

**Předmět: BPC-OZU**

**Úloha č. 4 Superkondenzátory (EDLC)**

### **Cíl úlohy**

Cílem úlohy je seznámit studenty se základními charakteristikami a parametry EDLC (Electric Double Layer Capacitor) neboli superkondenzátorů. Student proměří základní parametry superkondenzátorů (od tří různých výrobců) a porovná je vzhledem k hodnotám uváděným v technických listech.

Základní parametry superkondenzátorů:

Nominální napětí:  $U = 2,7 \text{ V}$

Nominální kapacita:  $C = 10 \text{ F}$

### **Kontrolní otázky**

Načrtněte průběh napětí,  $U = f(t)$ , na superkondenzátoru během nabíjení a vybíjení konstantním proudem, v závislosti na čase. Porovnejte tento průběh s charakteristikou lithium-iontového akumulátoru.

Jaký vnitřní odpor vykazuje vybitý superkondenzátor vzhledem k jeho možnému připojení ke zdroji napětí?

Jaký je základní fyzikální rozdíl v ukládání náboje (proudovorné reakci) mezi kondenzátorem a akumulátorem?

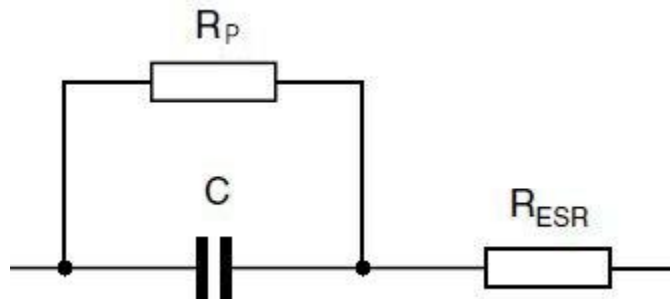
### **Zadání úlohy**

1. V úloze jsou použity superkondenzátory od tří různých výrobců (Eaton, Maxwell, Nichicon) se stejnou hodnotou nominální kapacity a napětí. Jejich technické listy naleznete v příloze. Vypište z technických listů a porovnejte následující parametry udávané jednotlivým výrobcem:
  - Vnitřní sériový odpor  $R_{ESR}$
  - Maximální proud  $I_{MAX}$
  - Unikající proud (tzv. Leakage Current)  $I_L$
2. U vybraných superkondenzátorů změřte jejich kapacitu  $C$  pomocí vybíjecí metody a porovnejte s nominální kapacitou udávanou výrobcem.
3. U vybraných superkondenzátorů změřte hodnotu vnitřního sériového odporu  $R_{ESR}$  a porovnejte s hodnotami běžných kondenzátorů. A porovnejte s hodnotami udávanými výrobcem.
4. Změřte u vybraných superkondenzátorů velikost svodového proudu  $I_L$ .

5. Vypočtete a do protokolu uveďte hodnotu energie uložené v superkondenzátoru pro hodnoty napětí **2,5 V, 2 V, 1 V a 0,5 V**. Energie mezi sebou porovnejte, zhodnoťte do jaké úrovně napětí má smysl kondenzátor vybíjet.

### Teoretický rozbor

Mezi základní parametry superkondenzátoru patří vlastní kapacita  $C$  [F], sériový odpor  $R_{ESR}$  [ $\Omega$ ] a paralelní (svodový elektrický odpor)  $R_P$  [ $\Omega$ ], schématicky jsou tyto parametry zobrazeny na Obrázku 1 níže. V ideálním případě jde hodnota  $R_{ESR} \rightarrow 0 \Omega$  a hodnota  $R_P \rightarrow \infty \Omega$ .  $R_{ESR}$  určuje míru výkonových ztrát tedy ztrátový výkon  $P_Z$  kondenzátoru (v podobě tepla), lze tedy říci míru zahřívání kondenzátoru při průchodu proudu přes jeho sériový odpor.  $R_{ESR}$  resp. ztrátový výkon  $P_Z$  je velmi důležitý parametr, jeho podcenění může vést v lepším případě k nevratné změně (ztrátě) kapacity, zkrácení životnosti a v horším případě k zničení superkondenzátoru. Ztrátový výkon vypočteme dle rovnice (1).



Obrázek 1. Schéma sério-paralelního zapojení rezistorů představuje reálný superkondenzátor.

Hodnota  $R_P$  určuje velikost svodového proudu který úzce souvisí se samovybíjením superkondenzátoru. V našich časově omezených podmínkách není možné měření paralelního svodového proudu realizovat dle specifikace, jelikož doporučená doba měření svodového proudu je 72 hodin. Rovnice (1) a (2) slouží k výpočtu ztrátového výkonu způsobeného přítomností vnitřního sériového odporu  $R_{ESR}$  a velikosti paralelního svodového proudu  $I_L$ .

$$P_Z = R_{ESR} I_L^2 \quad [\text{W}] \quad (1)$$

kde

$P_Z$  ... ztrátový výkon [W]

$I_L$  ... svodový proud (Leakage Current) [A]

$R_P$  ... paralelní svodový odpor [ $\Omega$ ]

$\Delta U$  ... pokles napětí superkondenzátoru naprázdno za definovaný čas [V]

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{I \cdot t}{U} \rightarrow I_L = \frac{C \cdot \Delta U}{t} \quad [\text{A}] \quad (2)$$

kde

$I_L$  ... svodový proud (Leakage Current) [A]

$C$  ... nominální kapacita kondenzátoru [F]

$t$  ... čas za který poklesu došlo [s]

$\Delta U$  ... pokles napětí superkondenzátoru naprázdno za definovaný čas [V]

Energie uložená v superkondenzátoru, přesněji elektrická potenciální energie, se vypočte podle vztahu (3) nebo (4) v jednotkách watthodin pro lepší představu.

$$E = \frac{1}{2} C V^2 \quad [\text{J}] \quad (3)$$

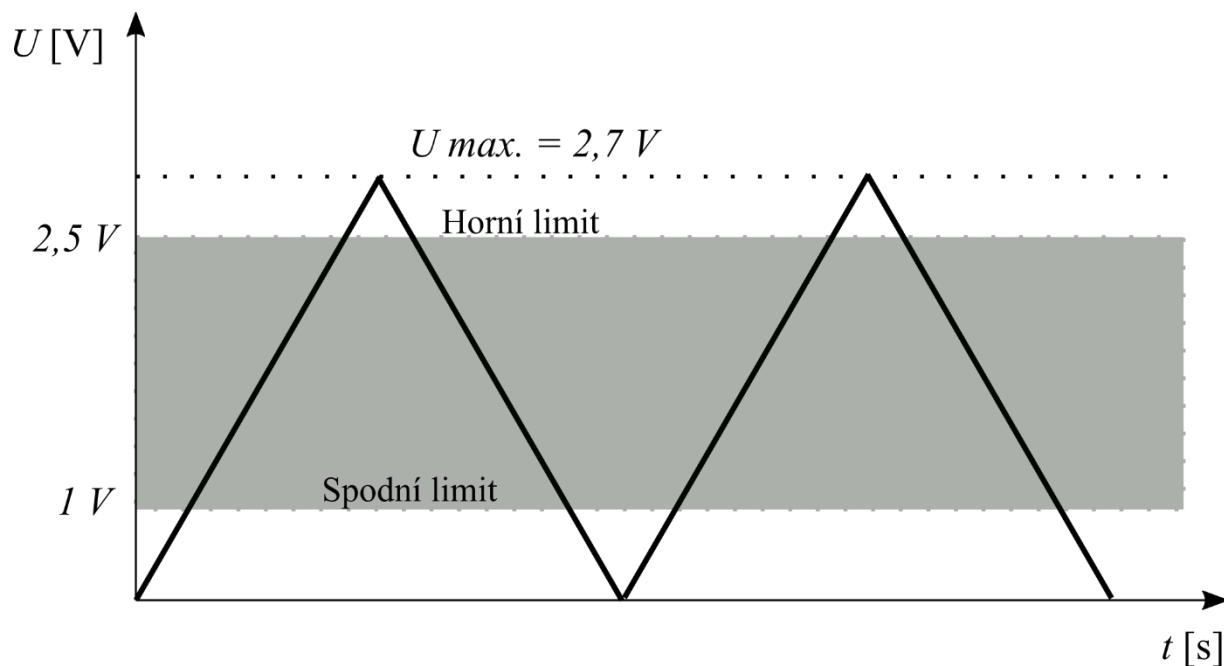
$$E = \frac{\frac{1}{2} C V^2}{3600} [\text{Wh}] \quad (4)$$

kde

$C$  ... jmenovitá kapacita kondenzátoru [F]

$V$  ... napětí kondenzátoru [V]

Jak je patrné z rovnic (3 a 4), pokud napětí superkondenzátoru klesne na jednu polovinu jmenovitého napětí, zbývající energie uložená v superkondenzátoru klesne pouze na 25% původní energie. Z tohoto důvodu je vhodné volit pracovní rozsah superkondenzátoru např. od hodnoty jmenovitého napětí (2,7 V) do poloviny hodnoty jmenovitého napětí (1,3 V) nebo jak ukazuje Obrázek 2 od hodnoty 2,5 V do 1 V.



