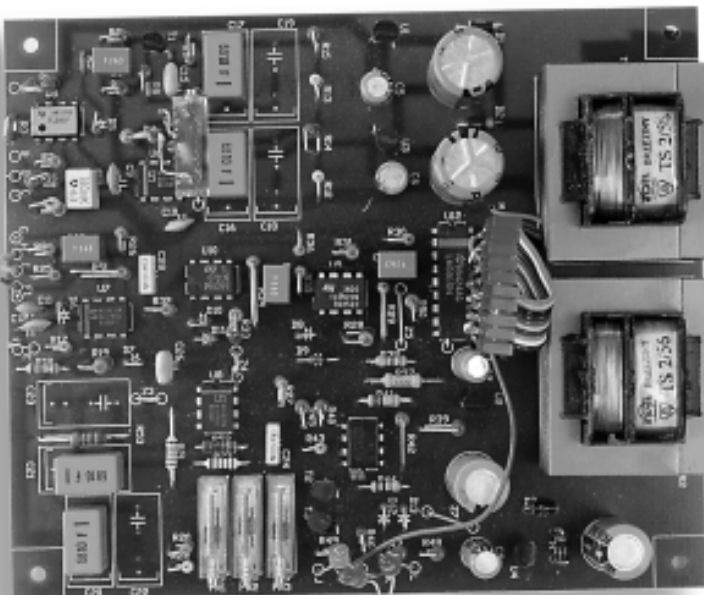


# Miernik zniekształceń nieliniowych, część 2

## kit AVT-332

*Druga część artykułu poświęconego prezentacji konstrukcji miernika zniekształceń nieliniowych przybliży zasady obowiązujące podczas montażu i uruchomienia układu.*

*Ponieważ dokładność wykonywanych pomiarów jest zależna zarówno od jakości zastosowanych w urządzeniu elementów, jak i od precyzji regulacji, wszystkim Czytelnikom zainteresowanym samodzielnym wykonaniem tego układu gorąco polecamy szczególne zapoznanie się z uwagami autora.*



### Montaż i uruchomienie

Płytki modelowa pokazana na fotografii różni się kilkoma szczegółami od projektu przedstawionego na wkładce w poprzednim numerze EP. W trakcie testów okazało się konieczne wprowadzenie kilku drobnych zmian w pierwotnym projekcie. Stąd też w układzie nie występują rezystory R1 i R5.

Rozmieszczenie elementów przedstawiono na **rys.5**.

Montaż elementów na jednostronnej płytce nie sprawi trudności, jednak należy zwrócić uwagę na tranzystor T1 typu BF245 - jest to najbardziej podatny na uszkodzenie element układu.

Montaż można rozpocząć od zmontowania obu transformatorów i zasilaczy. Przed zamontowaniem innych elementów warto sprawdzić, czy zasilacze dostarczają przewidzianych napięć  $\pm 15V$ .

