

W rubryce „Analog Center” prezentujemy skrótowe opisy urządzeń charakteryzujących się interesującymi, często wręcz odkrywczymi, rozwiązaniami układowymi. Przypominamy także cieszące się największym powodzeniem, proste opracowania pochodzące z redakcyjnego laboratorium.

Do nadsyłania opisów niebanalnych rozwiązań (także wyszukanych w Internecie) zachęcamy także Czytelników. Za opracowania oryginalne wypłacamy honorarium w wysokości 300zł brutto, za opublikowane w EP informacje o interesujących projektach z Internetu honorarium wynosi 150zł brutto. Opisy, propozycje i sugestie prosimy przysyłać na adres: analog@ep.com.pl.

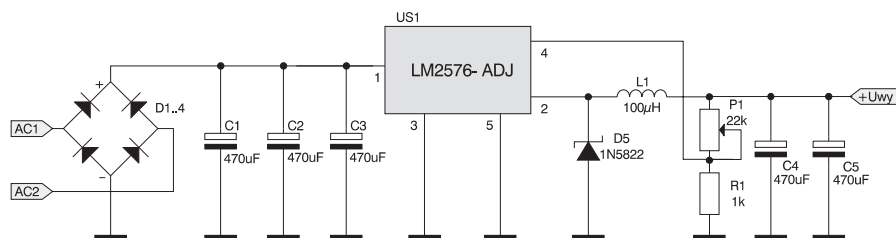
Wysokosprawny zasilacz warsztatowy

Zasilacz impulsowy z wykorzystaniem układu LM2576, zawierającego w swej strukturze wszystkie elementy impulsowego stabilizatora wysokiej klasy. Dzięki dodatkowym elementom stabilizator można wykorzystać jako samodzielny zasilacz. Duża wydajność prądowa (do 3 A) i szeroki zakres zmian napięcia na wyjściu (1,2..24 V) kwalifikuje go do zastosowań laboratoryjnych.

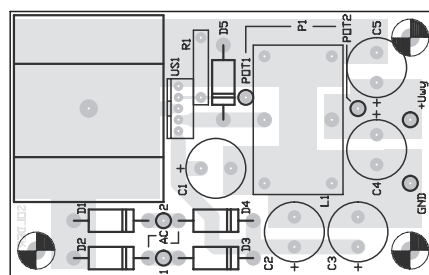
Nie bez znaczenia jest fakt, że do chłodzenia układu scalonego wystarczy niewielki radiator, dzięki cze-



mu ilość zajmowanego miejsca przez płytkę stabilizatora jest niewielka.



Rys. 1. Schemat elektryczny zasilacza



Rys. 2.

Dodatkowe informacje:

Bardziej szczegółowy opis tego projektu można znaleźć pod nazwą AVT-1220 na stronie: <http://www.sklep.avt.com.pl>

Właściwości:

- zalecane napięcie wejściowe: 32 V
- dopuszczalny zakres zmian napięcia wejściowego: 4...45 V
- maksymalny prąd wyjściowy: 3 A
- sprawność 70...80%
- wymiary płytki: 74 x 57 mm

Czujnik optyczny z zasilaniem bateryjnym

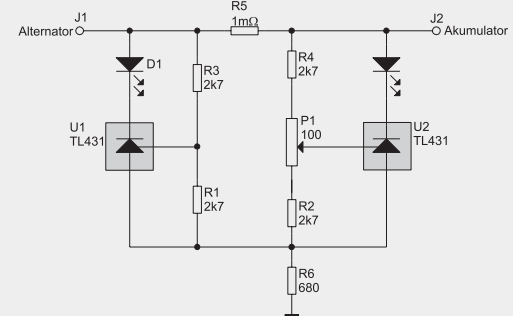
Po opisanym w EP06/2005 (str. 37) układzie nadzoru temperatury, przedstawiamy kolejny z układów czujnikowych charakteryzujących się wyjątkowo małym poborem prądu. Zawarty w nim pomysł jest tym ciekawszy, że dotyczy *aktywnego* czujnika optycznego z transoptorem szczelinowym a więc wymagającego do działania znaczącej mocy zasilania. Również i w tym przypadku wy-

jątkową energooszczędność osiągnięto dzięki pracy w trybie impulsowym i sprawnemu gospodarowaniu pojedynczymi mikroamperami.

Układ generatora taktującego, złożony z U1A w roli pojedynczej bramki buforowej i tranzystora Q1, jest niemal identyczny z układem wykorzystanym we wspomnianym mikromocowym czujniku temperatury. Różni się od niego jedynie wartościami

