

W tej części weźmiemy pod lupę poszczególne rodzaje kondensatorów - podam ci ich najistotniejsze parametry, potem powrócimy do szerszego omówienia różnych dziedzin zastosowań i wreszcie podam ci szereg potrzebnych wskazówek i wzorów. Jak ci wspomniałem w poprzednim odcinku, nie musisz czytać tej części materiału. Chyba, że będziesz konstruował własne układy. W takim razie są to informacje dla ciebie.



Na rysunku 1 możesz zobaczyć, jakiego typu kondensatory dostępne są powszechnie na rynku i mniej więcej w jakim zakresie pojemności są produkowane.

Kondensatory elektrolityczne

Omówiliśmy je przed dwoma miesiącami, podstawowych wiadomości nie będę ci powtarzał. Podam tylko cztery najważniejsze wykresy przedstawiające charakterystyki krajowych kondensatorów: aluminiowych (rysunek 2) i tantalowych (rysunek 3). "Tantale" 196D to najpopularniejsze różowe łezki, a "tantale" 164D mają obudowę cylindryczną z wyprowadzeniami osiowymi. Zwróć uwagę, jak bardzo zmniejsza się pojemność "elektrolitów" przy większych częstotliwościach, i jak rosną straty reprezentowane przez tgδ. Teraz chyba nie

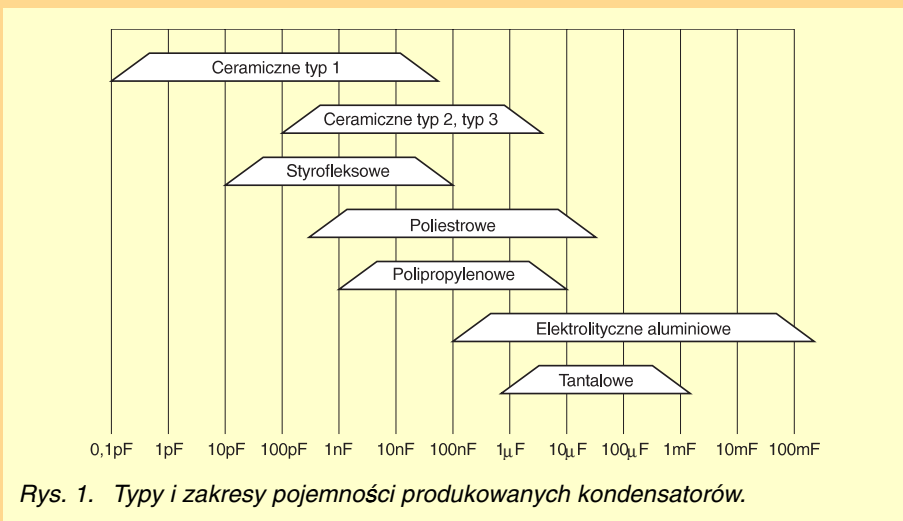
masz wątpliwości, że nie są to kondensatory przeznaczone do pracy przy wielkich częstotliwościach.

Kondensatory elektrolityczne mają największą awaryjność spośród wszystkich kondensatorów. Zapamiętaj zasadę, że niezawodność elektrolitów zmniejsza się mniej więcej dwukrotnie przy wzroście temperatury kondensatora o 10 stopni. Chodzi tu nie tylko o temperaturę otoczenia, ale przede wszystkim wzrost temperatury wywołany mocą strat (iloczyn skutecznej wartości przepływającego prądu zmiennego i rezystancji zastępczej ESR). Dotyczy to prze-