Obrázek 2. Nabíjecí a vybíjecí charakteristika superkondenzátoru s vyznačenou optimální operační oblastí.

Každý kondenzátor podléhá stárnutí, které se projevuje úbytkem kapacity. Stárnutí a následný úbytek kapacity superkondenzátoru je ovlivňován mnoha faktory, mezi nejzásadnější patří teplota okolí a pracovní napětí na svorkách superkondenzátoru. V případě elektrolytických kondenzátorů, které jsou svojí podstatou superkondenzátorům nejbližší dochází při zvýšení teploty k degradaci (rozkladu) elektrolytu. V případě že na svorky superkondenzátoru umístíme napětí větší nežli maximální napětí dovolené výrobcem (přepětí) dochází opět na rozhraní elektroda-elektrolyt k rozkladu elektrolytu. Při tepelné nebo přepětíové degradaci se část elektrolytu změní na plyn, který způsobí nafouknutí a následné prasknutí těla kondenzátoru.

Ověření kapacity superkondenzátoru lze provést dle specifikace pomocí odečtu poklesu napětí v definovaném časovém rozmezí (Obrázek 3). Pro výpočet kapacity dosadíme změřené hodnoty do rovnice (5).

$$C = \frac{I_{vyb.} \cdot (t_1 - t_2)}{U_2 - U_1} \quad [F] \quad (5)$$

$$I_{vyb.} = 0,1C \quad [A] \quad (6)$$

kde

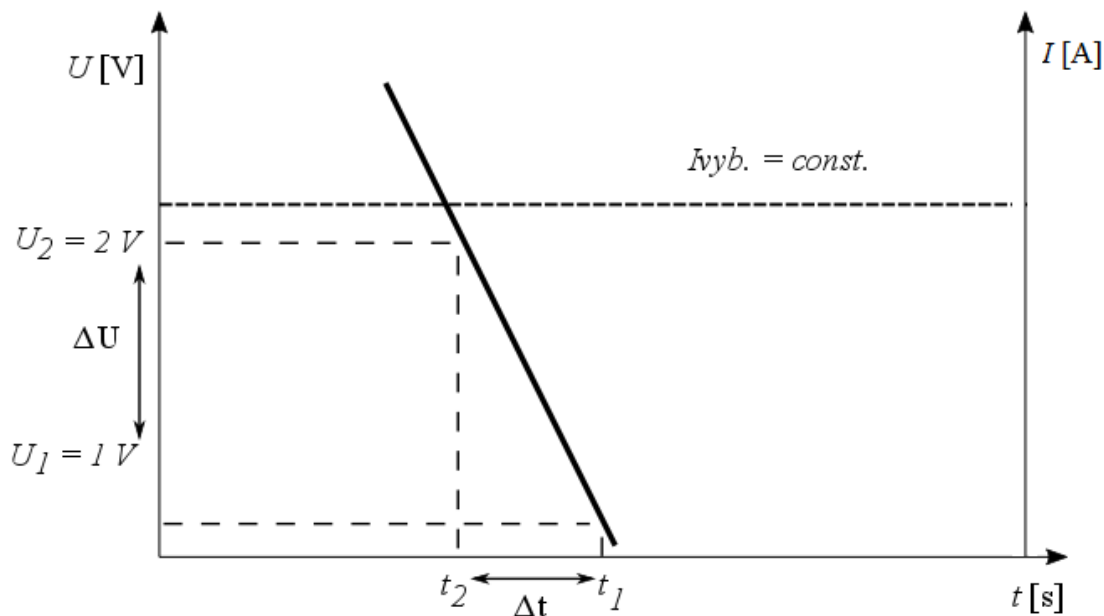
$U_2 = 2 \text{ V}$ ,  $U_1 = 1 \text{ V}$  představuje pokles napětí o  $\Delta U = 1 \text{ V}$

$t_2$  ... odpovídá napětí  $U_2$

$t_1$  ... odpovídá napětí  $U_1$

$I_{vyb}$  ... vybíjecí proud pro rovnici (5) dostaneme z rovnice (6)

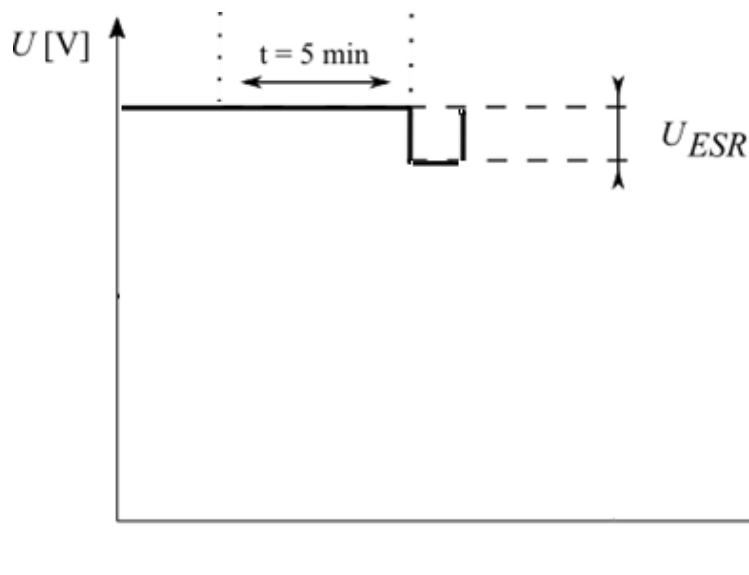
$C$  ... jmenovitá kapacita testovaného superkondenzátoru [F]



Obrázek 3. Vybíjecí charakteristika pro výpočet kapacity superkondenzátoru.

Vnitřní sériový odpor (ESR) lze měřit za pomoci tzv. vybíjecí metody. Na začátku vybíjecího cyklu dochází k prudkému poklesu napětí  $U_{ESR}$ , viz Obrázek 4. Tento pokles napětí je způsoben sériovým odporem superkondenzátoru resp. úbytkem napětí ( $U_{ESR}$ ) právě na tomto imaginárním rezistoru  $R_{ESR}$  reprezentujícím sériový odpor kondenzátoru. Pro výpočet  $R_{ESR}$  použijeme vzorec (7) níže.

$$R_{ESR} = \frac{U_{ESR}}{I_{vyb.}} \quad [\Omega] \quad (7)$$



Obrázek 4. Úbytek napětí na vybíjecí charakteristice způsobený vnitřním sériovým odporem superkondenzátoru ( $R_{ESR}$ ).

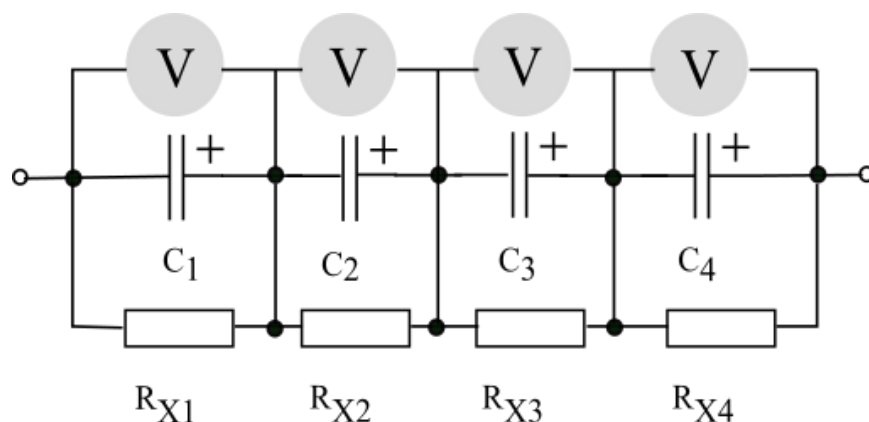
Pro většinu aplikací je nominální napětí superkondenzátoru (2,7 V) nedostatečné, proto jsou často superkondenzátory zapojeny do série. Jelikož jsou superkondenzátory zatíženy výrobním technologickým rozptylem, liší se v rámci tolerance např. o  $\pm 20 \%$  z nominální hodnoty kapacity superkondenzátoru, případně hodnotou vnitřního sériového odporu ( $R_{ESR}$ ). Tento značný výrobní technologický rozptyl je vhodné kompenzovat výběrem jednotlivých kusů superkondenzátorů které se od sebe svými parametry co nejméně liší (platí především pro sériové zapojení).

