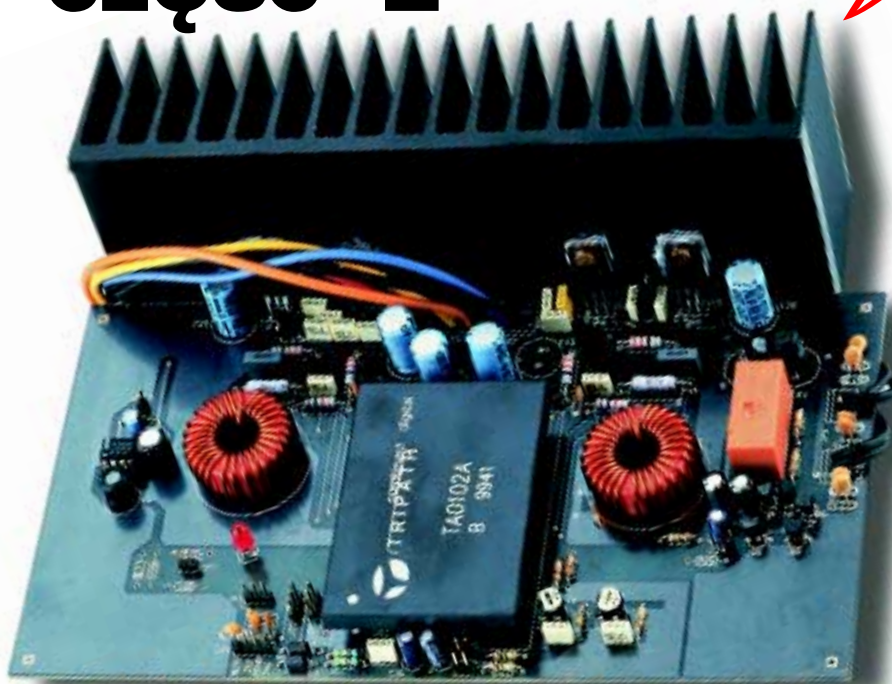


Wysokosprawny wzmacniacz audio 2x250W, część 1

AVT-5015

PROJEKT
Z OKŁADKI



Na rynku układów scalonych do wzmacniaczy audio długo panował zastój. W ostatnich dwóch latach nastąpił rewolucyjny przełom, który z pewnym opóźnieniem dotarł także do Polski: w artykule przedstawiamy opis konstrukcji wzmacniacza audio wysokiej jakości, o bardzo dużej mocy muzycznej (2x250W), który praktycznie nie wymaga chłodzenia. Niewiarygodne? Zobaczcie sami!

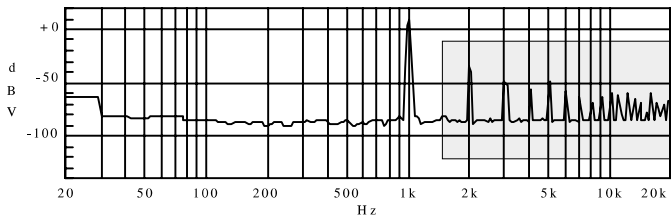
Ojcem (matką?) sukcesu jest amerykańska firma Tripath, która po latach doświadczeń ze wzmacniaczami audio pracującymi w klasie D (z cyfrową modulacją sygnału audio metodą PWM) opracowała własną, zupełnie nową klasę wzmacniaczy, którą nazwaną T. Podstawowa zasada działania wzmacniaczy pracujących w klasie T jest podobna do klasycznych wzmacniaczy impulsowych, tzn. sygnał wyjściowy wzmacniacza jest ciągiem impulsów o modulowanym wypełnieniu i - istotna nowość - częstotliwości. To właśnie dzięki modyfikowaniu częstotliwości nośnej PWM wzmacniacze pracujące w impulsowej klasie T nie zniekształcają składowych sygnału wyjściowego o częstotliwościach powyżej 1,5..2kHz jak dzieje się to w klasie D (rys. 1), w związku z czym mają pasmo przenoszenia porównywalne (rys. 2) ze wzmacniaczami pracującymi w klasie A lub AB. Tak dobry wynik osiągnięto - niestety - dość dużym kosztem, ponieważ sygnał wejściowy poddawany wzmacnianiu jest

poddawany dogłębnej analizie widmowej przez procesor sygnałowy wbudowany w układ sterujący (rys. 3). Procesor ten odpowiada za dostosowanie częstotliwości nośnej do widma sygnału wejściowego, a także - dzięki rozbudowanym obwodom sprzężenia zwrotnego - dostosowuje parametry sterowania wyjściowych tranzystorów mocy do ich indywidualnych charakterystyk. Dzięki temu dobranie tranzystorów pracujących w końcówkach mocy nie jest zbyt trudne. Według informacji udostępnionych przez producenta, częstotliwość nośnej PWM dla sygnałów o niewielkich amplitudach i niskich częstotliwościach wynosi ok. 1,2MHz. Spada ona do ok. 200kHz dla sygnałów o bardzo dużych amplitudach. Dzięki uzależnieniu częstotliwości sygnału nośnego od amplitudy sygnału wyjściowego poszerzeniu ulega zakres liniowej pracy elementów indukcyjnych, które wykorzystano do filtracji sygnału wyjściowego.

