

Jeżeli nie jesteś, i nie chcesz być konstruktorem, tej części materiału też nie musisz czytać. Jeśli cię to jednak interesuje, otrzymasz teraz szereg kolejnych wskazówek praktycznych. Są to rady co stosować, a czego unikać w poszczególnych rodzajach budowanych układów.



Zasilacze sieciowe (klasyczne)

Do filtrowania napięcia całkowicie wystarczają zwykłe kondensatory elektrolityczne aluminiowe. W zasilaczach niekiedy stosuje się dodatkowo niewielkie kondensatory ceramiczne umieszczone przed mostkiem prostowniczym, mające za zadanie ograniczenie ewentualnych zakłóceń impulsowych przedostających się z sieci energetycznej przez transformator. Na **rysunku 13** znajdziesz schematy, przebiegi napięcia i wskazówki dotyczące doboru pojemności w zależności od pobieranego prądu. Oczywiście wymaganą pojemność można uzyskać łącząc równolegle kilka mniejszych kondensatorów.

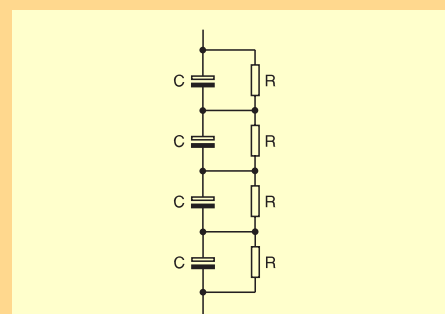
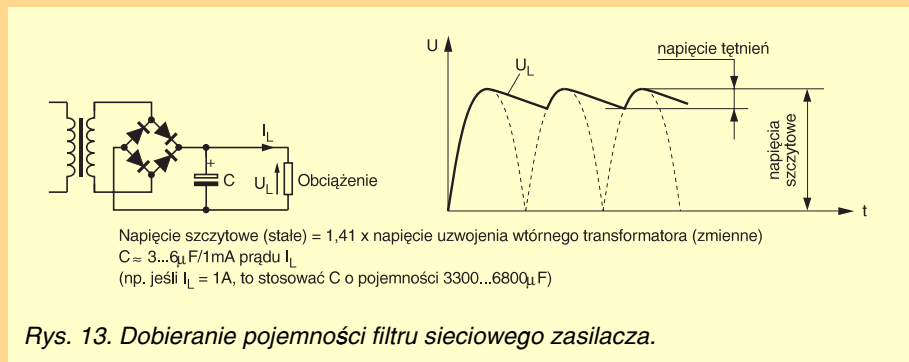
Natomiast na **rysunku 14a** pokazałem ci sposób łączenia szeregowego kondensatorów elektrolitycznych w przypadku, gdy trzeba uzyskać kondensator o większym napięciu pracy. Konieczne należy zastosować rezystory bocznikujące ze względu na możliwość wystąpienia znacznego prądu upływu w kondensatorach, które przez jakiś czas pozosta-

ną bez napięcia. Jeśli to możliwe, lepiej jest zastosować układ z **rysunku 14b**.

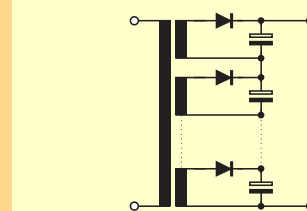
Zasilacze impulsowe

Zasilacze takie pracują przy częstotliwościach rzędu 15...100kHz. Trzeba koniecznie pamiętać, że w tym zakresie pojemności zwykle kondensatory elektrolityczne mają pojemność znacznie, nawet kilkakrotnie, mniejszą od pojemności nominalnej; na dodatek, co jeszcze gorsze, przy takich częstotliwościach występują w nich duże straty mocy na rezystancji szeregowej ($tgd > 1$). Do filtrów takich zasilaczy produkuje się specjalne kondensatory elektrolityczne o podwyższonej niezawodności, małych stratach (low ESR) i wysokiej dopuszczalnej temperaturze pracy. Dużo, może nawet większość, zagranicznych kondensatorów o większej pojemności ma parametry pozwalające na zastosowanie ich w zasilaczach impulsowych. Zwykle można je poznać po zaznaczonej na obudowie dopuszczalnej górnej temperaturze pracy równej $+105^{\circ}\text{C}$ (zwykle elektrolity: $+70...+85^{\circ}\text{C}$). Nie każdy hobbysta ma jednak dostęp do ta-

