

Przedwzmacniacz gramofonowy RIAA

Czarna płyta winylowa wróciła do łask, a w związku z tym niebywale rośnie popularność gramofonów. Nie każdy współczesny wzmacniacz ma wejście PHONO do podłączenia gramofonu. Wejście to współpracuje z przedwzmacniaczem o specyficznych parametrach. Opisany moduł jest takim wzmacniaczem. Nadaje się nie tylko do wbudowania we wzmacniacze nieposiadające wejścia i przedwzmacniacza gramofonowego. Moduł ma na tyle dobre parametry, że połączony jako zewnętrzna przystawka do wejścia liniowego AUX z powodzeniem zastąpi w popularnym sprzęcie wbudowany przedwzmacniacz gramofonowy, który prawdopodobnie ma gorsze właściwości.

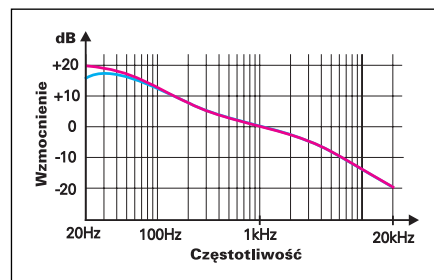
Zdecydowana większość gramofonów wyposażona jest w tak zwaną wkładkę magnetyczną. Uzyskiwane z niej sygnały są niewielkie, rzędu pojedynczych miliwoltów. Ponadto odczytany sygnał jest proporcjonalny do prędkości ruchu igły poruszającej się w rowku płyty. O właściwościach sygnału decyduje też charakterystyka korekcyjna zastosowana podczas nagrywania. W sumie oznacza to, że czym większa częstotliwość, tym większy jest sygnał użyteczny uzyskiwany z wkładki. Sygnał z wkładki musi być też silnie wzmacniony, a charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza ma przywrócić prawidłowe proporcje tonów niskich i wysokich. Biorąc rzecz najprościej, przedwzmacniacz do gramofonu magnetycznego silnie wzmacnia niskie częstotliwości, a znacznie słabiej – wysokie. Aby proporcje były prawidłowe, charakterystyka wzmacniacza korekcyjnego musi odpowiadać ustalonym wieloletniemu wymaganiom.

Od roku 1953 płyty są nagrywane w ten sposób, żeby przy odtwarzaniu prawidłowo współpracowały ze wzmacniaczem o charak-

terystyce ustalonej przez RIAA (Recording Industries Association of America - Amerykańskie Stowarzyszenie Producentów Przemysłu Płytkowego). Oryginalna charakterystyka RIAA z roku 1953 jest zaznaczona na **rysunku 1** kolorem czerwonym. Później (1976) europejska organizacja IEC wprowadziła modyfikację, polegającą na obniżeniu wzmocnienia dla (różnych zakłócających) przebiegów o częstotliwościach poniżej 20Hz. Zmodyfikowana charakterystyka RIAA-IEC zaznaczona jest na rysunku 1 kolorem niebieskim. Różni się od „starej” charakterystyki RIAA tylko w zakresie najniższych tonów. W praktyce taka różnica nie ma żadnego znaczenia.

Przebieg charakterystyk RIAA oraz RIAA-IEC określają konkretne wzory, w których występują stałe czasowe 3180μs, 318μs, 75μs oraz 7950μs. Na przykład wzór na „stara” charakterystykę RIAA to:

$$dB = 10\log_{10} \left(1 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 t_2^2}\right) - 10\log_{10} \left(1 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 t_1^2}\right) - 10\log_{10} \left(1 + 4\pi^2 f^2 t_3^2\right)$$



Rys. 1

Praktykowi takie wzory do niczego się nie przydadzą. Bardziej potrzebne mogą się okazać tabele zawierające informacje, jak zmienia się wzmocnienie dla poszczególnych czę-

stotliwości. **Tabela 1** zawiera wyliczenia z oryginalnych wzorów. Znormalizowanym wynikiem dla częstotliwości 1000Hz powinna być liczba 0,00 i inne wyniki powinny być odniesione do tej częstotliwości. Odchyłka 0,09dB nie ma żadnego praktycznego znaczenia, a poza tym w rzeczywistości sygnał uzyskiwany z wkładki jest mały i przy częstotliwości 100Hz wzmocnienie musi wynosić co najmniej kilkadziesiąt razy.