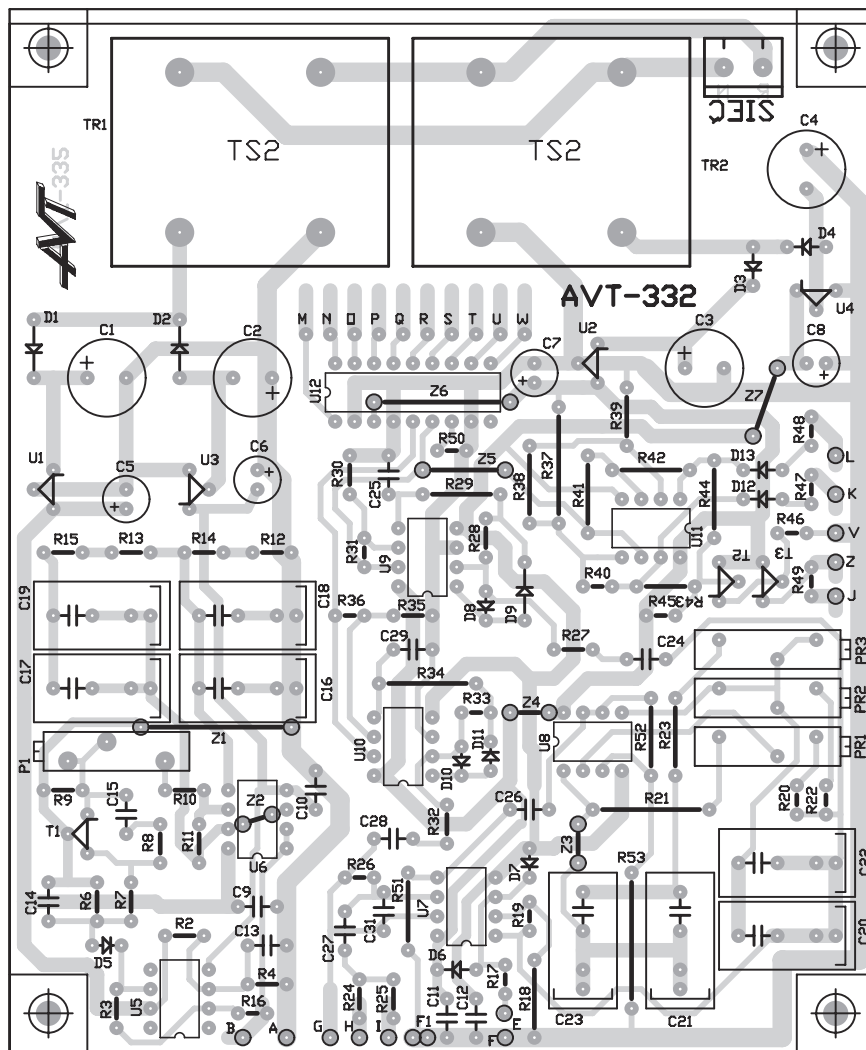
W zasadzie montaż elementów układu mógłby nastąpić w dowolnej kolejności, ale tranzystor T1 i układy scalone warto dla bezpieczeństwa wlutować na samym końcu.

Na płytce w obwodach obu mostków Wiena przewidziano

miejsce na dwa kondensatory, i to o różnym rozstawie wyprowadzeń. W modelu użyto precyzyjnych kondensatorów styrofleksowych o tolerancji 0,5%. W rzeczywistości wcale nie jest konieczne uzyskanie podanej wartości pojemności, równej 6,81nF. Chodzi tylko o to, żeby spośród większej liczby kondensatorów foliowych MKT lub MKSE o pojemności 6,8nF i tolerancji 20% wybrać cztery jednakowe, których względna tolerancja nie przekroczy 1% (cztery, bo dwa - C16 i C17 - są potrzebne do generatora, a dwa - C20 i C21 - do filtru). Wystarczy do tego mostek do pomiaru pojemności lub miernik uniwersalny umożliwiający pomiar pojemności.

Ze względu na stabilność pojemności, nie wolno w obwodzie mostka Wiena stosować popularnych kondensatorów ceramicznych ferroelektrycznych - muszą to być kondensatory foliowe. Ponadto muszą to być kondensatory jednakowego typu, najlepiej pochodzące z jednej serii produkcyjnej, aby miały zbliżone współczynniki termiczne pojemności.

Także rezystory mostka powinny być dobrej jakości - metalizo-



Rys. 5. Rozmieszczenie elementów na płycie drukowanej.

wane. W żadnym wypadku nie należy stosować popularnych rezystorów węglowych. Obecnie nie jest już problemem nabycie dobrych rezystorów o tolerancji 1%, więc w miarę możliwości należy stosować wartości podane na schemacie.

Jeśli chodzi o pozostałe rezystory, to podane na rysunku wartości wskazują jednocześnie na typ tych rezystorów: jeżeli podano wartość z szeregu E96 (np. 11,5kΩ) - powinny to być dobrej jakości rezystory metalizowane o tolerancji 1% (0,5..2%). Gdy podano wartość z szeregu E24, można stosować popularne rezystory węglowe.

