

ELEMENTY I PODZESPOŁY ELEKTRONICZNE

Kondensatory — część I

Kondensatory to elementy elektroniczne, o których można powiedzieć znacznie więcej niż o opornikach i potencjometrach. Pełnią one w układach elektronicznych rozmaite funkcje, co narzuca im bardzo różnorodne wymagania techniczne. Stąd duża ilość typów i konstrukcji kondensatorów.

Podstawowe parametry elektryczne kondensatora to pojemność i napięcie znamionowe. Pojemność, podobnie jak oporność oporników, jest określona zawsze z pewną tolerancją. Napięcie znamionowe może być (z pewnym uproszczeniem) uważane za najwyższe napięcie stałe, jakie można przyłożyć między zaciski kondensatora bez obawy jego uszkodzenia.

Są i inne parametry elektryczne kondensatora, niezmiernie ważne podczas pracy w niektórych układach. Ponieważ parametry te ściśle związane są z zastosowaniami kondensatorów, zastanowimy się najpierw nad typowymi funkcjami spełnianymi przez kondensatory i odpowiadającymi im wymaganiami technicznymi.

Z punktu widzenia funkcji, jakie spełniają kondensatory w układach elektronicznych, rozróżniamy ich dwojakie zastosowanie.

1. Kondensatory sprzęgające, odsprzęgające i blokujące. Służą one z reguły do oddzielenia różnych obwodów prądu stałego, stwarzając równocześnie drogę dla prądów zmiennych. Muszą one wytrzymać określone napięcie stałe panujące między rozdzielanymi punktami układu, jednocześnie mając na tyle dużą pojemność, aby prądy zmiennne z odpowiedniego zakresu częstotliwości

miały do pokonania dostatecznie małą oporność. Typowe przykłady takich kondensatorów to kondensatory sprzęgające wyjście jednego stopnia wzmacniacza z wejściem następnego stopnia, kondensatory w filtrach zasilaczy, kondensatory łączące głośnik z wyjściem beztransformatorowego wzmacniacza mocy na tranzystorach itp.

We wszystkich tych układach dokładna wartość pojemności kondensatora jest mało istotna. Ważne jest jedynie, aby była ona dostatecznie duża tak, aby odpowiedni prąd zmienny, na przykład o częstotliwości w zakresie pasma akustycznego, przepływał bez przeszkód. Minimalna wartość potrzebnej pojemności jest różna w różnych punktach układu i w różnych rodzajach układów. Zamiast kondensatora o potrzebnej pojemności niemal zawsze można stosować kondensatory o pojemności większej. Może to nawet przynieść pewną poprawę działania układu.

Kondensatory stosowane do spełnienia omawianych funkcji mają najczęściej duże pojemności, zwłaszcza w tranzystorowych wzmacniaczach małej częstotliwości. Równocześnie dość często kondensatory te muszą wytrzymywać wysokie napięcie. Dlatego zewnętrzne ich wymiary są często dość duże, choć w ostatnich latach miniaturyzacja i tu poczyniła znaczne postępy.

2. Kondensatory wykorzystywane jako elementy kształtujące charakterystyki częstotliwościowe urządzeń. Typowym przykładem jest kondensator w obwodzie rezonansowym. Tutaj wartość pojemności jest bardzo istotna — na przykład, w przypadku strojonego

obwodu rezonansowego decyduje ona o częstotliwości odbieranej przez radioodbiornik. Tu także dużą rolę odgrywa ją dotychczas pominięte parametry techniczne kondensatorów: stałość pojemności w funkcji temperatury oraz tzw. dobroć. Zmiany pojemności kondensatora w funkcji temperatury określa temperaturowy współczynnik pojemności, mówiący, o ile procent zmienia się pojemność kondensatora przy zmianie temperatury o 1° C. Ponieważ pojemność przy zmianach temperatury może zarówno rosnać, jak i maleć, temperaturowy współczynnik pojemności może być dodatni lub ujemny. Zmiany pojemności ze zmianą temperatury są dla większości kondensatorów niewielkie i pozornie zupełnie bez znaczenia, a jednak przy zmianach temperatury powodują przestrajanie obwodów rezonansowych czy różnego rodzaju filtrów, co jest szczególnie wyraźne przy bardzo wielkich częstotliwościach, np. w zakresie UKF. Chcąc zmniejszyć to zjawisko, trzeba dobierać kondensatory o odpowiednich właściwościach temperaturowych do zastosowanych cewek i ewentualnie innych elementów wnoszących pojemności, np. lamp czy tranzystorów. Przy odpowiednim doborze rodzaju i pojemności kondensatorów wzajemne zmiany temperaturowe parametrów różnych elementów mogą się skompensować.