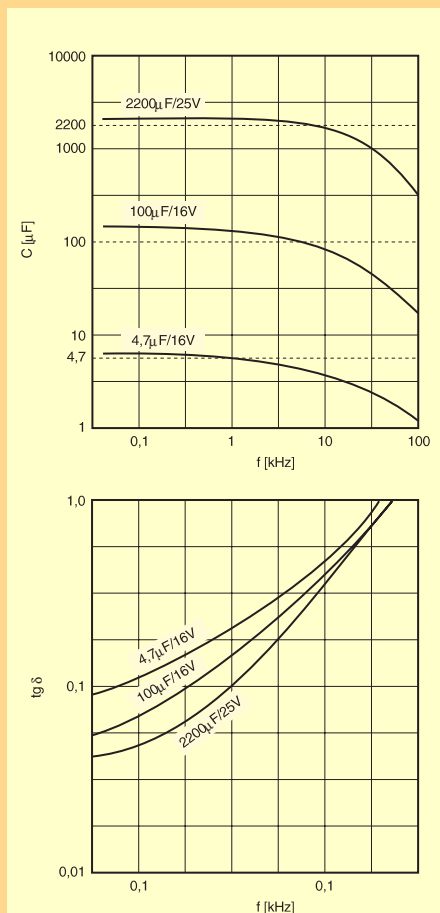
de wszystkim kondensatorów stosowanych w zasilaczach impulsowych, gdzie częstotliwości pracy są rzędu dziesiątek kiloherców.

Czy wiesz, że...

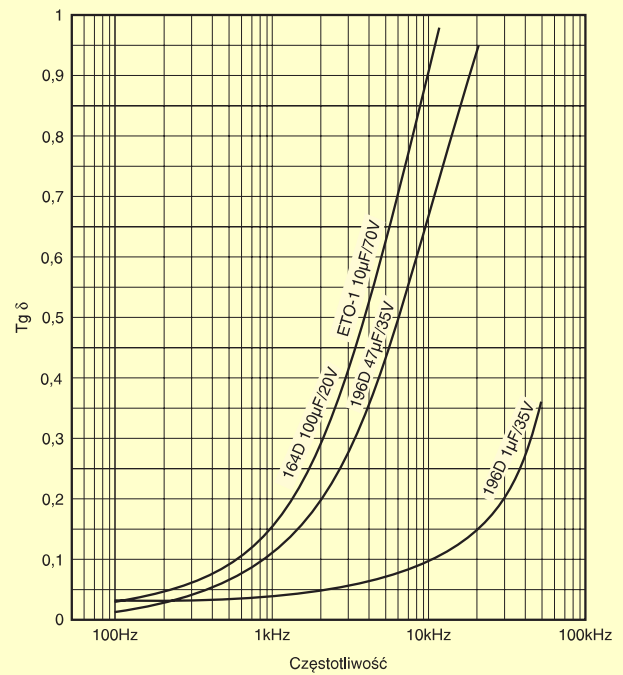
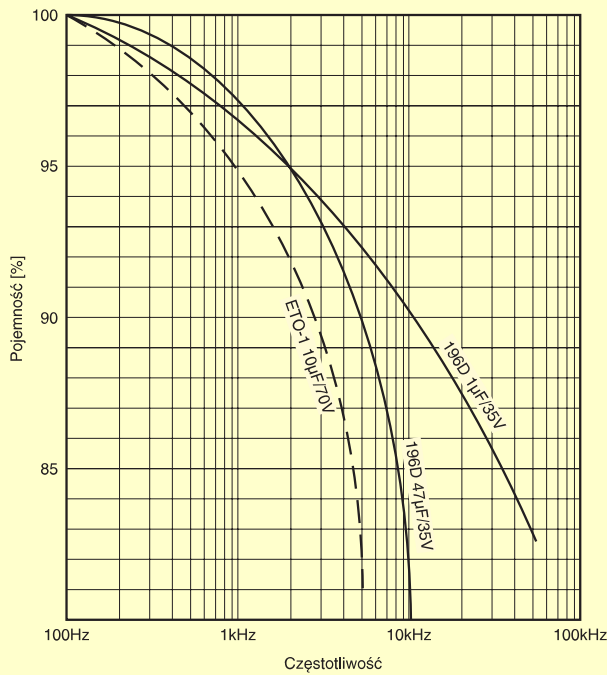
Niezawodność kondensatorów elektrolitycznych zmniejsza się mniej więcej dwukrotnie przy wzroście temperatury kondensatora o 10 stopni.



Rys. 1. Typy i zakresy pojemności produkowanych kondensatorów.



