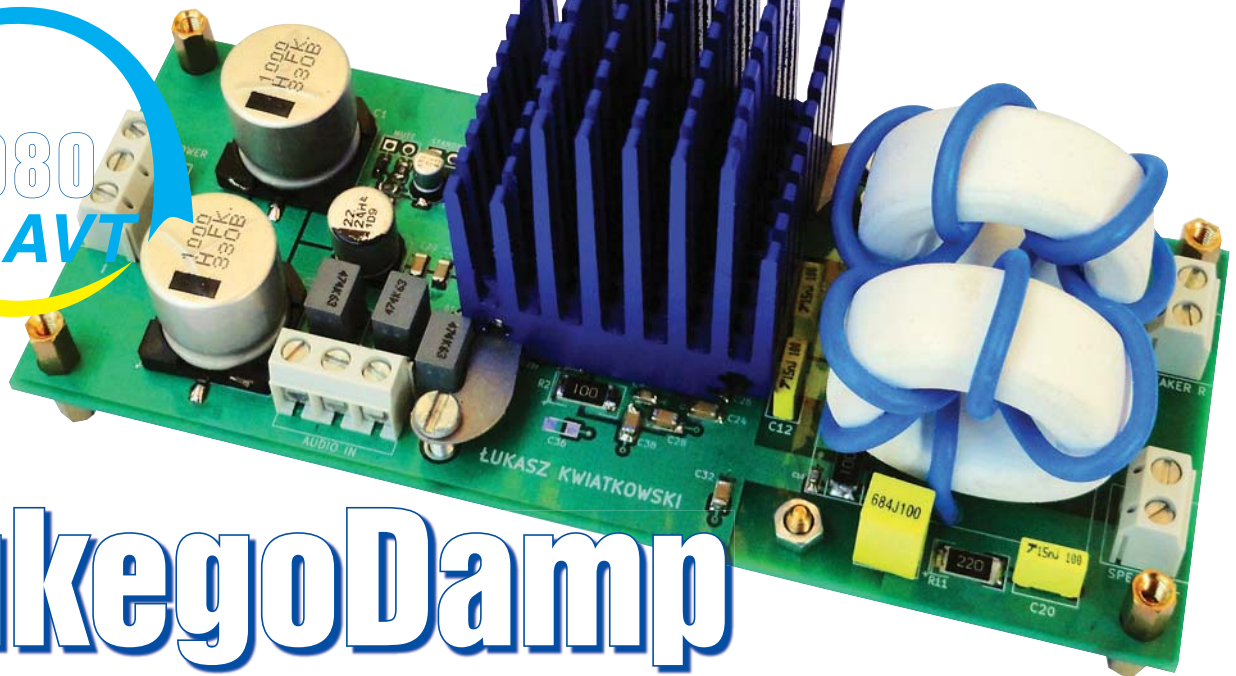


kit

3080  
AVT

# LukegoDamp



**LukegoDamp** to wzmacniacz pracujący w klasie D, o mocy 2x150W w wersji stereo lub 300W w wersji mostkowej (BTL), oparty na nowoczesnym układzie TDA8950 produkcji NXP (dawniej Philips). Zaletami prezentowanego rozwiązania są: wysoka moc, prostota układu, małe rozmiary – w tym bardzo mały radiator. Wzmacniacz idealnie nadaje się jako końcówka mocy do domowych zestawów audio, w tym do subwooferów. Bardzo duża moc kwalifikuje układ także do zastosowań estradowych. Jednym słowem LukegoDamp jest wspaniałym wzmacniaczem dla ludzi, którzy lubią odbierać muzykę nie tylko uszami, ale całym ciałem, najlepiej razem z sąsiadami.

**Klasy wzmacniaczy.** Przed opisem układu warto przypomnieć, czym tak naprawdę jest wzmacniacz klasy D i w czym jest lepszy oraz gorszy od typowego wzmacniacza, czyli wzmacniacza w klasie AB. Wraz z przejściem od klasy A poprzez AB aż do B i C zwiększa się sprawność wzmacniacza, ale jest to okupione zwiększonymi zniekształceniami. Często wzmacniacze audio z najwyższej półki wykonane są w klasie A, natomiast zdecydowana większość pozostałych w klasie AB. Klasa D jest zupełnie innym, nowym podejściem do budowy wzmacniaczy niż klasy A, AB, B, C.

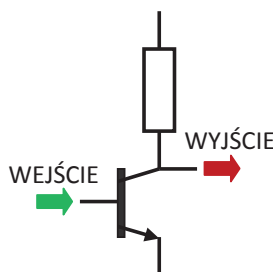
**Klasa A.** Główną cechą tej klasy jest fakt, że poprzez wyjściowy tranzystor (single ended – **rysunek 1**) lub komplementarną parę tranzystorów (push-pull – **rysunek 2**) zawsze płynie prąd, nawet gdy na wejściu nie ma sygnału. Dzięki temu stopień końcowy wzmacniacza cały czas przewodzi prąd i pracuje w liniowej części charakterystyki przejściowej tranzystora (**rysunek 3**).

