

Przetwornica do CAR-AUDIO

Jak wiadomo, w instalacji samochodowej dostępne napięcie wynosi maksymalnie 14,4V, co pozwala z mostkowej końcówki mocy uzyskać teoretycznie 25W na 4Ω. Zbliżonymi mocami dysponują obecne nowoczesne radia samochodowe. Żeby uzyskać moce większe, potrzebne jest wyższe napięcie zasilania. Prezentowany układ służy do podniesienia napięcia typowej instalacji samochodowej do poziomu umożliwiającego osiągnięcie mocy ponad 200W przy podłączeniu typowej końcówki mocy lub kilku.

Opis układu

Przetwornica składa się z kilku zasadniczych części. Głównym elementem odpowiedzialnym za podniesienie napięcia jest transformator impulsowy, który do działania potrzebuje napięcia zmiennego, a jest ono wytwarzane w układzie sterownika TL494 z dołączonymi elementami wykonawczymi w postaci tran-

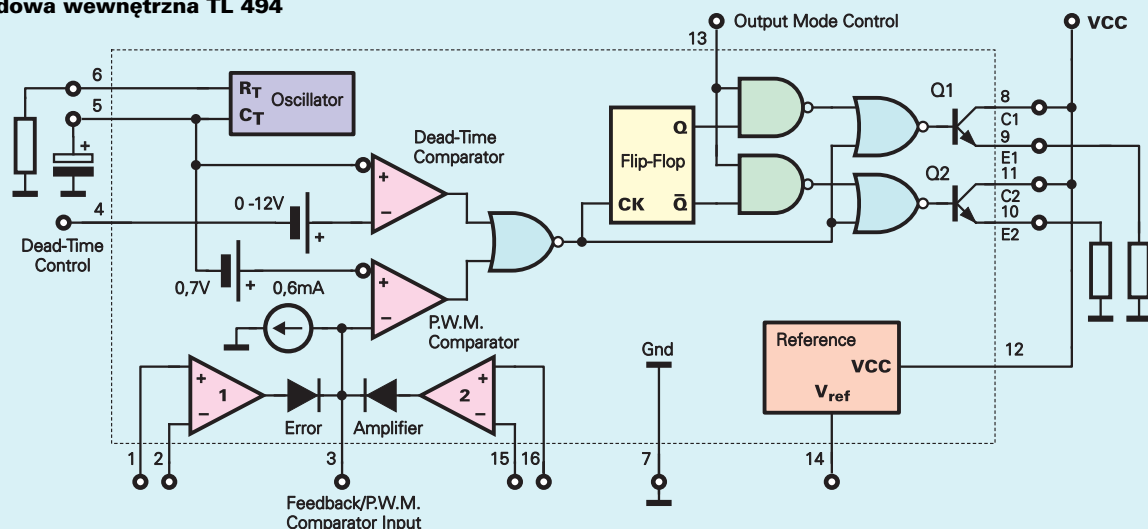
zystorów mocy MOSFET. Po stronie wtórnej znajduje się mostek z szybkich diod prostowniczych i zespół kondensatorów filtrujących. Układ, mimo prostoty konstrukcji, posiada oryginalne zabezpieczenie prądowe oraz nad- i podnapięciowe, które przyczyniają się do bezpieczeństwa drogiego samochodu.

Tajemnice TL494

Jest to koń roboczy elektroniki impulsowej, więc warto opisać nieco jego budowę wewnętrzną. Zna go każdy zaglądający do zasilacza od komputera PC, głównie pod oznaczeniem KA7500. Budowę wewnętrzną widzimy na **rysunku 1**. Zasilanie w zakresie 8-40V podajemy na nóżkę 12-plus i 7-minus. Sercem kostki jest generator, którego częstotliwość w zakresie 1-300kHz ustalamy za pomocą elementów RC podpiętych do nóżek 5 i 6. Następnie sygnał w postaci piły podawany jest na wewnętrzny komparator i porównywa-