☞ na str. 38

Prosty wskaźnik ładowania akumulatora



Rys. 1. Schemat elektryczny prostego wskaźnika ładowania akumulatora

Na rys. 1 przedstawiamy przykład interesującego wskaźnika kierunku przepływu prądu, o budowie zbliżonej do wzmacniacza różnicowego, jednak złożonego nie z tranzystorów a z diod Zenera. Ścisłej – ze scalonych źródeł napięcia odniesienia TL431, zbliżonych funkcjonalnie do diod Zenera, lecz posiadających znacznie „twardsze” charakterystyki a także możliwość regulacji. Pobór prądu przez układ TL431 poniżej kolana charakterystyki I(U) tzn. poniżej napięcia stabilizacji nie przekracza 0,5 mA (typowo). Natomiast po osiągnięciu punktu stabilizacji, rezystancja dynamiczna układu wynosi zaledwie 0,22 Ω (typ.) co oznacza, że zmiany napięcia w całym zakresie dopuszczalnych prądów (1...100 mA) są pomijalnie małe. Przy zadanych wartościach rezystorów (R1, R3 oraz R2, R4) napięcie przewodzenia układu złożonego ze źródła TL431 i diody LED wynosi ok. 5 V. Dzięki zamknięciu diody świecącej w pętli sprzężenia zwrotnego spadek napięcia na jej przewodzącym złączu (a tym samym jego zależność od temperatury) nie wpływa na działanie stabilizatora.

Prąd ładowania akumulatora, przepływający przez rezystor R5 wywołuje na nim dodatni spadek napięcia o wartości kilku mV. Ponieważ układy U1 i U2 są jednocześnie połączone

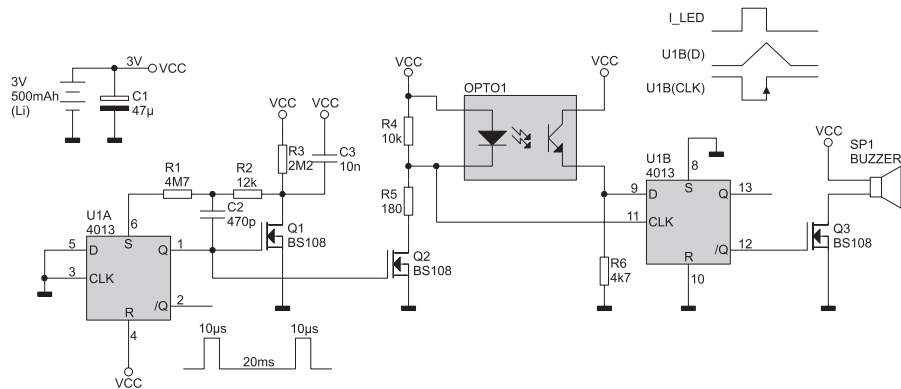
☞ na str. 38

C ze str. 37

anodami, to nawet niewielka różnica potencjałów po obu stronach R5 zdecydowanie zmienia punkty pracy stabilizatorów kierując prawie cały prąd rezystora R6 (~10 mA) przez diodę led D1 oraz U1 pozostawiając drugi układ w stanie wyłączenia (tzn. w obszarze „kolana” charakterystyki, przy przepływie jedynie szczątkowego prądu <1 mA). Przejście do trybu rozładowania powoduje, że katoda U2 uzyskuje wyższy potencjał od katody U1, skutkiem czego następuje załączenie D2 a wygaszenie D1. Do całkowitego przełączenia wskaźnika wystarczy różnica potencjałów rzędu ±1 mV.

Regulacja potencjometrem P1 zmienia napięcie przewodzenia układu U2, co w porównaniu ze stałym punktem zadziałania U1 ustala również położenie punktu zerowego wskaźnika. Według danych katalogowych, temperaturowy współczynnik napięcia stabilizacji źródeł TL431 nie przekracza 50 ppm/K. Jednak ze względu na niewielką wartość napięcia sterującego i oczekiwaną niezmienną położenia punktu zerowego należy zadbać, aby układy U1 i U2 oraz rezystory R1...R4 były umieszczone blisko siebie i znajdowały się w zbliżonej temperaturze.

Schemat układu zaczerpnięto ze strony: <http://www.analog-innovations.com/SED/CurrentDirectionIndicator.pdf>
MDz



Rys. 1. Schemat elektryczny mikromocowego czujnika optycznego

C ze str. 37

elementów decydujących o parametrach czasowych. Powtarzane co 20 ms impulsy o szerokości 10 µsysterowują tranzystor Q2 zasilający diodę nadawczą transoptora szczelnego prądem o szczytowej wartości ok. 8 mA. Prąd płynący przez detektor transoptora ładuje w tym czasie pojemność wejścia D przerzutnika U1B wymuszając na nim wysoki poziom logiczny. Tylne zbocze impulsu sterującego jest jednocześnie aktywnym zboczem zegarowym (CLK) zatraskującym w przerzutniku U1B aktualny stan wejścia D. Zatrzaśnięcie jedynek (transoptor odsłonięty) pozostawia wyjście Q w stanie nieaktywnym. Przesłonięcie transoptora spowoduje zatrzaśnięcie w przerzutniku stanu „0” a tym samym wyste-

rowanie tranzystora wykonawczego Q3. Aktualizacja stanu przerzutnika następuje w takt impulsów z generatora, czyli 50 razy na sekundę. Deklarowany przez autora układu, średni pobór prądu zasilania wynosi ok. 10 µA a przewidywany czas pracy z litowej baterii 3 V/500 mAh – co najmniej 3 lata. W oryginalnym układzie zastosowano egzotyczne z naszego punktu widzenia tranzystory ZVNL110 firmy Zetex o bardzo niskim napięciu progowym. Jednak wydaje się, że bez problemu można je zastąpić łatwo osiągalnymi BS108.

