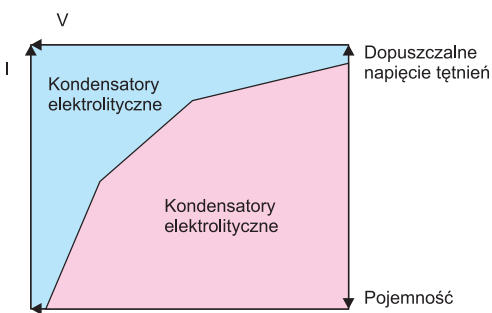




Kondensatory elektrolityczne to nie zawsze dobry wybór

Projektując przetwornicę impulsową, konstruktor zazwyczaj skupia się na doborze przede wszystkim półprzewodników mocy i mikrokontrolerów do układu sterowania. Jednak aby miała ona dużą sprawność i była niezawodna, to trzeba też starannie dobrać podzespoły biernie. Dużą rolę w obwodach mocy odgrywają kondensatory. Muszą być odporne na wysoką temperaturę, wytrzymywać duże impulsy prądowe i prądy tętnień. Na przykładzie przetwornicy DC-DC, pokazano sposób doboru kondensatorów do tej aplikacji.

Aby uzyskać wymaganą sprawność i trwałość, w coraz większym stopniu dobiera się podzespoły do określonej aplikacji



Trwałość i temperatura

Rysunek 1. Graficzne porównanie podstawowych parametrów kondensatorów foliowych i elektrolitycznych

i pełnionej przez nie funkcji. Oznacza to, że przy wybieraniu podzespołów coraz częściej zadaje się pytanie o ich technologię. Jest tak również w przypadku obwodów pośredniczących w konwerterach, w których można wybierać pomiędzy kondensatorami elektrolitycznymi i foliowymi.

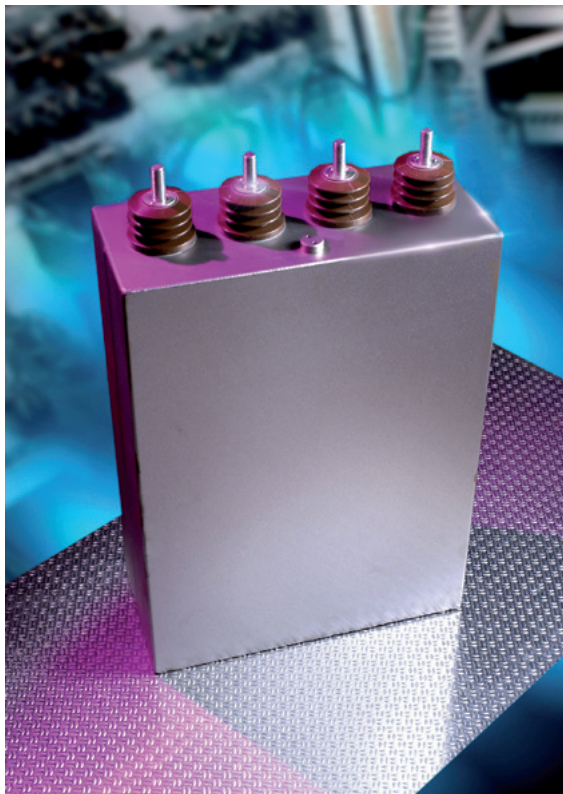
Wymagania stawiane kondensatorom są różnorodne. Powinny one mieć małą rezystancję i niewielką indukcyjność, a także być odporne na prądy o dużym natężeniu i prądy wysokiej częstotliwości. Ponadto wymagane są: duża rezystancja izolacji, duża pojemność, stabilność termiczna i elektryczna. Efektem niespełnienia tych wymagań jest niska sprawność. Na pierwszy rzut oka najbardziej efektywne z punktu widzenia kosztów wydają się kondensatory elektrolityczne, ale czy na pewno?