Co za tym idzie, nie wprowadza tzw. zakłóceń skrośnych (ang. crossover distortion) zaznaczonych na **rysunku 4** niebieskimi elipsami. Poza tym ma bardzo dobrą charakterystykę częstotliwościową, szczególnie w górnym paśmie, ze względu na ciągłe przewodzenie tranzystorów i brak opóźnienia spowodowanego koniecznością ich otwierania (czas opóźnienia –  $t_{on}$ ). Prąd, który płynie pomimo braku sygnału wejściowego nazywany jest spoczynkowym. Zaletą klasy A jest dobra jakość dźwięku oraz prostota stopnia wyjściowego, natomiast wadą bardzo mała sprawność

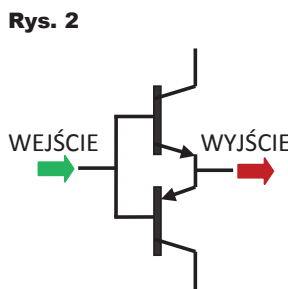
energetyczna, która teoretycznie wynosi 50%, a w praktyce znacznie poniżej 25%, często tylko kilka %, co wyznacza bardzo duże wymiary i koszt transformatora oraz radiatora.

**Klasa B.** Tę klasę cechuje brak prądu spoczynkowego (przynajmniej teoretycznie), ale to oznacza konieczność pracy na mocno nieliniowym, początkowym odcinku charakterystyki tranzystorów, co powoduje zakłócenia skrośne (**rysunek 4**) i inne niekorzystne zjawiska, w szczególności dla małych sygnałów wejściowych. W porównaniu z klasą A sprawność jest znacznie większa i teoretycznie sięga 78%. Zaletą klasy B jest względnie duża sprawność, natomiast wadą zakłócenia skrośne (które mogą być częściowo zniwelowane przez globalne ujemne sprzężenie zwrotne) oraz konieczność użycia pary tranzystorów w stopniu wyjściowym.

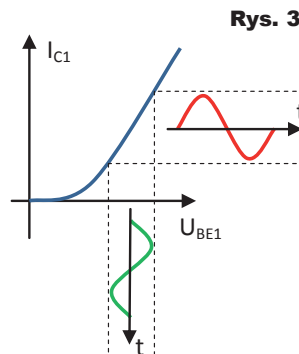
**Klasa AB.** To najczęściej wykorzystywana klasa wzmacniaczy w typowych



Rys. 1

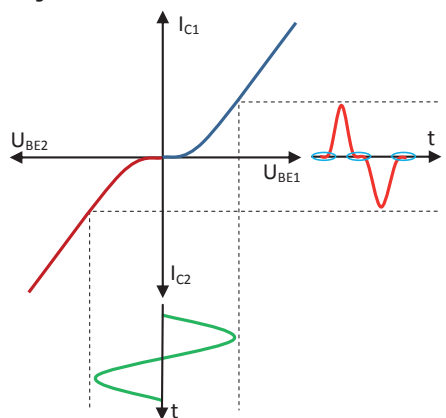


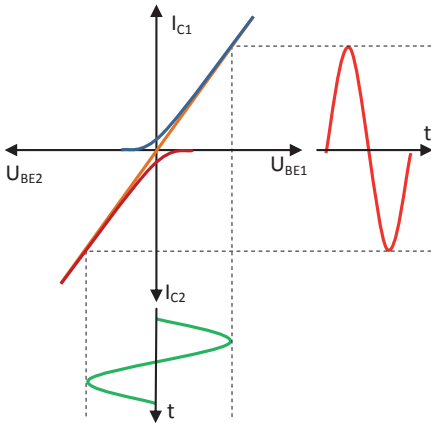
Rys. 2



Rys. 3

Rys. 4

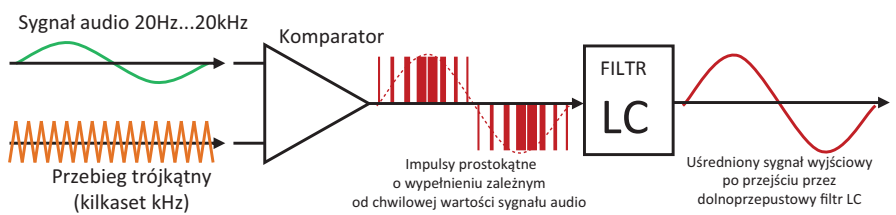




Rys. 5

zastosowaniach audio. Jest to kompromis pomiędzy klasą A i B. Można powiedzieć, że dla małych sygnałów wejściowych wzmacniacz pracuje w klasie A, natomiast dla dużych, gdy zniekształcenia są znacznie mniejsze od sygnału użytecznego, w klasie B. Wypadkowa charakterystyka tranzystorów w stopniu wyjściowym jest w przybliżeniu liniowa – **rysunek 5**. Jakość dźwięku a także sprawność wzmacniacza można zmieniać, regulując wielkość prądu spoczynkowego. Niestety, maksymalna sprawność klasy AB jest znacząco niższa niż 78%. Zwykle wynosi około 50%, tak więc wzmacniacz o mocy 1000W wymaga rozproszenia 500W mocy strat, czyli bardzo dużo, co też skutkuje dużymi rozmiarami radiatora i transformatora. Dodatkową, rzadko poruszaną, stroną problemu sprawności klasy AB są urządzenia mobilne, gdzie sprawność przekłada się na czas pracy na baterii.