Důsledkem technologického rozptylu může být nerovnoměrné rozložení napětí na jednotlivých superkondenzátorech zapojených do série. Jak bylo zmíněno dříve, je velmi důležité zajistit přesné napětí na jednotlivých kondenzátorech a to především aby hodnota napětí nepřevýšila maximální jmenovité napětí superkondenzátoru udávané výrobcem.

Pokud je maximální napětí superkondenzátoru udávané výrobcem překročeno, dochází k přebíjení superkondenzátoru, toto přebíjení vede k dekompozici elektrolytu (vzniku plynu), zvyšování  $R_{ESR}$ , snižování kapacity a výraznému snížení životnosti superkondenzátoru. Hodnota svodového proudu závisí na velikosti paralelního odporu  $R_P$ , superkondenzátory které mají nižší  $R_P$  tedy vyšší svodový proud se rychleji vybíjejí a zvyšují tak napětí na dalších superkondenzátorech zapojených do série, což vede opět k přepětí a degradaci superkondenzátoru.

Tomuto nežádoucímu jevu lze zabránit pomocí vyrovnávacích (balančních) rezistorů. Tyto vyrovnávací (překlenovací) rezistory jsou připojeny paralelně k jednotlivým superkondenzátorům. Všechny rezistory mají stejnou hodnotou elektrického odporu, tím dochází k rovnoměrnému vyrovnávání svodového odporu  $R_P$  jednotlivých superkondenzátorů což vede ke kompenzaci svodových proudů. A naopak, tyto rezistory pomáhají rovnoměrně rozkládat napětí na jednotlivých kondenzátorech a to tím způsobem že superkondenzátor s vyšším napětím vybíjí přes balanční rezistor rychleji, oproti tomu superkondenzátor s nižším napětím se vybíjí

přes rezistor o stejné hodnotě pomaleji. Pasivní odporový vyrovnávač (balancer) je zobrazen na Obrázku 5 níže.



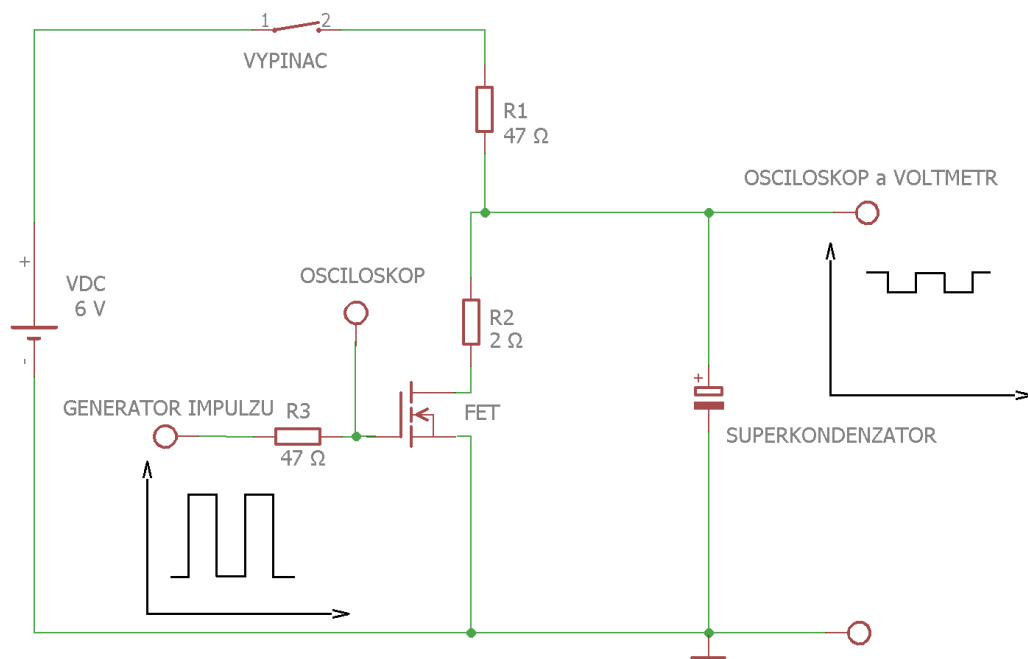
Obrázek 5. Schématické zapojení superkondenzátorů s pasivním odporovým vyrovnávačem (balancerem).

### Postup měření

**Vždy dodržujte vyznačenou polaritu superkondenzátorů při jejich zapojování!**

#### A) Měření sériového odporu superkondenzátoru $R_{ESR}$

- 1) Sestavte obvod pro měření vnitřního sériového odporu superkondenzátoru  $R_{ESR}$  impulzní metodou dle Obrázku 6.
- 2) Připojte do obvodu voltmetr a oba vstupní kanály osciloskopu viz Obrázek 6.
- 3) Na kanálu 1 (CH1) a kanálu 2 (CH2) nastavte vstupní vazbu „DC coupling“ pro pozorování úrovně řídicího signálu FET a měření změny úbytku napětí na superkondenzátoru.
- 4) Generátor impulzů pouze připojte do obvodu (neměňte jeho nastavení), pomocí osciloskopu se ujistěte o parametrech signálu: frekvence  $f = 270$  Hz, řídicí napětí FET je nastaveno na 10 V, dle Obrázku 8.
- 5) Nabijte superkondenzátor na přibližně  $2,3 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$ . Z osciloskopu odečítáme úbytek napětí na superkondenzátoru  $U_{ESR}$  (zapišeme) při sepnutí pulzně řízeného FET tranzistoru a vypočteme vnitřní sériový odpor dle rovnice (7)  $I_{vyb.} = 2 \text{ A}$ .
- 6) Postup opakujeme pro každý superkondenzátor.

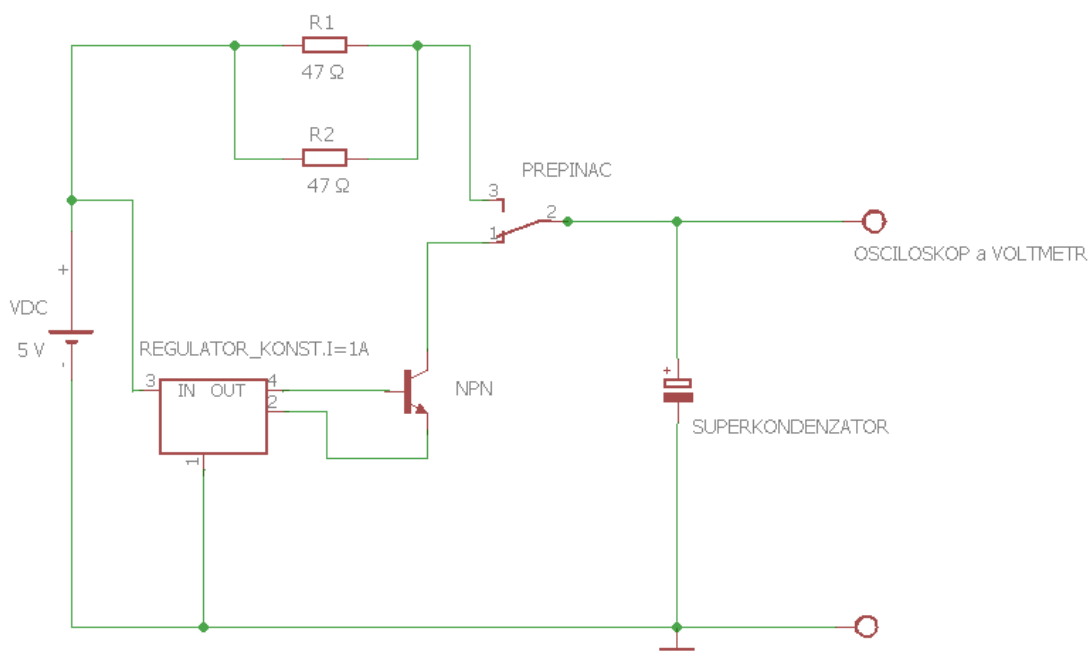


Obrázek 6. Schéma zapojení obvodu pro měření  $R_{ESR}$  superkondenzátoru pulzní metodou.