ny z napięciem z dwóch wzmacniaczy błędów, których wejścia dostępne są na nóżkach 1, 2 i 15, 16 oraz wyjście do kompensacji na nóżce 3. Warto wspomnieć, że budowa tych wejść umożliwia pracę wzmacniacza z napięciami wejściowymi, poczynając od 0V. Z wyjścia komparatora sygnał trafia do układu wewnętrznego przerzutnika i w postaci dwóch tranzystorów (każdy 250mA max.) wyprowadzony jest na zewnątrz przez nóżki 8, 9 oraz 10, 11. Takie rozwiązanie jest bardzo uniwersalne i można na wiele sposobów konfigurować stopień wyjściowy, uzyskując do 0,5A prądu wyjściowego z samej kostki lub podłączyć dodatkowe tranzystory mocy. Ciekawą właściwość ma nóżka 13 sterująca pracą stopnia wyjściowego. Przy podaniu na nią stanu wysokiego (5V) stopień wyjściowy pracuje na przemian np. do sterowania naszej przeciwsobnej przetwornicy. Gdy podamy stan niski (0V), tranzystory wyjściowe będą włączone

Rys. 1 Budowa wewnętrzna TL 494



równocześnie, co przy ich połączeniu równoległym daje nam do 0,5A prądu wyjściowego np. do zasilacza małej mocy. Warto wspomnieć, że przy tym trybie częstotliwość pracy jest taka sama jak generatora, natomiast przy trybie pracy naprzemiennym - trzeba podzielić ją na dwa. W strukturze układu zawarto jeszcze konieczne źródło napięcia odniesienia o wartości 5V, mające wyprowadzenie na końcówce 14. Wyprowadzenie 4 służy do miękkiego startu, czyli powolnego zwiększania współczynnika wypełnienia przy włączeniu zasilania. Zainteresowanych szczegółami odsyłam do not katalogowych tego układu.

Budowa przetwornicy

Schemat ideowy przedstawiony jest na **rysunku 2**. Zawiera opisaną kostkę TL494 pracującą na częstotliwości ok. 40kHz (C8, R16) w układzie przeciwobnym z maksymalnym współczynnikiem wypełnienia. Transzystory wyjściowe pracują w układzie wtórników emiterowych z kolektorami podpiętymi do zasilania - nóżki 8, 11. Emitery za pomocą R2, R3 sterują bramkami tranzystorów MOSFET. Dodatkowo znajdują się tam wtórnik emiterowy T3, T4, poprawiające szybkość rozładowania bramek tranzystorów MOSFET T1, T2. Transzystory te kluczują uzwojenie pierwotne transformatora mocy, wywołując w nim zmienne pole magnetyczne, które to zmiany są transformowane na wtórną stronę z odpowiednim powieleniem zależnym od