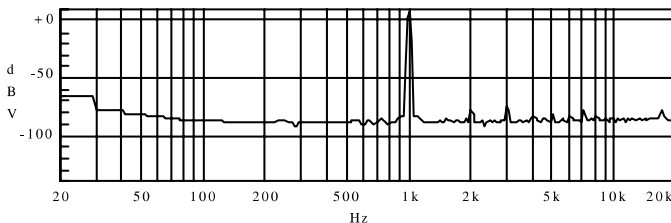
W tym momencie wypada zadać pytanie, po co inżynierowie

Najważniejsze parametry i właściwości wzmacniacza AVT-5015:

- X moc muzyczna: 2x250W (THD=1,2%, $R_L=4\Omega$),
- X moc wyjściowa dla sygnału sinusoidalnego i THD=0,1% ($R_L=4\Omega$): 150W,
- X pasmo przenoszenia: 17Hz..80kHz,
- X odstęp sygnału od szumu: >99dB,
- X separacja kanałów nie gorsza niż: -75dB (w całym pasmie),
- X klasa pracy: T,
- X sprawność ($P_{out}=160W$, $R_L=4\Omega$): 87%,
- X wbudowane zabezpieczenia antyprzeciążeniowe.



Rys. 1. Zniekształcenia w funkcji częstotliwości wzmacniacza pracującego w klasie D.



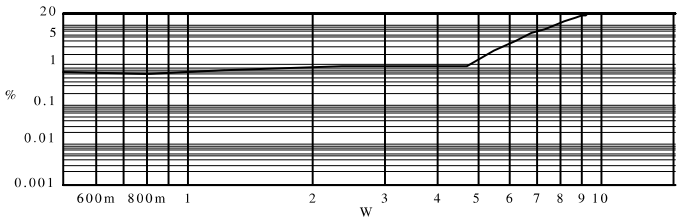
Rys. 2. Zniekształcenia w funkcji częstotliwości wzmacniacza pracującego w klasie T.

firmy Tripath tak bardzo skomplikowali wzmacnianie sygnału audio? Odpowiedź jest bardzo prosta: ze względów oszczędnościowych. Wzmacniacze pracujące w klasie AB lub A charakteryzują się doskonałymi parametrami (małe zniekształcenia, duże wzmocnienie, szerokie pasmo przenoszenia), lecz mają małą a nawet bardzo małą (zwłaszcza wzmacniacze pracujące w klasie A) sprawność energetyczną. Z kolei wzmacniacze impulsowe pracujące w klasie D mają dużą sprawność energetyczną (nawet do 88%), ale wnoszą do wzmacnianego sygnału dość duże zniekształcenia, które są szczególnie dokuczliwe dla składowych sygnału wyjściowego o wyższych częstotliwościach (rys. 4). Odtwarzanie muzyki za pomocą wzmacniacza o tak dużych zniekształceniach jest praktycznie niemożliwe, w związku z czym klasa D doskonale przyjęła się w systemach kina domowego, gdzie energooszczędne wzmacniacze są wykorzystywane do zasilania głośni-

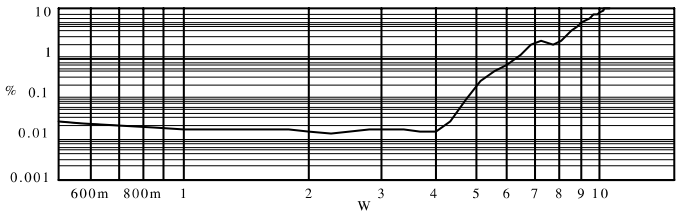
ków subniskotonowych o paśmie przenoszenia do 250..500Hz. Na rys. 5 pokazano charakterystykę ilustrującą poziom zniekształceń w funkcji mocy wyjściowej wzmacniacza klasy T. Przyjęto warunki pomiarowe identyczne, jak dla odpowiedniego układu pracującego w klasie D (charakterystyka z rys. 4) - przedstawiony wykres nie oznacza, że w zbudowanym przez nas wzmacniaczu przy 10W mocy wyjściowej poziom zniekształceń osiąga 10%!

TA0102A - serce wzmacniacza

Pierwsze próby ze wzmacniaczami pracującymi w klasie T konstruktorzy firmy Tripath prowadzili budując je z elementów dyskretnych. Okazało się, że zoptymalizowany projekt sterownika można umieścić w pojedynczej obudowie i dostarczać go w postaci gotowych modułów hybrydowych, nie wymagających praktycznie żadnego „strojenia“. Jednym z pierwszych układów tego typu na rynku był TA0102A, sterownik wzmac-



Rys. 4. Zawartość harmonicznych w sygnale wyjściowym przykładowego wzmacniacza pracującego w klasie D.