**Klasa D.** Głównym problemem z omówionymi klasami wzmacniaczy jest fakt, że tranzystor w wyjściowy podczas pracy jest zamknięty lub częściowo otwarty. Kluczowym słowem jest „częściowo”, przez to częściowe otwarcie stanowi on istotny opór dla prądu kierowanego w stronę głoś-



Rys. 6

nika i wydziela się na nim bezpowrotnie tracone ciepło. Mało tego – wymaga ono odprowadzenia do otoczenia za pomocą (drogiego, dużego i ciężkiego) radiatora.

Jak więc zwiększyć sprawność wzmacniacza? Należy unikać częściowego otwierania tranzystora, jednym słowem musi być on albo zamknięty, albo w pełni otwarty. I tak właśnie działa wzmacniacz klasy D!

W danej chwili tylko jeden z tranzystorów w parze wyjściowej pracuje. Tranzystory te są z dużą częstotliwością na przemian całkowicie zatykane albo w pełni otwierane. Tylko jak w takiej sytuacji wygenerować coś innego niż przebieg prostokątny?

Wbrew pozorom względnie prosto, wystarczy płynnie zmieniać wypełnienie impulsów, by było zależne od napięcia na wejściu, a następnie odfiltrować częstotliwość, z którą generowany jest przebieg prostokątny, oczywiście musi być ona znacznie większa od górnej częstotliwości granicznej dźwięku słyszanego przez człowieka (20kHz) – **rysunek 6**.

Wzmacniacz w klasie D ma teoretyczną sprawność wynoszącą 100%. Praktycz-

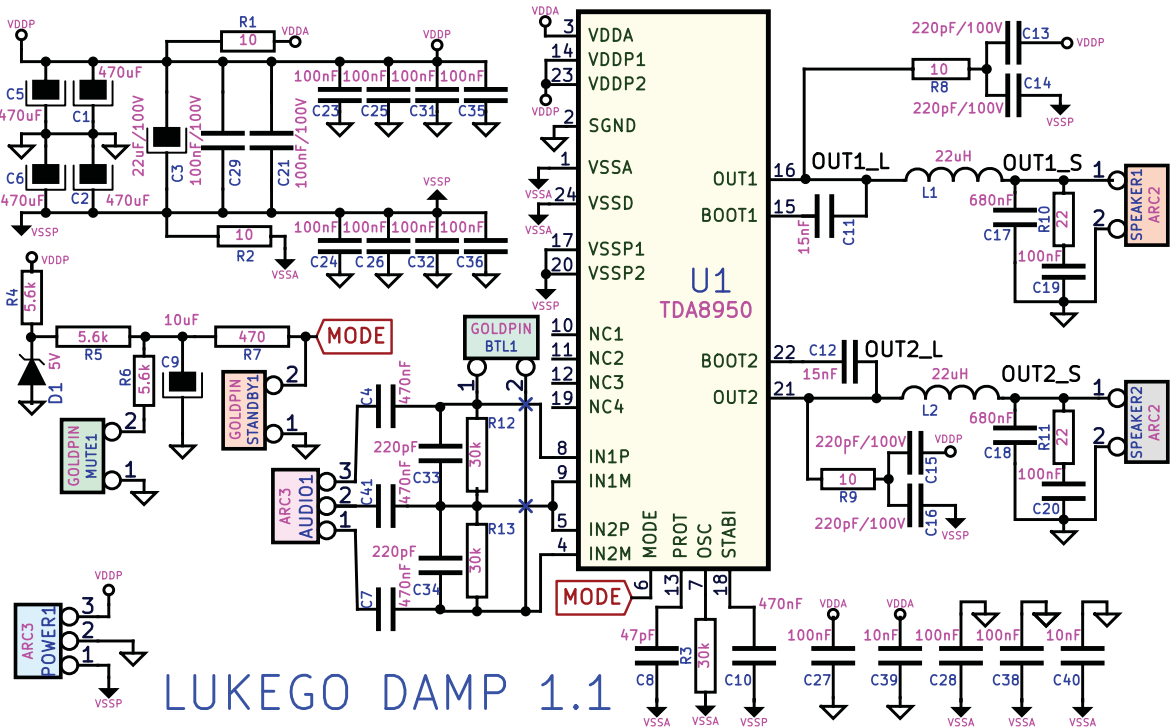
ny ograniczeniem są straty przełączania tranzystorów. Tranzystory MOSFET, stosowane w stopniach wyjściowych klasy D, są zasadniczo same z siebie wystarczająco szybkie, a problemem są obwody sterowania. Ponadto przy zwiększaniu szybkości przełączania rośnie poziom zakłóceń impulsowych. Aby poprawić sytuację, zamiast stosować stałą częstotliwość impulsów prostokątnych, można ją dynamicznie zmieniać, jak zaproponowała to swego czasu firma Tripath. Pomysł był na tyle ciekawy, że wzmacniacze te doczekały się własnej klasy, jak się pewnie domyślasz – klasy T.

