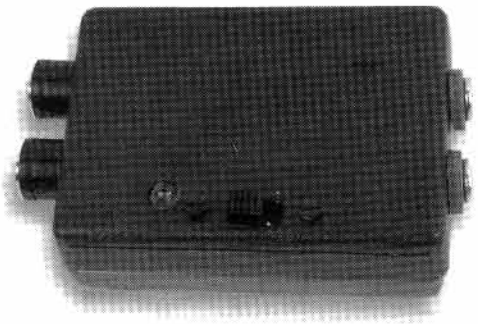
Dział "Projekty Czytelników" zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za poprawność tych projektów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie.
Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane ***oświadczenie, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany****. Honorarium za publikację w tym dziale wynosi 100,- zł (brutto) za 1 stronę w EP. Przysyłanych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.*

Projekt opracowany przez naszego Czytelnika zainteresuje z pewnością wielu konstruktorów zafascynowanych techniką audio.
Deklarowane przez autora parametry przetwornika i możliwość pracy układu pomiarowego bez konieczności stosowania dodatkowego zasilania sygnalizują, że jest to konstrukcja starannie przemyślana i dopracowana konstrukcyjnie.

Prostownik - przetwornik 029

AC/DC 1kHz-20kHz w formie przystawki bez zasilania



Na początek o wiarygodności wskazań...

Typowy multimetr cyfrowy mierzy napięcie zmienne z gwarantowaną dokładnością do ok. 1kHz (często tylko 0,4kHz - rzadko 5kHz).

Częstotliwość 20kHz dla kilku sprawdzonych przeze mnie popularnych przyrządów różnych marek mierzona była z błędem większym od 2dB (20%)!

Oszacujmy błąd, z jakim należy się liczyć w dobrym skądinąd (lecz tylko trzy i pół-cyfrowym) modelu METEX'a M3660D, w którym pole gwarantowanej klasy dokładności sięga 20kHz. Producent określa na zakresie AC (napięciowym!) klasę dokładności następująco:

±1,5% rdg +5 dgt

gdzie: rdg - rzeczywista wartość sygnału,
dgt - wartość najmłodszej cyfry,
przy czym dotyczy to wartości mierzonego napięcia zbliżonej do maksymalnej dla danego zakresu, co jest naturalnym efektem w przyjętych metodach konwersji A/D. Tu już dokładnie nie wiemy, jakiego konkretnie wzrostu błędu należałoby oczekiwać w realnych warunkach w dolnej czy choćby środkowej części zakresu. Z pomocą mogą przyjść charakterystyki starego, lecz ciągle niezastąpionego pięciocyfrowego woltomierza MERATRONIK V-541. Kiedy więc dla końca dowolnego zakresu dokładności pomiaru jest lepsza niż 0,15% (przy 20kHz) to w jego połowie spada do 0,2% - by przy U_{we} = minus 20dB osiągnąć 0,5%. Analogicznie w możliwym i realistycznym przypadku pomiaru napięcia ok. $10V_{rms}$ METEX-em na zakresie 20V trzeba się liczyć z uchybem wynoszącym ±3%. Widać czarno na białym, że pomiar nawet tak nowoczesnym przyrządem (interfejs do komputera PC) jest obarczony zbyt dużym marginesem niepewności. Natomiast dokładność pomiaru napięć i prądów stałych będzie parokrotnie lepsza - wystarczająca do współpracy z zewnętrznym przetwornikiem.

Taki układ w formie przystawki zamierzam tu zaprezentować. Nie umożliwi on wprawdzie pomiaru napięć odkształconych, ale dzięki temu oferuje szerokie pasmo ze stałym, przewidywalnym wzrostem tłumienia: 20kHz = -0,1dB (czyli minus 1%), 30kHz = -0,2dB, 40kHz = -0,3dB - co pozwala dla znanej częstotliwości wprowadzić powyższą poprawkę.

Gwoli ścisłości: również spracowany V-541 wskazuje prawidłowo tylko dla współczynnika zawartości harmonicznych nie większego niż 5% (a i to dzięki firmowym zabiegom układowym na trzech wzmacniaczach operacyjnych, w specjalnym obwodzie korekcji).

Generator wzorcowy

W zwykłym warsztacie elektronika nie ma lepszego i tańszego generatora sinusa nad pomiarową (testową) płytę CD - ostatnio nieco powszechniej dostępną. Zawiera ona wiele przebiegów, m. in. do fazowej kontroli torów stereofonicznych, ale przede wszystkim służy sporym wyborem stabilnych częstotliwości z bardzo równym poziomem.

