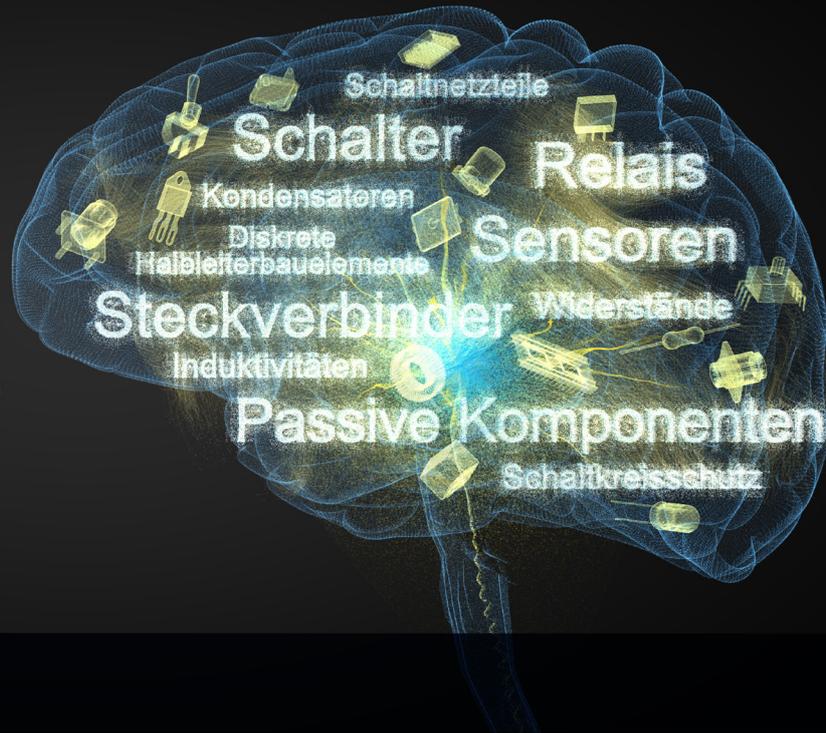




Whitepaper

Transport



Superkondensatoren als langlebige Lösung in batteriebetriebenen Anwendungen

Autor: Felix Corbett, Director Supplier Marketing, TTI Europe



Superkondensatoren (Supercaps) werden seit langem eingesetzt, um einen Spitzenleistungsbedarf in vielen Geräten der Unterhaltungselektronik zu decken, etwa eine Flash-Funktion auf einem Smartphone, um schnell und zuverlässig große Strommengen zu liefern.

Neue Materialien und Strukturen haben ihren Einsatz über kleine Geräte im Knopfzellenformat hinaus auf größere Superkondensatorzellen und Module mit einem breiteren Versorgungsspannungsbereich ausgedehnt. Dadurch wurden die Vorteile von Superkondensatoren in ein breiteres Anwendungsspektrum als Teil der Stromversorgung integriert. Sie können den Spitzenleistungsbedarf einer Vielzahl von batteriebetriebenen Anwendungen decken und dabei die Batterielebensdauer dadurch verlängern, dass keine größere Batterie spezifiziert werden muss, was sowohl Platz als auch Kosten spart.

Die Verwendung elektrostatischer Technologien in Superkondensatoren anstelle der elektrochemischen Technologie von Batteriezellen hebt die Steuerung und Zuverlässigkeit für alle Arten von Energiesubsystemen auf eine neue Ebene und überwindet die begrenzte Lebensdauer von Batterien, insbesondere in Anwendungen im Industriebereich sowie im Transportwesen.

Dieses Whitepaper befasst sich mit den Grundlagen von Superkondensatoren und denen, die für eine Reihe von Industriebeispielen mit höherer Leistung verfügbar sind, wie z.B. die Versorgung des Hochlauf-Stoßbedarfs von Elektrofahrzeugen.