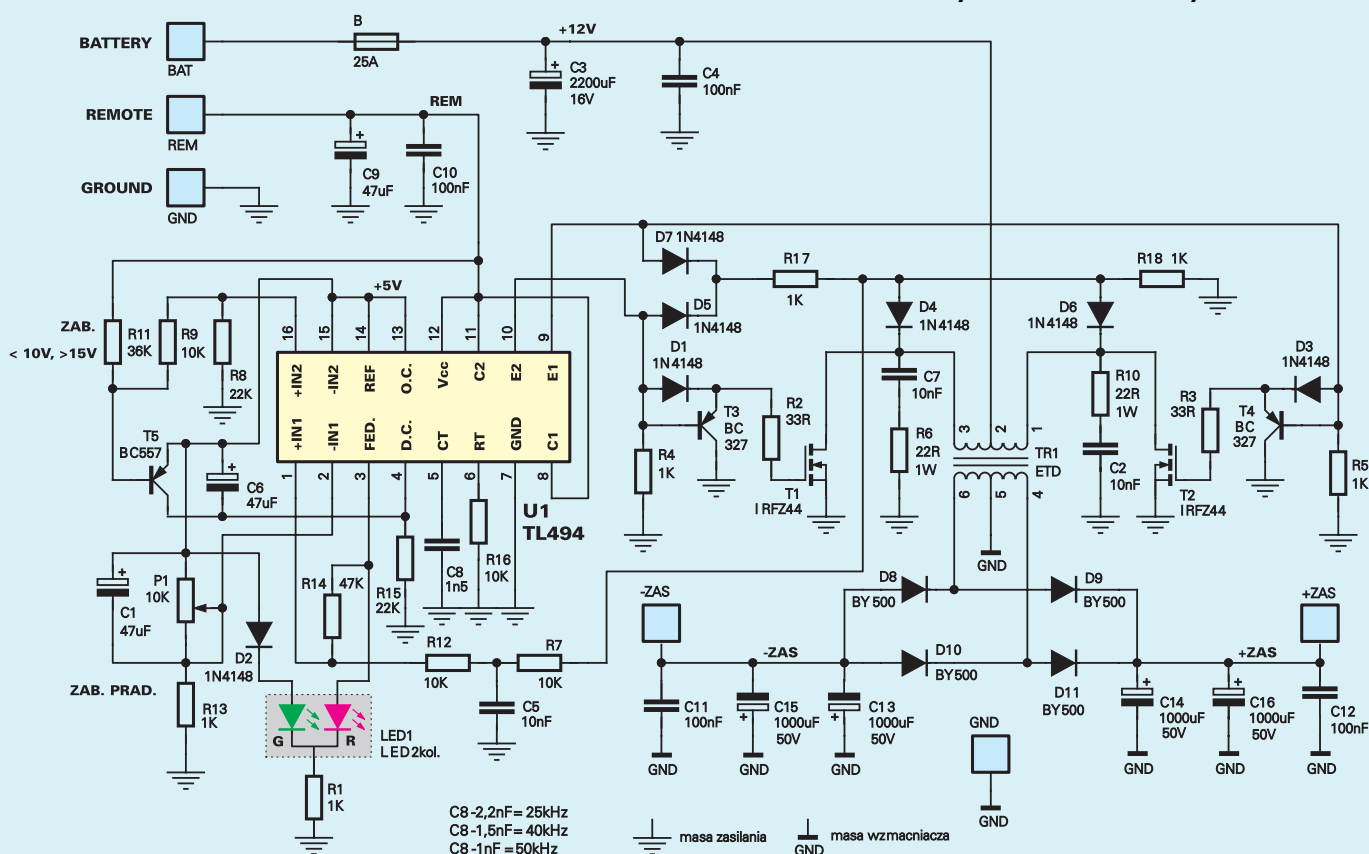
przekładni transformatora. Tam napięcie jest prostowane za pomocą diod D8-D11 i wygładzane kondensatorami C13-C16. Dalej napięcie wyjściowe podłączamy do posiadanej końcówki mocy. Przetwornica zasilana jest za pośrednictwem przewodu prądowego podłączonego do wejścia BATTERY. Napięcie trafia bezpośrednio na kondensatory C3, C4 i uzwojenie transformatora. Zasilanie samego sterownika czerpane jest bezpośrednio z wyjścia REMOTE radia samochodowego, gdzie w chwili jego włączenia pojawia się 12V. Po wyłączeniu radia przetwornica wyłącza się, oszczędzając tym cenny prąd akumulatora.

Zabezpieczenia

Zadanie sterownika TL494 sprowadza się tylko do generacji impulsów prostokątnych i mógłby ktoś powiedzieć, że można to wykonać na kilku bramkach C-MOS, co niektórzy robią. Jednak opisywana kostka, mimo bardzo niskiej ceny (ok. 2 zł), umożliwia dodanie kilku układów poprawiających niezawodność pracy przetwornicy. Pierwszym udogodnieniem jest miękki start zrealizowany na kondensatorze C6 i rezystorze R15, dzięki niemu napięcie wyjściowe przetwornicy rośnie powoli podczas startu, a elementy prądowe nie są narażone na chwilowe przeciążenie. Następnie dzielnik składający się z rezystorów R8, R9, R11 wraz z T5 i wejściem wzmacniacza błęd (pin 16 kostki TL497) tworzą układ zabezpieczenia nad- i podnapię-

ciowego umożliwiający pracę przetwornicy tylko w zakresie napięć 10-15V, co chroni akumulator przed pełnym rozładowaniem. Najciekawszym jednak układem jest układ zabezpieczenia prądowego oparty na pomiarze spadku napięcia na rezystancji włączonych tranzystorów MOSFET. Składa się z diod D5, D7, które sumują sygnał sterujący bramkami MOSFET-ów, a następnie za pomocą R17, R18 kierują go do diod D4, D6 podpiętych do drenów MOSFET-ów. W punkcie połączenia tych elementów uzyskuje się sygnał prostokątny o amplitudzie odpowiadającej wartości prądu płynącego przez tranzystory MOSFET powiększony o stałe napięcie przewodzenia diod D4, D6. Następnie sygnał ten jest filtrowany za pomocą filtra dolnoprzepustowego R7, C5 i podany na wejście wzmacniacza błęd kostki TL494. Jest on skonfigurowany za pomocą R12, R14 jako komparator-zatrzaśk, którego napięcie zadziałania ustalamy za pomocą potencjometru montażowego P1. W chwili, gdy prąd przekroczy wartość dopuszczalną, napięcie na końcówce 1 będzie większe od ustalonego napięcia na końcówce 2, wewnętrzny wzmacniacz błęd zatrzaśnie się dzięki R14 w stanie wysokim i na wyjściu pin 3 pojawi się napięcie ok. 5V. Wyłączy ono przetwornicę i zgasi zaświeconą zieloną diodę LED1 oznaczającą pracę, a zaświeci czerwoną, sygnalizując przeciążenie w układzie. Będzie to trwało do czasu ponownego uruchomienia układu.