Prezentowany projekt to wysokiej jakości przedwzmacniacz korekcyjny dla analogowego gramofonu z wkładką magnetyczną, realizujący charakterystykę pośrednią między „stara” i „nowa” charakterystyką. W razie potrzeby zmiana jednego elementu pozwala uzyskać przebieg dokładnie według jednej albo drugiej charakterystyki.

Ponieważ młodzi Czytelnicy Elektroniki dla Wszystkich na nowo odkrywają zalety dźwięku analogowego i czarnych płyt, warto

przypomnieć w skrócie historię zapisu dźwięku. Trwają prace nad przygotowaniem artykułu do działu MEU, przedstawiającego wiele interesujących faktów z tej dziedziny.

Jak to działa?

Ponieważ układ taki może stać się samodzielna przystawka, jak też zostać wbudowana w istniejące urządzenie, przewidziano dwie wersje: jedną do zasilania napięciem symetrycznym w zakresie ±5...±15V i drugą zasilaną napięciem pojedynczym 10...24V. Każda z wersji może być zmontowana na tej samej płytce drukowanej. **Rysunek 2** pokazuje schemat ideowy wersji zasilanej napięciem symetrycznym, a **rysunek 3** – napięciem

pojedynczym. O ile to możliwe, najlepiej jest zrealizować wersję według rysunku 2 i zasilac układ napięciem symetrycznym, stabilizowanym, z zakresu $\pm 12 \dots \pm 15V$.

W każdym przypadku sercem urządzenia jest znakomity, a przy tym bardzo popularny, łatwo dostępny i zaskakująco tani wzmacniacz operacyjny NE5532. Opracowany został wiele lat temu i może dlatego oraz ze względu na niską cenę jest niedoceniany przez niektórych. Ten popularny układ scalony optymalizowany jest właśnie pod kątem zastosowań w układach audio. Był i nadal jest doskonałym „klockiem” do budowy różnorodnych urządzeń audio, a ultranisko- szumne wzmacniacze opracowane później mają mniejsze szumy tylko przy współpracy ze źródłami sygnału o rezystancjach niższych od 50Ω . Kostka NE5532 ma małe szumy napięciowe i prądowe (typowo 5 nanowoltów na pierwiastek z herca i 0,7 pikoampera na pierwiastek z herca), a tzw. kolano charakterystyki gęstości szumów napięciowych leży nisko, w okolicach częstotliwości 100Hz. Układ NE5532 jest szybki ($SR=9V/\mu s$, pasmo jednostkowe 10MHz, pasmo pełnej mocy 140kHz) i ma dużą wydajność prądową wyjścia (może pracować z obciążeniem 600Ω). Układ ten ma na tyle dobre parametry, że do budowy zdecydowanej większości układów audio nie ma potrzeby szukać