Kondensatorstechnologie

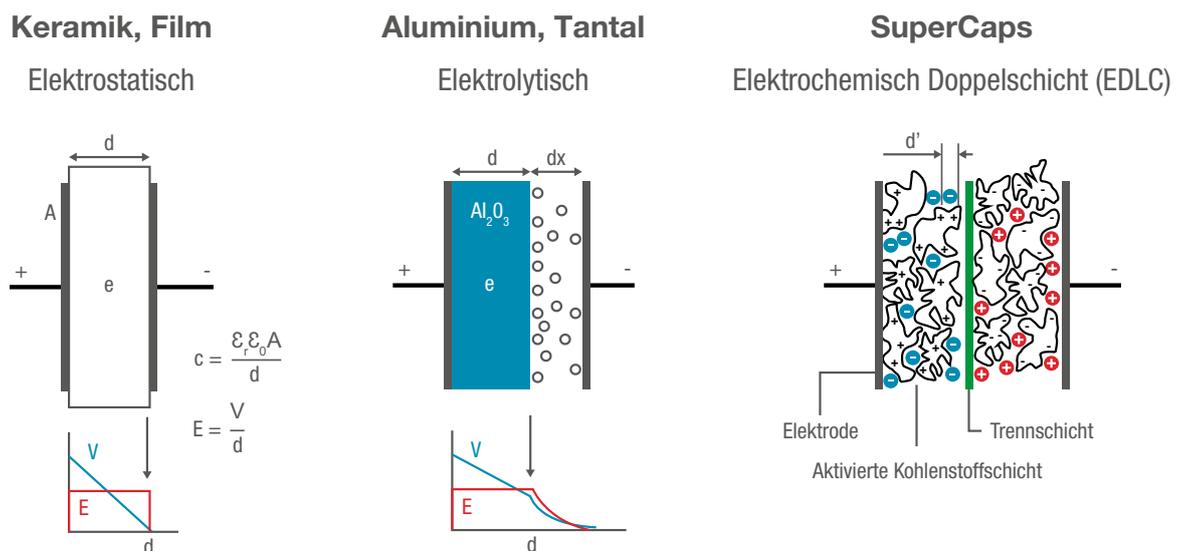
Die Werte der Supercaps reichen von mehreren Millifarad bis zu Tausenden von Farad. Sie speichern typischerweise 10- bis 100-mal mehr Energie pro Volumeneinheit oder Masse als Elektrolytkondensatoren, können Ladungen viel schneller aufnehmen und abgeben als Batterien und tolerieren viel mehr Lade- und Entladezyklen als Akkus.

Die hybriden elektrochemischen Pseudokapazitäts-Bausteine beruhen weitgehend auf Aktivkohle, welche die Oberfläche, A, der Elektrode, d, verstärkt, die durch den Durchmesser der Salzionen im Elektrolyten zwischen den Elektroden definiert ist. Die Spannung ist eine Funktion des Ionenabbaus des Salzionen, ebenso wie eine Funktion von Temperatur und Spannung. Siehe Abbildung 1.

Der gebräuchlichste Typ sind die elektrostatischen Doppelschichtkondensatoren (EDLCs), die Kohlenstoffelektroden (in Form von Graphen- oder 3D-Strukturen) mit einer wesentlich höheren elektrostatischen Doppelschichtkapazität als elektrochemische Pseudokapazitäten verwenden. Die Ladentrennung liegt in der Größenordnung von 0,3 bis 0,8 nm, viel weniger als bei einem herkömmlichen Kondensator.

Hybridkondensatoren, beispielsweise der Lithium-Ionen-Kondensator, verwenden Elektroden mit beiden Techniken; sie vereinen elektrostatische und elektrochemische Kapazität.

Abbildung 1: Verschiedene Kondensatorstechnologien – Quelle (AVX)