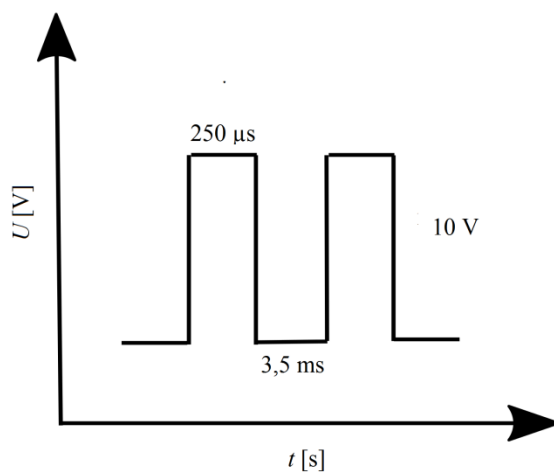
#### B) Měření kapacity superkondenzátoru

- 1) Sestavte obvod pro měření kapacity dle schématu na Obrázku 7.
- 2) Připojte do obvodu superkondenzátor který nabijte (přepínač v poloze 3) na přibližně 2,2 V (hodnotu si poznačte).
- 3) Superkondenzátor připojte k zátěži (přepínač v poloze 1) a sledujte průběh vybíjecí charakteristiky na osciloskopu a voltmetru.
- 4) Nastavte na vstupu osciloskopu stejnosměrnou vazbu „DC coupling“, na kanálu 1 osciloskopu (CH1) nastavte časovou základu 2 s/dílek, vertikální rozlišení 500 mV/dílek. Vybíjecí proud  $I_{vyb} = 1$  A je konstantní.
- 5) Vybíjejte superkondenzátor dokud hodnota napětí neklesne přibližně na 0,8 V. Odečtěte dobu  $\Delta t$  [s] za kterou poklesne napětí na superkondenzátoru z 2 V na 1 V a hodnotu zapište viz Obrázek 3. Vypočtěte kapacitu superkondenzátoru dle rovnice (5).





Obrázek 7. Schéma zapojení obvodu pro měření kapacity superkondenzátoru konstantním proudem  $I = 1 \text{ A}$ .



Obrázek 8. Parametry řídicího pulzu o frekvenci 270 Hz. Frekvence řídicího napětí FET se může lehce lišit, musí se nacházet v intervalu 200 Hz až 300 Hz. Impulzu pro otevírání FET (zde 250 μs) by měl být co nejkratší.

### C) Měření svodového proudu $I_L$ (Leakage Current) superkondenzátoru

- 1) U vybraných vzorku superkondenzátorů proveďte měření svodového proudu  $I_L$ .
- 2) Superkondenzátory nabijte na napětí přibližně 2,2 V (přesnou hodnotu si zaznamenejte).

- 3) Superkondenzátor vyjměte z obvodu a odložte tak aby se jeho svorky nezkratovaly.
  - 4) Po 15 minutách změřte svorkové napětí superkondenzátoru znovu a zaznamenejte.
  - 5) Spočtete rozdíl napětí  $\Delta U$  a za pomoci vzorce (2) vypočtete svodový proud  $I_L$  daného superkondenzátoru.
- D) Všechny změřené a vypočtené parametry superkondenzátorů od všech výrobců (Eaton, Maxwell, Nichicon) mezi sebou porovnejte. Tyto hodnoty také porovnejte s údaji uváděnými v technických listech superkondenzátorů jednotlivých výrobců.

## Příloha

## DATASHEET HC SERIES ULTRACAPACITORS

## FEATURES AND BENEFITS\*

- Up to 500,000 duty cycles or 10 year life
- Low internal resistance
- High power density
- 1F to 150F capacitance range
- -40° to 85°C operating temperature range

## TYPICAL APPLICATIONS

- Back-up power for cache-to-flash applications
- Smart Meters
- Automotive subsystems
- Consumer and industrial electronics
- Wireless transmitters



## PRODUCT SPECIFICATIONS

ELECTRICAL	BCAP0001	BCAP0003	BCAP0005	BCAP0010 T01/T11/T12
Rated Capacitance <sup>1</sup>	1 F	3.3 F	5 F	10 F
Minimum Capacitance, initial <sup>1</sup>	0.8 F	2.6 F	4.0 F	8.0 F
Maximum ESR <sub>DC</sub> , initial <sup>1</sup>	700 mΩ	290 mΩ	170 mΩ	75 mΩ
Test Current for Capacitance and ESR <sub>DC</sub> <sup>1</sup>	0.1 A	0.33 A	0.5 A	1 A
Rated Voltage (65°/85°C)	2.70 / 2.30 V	2.70 / 2.30 V	2.70 / 2.30 V	2.70 / 2.30 V
Absolute Maximum Voltage <sup>2</sup>	2.85 V	2.85 V	2.85 V	2.85 V
Absolute Maximum Current	0.8 A	1.9 A	3.2 A	7.2 A
Leakage Current at 25°C, maximum <sup>3</sup>	0.006 mA	0.012 mA	0.015 mA	0.030 mA
TEMPERATURE				
Operating temperature range (Cell case temperature)				
Minimum	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C
Maximum	65° / 85°C	65° / 85°C	65° / 85°C	65° / 85°C
Storage temperature range (Stored uncharged)				
Minimum	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C
Maximum	70°C	70°C	70°C	70°C
PHYSICAL				
Mass, typical	1.1 g	1.7 g	2.3 g	3.5 g
Terminals	Wire Leads	Wire Leads	Wire Leads	Wire Leads
Vibration	-	-	-	-
Shock	-	-	-	-

\*Results may vary. Additional terms and conditions, including the limited warranty, apply at the time of purchase. See the warranty details and enclosed information for applicable operating and use requirements.

## DATASHEET HC SERIES ULTRACAPACITORS

### PRODUCT SPECIFICATIONS (Cont'd)

ELECTRICAL	BCAP0025 T01/T11	BCAP0050	BCAP0100 T01	BCAP0100 T07	BCAP0150
Rated Capacitance <sup>1</sup>	25 F	50 F	100 F	100 F	150 F
Minimum Capacitance, initial <sup>1</sup>	25 F	50 F	100 F	100 F	150 F
Maximum ESR <sub>DC</sub> , initial <sup>1</sup>	42 mΩ	20 mΩ	15 mΩ	15 mΩ	14 mΩ
Test Current for Capacitance and ESR <sub>DC</sub> <sup>1</sup>	2.5 A	5 A	10 A	10 A	15 A
Rated Voltage (65°/85°C)	2.70 / 2.30 V	2.70 / 2.30 V	2.70 / 2.30 V	2.70 / 2.30 V	2.70 / 2.30 V
Absolute Maximum Voltage <sup>2</sup>	2.85 V	2.85 V	2.85 V	2.85 V	2.85 V
Absolute Maximum Current	20 A	27 A	36 A	36 A	40 A
Leakage Current at 25°C, maximum <sup>3</sup>	0.045 mA	0.075 mA	0.260 mA	0.260 mA	0.500 mA
TEMPERATURE					
Operating temperature range (Cell case temperature)					
Minimum	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C
Maximum	65° / 85°C	65° / 85°C	65° / 85°C	65° / 85°C	65° / 85°C
Storage temperature range (Stored uncharged)					
Minimum	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C
Maximum	70°C	70°C	70°C	70°C	70°C
PHYSICAL					
Mass, typical	7.5 g	13 g	23 g	22 g	32 g
Terminals	Wire Leads	Wire Leads	Wire Leads	Snap In	Snap in
Vibration	-	-	-	-	-
Shock	-	-	-	-	-

## DATASHEET HC SERIES ULTRACAPACITORS

### PRODUCT SPECIFICATIONS (Cont'd)

POWER & ENERGY AT 2.7V	BCAP0001	BCAP0003	BCAP0005	BCAP0010 T01/T11/T12
Usable Specific Power, $P_d^4$	1,100 W/kg	1,800 W/kg	2,200 W/kg	3,300 W/kg
Impedance Match Specific Power, $P_{max}^5$	2,400 W/kg	3,700 W/kg	4,700 W/kg	6,900 W/kg
Specific Energy, $E_{max}^6$	0.9 Wh/kg	2.0 Wh/kg	2.2 Wh/kg	2.9 Wh/kg
Stored Energy, $E_{stored}^{7,11}$	0.001 Wh	0.003 Wh	0.005 Wh	0.010 Wh
<b>SAFETY</b>				
Short Circuit Current, typical (Current possible with short circuit from rated voltage. Do not use as an operating current.)	4 A	9 A	16 A	36 A
Certifications	UL810a, RoHS	UL810a, RoHS	UL810a, RoHS	UL810a, RoHS