Rys. 2. Pojemności i tg δ kondensatorów elektrolitycznych aluminiowych w funkcji częstotliwości.



Rys. 3. Pojemności i tgδ kondensatorów elektrolitycznych tantalowych w funkcji częstotliwości.

Kondensatory ceramiczne

Kondensatory ceramiczne dzielą się wyraźnie na trzy grupy.

Typ 1

Tak zwany typ 1 produkowany jest z użyciem dielektryka o przenikalności względnej ϵ_r w granicach 10...600. Kondensatory te charakteryzują się małymi stratami i, co ciekawe, są produkowane ze ściśle określonym współczynnikiem temperaturowym w zakresie -1500...+150ppm/K. Umożliwia to łatwą kompensację temperaturową obwodów rezonansowych.

Niektóre katalogi (w tym krajowe) zawierają oznaczenia współczynnika temperaturowego w postaci np. N750, NP0, P150 itp. co oznacza odpowiednio -750, ±0, +150ppm/K (czyli -0,075, ±0, +0,015%/°C). W większości zachodnich

katalogów zamiast NP0 znajdziesz określenia C0G lub nowsze CG, które wskazują, że kondensatory te mają zero wy współczynnik temperaturowy.

Kondensatory ceramiczne typ 1 to bodaj najlepsze z popularnych kondensatorów, ale niestety zakres ich pojemności jest ograniczony do co najwyżej kilku...kilkunastu nanofaradów.

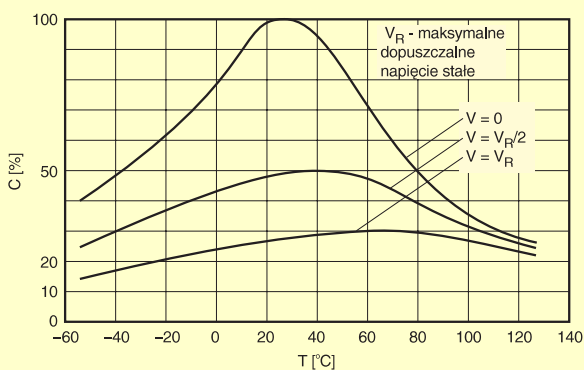
Ferroelektryczne (typ 2)

Kondensatory ferroelektryczne (typ 2) mają znaczną pojemność przy małej objętości. Niestety okupione jest to pogorszeniem wielu parametrów. Na rysunku 4 znajdziesz krzywe obrazujące zależność pojemności od częstotliwości i od przyłożonego napięcia stałego dla kondensatorów o symbolu dielektryka 2F4. Zwróć uwagę, z jak dużymi, wręcz ogromnymi zmianami pojemności trzeba się liczyć - rzeczywista pojemność może

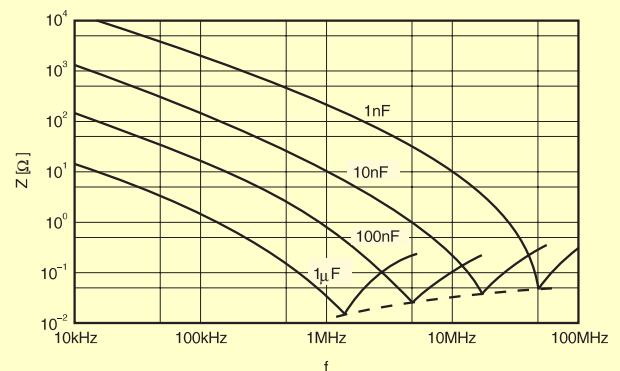
być nawet pięciokrotnie mniejsza (!) od pojemności nominalnej. Jedyne rezystancja szeregową i tgδ są względnie małe w dość szerokim zakresie częstotliwości.

Częstotliwość rezonansu szeregowego kondensatorów ferroelektrycznych o pojemności 100nF z wyprowadzeniami drutowymi, stosowanych typowo w obwodach odsprężania zasilania, wynosi mniej więcej 5...10MHz, a przy pojemności 10nF - kilkadziesiąt megaherców; pokazuje to **rysunek 5**. Kondensatory bez wyprowadzeń, przeznaczone do montażu powierzchniowego, mają częstotliwości rezonansowe o około 50% większe.