Wartości wielu rezystorów można zmieniać w szerokim zakresie, najczęściej ważny jest stosunek wartości odpowiednich par, a nie ich bezwzględna wartość. Pewne znaczenie ma także współczynnik ciepłoty rezystancji.

Nietypowe na pierwszy rzut oka wartości rezystorów R10 i R11 nie powinny straszyć - należy je złożyć łącząc szeregowo rezystory o nominałach odpowiednio 22,7kΩ +11,5kΩ oraz 2 x 36,5kΩ.

Wyjaśnienia wymaga jeszcze sprawa dzielnika wejściowego z przełącznikiem SW2. Autor użył dostępnego przełącznika pięciopozycyjnego, ale oczywiście można zastosować przełącznik o większej lub mniejszej liczbie pozycji. W dzielniku nie muszą być stosowane rezystory o podanych wartościach. Jednak zalecane, choć nie konieczne, jest użycie rezystorów metalizowanych, ponieważ kiepskiej jakości rezystory i potencjometry węglowe mogą nieco zwiększyć zniekształcenia własne.

Ponieważ układ miernika zniekształceń nie jest przeznaczony dla zupełnych nowicjuszy, nie będziemy podawać szczegółowych wskazówek o możliwościach

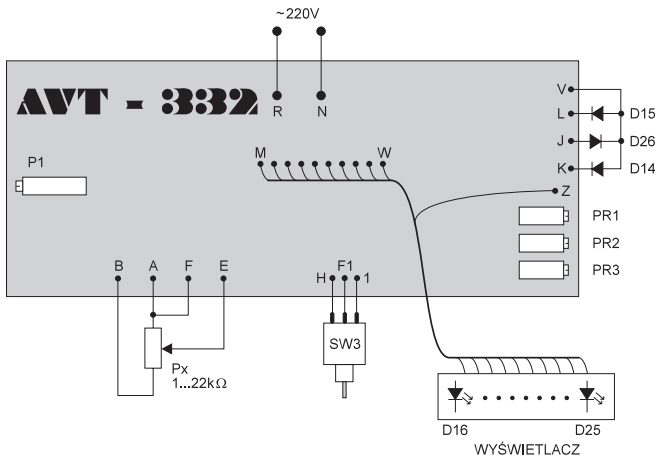
zmian wartości elementów - bardziej zaawansowani elektronicy sami wprowadzą ewentualne modyfikacje.

Po zmontowaniu elementów na płycie należy dołączyć przewodami wszystkie diody LED, przełącznik SW3, sprawdzić i wyregulować układ, a dopiero potem dołączyć zewnętrzne dzielniki z przełącznikami SW1 i SW2.

Najpierw trzeba wstępnie uruchomić generator: należy ustawić helitrim P1 w takim położeniu, w którym będą się utrzymywać stabilne drgania. Na razie wystarczy, że w ogóle pojawi się przebieg sinusoidalny o wartości rzędu 1V. Jeśli drgania nie pojawiłyby się w żadnym położeniu suwaka potencjometru P1, co zresztą jest niezmiernie mało prawdopodobne, to należy zewrzeć rezystor R9 (a tym samym tranzystor T1) - wskazywałoby to bowiem na uszkodzenie tranzystora. Wtedy drgania muszą się pojawić, tyle że ich amplituda będzie bliska napięciom zasilającym, a wierzchołki będą obcięte.

Tranzystor T1 pełni rolę zmiennej rezystancji stabilizującej amplitudę drgań - dla zmniejszenia zniekształceń wprowadzono dodatkowo bocznikujący go rezystor R9. W razie kłopotów z uzyskaniem stabilnego przebiegu o amplitudzie rzędu 1V, można spróbować zwiększyć wartość R9 lub nawet go usunąć. Rozwiązaniem może też być wymiana tranzystora T1 na inny egzemplarz, mający inne napięcie odcięcia i rezystancję minimalną kanału. Można też zwiększyć nieco wartość R11 lub zmniejszyć R10. Jednak najprawdopodobniej dla wszystkich egzemplarzy tranzystorów BF245 (i podobnych polowych złączonych typu n) żadne takie modyfikacje nie będą potrzebne i generator ruszy od razu.