Schemat oryginalnego układu znajduje się w internecie na stronie: <http://www.discovercircuits.com/PDF-FILES/optoint2.pdf>
MDz

Przełącznik sterowany telefonicznie

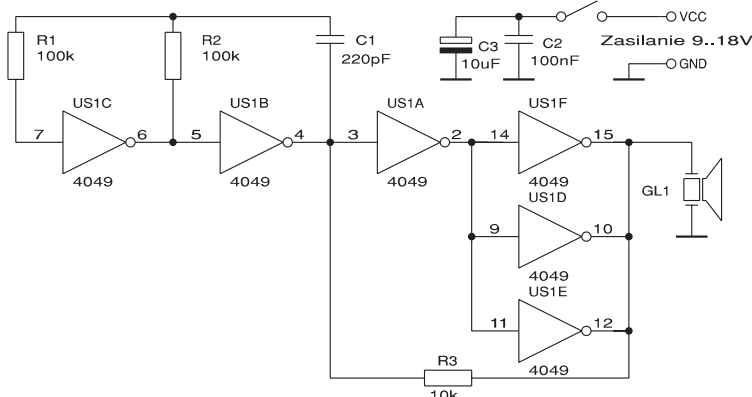
Ten system zdalnego sterowania nie wymaga zezwolenia operatora sieci telefonicznej, ponieważ nie łączy się bezpośrednio z linią telefoniczną. Odbiornik jest włączany i wyłączany przez określoną liczbę dzwonek telefonu, a więc używanie układu jest bezpłatne. Rozpoznanie dzwonek odbywa się za pomocą mikrofonu na podstawie głośności sygnału oraz czasu trwania sygnałów i przerw. Mikrofon należy zatem umieścić możliwie blisko telefonu (np. pod spodem aparatu). Wbudowany timer odmierza czas włączenia danego odbiornika, ponadto dzięki kodowaniu istnieje możliwość zdalnego (telefonicznego) wyłączenia. Układ posiada wiele zastosowań np. włączanie i wyłączanie światła w mieszkaniu pod-

C na str. 39

Strach na komary

Elektroniczna forma walki z mało lubianymi przez ludzi owadami. Według badań, najprostszą metodą odstraszenia komarów jest użycie generatora sygnału o częstotliwości 16... 22 kHz. W kicie zastosowano pojedynczy układ scalony typu 4049. Dwie z zawartych w nim bramek posłużyły do zbudowania właściwego generato-

C na str. 39



Rys. 1. Schemat elektryczny stracha na komary

ze str. 38 ra, pozostałe tworzą układ wyjściowego wzmacniacza mocy. Jako element wykonawczy zastosowano wysokosprawy przetwornik piezoelektryczny. Układ zmontowany jest na niewielkiej płytce i działa natychmiast po zlutowaniu, bez konieczności jakiegokolwiek regulacji.

Właściwości:

- generator częstotliwości 16...22 kHz
- piezoelektryczny przetwornik wyjściowy
- mały pobór prądu, długi czas pracy
- zasilanie 9...18 V (np. bateria 6F22)

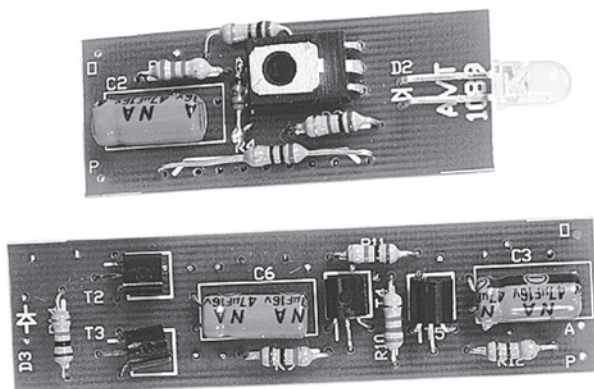
Dodatkowe informacje:

Bardziej szczegółowy opis tego projektu można znaleźć pod nazwą AVT-1012 na stronie: <http://www.sklep.avt.com.pl>

Ekonomiczny tor podczerwieni aktywnej

Ekonomiczny tor podczerwieni aktywnej, składający się z nadajnika i odbiornika, ma zasięg kilkunastu metrów i nie zawiera żadnych elementów optycznych. Znajdzie on szerokie zastosowanie w układach alarmowych, skutecznie konkurując z czujkami

pasywnymi. Aby uzyskać duży zasięg przy małym poborze prądu zastosowano impulsowe sterowanie diody nadawczej D2. Generator sterujący zbudowany jest na negatorze Schmitta US1A. Elementy R1, C1 wyznaczają czas powtarzania impulsów (około 200 ms), natomiast R2, C1 czas trwania impulsu (około 4 ms). Dzięki tak małemu współczynnikowi wypełnienia średni prąd pobierany przez nadajnik wynosi przy zasilaniu 12 V tylko 3,5 mA, przy czym prąd diody w impulsie wynosi prawie 1 A. Płytkę ma szerokość 17,5 mm, więc układy po zmontowaniu można umieścić wewnątrz odcinków plastikowych rurek do instalacji elektrycznych o średnicy zewnętrznej 21 mm, wewnętrznej 18 mm. Nadajnik pobie-