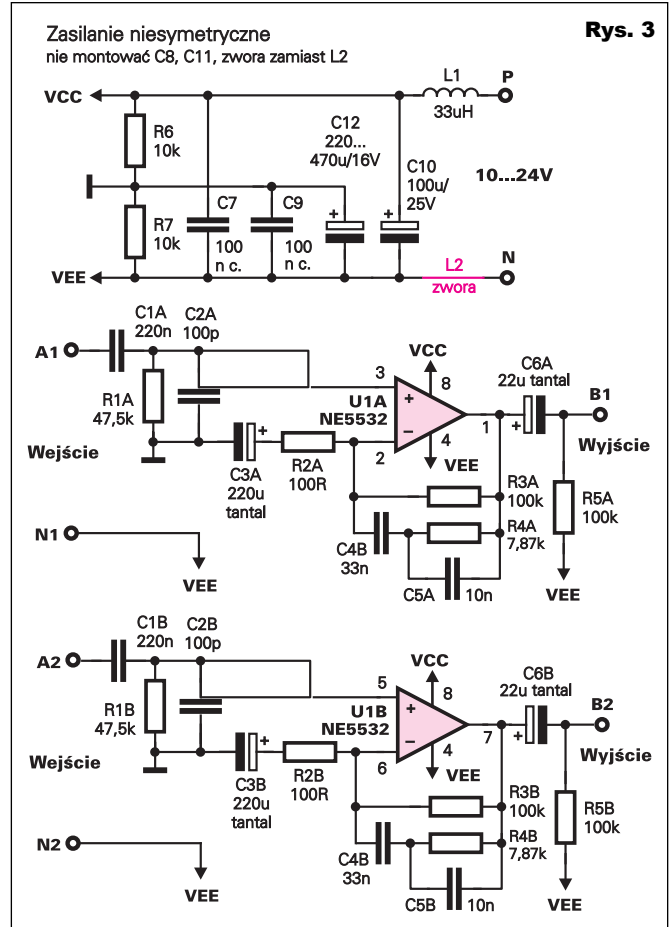
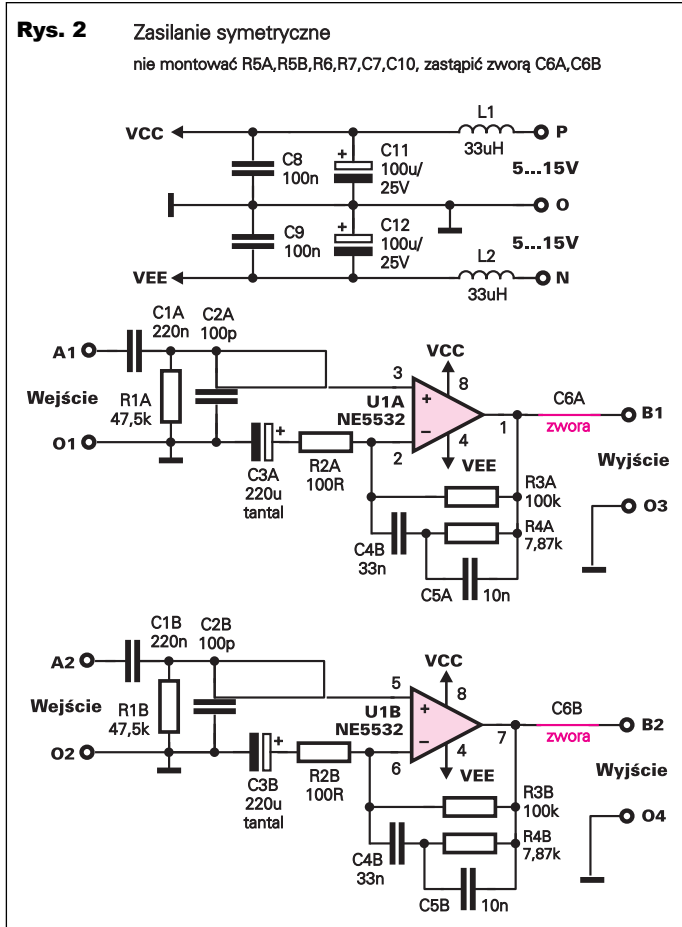
wzmacniacza operacyjnego o lepszych parametrach. Potwierdzeniem jest szerokie stosowanie tej kostki w aparaturze profesjonalnej.

I właśnie na układzie scalonym NE5532 zrealizowany jest dwukanałowy wzmacniacz korekcyjny o charakterystyce zgodnej ze znanymi od pięćdziesięciu lat zaleceniami RIAA (oraz RIAA ze zmianami zaproponowanymi przez IEC).

Oryginalna charakterystyka RIAA zawiera obwody o stałych czasowych $3180\mu s$, $318\mu s$, $75\mu s$ – w omawianym układzie realizują je elementy R3, R3, C4, C5. Zmiana wprowadzona przez IEC polega na dodaniu obwodu filtru górnoprzepustowego o stałej czasowej $7950\mu s$, co odpowiada częstotliwości 20Hz. W omawianym układzie realizuje to obwód R1C1. Wartość R1 jest taka, żeby zapewnić wkładce magnetycznej gramofonu standardowe obciążenie ($47k\Omega$). Także C2 jest standardowym obciążeniem wkładki ($100pF$). Ściślej biorąc, producenci wkładek wysokiej jakości zalecają