Niestety, w warunkach amatorskich praktyczne dobieranie kondensatorów jest niemożliwe i w związku z tym nie będziemy zajmować się tym zagadnieniem.

Dobroć kondensatora jest miarą jego przydatności do obwodów rezonansowych. W każdym kondensatorze część energii przepływającego przez niego prądu zmiennego jest tracona na skutek zjawisk zachodzących w izolatorze oddzielającym okładki kondensatora, a także w oporności elektrycznej samych okładek i ich doprowadzeń. Im większe są te straty przy określonej pojemności,

tym mniejsza dobroć. Kondensator o niskiej dobroci nie nadaje się do obwodów rezonansowych, ponieważ rezonans w takim wypadku będzie osłabiony — selektywność obwodu ulegnie znacznemu pogorszeniu. Również w różnego rodzaju filtrach (na przykład w bardziej skomplikowanych układach regulacji barwy tonu we wzmacniaczach akustycznych) kondensatory o małej dobroci powodują niekorzystne pogorszenie właściwości układu.

Na koniec wypada wspomnieć o kondensatorach stosowanych w urządzeniach pracujących przy bardzo wielkich częstotliwościach (kilkadziesiąt MHz i więcej). Przy tak wielkich częstotliwościach kondensator może sprawić dziwną na pozór niespodziankę i zacząć zachowywać się jak dławik o pewnej indukcyjności. Dzieje się tak dlatego, że każdy przewodnik elektryczny ma pewną indukcyjność. W wielu typach kondensatorów sposób wykonania (zwinięcie okładzin wraz z izolatorem) znacznie tę indukcyjność zwiększa. Powyżej pewnej częstotliwości indukcyjność własna kondensatora zaczyna przeważać nad jego pojemnością. Niezależnie od roli takiego kondensatora w układzie prowadzi to z reguły do zupełnie wadliwego działania układu.

Pojemność kondensatora wraz z tolerancją, napięcie znamionowe, a także tzw. kategoria klimatyczna, określająca temperaturę i wilgotność, w jakiej kondensator pracuje poprawnie, są zwykle podawane, niekiedy przy użyciu specjalnych kodów, na obudowie kondensatora. Natomiast pozostałe właściwości elektryczne można znaleźć tylko w katalogach, które nie są, niestety, łatwo dostępne. W związku z tym omówimy po kolei podstawowe typy kondensatorów, zwracając szczególną uwagę na te ich cechy, które nie są szerzej znane. Przede wszystkim zaś wskażemy, jakich rodzajów kondensatorów należy używać do różnorodnych układów.

Ze względu na budowę wewnętrzną dzielimy kondensatory zwykle na grupy według rodzaju izolatora oddzielającego okładziny. Odpowiednio do rodzaju izolatora mamy więc kondensatory papierowe, ceramiczne, mikowe, powietrzne itp. Oto ich najważniejsze cechy:

1. Kondensatory papierowe. Zbudowane są one z dwóch wstążek folii aluminiowej, między którymi znajduje się warstwa specjalnej bibułki kondensatorowej. W nowych wykonaniach spotyka się też zamiast folii aluminiowej warstwy aluminium napyłone w próżni bezpośrednio na bibułkową wstążkę. Po wykonaniu doprowadzeń z drutu wstążka jest zwijana i tworzy wałek. Następnie, dla ochrony przed wilgocią, umieszcza się ją w rurce papierowej, metalowej lub szklanej, i dla nadania hermetyczności zalewa odpowiednim tworzywem.

Kondensatory papierowe mają nie najlepsze właściwości i z wolna wychodzą z użycia. Cechują je dość znaczne rozmiary, mała wartość dobroci, znaczna indukcyjność własna, a także nie najlepsza odporność na wilgoć i wysoką temperaturę. Kondensatorów tych nie należy stosować w obwodach rezonansowych. Przydatne są one głównie jako odspzęgające, sprzęgające i blokujące.

Z dostępnych w kraju kondensatorów papierowych radzimy stosować tylko te, które są zalewane żywicą epoksydową (oznaczenie KP-022). W niedługim czasie zostaną one zastąpione znacznie lepszymi kondensatorami poliestrowymi.