### TYPICAL CHARACTERISTICS

<b>THERMAL CHARACTERISTICS</b>				
Thermal Resistance ( $R_{\theta JA}$ , Case to Ambient), typical <sup>a</sup>	120°C/W	76°C/W	73°C/W	43°C/W
Thermal Capacitance ( $C_{th}$ ), typical	1.0 J/°C	1.4 J/°C	2.0 J/°C	3.6 J/°C
Maximum Continuous Current ( $\Delta T = 15^\circ\text{C}$ ) <sup>b</sup>	0.4 A <sub>RMS</sub>	0.8 A <sub>RMS</sub>	1.1 A <sub>RMS</sub>	2.2 A <sub>RMS</sub>
Maximum Continuous Current ( $\Delta T = 40^\circ\text{C}$ ) <sup>b</sup>	0.7 A <sub>RMS</sub>	1.3 A <sub>RMS</sub>	1.8 A <sub>RMS</sub>	3.5 A <sub>RMS</sub>

## DATASHEET HC SERIES ULTRACAPACITORS

### PRODUCT SPECIFICATIONS (Cont'd)

POWER & ENERGY AT 2.7V	BCAP0025 T01/T11	BCAP0050	BCAP0100 T01	BCAP0100 T07	BCAP0150
Usable Specific Power, $P_d^4$	2,800 W/kg	3,400 W/kg	2,500 W/kg	2,700 W/kg	2,000 W/kg
Impedance Match Specific Power, $P_{max}^5$	5,800 W/kg	7,000 W/kg	5,300 W/kg	5,500 W/kg	4,100 W/kg
Specific Energy, $E_{max}^6$	3.4 Wh/kg	3.9 Wh/kg	4.4 Wh/kg	4.6 Wh/kg	4.7 Wh/kg
Stored Energy, $E_{stored}^{7,11}$	0.025 Wh	0.051 Wh	0.101 Wh	0.101 Wh	0.152 Wh

### SAFETY

Short Circuit Current, typical (Current possible with short circuit from rated voltage. Do not use as an operating current.)	64 A	140 A	180 A	180 A	190 A
Certifications	UL810a, RoHS	UL810a, RoHS	UL810a, RoHS	UL810a, RoHS	UL810a, RoHS

### TYPICAL CHARACTERISTICS

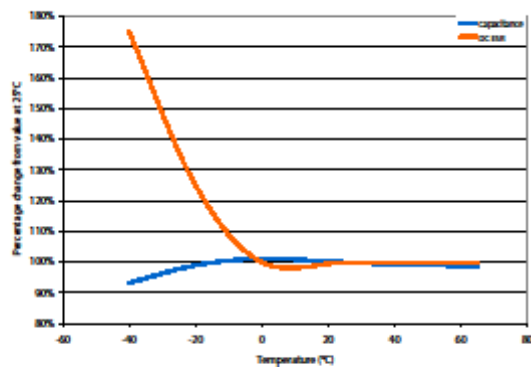
THERMAL CHARACTERISTICS					
Thermal Resistance ( $R_{\theta JA}$ , Case to Ambient), typical <sup>a</sup>	47°C/W	26°C/W	22°C/W	22°C/W	18°C/W
Thermal Capacitance ( $C_{\theta JA}$ ), typical	6.3 J/°C	13 J/°C	23 J/°C	23 J/°C	32
Maximum Continuous Current ( $\Delta T = 15^\circ\text{C}$ ) <sup>b</sup>	2.8 A <sub>RMS</sub>	5.4 A <sub>RMS</sub>	6.7 A <sub>RMS</sub>	6.7 A <sub>RMS</sub>	7.7 A <sub>RMS</sub>
Maximum Continuous Current ( $\Delta T = 40^\circ\text{C}$ ) <sup>b</sup>	4.5 A <sub>RMS</sub>	8.8 A <sub>RMS</sub>	11 A <sub>RMS</sub>	11 A <sub>RMS</sub>	13 A <sub>RMS</sub>

## DATASHEET HC SERIES ULTRACAPACITORS

### TYPICAL CHARACTERISTICS (Cont'd)

LIFE	BCAP0001	BCAP0003	BCAP0005	BCAP0010 T01/T11/T12
<b>DC Life at High Temperature<sup>1</sup></b> (held continuously at Rated Voltage & Maximum Operating Temperature)	1,000 hours	1,000 hours	1,000 hours	1,000 hours
Capacitance Change (% decrease from minimum initial value)	30%	30%	30%	30%
ESR Change (% increase from maximum initial value)	100%	100%	100%	100%
<b>Projected DC Life at 25°C<sup>1</sup></b> (at Rated Voltage & 25°C)	10 years	10 years	10 years	10 years
Capacitance Change (% decrease from minimum initial value)	30%	30%	30%	30%
ESR Change (% increase from maximum initial value)	100%	100%	100%	100%
<b>Projected Cycle Life at 25°C<sup>1,9,10</sup></b>	500,000 cycles	500,000 cycles	500,000 cycles	500,000 cycles
Capacitance Change (% decrease from minimum initial value)	30%	30%	30%	30%
ESR Change (% increase from maximum initial value)	100%	100%	100%	100%
Test Current	0.1 A	0.33 A	0.5 A	1.0 A
<b>Shelf Life</b> (Stored uncharged at 25°C)	2 years	2 years	2 years	2 years

### ESR AND CAPACITANCE VS TEMPERATURE



## DATASHEET HC SERIES ULTRACAPACITORS

### TYPICAL CHARACTERISTICS (Cont'd)

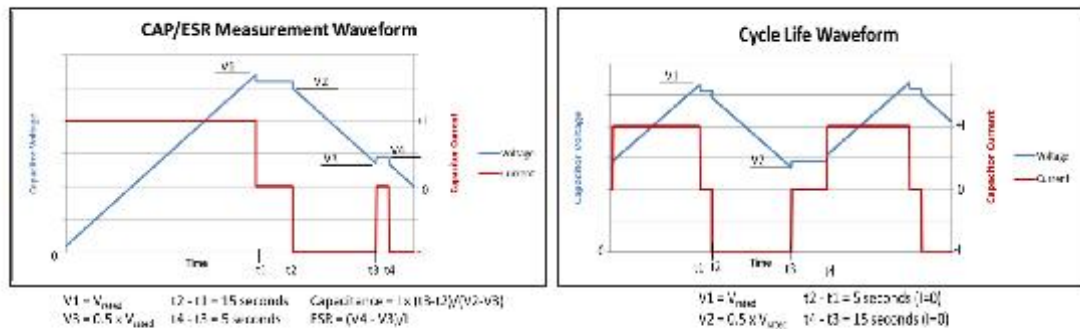
LIFE	BCAP0025 T01/ T11	BCAP0050	BCAP0100 T01	BCAP0100 T07	BCAP0150
<b>DC Life at High Temperature<sup>1</sup></b> (at Rated Voltage & Maximum Operating Temperature)	1,000 hours	1,000 hours	1,000 hours	1,000 hours	1,000 hours
Capacitance Change (% decrease from minimum initial value)	30%	30%	30%	30%	30%
ESR Change (% increase from maximum initial value)	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Projected DC Life at 25°C<sup>1</sup></b> (at Rated Voltage & 25°C)	10 years	10 years	10 years	10 years	10 years
Capacitance Change (% decrease from minimum initial value)	30%	30%	30%	30%	30%
ESR Change (% increase from maximum initial value)	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Projected Cycle Life at 25°C<sup>1,9,10</sup></b>	500,000 cycles	500,000 cycles	500,000 cycles	500,000 cycles	500,000 cycles
Capacitance Change (% decrease from minimum initial value)	30%	30%	30%	30%	30%
ESR Change (% increase from maximum initial value)	100%	100%	100%	100%	100%
Test Current	2.5 A	5 A	10 A	10 A	15 A
<b>Shelf Life</b> (Stored uncharged at 25 °C)	2 years	2 years	2 years	2 years	2 years

### NOTES

1. Capacitance and  $ESR_{DC}$  measured at 25°C using specified test current per waveform below.
2. Absolute maximum voltage, non-repeated. Not to exceed 1 second.
3. After 72 hours at rated voltage. Initial leakage current can be higher.
4. Per IEC 62391-2,  $P_d = \frac{0.12V^2}{ESR_{DC} \times \text{mass}}$
5.  $P_{max} = \frac{V^2}{4 \times ESR_{DC} \times \text{mass}}$
6.  $E_{max} = \frac{\frac{1}{2} CV^2}{3,600 \times \text{mass}}$
7.  $E_{stored} = \frac{\frac{1}{2} CV^2}{3,600}$
8.  $\Delta T = I_{RMS}^2 \times ESR \times R_{\theta JA}$
9. Cycle using specified test current per waveform below.
10. Cycle life varies depending upon application-specific characteristics. Actual results will vary.
11. Per United Nations material classification UN3499, all Maxwell ultracapacitors have less than 10 Wh capacity to meet the requirements of Special Provisions 361. Both individual ultracapacitors and modules composed of those ultracapacitors shipped by Maxwell can be transported without being treated as dangerous goods (hazardous materials) under transportation regulations.