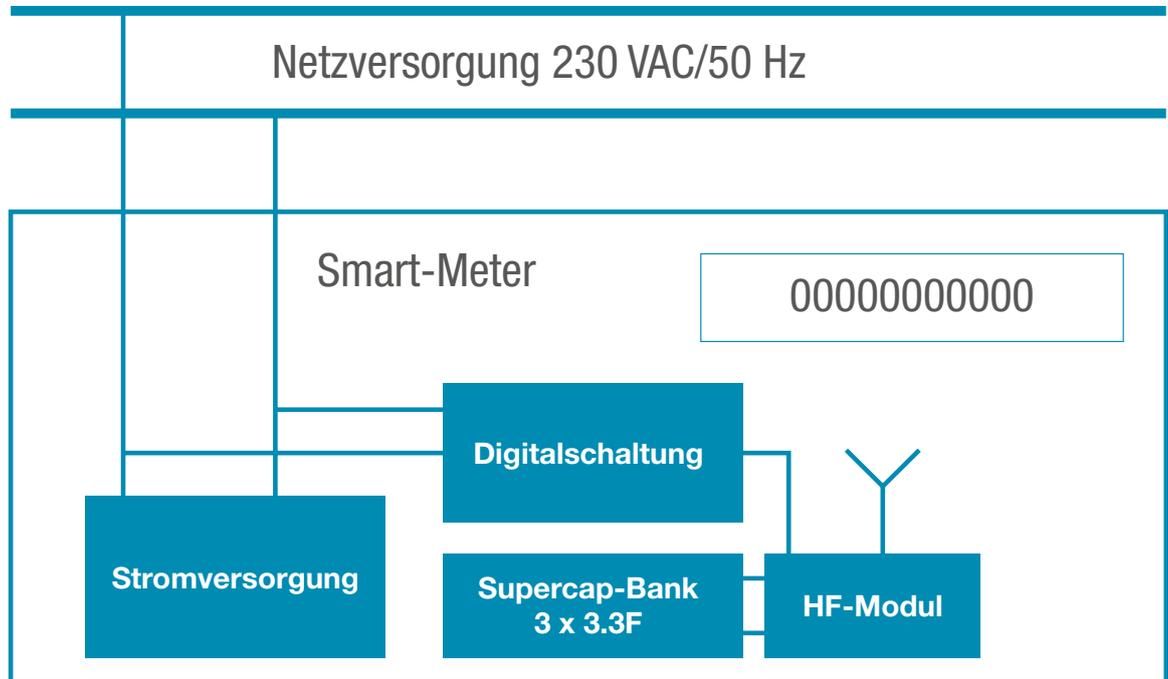
Anwendungen von Superkondensatoren

Superkondensatoren können in einem breiten Anwendungsspektrum eingesetzt werden, von der Impulsleistung für drahtlose Transceiver bis hin zu Überbrückungs-Subsystemen, die ein "Dying-Gasp-Signal" erzeugen, damit Speichersysteme bei einem Stromausfall zuverlässig abgeschaltet werden können. Sie sind darüber hinaus auch in Energiegewinnungssystemen einsetzbar, um Leistungsstellen den nötigen Schub zu geben, um im Internet der Dinge zu arbeiten, sowie sogar als kompletter Ersatz für eine Batterie.

Infolgedessen wird erwartet, dass der Markt für diese Bausteine von 700 Millionen Dollar im Jahr 2016 auf über 2 Milliarden Dollar im Jahr 2019 wächst, was einen dramatischen Anstieg innerhalb einer kurzen Zeit bedeutet.

Dieses Wachstum wird durch das breite Anwendungsspektrum vorangetrieben. Datenspeichersysteme wie SSDs (Solid State Disks) benötigen für kurze Zeit hohe Ströme, um sicher abzuschalten, und im Falle einer Unterbrechung der 230-VAC-Hauptstromversorgung muss ein Smartmeter eine "Dying-Gasp"-Meldung ausgeben. Dies geschieht über ein RF-Modul unter Verwendung der in einer Superkondensatorbank gespeicherten Energie. Siehe Abbildung 2.

Abbildung 2: Verwendung eines Superkondensators, damit ein intelligenter Zähler im Falle eines Stromausfalls eine "Dying-Gasp"-Meldung senden kann (Quelle Eaton).



Eine kürzlich in einer Druckerei in Estland installierte 3-phasige statische unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) verwendet eine 600-F-Superkondensatorplatte, um bis zu 60 kW für maximal 20 Sekunden bereitzustellen, damit ein Datensystem im Falle eines Stromausfalls sicher abgeschaltet werden kann. Sie kann indes auch zum Ausgleich von Spannungsabfällen und Mikrounterbrechungen in Anlagen dienen, die Datenfehler verursachen können.