Charakterystyka będzie płaska w solidnych odtwarzaczach CD z cyfrową filtracją szumów kwantyzacji. Tanie czytniki CD lub sprzęt spacerowy (discmany) nie dają gwarancji poprawnych wyników.

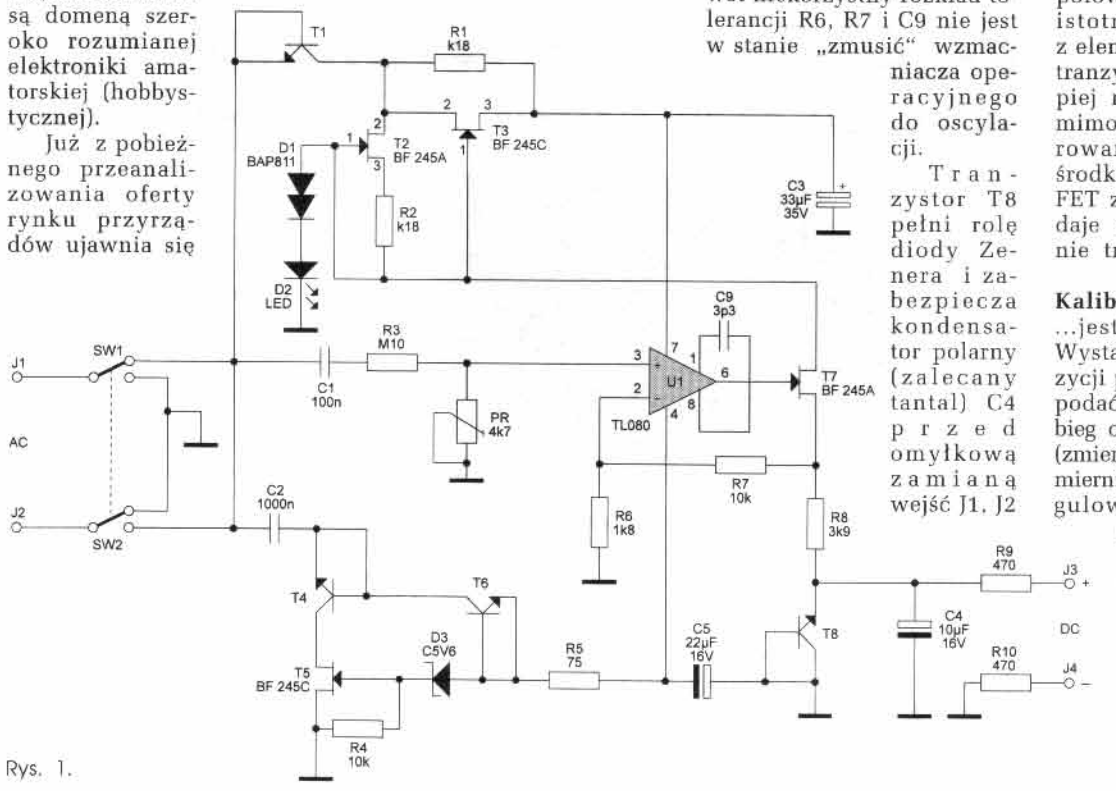
Rzut oka na rynek

Nie należy nazbyt ufnie traktować tych multimetrów, które umożliwiają pomiar „true RMS" szerokopasmowo. Zagłębienie się w instrukcję i dane techniczne z reguły odsłania wiele ograniczeń, o jakich należałoby pamiętać przy interpretacji wyników (przebiegi szpilkowe niesymetryczne, choć powtarzalne, mogą być za trudne). M.in. proszę zawsze zwrócić uwagę, czy podana tolerancja dotyczy wszystkich zakresów, czy tylko jednego, dwóch najniższych.

Konia z rzędem temu, kto potrafi np. przewidzieć zachowanie się przyrządu przy pomiarze małego napięcia AC (sygnału użytecznego, szumu albo tętnień) na tle wysokiej składowej stałej - co każdorazowo występuje przy konstruowaniu lub serwisie urządzeń lampowych oraz wielu półprzewodnikowych. Oscyloskop z sondą nie zawsze pozwala na obserwację (i tak mało dokładną) przebiegów m.cz. Poza tym metalowa obudowa przyjmująca łatwo po-

tencjał gniazda wejściowego nie sprzyja poprawianiu bezpieczeństwa w niektórych sytuacjach. Może z kolei oscyloskop cyfrowy? Duże gabaryty i jeszcze większa cena nie są domeną szeroko rozumianej elektroniki amatorskiej (hobbystycznej).