kich kondensatorów; są one też dość drogie. Warto więc wiedzieć, że w zasilaczach i przetwornicach pracujących z częstotliwościami 15...25kHz można też stosować zwykłe, krajowe "elektrolity". Przecież ze względu na znaczną częstotliwość pracy, wymagane pojemności filtru są kilkadziesiąt razy mniejsze niż w zasilaczach sieciowych 50Hz (100Hz). Zaleca się tu jednak stosowanie kondensatorów na napięcie pracy znacznie wyższe niż rzeczywiste napięcie pracy, ponieważ kondensatory takie przy swych większych gabarytach mają mniejszą wartość rezystancji ESR. Ko-



Rys. 14a. Łączenie szeregowo jednakowych kondensatorów elektrolitycznych.



Rys. 14b. Zasilacz wykorzystujący transformator wielozwojeniowy.

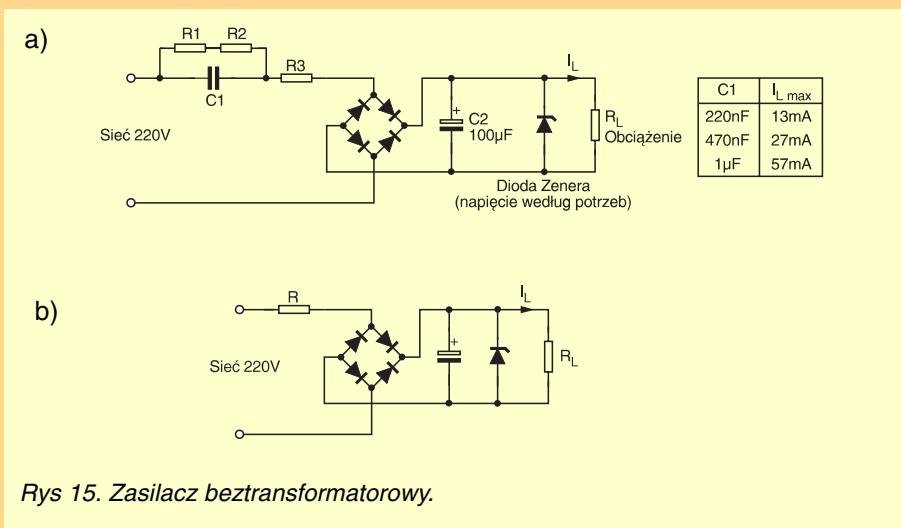
go układu, i w skrajnym przypadku dotknięcie go grozi śmiertelnym porażeniem. Dlatego nie stosuj tego sposobu zasilania, jeśli to nie jest konieczne. Standardowo używaj zwykłych zasilaczy transformatorowych, i to firmowych, mających certyfikat bezpieczeństwa.

Odsprężanie zasilania

Jak ci wcześniej podałem, odsprężanie zasilania jest konieczne praktycznie we wszystkich układach elektronicznych zawierających elementy wzmacniające. Bez prawidłowego odsprężenia szyn zasilających układ może się wzbudzić lub będzie podatny na różne zakłócenia. Wiesz już, że do odsprężania szyn zasilających standardowo stosuje się równoległe połączenie "elektrolita" i ceramicznego "liczaczka".

Chcę ci jednak jeszcze bardziej przybliżyć ten temat. Nie przestrasz się, ale sprawa jest znacznie bardziej skomplikowana. Popatrz na **rysunek 16** - przecież wszystkie przewodzące ścieżki i przewody mają pewną indukcyjność. Dowiedziałeś się też, że w zakresie wysokich częstotliwości nawet kondensatory potrafią zachowywać się jak cewki. Jeśli nawet do odsprężania zastosujesz naprawdę bezindukcyjne kondensatory monolityczne typu "chip", to i tak musisz się liczyć, że ich pojemność z występującymi szkodliwymi indukcyjnościami stworzy jakieś *równoległe* obwody rezonansowe LC (przy omawianiu kondensatorów mówiliśmy o *szeregowych* obwodach LC).