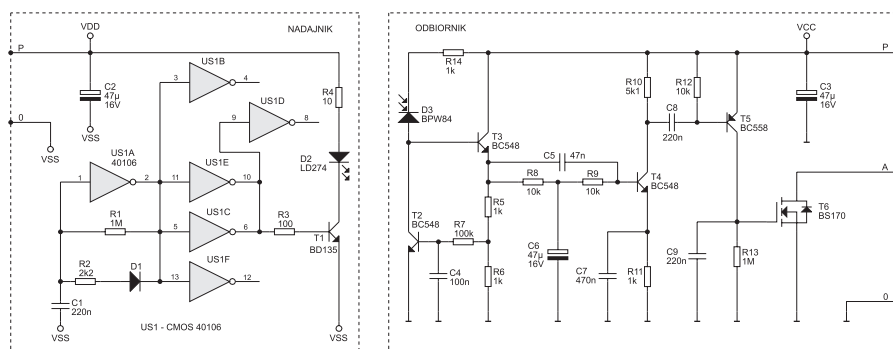
ra prąd średni równy 2,4 mA przy zasilaniu 10 V i 3,5 mA przy 12 V. Odbiornik pobiera 0,5...1 mA zależnie od spoczynkowego oświetlenia zewnętrznego. W praktyce podstawowym problemem przy instalacji jest „trafienie” z tak dużej odległości wąską wiązką promieniowania w fotodiode odbiorczą. Wymaga to nieco wysiłku, uzyskany efekt jest jednak zaskakująco dobry, jeśli wziąć pod uwagę prostotę układu.

Właściwości:

- mały pobór prądu
- duży zasięg
- zasilanie 12 V

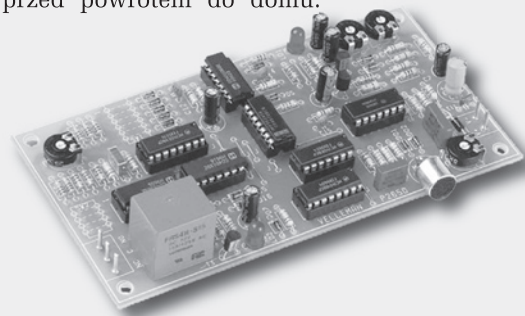
Dodatkowe informacje:

Bardziej szczegółowy opis tego projektu można znaleźć pod nazwą AVT-1089 na stronie: <http://www.sklep.avt.com.pl>



Rys. 1. Schemat elektryczny nadajnika i odbiornika ekonomicznego toru podczerwieni aktywnej

ze str. 38 czas dłuższej nieobecności domowników, włączania ogrzewania przed powrotem do domu.



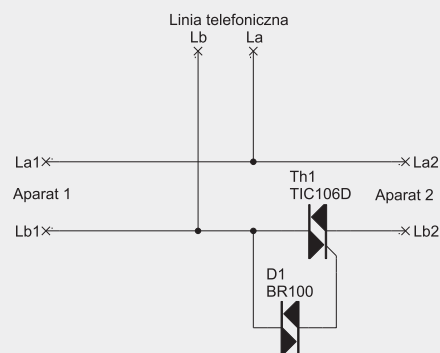
Właściwości:

- możliwość ustawienia 42 różnych kodów
- ustawienie czasu wyłączenia od 3 sekund do 64h
- wyjście przekaźnika 240 V / 3 A max
- zasilanie stabilizowane 12V / 90 mA
- wymiary płytki 140x73 mm

Dodatkowe informacje:

Bardziej szczegółowy opis tego projektu można znaleźć pod nazwą K2650 (Velleman) na stronie: <http://www.sklep.avt.com.pl>

Priorytetowy wyłącznik telefonu



Rys. 1. Układ uniemożliwiający włączenie się do zajętej linii telefonicznej

Czy urządzenie elektroniczne złożone z dwóch elementów ma prawo działać? Układ zaprezentowany na stronie http://www.epanorama.net/circuits/tele_privacy.html nie tylko działa ale potrafi przy tym pełnić całkiem użyteczną funkcję.

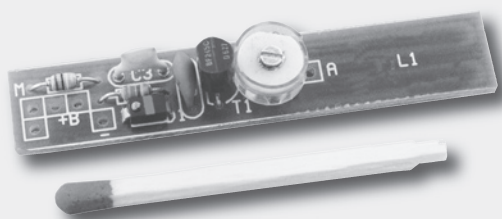
Wiele osób korzysta z dwóch aparatów (lub aparatu i modemu) podłączonych równolegle do wspólnej linii telefonicznej doświadczając konfliktów spowodowanych włączeniem się do cudzej rozmowy lub nieumyślnym zrywaniem połącze-

nia modemowego. Minimalistyczny układ złożony zaledwie z jednego triaka i jednego diaka (rys. 1) działa jako wyłącznik priorytetowy uniemożliwiający włączenie się do linii zajętej wcześniej przez innego użytkownika.