Graficzne porównanie podstawowych parametrów kondensatorów foliowych i elektrolitycznych pokazano na **rysunku 1**. Kondensatory elektrolityczne mają tę cechę, że ich pojemność zależy od częstotliwości. Maleje ona z jej wzrostem, podczas gdy obciążalność prądowa kondensatora wzrasta. Decydującym kryterium wyboru jest wymagana wytrzymałość prądowa (prąd tętnień), a drugim trwałość. Starzejąc się w dłuższym okresie czasu, kondensatory elektrolityczne nie funkcjonują całkiem źle – raczej zmieniają się ich właściwości, zwłaszcza na skutek wzrostu wartości rezystancji szeregowej ESR, współczynnika strat i impedancji oraz zmniejszania się pojemności. Oblicza się zatem, że czas ich eksploatacji kończy się

- Zalety kondensatorów foliowych w porównaniu z kondensatorami elektrolitycznymi w obwodzie pośrednim
- Dłuższy czas pracy
 - Wyższa odporność na temperaturę
 - Większa obciążalność prądowa i wyższe napięcia robocze
 - Lepsze właściwości w funkcji częstotliwości
 - Samoregeneracja
 - Mniejszy ciężar i mniejsza objętość
 - Niższe koszty dla aplikacji powyżej 450 V

Tabela 1. Porównanie kondensatorów elektrolitycznych i foliowych w opisywanej aplikacji inwertera

Warunki techniczne aplikacji		
Źródło zasilania	3-fazowe	
Częstotliwość	50 Hz	
Napięcie DC	1000 V	
Maksymalne dopuszczalne napięcie tętnień	100 V	
Minimalna pojemność	500 <m>F	
Prąd tętnień (kondensatora)	30 A	
Częstotliwość sprzęgu DC	300 Hz	
Temperatura otoczenia	75°C	
Porównanie	Elektrolityczne	Foliowe
Pojemność	1500 uF	250 uF
Napięcie	400 V	1100 V
Średnica	63 mm	85 mm
Długość	105 mm	140 mm
Objętość	0,32 l	0,79 l
Maks. prąd tętnień/kondensator	12,2 A	30 A
Liczba kondensatorów w szeregu	3	1
Liczba gałęzi	3	2
Prąd tętnień/gałęź	10 A	15 A
Liczba kondensatorów	9	2
Łączna objętość	2,94 l	1,59 l
Łączna pojemność	1500 uF	500 uF
Napięcie tętnień	33 V	100 V



