



Stabilizacja prądu anodowego lamp mocy

Podstawowe zasady funkcjonowania układów lampowych zostały sformułowane w dziewięćdziesięciu kilku procentach do końca lat 30. ubiegłego wieku. Nawet współcześnie budowane układy lampowe niewiele różnią się od swoich protoplastów. W większości przypadków zmiany wprowadzane w obwodach polegają na zamianie elementów lampowych (np. diod w zasilaczu) na ich odpowiedniki półprzewodnikowe. Jednocześnie niektórzy konstruktorzy niejako „prześlizgują się” nad istotnymi bolączkami układów lampowych. Jednym z nich jest niestabilność prądu anodowego lamp mocy. W artykule podano propozycję rozwiązania tego problemu.

Walka z tym zjawiskiem jest prowadzona różnymi metodami: od kompensacji przyczyn zmian prądu anodowego (EP 12/2010, str. 118) do jego stabilizacji prądu za pomocą różnych elementów półprzewodnikowych, takich jak 3-końcówkowe stabilizatory regulowane typu LM317, LM337 i inne. Często są również stosowane elementy, w których do stabilizacji natężenia prądu anodowego wykorzystuje się ich nieliniowe charakterystyki

oraz specjalizowane układy scalone, jak np. regulator prądu typu IXCP10M45. Wewnątrz struktury zawiera on tranzystor MOSFET pracujący jako element wykonawczy-regulator w obwodzie parametrycznego źródła prądowego. Firma IXYS produkuje takie elementy przeznaczone dla prądu o natężeniu od 2 do 100 mA.

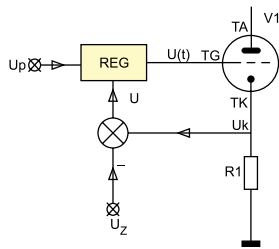
Nie jestem ortodoksyjnym „lampowcem” i dopuszczam używanie półprzewod-

ników w blokach zasilania czy urządzeniach sterowania, kontroli i diagnostyki. Jednak w wypadku użycia wyżej wymienionych elementów, cały anodowy prąd lampy mocy (równoważny prądowi katodowemu) przepływa przez element półprzewodnikowy, co czyni dany układ nie tyle wzmacniaczem lampowym, co swego rodzaju hybrydą. Jest to osobna grupa wzmacniaczy i raczej nie może być ona uważana za czyste, klasyczne rozwiązanie lampowe.

Propozycja układu stabilizacji prądu katodowego

Podczas konstrukcji wzmacniacza lampowego wysokiej jakości napotkałem opisane wyżej problemy. Doprowadziło to do konieczności opracowania własnego układu stabilizującego prąd anodowy lamp mocy, którym chciałbym się podzielić. Jego schemat blokowy zaprezentowałem na **rysunku 1**.

Rolę czujnika prądu pełni rezystor katodowy R1. Spadek napięcia U_k na R1 jest



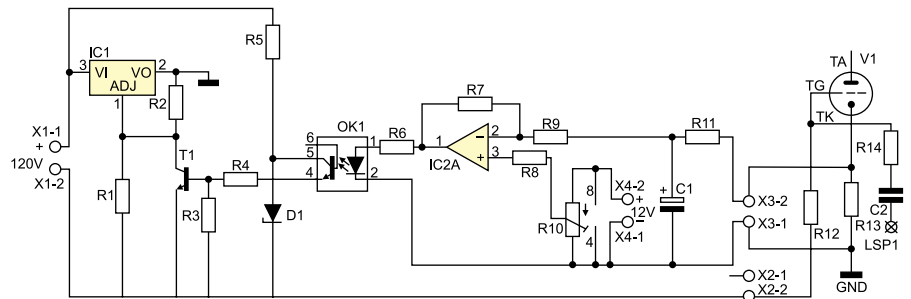
Rysunek 1. Schemat blokowy układu stabilizującego natężenie prądu anodowego lampy mocy

Wykaz elementów użytych w układzie:

- R1: 10 kΩ/0,5 W
- R4, R6: 10 kΩ/0,25 W
- R2: 100 Ω/0,25 W
- R3: 3 kΩ/0,25 W
- R5: 20 kΩ/0,5 W
- R7: 40 kΩ/0,25 W
- R8: 2 kΩ/0,25 W
- R9, R11: 1 kΩ/0,25 W
- R10: 10 Ω potencjometr
- R12: 200 kΩ/1 W
- R13: 1 Ω/1 W
- R14: 1 kΩ/1 W
- C1: 100 μF/16 V
- C2: 0,5 μF/400 V
- IC1: TL083
- IC2: LM358
- OK1: CNY17
- T1: BD243
- D1: BZD23C10 (diody Zenera 10 V)
- V1: 6S33S

wprost proporcjonalny do natężenia prądu katodowego ($U_k = I_k \times R1$). Jest on porównywany z napięciem zadaniem U_z . Napięcie błędne $\Delta U = U_k - U_z$ oddziałuje na element regulujący REG, który zmienia napięcie sterujące $U(t)$ na siatce lampy, tak aby prąd katody (a tym samym anody) pozostawał niezmienny.