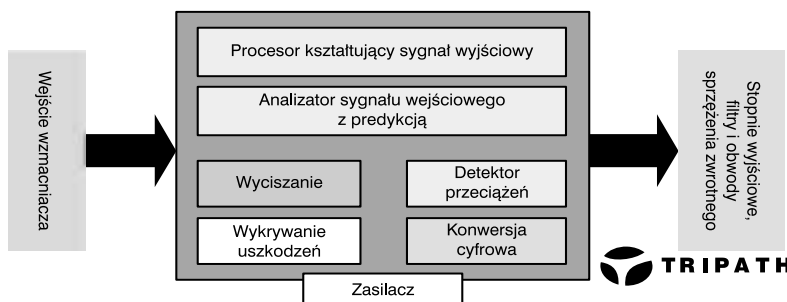
Rys. 5. Zawartość harmonicznych w sygnale wyjściowym przykładowego wzmacniacza pracującego w klasie T.

niaczy o mocy wyjściowej (sinus) ok. 150W w każdym kanale. Właśnie ten układ zastosowaliśmy w prezentowanym projekcie.

Opis układu

Prezentowany w artykule wzmacniacz powstał w oparciu o bardzo szczegółowe zalecenia producenta układu TA0102A. W dokumentacji udostępnionej m.in. na stronie www.tripath.com znajduje się tak wiele wytycznych, że potencjalny wykonawca wzmacniacza ma stosunkowo niewiele do zrobienia: zaprojektować płytkę drukowaną. Jak się jednak okazało, nie jest to zadanie zbyt proste, ponieważ prąd przepływający impulsowo przez kluczowane z dużą szybkością tranzystory mocy powoduje powstawanie dość dużych zakłóceń, „chętnie“ wykorzystywanych przez wzmacniacz jako pretekst do wzbudzenia się.

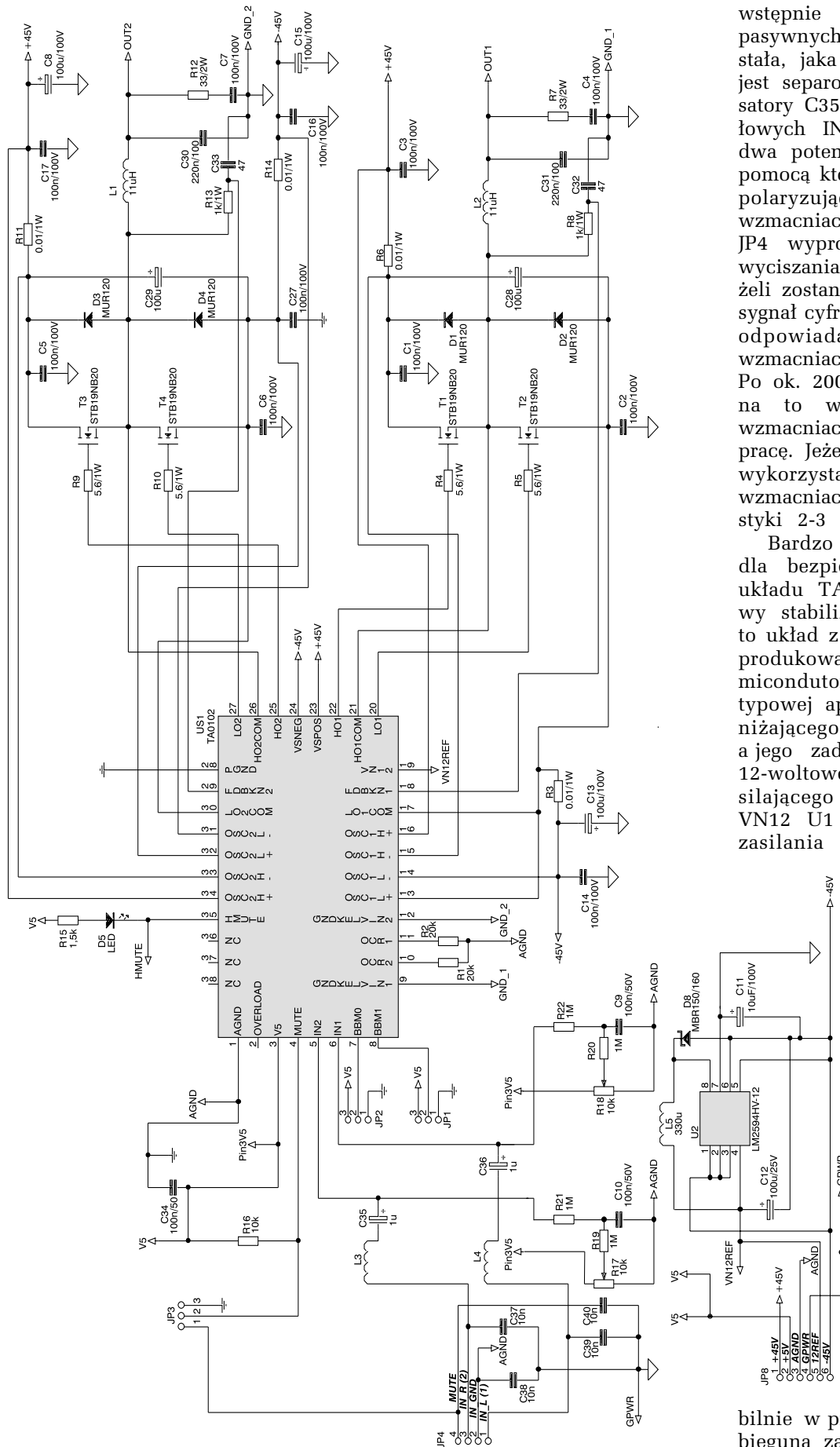
Schemat elektryczny najważniejszej części wzmacniacza pokazano na rys. 6. Jak łatwo się domyśleć, najważniejszym elementem wzmacniacza jest układ scalony U1. Sygnały wejściowe IN_L i IN_R są