## Opis układu

**LukegoDamp** o schemacie pokazanym na **ryśunku 7** jest oparty na TDA8950 – scalonym wzmacniaczu klasy D z wbudowanym stopniem wyjściowym dużej mocy. Układ ten należy do rodziny wzmacniaczy TDA89XX produkowanej przez NXP. Co ciekawe, nie jest to najmocniejsza jednostka z tej rodziny (**tabela 1**), za to łatwo dostępna detalicznie.

TDA8950 jest układem bardzo zaawansowanym, z różnymi zabezpie-

Rys. 7 Schemat ideowy



LUKEGO DAMP 1.1

SYMBOL	MOC STEREO	MOC BTL
TDA8932	2x15W@4Ω/2x15@8Ω	17W@4Ω/32W@8Ω
TDA8922	2x75W@6Ω/2x60@8Ω	155W@8Ω
TDA8920	2x125W@4Ω	220W@8Ω
TDA8950	2x170W@4Ω	300W@8Ω
TDA8953	2x210W@4Ω	420W@8Ω
TDA8954		

Tab. 1

czyniami, funkcjami stand-by oraz mute. Jedyne, czego mu brakuje, to prosta diagnostyka, np. wyjście clip, żeby wiedzieć, kiedy jest przesterowany.

**Zabezpieczenia.** Jednym z ciekawszych zabezpieczeń jest Thermal FoldBack (TFB). Otóż jeśli temperatura przekroczy wyznaczony poziom (ok. 153°C), to wzmacnienie układu stopniowo maleje, by wreszcie zostać zmniejszone o 6dB, co oczywiście zmniejsza moc wyjściową i w konsekwencji moc wydzielaną w układzie. Oczywiście taki spadek wzmacnienia może nie wystarczyć, żeby uratować nadmiernie grzejący się wzmacniacz i wtedy wkracza do akcji OverTemperature Protection (OTP), które wyłącza wzmacniacz na przynajmniej 100ms. Dokładny przebieg zmian wzmacnienia w funkcji temperatury jest pokazany na rysunku 8.

TDA8950 jest oczywiście wyposażony w mechanizm zapobiegania zwarciom, czyli OverCurrent Protection (OCP), który jest aktywowany, gdy którykolwiek tranzystor wyjściowy przekroczy limit prądu (9,2A). Skutek zadziałania tego zabezpieczenia jest różny zależnie od impedancji zwarcia i może polegać na ograniczeniu prądu lub wyłączeniu wzmacniacza. Układ wyposażony jest także w zabezpieczenia przed zbyt niskim (UnderVoltage Protection), zbyt wysokim (OverVoltage Protection) oraz zbyt asymetrycznym napięciem (UnBalance Protection).

**Wejście.** Wejścia samego TDA8950 są różnicowe, co sprawia, że wzmacniacz może zostać z łatwością podłączony do wysokiej klasy sprzętu, gdzie zwykle stosuje się właśnie takie wejścia/wyjścia. Ja z powodów czysto praktycznych zdecydowałem się na zmianę układu wejścia na dostosowany do najpopularniejszych odtwarzaczy, MP3 itd. (trzyzaciskowe wyjście stereo ze wspólną masą) z trzema wejściami, w tym jednym przewodem wspólnym. Kluczowe jest, by wejścia wzmacniacza były podłączone w przeciwfazie, tzn. przy sygnale stereo, jeśli na jednym kanale jest +1V, na drugim powinno być -1V, dzięki temu jeden głośnik będzie pobierał energię z kondensatora zasilanego z napięcia dodatniego względem masy a drugi z ujemnego, co zmini-

malizuje piki mocy i spadki napięcia na kondensatorach, a także wykluczy możliwość zadziałania zabezpieczenia UBP. Na szczęście wejścia są w pełni różni-

cowe, więc aby uzyskać przeciwfazę, wystarczy połączyć na stałe IN1M z IN2P i wtedy pomimo takiej samej fazy sygnału wejściowego prądy w kanałach prawym i lewym płyną w przeciwfazie. Dodatkowo połączenie wejść IN1P z IN2M powoduje powstanie układu mostkowego (BTL).

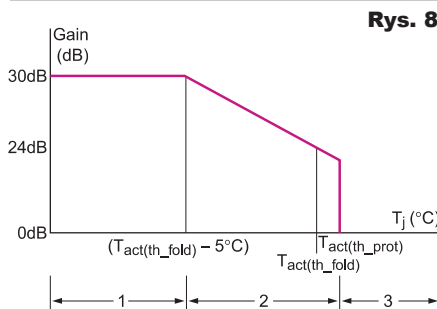
**Tryby pracy.** Za pomocą napięcia na pinie MODE możemy zmieniać tryb pracy wzmacniacza, a także zapewnić start bez nie milego stuknięcia w głośnikach. Poniżej 2,2V wzmacniacz jest w trybie STAND-BY i pobiera tylko ok. 500μA prądu, od 3V do 4,2V jest wyciszony, ale działa, a powyżej 4,2V jest w pełni włączony, jak pokazuje rysunek 9.

Na wejście AUDIO zostaje doprowadzony sygnał np. z odtwarzacza MP3.