Dla częstotliwości bliskich rezonansu, impedancja równoległego obwodu LC jest duża, więc skuteczność odsprężania może być znikoma, wręcz żadna! No i co tu zrobić? Na szczęście takie obwody rezonansowe zawierają zawsze ja-



Rys 15. Zasilacz beztransformatorowy.

rzystnie jest też zastosowanie kilku kondensatorów o mniejszej pojemności, zamiast jednego o pojemności większej.

Zasilacze beztransformatorowe

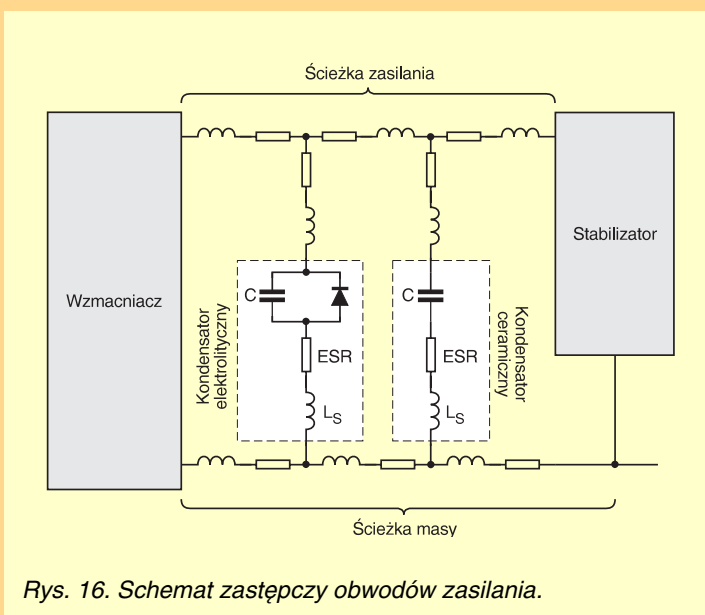
W prostych zasilaczach beztransformatorowych (**rysunek 15a**) elementem ograniczającym prąd jest zwykle kondensator - C1. Jak już wiesz, powinien to być kondensator polipropylenowy KMP (MKP) na napięcie 400V lub poliestrowy MKSE (MKT) na napięcie 630V. Rezystory R1 i R2 o wartości rzędu megaoma są niezbędne do rozładowania kondensatora po odłączeniu od sieci - bez nich przypadkowe dotknięcie zacisków wejściowych mogłoby spowodować przykry udar prądowy. Celowo narysowałem ci tu dwa szeregowo połączone rezystory, bowiem miniaturowe rezystorki mają napięcie pracy rzędu 150...250V, tymczasem na kondensatorze występuje napięcie zmienne o wartości szczytowej prawie 300V. Z kolei rezystor R3

jest niezbędny ze względu na ograniczenie do bezpiecznej dla diod wartości prądu w momencie dołączania do sieci. Bez niego, w przypadku dołączenia do sieci w momencie szczytu napięcia (ponad 300V), przez kondensator i diody popłynąłby przez moment prąd rzędu kilkuset (!) amperów, który uszkodziłby diody prostownicze. Ze względu na możliwość wystąpienia znacznych impulsów prądowych, w zasilaczu powinny być stosowane diody prostownicze o prądzie nominalnym przynajmniej 1A, np. typu 1N4001...4007.