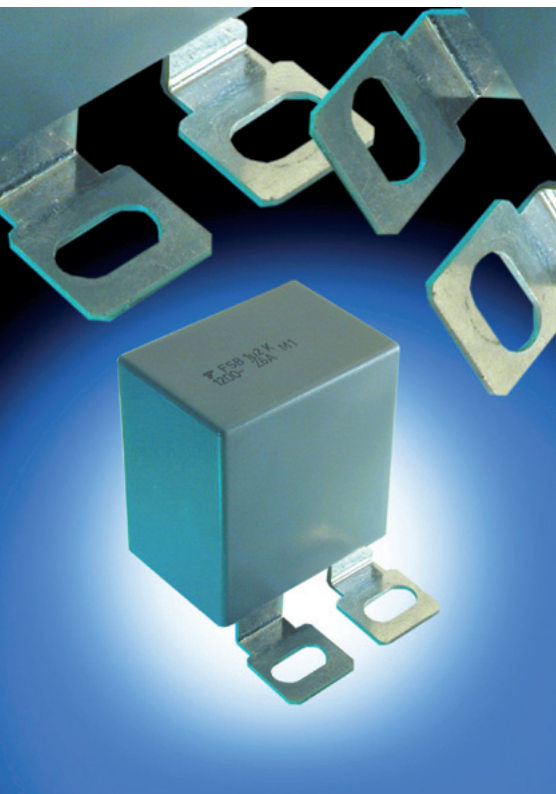
Należy dodać, że kondensatory foliowe są bardziej odporne na temperaturę i mają większą obciążalność prądową. Ich napięcie znamionowe zawiera się w przedziale 300...6000 V, a napięcie szczytowe jest od 1,2 do 1,6 razy większe od napięcia znamionowego. Dla porównania, kondensator elektrolityczny ma napięcie znamionowe równe maksymalnie 500 VDC i napięcie szczytowe 1,15...1,3 razy większe od napięcia znamionowego. Również zachowanie się kondensatorów foliowych w funkcji częstotliwości jest wyraźnie lepsze. Mają one zdolność do samoregeneracji, która czyni je mniej wrażliwymi na impulsy przepięciowe i powoduje, że kondensator nie przestaje nagle pracować prawidłowo – raczej tylko zmniejsza się wolno jego pojemność. Istotną cechą kondensatorów foliowych są ich bardzo małe indukcyjności rzędu kilku nH. Kondensatory foliowe mają też znacznie lepsze właściwości pod względem rezystancji szeregowej ESR. Jeśli np. w aplikacji trzeba użyć kondensatora o pojemności 500 μF, pracującego przy napięciu 700 VDC i częstotliwości 10 kHz, to wymagany kondensator foliowy będzie miał ESR wynoszącą około 2,5 mΩ. W tych samych warunkach należałoby użyć dwóch kondensatorów elektrolitycznych o ESR wynoszącej ok. 120 mΩ. Stosunek wartości ESR kondensatorów foliowych i elektrolitycznych wynosi więc aż 1:50! Inne czynniki przemawiające za stosowaniem kondensatorów foliowych to: mniejszy współczynnik strat dielektrycznych i mniejsza zależność pojemności od częstotliwości, co jest decydującym kryterium, jeśli chodzi o prądy zakłóceń wielkiej częstotliwości.

w większość przypadków wraz ze spadkiem wartości pojemności C o 20%, przy czym rezerwę pojemności kondensatorów elektrolitycznych ocenia się na sięgającą +30%. Dlatego często wymaga się większych wartości pojemności niż wartości, które wynikają z założonych parametrów przetwornicy.

Napięcie znamionowe kondensatorów elektrolitycznych wynosi maksymalnie 500 VDC, więc aby mogły one pracować przy wyższym napięciu, należy łączyć szeregowo dwa lub więcej kondensatorów.

Z opisanych wyżej właściwości kondensatorów elektrolitycznych wynika, że nie zawsze są one najlepszym wyborem

do zastosowania w obwodzie pośrednim - sprzęgającym. Szczególnie przy rosnących wymaganiach odnośnie do temperatury pracy, tętnień i napięcia przebicia. W takich warunkach nie zapewniają one wymaganego czasu funkcjonowania przetwornicy. Tu właśnie mogą mieć pewną przewagę kondensatory foliowe. W pomiarach i testach wykazały one trwałość około 100000 godzin, podczas gdy obliczona trwałość kondensatorów elektrolitycznych zawiera się pomiędzy 2000...100000 godzin. Liczba godzin pracy, którą osiąga w rzeczywistości kondensator elektrolityczny, zależy przede wszystkim od temperatury otoczenia.



Różnicę pomiędzy kondensatorami elektrolitycznymi a foliowymi można zilustrować posługując się następującym przykładem. W inwerterze 3-fazowym (50 Hz, 1000 V napięcia stałego, maksymalne napięcie tętnień 100 V, minimalna pojemność 500 μF , prąd tętnień 50 A, 300 Hz, temperatura otoczenia 75°C) należy użyć aż 9 kondensatorów elektrolitycznych (3 równoległe gałęzie po 3 połączone szeregowo) o objętości 2,95 litra. W tej samej aplikacji są potrzebne tylko 2 kondensatory foliowe o objętości 1,58 litra. Na dodatek zachowują one swoje właściwości przez wiele lat.

Te korzyści mają jednak swoją cenę: koszt zakupu dwóch kondensatorów foliowych jest znacznie wyższy niż zakupu dziewięciu kondensatorów elektrolitycznych. Z drugiej strony, jeśli uwzględnić koszty całkowite, to rozwiązanie z kondensatorami foliowymi jest tańsze.