Na podstawie rysunku 5 można też oszacować wartość ESR takich kondensatorów - jest ona niewielka, rzędu kilkadziesiąt miliomów.



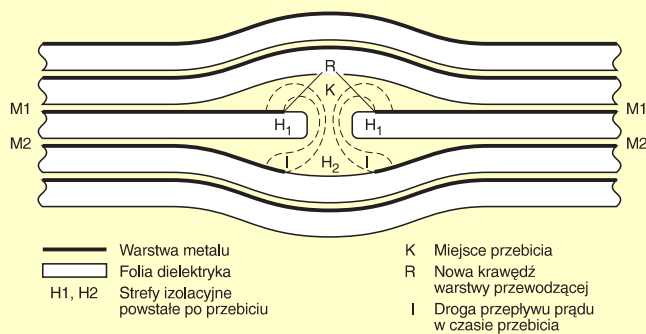
Rys. 4. Pojemność w funkcji częstotliwości kondensatorów ceramicznych ferroelektrycznych.



Rys. 5. Impedancja w funkcji częstotliwości kondensatorów ceramicznych ferroelektrycznych.

Czy wiesz że...

Kondensatory metalizowane mają cenną właściwość autoregeneracji. Jeśli w jakimś miejscu folia stanowiąca dielektryk jest cieńsza lub ma jakiś defekt, to po przyłożeniu pełnego napięcia pracy może w tym miejscu nastąpić przebicie, czyli przeskok iskry. Kondensator nie zostanie jednak uszkodzony, ponieważ temperatura powstającego łuku elektrycznego (około 6000°C) powoduje odparowanie zarówno fragmentu dielektryka jak i sąsiadujących fragmentów warstw metalizacji. Łuk gaśnie i kondensator nadal jest sprawny, bowiem wokół miejsca przebicia nie ma już metalizacji, co skutecznie zapobiega powtórному powstaniu przebicia w tym samym miejscu. Pokazano to schematycznie na rysunku.



Choć więc kondensatory typu 2 nie nadają się do zastosowań precyzyjnych, to jednak ze względu na niską cenę znajdują szerokie zastosowanie do odsprężania zasilania, sprzęgania poszczególnych stopni itp.

Półprzewodnikowe (typ 3)

Kondensatory ceramiczne tzw. półprzewodnikowe są właściwościami podobne do ferroelektrycznych, tyle że mają jeszcze mniejsze gabaryty. Uzyskano to dzięki odmiennej konstrukcji, opartej na gąbkopodobnym porowatym spieku, trochę podobnie jak w kondensatorach elektrolitycznych tantalowych. W poprzednio omówionych dwóch grupach "ceramików" kondensator tworzyły metalowe okładziny umieszczone z obu stron dielektryka ukształtowanego w postaci płaskiej płytki ceramicznej (lub wielu takich płytek). Dla amatora wewnętrzna budowa nie ma specjalnego znaczenia - wszystkie małe kondensatory ceramiczne, zarówno typ 2, jak i typ 3 traktuje on jako kondensatory ferroelektryczne.

Kondensatory foliowe

Klasyczne kondensatory foliowe to dwie wstęgi folii aluminiowej przedzielone dielektrykiem - folią z tworzywa sztucznego. Większość spotykanych na rynku kondensatorów foliowych ma jednak inną budowę - są to tak zwane kondensatory metalizowane. Okładziny stanowią cienitka warstwa metalu (aluminium) naniesiona próżniowo na jedną lub obie strony folii z tworzywa. Kondensatory metalizowane można łatwo od-

kondensatorów mikowych, które też mają literkę M w oznaczeniu).