Podniesienie mikrotelefonu w Aparacie_2 powoduje, że na triaku i na diaku odkłada się pełne, spoczynkowe napięcie linii telefonicznej wynoszące zazwyczaj 48...60 V. Napięcie to przekraczając próg zadziałania diaka (28...36 V) powoduje wyzwolenie triaka i przyłączenie Aparatu_2 do linii. Jeżeli jednak linia została wcześniej zajęta przez innego użytkownika (np. Aparat_1), to występujące na niej szczytowe napięcie o wartości nie przekraczającej kilkunastu V, będzie niewystarczające do załączenia triaka i Aparat_2 pozostanie odłączony. Obecność triaka nie przeszkadza jednakże w propagacji wysokonapięciowego sygnału dzwonięcia (60...90 V_{rms}), który znacznie przekracza znamionowe napięcie wyzwalania diaka i powoduje naprzemienne załączanie triaka w każdej połowce sinusoidy.

MDz

Prosty mikrofon bezprzewodowy



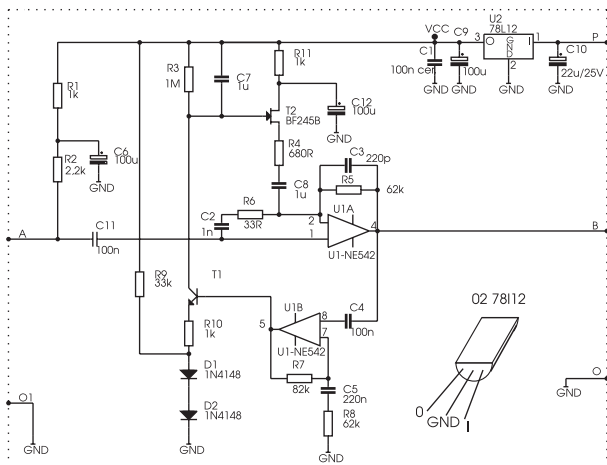
Układ mininadajnik do współpracy z domowym radioodbiornikiem UKF-FM (88-108MHz), charakteryzujący się dobrymi parametrami przy konstrukcji uproszczonej do granic możliwości. Układ ten należy traktować jako dydaktyczną zabawkę oraz do celów eksperymentalnych (np. łączność pomiędzy pokojami, dozór osoby chorej czy małych dzieci).

Sercem układu jest generator na tranzystorze polowym FET (T1-BF245) pracujący w układzie Hartleya. Częstotliwość fali nośnej jest narzucona poprzez elementy obwo-

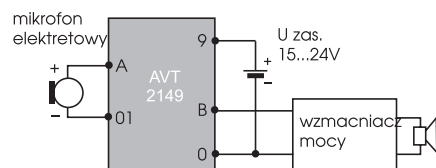
na str. 41

Przedwzmacniacz z automatką

Jest to niskoszumny przedwzmacniacz mikrofonowy z układem NE542. Kostka NE542 ma dobre parametry i może służyć do budowy różnych innych wzmacniaczy małych sygnałów. Jednym ze sposobów jej wykorzystania jest budowa przedwzmacniacza mikrofonowego z obwodem automatki. W literaturze taki obwód nazywany jest często ARW – Automatyka Wzmocnienia, można też go nazwać układem ogranicznika. W każdym razie chodzi o układ, który niezależnie od poziomu sygnału wejściowego, daje na wyjściu sygnał o ustalonej wielkości. Taki przedwzmacniacz ma przy małych sygnałach ustalone, dość duże wzmocnienie. Jeśli okaże się, że sygnał na wyjściu ma już pożądaną wielkość, zaczyna działać układ ogranicznika, który zmniejsza wzmocnienie i przy zwiększaniu sygnału wejściowego utrzymuje sygnał wyjściowy na stałym poziomie. W praktyce chodzi o to, by sygnał na wyjściu miał stałą wartość, niezależnie od odległości od



Rys. 1. Schemat elektryczny przedwzmacniacza z automatką



Rys. 2. Schemat podłączenia przedwzmacniacza

Dodatkowe informacje:
Bardziej szczegółowy opis tego projektu można znaleźć pod nazwą AVT-2149 na stronie: <http://www.sklep.avt.com.pl>

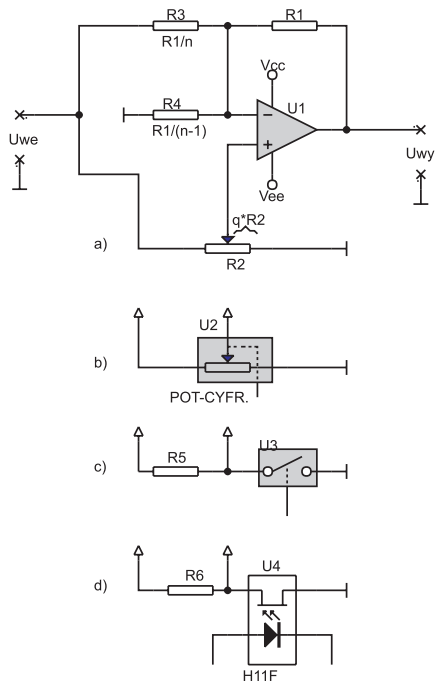
mikrofonu – nikogo chyba nie trzeba przekonywać, że jest to cenna zaleta przedwzmacniacza.