2. Kondensatory styroleksowe. Są zbudowane podobnie jak papierowe, lecz izolator ich jest wykonany z cienkiej folii z tworzywa sztucznego — polistyrenu. Kondensatory te mają wymiary zewnętrzne zbliżone do papierowych, lecz bez porównania lepsze właściwości. Cechują je bardzo małe straty (duża dobroć) oraz duża odporność na wpływ

zewnętrzne. Nadają się doskonale do obwodów rezonansowych i do wszelkich bardziej „odpowiedzialnych” funkcji. Nie należy ich jednak stosować przy częstotliwościach powyżej kilkunastu MHz, ze względu bowiem na konstrukcję mają one dość znaczną indukcyjność własną.

Przy montażu trzeba pamiętać, że polistyren jest tworzywem termoplastycznym i w temperaturze powyżej 100° C mięknie i topnieje. Kondensatory styroleksowe trzeba więc wluutować ostrożnie, bo silne podgrzanie końcówek zwykle powoduje uszkodzenie kondensatora.

Kondensatory styroleksowe są bardzo popularne. Produkowane są (z oznaczeniem: KSF — z trzema cyframi, zależnie od wykonania) o pojemności od kilkadziesiąt pikofaradów do około 0,1 mikrofarada. Mają one tolerancję 20%, 10%, 5%, wartość zaś pojemności ich ułożona została według wartości znormalizowanych w szeregach E6, E12, E24 (patrz odcinek o opornikach, „MT” nr 5/72).

W sprzedaży spotyka się kondensatory o napięciach znamionowych 63 V, 100 V, 250 V, 400 V, 630 V i 1000 V. Pojemność, jej tolerancja i napięcie znamionowe są oznaczone na obudowie w sposób zwykły lub za pomocą kodu, który będzie opisany dalej (patrz kondensatory ceramiczne).

3. Kondensatory poliestrowe. Nie należy ich mylić z kondensatorami styroleksowymi, choć są zewnętrznie dość podobne. Mają taką samą budowę, lecz ich izolująca folia wykonana jest z tworzywa poliestrowych. Mają one — w porównaniu z poprzednio omawianymi typami — znacznie mniejsze wymiary zewnętrzne przy tej samej pojemności. Jednakże właściwości kondensatorów poliestrowych, chociaż lepsze od kondensatorów papierowych, znacznie ustępują właściwościom kondensatorów styroleksowych. Kondensatory te są w za-

sadzie przewidziane do zastosowania w układach podobnie jak papierowe. W obwodach rezonansowych nie należy ich używać. Mają one ciekawą właściwość samoregeneracji — jeśli pod wpływem zbyt wysokiego napięcia nastąpi przebicie i przeskoczy pomiędzy okładkami iskra, wysoka temperatura powoduje wypalenie otworu w folii izolującej i w okładkach w taki sposób, że przepływ prądu ulega przerwaniu i po przebiciu kondensator nadal jest sprawny. Natomiast w innych typach kondensatorów przebicie prowadzi do trwałego zwarcia okładzin. W kondensatorach samoregenerujących się mogą następować przebicia w trakcie normalnej eksploatacji bez widocznych złych skutków dla układu, w którym te kondensatory pracują. Jest jednak przyłożone napięcie przekracza znamionowe, przebicia mogą zachodzić bardzo często, powodując zauważalny wzrost zakłóceń w układzie, oraz powodując pogarszanie właściwości kondensatora aż do trwałego uszkodzenia. Właściwość samoregeneracji nie oznacza więc, że można do kondensatora przyłożyć bezkarnie duże napięcie.

Kondensatory poliestrowe (oznaczenie: KSE — z trzema cyframi, zależnymi od wykonania) są spotykane w sprzedaży z tymi samymi wartościami pojemności i napięć znamionowych, co kondensatory styroflexowe. Produkowane są także miniaturowe kondensatory poliestrowe (oznaczenie MKSE-011) mające przy pojemnościach rzędu mikrofaradów i napięciach znamionowych 100 V lub 250 V zupełnie małe wymiary zewnętrzne — niestety, kondensatory te, niezmiernie przydatne w urządzeniach miniaturowych, trafiają do sprzedaży na razie w bardzo niewielkich ilościach.

4. Kondensatory ceramiczne. Tą potoczną nazwą określane są dwie grupy kondensatorów, różniące się ogromnie właściwościami, o czym bardzo często radioamatorzy nie wiedzą. Jedną z grup

to kondensatory ze „zwykłej” ceramiki kondensatorowej, druga zaś — to kondensatory zwane fachowo ferroelektrycznymi. Te ostatnie zbudowane są z ceramiki o bardzo szczególnych właściwościach. Ma ona bardzo wielką wartość stałej dielektrycznej, co oznacza, że kondensator o dużej pojemności może mieć bardzo małe wymiary zewnętrzne. Jednak zarazem kondensatory wykonane z takiej ceramiki mają właściwości silnie uzależnione od temperatury otoczenia, a nawet od przyłożonego napięcia, a także niewielką dobroć.