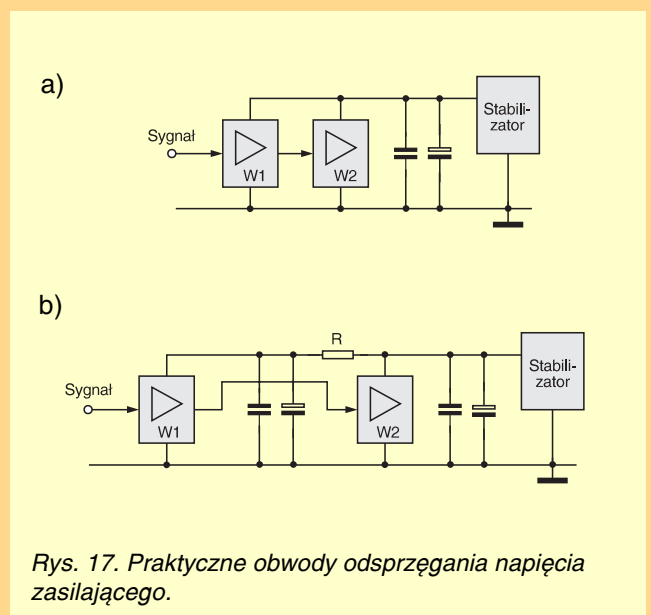
Niektórzy nowicjusze do ograniczania prądu stosują wyłącznie rezystory (**rys. 15b**) i efektem jest znaczna moc strat, rzędu kilku, kilkunastu watów, wydzielająca się w tych rezystorach.

Przy zastosowaniu prostowania dwupołkowego w układzie z rysunku 15a, zależnie od pojemności C1 otrzymuje się prąd użyteczny zgodnie z zamieszczoną tabelką.

Oczywiście taki zasilacz nie zapewnia bezpieczeństwa użytkownika zasilane-



Rys. 16. Schemat zastępczy obwodów zasilania.



Rys. 17. Praktyczne obwody odsprężania napięcia zasilającego.

kieś (szkodliwe) rezystancje. Tym razem rezystancje te są naszym sojusznikiem, bowiem zmniejszają dobroć obwodów rezonansowych oraz ich impedancję. Mam nadzieję, że rozumiesz o co chodzi? Bardzo często okazuje się więc, iż takie łagodne rezonanse nie mają wpływu na pracę urządzenia. Dlatego też wersja z **rysunku 17b** jest lepsza niż z **rysunku 17a**. Szeregowy rezystor wpływa korzystnie na filtrację zarówno w zakresie małych, jak i wielkich częstotliwości.

Trzeba też mieć świadomość, iż jeśli omawiane teraz częstotliwości rezonansu równoległego będą leżeć w zakresie setek megaherców lub jeszcze wyżej, to wtedy niebezpieczeństwo dla układów m.cz. nie jest aż takie duże.

Czy jednak mamy jakikolwiek wpływ na takie rezonanse? Tak! I to znaczny!

Czym krótsze ścieżki i wyprowadzenia, tym mniejsze indukcyjności, a więc większe częstotliwości rezonansowe. Przy większych częstotliwościach rezonanse są łagodniejsze wskutek rosnących strat i mniej groźne, bo leżą powyżej pasma przenoszenia elementów wzmacniających.

Najmniejszą indukcyjność, rzędu pojedynczych nanohenrów mają kondensatory ceramiczne typu "chip" - przeznaczone do montażu powierzchniowego oraz ceramiczne "lizaczki", o ile tylko montowane są jak najbliższej płytki. Kondensatory foliowe z natury mają nieco większą indukcyjność - kilka...kilkanaście nanohenrów w zależności od wymiarów i konstrukcji zwijki.

W przypadku kondensatorów elektrolitycznych nie mówi się o indukcyjności doprowadzeń, bowiem z innych względów stosowane są one przy częstotliwościach rzędu co najwyżej setek kiloherców i indukcyjność doprowadzeń nie ma wtedy znaczenia.

Jeśli więc zaprojektujesz "pólhektarową" płytkę drukowaną zawierającą szybkie tranzystory czy wzmacniacze operacyjne, a kondensatory odsprężające "przezornie" umieścisz tuż przy zasilaczu sieciowym, to nie dziw się, że układ może się wzbudzić, lub pojawią się inne kłopoty. Przyzwyczajaj się więc do możliwości małych płytek. Oczywiście, doświadczony konstruktor poradzi sobie w każdym przypadku, ale ty na razie

przyjmij jako zasadę projektowanie możliwie małych, zwartych płytek z szerokimi ścieżkami i zawsze przemyśl rozmieszczenie kondensatorów odsprężających.