Wzmacniacz z regulacją wartości i znaku wzmocnienia

Przez lata na polskim rynku wydawniczym pojawiło się co najmniej kilka pozycji, które wychowały całe pokolenia elektroników a i dzisiaj nie straciły swojej aktualności. Do takiego kanonu należą np. książki pp. Z.Kulki i M.Nadachowskiego (m.in. „Wzmacniacze operacyjne i ich zastosowania”) czy „Układy półprzewodnikowe” U.Tietze i Ch.Schenka zawierające dziesiątki oryginalnych pomysłów układowych z techniki analogowej. Obserwując współczesne projekty (również te publikowane w EP) można zaryzykować stwierdzenie, że statystyczna umiejętność korzystania ze wzmacniaczy operacyjnych coraz bardziej ogranicza się do kilku elementarnych konfiguracji, podczas gdy cały

ogrom inżynierskiej pomysłowości odchodzi w zapomnienie. A przecież zestawienia rynkowe wskazują, że co roku w tej kategorii wciąż pojawia się kilkadziesiąt nowych typów układów scalonych. Szybszych, oszczędniejszych, z wejściami i wyjściami rail-to-rail, zadowalających się zasilaniem z jednego ogniwa lub wręcz przeciwnie wytrzymujących setki woltów... Czyli wzmacniaczy o parametrach, o jakich konstruktorzy uczący się niegdyś ze wspomnianych książek, mogli tylko pomarzyć. Dlatego będziemy systematycznie przypominać co ciekawsze rozwiązania starając się pokazać, że dobry pomysł w połączeniu z parametrami współczesnych podzespołów może oferować całkiem inte-

na str. 41



Rys. 1. Wzmacniacz o regulowanym znaku i wartości wzmocnienia

resujące możliwości a tor obróbki sygnału analogowego wcale nie musi zaczynać się od przetwornika A/C.

Układ przedstawiony na rys. 1a spełnia rolę wzmacniacza o płynnej regulacji nie tylko wartości ale i znaku wzmocnienia. Może on znaleźć zastosowanie np. w układach dopasowujących zakres zmian sygnału wejściowego do zakresu dynamicznego przetwornika A/C, automatycznych mostkach pomiarowych lub detektorach synchronicznych.

Po ustawieniu suwaka potencjometru R2 w prawym skrajnym położeniu

($q=0$), układ pracuje jako wzmacniacz odwracający o wzmocnieniu

$$k_u = -R1/R3 = -n$$

Przez rezystor R4, włączony pomiędzy masę i punkt masy pozornej praktycznie nie płynie prąd, a tym samym jego obecność nie wpływa na wzmocnienie. W lewym skrajnym położeniu suwaka ($q=1$), całe napięcie wejściowe jest podawane bezpośrednio na wejście (+) wzmacniacza operacyjnego. Napięcie na rezystorze R2 jest wówczas bliskie zeru a cały układ pracuje jako wzmacniacz nieodwracający o wzmocnieniu:

$$k_u = 1 + R1/R4 = +n$$

W pośrednich położeniach suwaka wzmocnienie zależy liniowo od wartości q :

$$k_u = n(2q-1)$$

zatem za pomocą jednego potencjometru można je regulować liniowo w przedziale $\langle -n, +n \rangle$ osiągając w położeniu środkowym wartość bliską zeru.

Oczywiście nic nie stoi na przeszkodzie, aby mechaniczny potencjometr zastąpić potencjometrem cyfrowym (rys. 1b), należy tylko zwrócić uwagę na jego zakres dopuszczalnych napięć wejściowych. W przypadku gdy zależy nam jedynie na zmianie znaku wzmocnienia, ale bez płynnej regulacji wartości, w roli elementu sterującego można zastosować analogowy klucz CMOS (rys. 1c) lub transoptor z symetrycznym JFET-em na wyjściu (rys. 1d) - np. mało znany, choć ciekawy H11F Fairchild-a (dostępny m.in. w TME).

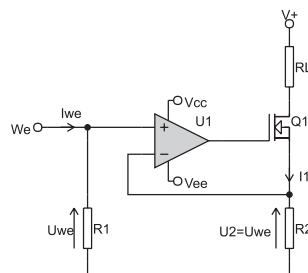
MDz

Bipolarne źródło prądowe o dużej wydajności

Jednym z częstych zastosowań wzmacniaczy operacyjnych są układy źródeł prądowych. Typowy układ z tranzystorem MOS na wyjściu (rys. 1) wystarcza do jednokierunkowego zasilania obciążenia podłączonego do szyny zasilania. Sprężenie zwrotne dąży do utrzymania na rezystorze R2 stałego spadku napięcia równego U_{we} , a tym samym stabilizuje prąd wyjściowy na poziomie:

$$I_L = U_{we}/R2$$

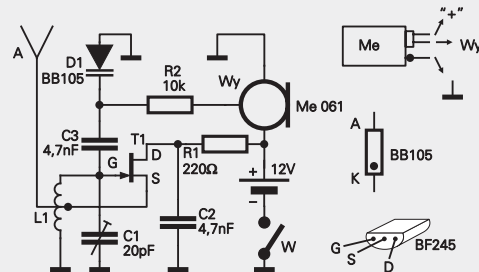
Niekiedy zachodzi jednak potrzeba zrealizowania sterowanego źródła wymuszającego dwukierunkowy prze-