Po wstępnym uruchomieniu generatora, jego wyjście należy połączyć z wejściem pomiarowym według rys. 6. Następnie należy sprawdzić, czy przy różnych położeniach suwaka dodatkowego potencjometru uda się uzyskać kolejno świecenie diod D14, D15 i D26. Oczywiście, przy zbyt małym sygnale świecić się powinna dioda D15, przy zbyt dużym D14. W razie kłopotów, przede wszys-



Rys. 6. Schemat połączeń układu testowego.

tkim trzeba skontrolować wartość wszystkich czterech napięć zasilających, po czym należy sprawdzić oscyloskopem i woltmierzem obwody kostek U9 i U11 - tam musiała wystąpić jakaś pomyłka w montażu.

Gdy omawiany blok pracuje poprawnie, należy ustawić dodatkowym potencjometrem Px takie napięcie na wejściu miernika, żeby świeciła się zielona dioda D26. Umożliwi to także pracę wyświetlacza D16...D25.

W pozycji środkowej przełącznika SW3, na zakresie do 30%, gdy wzmocnienie toru pomiarowego jest najmniejsze, prawdopodobnie wszystkie diody wyświetlacza będą wygaszone. Ale przy większym wzmocnieniu układu U7B z pewnością świecić się będzie jakaś dioda wyświetlacza. Należy wtedy przeprowadzić właściwą kalibrację układu. Obejmuje ona zarówno regulację potencjometru P1 w generatorze (dla uzyskania najmniejszych zniekształceń), jak i potencjometrów PR1 - PR3 (dla uzyskania maksymalnego wytłumienia składowej podstawowej).

W rzeczywistości nie sprawi to żadnych problemów: po prostu pokręcając kolejno wszystkimi helitrimami należy sprowadzić wskazanie wyświetlacza do minimum, czyli praktycznie wygasić wszystkie diody wskaźnika na zakresie do 0,3%.

Nie jest to wcale trudne. Najpierw należy wyregulować PR1 na minimum wskazań wyświetlacza, potem wskazanie można jeszcze obniżyć pokręcając PR2 i PR3, a następnie należy znów podregu-

lować PR1 oraz PR2 i PR3. Tym samym filtr zostanie wstępnie dostrójony do częstotliwości generatora.

Najprawdopodobniej potrzebna będzie jeszcze regulacja P1 w generatorze dla uzyskania minimalnych zniekształceń. Przy regulacji P1 należy jednak sprawdzać, czy nie zgaśnie

zielona dioda D26 - nadmierne zwiększenie wartości P1 spowoduje po prostu zanik drgań. Położenie suwaka P1 należy dobrać z wyczuciem tak, aby zniekształcenia były znikome, ale jednocześnie aby amplituda drgań była stabilna. Nie można tu „przedobrzyc“, bo drgania po pewnym czasie mogłyby zaniknąć. W praktyce właściwy punkt pracy generatora można łatwo ustalić po kilku próbach.

