

## ■ Strom aus dem Stand

Doppelschichtkondensatoren haben dort ihre Stärken, wo Akkus ihre Schwächen haben – deshalb wird diese Technologie zunehmend für die Leistungselektronik interessant.

**M**uss ein Fahrradfahrer nachts an einer Kreuzung oder Einmündung anhalten, geht ihm das Licht aus – es sei denn, Scheinwerfer und Rücklicht werden auch noch im Stehen für einige Zeit mit Energie versorgt. Doppelschichtkondensatoren machen's möglich. Das grundlegende Prinzip dieser auch Superkondensatoren genannten Bauelemente (engl.: Electric Double-Layer Capacitors EDLC, oder kurz „Supercaps“) ist schon seit langem bekannt, und erste Produkte gab es bereits in den späten Sechzigerjahren. Doppelschichtkondensatoren im engeren Sinne kamen dann erstmals vor knapp dreißig Jahren auf den Markt, zunächst zur Spannungsunterstützung auf Rechnerplatinen. Nun setzen sie endgültig zu ihrem Siegeszug an, denn sie eignen sich für manche Anwendung besser als ein Akku oder eine Batterie alleine.

Doppelschichtkondensatoren bestehen aus zwei Elektroden, die durch einen elektrolytgetränkten Separator getrennt sind. Liegt an den Elektroden eine Spannung an, bildet sich eine Zone aus Ladungsträgern, deren Schichtdicke nur wenige Ionenradien beträgt (Abb. 1). Ein Doppelschichtkondensator verhält sich also wie zwei konventionelle Exemplare, die über den Elektrolyt in Reihe geschaltet sind.

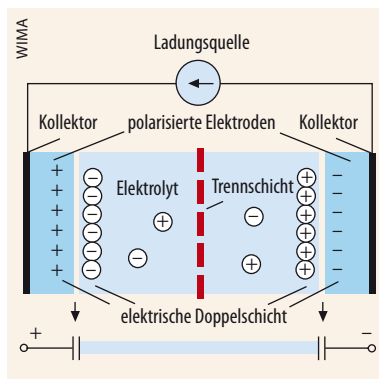


Abb. 1 Ein Doppelschichtkondensator entsteht durch Zusammenschalten von zwei Elektroden mithilfe eines elektrolytgetränkten Separators. Das entspricht der Serienschaltung zweier herkömmlicher Kondensatoren.



Busch & Müller

Gesehen werden – auch im Stehen. Beim Einsatz sparsamer LEDs in Fahrradrücklichtern können Superkondensatoren

problemlos Standzeiten an Ampeln überbrücken, wenn der Dynamo keinen Strom liefert.

Im Gegensatz zu Batterie oder Akku, die Energie elektrochemisch speichern, speichert ein Doppelschichtkondensator Energie elektrostatisch. Deshalb ist auch sein Innenwiderstand im Vergleich zu einem elektrochemischen Energiespeicher sehr gering.

Die Kapazität eines Kondensators ist proportional zur Oberfläche und der Dielektrizitätszahl sowie umgekehrt proportional zum Abstand der Ladungen. Die spezifische Oberfläche der Aktivkohle-Elektroden in einem Doppelschichtkondensator ist sehr groß, während der Abstand der entgegengesetzt polarisierten Ladungsträgerlage – der Doppelschicht – im Bereich von weniger als einem Nanometer liegt. Deshalb haben Superkondensatoren bestimmter Größe eine deutlich höhere Kapazität als konventionelle, 100 bis 3000 Farad sind nichts Ungewöhnliches.

Dagegen läuft bei der elektrochemischen Energiespeicherung in einem Akku eine Redoxreaktion ab, bei der die Ionen in das Innere des Elektrodenmaterials diffundieren. Das dauert seine Zeit und begrenzt die Leistungsdichte. Die Reaktion läuft auch nie vollständig reversibel ab, sodass die Zahl der möglichen Auf- und Entladezyklen auf einige tausend beschränkt bleibt. Dafür

können elektrochemische Energiespeicher sehr hohe Energiedichten erreichen, weil die Ionen das innere Volumen des Elektrodenmaterials komplett ausnutzen.

Bei den Doppelschichtkondensatoren ist die Situation gerade umgekehrt: Sie erreichen hohe Leistungsdichten, aber nur geringe Energiedichten, weil die Ionen sich nur an der Oberfläche des Elektrodenmaterials anlagern. Der Ladevorgang geschieht rasch, Doppelschichtkondensatoren können also schnell hohe Ströme bereitstellen und lassen sich anschließend zügig wieder aufladen. Sie vereinen somit den Vorteil der klassischen Kondensatoren, rasch Strom liefern zu können, mit dem des Akkus als Energiespeicher.