Częstotliwość	Wzmocnienie		Częstotliwość	Wzmocnienie	
	RIAA	IEC		RIAA	IEC
[Hz]	[dB]	[dB]	[Hz]	[dB]	[dB]
20	19,36	16,35	1200	-0,52	-0,52
22	19,24	16,62	1250	-0,65	-0,66
25	19,04	16,89	1300	-0,79	-0,79
28	18,83	17,04	1500	-1,31	-1,31
31,5	18,57	17,09	1600	-1,55	-1,55
35	18,29	17,06	1700	-1,80	-1,80
40	17,88	16,91	1900	-2,27	-2,27
44	17,54	16,73	2000	-2,50	-2,50
50	17,03	16,39	2100	-2,73	-2,73
55	16,61	16,07	2400	-3,39	-3,39
63	15,94	15,52	2500	-3,61	-3,61
70	15,37	15,03	2700	-4,04	-4,04
80	14,59	14,33	3000	-4,65	-4,65
89	13,93	13,72	3150	-4,95	-4,95
100	13,18	13,01	3400	-5,43	-5,43
110	12,54	12,39	3800	-6,17	-6,17
125	11,65	11,54	4000	-6,52	-6,52
140	10,85	10,76	4300	-7,02	-7,02
160	9,90	9,83	4800	-7,82	-7,82
190	8,67	8,62	5000	-8,12	-8,12
200	8,31	8,27	5400	-8,70	-8,70
240	7,04	7,01	6100	-9,64	-9,64
250	6,77	6,74	6300	-9,89	-9,89
315	5,27	5,25	6800	-10,50	-10,50
340	4,80	4,79	7600	-11,39	-11,39
380	4,16	4,15	8000	-11,81	-11,81
400	3,87	3,86	8500	-12,30	-12,30
430	3,49	3,48	9500	-13,22	-13,22
480	2,93	2,92	10000	-13,65	-13,65
500	2,74	2,73	11000	-14,44	-14,44
540	2,38	2,38	12000	-15,17	-15,17
610	1,86	1,86	12500	-15,52	-15,52
630	1,73	1,73	13000	-15,85	-15,85
680	1,43	1,43	15000	-17,07	-17,07
760	1,02	1,02	16000	-17,62	-17,62
800	0,84	0,84	17000	-18,14	-18,14
850	0,63	0,63	19000	-19,09	-19,09
950	0,26	0,26	20000	-19,53	-19,53
1000	0,09	0,09	21000	-19,95	-19,95
1100	-0,23	-0,23			

Tabela 1



konkretną pojemność obciążenia, zwykle w zakresie 47pF...150pF. Wartość 100pF jest uniwersalna i często stosowana w praktyce.

Dokładna wartość C1 potrzebna dla uzyskania stałej czasowej 7950μs wynosi 167nF, ale standardowa wartość 220nF jest tu jak najbardziej na miejscu, ponieważ pozwala uzyskać charakterystykę pośrednią między starą RIAA i nową RIAA-IEC.

Rezystor R2 decyduje o wzmacnieniu. Przy podanej wartości 100Ω, wzmacnienie dla częstotliwości 1kHz wynosi 100x (40dB).

W tym prostym, ale znakomitym układzie przewidziano kondensatory tantalowe C3 i C6.

Kondensatory C3A, C3B są montowane w obu wersjach. Teoretycznie nie są potrzebne, ale bez nich wzmacnienie stałoprądowe wynosiłoby 1000 (R3/R3 +1). Tymczasem napięcie niezrównoważenia układu NE5532, które według katalogu typowo wynosi 0,5mV, w niektórych egzemplarzach może sięgnąć 4...5mV. Oznacza to, że na wyjściu mogłoby wystąpić przesunięcie składowej stałej o kilka woltów. Nie byłoby to wprawdzie groźne przy zasilaniu napięciem symetrycznym ±15V, ale przy zasilaniu niewielkim napięciem pojedynczym takie przesunięcie zmniejszyłoby zakres sygnałów wyjściowych, a w skrajnych przypadkach uniemożliwiło pracę. Obecność kondensatorów C3A, C3B rozwiązuje problem i na wyjściu wzmacniacza operacyjnego napięcie stałe względem masy będzie pomijalnie małe, rzędu kilku, najwyżej kilkudziesięciu miliwoltów.

W wersji układu zasilanej napięciem symetrycznym elementy C6A, R5A, C6B, R5B nie są potrzebne i nie należy ich montować, przy czym zamiast C6A, C6B należy włutować zwory. Sygnał wyjściowy będzie pobierany wprost z wyjścia wzmacniacza operacyjnego, gdzie napięcie stałe jest bardzo bliskie potencjałowi masy.

Tu warto zauważyć, że w układzie zasilanym napięciem pojedynczym rolę masy w rzeczywistości pełni ujemna szyna zasilania, dlatego dławik L2 musi być zastąpiony zworą. W tej „pojedynczej” wersji obwód oznaczony jako masa jest na potencjale połowy napięcia zasilania dzięki rezystorom R6, R7 i jest dla przebiegów zmiennych zwarty do masy przez kondensator C12, który w tej wersji powinien mieć zwiększoną pojemność. Aby uniknąć obecności napięcia stałego na zimnym przewodzie prowadzącym od wkładki gramofonu, należy wykorzystywać jako wejście punkty A1, N1 oraz A2, N2. Oczywiście wejściem mogą być punkty A1, O1 oraz A2, O2 – należy wtedy zadbać, żeby nie zewrzeć zimnych żył przewodów prowadzących od wkładki z punktem N, czyli z rzeczywistą masą.