Superkondensatoren können außerdem zur Energiegewinnung aus Fahrzeugen eingesetzt werden. Regenerative Bremssysteme nehmen die Energie von Bremsen in Elektroautos oder Gabelstaplern auf und wandeln sie in Strom um. Eine direkte Speicherung in einer Batterie führt zu Problemen beim Laden und bei der Lebensdauer der Batterie, so dass stattdessen ein Superkondensator eingesetzt wird. Da er elektrostatische Kräfte nutzt, hat er eine wesentlich längere Lebensdauer, und die aufgenommene Energie kann leicht gespeichert und dann vom elektrischen Subsystem im Fahrzeug verwendet werden, z.B. um den Start-Stopp-Betrieb zu versorgen.

Hybrid-Doppeldecker-Busse, die von London Transport eingesetzt werden, verwenden AECQ-qualifizierte Superkondensatormodule, um zurückgewonnene Energie aus dem Mildhybrid-Antriebsstrang zu speichern und freizusetzen; sie tragen außerdem zur Effizienz des Hybridantriebs in einem 48-V-Antriebsstrang bei. Parallelschaltungen sichern die erforderliche Kapazität für die Fahrzyklen.

Superkondensatoren ersetzen in einigen spezifischen Anwendungen sogar die Batterien vollständig. Omnibusse auf dichten Stadtverkehrslinien in der Schweiz, wo der Bus alle paar Minuten hält, nutzen diese Haltestellen, um die Superkondensatorbänke schnell aufzuladen und gleichzeitig weitere Passagiere aufzunehmen, so dass rasch genügend Ladung geliefert wird, um den Bus zur nächsten Haltestelle zu bringen. Dies kann das Gewicht des Busses und die Kosten für den Austausch der Batterien reduzieren, was erheblich ins Gewicht fällt.

Superkondensator vs. Batterie

Eine elektrochemische Batterie, die Lithium, Mangan, Nickel oder sogar Blei-Säure verwendet, kann Energie über eine beträchtliche Zeitspanne speichern, muss aber über die Zeit sorgfältig aufgeladen werden, und ihre Anzahl von Zyklen ist relativ begrenzt: Zum Beispiel auf 500 bei einer Lithium-Ionen-Batterie – siehe Abbildungen 3 & 4. Im Gegensatz dazu lädt sich der Superkondensator einfach wie ein Kondensator auf und unterstützt Millionen von Zyklen, liefert in kurzer Zeit große Mengen an Energie, die eine Batterie durch Überladung in Brand setzen würde. Die Herausforderung ist die Ausgangsspannung und die Zeit, in der die Ladung erhalten bleibt, die in Minuten statt in Monaten gemessen werden kann.

Abbildung 3: Vergleich von Superkondensator- und Batterietechnologien

Direkter Vergleich

SuperCaps	
Pro	Contra
Langer Lebenszyklus	Geringe spezifische Energie
Hohe Lastströme	Geringfügig höhere Selbstentladung
Schnelle Ladezeiten	Hohe Kosten pro Wh
Gute Temperaturbeständigkeit	
Batterien	
Pro	Contra
Hohe Energiedichte	Eingeschränkter Lebenszyklus
Besserer Leckstrom	Lange Ladezeiten
	Sehr temperaturempfindlich

Das bedeutet, dass die Hochleistungs- und Hochstromfähigkeit von Superkondensatoren zunehmend neben Batterien genutzt wird, um eine sofortige Leistung zu liefern. Interessanterweise ersetzen die sicheren, schnell ladbaren Eigenschaften der Superkondensatoren sogar die Batterien vollständig.

So kann beispielsweise ein Superkondensator-betriebenes fahrerloses Fahrzeug oder Lager-Shuttle, das eine definierte Mission normalerweise in 100 bis 200 Sekunden erfüllt, vor dem erneuten Start mit einem 10-s-Ladevorgang fortgesetzt werden. Daraus entsteht eine kostengünstige Lösung im Vergleich zu Batterien; sie kann in kalten Umgebungen wie Kühlhäusern eingesetzt werden, in denen die Batterien schwächer werden.