Module aus Doppelschichtkondensatoren gibt es in verschiedenen Bauformen und Größen (Abb. 2). Da sich die Elektrolyten – meist organische Lösungsmittel mit einem Salz – bei einer Spannung von etwas über 2,5 Volt zersetzen, erfordern Module mit höheren Nutzsparnungen mehrere, in Reihe oder parallel geschaltete Zellen. Möglich sind heute mehr als 1000 Volt. Bei dieser Kaskadierung darf die Spannung der jeweiligen Zellen jedoch die Zersetzungsspannung nicht überschreiten. Serienschaltungen

müssen daher „symmetriert“ werden, da eine unterschiedliche Alterung der Zellen abweichende Kapazitäten und somit verschiedene Spannungsabfälle an den Zellen zur Folge hätten. Diese Symmetrierung ist passiv durch parallel geschaltete Widerstände möglich, allerdings nur, wenn die Verluste durch die Widerstände für die Anwendung tolerabel sind. Ansonsten muss das Modul mit einer teureren, aktiven Symmetrierung ausgestattet sein. Dabei hält eine Referenzquelle die einzelnen Zellen auf dem gewünschten maximalen Potential: Erkennt eine Komparatorschaltung die drohende Überladung einer Zelle, entlädt ein Bypass-Widerstand sie individuell.

Im Allgemeinen finden Doppelschichtkondensatoren heute Verwendung bei der Spannungsunterstützung, um elektrische Energie schnell bereitzustellen oder um Akkus zu schonen. Ein wichtiges Einsatzgebiet ist auch die Schlupfregelung von Windrädern. Diese befindet sich im Gehäuse hinter den Rotoren (der Gondel) und sorgt dafür, dass die Rotationsgeschwindigkeit der Flügel konstant bleibt, indem sie die Blätter geeignet ausrichtet. Kommt Sturm auf, dreht die Schlupfregelung sie mit der Schmalseite in den Wind, sodass eine geringere Kraft auf sie wirkt. Das ganze muss autark funktionieren und bei jeder Witterung.

Gegenüber pneumatischen Schlupfregelungen haben elektrische Systeme mit Doppelschichtkondensatoren als Energiepuffer den Vorteil, dass sie deutlich wartungsärmer sind.

Ein weiteres großes Anwendungsfeld sind unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV), bei denen heute vor allem wartungsintensive Akkus anzutreffen sind, die sich eigentlich viel besser als kontinuierliche Energiequelle eignen als für derartige kurze Spitzenlasten. Denn letztlich geht es bei USV in der Regel darum, einem Notstromaggregat die notwendige Startenergie zu liefern. Prinzipiell könnten Doppelschichtkondensatoren sogar sehr gut Schwankungen im Elektrizitätsnetz abfedern – eine weitere Aufgabe unterbrechungsfreier Stromversorgungen –, da diese Variationen in der überwiegenden Zahl der Fälle kürzer als zehn Sekunden sind. Bislang beschränkt sich der Einsatz von Doppelschichtkondensatoren in diesem Umfeld jedoch auf einzelne Projekte.

Ebenfalls auf viel Interesse stoßen sie in der Antriebstechnik, Stichwort Rekuperation – also der Rückgewinnung von Bremsenergie –, sei es bei Straßenbahnen oder in Automobilen. Im vergangenen Herbst hat der Zulieferer Continental ein Bordnetz-Unterstützungsmodul für ein Start-Stopp-System



Abb. 2 Module mit Doppelschichtkondensatoren gibt es inzwischen mit sehr unterschiedlichen Bauformen und Kenndaten.

von PSA Peugeot Citroën vorgestellt. Der französische Automobilkonzern will in den kommenden drei Jahren rund eine Million Fahrzeuge mit der neuen Technik ausrüsten. Diese startet im wartenden Fahrzeug automatisch den Motor, sobald die Ampel auf grün springt. Dabei entsteht für knapp eine halbe Sekunde ein hoher Strombedarf, den die Superkondensatoren im Bordnetzmodul decken. Rekuperation lädt sie dann anschließend wieder auf.

Während die Anfänge der Kondensatortechnologie also bei Schwachstromanwendungen à la Leiterplatten und Fahrradlicht lagen, ist sie mittlerweile in der Leistungselektronik angekommen – und sieht einer vielschichtigen Zukunft entgegen.<sup>#)</sup>

Michael Vogel

#) Wir danken Stefan Nowak, Leiter Fertigung Doppelschichtkondensatoren im Berliner Werk der WIMA Spezialvertrieb elektronischer Bauelemente GmbH & Co. KG, sowie der Busch & Müller KG, Meinerzhagen.

Michael Vogel,  
vogel\_m@gmx.de