Kondensatory odsprężające zasilanie powinny być umieszczane jak najbliższe odsprężanych obwodów i półprzewodników. Prawdopodobieństwo samowzbudzenia układu zmontowanego na dużej powierzchni jest większe niż tego samego układu zmontowanego na małej powierzchni i objętości.

zdanie stosuje się też kondensatory zmienne, w tym trymery powietrzne, ceramiczne, foliowe.

Warto też wspomnieć o pewnym problemie dotyczącym kondensatorów stosowanych w obwodach mocy - przepływające prądy w.cz. powodują wydzielanie się znacznej mocy strat na rezystancjach ESR.

Układy w.cz. to specyficzny zakres zastosowań, którego nie da się omówić w kilku zdaniach. Poza tym ja nie jestem specjalistą w tej dziedzinie.

Zainteresowanym mogą tylko polecić literaturę specjalistyczną, na przykład dobrą książkę Zdzisława Bieńkowskiego "Poradnik Ultra-krótkofalowca".

Ogólnie rzecz biorąc, kwestia stabilności pojemności traci coraz bardziej znaczenie wskutek powszechnego stosowania układów cyfrowej syntezy częstotliwości oraz filtrów kwarcowych i ceramicznych z fałą powierzchniową.

Wzmacniacze elektroakustyczne

Stosowane tu są praktycznie wszystkie typy kondensatorów: od małych "ceramików" typu 1 w obwodach kompensacji częstotliwości przez foliowe kondensatory blokujące i sprężające, aż do potężnych elektrolitów o pojemności dziesiątek tysięcy mikrofaradów. We wzmacniaczach końcowych dużej

mocy rodzaj zastosowanych kondensatorów zwykle nie jest krytyczny.

Jednak w niskoszumnych przedwzmacniaczach nie można zaniedbać właściwości kondensatorów.

Pierwszy stopień przedwzmacniacza obowiązkowo powinien zawierać obwody dodatkowej filtracji napięcia zasilającego. Potrzebne one są zarówno ze względu na szumy, jak i dla zapobiegania samowzbudzeniu i przenikaniu zakłóceń z zasilacza sieciowego. Z zasady nie stosuje się tu zwykłych elektrolitów aluminiowych, a tylko tantalowe. Dobrze jest też dać mały, lokalny stabilizator, np. 78L15, 79L15 czy podobny.

Jak wiadomo, rezystancja zastępcza ESR, podobnie jak każda rezystancja, szumi "sama z siebie". Dotyczy to przede wszystkim kondensatorów sprężających i filtrujących, umieszczonych w pierwszym stopniu przedwzmacniacza. Dlatego w urządzeniach najwyższej klasy w roli kondensatorów sprężających zamiast kondensatorów elektrolitycznych stosuje się często kondensatory foliowe: poliestrowe i polipropylenowe, i to nie pojedynczo, tylko po kilka sztuk połączonych równolegle dla uzyskania pojemności rzędu 10...50μF! Czy jest to konieczność, czy tylko szpan, mający wzbudzić podziw ewentualnego obserwatora? To bywa rozmaicie - aby się przekonać, należałoby policzyć jaki wpływ na szumy całkowite mają poszczególne elementy: źródło sygnału, rezystory, kondensatory i półprzewodniki. To jest jednak historia z zupełnie innej bajki. Zagadnienie walki z szuma-

mi jest zbyt szerokie, abym mógł ci je dogłębnie wyjaśnić w tym krótkim omówieniu. Jeśli cię to interesuje, napisz do mnie, wtedy w jednym z listów podam ci szereg dalszych szczegółów.

Ja w roli wejściowych kondensatorów sprężających, gdzie tylko się da, stosuję kondensatory foliowe o pojemności 470nF, 1μF lub 2x1μF, i to nie tyle ze względu na szumy, co raczej z lenistwa, dla własnej wygody. Nie muszę się potem martwić o biegunowość ewentualnie występujących stałych napięć polaryzujących.