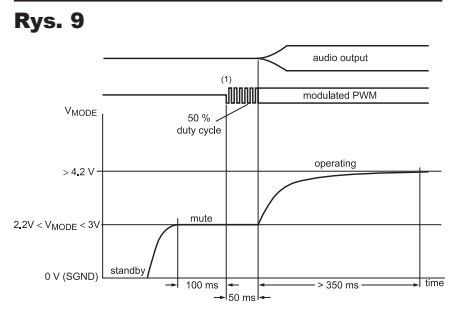
Zostaje on przepuszczony przez filtr górnoprzepustowy złożony z C4, C7 oraz R12, R13 o częstotliwości granicznej 11Hz, aby wyeliminować składową stałą. Przy używaniu wzmacniacza doysterowania subwoofera można pokusić się o zwiększenie C4 oraz C7 do 1μF tak, by zmniejszyć granicę filtra do 5Hz. Kondensatory C33 oraz C34 tworzą filtr dolnoprzepustowy, który ma za zadanie zwiększyć stabilność wzmacniacza, odfiltrując ponadakustyczne składowe, ale nie są one niezbędne. Jeśli wzmacniacz ma grać w trybie mono, należy zewrzeć zwozę BTL.

Sygnal z wejścia jest wzmacniany o 30dB przy SE (Single-Ended, czyli stereo) oraz 36dB w trybie BTL (Bridge-Tied Load, czyli mono), co przeliczając na wzmacnienie napięciowe, daje odpowiednio 32V/V (32 razy) oraz 63V/V (63 razy).

Wzmocniony sygnał trafia na filtr dolnoprzepustowy, który odfiltruje przebieg prostokątny, tworząc z impulsów o różnym wypełnieniu i wysokiej częstotliwości (ok. 350kHz) muzykę o częstotliwościach akustycznych za pomocą ich uśredniania. Filtr ten tworzą elementy L1,



Rys. 8



Rys. 9





L2, C17, C18, R10, R11 oraz C19 i C20. Najważniejsze są jednak L1, L2 oraz C17, C18 przy wartościach 22μH oraz 680nF filtr ma częstotliwość graniczną 41kHz, czyli dwukrotnie więcej niż wynosi maksymalna częstotliwość słyszana przez typowego młodego człowieka.

Elementy R8, R9, C13, C14, C15, C16 również biorą udział w filtrowaniu sygnału wyjściowego, jednak podobnie jak przy sygnale wejściowym, kondensatory C33 i C34 bardziej dbają o stabilność układu, filtrując zakłócenia o bardzo wysokiej częstotliwości, niż mają wpływ na sygnał audio.

Wewnętrzna częstotliwość taktowania wzmacniacza można regulować za pomocą rezystora R3, przy domyślnej wartości 30kΩ jest to około 350kHz.

C10 stabilizuje napięcia dla wewnętrznej logiki. C8 definiuje zachowanie niektórych zabezpieczeń. Ogólnie im mniejsza wartość C8, tym zabezpieczenia są szybsze, stąd na początku zalecam wybranie domyślnej wartości 47pF z możliwego zakresu 10pF – 220pF.

D1, R4, R5, R6, R7, C9 tworzą układ soft-start, zapobiegający stukom w głośnikach przy włączeniu zasilania wzmacniacza. Gdy wzmacniacz zostanie włączony, przez R4 płynie prąd do R5, jednak w międzyczasie napięcie jest ucinane z VDD do 5V przez D1 o napięciu 5V. Prąd płynący przez R5 ładuje kondensator C9, który poprzez R7 podaje napięcia na pin MODE, co powoduje, że wzmacniacz powoli przechodzi od trybu STAND-BY poprzez MUTE aż do pełnego włączenia bez nieprzyjemnych stuków.

Do omówienia pozostało zasilanie, jako transformator polecam 2x28V/300W. Z takiego napięcia na kondensatorach wejściowych otrzymamy symetryczne napięcie ±37V, co zgodnie z notą katalogową pozwoli uzyskać moc wyjściową 300W. Spróbujmy teraz oszacować pojemność kondensatorów wejściowych. Z jednej szyny zasilania jesteśmy w stanie pobrać maksymalnie 9,2A (z powodu OCP). Założmy, że kondensator ma zapewnić energię na czas półokresu sieci,

przy maksymalnym spadku napięcia o 5V, co daje nam  $C = 9,2A * 10ms / 5V = 18mF$ . Pomimo że założyliśmy duży akceptowalny spadek napięcia, kondensatory muszą być bardzo duże, jednak jeśli wzmacniacz ma zawsze grać z pełną mocą, jest to konieczność. A teraz najważniejsze elementy zasilania – kondensatory C23–28, C31, C32, C35, C36, C38–C40 mają tylko kilkaset nanofaradów, ale szansa, że bez nich wzmacniacz będzie działał, jest mała. Wewnątrz układu scalonego w stopniu wyjściowym tranzystory przełączają prąd rzędu 9A z ogromną częstotliwością i właśnie te małe kondensatory mu go wtedy zapewniają, dlatego muszą być bardzo blisko nóżek i musi ich być sporo. Oprócz tego pełnią one funkcję odsprężającą zasilanie i filtrującą piki wysokoczęstotliwościowe. Jeszcze raz powtórzę, te kondensatory muszą być, jeśli wzmacniacz ma działać prawidłowo.

**Teoria a praktyka.** Wzmacniacz klasy D jest niepokornym urządzeniem, szczególnie w kwestii projektowania płytki i doboru elementów. Wszystko musi być starannie wyliczone.