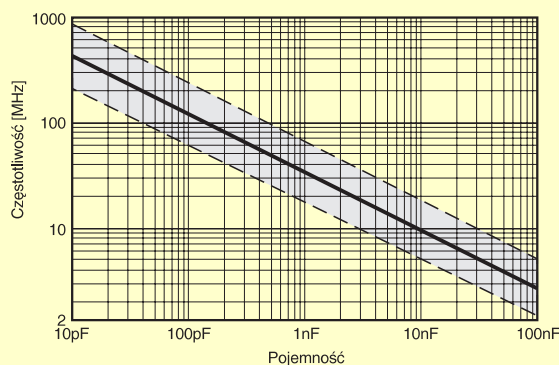
Zapewne wiesz, że jako dielektryk stosuje się folię wykonaną z różnych materiałów, różne są zatem właściwości otrzymanych kondensatorów.

Polistyrenowe

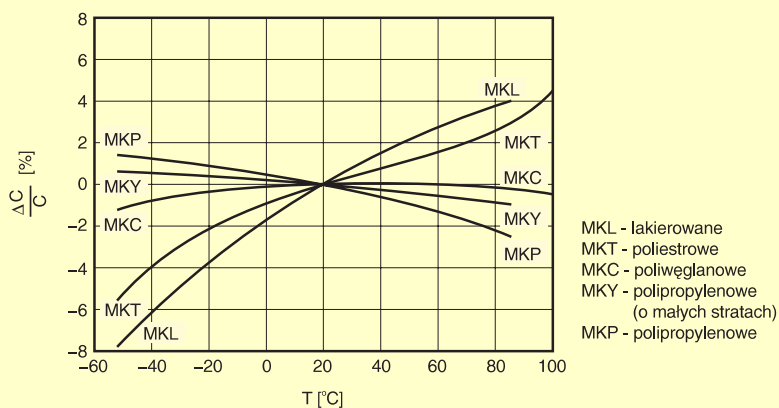
Kondensatory polistyrenowe (styroflexowe) w kraju mają oznaczenie KSF, w Europie - KS. Są one najbardziej stabilne spośród popularnych kondensatorów foliowych.

Pojemność "styroflexów" praktycznie nie zależy od częstotliwości, co wśród kondensatorów foliowych jest chlubnym wyjątkiem. Pojemność niewiele zmienia się też z upływem czasu - co najwyżej 0,2...0,5% w ciągu kilku lat. Kondensatory te mają niewielki ujemny współczynnik temperaturowy około -130ppm/K i niewielką zależność od wilgotności otaczającego powietrza (+60...+200ppm/K). Straty dielektryczne są małe: tgδ typowo jest mniejszy niż 0,0005. Indukcyjność własna wynosi około 1nH na 1mm długości kondensatora i jego czynnych wyprowadzeń. Wraz z pojemnością kondensatora indukcyjność ta tworzy szeregowy obwód rezonansowy, co ogranicza górną częstotliwość pracy tych konden-

różnić, ponieważ mają w oznaczeniu literkę M - np. krajowe MKSE, KMP, KFMP, MKSP, czy zagraniczne MKT, MKP, MKC (z wyjątkiem archaicznych



Rys. 6. Częstotliwość rezonansu własnego kondensatorów styroflexowych.



Rys. 7. Zmiany pojemności w funkcji temperatury różnych kondensatorów foliowych.

Czy wiesz że...

Niektóre kondensatory, na przykład styrofleksowe, mają zaznaczoną okładzinę zewnętrzną, która może służyć jako ekran izolujący okładzinę wewnętrzną od wpływu zakłóceń elektrycznych. Ma to znaczenie w obwodach o dużej czułości. Wyprowadzenie okładziny zewnętrznej, zaznaczone zwykle paskiem, należy dołączać do punktu o mniejszej impedancji, czyli np. do masy, plusa zasilania, wyjścia wzmacniacza itp.”

satorów. **Rysunek 6** pokazuje zależność częstotliwości rezonansu własnego od pojemności kondensatorów styrofleksowych pewnej znanej firmy.

W związku z dobrymi parametrami, tylko te kondensatory są wykonywane z wąską tolerancją, nawet $\pm 0,5\%$ (np. krajowe KSF-022).