Rys. 2 Schemat ideowy



Kondensator C1 w chwili włączenia przez podanie dużego napięcia na nóżkę 2 wyłącza układ czujnika prądu w momencie startu przetwornicy. Takim układem można mierzyć bardzo duże wartości prądu bez stosowania kłopotliwych szeregowych rezystorów. Ze względu na rozrzut rezystancji tranzystorów MOSFET i ich dużej zmienności w funkcji temperatury oraz dodający się do tego rozrzut napięcia przewodzenia diod D4, D6 - układ nie jest precyzyjnym narzędziem pomiarowym, lecz detektorem przeciążenia. W układach bardzo dużej mocy dobre efekty przynosi pomiar spadku napięcia na ścieżkach doprowadzających masę zasilania.

Transformator impulsowy

Najbardziej niechętnymi elementami układów są elementy indukcyjne, a to ze względu na kłopotliwe ich wykonanie. Postaram się wytłumaczyć, jak w prosty sposób wykonać taki transformator z części z demobilu. Najbardziej przydatne będą tu transformatory z rozebranych zasilaczy komputerów PC. Jednak nie wszystkie rdzenie się nadają! Nadają się te, w których przetwornica pracuje w układzie push-pull, czyli tam, gdzie są dwa tranzystory mocy i najczęściej sterownik TL494 (KA7500). Nie nadają się do tego celu rdzenie ze starych zasilaczy opartych na kostkach serii UC3842, które posiadają szczelinę. A więc transformator powinien być na rdzeniu zamkniętym (bez szczeliny) wykonanym z „ferrytu mocy” (nie mylić z rdzeniami proszkowymi). „Ferryt mocy” to np. polferowski F807, Philips np. 3C85, 3C90, 3F3, Siemens np. N27, N41, N67. Rdzenie takie posiadają dużą wartość $AL=2000-4000$. Od wielkości rdzenia zależy moc maksymalna, którą możemy uzyskać. Idealnym rdzeniem byłby stosowany we wzmacniaczach firmowych rdzeń pierścieniowy, jednak jest on trudno dostępny. Zamiast niego możemy posłużyć się dość łatwo dostępnymi rdzeniami serii ETD. W takie rdzenie wyposażone są wspomniane zasilacze komputerowe i jest to najczęściej rdzeń przypominający ETD34, a znajdziemy go w zasilaczach o mocy 200-300W. Do naszych celów wystarczy krótka praktyczna tabela 1, pomagająca oszacować, co z danego rdzenia możemy uzyskać oraz określa minimalną liczbę zwojów uzwojenia pierwotnego dostosowaną do opisywanego układu.

Podane liczby zwojów są przybliżone i na pewno nie zaskodzą ich zwiększenie, jednak czym mniej nawijamy, tym mamy mniejsze straty w uzwojeniu. Teoretyczne obliczenia