Abbildung 4: Die verschiedenen elektrischen Kennwerte von Superkondensatoren und Batterien

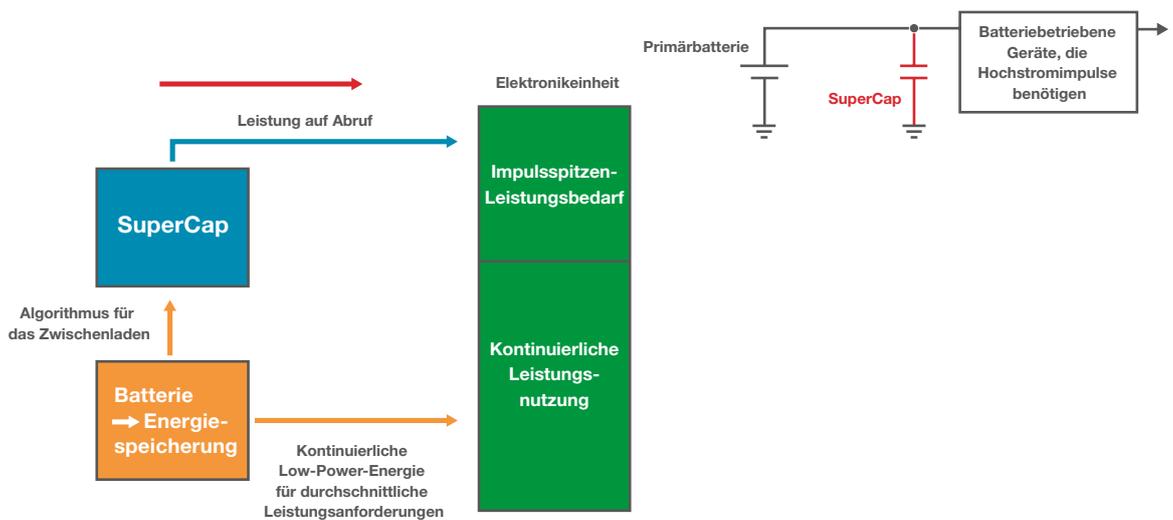
Vergleich der Kennwerte

Kennwert	SuperCap	Li-Ion-Batterie
Ladezeit	1 – 10 s	1 – 60 min
Zykluszahl	1 million	500+
Zellenspannung	2,1 V – 3,3 V	3,6 V – 4,2 V
Spezifische Energie	5	100 – 200
Spezifische Leistun	~10.000	1.000 – 3.000
Kosten pro Wh	>10\$	0,50 – 1 \$
Dienstlebensdauer im Auto	10+ Jahre	5 – 10 Jahre
Ladetemperatur	-55°C – +90°C	0°C – +45°C
Entladetemperatur	-55°C – +90°C	-20°C – +60°C

Superkondensatoren haben jedoch Spannungsgrenzen. Während der elektrostatische Kondensator für hohe Spannungen ausgelegt werden kann, ist der Superkondensator auf 2,5–2,7 V begrenzt. Spannungen von 2,8 V und höher sind möglich, jedoch mit reduzierter Lebensdauer. Um höhere Spannungen zu erhalten, werden Superkondensatoren in Reihe geschaltet, was jedoch die Gesamtkapazität reduziert und den Innenwiderstand oder den ESR (äquivalenter Reihenwiderstand) erhöht. Wie bei Batterien macht das Zusammenschalten von drei oder mehr Superkondensatoren in einem Strang einen Spannungsausgleich erforderlich, der verhindert, dass eine Zelle in Überspannung gerät.

Die Entladekurve ist ein weiterer wesentlicher Unterschied. Während eine Batterie bis zur Entladung eine konstante Spannung liefert, sinkt die Spannung des Superkondensators linear. Das bedeutet, dass der Superkondensator sorgfältig ausgewählt werden muss, um sicherzustellen, dass er die erforderliche Spannung über die richtige Zeitspanne liefert, um die benötigte Leistung zu liefern. Das bedeutet, dass die beiden Technologien oft gemeinsam eingesetzt werden.