Rezystory R5A, R5B dołączone do ujemnej szyny zasilania występują tylko w wersji pojedynczej, by na wyjściu napięcie stałe by-

ło na potencjale ujemnego napięcia zasilania które jest wtedy prawdziwą masą.

Wielu Czytelników będzie się zastanawiać, z jaką dokładnością odwzorowana jest w tym układzie charakterystyka RIAA. Wyniki symulacji przekonują, że odwzorowanie charakterystyki RIAA (z poprawką IEC) jest wręcz znakomite. Pokazuje to **tabela 2**.

Częstotliwość [Hz]	Wzmacnienie znormalizowane [dB]			
	RIAA	IEC	Model (PSPICE)	Różnica (IEC)
20	19,36	16,35	17,14	+0,79
39	17,96	16,95	17,22	+0,27
79	14,67	14,40	14,14	-0,26
150	10,36	10,28	9,86	-0,42
300	5,57	5,55	5,15	-0,40
610	1,86	1,86	1,64	-0,22
1000	0	0	0	0
1200	-0,52	-0,52	-0,56	-0,04
2400	-3,39	-3,39	-3,38	+0,01
4800	-7,82	-7,82	7,79	+0,03
9500	-13,22	-13,22	13,18	+0,04
19000	-19,09	-19,09	19,05	+0,04

Tabela 2

Jak widać, odchyłki w zakresie powyżej 1kHz są znikomą małe, a i dla częstotliwości 150...300Hz odchyłka jest mniejsza niż pół decybel. Rozbieżność przy najniższych częstotliwościach, nieprzekraczająca 1dB, absolutnie nie jest wadą - warto zwrócić uwagę, że wyniki uzyskane w modelu leżą pomiędzy wymaganiami oryginalnej charakterystyki RIAA a jej zmodyfikowanej wersji RIAA-IEC. Jeśli ktoś chciałby uzyskać charakterystykę dokładniej według RIAA-IEC, może zmniejszyć pojemność C1A, C1B do około 167nF (np. 100+47+22=169nF). Z drugiej strony, jeśli ktoś chciałby uzyskać charakterystykę według starej wersji RIAA, może zwiększyć pojemności C1A, C1B do 1...2,2μF, a przy zasilaniu napięciem symetrycznym można usunąć C1A, C1B oraz C3A, C3B (zewrzeć), uzyskując pasmo przenoszenia od 0Hz, czyli od prądu stałego. Nie ma to jednak większego sensu, ponieważ na płytach nie ma tak niskich składowych użytecznych.

Biorąc rzecz bardziej realistycznie, trzeba stwierdzić, iż tak naprawdę to przedstawione wyliczenia dotyczące dokładności są „dzieleciem włosa na czworo” i „biciem piany”. Rzecz w tym, że po pierwsze, ucho nie zauważy znikomych nierówności charakterystyki rzędu ułamka decybel. Tym bardziej że charakterystyka RIAA to jedno, a zawartość spektralna poszczególnych utworów to zupełnie inna kwestia, zależna od upodobań reżysera dźwięku nagrywającego utwór.

Po drugie, wyliczenia z tabeli dotyczą układu z idealnie dobranymi wartościami elementów. Tymczasem w rzeczywistym układzie zastosowane zostaną wprawdzie precyzyjne rezystory o tolerancji 1%, ale kondensatory będą mieć tolerancję 5% lub 10%, co może zwiększyć odchyłki do ±1dB.

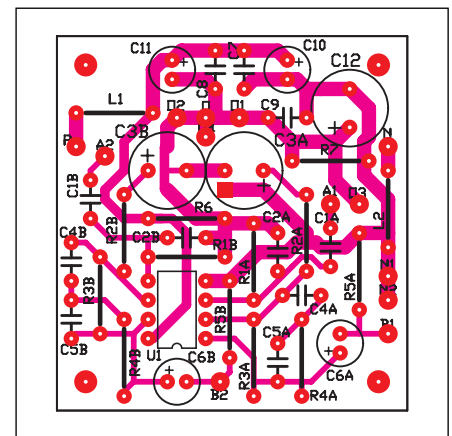
Mimo wszystko warto zastosować rezystory 1-procentowe nie tylko ze względu na tolerancję, ale głównie na fakt, że jednocześnie są to rezystory niskoszumne.