Kondensatory ceramiczne zwykle mają natomiast, w przeciwieństwie do ferroelektrycznych, bardzo dobre właściwości. Cechuje je wysoka dobroć, nadają się więc do wszelkich zastosowań, także przy bardzo wielkich częstotliwościach. Budując urządzenia pracujące w zakresie UKF czy telewizyjnym, stosuje się niemal wyłącznie kondensatory ceramiczne, zwykle i ferroelektryczne.

Pojemności zwykłych kondensatorów ceramicznych są niewielkie — od ułamków pikofarada do ok. 1000 pF. Kondensatory te mają kształt rurek, płytek lub tabletek z drucianymi doprowadzeniami. Kondensatory ceramiczne ze zwykłej ceramiki są oznaczane: KCR — rurkowe, KCP — płytkowe, itp., z dodatkami cyfry lub cyfr zależnie od wykonania. Oznaczenia te jednak nie są umieszczane na samych kondensatorach, ze względu na małe ich wymiary, lecz jedynie na handlowych opakowaniach. Na samych kondensatorach oznacza się pojemność, jej tolerancję i napięcie znamionowe, najczęściej według kodu liczbowo-literowego. Kod ten składa się z liczby i dwóch liter — dużej i małej. Liczba oznacza pojemność w pikofaradach, duża litera — tolerancja, mała — napięcie znamionowe. Znaczenie liter — patrz tab. 1 i 2. Oznaczenie „47 Kd” rozszyfrowujemy więc następująco: pojemność 47 pF, tolerancja pojemności $\pm 10\%$, napięcie znamiono-

Tabela 1

Litera	Tolerancja
G	+2%
I	±5%
K	±10%
M	±20%
E	±1 pF
S	+50%
	-20%
U	+80%
	-20%
brak litery	±0,5 pF

Tabela 2

Barwa	Pojemność (pF)
zielona	330
niebieska	470
fioletowa	680
biała	1000
czarna	1500
brązowa	2200

we 250 V (podobnym kodem są też oznaczone kondensatory styroleksowe).

Kondensatory ferroelektryczne mają na ogół, w przeciwieństwie do omawianych wyżej zwykłych kondensatorów ceramicznych, duże pojemności. Najczęściej spotykane są kondensatory tego typu o pojemnościach w zakresie 1 nF — 47 nF. Wartości pojemności tych kondensatorów określa szereg znormalizowany E6, tolerancje pojemności zaś są bardzo szerokie. Wynika to z silnej zależności pojemności tych kondensatorów od temperatury, a nawet od przyłożonego napięcia stałego. Do obwodów rezonansowych kondensatory te są zupełnie nieprzydatne. Można ich używać tylko jako sprzęgające i blokujące; ich zaletą są przy dużych pojemnościach małe wymiary zewnętrzne.

Oznaczenia fabryczne tych kondensatorów brzmią: KFR — rurkowe, JFP — płytkowe, zwane popularnie „liza-

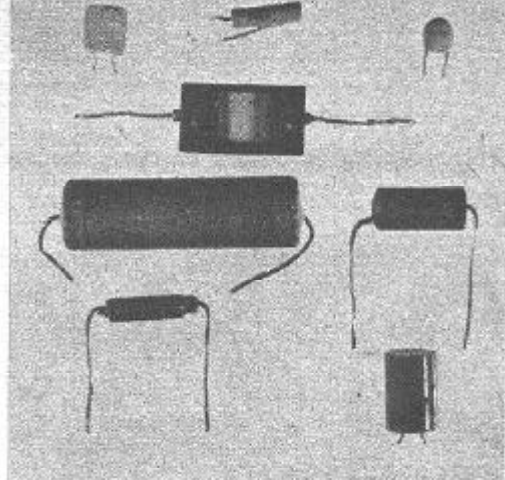
kami”, KFPr — płytkowe prostokątne. Oznaczenia tych kondensatorów składają się z litery dużej E lub F, oznaczającej pojemności w postaci liczby zakończonej literą n lub cyfr przedzielonych literą n, dużej litery oznaczającej tolerancję i małej oznaczającej napięcie znamionowe. Pojemność oznaczona jest w nanofaradach, litera n między cyframi zastępuje przecinek. Zatem oznaczenie „E 6n8 Sc” rozszyfrowujemy: kondensator ferroelektryczny, pojemność 6,8 nF tolerancja +50% do -20%, napięcie znamionowe 350 V. Kondensatory płytkowe o średnicy 6 mm ze względu na brak miejsca są oznaczone kodem barwnym. Umieszcza się na nich barwne kropki oznaczające pojemność wg tab. 3. Ilość kropek oznacza tolerancję: jedna — jak litera duża S, dwie — jak litera duża U (tab. 2).