W każdym razie unikaj stosowania zwykłych, aluminiowych elektrolitów w stopniach wejściowych niskoszumnych przedwzmacniaczy. Jeśli możliwe,

Obwody

W.cz.

W obwodach sygnałowych w.cz. stosuje się zwykle kondensatory ceramiczne: w obwodach rezonansowych typu 1, a do blokowania prądów w.cz, sprężania stopni i filtrowania zasilania - ferroelektryczne, typu 2.

Praktycznie jedynie w tej dzied-

W obwodach sygnałowych wzmacniaczy wysokiej klasy unikaj w miarę możliwości kondensatorów ceramicznych ferroelektrycznych.

W niskoszumnych przedwzmacniaczach nigdy nie stosuj zwykłych aluminiowych "elektrolitów", a tylko kondensatory foliowe i tantalowe.

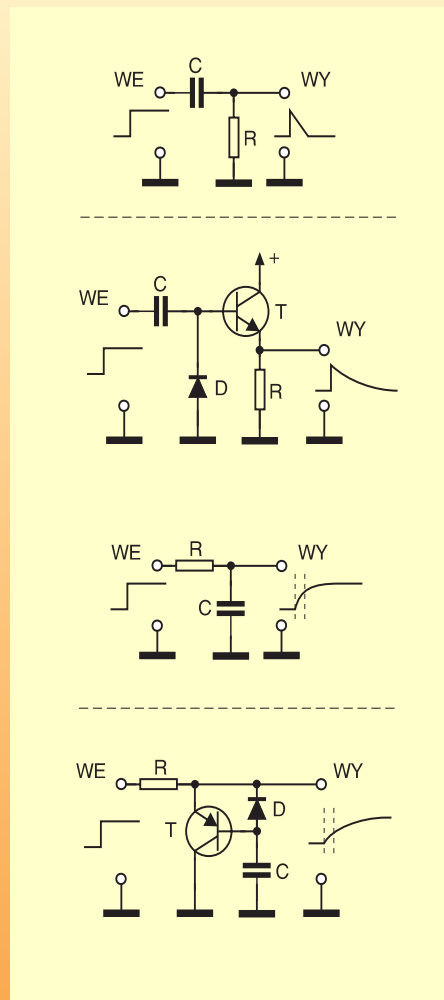
Zwiększanie stałej czasowej obwodu RC

Istnieje bardzo prosty sposób zwiększania stałej czasowej obwodu RC przez zastosowanie tranzystora.

Wypadkowa stała czasowa jest b -krotnie większa od iloczynu RC (gdzie b jest wzmocnieniem stałoprądowym tranzystora). Wydawałoby się, że jest to idealny sposób na pozbycie się zawodnych "elektrolitów" na przykład z obwodów czasowych prostych urządzeń alarmowych, gdzie potrzebne są czasy rzędu kilkudziesięciu i więcej sekund.

Sposób ten ma jednak pewną wadę i jest rzadko stosowany w układach wymagających dużej niezawodności. Mianowicie przy dużej wartości rezystancji R i dużym wzmocnieniu tranzystora, prąd bazy, czyli prąd ładowania kondensatora, może mieć wartość rzędu nanoamperów. Tymczasem tego rzędu wartość może mieć prąd upływu w zakurzonej i zabrudzonej płytce umieszczonej w urządzeniu pracującym bez przerwy kilka lat. Jeśli więc zastosujesz gdzieś takie rozwiązanie, musisz pomyśleć o skutecznym zabezpieczeniu płytki i elementów dobrym lakierem izolacyjnym lub nawet zalewą silikonową.

