon ausgegangen, dass Bauraum für vier Ultracaps auf dem Fahrzeug zu Verfügung steht. Die reine Kondensatormasse wäre 140 kg, das reine Kondensatorvolumen 92 l.

Beim Boosten wird elektrische Energie aus dem Zusatzspeicher entnommen. Die maximale Boostleistung entspricht der Differenz zwischen installierter Antriebsleistung und maximaler Generatorleistung. Bild 3 zeigt den Geschwindigkeitsverlauf mit der entsprechenden Gesamtleistung. Dabei verkürzt sich die Zeit bis zum Erreichen der Höchstgeschwindigkeit nicht linear sondern degressiv.

Dieselerunterstützung beim Hochlauf

Mit dem installierten Zusatzspeicher wäre es auch möglich, die Leistungsabgabe des Dieselmotors für die Zeit zu übernehmen, die für die Erhöhung der Drehzahl des Dieselmotors von der Leerlauf- zur Nenndrehzahl erforderlich ist. Hierbei wird die gesamte aufzubringende Energie für die elektrischen Fahrtriebe dem elektrischen Zusatzspeicher entnommen.

Startvorgang

Prinzipiell lässt sich der Generator auch als Anlasser für den Dieselmotor benutzen, so-

lange Energie aus dem Zwischenkreis zur Verfügung steht. Nach dem letzten Abstellen des Dieselmotors ist dies auch der Fall, wenn die Kondensatoren vor dem Abstellen aufgeladen wurden. Da die Kondensatoren einer gewissen Selbstentladung durch Leckströme unterliegen oder die Kondensatoren zum Beispiel bei der Wartung aus Sicherheitsgründen entladen werden müssen, ist ein nachfolgender Start nicht immer möglich. Dann muss entweder der Kondensator aus der Batterie über einen weiteren DC-DC-Wandler aufgeladen werden oder zum Starten des Dieselmotors wird der konventionelle Anlasser genutzt. Denkbar, wenn auch ungewöhnlich, ist auch eine Spannungsüberwachung des Speicherblockes, welche bei Unterschreitung einer Mindestladung den Dieselmotor startet, um über den Generator den Speicher nachzuladen. Wird eine Möglichkeit gefunden, den Kondensatorblock vor dem Dieselmotorstart aufzuladen, kann der konventionelle Anlasser entfallen.

Sowohl Drehzahl als auch Leistung sind beim Start mit Ultracaps deutlich besser: So wird beispielsweise mit den Ultracaps, im Vergleich mit der Batterie, eine um 50% erhöhte Startdrehzahl erreicht. Damit können Schadstoffemissionen beim Dieselstart erheblich reduziert werden.

Zum Laden des Kondensatorblocks vor dem Start des Dieselmotors sollte ein zweiter DC-DC-Wandler benutzt werden. Er könnte Bestandteil des DC-DC-Wandlers

sein, der zwischen Kondensatorblock und Gleichspannungszwischenkreis geschaltet ist. Dadurch könnten Baugruppen für beide Fälle genutzt werden. Beispielsweise ist es denkbar, die Steuerelektronik für beide Anwendungsfälle zu nutzen, da zu keinem Zeitpunkt gleichzeitig der Kondensatorblock aus der Batterie geladen und Energie aus dem Kondensatorblock in den Zwischenkreis gebracht wird. Bild 4 zeigt eine denkbare Schaltung. Grundsätzlich sind für die Anbindung der Kondensatoren drei verschiedene Ansätze denkbar: Je zwei Stromrichter Elementarzellen von Tiefsetzsteller, Buck-Booster-Steller und Cuk-Steller lassen sich zu Topologien vereinigen, die einen Leistungsfluss in beide Richtungen gestatten.

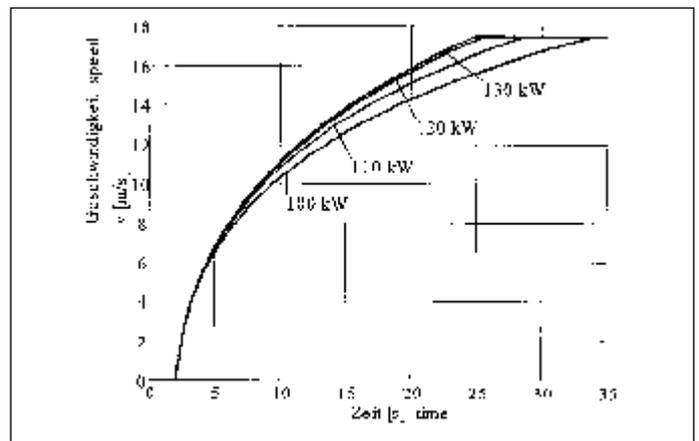


Bild 3: Geschwindigkeitsverlauf bei unterschiedlichen Boostleistungen

Fig. 3: Course of speed with different boostpower

Literatur

- [1] Dietrich, T.: Elektrische Doppelschicht-Kondensatoren (Power Caps / Energy Caps) – Technologie und Anwendungsgebiete. VDI-Berichte Nr. 1418, Oktober 1998, S. 193-206
- [2] Angloher, J. und M. Schmid: Die Kombination von Zink/Luft-Batterien und Doppelschichtkondensatoren für elektrische Fahrzeugantriebe. VDI-Berichte Nr. 1418, Oktober 1998, S. 207-221
- [3] Grusz, C. und M. Frey: Vielleicht doch ein Kondensator. Design & Elektronik, 1998, S. 34-35
- [4] Barucki, T.: Optimierung des Kraftstoffverbrauches und der Dynamik eines dieselelektrischen Fahrtriebes für Traktoren. Dissertation, TU Dresden, 2001

Bild 4: DC-DC-Wandler mit Einrichtung zum Laden des Kondensatorblocks aus der Batterie

Fig. 4: DC-DC-converter with device to charge the ultracap from battery