5. Kondensatory elektrolityczne. Są zbudowane podobnie do papierowych, jednak z istotną różnicą. Przekładka papierowa między metalowymi okładzinami nie pełni tu roli izolatora. Jest ona nasycona płynem — elektrolitem. Po zmontowaniu kondensatora i umieszczeniu w obudowie przeprowadzane jest tzw. formowanie — zabieg polegający na przepuszczeniu przez kondensator stałego prądu. Prąd ten powoduje reakcję chemiczną między elektrolitem i jedną z okładzin. W wyniku reakcji na jednej z okładzin powstaje bardzo cienka i szczelna warstwa tlenkowa pełniąca rolę izolatora. Dzięki niezwykle małej grubości tej warstwy, kondensatory elektrolityczne mają wielkie pojemności przy małych wymiarach zewnętrznych. Mają one jednak także szereg cech niekorzystnych. Między ich okładzinami izolacja nigdy nie jest idealna, zawsze po przyłożeniu napięcia płynie pewien prąd upływu. Trzeba więc w niektórych wypadkach pamiętać o tym i brać pod uwagę, że kondensator elektrolityczny pozwala zawsze na przepływ niewielkiego prądu stałego.

W układach tranzystorowych prąd upływu może powodować niekontrolowane zmiany punktów pracy tranzystorów. Prąd upływu jest też szkodliwy i w innych przypadkach. Na przykład niedopuszczalny jest przepływ prądu stałego przez głowice magnetofonowe (w magnetofonach lepszej jakości). Wobec tego kondensator łączący głowicę ze wzmacniaczem nie powinien być elektrolityczny. Jeśli potrzeba tu kondensatora o dużej pojemności, najlepiej zastosować kondensator typu KSE lub MKSE.

Kondensatory elektrolityczne nie mogą na ogół poprawnie pracować w obwodach, w których prąd zmienia kierunek. Przy przyłożeniu napięcia w kierunku odwrotnym, niż podczas procesu formowania, izolująca warstwa związków chemicznych ulega rozkładowi i kondensator przestaje być zdolny do użytku. Należy więc zawsze uważać, aby napięcie było przyłożone do kondensatora zgodnie ze znakami podanymi na obudowie. Istnieją wprawdzie kondensatory mające warstwy tlenkowe na obu okładzinach, a zatem niewrażliwe na zmiany kierunku napięcia, są one jednak w handlu prawie niespotykane.

Najczęściej można nabyć kondensatory w obudowach aluminiowych (typy KEN, KEM, KED i inne) oraz w obudowach polistyrenowych, do montażu drukowanego (typ KES). Pojemności ich układają się według szeregu 1 — 2 —



— 5 — 10, a napięcia przebicia mają wartości od 3 V do 500 V.

Kondensatory elektrolityczne mają jeszcze jedną niekorzystną właściwość: ich parametry bardzo silnie się pogarszają przy obniżeniu temperatury. Zależnie od typu, kondensatory te przestają poprawnie działać, gdy temperatura spadnie poniżej 0° C (najgorsze typy). — 10° C do —20° C (przeciętne) lub —40° C (najlepsze). Oczywiście po podniesieniu temperatury kondensatory odzyskują swoje właściwości. Gdy przewidujemy użycie budowanej aparatury w niskich temperaturach, a nie wiemy, jak znoszą mróz użyte kondensatory, możemy w pewnym stopniu zabezpieczyć się przed pogorszeniem działania urządzenia stosując kondensatory o pojemności kilkakrotnie większej od potrzebnej w normalnych warunkach.

Oprócz omówionych wyżej najważniejszych rodzajów kondensatorów istnieje jeszcze wiele innych ich rodzajów: mikowe, szklane, elektrolityczne tantalowe — nie znajdujących z różnych powodów większego zastosowania w pracowni radioamatora. Nie będziemy więc ich omawiać. Pozostała też grupa kondensatorów zmiennych. Tę omówimy w kolejnym odcinku.

Mgr inż. Wiesław Kuźmicz

Tabela 3

Litera	Napięcie
a	63 V
b	100 V
c	160 V
d	250 V
e	350 V
brak litery	500 V
g	750 V
h	1000 V
i	1600 V
m	25 V