Abbildung 5: Kombination von Batterien und Superkondensatoren (Quelle Eaton)



Auswahl des richtigen Superkondensators

Ein wichtiger Faktor bei der Auswahl des richtigen Superkondensators ist die Identifizierung des Betriebstemperaturbereichs und der Betriebsspannung der Anwendung. Die wichtigsten Gleichungen sind in Abbildung 6 dargestellt:

$$I = C \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\Delta V_{total} = I * ESR + I * \Delta t / C$$

$$E = \frac{1}{2} C V^2$$

wobei V_0 die Nennbetriebsspannung ist, ΔV die Trennspannung, I ist der Spitzenstrom und Δt die Dauer des erforderlichen Energieimpulses. Der äquivalente Reihenwiderstand (ESR) und der Leckstrom (LC) in der Entwicklung sind wichtige Faktoren. Der ESR kann sich über die Lebensdauer des Superkondensators verdoppeln, und die Nennkapazität kann um 30% sinken, so dass bei der Kombination eine sorgfältigere Dimensionierung des Bausteins oder der Bausteine für das Design unumgänglich ist.

Ein Verständnis der Anwendung ist ebenfalls unerlässlich. Die Energiegewinnung stellt sehr unterschiedliche Stromanforderungen an Pulsleistung oder Stromunterbrechungen, so dass die Auswahl des richtigen Bausteins ein tiefes Verständnis der Entwicklung voraussetzt: Wie hoch wird der Spitzenstrombedarf sein und wie lange wird er benötigt werden? Stromunterbrechungen erfordern beispielsweise eine längere Stromspeicherzeit als die Impulsleistung.

Lebensdauer

Die Lebensdauer eines Superkondensators ist eine Funktion von Spannung und Temperatur. Von der internen Prüfung und der "Faustregel" her verdoppelt sich die Lebensdauer für jede 10°C niedrigere Betriebstemperatur und wiederum für jede 0,1 – 0,2 V niedrigere Betriebsspannung, so dass sich die Systemspezifikation direkt auf die Zuverlässigkeit bezieht.

Formfaktor

Superkondensatoren gibt es in einer Vielzahl von Formfaktoren, von zylindrischen Bauelementen, die wie Kondensatoren aussehen, über rechteckige Blöcke, prismatische Zellen oder sogar Pouch-Zellen. Die BestCap-Familie von AVX ist ein Supercap mit niedrigem ESR-Impuls und niedriger Bauhöhe, basierend auf dem ungefährlichen Protonen-aktivierten Polymersystem. Sie hat einen Kapazitätsbereich von 4,7 mF bis 1 F über 2,0 V bis 20 V sowie einen ESR von 25 mΩ bis 600 mΩ. Der Betriebstemperaturbereich reicht von -20°C bis +70°C (ausgewählte Werte bieten -40°C bis +75°C).

Zylindrische Superkondensatoren weisen einen Kapazitätsbereich von 1 F bis 3.000 F auf, mit einem Betriebstemperaturbereich von -40°C bis +85°C bei Spannungen von 2,7 V bei 65°C, wobei sie bei 85°C auf 2,3 V absinken (3,0-V-Serie bis 65°C). Diese können eine hohe Pulsleistung bieten.

Die in der SCM-Familie in Reihe geschalteten (2 oder 3 Zellen) Standard-Superkondensator-Module zeichnen sich durch eine sehr hohe Kapazität, einen niedrigen ESR-Wert sowie einen niedrigen Leckstrom mit einem Kapazitätsbereich von 0,33 F bis 15 F aus. Mit der Reihenschaltung können diese einen Spannungsbereich von 5,0 V bis 9,0 V bereitstellen und sind in symmetrischer oder unsymmetrischer Ausführung erhältlich.

Der Betriebstemperaturbereich liegt bei -40°C bis +85°C. Diese Bausteine sind in mit Epoxidharz gefüllten Kunststoffverpackungen für eine längere Lebensdauer in feuchten Umgebungen erhältlich.

Prismatische Elektrolyt-Superkondensatoren Prizmacap reichen größenmäßig von 25x21 mm bis 155x85 mm, haben aber – was entscheidend ist – eine geringe Bauhöhe bis zu einer Dicke von 0,5 mm und reichen von 1 F bis 500 F mit einem Spannungsbereich von 2,1 V bei 70°C, während sie bei 90°C auf 1,1 V absinken (sie arbeiten bis -55°C). Wesentliches Merkmal dieser Superkondensatoren ist ein Leckstrom von nur 10 µA.