Tabela 2. Porównanie parametrów kondensatorów elektrolitycznych i foliowych

	Kondensatory foliowe	Kondensatory elektrolityczne
Pojemność	0,1 μF do 300 F; zakres standardowy 1,0 μF do 4700 μF	100 pF do 8800 μF ; zakres standardowy 1,0 nF do 4,7 μF
Napięcie znamionowe	300...6000 VDC	do 500 VDC
Napięcie szczytowe	1,2...1,6 \times napięcie znamionowe	1,15...1,3 \times napięcie znamionowe
Trwałość	>100000 godzin	2000...100000 godzin (zależnie od temperatury)
Temperatura pracy	-55°C do +175°C; standardowo -40°C do +105°C	-55°C do +125°C; standardowo -55°C do +100°C
Gęstość energii	0,16 J/cm ³	0,8 J/cm ³
Indukcyjność	Rzędu 5 nH	5...10 nH
Stosunek objętości	1	1/5
Stosunek ESR	1	50
Polaryzacja	Nie	Tak
Tętnienia	40	1
Koniec czasu pracy	Wartość pojemności - 2%	Wartość pojemności - 20% (czasami -30%)
Właściwości	<p>zalety:</p> <ul style="list-style-type: none"> - duża pojemność - niska cena - duża obciążalność przy niskich częstotliwościach - duża różnorodność typów <p>wady:</p> <ul style="list-style-type: none"> - duże straty mocy - mała rezystancja izolacji - ograniczona trwałość - konieczność zachowania polaryzacji 	<p>zalety:</p> <ul style="list-style-type: none"> - bardzo niskie straty - duża odporność na udary - zdolność samoregeneracji (k.metalizowane) - duża częstotliwość rezonansowa - mały współczynnik temperatury - duża trwałość <p>wady:</p> <ul style="list-style-type: none"> - stosunkowo duże wymiary - zjawisko koronowe przy wysokim napięciu przemiennym - utrata pojemności w wyniku samoregeneracji

Kondensatory elektrolityczne pracujące w określonych warunkach osiągają sumaryczny czas pracy około 100000 godzin, co odpowiada w przybliżeniu 10 latom. W tym przypadku trzeba jednak zwrócić uwagę na to, czy informacja producenta dotycząca trwałości jest podana dla takich warunków, w których kondensator jest obciążony maksymalnymi tętnieniami. Tylko w przypadku, gdy obciążenie jest odpowiednio mniejsze, trwałość wzrasta i ma zastosowanie równanie Arrheniusa (dla każdego spadku temperatury o 10°C trwałość wzrasta dwukrotnie). Decyzję o tym, czy jest to wystarczające do zastosowania w danym inwerterze, należy podejmować indywidualnie dla każdego przypadku.

Zwykle ma jednak zastosowanie następująca reguła: im większe wymagania dotyczące prądu, temperatury, napięcia i czasu pracy, to lepiej jest stosować kondensatory foliowe.

Na rynek wprowadzono szeroką gamę obu typów kondensatorów. Na przykład firmy Kemet, Panasonic i Rubycon oferują kondensatory elektrolityczne o dużej niezawodności. Standardowe kondensatory elektrolityczne są produkowane np. przez firmy Samwha, Yageo i Jamicon. W segmencie kondensatorów foliowych produkty wysokiej jakości oferują Kemet, Vishay, Wima i AVX. Różnorodność produktów często utrudnia podjęcie decyzji i jest prawie niemożliwe

udzielenie jednej, odnoszącej się do wszystkich przypadków odpowiedzi, które rozwiązanie jest najlepsze. W takim przypadku zazwyczaj najlepiej jest zasięgnąć rady dystrybutora, który nie faworyzuje żadnego producenta.

Jürgen Geier
inżynier wsparcia klienta
ds. kondensatorów w Rutronik
Elektronische Bauelemente GmbH