Łatwo zauważyć, że źródłem problemów może być wysoki prąd wyjściowy, maksymalnie 9,2A. Jaką szerokość ścieżki trzeba zapewnić, by moc na niej tracona nie spowodowała przepalenia? Z pomocą przychodzi kalkulator wbudowany w narzędzie KiCAD – Kalkulator PCB, zakładka *Szerokość ścieżki*. Zakładamy prąd 9,2A, tolerowany przyrost temperatury 10°C, wynik – 250mils (6,35mm), całkiem sporo. Oczywiście 9,2A to wartość szczytowa, niemniej ścieżka musi mieć dużo więcej niż standardowe 10 mils.

Kolejnym elementem sprawującym kłopoty są cewki w filtrze wyjściowym, na pierwszy rzut oka, prosta sprawa 22μH, wystarczy iść do sklepu i kupić. A co z prądem? Oczywiście cewka musi być na min. 9,2A. Wracamy do domu, lutujemy wzmacniacz, podłączamy... gra, nie wzbudza się, ale cewki są gorące...

Co jest nie tak? Otóż wzięliśmy pierwsze lepsze cewki i jeśli mamy pecha, to straty spowodowane zbyt dużą mag-

netyczną pętlą histerezy przy wysokiej częstotliwości oraz prądzie będą ogromne.

Z uwagi na dość wysoką częstotliwość 350kHz należy starannie dobrać materiał cewki. Polecam 3F3, do budowy prototypu został zastosowany rdzeń Ferroxcube TN32/19/13 w wersji 3F3, ma on współczynnik AL = 2270nH. Zgodnie ze wzorem  $L = n^2 * AL$  należy nawinać

$$n = \sqrt{\frac{L}{AL}} = \sqrt{\frac{22\mu H}{2270nH}} = 3 \text{ zwoje}$$

Nawinięcie 3 zwojów na toroidzie może się wydawać trudne, ale jest wykonalne, ja z braku drutu nawojowego użyłem zwykłego drutu 1mm z izolacją. Akurat w tym przypadku margines błędu jest duży więc można sobie pozwolić na niedokładność.

W torze audio należy stosować kondensatory foliowe, a nie ceramiczne. W obwodach zasilania potrzebne są dwa typy kondensatorów: duże elektrolityczne, gromadzące energię w jednym z półokresów oraz mniejsze ceramiczne, które świetnie sobie radzą z wysokimi częstotliwościami i idealnie nadają się do dostarczania energii cyfrowym układom scalonym w momencie przełączania.

W nocie katalogowej opisany jest ciekawy problem: czy dwa wzmacniacze w klasie D (np. osobno kanał lewy, osobno prawy) można zasilac z jednego transformatora? Tak, ale trzeba uważać. Każdy wzmacniacz taktowany jest z częstotliwością około 350kHz: następuje przełączenie tranzystorów wyjściowych i nagłe zmiany prądów i napięć. Zmiany te są częściowo filtrowane, niemniej jednak występują wahania napięcia zasilania z częstotliwością około 350kHz. Oczywiście są niesłyszalne. Gdy jednak do jednego źródła zasilania dołączymy dwa wzmacniacze, gdzie w jednym częstotliwość taktowania będzie powiedzmy 350,5kHz, a w drugim 349,5kHz, wtedy na wyjściu zasilacza nastąpi zdużnienie i powstanie zakłócenie o częstotliwością równej ich różnicy, czyli 1kHz, co objawi się słyszalnym piskiem. Rozwiązaniem tego problemu jest taktowanie obu wzmacniaczy jednym (zewnętrznym)

Pierwsza wersja wzmacniacza



sygnałem zegarowym. Przy podłączaniu takiego sygnału należy uważać, gdyż zewnętrzny sygnał jest dzielony przez 2, czyli żeby wewnątrz mieć częstotliwość roboczą 350kHz, należy dostarczyć 700kHz.