Kondensatory polistyrenowe stosowane były powszechnie w obwodach w.cz. i p.cz, ale obecnie są wypierane przez kondensatory ceramiczne typu 1. Inną ważną dziedziną zastosowania precyzyjnych kondensatorów styrofleksowych były wszelkiego rodzaju filtry stosowane w telekomunikacji. Ujemny współczynnik temperaturowy kondensatorów kompensował zmiany temperaturowe ferrytowych cewek. Obecnie, w związku z postępującą "cyfryzacją" telekomunikacji, i ten obszar zastosowań znacznie się skurczył.

Inne kondensatory foliowe są nieco mniej stabilne i nie są przewidziane do zastosowań precyzyjnych, a więc

w katalogach nie podaje się szczegółowo tak wielu parametrów. Z reguły są to kondensatory metalizowane. Wykonywane są z tolerancją w najlepszym wypadku $\pm 5\%$, zwykle ± 10 i $\pm 20\%$.

Na **rysunku 7** dla orientacji podajemy ci zależność pojemności od temperatury kilku typów kondensatorów foliowych, i analogicznie na **rysunku 8** zależność $\text{tg } \delta$ od temperatury. Pod wpływem lutowania, upływu czasu, zmian temperatury, wilgotności itd... ich pojemność może zmieniać się nawet o kilka procent. Jak widzisz, niezbyt dobrze nadają się one do zastosowań wymagających dużej stałości parametrów.

Poliestrowe

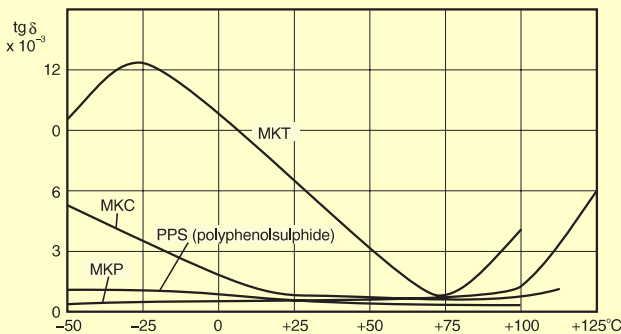
Kondensatory poliestrowe (ang. polyethylene tetraptalate) - krajowe oznaczenie MKSE, europejskie - MKT. Obecnie są to najpopularniejsze kondensatory foliowe - stosowane są powszechnie we wszelkim sprzęcie elektronicznym w zakresie małych i średnich częstotli-

wości. W literaturze angielskojęzycznej bardzo często proponuje się zastosowanie "dobrych kondensatorów mylarowych" (mylar capacitors). Ja przed laty długo i niepotrzebnie się zastanawiałem skąd wziąć takie egzotyczne kondensatory; nie wiedziałem bowiem, że są to po prostu kondensatory MKT, czyli krajowe MKSE.

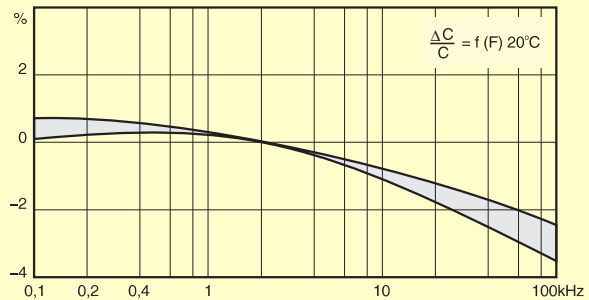
Zapewne przyda ci się informacja, że pojemność kondensatorów poliestrowych zależy od częstotliwości - pokazuje to **rysunek 9**.

Ponieważ są to najczęściej używane kondensatory, powinieneś znać dokładniejszą zależność ich pojemności od temperatury dla różnych częstotliwości - pokazuje to **rysunek 10**. Z kolei **rysunek 11** przedstawia impedancję w funkcji częstotliwości i częstotliwość rezonansu własnego dla kondensatorów o różnej pojemności. Są to bardzo istotne informacje, pokazują bowiem w przybliżeniu, w jakim zakresie częstotliwości kondensatory te powinny być stosowane, i jaka jest ich rezystancja strat ESR. Oczywiście bez sensu byłoby pracować z częstotliwościami znacznie przekraczającymi częstotliwość rezonansu własnego - przy wielkich częstotliwościach należy stosować kondensatory o mniejszej pojemności, które w sumie i tak będą mieć mniejszą impedancję.