Oczywiście można dobrać kondensatory C4, C5 na precyzyjnym mostku, ale naprawdę nie ma takiej potrzeby. Nawet odchyłki charakterystyki rzędu ±1dB nie mają znaczenia. W standardowym układzie z powodzeniem wystarczą kondensatory 10-procentowe, czyli z literką K. W miarę możliwości warto zastosować kondensatory o tolerancji 5%, czyli z literką J. Kondensatorów 20 i 30-procentowych (z literkami M, N) należy unikać.

Za pomocą jakiegokolwiek miernika pojemności, na przykład z multimetru, można natomiast dobrać parami C4A, C4B oraz C5A i C5B. Wtedy oba kanały będą mieć identyczne charakterystyki. Dokładność popularnych mierników pojemności bywa słaba, rzędu 5%, jednak dokładność nie ma znaczenia, jeśli chodzi tylko o dobranie kondensatorów parami.

Montaż i uruchomienie

Montaż modułu jest klasyczny i nie wymaga szerszego opisu. Zależnie od dostępnego napięcia zasilającego na płycie pokazanej na **rysunku 4** można zmontować układ według rysunków 2 i 3. W wykazach elementów podano części potrzebne dla obu wersji, a zestaw AVT-2680 umożliwi budowę każdej z nich. W miarę możliwości należy wykorzystywać wersję zasilaną napięciem symetrycznym.



Rys. 4 Schemat montażowy

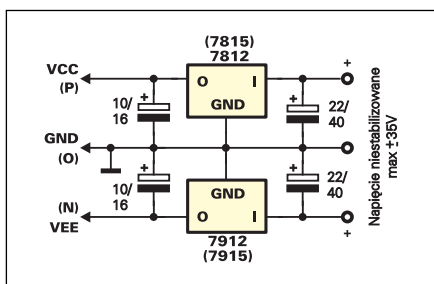
Montaż modułu warto zacząć od elementów najmniejszych: rezystorów i dławików.

Baczną uwagę trzeba zwrócić na biegunowość kondensatorów elektrolitycznych, zwłaszcza tantalowych. O ile zwykle aluminiowe „elektrolity” niekiedy wytrzymują odwrotne włączenie i potem, po prawidłowym włutowaniu „dochodzą do siebie”, o tyle „tantale” są bardziej wrażliwe i łatwo je bezpowrotnie uszkodzić odwrotnym napięciem.

Pod układ scalony można dać podstawkę, co umożliwi ewentualne testy z zastosowaniem

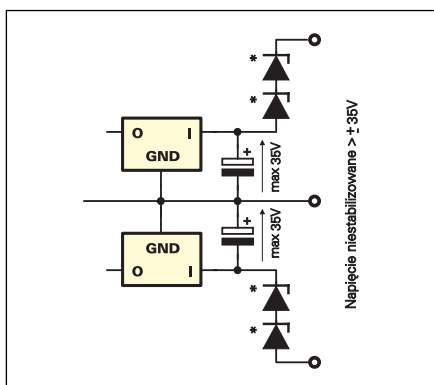
innych wzmacniaczy operacyjnych. Przy częstotliwościach pracy do 20kHz obecność czy brak podstawki nie mają znaczenia.

Moduł należy zasilic dobrze filtrowanym napięciem, najlepiej stabilizowanym. Do zasilania wersji „niesymetrycznej” można wykorzystać popularny zasilacz stabilizowany o napięciu wyjściowym 12...24V. Zwykle jednak moduł będzie wbudowany w istniejącą wzmacniacz. Jeśli napięcie potrzebne do zasilania modułu nie jest dostępne w urządzeniu, można dodać obwód stabilizacji według **rysunku 5**. Można do niego dodać zasilacz napięcia zmiennego (transformator) i uzyskać zeń potrzebne niestabilizowane napięcie symetryczne za pomocą dwóch prostowników jednopółkowych. Popularne stabilizatory rodzin 78xx, 79xx mają maksymalne napięcia wejściowe 35V, więc jeśli we wzmacniaczu występuje wyższe napięcie, należy dodać diody Zenera według **rysunku 6**. Liczbę i napięcie diod należy dobrać indywidualnie, zależnie od dostępnego napięcia zasilającego i wahań tego napięcia przy zmianach obciążenia. Chodzi o to, by z jednej strony w spoczynku napięcie wejściowe stabilizatorów nie przekroczyło 35V, a z drugiej strony, żeby przy maksymalnym obciążeniu wzmacniacza, gdy napięcie zmniejszy się, stabilizatory mogły prawidłowo pracować. Moduł i stabilizator pobiorą niewielki prąd około 20mA, więc można wykorzystać małe, szklane diody Zenera o mocy 400mW, ale lepiej jest zastosować trochę większe diody o mocy 1,3W, wyglądem podobne do prostowniczych diod 1-ampierowych.