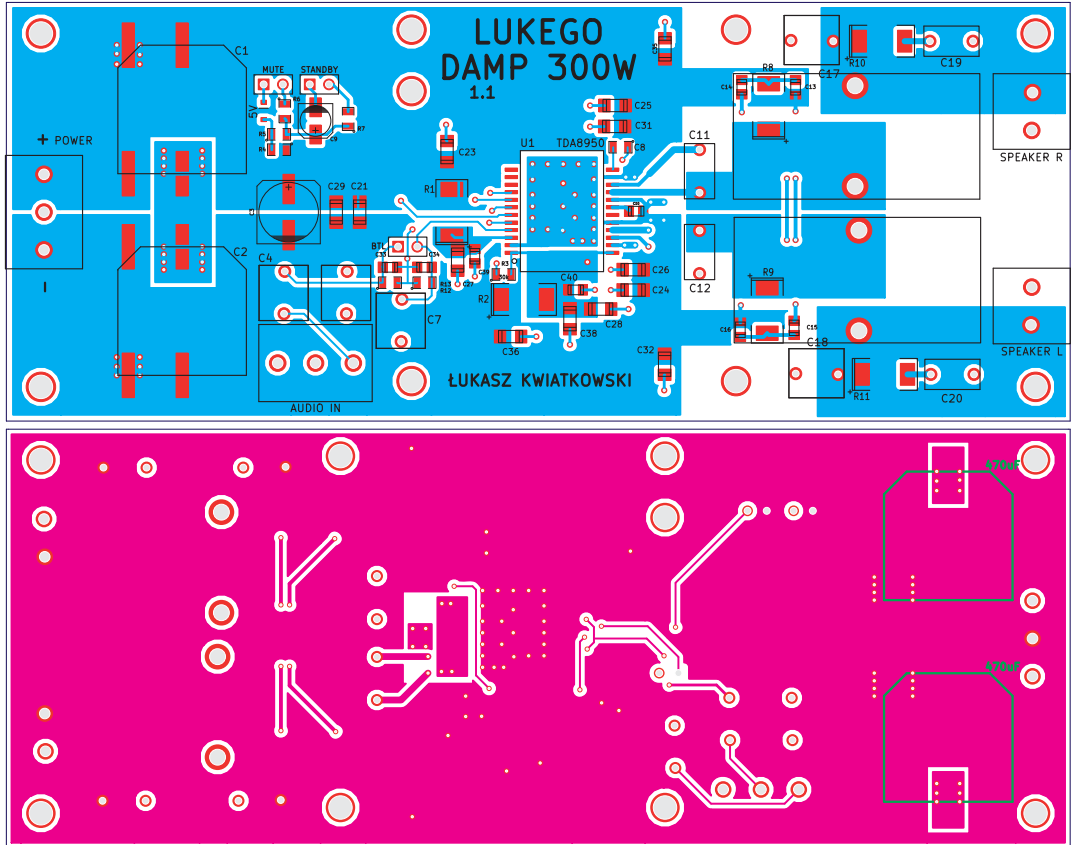
**Płytki.** Zaprojektowanie PCB dla wzmacniacza klasy D o wysokiej mocy jest sporym wyzwaniem. Duże częstotliwości i wysokie prądy powodują powstawanie zakłóceń oraz zwiększają prawdopodobieństwo niestabilnej pracy wzmacniacza, w tym wzbudzenia się. Stąd ważne jest, by wszystkie ścieżki były jak najkrótsze oraz w żaden sposób nie tworzyły pętli. Kolejną zasadą jest, żeby zarówno pod układem scalonym, jak i pod elementami wejściowymi toru audio nie płynęły duże zmienne prądy. Tu należy zwrócić uwagę, że chodzi zarówno o prądy, które płyną ścieżkami (tych łatwo unikać), jak i prądy powracające przez płaszczyznę masy. Niestety, płytka musi być przynajmniej dwuwarstwowa

ze względu na konieczność stworzenia płaszczyzny masy. Trzymanie się zasady jak najkrótszych ścieżek i stworzenie płaszczyzn zasilania pozwala na zaprojektowanie względnie dobrej PCB dla wzmacniacza klasy D. Niestety tych kilka rad zdecydowanie nie wyczerpuje tematu, który jest bardzo obszerny i wymaga sporej wiedzy teoretycznej.

Jak łatwo zauważyć, prezentowana płytka jest w wersji 1.1, była również sporo mniejsza wersja 1.0, którą jednak pomimo działającego prototypu postanowiłem dopracować i tak powstała, niestety większa, wersja 1.1. Oba projekty płytek udostępniam do celów niekomercyjnych (w Elportalu wśród materiałów dodatkowych do tego numeru).

### Montaż i uruchomienie

Wzmacniacz można zmontować na płytce, pokazanej na **rysunku 10**. Lutowanie zaczynamy od U1, następnie lutujemy elementy SMD, od tych położo-



Rys. 10 Schemat montażowy



nych najbliższej U1, do tych najdalszych. Elementy przewlekane lutujemy jako ostatnie. Zależnie od wielkości radiatora, elementy przewlekane można lutować po tej samej stronie co U1 albo po przeciwnej, gdy potrzebny jest większy radiator. Proces lutowania, wbrew pozorom, nie jest trudny, oceniam go na dwie gwiazdki w trzystopniowej skali. Problemem są elementy SMD. Jednak ogólna liczba

komponentów nie jest duża i wszystkie mają standardowe rozmiary.

Przed rozpoczęciem lutowania należy zaopatrzyć się w lutownicę 10–50W. Transformatorowa 100W raczej nie wchodzi w grę. Kolejne niezbędne przybory to pęseta, topnik, miedzianka i cienka cyna (np. 0,25mm). Topnik najlepiej jest kupić w żelu, dobrze trzyma się płytki i można go wykorzystać do pozycjonowania układu

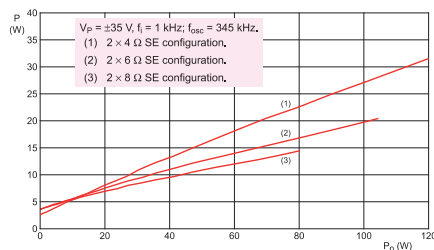
przed wlutowaniem. Miedzianki (plecionki – licy) należy użyć, gdy zewrą się dwa sąsiednie piny/pola. Powlekamy je wtedy cienką warstwą topnika, a następnie przykładamy miedziankę, a do niej lutownicę i czekamy, aż cyna zostanie wchłonięta przez włóknisty pasek miedzi.