Rys. 3. Schemat blokowy układu TA0102A.

Tab. 1. Wartość czasu „martwego” w zależności od położenia zworek JP1 i JP2.

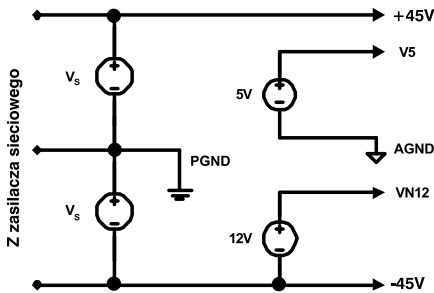
Zwarte styki JP1	Zwarte styki JP2	Czas „martwy” [ns]
1-2	1-2	145
1-2	2-3	105
2-3	1-2	65
2-3	2-3	25



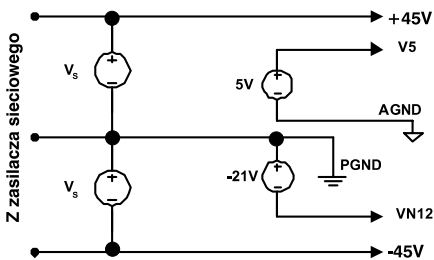
Rys. 6. Schemat elektryczny wzmacniacza.

wstępnie filtrowane za pomocą pasywnych filtrów LC, a składowa stała, jaka może w nich wystąpić jest separowana za przez kondensatory C35 i C36. Do wejść sygnałowych IN1 i IN2 U1 dołączono dwa potencjometry R17 i R18, za pomocą których ustala się napięcie polaryzujące stopień wejściowy wzmacniacza. Na złącze wejściowe JP4 wyprowadzono także sygnał wyciszania wzmacniacza MUTE. Jeżeli zostanie podany na to wejście sygnał cyfrowy o poziomie napięcia odpowiadającym logicznej „1” wzmacniacz przestanie pracować. Po ok. 200 ms od chwili podania na to wejście logicznego „0” wzmacniacz rozpoczyna normalną pracę. Jeżeli wejście to nie będzie wykorzystane można uaktywnić wzmacniacz „na stałe”, zwiernając styki 2-3 jumpera JP3.

Bardzo istotną rolę, zwłaszcza dla bezpieczeństwa kosztownego układu TA0102A, pełni impulsowy stabilizator napięcia U2. Jest to układ z rodziny *SimpleSwitcher* produkowanej przez National Semiconductors. Pracuje on w swojej typowej aplikacji stabilizatora obniżającego napięcie wejściowe, a jego zadaniem jest utrzymanie 12-woltowego odstepu napięcia zasilającego wejście referencyjne VN12 U1 od ujemnego napięcia zasilania -45V. Ponieważ pod wpływem zmian obciążenia wartość ujemnego napięcia zasilającego może się zmieniać w szerokich granicach, producent zaleca stosowanie schematu zasilania tego wejścia jak pokazano na rys. 7. Teoretycznie możliwy, prostszy w realizacji wariant zasilania pokazany na rys. 8, nie zapewnia bezpieczeństwa pracy U1. Zastosowanie dość kosztownego stabilizatora impulsowego wyniknęło z faktu, że większość klasycznych stabilizatorów 3-końcówkowych nie pracuje stabilnie w przypadku wykorzystanie bieguna zasilania jako wejścia referencyjnego (masy). Ponieważ na-