Już z pobieżnego przeanalizowania oferty rynku przyrządów ujawnia się pozorna obfitość. Dla pasjonatów obszaru audio (i szerzej: m.cz.) nie widać nic atrakcyjnego. Pozostaje stary-nowy Meratronik. Ten renomowany polski producent niestety tylko częściowo jest w stanie wypełnić istniejącą lukę, ponieważ projektuje sprzęt raczej stacjonarny, ciężkawy i mało uniwersalny. W efekcie ciągle jeszcze jest miejsce dla własnych konstrukcji wspomagających domowe laboratorium pomiarowe - jak np. tegoroczna inauguracja układu scalonego AD736 na łamach „EP".



Rys. 1.

Zastosowanie

Proponowany układ ma wąskie zastosowanie, ale jest dość dokładny oraz - co niebagatelne i wyjątkowe - nie wymaga, w swej podstawowej wersji, zasilania sieciowego ani bateryjnego. Jest to możliwe przy spełnionych trzech warunkach: mierzone źródło musi mieć wydajność prądową przynajmniej 9mA (wartość skuteczna przy impedancji wyjściowej paru omów) - najlepiej poniżej 1Ω. Źródło winno zapewnić U_{wy} na poziomie minimum 3V (8V międzyszczytowego - peak to peak). Takie warunki jednoznacznie wskazują na wzmacniacze mocy.

Uwaga: wysterowanie głośników średnio- i wysokotonowych czystym sinusem (czyli tonem) o częstotliwości wyższej niż kilkaset herców i amplitudzie powyżej paru woltów jest niedopuszczalne - ich cewki ulegną przegrzaniu.

Zasada działania

Centralnym elementem układu, którego schemat przedstawiono na **rys.1**, jest wzmacniacz operacyjny TL080 o wzmocnieniu ustalonym rezystorami R6 i R7 na 6,55 - w konfiguracji nieodwracającej. Wraz z wtórnikiem źródłowym T7 stanowi precyzyjny prostownik jednopołówkowy. Filtr R8 + C4 wygładza tętnienia na potrzeby zewnętrznego miernika cyfrowego, który jest obciążeniem filtru. Jego rezystancja wejściowa musi być równa co najmniej 1Ω (100% przyrządów spełnia z nawiązką ten wymóg). Zastosowany wzmacniacz operacyjny TL080 ma spełniony warunek fazy (nie wzbudza się) dla wzmocnień >5 i pojemności kompensacyjnej C9 = 3pF. Wzmocnienie przekraczające 6 nie wystarczy, aby uniknąć stosowania tego kondensatora. Pojemność C9 większa od 3pF zawęża pole wzmocnienia układu - stąd za optymalną przyjąć wypada 3,3pF. Nawet niekorzystny rozkład tolerancji R6, R7 i C9 nie jest w stanie „zmusić" wzmacniacza operacyjnego do oscylacji.

Tranzystor T8 pełni rolę diody Zenera i zabezpiecza kondensator polarny (zalecany tantal) C4 przed omyłkową zamianą wejść J1, J2 z wyjściami J3, J4 - ograniczając napięcie dodatnie do ok. 8V i ujemne do 0,6V.

Użycie BF245A jako T7 może dziwić, skoro prościej prawdopodobnie byłoby zastąpić go dowolną diodą (zalecana Schottky'ego) i przy okazji zapobiec nasycaniu się w.o. dla ujemnych połówek dodatkowym rezystorem 10kΩ (R7-bis) i jeszcze jedną diodą.

Otóż tak zbudowany - na próbę - prostownik okazał się gorszy: dla 10kHz tłumienie wynosiło jeszcze 0,3dB - czyli znośnie, ale przy 20kHz już 4,0dB! (0dBm = 1000mV). Rozwiązanie z diodą było bardziej wymagające dla w.o., który musiał wykonać (mówiąc skrótowo) pracę w otwartej pętli, by jego nap. wyjściowe przekroczyło próg szeregowo połączonych napięć diody i C4.