Rys. 1. Podstawowy układ jednokierunkowego źródła prądowego

ływ prądu w obciążeniu dołączonym z jednej strony do masy. W przypadku niewielkich mocy często stosuje się

na str. 42



Rys. 1. Schemat elektryczny

du rezonansowego L1 C1 oraz pojemności dodatkowe (elementy modulatora oraz pojemności wejściowe tranzystora i pojemności montażowe). Odczep w okolicach połowy uzwojenia cewki to niezbędny punkt dodatniego sprzężenia zwrotnego generatora oraz punkt dołączenia anteny. Rezystor R1 ogranicza prąd drenu tranzystora do około 10...15 mA zaś kondensator C2 to element filtrujący napięcie zasilania. Do modulacji częstotliwości zastosowano diodę pojemnościową D1-BB105 dołączoną do obwodu rezonansowego poprzez kondensator separujący C3. Przy zasilaniu napięciem 12 V moc wyjściowa nadajnika nie przekracza 20 mW przeznaczonych dla tego typu układów eksperymentalnych. Maksymalny zasięg urządzenia bez anteny wynosi kilka metrów jednak zdecydowanie wzrasta po dolutowaniu odcinka przewodu jako anteny i wynosi wtedy kilkadziesiąt metrów.

Właściwości:

- moc nadajnika ok. 20 mW
- napięcie zasilania 12 VDC
- system FM CCIR (88...108 MHz)

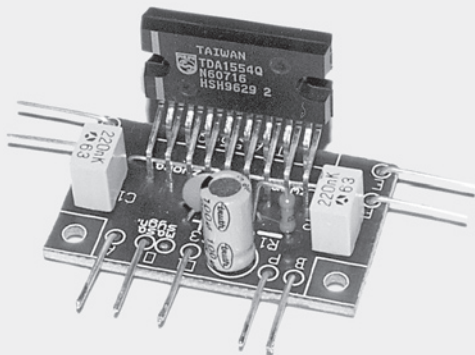
Dodatkowe informacje:

Bardziej szczegółowy opis tego projektu można znaleźć pod nazwą AVT-2117/1 na stronie: <http://www.sklep.avt.com.pl>

Wzmacniacz stereofoniczny z układami TDA1554

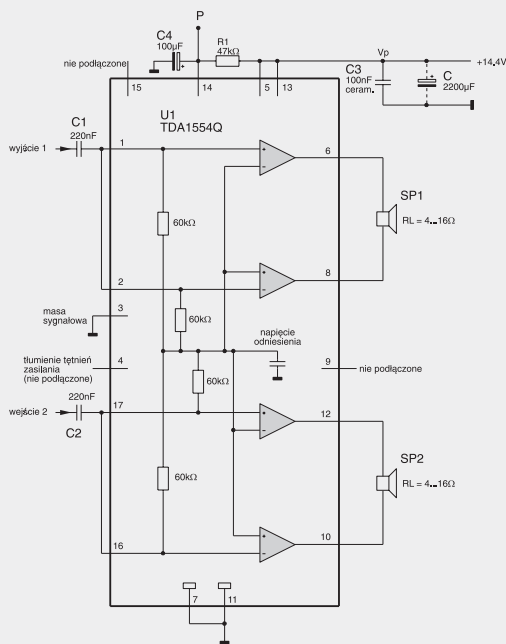
W praktyce elektronika często zachodzi potrzeba wykonania wzmacniacza o mocy kilku...kilkunastu watów. Układ jest przeznaczony w pierwszym rzędzie do zasilania z akumulatora samochodowego, możliwe jest też użycie zasilacza sieciowego o odpowiedniej mocy.

na str. 42



z str. 41

Na rys. 1 pokazano schemat aplikacyjny układu TDA1554Q pracującego w układzie mostkowym. Dzięki temu możliwe jest osiągnięcie znacznej mocy przy niewielkim napięciu zasilającym. Układ posiada wbudowane zabezpieczenia przeciwzwarciowe i termiczne oraz obwód opóźnionego włączania z elementami R1, C4 dołączonymi do nóżki numer 14.



Rys. 1. Schemat aplikacyjny układu TDA1554Q

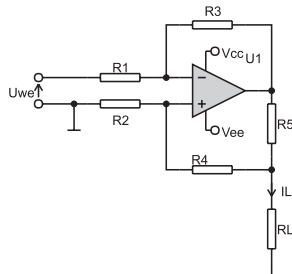
Przy zasilaniu napięciem 14,4 V i obciążeniu 2x4[OHM] można uzyskać moc wyjściową 2x22 W przy zniekształceniach 10%. Pobór prądu wynosi przy tym ponad 5 A.

Właściwości:

- moc wyjściowa 2x22 W (2x4 Ω, 14,4 V)
- pasmo przenoszenia 20 Hz...15 kHz
- napięcie zasilania 6...18 V

Dodatkowe informacje:

Bardziej szczegółowy opis tego projektu można znaleźć pod nazwą AVT-2104 na stronie: <http://www.sklep.avt.com.pl>



Rys. 2. Dwukierunkowe źródło prądowe w układzie Howlanda

z str. 41

do tego celu układ Howlanda (rys. 2).