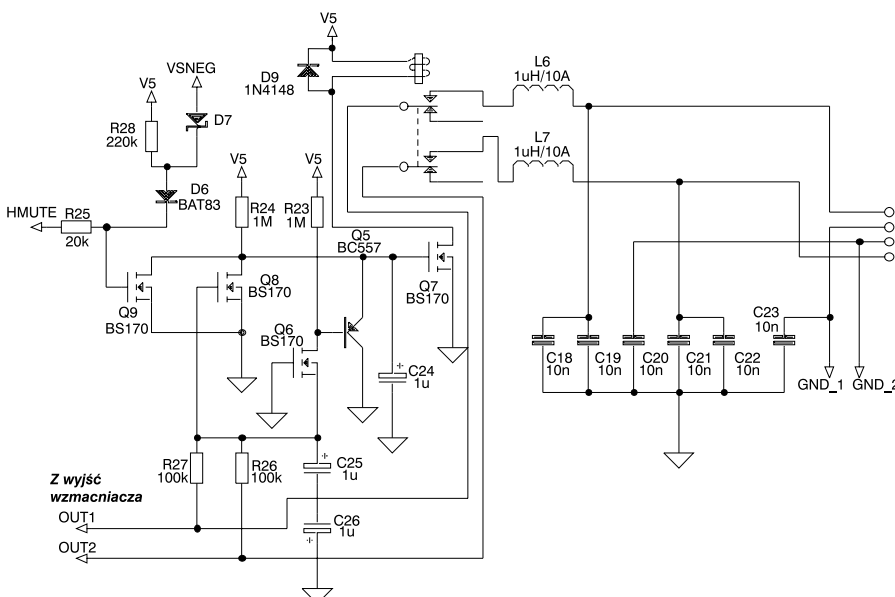
Rys. 7. Zalecany sposób wytwarzania napięcia polaryzującego VN12.



Rys. 8. Nieprawidłowy sposób wytwarzania napięcia polaryzującego VN12.

pięcie zasilające U2 ma dużą wartość, niezbędnym okazało się zastosowanie stabilizatora wysokonapięciowego (LM2594HV - High Voltage, może pracować przy napięciu wyjściowym wynoszącym maksymalnie 57V), a ze względu na wygodę montażu zdecydowano się na użycie układu o fabrycznie ustalonym napięciu wyjściowym.

Wbudowany w U1 procesor sterujący wyjściowe tranzystory mocy można skonfigurować za pomocą zworek JP1 i JP2 w taki sposób, aby zoptymalizować parametry sterowania pod kątem szybkości ich pracy.



Rys. 9. Schemat elektryczny opcjonalnego bloku zabezpieczającego głośniki.

WYKAZ ELEMENTÓW

Końcówka mocy

Rezystory

- R1, R2: 20kΩ
- R3, R6, R11, R14: 0,01Ω/1W bezindukcyjne
- R4, R5, R9, R10: 5,6Ω/1W bezindukcyjne
- R7, R12: 33Ω/2W bezindukcyjne
- R8, R13: 1kΩ/1W bezindukcyjne
- R15: 1,5kΩ
- R16: 10kΩ
- R17, R18: 10kΩ potencjometry miniaturowe
- R19..R22: 1MΩ
- R30, R31: opcjonalnie według opisu w tekście

Kondensatory

- C1..C7, C14, C16, C17: 100nF/100V
- C8, C13, C15, C27: 100μF/100V
- C9, C10, C34: 100nF/50V
- C11: 10μF/100V
- C12: 100μF/25V
- C18..C23: 10nF/100V
- C28, C29: 100μF/150V
- C30, C31: 220nF
- C32, C33: 47pF
- C35, C36: 1μF/25V
- C37..C40: 10nF/50V

Półprzewodniki

- D1..D4: MUR120
- D5: dowolna LED
- D8: MBR150 lub MBR160

T1..T4: STB19NB20

U1: TA0102A
U2: LM2594HV-13

Różne

- L1, L2: 11μH/10A
- L3, L4: według opisu w tekście
- L5: 330μH/2A
- L6, L7: 1μH/10A
- JP1..JP3: goldpiny 1x3 z jumperami
- ARK2 2 szt.
- ARK3 2 szt.
- Listwa goldpin z 38 stykami (podstawka dla TA0102A)
- Radiator aluminiowy zgodnie z opisem w tekście

Blok zabezpieczenia głośników (opcjonalny)

Rezystory

- R23, R24: 1MΩ
- R25: 20kΩ
- R26, R27: 100kΩ
- R28: 220kΩ

Kondensatory

C24..C26: 1μF/50V

Półprzewodniki

- D6: BAT83
- D7: MBR150 lub MBR160
- D9: 1N4148
- Q5: BC557
- Q6..Q9: BS170

Różne

Przekaznik np. Schrack RTE24-005

Oznacza to, że podczas przełączania par tranzystorów T1, T3 i T2, T4 procesor pomiędzy cyklami naprzemiennego włączania tranzystorów wstawia czas „martwy“ kiedy to obydwa tranzystory powinny być

wyłaczone. Funkcja ta nazywa się *Break-Before-Make*, a jej zadaniem jest m.in. zminimalizowanie start energii w przypadku zastosowania niezbyt szybkich tranzystorów wyjściowych. W **tab. 1** zestawiono wartości czasu „martwego“ w zależności od ustawienia zworek JP1 i JP2. W przypadku zastosowania sprawdzonych w naszym laboratorium, w związku z czym zalecanymi tranzystorów STB19NB20 czas „martwy“ powinien wynosić 65ns.