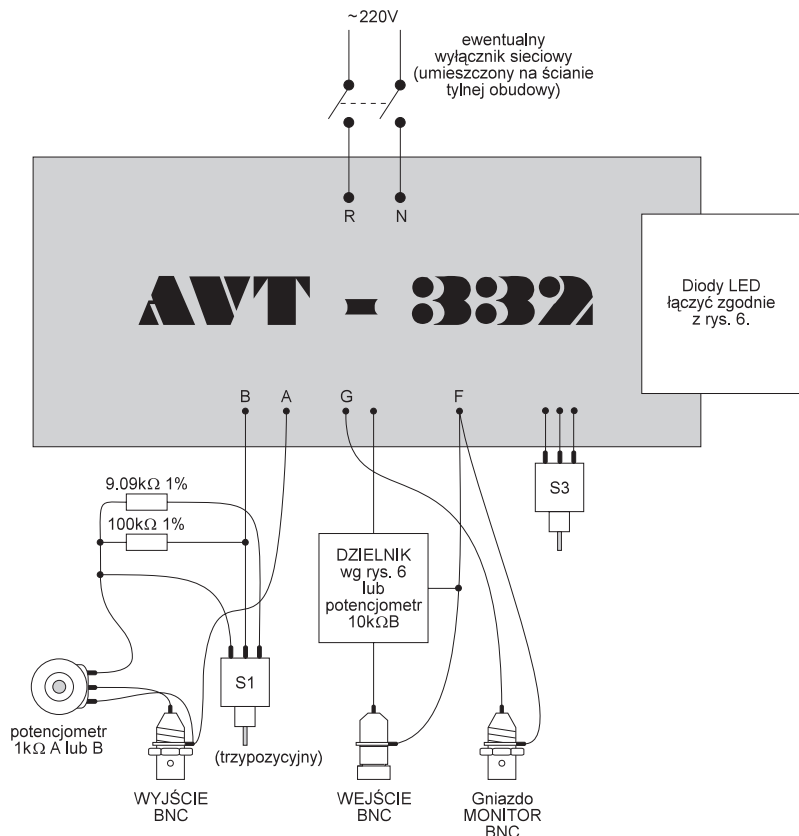
Jeśli regulacja P1 spowoduje obniżenie się wskazań wyświetla-

cza, należy jeszcze raz przeprowadzić cykl regulacji PR1, PR2, PR3, PR1, PR2, PR3.

W sumie można uzyskać całkowite wygaszenie wyświetlacza także na najczulszym zakresie 0,013..0,3%.

Taka regulacja wystarczy - przyrząd jest gotowy do pomiarów. Warto zauważyć, że dzięki przyjętej koncepcji układowej, do pełnego wyregulowania przyrządu potrzebny jest jedynie oscyloskop, nie jest natomiast wymagane żadne porównywanie z wzorcowym miernikiem zniekształceń. Dla hobbysty jest to nieocenioną zaletą. Częstotliwości generatora i filtru stroi się w opisany, bardzo prosty sposób, a wymagane wzmocnienia torów pomiarowych są wyznaczone z wystarczającą dokładnością przez rezystory o ustalonych wartościach.

Przeprowadzone próby wykazały, że w zasadzie wszystkie kostki w układzie mogłyby być typu TL082 czy TL072. Jednak zastosowanie w kluczowych miejscach zdecydowanie lepszych kostek NE5532 i rezystorów metalizowanych pozwoliło bez trudu uzyskać poziom zniekształceń własnych



Rys. 7. Schemat połączeń zewnętrznych.

znacznie poniżej 90dB. Wprawdzie na najniższym zakresie skala wskaźnika diodowego zaczyna się od 0,013%, jednak w związku ze znakomitymi parametrami kluczowych bloków, układ można w prosty sposób przekalibrować na zakresy 0,004..0,1%, 0,04..1% i 0,4..10%. Wystarczy tylko trzykrotnie zwiększyć rezystancję R33 do 180kΩ. Jednak przy wartościach proponowanych na schemacie i w wykazie elementów, dolna granica wynosząca 0,012% jest całkowicie wystarczająca do celów amatorskich.

Autor celowo nie proponuje poszerzania zakresu pomiarowego w dół poniżej 0,01%, bowiem w praktyce nie ma to sensu - gratulacje należą się każdemu, kto zbuduje wzmacniacz o zniekształceniach poniżej 0,02..0,05%. Jak wspomniano, takie poszerzenie zakresu pomiarowego w dół jest możliwe i łatwe do zrealizowania, ale niesie ze sobą pewną niedogodność. Mianowicie elementy mostków Wiena w generatorze i filtry mimo wszystko nie są identyczne. Przy zmianach temperatury występuje pewien dryft częstotliwości i w konsekwencji po pewnym czasie starannie wyregulowany przyrząd minimalnie „się rozjedzie” - nie ma się czemu dziwić - opisany filtr ma dużą dobroć i ogromne tłumienie częstotliwości środkowej, wynoszące około 90dB, to znaczy 30.000 razy! Taki minimalny dryft, czyli mówiąc potocznie „rozjechanie się przyrządu, przy połączeniu według **rys.7** objawi się niezerywym wskazaniem na najniższym zakresie, a przy praktycznych pomiarach niemożliwością pomiaru zniekształceń rzędu 0,013..0,05%.

