

## Superkondensatory – zagadnienie ładowania

W obecnych układach elektronicznych coraz częściej konstruktorzy stosują superkondensatory, które są alternatywą dla akumulatorów. Mają one wiele zalet takich jak: długi czas życia, niska rezystancja wewnętrzna ESR. Tak jak akumulatory, superkondensatory mogą być ładowane na kilka sposobów, m.in.: stałym prądem, stałą mocą, stałym napięciem lub poprzez równoległe podłączenie do źródła energii (baterie, ogniwa paliwowe, konwertery DC). W przypadku wykorzystania metody równoległego podłączenia kondensatora do baterii, szeregowe podłączenie rezystora o niskiej wartości rezystancji zwiększy żywotność baterii. W takim przypadku należy pamiętać aby rezystor był wpięty między kondensator a baterię. Superkondensator musi pozostać bezpośrednio podłączony do układu, który zasilą ze względu na jego niski ESR.

Maksymalny prąd ładowania superkondensatora można wyliczyć ze wzoru

$$I = V_w / 5R$$

gdzie:

$V_w$  – napięcie ładowania

$R$  – rezystancja ESR kondensatora

Zbyt wysoki prąd lub napięcie ładowania może spowodować przegrzanie kondensatora. To z kolei prowadzi do zwiększenia wartości ESR, wytworzenia wewnątrz kondensatora nadciśnienia i jego rozerwania oraz skrócenia czasu pracy.

W wielu aplikacjach wymagane jest wyższe napięcie od tego co oferują pojedyncze superkondensatory, czyli 2,5V lub 2,7V. W tym celu kondensatory łączy się szeregowo ze sobą tworząc baterię kondensatorów.

Różnica napięć na poszczególnych kondensatorach w procesie ładowania lub rozładowywania baterii spowodowana jest różnicą pojemności poszczególnych kondensatorów. W stanie ustalonym różnica napięć na poszczególnych kondensatorach wynika z różnych prądów upływu.

Podczas ładowania szeregowo połączone kondensatory działają jak dzielnik napięcia, to oznacza, że na kondensatorze o wyższej pojemności odłoży się niższe napięcie.

Przykładowo jeśli mamy 2 kondensatory **DRE5/2.5** o pojemności 5F i napięciu znamionowym 2,5V połączone szeregowo, przy czym jeden z nich ma tolerancję pojemności +20% a drugi -20%, to kondensator o niższej pojemności otrzyma napięcie:

$$U_{c2} = U_z (c_1 / (c_1 + c_2))$$

gdzie:

$c_1$  ma tolerancję pojemności +20%

$c_2$  ma tolerancję pojemności -20%

$U_z$  - napięcie zasilania 5V

$U_{c2}$  – napięcie na kondensatorze  $c_2$

$$U_{c2} = 5(6/(6+4)) = 3V$$

Z powyższego przykładu widać, że napięcie na kondensatorze  $c_2$  przekroczy jego napięcie znamionowe o 0,5V. Aby tego uniknąć należy stosować kondensatory o podobnej tolerancji pojemności.

Alternatywą może być również zastosowanie układu równoważenia napięć na poszczególnych kondensatorach. Układy równoważenia możemy podzielić na pasywne i aktywne. Są one stosowane w zależności od aplikacji baterii superkondensatorów.

Pasywne równoważenie napięć kondensatorów otrzymujemy wykorzystując rezystorowy dzielnik napięcia, gdzie każdy rezystor połączony jest równolegle z kondensatorem. Pozwala to na przepływ prądu między kondensatorami i wyrównywanie poziomów napięć. Wartość rezystorów musi być tak dobrana aby nie płynął przez nie prąd upływu kondensatorów. Jednocześnie rezystancja musi zapewnić przepływ prądu o wartość 50 razy większej od maksymalnego prądu upływu (sugerowane wartości 3,3k $\Omega$  do 22k $\Omega$ ). Należy również pamiętać o zasadzie, że wraz ze wzrostem temperatury rośnie wartość prądu upływu.

Pasywne równoważenie napięć stosuje się tylko w aplikacjach gdzie występuje nie regularne ładowanie i rozładowywanie superkondensatorów oraz w aplikacjach tych, tolerowane jest dodatkowe obciążenie kondensatorów prądem płynącym przez rezystory.

Układ aktywnego równoważenia napięć kondensatorów wymusza poziom napięć na kondensatorach do poziomu napięcia odniesienia bez względu na liczbę występujących nie zrównoważonych napięć. Aktywne równoważenie napięć stosuje się w aplikacjach gdzie występuje częste ładowanie i rozładowywanie superkondensatorów.

mgr inż. Marcin Witkowski