Angesichts vieler Geräte, die auf den 2,7-V-Betrieb ausgerichtet sind, haben die technologischen Verbesserungen von Eaton dazu geführt, dass 3,0-V-Superkondensatoren immer beliebter werden. Es handelt sich um einen Drop-in-Ersatz, jedoch sorgt die relativ geringe Änderung der Betriebsspannung bei gleicher Betriebsspannung für eine Verdopplung der erwarteten Lebensdauer und kann eine höhere Leistung als die 2,7-V-Version bewältigen. Die kleinere Größe unterstützt auch Designs mit hoher Zellenzahl, wobei 10 bis 20% weniger Zellen für die gleiche Betriebsspannung benötigt werden.

Abbildung 6: Bandbreite der Superkondensator-Formfaktoren von AVX (Quelle AVX)



Schlussfolgerung

Es gibt viele Unterschiede zwischen Superkondensatoren und Batterien, und die Superkondensator-Technologie wird oft missverstanden. Durch schnelle Aufladung und die gepulste Stromversorgung eignen sich die Bausteine für eine Vielzahl von Stromversorgungsanwendungen, von der Bereitstellung eines Speichersystems zur zuverlässigen Abschaltung und gleichzeitig sauberer Spannung bis hin zur Versorgung von Bussen oder automatisierten Fahrzeugen in Fabriken. Superkondensatoren können in kalten Umgebungen betrieben werden, in denen viele Batterien nicht funktionieren, und sie vermögen in bestimmten Anwendungen sogar Batterien vollständig zu ersetzen.

Die lineare Entladung bedeutet jedoch, dass diese Bausteine für eine Entwicklung sorgfältig dimensioniert werden müssen, um sicherzustellen, dass sie den tatsächlich benötigten Strom zur richtigen Zeit liefern können, was eine Herausforderung sein kann.

Innovationen in der Elektrodenentwicklung führen dazu, dass die Energiedichte ständig steigt, mehr Leistung in kleineren Formfaktoren für ein breiteres Anwendungsspektrum zur Verfügung steht und die Spannung steigt, um die Systemleistung noch weiter zu verbessern.



Über TTI

TTI Inc. ist der weltweit führende Spezialist für Passive und elektromechanische Bauelemente, Steckverbinder sowie Diskrete Halbleiter, Schaltnetzteile und Sensoren. Ausgewählte Lieferanten sowie unterschiedlichste Logistik-Lösungen unterstützen Kunden in den Marktsegmenten Industrie, Transportation, Luft-, Wehr-, und Raumfahrttechnik sowie in der Haushalts- und Unterhaltungselektronik.

Die Produktpalette von TTI umfasst Bauteile wie Widerstände, Kondensatoren, Steckverbinder, Diskrete Halbleiter, Opto Elektronische Bauelemente, Elektromagnetische Bauelemente sowie Bauteile für den Schaltkreisschutz. Das Angebot umfasst außerdem Kabel und Drähte – diese auch konfektioniert; Netzteile, Entwicklungskits, Sensoren und Elektromechanische Bauelemente.

Übersichten und Informationen zur Marktentwicklung und Technologie sowie Updates etc. stellt TTI über das MarketEye Research Center zur Verfügung. Kunden können hier Fachbeiträge, technische Seminare, RoHS, allgemeine Seminare, Industrieforschungsberichte und vieles mehr abrufen.

Die TTI Produktpalette, kundenorientierter Service sowie die angebotenen Logistiklösungen machen TTI zum bevorzugten Distributor (CMP Publications). Weltweit beschäftigt TTI über 5600 Mitarbeiter an mehr als 100 Standorten in Europa, Amerika und Asien.

Europäischer Hauptsitz:

TTI, Inc.
Ganghoferstr. 34
82216 Maisach-Gernlinden
Deutschland
Tel.: +49 (0)8142 6680 – 0
Fax: +49 (0)8142 6680 – 490
Email: sales@de.ttiinc.com
www.ttieurope.com

Copyright © TTI, Inc. All Rights Reserved.