Takie wyniki okazały się dla mnie niemałym zaskoczeniem, ale zarazem uzmysłowiły mi, że nawet dla szybkich wzmacniaczy oper. (pasmo jednostkowe > 30MHz) istnienie tzw. czasu martwego (chwilowe przerwanie sprzężenia zwrotnego) stanowi problem. Ciekawy wydaje się fakt, iż dla pasma niniejszego prostownika (z literatury: idealnego) nasycanie się w.o. dla co drugiej połówki sinusoidy jest mało istotne. W końcu wersja z elementem prostującym na tranzystorze FET działa lepiej niż klasyczna z diodą, mimo ewidentnych przesterowań, których prostymi środkami - przy tranzystorze FET z kanałem typu N - nie daje się uniknąć (i wcale nie trzeba).

Kalibracja...

...jest nieskomplikowana. Wystarczy dla dowolnej pozycji przełącznika SW1-SW2 podać na wej. AC (J1, J2) przebieg o f=1kHz i napięciu 10V (zmierzone prawie dowolnym miernikiem). Następnie wyregulować potencjometrem montażowym PM (wieloobrotowym) na wyjściu DC dokładnie 1.00V (1/20 U_{we} przy założeniu, że współczynnik kształtu wynosi 1,11).

Dioda LED ma gasnąć przy obniżeniu U_{we} poniżej 3V.

Zasilanie

Napięcia zasilające w.o. powinny wynosić w przybliżeniu (dla poziomu kalibracji: U_{we} = 10V: dodatnie (wprowadzenie w.o. nr 7) = 10,5V i ujemne (wypr. nr 4) = -7V. Pobierany prąd nie powinien przekraczać 10mA.

Tranzystory T1, T4 i T6 zastępują diody. Katodą takiej diody jest kolektor.

Charakterystyka

(U_{we}AC=5Vrms=constans, kontrola oscyloskopem cyfrowym)

f (kHz)	Uwy DC (mV)	tłumienie
1	500	0%
10	500	0%
20	494	-1,2% (-0,1dB)
30	489	-2,2% (-0,2dB)
40	485	-3% (-0,3dB)
50	480	-4%
60	476	-4,8%
70	471	-5,8%
80	466	-6,8%
90	460	-8%
100	457	-8,6%
.....		
200	414	-17,2%
300	374	-25,2%
400	335	-33%
500	300	-40%

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory
R1, R2: 180Ω (180..240Ω)
R3: 100kΩ 5%
R4: 10kΩ (6,8..12kΩ)
R5: 75Ω (75..100Ω)
R6: 1,8kΩ 5%
R7: 10kΩ 5%
R8: 3,9kΩ (3,3..4,3kΩ)
R9, R10: 470Ω (330..560Ω)

Kondensatory
C1: 100nF/63V (82..220nF)
C2: 1000nF/63V (680..1000nF)
C3: 33μF/35V (22..33μF)
C4: 10μ/16V (4,7..10μF)
C5: 22μF/16V (22..33μF)

Półprzewodniki
U1: TL080
TL, T4, T6, T8: BC337-16
T2, T7: BF245A
T3, T5: BF245C
D1: BAP811
D2: LED superjasna, czerwona
D3: dioda Zenera 5,6V 5% 0,4W

Różne
PM: 4,7Ω (lub 5kΩ) 10% - potencjometr wieloobrotowy
SW1, SW2: przełącznik bistabilny, dwusekcyjny

Zwarcie baz z emiterami wymusza przy odwrotnej polaryzacji pracę inwersyjną, tzn. nośniki mniejszościowe bazy stanowią część prądu kolektora - a nie emitera. Wzmocnienie takiego tranzystora jest do dziesięciu razy mniejsze od nominalnego, jednak wystarczające na tyle, że prąd bazy nie przekroczy dopuszczalnych 100mA. W sumie inwersyjnie pracujący BC337 ma napięcie przewodzenia zwykłej diody prostowniczej, jej prąd - bo prawie 0,8A oraz napięcie wsteczne U_R = 50V. Jest przy tym bardzo szybki, wygodny w montażu i mało wrażliwy na uszkodzenia mechaniczne.

Elementy T2 + R2 stabilizują I_{LED} na poziomie 1,5mA (regulacja: R2). Tranzystor T3 dla U_{we} bliskich 3V bocznikuje R1. Układ złożony z elementów C2, T4, T5, T6 i C5 jest dość nietypowo wykonanym podwajaczem napięcia. Innowacja polega na odłączeniu od masy kolektora T4 i wprowadzeniu w to miejsce regulowanej rezystancji T5 (BF245C). Gdy napięcie ujemne na C5 osiągnie próg przewodzenia D3 następuje obniżenie potencjału bramki T5, a tym samym zwiększenie rezystancji jego kanału. To oznacza mniejszy prąd ładowania kondensatora C2 dla dodatnich połówek i automatycznie mniejszy ładunek przekazywany przez T6 + R5 do C5 w czasie połówek ujemnych. W ten sposób działa stabilizacja, a raczej ograniczenie U_{zas} ujemnego do poziomu ok.-6..-7V. Probierzem poprawnej pracy jest napięcie -2V (±50%) na bramce T5.