indukcji w rdzeniu są dość kłopotliwe, a można to zrobić w uproszczony praktyczny sposób. Wystarczy nawinąć na posiadany rdzeń pewną liczbę zwojów uzwojenia pierwotnego i podłączyć do układu. Do tego testu nawijamy tylko prowizoryczne uzwojenie pierwotne i może być ono nawinięte cienkim drutem. Najprościej wykonać je z elastycznej taśmy dwuprzewodowej, wtedy bez kłopotu możemy dwinąć lub odwinąć jeden zwój. Pobór prądu przy zasilaniu 15V nie powinien przekraczać 200mA, a rdzeń po kilku minutach pracy może być co najwyżej lekko ciepły. Jeśli rdzeń nadmiernie się grzeje lub pobiera większy prąd, to trzeba zwiększyć liczbę zwojów. Można też zwiększyć częstotliwość pracy przetwornicy przez zmniejszenie wartości C8 i/lub R16. Liczbę zwojów uzwojenia wtórnego obliczamy z przekładni transformatora. W skrócie przypomnę, że napięcie wyjściowe będzie tyle razy większe od wejściowego, ile razy więcej jest zwojów w uzwojeniu wtórnym w stosunku do pierwotnego. Z prądem jest odwrotnie, będzie tyle razy mniejszy. Średnice drutów nawojowych najlepiej wybrać jak największe, aby tylko zmieściły się na rdzeń. Uzwojenie pierwotne nawijamy oczywiście grubszym drutem, bo płynie przez nie większy prąd. Niektórzy pewnie zechcą nawinąć kilkoma drutami jednocześnie, żeby było łatwiej i żeby zmniejszyć efekt naskórkowego przepływu prądu – i słusznie. Trzeba pamiętać, że przekładnię trafia liczymy dla maksymalnego napięcia wejściowego - czyli 15V, które po przetworzeniu bez obciążenia wyjścia da nam wartość maksymalną. Jest ona ważna ze względu na maksymalne napięcie pracy podłączonej końcówki mocy i kondensatorów filtrujących oraz napięcia przebicia diod prostowniczych. Napięcie pod obciążeniem na pewno spadnie, a jakie ono będzie, zależy już od wykonania trafia i od współczynnika wypełnienia impulsów sterownika TL494, który nie jest najlepszy, bo jego maksimum to 80-90%. Jeśli ktoś będzie wykonywał przetwornicę do np. czterech końcówek mocy, warto wspomnieć o maksymalnym prądzie zastosowanych diod prostownika. Wykorzystałem do tego celu popularne i tanie diody typu BY500 (GI) o parametrach 5A 600V 200ns i obudowie (DO201), która ma wyprowadzenia osiowe, przez co nie trzeba montować jej na radiatorze. Specjalnie dla dużych prądów pola lutownicze zostały powielone i można zastosować osiem takich diod połączonych parami równolegle. Trzeba też wspomnieć, że nie tylko te diody i trafo decydują o mocy wyjściowej, ale ważnym elementem są także tranzystory mocy MOSFET. W tabelce 2 podane są orientacyjne moce i zalecane do nich tranzystory.

Parametry tranzystorów nieco różnią się w zależności od producenta i trzeba pamiętać,

że rozgrzanie tranzystora do temperatury ok. 100°C powoduje dwukrotne zwiększenie jego rezystancji. Tranzystory oczywiście należy umieścić na odpowiednim radiatorze. Pojemność filtrująca na wyjściu (C13-C16) to minimum $2 \times 1000\mu F$ na każde 100W mocy, a w zasilaniu (C3) $1000\mu F/100W$ i powinny być to dobre kondensatory elektrolityczne. Najbardziej grzeje się C3 ze względu na duże prądy. Przetwornica została zaprojektowana na moc ok. 200W, wydaje się jednak, że osiągnięcie ok. 400W powinno być realne. Najprawdopodobniej tylko zaawansowani sobie z tym poradzą, bo mimo dużego rdzenia i zastosowania najlepszych tranzystorów - ich liczba w układzie wynosi tylko dwa. Ze względu na uproszczony układ sterownika pojawi się problem ze sterowaniem bramek o bardzo dużej pojemności.

Typ tranzystora	Moc przetwornicy	Rezystancja kanału $r_{DS(on)}$
BUZ11	100W	0,03 typ 0,04 max
BUZ12	200W	0,024 typ 0,028 max
BUK455-60A	100W	0,03 typ 0,038 max
BUK456-60A	200W	0,024 typ 0,028 max
IRFZ44E	300W	0,023 max
STP50N06	200W	0,022 typ 0,028 max
STP60N06	300W	0,014 typ 0,016 max
STP60N06	400W	0,0065 typ 0,01 max
IRF1010E	400W	0,0012 max

Tabela 2

Montaż i uruchomienie

Pokazana na rysunku 3 płytka drukowana została zaprojektowana tak, aby bez kłopotu każdy mógł ją wykonać w domowych warunkach. Ze względu na duże prądy dobrze wykonać ją na grubej miedzi 70-105 μm . W przypadku standardowego laminatu 18-35 μm trzeba odpowiednie ścieżki pogrubzić kawałkami przewodów. Montaż wykonujemy według ogólnych zasad, czyli najpierw elementy płaskie, jak zworki, rezystory, kończąc na elementach dużych - jak kondensatory, na koniec - sam transformator impulsowy.