## DATASHEET HC SERIES ULTRACAPACITORS



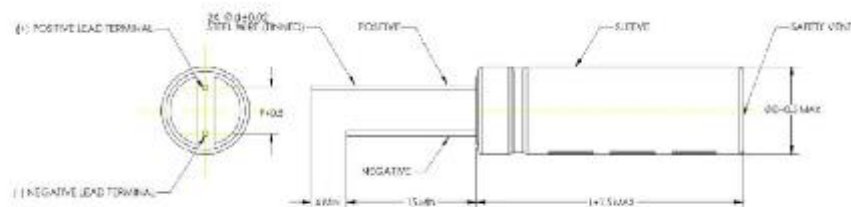
### MOUNTING RECOMMENDATIONS

Please refer to the user manual for installation recommendations.

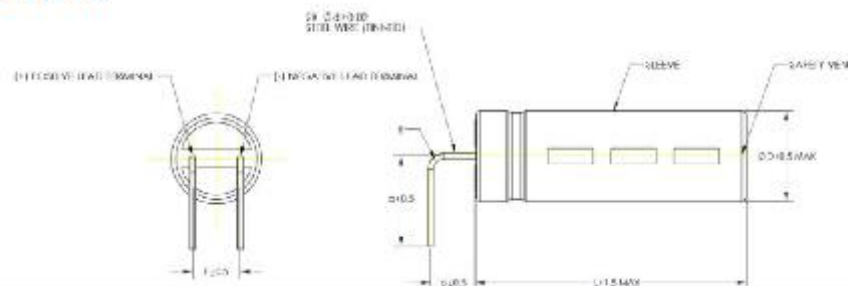
### MARKINGS

Products are marked with the following information:  
 Rated capacitance, rated voltage, product number, name of manufacturer, negative terminal, warning marking, serial number.

### BCAP0001, 3, 5, 10, 25, 50, 100 (T01)

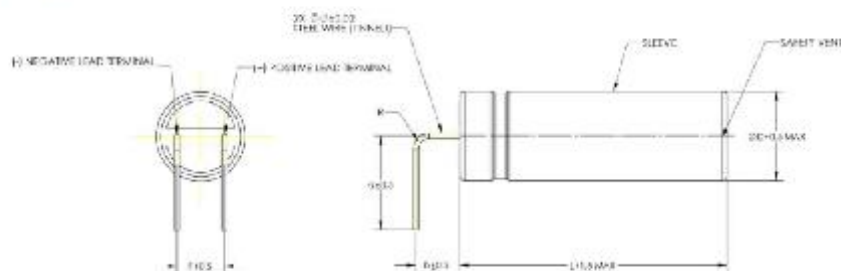


### BCAP0010, 25 (T11)



## DATASHEET HC SERIES ULTRACAPACITORS

### BCAP0010 (T12)

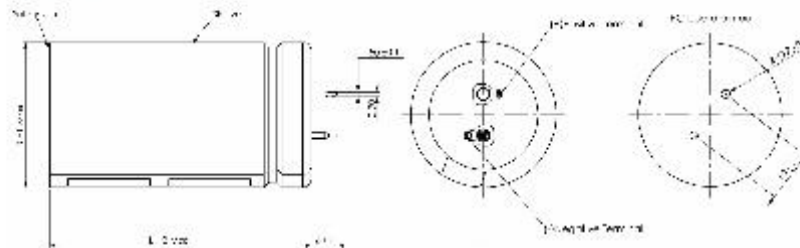


Product dimensions are for reference only unless otherwise identified. Product dimensions and specifications may change without notice. Please contact Maxwell Technologies directly for any technical specifications critical to application.

Part Description	Dimensions (mm)							Package Quantity
	L	D	d	F	R	a	b	
BCAP0001 P270 T01	12	8	0.6	3.8	-	-	-	4,000
BCAP0003 P270 T01	20	10	0.6	5	-	-	-	4,000
BCAP0005 P270 T01	20	10	0.6	5	-	-	-	4,000
BCAP0010 P270 T01	30	10	0.6	5	-	-	-	3,000
BCAP0010 P270 T11	30	10	0.6	5	1.5	10.5	5	1,600
BCAP0010 P270 T12	30	10	0.6	5	1.5	10.5	5	1,600
BCAP0025 P270 T01	26	16	0.8	7.5	-	-	-	1,300
BCAP0025 P270 T11	26	16	0.8	7.5	2	11.6	8.4	975
BCAP0050 P270 T01	40	18	0.8	7.5	-	-	-	800
BCAP0100 P270 T01	45	22	1	9.5	-	-	-	400

# DATASHEET HC SERIES ULTRACAPACITORS

## BCAP0100, 150 (T07)



Part Description	Dimensions (mm)				Package Quantity
	L	D	d	F	
BCAP0100 P270 T07	45	22	-	-	400
BCAP0150 P270 T07	50	25	-	-	400

Product dimensions are for reference only unless otherwise identified. Product dimensions and specifications may change without notice. Please contact Maxwell Technologies directly for any technical specifications critical to application. All products featured on this datasheet are covered by the following U.S. patents and their respective foreign counterparts: 6525924, 6643119, 7295423, 7342770, 7352558, 7384433, 7492571, 7508651, 7791860, 7791861, 7883553, 7935155, 8072734, 8279580, and patents pending.



**Maxwell Technologies, Inc.**  
**Global Headquarters**  
 3888 Calle Fortunada  
 San Diego, CA 92123  
 USA  
 Tel: +1 858 503 3300  
 Fax: +1 858 503 3301



**Maxwell Technologies SA**  
 Route de Montana 65  
 CH-1728 Rossens  
 Switzerland  
 Tel: +41 (0)26 411 85 00  
 Fax: +41 (0)26 411 85 05



**Maxwell Technologies, GmbH**  
 Leopoldstrasse 244  
 80807 München  
 Germany  
 Tel: +49 (0)89 / 4161403 0  
 Fax: +49 (0)89 / 4161403 99



**Maxwell Technologies**  
**Shanghai Trading Co. Ltd.**  
 Unit A2,C 12th Floor  
 Huarun Times Square  
 500 Zhangyang Road,  
 Pudong New Area  
 Shanghai 200122,  
 P.R. China  
 Phone: +86 21 3852 4000  
 Fax: +86 21 3852 4099



**Maxwell Technologies Korea Co., Ltd.**  
 Room 1524, D-Cube City  
 Office Tower, 15F #662  
 Gyeongin-Ro, Guro-Gu,  
 Seoul, 152-706  
 South Korea  
 Phone: +82 10 4518 9829

MAXWELL TECHNOLOGIES, MAXWELL, MAXWELL CERTIFIED INTEGRATOR, ENABLING ENERGY'S FUTURE, BOOSTCAP, C-CELL, D-CELL and their respective designs and/or logos are either trademarks or registered trademarks of Maxwell Technologies, Inc. and may not be copied, imitated or used, in whole or in part, without the prior written permission Maxwell Technologies, Inc. All contents copyright © 2013 Maxwell Technologies, Inc. All rights reserved. No portion of these materials may be reproduced in any form, or by any means, without prior written permission from Maxwell Technologies, Inc.