Rys. 5

Rys. 6



Układ zmontowany ze sprawnych elementów nie wymaga żadnego uruchamiania i od razu będzie pracował poprawnie. Wykonanie modułu jest bardzo łatwe i stopień trudności słusznie określa jedna gwiazdka. Jednak do pełnego wykorzystania jego możliwości potrzeba nieco doświadczenia. Ponieważ układ będzie wzmacniał małe sygnały, rzędu pojedynczych miliwoltów, należy zwrócić uwagę na możliwość „zbierania” rozmaitych zakłóceń. Przewody wejściowe powinny być krótkie, najlepiej ekranowane. Zazwyczaj nie będzie konieczne ekranowanie modułu, ale na pewno zekranowanie płytki nie zaszkodzi (ewentualny ekran musi być połączony z masą urządzenia). Jeśli w pobliżu będzie znajdował się transformator sieciowy, trzeba maksymalnie oddalić od niego moduł i sprawdzić, przy jakim geometrycznym ustawieniu indukowany brum sieciowy będzie najmniejszy.

Możliwości zmian

W module doskonale sprawdzi się wzmacniacz operacyjny NE5532, który od lat zasłuzenie cieszy się uznaniem profesjonalistów. Kto chce, może wypróbować mniej znany układ również cieszący się znakomitą, może nawet nieco lepszą opinią: OPA2134. Można i warto też wypróbować różnice brzmienia z popularnym TL072, który jest równie szybki, a nieco większe szумы napięciowe nie powinny odgrywać roli ze względu na mniejsze wzmocnienie wysokich częstotliwości. W podstawowym układzie trudno będzie natomiast wypróbować pojedyncze wzmacniacze OP-27, OP-37, chętnie stosowane w tego typu sprzęcie.

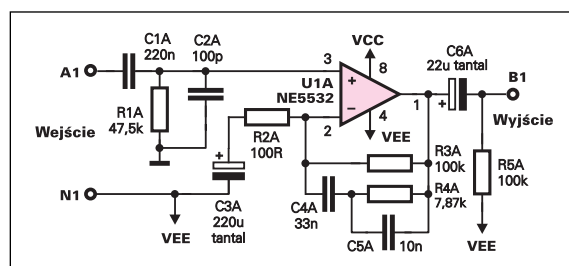
Jak wspomniano wcześniej, w miarę możliwości należy wykorzystywać wersję zasilaną napięciem symetrycznym według **rysunku 2**. W wersji „niesymetrycznej” występują niejako dwa obwody masy, które dla przebiegów zmiennych są ze sobą zwarte kondensatorem C12, który jednak dla tych przebiegów ma jakąś niezerową impedancję. Na przykład dla częstotliwości 20Hz pojemność 470µF ma reaktancję prawie 17Ω. Co prawda wpływ tej reaktancji jest w sumie niewielki, jednak bardziej „bezkompromisowa” jest wersja zasilana symetrycznie, gdzie jest jeden obwód masy. Kto chciałby w wersji „niesymetrycznej” z **rysunku 3** poważnie zredukować wpływ impedancji C12, może ujemne bieguny C3A i C3B dołączyć wprost do ujemnej szyny zasilania (punkt N) według **rysunku 7**. Na płytce zaprojektowano ścieżki w ten sposób, żeby punkty lutownicze „minusów” C3A,

C3B można było łatwo odciąć od obwodu masy. Punkty te po odcięciu należy połączyć zworą i dołączyć do ujemnej szyny zasilania, której punkt lutowniczy bez otworu przewidziano w pobliżu.

Opisany układ z kondensatorem C1 realizuje charakterystykę pośrednią między „starą” RIAA i „nową” RIAA-IEC. „Nowa” charakterystyka z dodatkowym filtrem odcinającym składowe niższe niż 20Hz wcale nie została przez wszystkich uznana za lepszą. Niektóre dzisiejsze konstrukcje korektorów realizują „starą” charakterystykę, a na dodatek pasmo zaczyna się od zera, czyli od prądu stałego. Kwestią bardzo dyskusyjną jest poszerzenie pasma do zera, jednak są osoby, które uważają, że tak jest lepiej i stosują sprzężenie stałoprądowe. W opisywanym układzie, ale tylko w wersji „symetrycznej”, też można z powodzeniem zrealizować „starą” charakterystykę RIAA, zwiększając C1 do 1µF lub więcej, a nawet poszerzyć pasmo do prądu stałego. W większości przypadków wystarczy w tym celu zewrzeć C1A, C1B oraz C3A, C3B. Choć wzmocnienie stałoprądowe wynosi 1000, przy typowym napięciu niezrównoważenia 0,5mV, napięcie stałe na wyjściach nie powinno przekroczyć ±1V. To wyjściowe napięcie przesunięcia można skorygować za pomocą klasycznego obwodu według **rysunku 8**.