Tak czuły przyrząd należałoby więc kalibrować przed każdym pomiarem małych zniekształceń. Zresztą i przy proponowanych zakresach, po dłuższym czasie układ może się nieco rozkalibrować.

Dlatego należy przewidzieć możliwość okresowej kalibracji filtru. Helitrimy PR1 - PR3 celowo umieszczono obok siebie na krawędzi płytki, co znakomicie ułatwi ewentualną kalibrację. Wystarczy wykonać w obudowie, naprzeciw tych potencjometrów, trzy niewielkie otwory umożliwiające włożenie niewielkiego wkretaka.

Dla ułatwienia takiej okresowej kalibracji warto też umieścić na płycie czołowej przyrządu przełącznik oznaczony SELF TEST - zamknięcie go połączy wyjście generatora wprost z wejściem miernika.

Proponowany układ połączeń pokazuje rys. 7. Na wkładce wewnątrz numeru przedstawiono wygląd płyty czołowej, odpowiadający połączeniom rys. 7. Czołówka ta ma wymiary 184 x 63mm i została zaprojektowana do popularnej obudowy z tworzywa sztucznego o wymiarach zewnętrznych 190 x 200 x 70mm. Próby wykazały bowiem, że układ nie wymaga metalowej obudowy ekranującej.

Dla zminimalizowania wpływu zewnętrznych zakłóceń, wszelkie przewody sygnałowe łączące gniazda i przełączniki z płytką powinny być jak najkrótsze. Próby wykazały jednak, że nie jest wymagane ich ekranowanie.

Przy końcowym montażu należy koniecznie pamiętać, że masy generatora i miernika nie mogą być ze sobą na stałe połączone wewnątrz przyrządu - połączenie ich może spowodować błędne wskazania, szczególnie przy po-

miarach układów precyzyjnych oraz wzmacniaczy mocy.

### Inne uwagi

Przy intensywnych testach modelu zdarzyło się kilkakrotnie, że dodatkowo napięcie zasilające części pomiarowej spadło do wartości rzędu 0,8V. Spowodowane to było swego rodzaju zatrząskiwaniem się stabilizatora U2. Jeśli by w trakcie użytkowania przyrządu wystąpiło takie zjawisko, wtedy zamiast małego stabilizatora 78L15 należałoby zastosować wersję o większym prądzie, np. 78M15 lub 7815. Na tę okoliczność przewidziano w płycie pod stabilizator U2 otwory o średnicy 1mm.

Ogólne wyniki testów i pomiarów są więcej niż zadowalające, a biorąc pod uwagę niski koszt urządzenia i dzieciinną łatwość strojenia - wręcz rewelacyjne. Dla osiągnięcia optymalnych rezultatów należy jednak zastosować podzespoły o odpowiedniej jakości.

Natomiast do mniej wymagających zastosowań w układzie można wykorzystać wyłącznie popularne rezystory węglowe i wszystkie wzmacniacze operacyjne z rodziny TL082 lub TL072.

Autor opracowania z wdzięcznością przyjmie wszelkie pozytywne i negatywne uwagi i wnioski nadesłane do redakcji przez Czytelników, którzy zrealizują opisany układ i będą go wykorzystywać w praktyce.

**Piotr Górecki, AVT**

### Errata do części 1:

1. Kondensator C1 w zasilaczu (rys. 4), obok układu U2 powinien mieć oznaczenie C11.
2. Kondensator C31 (rys. 4) powinien mieć symbol kondensatora stałego.