Uruchomienie najlepiej przeprowadzić na zasilaczu regulowanym, obciążając przetwornicę prądem kilkunastu mA np. za pomocą rezystorów i diod świecących, które będą sygnalizować nam pojawienie się napięcia na wyjściu. Po podaniu zasilania na wejście BATTERY i REMOTE przetwornica powinna od razu działać. Pobór prądu nie powinien przekraczać 200mA dla BATTERY i 50mA dla REMOTE. Na wyjściu powinno pojawić się napięcie zgodne z napięciem wejściowym pomnożonym przez przekładnię transformatora. Zmieniając napięcie wejściowe od 9 do 16V, możemy zaobserwować zmiany napięcia na wyjściu oraz wyłączanie się przetwornicy przez układ zabezpieczeń nad- i podnapięciowego. Dalej pozostaje nam podłączyć posiadaną końcówkę mocy i wypróbować działanie całości. Do dokładnego pomiaru mocy niezbędny będzie zasilacz 12-15V o mocy zależnej od mocy samej przetwornicy. Najprościej

Tabela 1

Typ rdzenia	Moc przetwornicy	Liczba zwojów uzwojenia pierwotnego
ETD29	100W	2*6zw.
ETD34	200W	2*5zw.
ETD39	300W	2*4zw.
ETD44	400W	2*3zw.

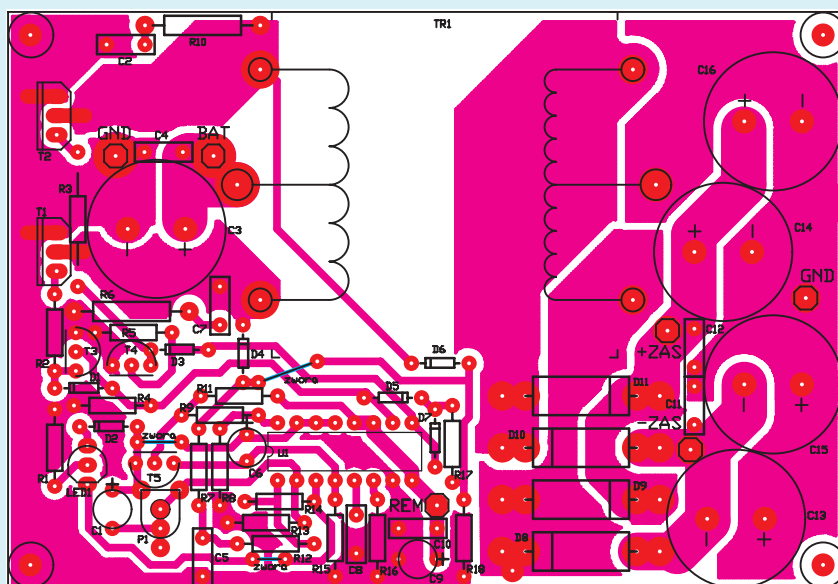
będzie jednak podłączyć typowy akumulator samochodowy lub dobry akumulator żelowy 12V o pojemności min. 12Ah. Potencjometrem P1 ustawiamy próg zadziałania zabezpieczenia prądowego, tak żeby zabezpieczenie nie załączało się podczas maksymalnego wystawiania wzmacniacza. Bezpiecznik dobieramy do mocy przetwornicy i umieszczamy na kablu zasilającym albo w oprawce, w obudowie całego układu.

Układ modelowy

Został wykonany do współpracy z dwoma scalonymi końcówkami mocy TDA7294. Trafo na rdzeniu ETD34, uzwojenie wtórne nawinięte jako pierwsze 2*12 zwojów DNE1,3 i pierwotne nawinięte na nie 2*5 zwojów 3*DNE1. MOSFET-y to 2*IRFZ44, częstotliwość pracy 40kHz. Moc wyjściowa wyniosła przy napięciu 14,4V i obciążeniu 4Ω: 1*85W i 2*75W, a napięcie wyjściowe przetwornicy ±34V (bez obciążenia) i ±32V przy wystawianym jednym kanale oraz ±30V przy wystawianiu dwóch kanałów. Napięcie zasilania 12V dało wyniki: 1*61W, 2*53W i napięcia odpowiednio ±28,5V, ±26,5V i ±25V. Sprawność przetwornicy przy obciążeniu mocą 230W (rezystor 16Ω) wyniosła aż 94%, pobór mocy ze źródła zasilania wyniósł wtedy 245W. Z tego widać, że tylko 15W wydzielane jest w postaci ciepła i jest to głównie ciepło z diod prostownika. A więc tranzystory MOSFET nie potrzebują zbyt wielkich radiatorów. W celu zasilania czterech końcówek TDA7294 potrzebny będzie nieco większy, rdzeń min. ETD39, a najlepiej ETD44. **Fotografia 4** przedstawia pierwszy prototyp przetwornicy, w którym chciałem sprawdzić możliwości zakupionego rdzenia toroidalnego. Sam rdzeń okazuje się jednak trudno dostępny, dlatego kolejny model powstał w oparciu o typowy rdzeń ETD.