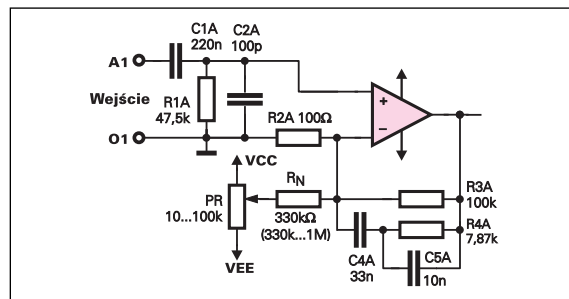
Puryści mogą też wziąć pod uwagę prąd polaryzacji wejść i spadek napięcia, jaki wywoła na rezystancji R1 i rezystancji wkładki. Z odłączoną wkładką prąd polaryzujący (typ. 0,2µA, max 1µA) wpływając do wejścia nieodwracającego przez rezystancję R1 wywoła znacznie większy spadek napięcia, typowo rzędu -10mV, maksymalnie -50mV.

Ciąg dalszy na stronie 21.



Rys. 7

Rys. 8



Ciąg dalszy ze strony 16.

Przy zwartym kondensatorze C3 może to doprowadzić do nasycenia wzmacniacza. Po podłączeniu gramofonu do wzmacniacza spadek napięcia na małej rezystancji wkładki będzie rzędu ułamka miliwolta i układ może pracować poprawnie. Inaczej mówiąc, dołączenie wkładki spowoduje potężny skok spoczynkowego napięcia wyjściowego. Kto

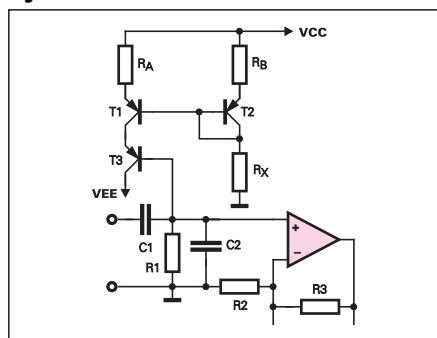
chciałby zlikwidować taki efekt w wersji stałoprądowej, może dodatkowo zastosować obwód kompensacji prądu wejściowego według zasady pokazanej na **rysunku 9**. Transzystory T1, T2 to klasyczne lustro i źródło prądowe. Rezystor Rx trzeba dobrać indywidualnie, zależnie od wzmocnienia tranzystorów, żeby prąd bazy tranzystora T3 był równy prądowi polaryzacji wejścia nieodwracającego wzmacniacza. Napięcie na rezystorze R1 będzie wtedy wynosić zero. Także jednakowe rezystory RA, RB trzeba dobrać, żeby spadek napięcia na nich wynosił 0,1... 0,5V.

Ostatnie wskazówki dotyczą „symetrycznej” wersji stałoprądowej (ze zwarty-

mi kondensatorami C1, C3), którą zechcą wykorzystać tylko nieliczni. W ogromnej większości przypadków całkowicie wystarczy wersja podstawowa z rysunku 2, a nawet wersja zasilana pojedynczym napięciem według rysunku 3.

Piotr Górecki

Rys. 9



Wykaz elementów

Rezystory	C3A,C3B	.....	.220μF/10V tantal		
R1A,R1B	.....	47,5kΩ	C4A,C4B	.....	.33nF
R2A,R2B	.....	.100Ω	C5A,C5B	.....	.10nF
R3A,R3B	.....	.100kΩ 1%	C6A,C6B	.....	.22μF/16V tantal
R4A,R4B	.....	7,87kΩ 1%	C7-C9	.....	.100nF ceramiczny
R5A,R5B	.....	.100kΩ	C10-C12	.....	.100μF/25V
R6,R7	.....	.10kΩ	Półprzewodniki		
Kondensatory			U1	.....	.NE5532
C1A,C1B	.....	.220nF	Pozostałe		
C2A,C2B	.....	.100pF	L1,L2	.....	.33μH

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2680