Konstrukcja stopni końcowych wzmacniacza jest niezbyt interesująca (czytaj: mało skomplikowana), lecz wymagania stawiane zastosowanym w nich elementom są bardzo wysokie. Twórcy układu TA0102A wykazali się ogromnym doświadczeniem, dzięki czemu w obydwu gałęziach stopni końcowych można zastosować tranzystory unipolarne z kanałem N, zamiast najczęściej stosowanych par komplementarnych. Pomimo ciągłego udoskonalania technologii, tranzystory mocy z kanałem P ciągle po-

zostają krok w tyle (są zazwyczaj wolniejsze) za swoimi odpowiednikami z kanałem N. Dzięki temu unikamy konieczności płacenia więcej lub żmudnego dobierania par podobnych tranzystorów, co zresztą nie zawsze jest możliwe.

Układ U1 jest wyposażony w system autodiagnostyki, którego stan jest sygnalizowany za pomo-

cą diody świecącej D5, sterowanej sygnałem z wyjścia HMUTE U1. Świecenie tej diody oznacza poprawne warunki pracy układu. W przypadku wystąpienia przetężenia w stopniu wyjściowym dioda D5 gaśnie sygnalizując awarię. Ponowne włączenie wzmacniacza wymaga zmiany stanu logicznego na wejściu MUTE w cyklu 0-1-0

lub wyłączenia i włączenia zasilania. W przypadku zbyt niskiego lub zbyt wysokiego napięcia zasilania dioda D5 także gaśnie, a powrót wzmacniacza do pracy jest możliwy dopiero po podaniu napięcia zasilającego o właściwej wartości.

Dodatkowe bloki funkcjonalne

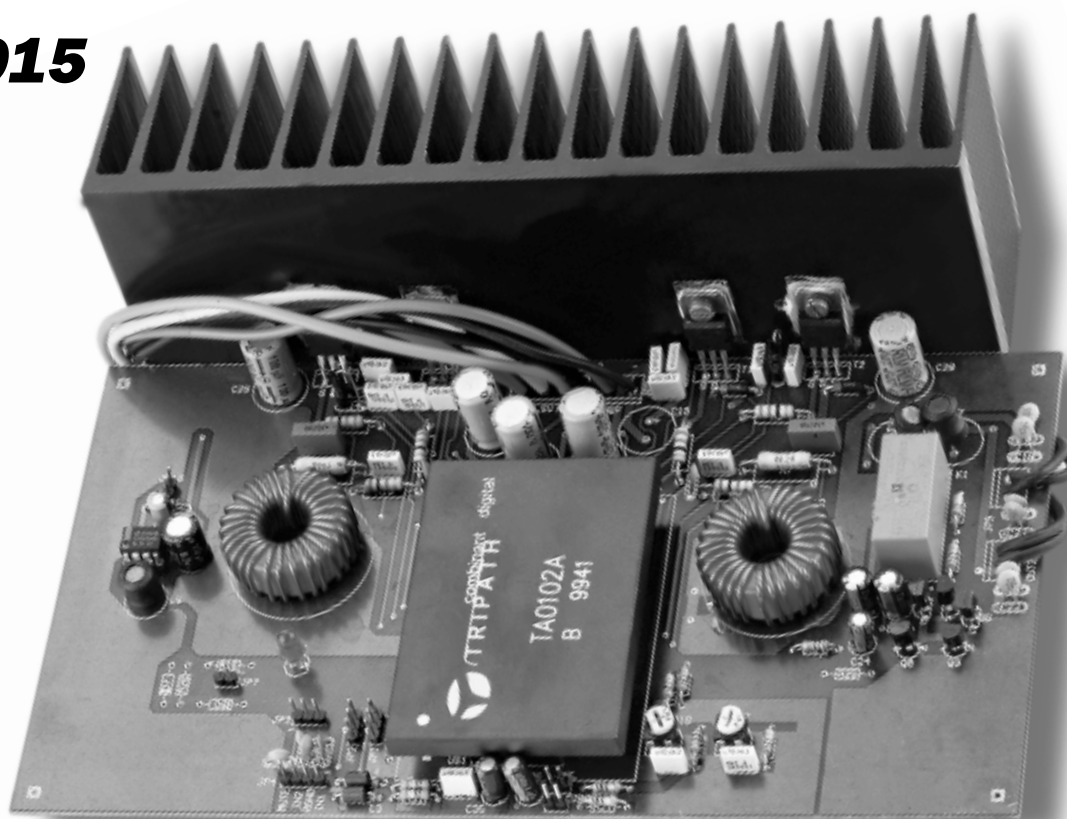
Niezobowiązującym uzupełnieniem prezentowanej konstrukcji jest blok zabezpieczenia głośników przed uszkodzeniem stopni wyjściowych, który jednocześnie spełnia rolę ich odłącznika, sterowanego sygnałem HMUTE. Schemat elektryczny tej części układu pokazano na **rys. 9**. Jest to dokładna kopia bloku zabezpieczającego opracowanego przez inżynierów firmy Tripath. Jego zaletą jest prostota układowa i odporność na potencjalne uszkodzenia, lecz - jak pokazały doświadczenia prowadzone ze wzmacniaczem - jego stosowanie nie jest niezbędne. W przypadku rezygnacji ze stosowania bloku zabezpieczającego należy zewrzeć za pomocą grubego przewodu miedzianego styki przekaźnika i koniecznie zainstalować następujące elementy: L6, L7 i C18..C23. Z montażu pozostałych elementów można zrezygnować.