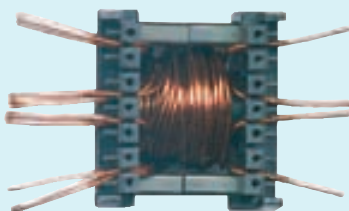
Uwagi

Moim celem było zaprojektowanie jak najprostszego układu przetwornicy, dlatego nie



Rys. 3 Schemat montażowy

Fot. 3 Rdzeń



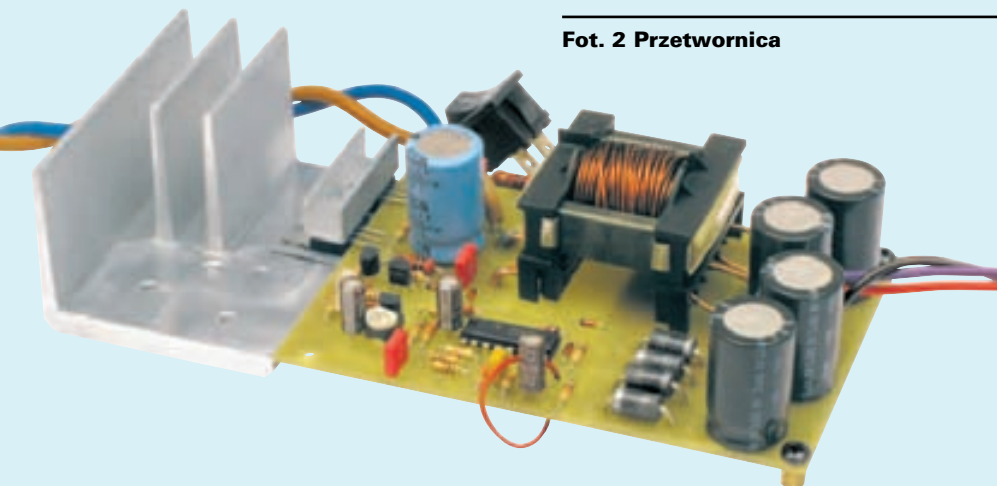
posiada ona stabilizacji napięcia wyjściowego, więc osiągi są zależne od napięcia zasilania i wykonania trafo. Stabilizacja skomplikowałaby układ, a poza tym nie jest konieczna, większość firmowych samochodowych wzmacniaczy mocy takiej stabilizacji nie posiada. Układ ma oddzielną masę zasilania i masę wzmacniacza, co praktycznie eliminuje wszelkie zakłócenia przedostające się tą drogą. Masy te łączą się w punkcie źródła dźwięku, czyli przy radiu samochodowym. Gdyby były jakieś kłopoty, można połączyć je na płycie rezystorem 1-10kΩ i/lub kondensa-

torem 1-100nF. Przy pracy przetwornicy bez obciążenia może się zdarzyć, że napięcie wyjściowe osiągnie bardzo dużą wartość, dlatego dobrze jest obciążyć wstępnie jej wyjście. Ten wzrost napięcia może być spowodowany oscylacjami w uzwojeniu trafo, gdzie szpilki oscylacji naładują kondensatory wyjściowe do dużego napięcia, mogąc je uszkodzić. W moich prototypach jednak takie zjawisko nie występowało. Warto wspomnieć jeszcze o zabezpieczeniu nadnapięciowym. Przy próbie na zasilaczu regulowanym po przekroczeniu napięcia 15V przetwornica wyłącza się, a przy ponownym zmniejszeniu napięcia włącza się z powrotem, jednak bez układu miękkiego startu, co powoduje krótkie przeciążenie i najczęściej zadziałanie zabezpieczenia prądowego, sygnalizując to świeceniem czerwonej diody LED. Taki efekt może wystąpić w samochodzie, gdy jest jakiś kłopot z instalacją. Napięcie wyłączenia można podnieść, zwiększając wartość R11, co obniży również dolne napięcie wyłączenia. Przepalenie bezpiecznika nie jest sygnalizowane, ponieważ układ sterownika jest zasilany bezpośrednio z wyjścia REMOTE radia i będzie on sygnalizował pracę, jednak na wyjściu nie pojawi się napięcie. Ponieważ w samochodzie panują trudne warunki, dobrze by było zakupić specjalną wersję sterownika, przewidzianą do pracy w temperaturach -25 do +85°C, a nosi ona oznaczenie TL494I, niestety jest droższa i trudniejsza do kupienia.