W układzie tym działa jednocześnie dodatnie i ujemne sprzężenie zwrotne, dążące do utrzymania stałego spadku napięcia na R5 a w konsekwencji stałego prądu płynącego w obciążeniu RL. Prąd wyjściowy źródła Howlanda wyraża się zależnością:

$$I_L = U_{we} \cdot R_3 / (R_5 \cdot R_1)$$

przy czym wartości rezystorów powinny spełniać warunki:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_2 \\ R_3 &= R_4 + R_5 \\ R_1 + R_3 &\gg R_5 \end{aligned}$$

Od dokładności spełnienia powyższych warunków zależy wartość rezystancji wyjściowej źródła, co praktycznie przekłada się na konieczność sięgnięcia po wysokoprecyzyjne rezystory o wąskiej tolerancji. Ponadto cały prąd obciążenia jest pobierany z wyjścia wzmacniacza operacyjnego a tym samym ograniczony do wartości wynikającej z danych katalogowych układu scalonego.

Uzyskanie większych mocy wyjściowych wymaga zatem sięgnięcia do innej koncepcji. Na rys. 3 przedstawiono interesujący układ bipolarnego źródła prądowego o dużej mocy. Stopień wyjściowy składa się z dwóch komplementarnych, sterowanych źródeł (luster) prądowych, dostarczających prądów ID1 i ID2. Wypadkowy prąd IL płynący przez obciążenie RL jest różnicą wydajności obu tych źródeł:

$$I_L = I_{D1} - I_{D2}$$

Na uwagę zasługuje oryginalny sposób sterowania stopnia wyjściowego. Otóż lustra prądowe wchodzące w skład stopnia wyjściowego są sterowane wartością prądów pobieranych z zasilania przez wzmacniacz U3. Przy zerowym napięciu wejściowym ($U_{we}=0$) wtórnik U3 pobiera jedynie niewielki, spoczynkowy prąd zasilania. Ponieważ jego obciążenie (R5) jest podłączone do masy to $I_5=0$ a prądy w obu gałęziach zasilania układu U3 są równe ($I_3=I_4$). Tym samym prądy ID1 i ID2 w stopniu

wyjściowym, powtarzane przez lustra prądowe o identycznych współczynnikach przenoszenia:

$$I_{D1} = k \cdot I_3$$

$$I_{D2} = k \cdot I_4$$

$$\text{gdzie } k = R_3/R_1 = R_4/R_2$$

znoszą się a w obciążeniu RL również nie płynie prąd.

Podanie napięcia wejściowego $U_{we} <> 0$ powoduje przepływ prądu:

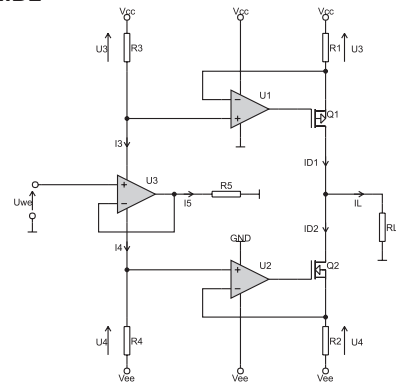
$$I_5 = U_{we} / R_5$$

dodającego się zależnie od znaku do jednego z prądów zasilających I3 lub I4 a w konsekwencji naruszającego równowagę pomiędzy ID1 a ID2 i w postaci ich różnicy IL kierowanego do obciążenia RL:

$$I_L = I_{D1} - I_{D2} = k \cdot (I_3 - I_4) = U_{we} \cdot k / R_5$$

Przy brakuysterowania, przez tranzystory Q1 i Q2 płynie prąd o k-krotnej wartości spoczynkowego prądu zasilania U3, czyli stopień wyjściowy pracuje w klasie AB. Żeby uniknąć niepotrzebnych strat mocy, jako U3 należy zatem dobrać wzmacniacz o możliwie niewielkim poborze mocy. W oryginalnym układzie (pochodzącym z wydanej przed wielu laty książki „Układy półprzewodnikowe” U. Tietze i Ch. Schenka) jako U3 zastosowano LF441 o parametrach dynamicznych porównywalnych z uA741 ale za to o wielokrotnie mniejszym spoczynkowym prądzie zasilania (~200 μA). Dobierając wzmacniacz U1 i U2 trzeba też zwrócić uwagę, żeby ich dopuszczalny zakres napięć wejściowych sięgał odpowiednio poziomu Vcc oraz Vee. W oryginalnym układzie użyto w tym celu wzmacniaczy LF356z wejściem JFET (U1) oraz CA3140 z wejściowymi tranzystorami MOS (U2). W chwili obecnej, dzięki szerokiej ofercie układów typu rail-to-rail dobór odpowiednich wzmacniaczy spełniających powyższe warunki nie powinien już stanowić większego problemu.

MDz



Rys. 3. Bipolarnie, sterowane źródło prądowe o dużej mocy wyjściowej