Piotr Zbysiński, AVT
piotr.zbysinski@ep.com.pl

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/maj01.htm> oraz na płycie CD-EP05/2001B w katalogu PCB.

Wysokosprawny wzmacniacz audio 2x250W, część 2

AVT-5015



W drugiej części artykułu przedstawiamy najważniejsze zagadnienia związane z montażem i uruchomieniem wzmacniacza, którego konstrukcja plasuje go w czołówce rozwiązań światowych.

Montaż i uruchomienie

Dla wzmacniacza zaprojektowano dwustronną płytkę drukowaną, której wzór zamieścimy na wkładce drukowanej za miesiąc, jest ona natomiast dostępna na naszej stronie internetowej oraz na płycie CD-EP5/2001B w katalogu \PCB\Autotrax. Schemat montażowy płytki wzmacniacza pokazano na **rys. 10**. Pomimo jej dużych rozmiarów, montaż wzmacniacza nie powinien sprawić zbyt dużych problemów, gdyż niezbędne do wykonania prace mechaniczne nie są zbyt skomplikowane. Jak wspomniano w pierwszej części artykułu, w przypadku rezygnacji z montażu układu zabezpieczającego należy zewrzeć za pomocą miedzianego przewodu styki przekaźnika. Na **rys. 11** pokazano fragment płytki druko-

wanej z wyraźnie zaznaczonymi miejscami, w które należy wlotować zworki.

Kolejność montażu elementów jest w zasadzie dowolna, ale podczas ich kompletowania należy zwrócić szczególną uwagę na ich jakość. Jest bardzo ważne, aby rezystory włączone w obwody zasilania stopni mocy (R3, R6, R11, R14) oraz szeregowo z bramkami tranzystorów mocy (R4, R5, R9, R10) miały jak najmniejszą indukcyjność pasożytniczą, ponieważ ich impedancja, zwiększająca się wraz z częstotliwością impulsów prądowych mogłaby wpłynąć negatywnie na stabilność pracy wzmacniacza i jakość odtwarzanego sygnału. Bardzo duże znaczenie ma także jakość dielektryka zastosowanego w kondensatorach filtrujących sygnał wyjściowy -

jego upływność powinna być jak najmniejsza. Dla układu U1 warto zastosować podstawkę wykonaną z listwy z konektorami szpilkowymi. Takie rozwiązanie jest podyktowane trudnościami z zakupem 38-końcówkowej podstawki przystosowanej do obudowy układu TA0102A.

Podczas lutowania wszystkich elementów należy zachować szczególną staranność, aby zapobiec powstaniu zimnych lutów, które destrukcyjnie wpływają na trwałość układu U1 i tranzystorów mocy. Należy także pamiętać, aby układ US1 zamontować dopiero po dokładnym sprawdzeniu przetwornicy U2. Włączenie zasilania układu U1 bez odpowiedniego spolaryzowania wejścia VN12 powoduje w większości przypadków uszkodzenie układu TA0102A.

Najbardziej dyskusyjne wydaje się być zastosowanie we wzmacniaczu radiatora - jego wymiary są podejrzanie małe. Ze względu na bardzo wysoką sprawność stopni końcowych, standardowa czerniona kształtka profilowana RARG512 o wysokości 80mm i szerokości 250mm w zupełności wystarcza do zapewnienia odpowiednich warunków chłodzenia tranzystorów mocy. Ponieważ drewniane radiatorów T1..T4 są dołączone do ich metalowych radiatorów, tranzystory można zamontować na pojedynczym radiatorze tylko po ich odpowiednim odizolowaniu. Najlepiej jest zastosować podkładki mikowe dwustronnie posmarowane pastą silikonową. Śruby mocujące tranzystory do radiatora powinny być odizolowane od niego za pomocą tulejek wykonanych z miki lub tworzywa sztucznego.