Instalacja w samochodzie

Instalacja w samochodzie wymaga staranności ze względu na duże prądy i niebezpieczeństwo zwarc. Dla przetwornicy w wersji do ok. 100W, gdzie pobór prądu nie będzie przekraczał 15A, można podłączyć zasilanie bezpośrednio z instalacji przewidzianej do zasilania radia samochodowego, sprawdzając przedtem, jakim bezpiecznikiem jest ona

Fot. 2 Przetwornica



zabezpieczona. Pewnym rozwiązaniem jest również zasilanie całego urządzenia, np. subwofera ze wzmacniaczem i przetwornicą,

Fot. 4



z gniazdka zapalniczki. Można wtedy łatwo nasze dzieło zabierać do domu, żeby nie zmieniło właściciela podczas naszej nieobecności. Dla dużych mocy, czyli dużych prądów przekraczających 20A, konieczne jest położenie linii zasilającej bezpośrednio z akumulatora do przetwornicy napięcia. Nowoczesne samochody mają przewidziane specjalne wyprowadzenia do podłączenia sprzętu audio, gdzie na akumulatorze lub w jego okolicy umieszczone są bezpiecz-

niki (50-100A) w postaci metalowych szyn, a przy nich punkty do podłączenia przewodów. W przypadku starej instalacji musimy sami podłączyć przewód do klemy z biegunem dodatnim bądź przez jej wymianę na specjalną z kilkoma wyprowadzeniami, albo dokręcając pod istniejącą śrubę w klemie dodatkową końcówkę oczkową z naszym przewodem zasilającym. Przewód zasilający powinien być możliwie najgrubszy i tak położony w samochodzie, żeby nie uległ mechanicznemu uszkodzeniu. Konieczne jest zastosowanie bezpiecznika instalacji umieszczonego zaraz przy akumulatorze. Jego wartość powinna być nieco większa niż bezpiecznika w przetwornicy. Żeby nie prowadzić drugiego przewodu, masę zasilania najlepiej pobrać z karoserii obok miejsca montażu samej przetwornicy. Trzeba wybrać dobre miejsce, odpowiednio je przygotować przez zdercie lakieru i zamontowanie końcówki oczkowej, przykręcając ją dobrym wkrętem. Nowoczesne samochody mają cienkie blachy karoserii, dlatego trzeba znaleźć odpowiedni punkt. Oczywiście najlepszą instalacją jest najkrótsza instalacja, najkorzystniej umieścić przetwornicę w pobliżu akumulatora. Warto jeszcze zadbać o pewny mechaniczny montaż całego układu i dobrą wentylację. Problem drgań w samochodzie zmiennych warunków atmosferycznych wraz z zalaniem wodą zostawiam już Wam.

Wykaz elementów

Rezystory

R1,R4,R5,R13,R17,R18	.....1Ω
R2,R3	.....33Ω
R6,R10	.....22-33Ω 0,5-1W
R7,R9,R12,R16	.....10kΩ
R8,R15	.....22Ω
R11	.....36Ω
R14	.....47kΩ
P1	.....10kΩ PR miniaturowy

Kondensatory

C1,C6,C9	.....47μF/16V
C2,C5,C7	.....10nF
C3	.....2200μF/16V

C4,C10-C12	.....100nF
C8	.....1,5nF
C13-C16	.....1000μF/50V

Półprzewodniki

D1-D7	.....1N4148
D8-D11	.....BY500
T1,T2	.....IRFZ44 itp.
T3,T4	.....BC327,8 (25-40)
T5	.....BC556 itp.
LED1	.....LED 2-kolorowa
U1	.....TL494

Pozostałe

B	.....25A
TR1	.....ETD itp. (patrz tekst)

Płytką drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2732

Ireneusz Powirski