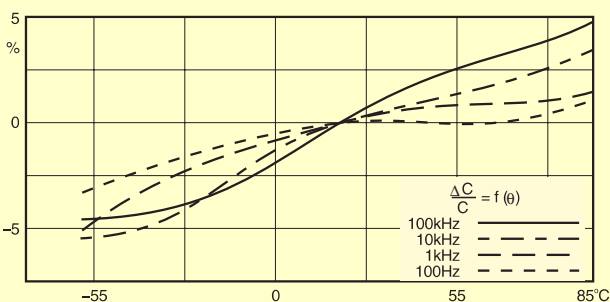
Rysunki 9...11 dotyczą kondensatorów produkcji Thomsona stosowanych



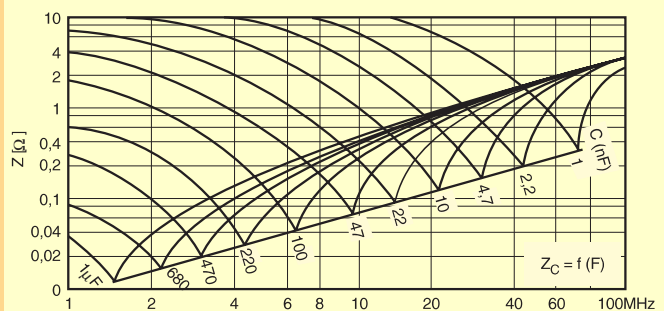
Rys. 8. Tangens kąta strat w funkcji temperatury różnych kondensatorów foliowych.



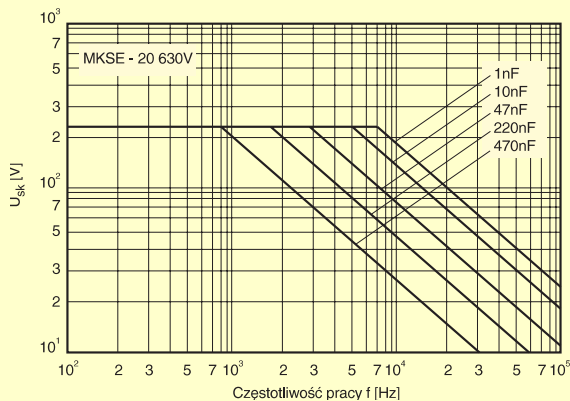
Rys. 9. Pojemność w funkcji częstotliwości kondensatorów poliestrowych.



Rys. 10. Pojemność w funkcji temperatury kondensatorów poliestrowych.



Rys. 11. Impedancja w funkcji częstotliwości kondensatorów poliestrowych.



Rys. 12. Dopuszczalne zmienne napięcie pracy w funkcji częstotliwości kondensatorów poliestrowych MKSE-20 630V.

Czy spotkałeś już kondensatory z oznaczeniem GoldCap?

Kondensatory takie mają ogromną pojemność rzędu faradów i mogą pracować przy napięciach rzędu pojedynczych woltów. Z uwagi na olbrzymią pojemność właściwie są czymś pośrednim między kondensatorami i akumulatorami. Są stosowane jako źródła energii (zastępują akumulatory i baterie) w urządzeniach o małym poborze prądu. Kondensatory Gold-Cap znajdują miejsce w różnych urządzeniach wymagających nieprzerwanego zasilania jako bateria rezerwowa, pracująca w razie zaniku napięcia sieciowego.

powszechnie w zestawach AVT. Porównaj jeszcze rysunki 11 i 5. Zauważ, że współczesne kondensatory foliowe dzięki odpowiedniej budowie mają małą indukcyjność, porównywalną z kondensatorami ceramicznymi. To samo dotyczy rezystancji strat. Wygląda na to, że mogłyby być stosowane zamiennie - w obwodach odsprężania zasilania powszechnie stosuje się jednak znacznie tańsze "ceramiki".