Technical Data 4376

Effective May 2016  
Supersedes October 2015

# HV Supercapacitors

## Cylindrical cells



### Features

- Ultra low ESR for high power density
- UL recognized

### Applications

- Electric, Gas, Water smart meters
- Controllers
- RF radio power
- Solar capture
- Storage servers
- Pulse power
- Backup power

### Description

Eaton supercapacitors are high reliability, high power, ultra-high capacitance energy storage devices utilizing electrochemical double layer capacitor (EDLC) construction combined with proprietary materials and processes. This combination of advanced technologies allows Eaton to offer a wide variety of capacitor solutions tailored to applications for backup power, pulse power and hybrid power systems. They can be applied as the sole energy storage or in combination with batteries to optimize cost, life time and run time. System requirements can range from a few microwatts to megawatts. All products feature low ESR for high power density with environmentally friendly materials for a green power solution. Eaton supercapacitors are maintenance-free with design lifetimes up to 20 years and operating temperatures down to -40 °C and up to +85 °C.

**Technical Data 4376**  
 Effective May 2016

**HV supercapacitors**  
**Cylindrical cells**
**Ratings**

Capacitance	1.0 F to 100 F
Maximum working voltage	2.7 V
Surge voltage	3.0 V
Capacitance tolerance	-10% to +30%
Operating temperature range	-40 °C to +65 °C
Extended temperature range	-40 °C to +85 °C (with linear voltage derating to 2.3 V @ 85 °C)

**Specifications**

Capacitance <sup>1</sup> (F)	Part Number	Maximum Initial ESR <sup>2</sup> (Ω)	Nominal Leakage Current <sup>3</sup> (μA)	Stored Energy <sup>3</sup> (mWh)	Peak Power <sup>4</sup> (W)	Pulse Current <sup>5</sup> (A)	Continuous Current <sup>6</sup> (A)	Typical Thermal Resistance <sup>7</sup> , Rth (°C/W)	Short Circuit Current <sup>8</sup> (A)
1	HV0810-2R7105-R	0.200	10	1.0	9.1	1.1	0.8	120	14
3	HV0820-2R7305-R	0.080	15	3.0	23	3.3	1.6	76	34
5	HV1020-2R7505-R	0.040	20	5.1	46	5.6	2.3	73	68
6	HV0830-2R7605-R	0.040	20	6.1	46	6.5	2.8	47	68
10	HV1030-2R7106-R	0.034	23	10	54	10	3.3	40	79
15	HV1325-2R7156-R	0.030	23	15	61	14	3.1	53	90
25	HV1625-2R7256-R	0.027	45	25	68	20	3.4	47	100
35	HV1245-2R7356-R	0.020	51	35	91	28	5.8	22	135**
35	HV1635-2R7356-R	0.024	51	35	76	26	4.0	39	113
60	HV1840-2R7606-R	0.018	110	61	101	39	5.7	26	150**
100	HV1860-2R7107-R	0.012	260	101	152	61	11	10	225**

\*\* Repeated short circuit current will permanently damage the leads and cause an open failure.

**Performance**

Parameter	Capacitance change (% of initial value) <sup>1</sup>	ESR (% of maximum initial value)
Life (1000 hours @ +65 °C @ 2.7 Vdc)	≤ 30%	≤ 200%
Storage (3 years, uncharged, <+35 °C)	≤ 5%	≤ 110%
Cycle Life <sup>9</sup> (500,000 cycles)	≤ 30%	≤ 200%

1. Capacitance and Equivalent Series Resistance (ESR) measured according to IEC62391-1 at +20 °C, with current in milliamperes (mA) = 0°C/V

2. Leakage current at 20 °C after 72 hour charge and hold

3. Energy (mWh) =  $\frac{1}{2} C V^2 \times 1000$

4. Peak Power (W) =  $\frac{V^2}{4 \times ESR}$

5. Pulse Current in Amperes (A), 1 second discharge from rated voltage to half rated voltage =  $\frac{16 C V}{(1 + ESR \times Q)}$

6. Continuous current with a 15 °C temperature rise. Continuous current (A) =  $\sqrt{\frac{P}{R_{th}}}$

7. Thermal resistance (Rth) cell body temperature to ambient in open air in degrees C per Watt (°C/W)

8. Short circuit current is for safety information only. Do not use as operating current.

9. Cycling between rated voltage and half voltage, 3 seconds rest at +20 °C

**Safety and Certifications**

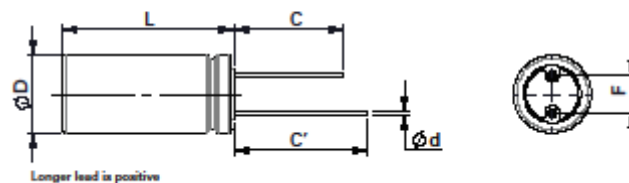
Regulatory	UL810a, RoHS
Warnings	Do not overvoltage, do not reverse polarity
Shipping	UN3499, <1.3Wh, Non-hazardous goods

# HV supercapacitors Cylindrical cells

Technical Data 4376  
Effective May 2016

## Dimensions (mm)

Part Number	ØD nominal	ØD maximum	L maximum	F ±0.50	Ød ±0.02	C minimum	C' minimum	Typical mass (grams/pieces)
HV0610-2R710S-R	8.0	8.5	13.5	3.5	0.50	20.0	25.0	1.2
HV0620-2R730S-R	8.0	8.5	21.0	3.5	0.50	20.0	25.0	1.4
HV1020-2R750S-R	10.0	10.5	22.3	5.0	0.60	20.0	25.0	2.3
HV0630-2R760S-R	8.0	8.5	31.0	3.5	0.50	20.0	25.0	2.1
HV1030-2R710S-R	10.0	10.5	31.5	5.0	0.60	20.0	25.0	3.2
HV1325-2R715S-R	13.0	13.5	28.4	5.0	0.60	20.0	25.0	4.5
HV1625-2R725S-R	16.0	16.5	28.4	7.5	0.80	20.0	25.0	7.3
HV1245-2R735S-R	12.5	12.9	49.0	5.0	0.60	20.0	25.0	8.0
HV1635-2R735S-R	16.0	16.5	38.0	7.5	0.80	20.0	25.0	9.3
HV1840-2R760S-R	18.0	18.5	42.0	7.5	0.80	20.0	25.0	13.0
HV1860-2R7107-R	18.0	18.5	60.5	7.5	0.80	20.0	25.0	20.0



## Part numbering system

HV	1860	-2R7	10	7	-R
Family code	Size reference (mm)	Voltage (V) R = decimal	Capacitance (µF) Value	Multiplier	RoHS compliant
HV = Family Code	Diameter = 18 Length = 60	2R7 = 2.7 V	Example 107 = 10 x 10 <sup>7</sup> µF or 100 F		

## Packaging information

- Standard packaging: Bulk, 100 units per bag (8 mm - 13 mm diameter)
- 16 mm - 18 mm diameter products: Bulk package quantity varies by size.

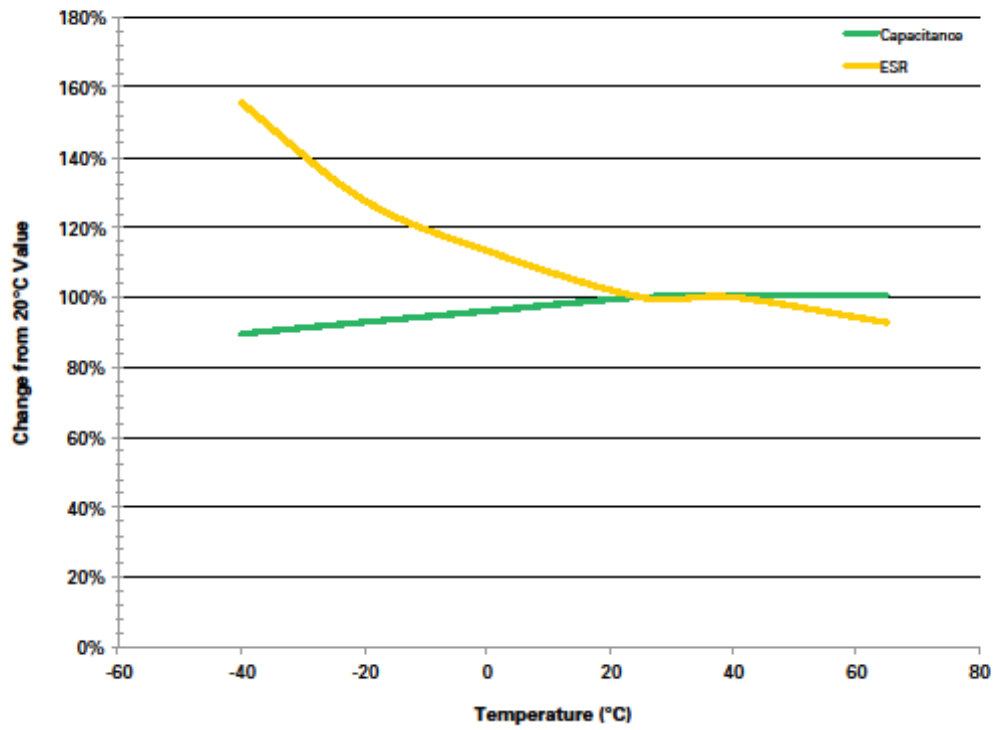
## Part marking

- Manufacturer
- Capacitance (F)
- Max operating voltage (V)
- Family code (or part number)
- Polarity