Jednak radzę ci raczej zastosowanie generatora i układu licznikowego, choćby wspomnianej już kostki CMOS 4541.



stosuj sprzężenie bezpośrednie - galwaniczne. Gdy potrzeba, wykorzystaj kondensatory foliowe i tantalowe. W urządzeniach wysokiej klasy ferroelektryczne ceramiki stosuj tylko w układach od sprzęgania zasilania. Starannie unikaj stosowania ich w obwodach sygnałowych. Wcześniej celowo pokazałem ci na rysunku 4, jak zmieniają się parametry tych kondensatorów pod wpływem choćby zmian napięcia - może to spowodować (uważaj!) pojawienie się dodatkowych zniekształceń nieliniowych. Tak! Ferroelektryczne ceramiki tak naprawdę nie są wcale elementami liniowymi, choć pewno się naczytałeś w książkach, że standardowe rezystory i kondensatory to elementy liniowe.

Generatory i filtry m.cz.

W układach tych zachodzi konieczność używania kondensatorów o pojemnościach w granicach 1nF...10μF. Jeśli wymagana jest duża stabilność,

wtedy w zakresie do kilkudziesięciu...kilkuset nanofaradów najlepiej jest stosować kondensatory ceramiczne typ 1: NP0 (G0C) lub styroflexowe, nawet gdy wymaganą pojemność trzeba złożyć z kilku mniejszych.

Dość dobrą alternatywą byłoby użycie kondensatorów poliwęglanowych (MKC), ale dla polskiego hobbysty mogą się one okazać zbyt trudne do zdobycia.

Dlatego w wielu przypadkach zastosujesz najpopularniejsze kondensatory poliestrowe (MKSE-20 lub MKT). Przy stosowaniu tych kondensatorów oprócz temperaturowych zmian pojemności (nieliniowych - patrz rysunek 10) musisz liczyć się z wpływem innych czynników, które mogą zmienić pojemność nawet o 1...3%.

Generalnie przy wszelkich kondensatorach musisz zwracać uwagę na warunki lutowania. Wiele kondensatorów może trwale zmienić swą pojemność o 0,2...2% wskutek podgrzania przy lu-

towaniu. Jak pamiętasz, takie same zjawisko zaobserwowaliśmy podczas badania rezystorów (EdW1/96). Nie należy więc przegrzewać kondensatorów, a w uzasadnionych przypadkach można montować krytyczne elementy na trochę dłuższych wyprowadzeniach.

Jeśli tylko masz możliwość dokładnego pomiaru pojemności, to proponuję ci przeprowadzenie szeregu prób w tym zakresie. Sam przekonaj się, na ile trzeba się tym przejmować, a na ile nie warto zwracać sobie głowy. Weź więc kilka różnych rodzajów kondensatorów i zmierz pojemność "dziewiczą" i potem sprawdź, jak zmienia się ona po kolejnym wlutowaniu i wylutowaniu elementu. Pewnie przekonasz się, że nie warto idealnie dokładnie dobrać pojemności na cyfrowym mostku, bo rozjedzie się ona po wlutowaniu w płytkę. Raczej należałoby przeprowadzać korektę częstotliwości generatora lub filtra RC (dolutować dodatkowe niewielkie kondensatory lub rezystory) po zmontowaniu i sprawdzeniu układu.

Na pewno masz świadomość, że od zwykłych aluminiowych elektrolitów nie można oczekiwać stabilności - zmiany pojemności z upływem czasu mogą znacznie przekroczyć 10%. Jedyne w miarę stabilne elektrolity to tantalowe, ale jeśli tylko masz dość miejsca, użyj raczej "baterii" kondensatorów MKSE (MKT) i zwiększaj współpracujące rezystancje. Masz tu do dyspozycji kondensatory MKSE-25 i stare MKSE-012 i -018, które co prawda są dość duże, ale mają pojemność aż do 10μF. Bez trudu dostaniesz też miniaturowe kondensatory MKSE-20 lub MKT o pojemności 1μF lub nawet 2,2μF.

Podsumowanie

Cykl artykułów o kondensatorach dobiegł do końca. Jeszcze raz cię zachęcam, żebyś w miarę możliwości przeprowadził zalecane pomiary kondensatorów i nabrał przekonania o stałości ich parametrów. Nie zapomnij o odsprężaniu zasilania we wszystkich budowanych układach.

Zapisz sobie na widocznym miejscu najważniejsze informacje o kondensatorach lub zrób odbitkę ksero stron 54-55 z EdW 5/96.

Piotr Górecki