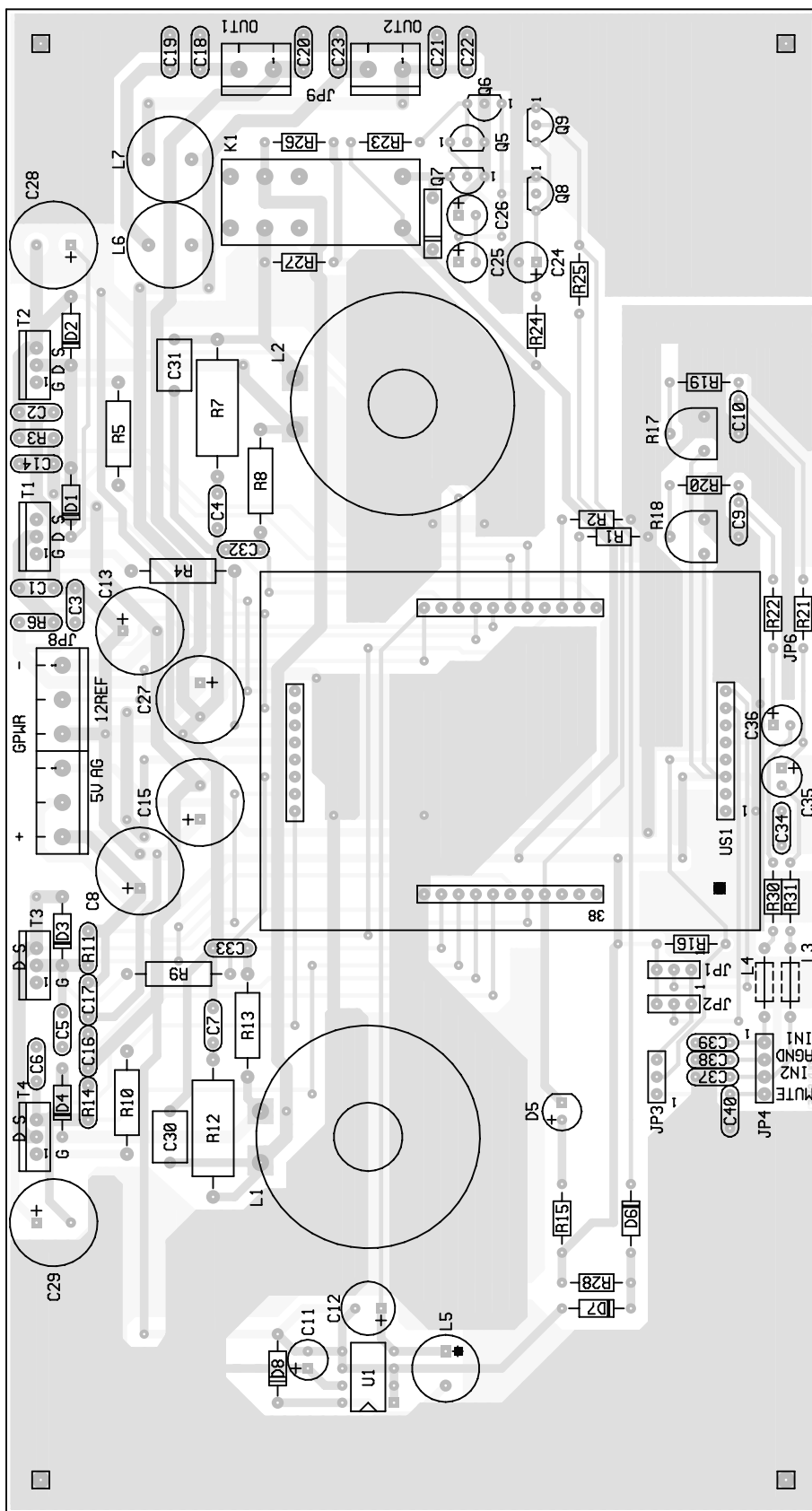
We wzmacniaczu zastosowano kilka elementów indukcyjnych, spośród których L3 i L4 można wykonać samodzielnie - są to po prostu odcinki srebrzanki przełożone przez rurkowy rdzeń ferrytowy. Pozostałe dławiki są dostarczane w zestawie.

Na płycie drukowanej przewidziano miejsce na dwa rezystory: R30 i R32, które można wykorzystać do ustalenia wzmocnienia napięciowego wzmacniacza zgodnie ze wzorem:

$$k_u = 387000 / (R30(R31) + 5000) [V/V]$$

Do uruchomienia i późniejszego stosowania wzmacniacza niezbędny będzie zasilacz sieciowy z transformatorem o mocy ok. 650..700W.

Zasilacz powinien mieć trzy napięcia wyjściowe: symetryczne $\pm 45V$ o dopuszczalnym prądzie wyjściowym 5A i +5V o wydajności



Rys. 10. Rozmieszczenie elementów na płycie drukowanej wzmacniacza.

ci prądowej 100mA. Wbudowane w układ U1 zabezpieczenia uniemożliwiają jego pracę przy napięciach zasilających niższych od $\pm 28V$ i wyższych od $\pm 49V$.

Uruchomienie wzmacniacza nie wymaga specjalnych zabiegów, za wyjątkiem regulacji napięcia polaryzacji stopni wejściowych. Za pomocą potencjometrów R17 i R18 należy ustawić na wejściach U1 napięcie ok. 2,5V i po dołączeniu

oscylloskopu do wyjścia wzmacniacza ustawić na nim napięcie stałe o wartości jak najbliższej 0V.

Piotr Zbysiński, AVT
piotr.zbysinski@ep.com.pl

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/czerwiec01.htm> oraz na płycie CD-EP06/2001B w katalogu PCB.

Ze względu na ustalone przez dystrybutorów minima zakupowe na układy TA0102A zostaną one wprowadzone do oferty AVT po zebraniu odpowiedniej liczby zamówień. Wszystkich zainteresowanych zachęcamy zatem do szybkiego złożenia zamówień na kuponie kartonowym - przyspieszy lub wręcz umożliwi to możliwość zakupu układów TA0102A.

Przybliżona cena TA0102A: 110 zł (brutto)

Przybliżona cena AVT-5015B: 450 zł (brutto)