Kondensatory poliestrowe mają przyzwrotną (ale wcale nie rewelacyjną) wartość $tg\delta$ w granicach 0,001...0,01. Jednak w dziedzinach, gdzie są one stosowane, nie ma to zazwyczaj żadnego znaczenia praktycznego.

Choć w zasadzie kondensatory poliestrowe nie są przeznaczone do pracy przy znacznych napięciach i prądach zmiennych, jednak z powodzeniem mogą być stosowane w zasilaczach beztransformatorowych jako elementy ograniczające prąd bez strat mocy (o czym będzie mowa w następnej części). W żadnym wypadku nie mogą to być kondensatory o napięciu nominalnym

250V lub 400V, bowiem te mogą być stosowane przy napięciu przemiennym co najwyżej odpowiednio 160V i 200V. W obwodach sieci energetycznej 220V muszą być użyte kondensatory poliestrowe na napięcie pracy (stałe) 630V!

Rysunek 12 pokazuje zależność dopuszczalnego napięcia przemiennego od częstotliwości dla krajowych kondensatorów MKSE-020 630V. Ograniczenia przy większych częstotliwościach wynikają ze strat w dielektryku, które powodują nagrzewanie kondensatora; rysunek ten pośrednio wskazuje więc także na wartość ESR w funkcji częstotliwości.

Poliwęglanowe

Kondensatory poliwęglanowe (polycarbonate); w kraju nie są produkowane - europejskie oznaczenie MKC. Zaletą jest około pięciokrotnie mniejsza niż w kondensatorach MKT zależność pojemności od częstotliwości, mała zależność pojemności od temperatury ($\pm 1\%$ w zakresie $-20...+70^\circ\text{C}$), kilkukrotnie mniejsza wartość $tg\delta$ - patrz rysunki

7 i 8. Niestety, z nieznanymi mi względów (być może ze względu na większe gabaryty) kondensatory te nie są popularne, tak że nawet nie wszystkie znane firmy mają je w swej ofercie handlowej.

Polipropylenowe

Kondensatory polipropylenowe; krajowe oznaczenia KMP, KFMP, europejskie MKP. Przeznaczone są przede wszystkim do pracy w obwodach impulsowych, gdzie występują napięcia i prądy o znacznej stromości. Takie właśnie kondensatory stosuje się w obwodach odchylenia odbiorników telewizyjnych i sieciowych zasilaczach impulsowych. My będziemy je stosować przede wszystkim we wspomnianych już zasilaczach beztransformatorowych i być może w jakichś układach impulsowych - na przykład do gasików lub filtrów przeciwzakłóceń.

Piotr Górecki

ERRARE HUMANUM EST

W kwietniowym numerze EdW nasi Czytelnicy wytypowali kilka drobnych błędów. Prosimy w swoich egzemplarzach wprowadzić następujące zmiany:

- Na schemacie ideowym monitora napięcia sieci (rys.1 str.11) błędnie opisano kondensator C2. Jego wartość, jak słusznie podano w spisie elementów, wynosi $1\mu\text{F}$.
- Na rysunku 4.8 na str. 22 omyłkowo niepotrzebnie połączono wyjście wzmacniacza (generatora) z dodatnią szyną zasilającą.
- Na rysunku 2 ze str. 25 jeden z kondensatorów oznaczonych C2 (dolny) powinien mieć oznaczenie C3 - por. wykaz elementów.
- Na stronie 28, tuż nad rysunkiem 1, błędnie zdefiniowano wzmocnienie. Oczywiście zdanie to powinno brzmieć: "Wzmocnienie napięciowe wzmacniacza jest stosunkiem napięcia na wyjściu do napięcia na jego wejściu..."
- Rysunek 1 na stronie 47 powinien być zatytułowany "Schemat ideowy odbiornika".
- W ofercie kitów Vellemana na str. 60 błędnie podano, że "Elektroniczny pies" został opisany w EdW 3/96 - tymczasem opisano go właśnie w EdW 4/96 na str. 34.

Nagrody-niespodzianki otrzymują: Marcin Skoneczny z Łaska i Marcin Wiązania z województwa kieleckiego.