Podwajacz z opisaną stabilizacją zabezpiecza U1 przed zbyt wysokim napięciem zasilania oraz T7 przed przebiciem złącza bramka-dren (U_{maxG-D} = 30V). Z tych samych powodów należy zadbać, aby napięcie dodatnie na C3 nie przekroczyło 25V, co groziłoby zniszczeniem T2 i T3 (ewentualnie U1). Trzymanie się zasady nieprzekraczania 15V wartości skutecznej na wejściu pozostawia jeszcze kilkuwatowy margines bezpieczeństwa. Napięcie 15V na obciążeniu 8Ω wydzieli już 30W.

Wzmacniacz TL080 jest równie szybki co LF357 (SR=50V/μs), ale ten ostatni mimo zalety wewnętrznej kompensacji częstotliwościowej pobiera dwukrotnie większy prąd zasilania - w praktyce 3,5mA (według katalogu nieco więcej). Oba układy mają wejściowy stopień różnicowy MOS i jednakową topografię wyprowadzeń. Z punktu widzenia użytkownika różnią się parametrami szumowymi oraz dynamiką napięć wyjściowych, które w nasyceniu przyjmują wartości (bezwzględnie) niższe od U_{zas} o 1,4V dla TLO80 oraz 0,5V w przypadku LF357.

Zastąpienie TL080 wolniejszym TL081 (SR=13V/μs) daje fatalne rezultaty: przy 20kHz tłumienie 13% (przeszło 1dB) i dalej szybko rosnące.

Wskazówki praktyczne

Układ U1 pobiera 1,7mA. Niemal drugie tyle przypada na D2-LED, a prostowniki jednopołówkowe znane są z niskiej sprawności i dużych tętnień. Dla 800Hz wyniosły one 25mV (RMS, w przybliżeniu równe dla obu U_{zas}), a przy 20kHz U_t spadło do 6mV.

Przełącznik SW1-SW2 pozwoli na pomiar zarówno dodatnich jak i ujemnych połówek, co może być pomocne przy wszystkich przebiegach niesymetrycznych (włączając w to napięcie żarzenia odbiorników TV o częstotliwości odchylania poziomego). Przełącznik montujemy poza płytką (drukowaną lub uniwersalną).

Pod U1 warto dać podstawkę, mimo że testowane układy scalone okazały się wytrzymałe na temperaturę (kondensator C9 parokrotnie lutowałem bezpośrednio na wprowadzeniach U1). Na płytce znajdzie się oczywiście miejsce dla C9. Ekranowanie przewodów i samej przystawki nie jest potrzebne. Jako J1, J2, J3 i J4 zupełnie nie wystarczą gniazda bananowe.

Przykład pomiarowy z autopsji

Wzmacniacz Proton AM-455 PRO (U.S.A. Proton Corporation) dysponuje pasywną, niestety, regulacją „basu" (100Hz) i "sopranu" „10kHz" o zakresie regulacji +9/-9dB. Powstaje pytanie, czy nawet w drobnych wychyleniach regulatorów tonu od zerowego położenia nie występują już większe nierównomierności w newralgicznej, środkowej części pasma.

Pomiary dały na to odpowiedź twierdzącą (jaką sugerował już sam odsłuch). Wyniki odbiegały od oczekiwań. Najmniej selektywnie wypadł bas. Jego ograniczenie przez skręcanie potencjometru na „godzinę dziesiątą" wykazało plus 1,2dB/2kHz. Dalsze stłumienie niskich (lewe, skrajne położenie) przyniosło niespodziewaną normalizację przy zmianie znaku na przeciwny:-0,4dB/2kHz. Wzajemne konfiguracje obu regulatorów w różnym stopniu naruszały pożądaną neutralność „średnicy": bas ustawiony na trzecią, a sopran na dziewiątą to -2dB!! Na szczęście w położeniach równowagi całopasmowe pofalowanie charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej nie przekroczyło +0dB i -0,2dB w odniesieniu do 1kHz i zmieściło się w widłach ±0,3dB deklarowanych przez producenta. Co było do udowodnienia (już u sprzedawcy) dzięki pewnemu małemu, a sprytnemu układowi...

Andrzej Kowalczyk