Dobór radiatora zależy od sposobu wykorzystania wzmacniacza, czy będzie on pracował kilka godzin nonstop, grając dubstep z maksymalną mocą, czy też będzie służył jako typowy wzmacniacz domowy. W pierwszym przypadku założymy maksymalną moc 300W oraz że dźwięk został poddany kompresji dynamiki tak, że stosunek mocy maksymalnej do średniej w dłuższym odcinku czasu, czyli współczynnik szczytu (ang. crest factor), wynosi 5. W drugim natomiast moc 100W i współczynnik szczytu 10. W pierwszym przypadku średnia moc wynosi  $300W/5 = 60W$ , co według rysunku 11 daje 12W straty.

Teraz policzmy wymagany radiator, interesuje nas konkretnie wymagana rezystancja termiczna radiatora. Maksymalna temperatura złącza wynosi ok.  $153^{\circ}C$ , dla bezpieczeństwa ustalmy, że nie chcemy, aby jego temperatura przekroczyła  $140^{\circ}C$ , a maksymalną temperaturę otoczenia przyjmijmy na poziomie  $40^{\circ}C$ . Daje to maksymalną rezystancję termiczną złącze–otoczenie –  $R_{th(j-a)}$  równą  $(140^{\circ}C - 40^{\circ}C) / 12W = 8,3K/W$ . Jednak poszukiwaną wartością jest rezystancja termiczna radiator–otoczenie –  $R_{th(h-a)}$ . Te dwie wartości łączy prosty wzór, zwykła suma:

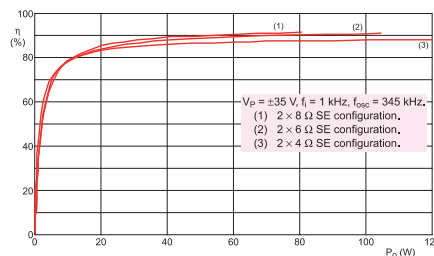
$$R_{th(j-a)} = R_{th(j-c)} + R_{th(c-h)} + R_{th(h-a)} = 8,3K/W$$

$R_{th(j-c)}$  to rezystancja termiczna złącze–obudowa i dla TDA8950 wynosi  $1,1K/W$ , natomiast  $R_{th(c-h)}$  to rezystancja termiczna obudowa–radiator, której wartość zależnie od mocowania, użycia pasty termoprzewodzącej lub podkładki izolacyjnej może wynosić od  $0,5K/W$  do  $1K/W$ . Po odjęciu dwóch znanych wartości rezystancji, szukana wartość  $R_{th(h-a)}$  wynosi  $6,2K/W$ . Jest to wartość charakterystyczna dla stosunkowo małych radiatorów dla chipsetów płyt głównych, które idealnie pasują do zaprezentowanej płytki.



Rys. 11

Rys. 12



W drugim założonym przypadku wykorzystywania wzmacniacza obliczenia będą przebiegały podobnie. Moc średnia to  $100W/10$ , czyli  $10W$ , czyli moc strat wynosi  $5W$ .  $R_{th(j-a)} = (140^{\circ}C - 40^{\circ}C) / 5W = 20K/W$ , co daje  $R_{th(h-a)} = 17,9K/W$ , przy okazji zauważmy, że  $R_{th(h-a)}$  bez radiatora wynosi  $40K/W$ , tak więc osiągnięcie  $17,9K/W$  będzie wymagało bardzo małego radiatora lub wręcz blaszki aluminiowej o powierzchni kilkudziesięciu  $cm^2$ . Przy okazji zauważmy różnicę w sprawności: w pierwszym przypadku było to ok.  $80\%$ , natomiast w drugim ok.  $65\%$ . Jak widać na rysunku 12, sprawność rośnie wraz ze wzrostem mocy. Wniosek jest prosty – nie oplaca się słuchać cicho muzyki.

**Dalszy rozwój.** W następnych artykułach zaprezentuję przedwzmacniacz, który pozwoli dostosować sygnał z dowolnego urządzenia w tym z MP3/telefonu/komputera do prezentowanego wzmacniacza, następnie spróbujemy stworzyć prawdziwy multimedialny wzmacniacz o dużej mocy w wersji 2.1 lub nawet 5.1.

**Lukasz Kwiatkowski**  
 lukego@lukego.pl

### Wykaz elementów

U1	TDA8950
AUDIO1, POWER1	ARC3
SPEAKER1, SPEAKER2	ARC2
BTL1, MUTE1, STANDBY1	GOLDPIN
C1,C2	.470uF
C3	22uF/100V
C4,C7,C10,C41	.470nF
C5,C6	.470uF
C8	.47pF
C9	.10uF
C11,C12	.15nF
C13-C16	220pF/100V
C17,C18	.680nF

C19-C32, C35-C38	100nF. Na schemacie oznaczone są te, który muszą być na napięcie min. 100V
C33,C34	.220pF
C39,C40	.10nF
D1	ZENERA 5V
L1,L2	22uH. Szczegółowy opis w tekście
R1,R2,R8,R9	10Ω
R3,R12,R13	30kΩ
R4-R6	5,6kΩ
R7	470Ω
R10,R11	22Ω

**Płytką drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-3080.**