Technical Data 4376  
Effective May 2016

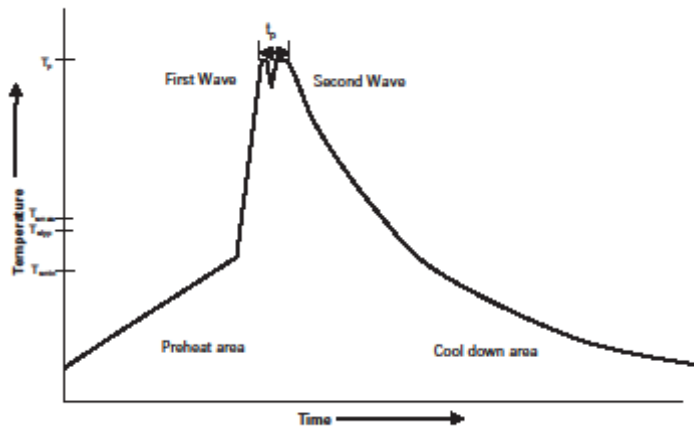
HV supercapacitors  
Cylindrical cells

Temperature vs. Capacitance and ESR





Wave solder profile



Profile Feature	Standard SnPb Solder	Lead (Pb) Free Solder
Preheat and soak <ul style="list-style-type: none"><li>• Temperature max. (<math>T_{smax}</math>)</li><li>• Time max.</li></ul>	100 °C 60 seconds	100 °C 60 seconds
$\Delta$ preheat to max Temperature	160 °C max.	160 °C max.
Peak temperature ( $T_p$ )*	220 °C – 260 °C	250 °C – 260 °C
Time at peak temperature ( $t_p$ )	10 seconds max 5 seconds max each wave	10 seconds max 5 seconds max each wave
Ramp-down rate	- 2 K/s min -3.5 K/s typ -5 K/s max	- 2 K/s min -3.5 K/s typ -5 K/s max
Time 25 °C to 25 °C	4 minutes	4 minutes

Manual solder

+350 °C, 4-5 seconds. (by soldering iron), generally manual, hand soldering is not recommended.

Cleaning/Washing

Avoid cleaning of circuit boards, however if the circuit board must be cleaned use static or ultrasonic immersion in a standard circuit board cleaning fluid for no more than 5 minutes and a maximum temperature of +60 °C. Afterwards thoroughly rinse and dry the circuit boards. In general, treat supercapacitors in the same manner you would an aluminum electrolytic capacitor.

Life Support Policy: Eaton does not authorize the use of any of its products for use in life support devices or systems without the express written approval of an officer of the Company. Life support systems are devices which support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

Eaton reserves the right, without notice, to change design or construction of any products and to discontinue or limit distribution of any products. Eaton also reserves the right to change or update, without notice, any technical information contained in this bulletin.

Eaton  
Electronics Division  
1000 Eaton Boulevard  
Cleveland, OH 44122  
United States  
www.eaton.com/elc

© 2016 Eaton  
All Rights Reserved  
Printed in USA  
Publication No. 4376-SIU-MC16012  
May 2016



Eaton is a registered trademark.  
All other trademarks are property  
of their respective owners.



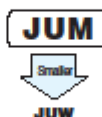
## ELECTRIC DOUBLE LAYER CAPACITORS "EverCAP®"

mishcon

**JUM**

Radial Lead Type, High Voltage

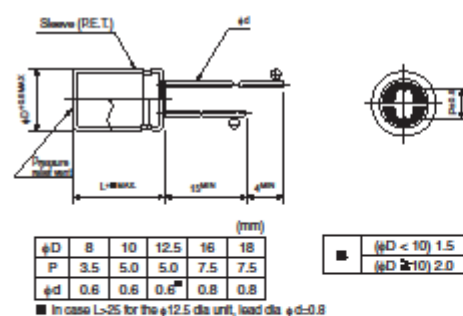
- High voltage type (2.7V).
- Suitable for quick charge and discharge.
- Wide temperature range (-25 to +70°C).
- Compliant to the RoHS directive (2011/65/EU).



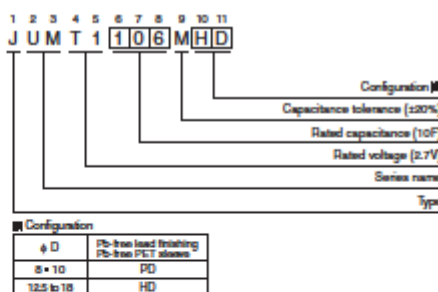
## Specifications

Item	Performance Characteristics						
Category Temperature Range	-25 to +70°C						
Rated Voltage Range	2.7V						
Rated Capacitance Range	1 to 47F See Note						
Capacitance Tolerance	±20%, 20°C						
Leakage Current	0.5C [mA] [C : Rated Capacitance(F)] (After 30 minutes' application of rated voltage : 2.7V)						
Stability at Low Temperature	Capacitance (-25°C) / Capacitance (+20°C) × 100 ≥ 70%						
ESR, DCR*	Refer to the table below (20°C). *DC internal resistance						
Endurance	<div> <div>The specifications listed at right shall be met when the capacitors are restored to 20°C after the rated voltage is applied for 1000 hours at 70°C.</div> <table> <tr> <td>Capacitance change</td><td>Within ±30% of the initial capacitance value</td></tr> <tr> <td>ESR</td><td>300% or less than the initial specified value</td></tr> <tr> <td>Leakage current</td><td>Less than or equal to the initial specified value</td></tr> </table> </div>	Capacitance change	Within ±30% of the initial capacitance value	ESR	300% or less than the initial specified value	Leakage current	Less than or equal to the initial specified value
Capacitance change	Within ±30% of the initial capacitance value						
ESR	300% or less than the initial specified value						
Leakage current	Less than or equal to the initial specified value						
Shelf Life	<div> <div>The specifications listed at right shall be met when the capacitors are restored to 20°C after storing the capacitors under no load for 1000 hours at 70°C.</div> <table> <tr> <td>Capacitance change</td><td>Within ±30% of the initial capacitance value</td></tr> <tr> <td>ESR</td><td>300% or less than the initial specified value</td></tr> <tr> <td>Leakage current</td><td>Less than or equal to the initial specified value</td></tr> </table> </div>	Capacitance change	Within ±30% of the initial capacitance value	ESR	300% or less than the initial specified value	Leakage current	Less than or equal to the initial specified value
Capacitance change	Within ±30% of the initial capacitance value						
ESR	300% or less than the initial specified value						
Leakage current	Less than or equal to the initial specified value						
Marking	Printed with white color letter on black sleeve.						

## Drawing



## Type numbering system (Example : 2.7V 10F)



\* Please refer to page 20 for end seal configuration.

## Dimensions

Rated Voltage (Code)	Rated Capacitance (F)	Code	ESR (Ω) (at 1kHz)	DCF (Typical (Ω))	Case size φ D × L (mm)
2.7V (T1)	1	105	2	3	8 × 11.5
	2.2	225	2	1.3	8 × 20
	3.3	335	1	1.0	10 × 20
	4.7	475	0.4	0.6	12.5 × 20
	10	106	0.2	0.25	12.5 × 31.5
	22	226	0.2	0.13	16 × 31.5
	33	336	0.1	0.08	18 × 31.5
	47	476	0.1	0.06	18 × 40

■ The listed DCR value is typical and therefore not a guaranteed value.

Note :

The capacitance calculated from discharge time (ΔT) with constant current (i) after 30minutes charge with rated voltage (2.7V).

The discharge current (i) is 0.01 × rated capacitance (F).

The discharge time (ΔT) measured between 2V and 1V with constant current.

The capacitance calculated bellow.

Capacitance (F) = i × ΔT