Napięcie $U(t)$ jest generowane przez źródło napięcia polaryzującego U_p , które jest podawane na drugie wejście regulatora. Zmieniając wielkość napięcia U_z możemy praktycznie dowolnie zmieniać wartość prądu anodowego lampy. Przepływa on tylko przez rezystor katodowy i nie płynie



Rysunek 2. Schemat ideowy układu stabilizującego natężenie prądu anodowego lampy mocy

Tabela 1. Wyniki pomiarów natężenia prądu I_a i napięcia siatki U_s w funkcji czasu

t [s]	I_a [mA]	U_s [V]	t [s]	I_a [mA]	U_s [V]
0	0	-12,6	90	299	-56,1
20	4	-12,6	100	299	-56,0
25	90	-12,6	110	299	-57,1
30	254	-23	120	299	-57,5
35	273	-41	130	299	-57,9
40	282	-49	140	299	-58,0
45	287	-51,8	150	299	-58,8
50	289	-53,2	180	299	-60,1
55	291	-53,9	210	299	-60,9
60	293	-54,3	240	299	-61,2
70	295	-55,1	1200	299	-61,2
80	296	-55,6	2400	297	-64,2

przez jakikolwiek element półprzewodnikowy, więc tak zbudowany wzmacniacz może być nadal traktowany jako klasyczny układ lampowy.

Na **rysunku 2** zamieszczono schemat ideowy układu stabilizacji natężenia prądu anodowego lampy mocy. Lampą wyjściową jest trioda dużej mocy 6S33S pracująca w układzie wzmacniacza w klasie A. Punkt pracy lampy ustalono na $I_a = 300$ mA i $U_a = 180$ V. Należy zaznaczyć, że układ nie ma ograniczenia maksymalnej wartości natężenia prądu anodowego, jak to jest w przypadku wykorzystania np. IXCP100M45, w którym maksymalny prąd stabilizacji nie przekracza 100 mA. Jest to możliwe dzięki temu, że układ sterowania wypracowuje napięcie sterujące $U(t)$,

a samo sterowanie lampy odbywa się przy przepływie prądu siatki o pomijalnym natężeniu. Do bezpośredniej regulacji natężenia prądu anodowego służy sama lampa i to jej parametry decydują o jego maksymalnej wartości.

Opis działania układu

Głównymi elementami układu są: pełniący rolę czujnika prądu rezystor katodowy R13, komparator ze wzmacniaczem IC2, 3-końcówkowy regulator napięcia IC1, transoptor OK1.

Rezystor katodowy R13 ma rezystancję wynoszącą 1 Ω. Prąd katodowy płynący przez rezystor o natężeniu wynikającym z wybranego punktu pracy, wynosi 300 mA. Wywoła on spadek napięcia

R E K L A M A

Moduł prototypowy z STM32F103C8T6
AVT1609

www.sklep.avt.pl

BORNICO
 od pomysłu do gotowego wyrobu

- montaż obwodów drukowanych SMT i THT
- pełna logistyczna obsługa zamówień
- doradztwo techniczne
- projektowanie urządzeń i systemów
- oprogramowanie systemów wbudowanych
- wdrażanie wyrobów do produkcji
- testy EMC i badania środowiskowe

Zakład Elektroniczny BORNICO
 ul. Małczyńska 25, 26-604 Radom, tel.: +48 48 365 58 22, fax: +48 48 365 58 21
 e-mail: bornico@bornico.com.pl, www.bornico.com.pl



300 mV i spowoduje straty mocy równe 0,09 W. Zastosowałem rezystor o dopuszczalnej mocy strat 1 W, co jest wartością o wiele wyższą o wymaganej. Jak można zauważyć przepływ prądu katodowego wywołuje niewielką stratę mocy i dzięki temu nie ma problemu z odprowadzaniem ciepła czy gabarytami samego rezystora. Również wielkość ujemnego sprzężenia zwrotnego, które zawsze jest wywoływane obecnością niezobocznikowanego przez kondensator rezystora katodowego, jest znikoma. Aby do układu nie przenikał sygnał zmienny, zastosowano filtr dolno-przepustowy zbudowany z rezystora R14 i kondensatora C1.

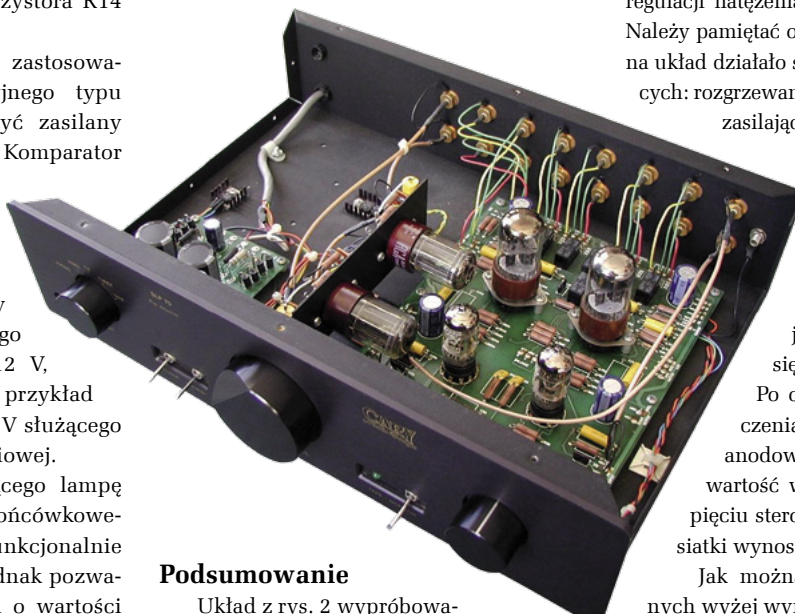
Komparator wykonano z zastosowaniem wzmacniacza operacyjnego typu LM358 (IC2), który może być zasilany z napięcia niesymetrycznego. Komparator porównuje wejściowe spadki napięcia na R13 z napięciem zadanym otrzymanym z suwaka potencjometru R10. Wzmacniacz operacyjny jest zasilany ze stabilizowanego źródła napięcia zasilania +12 V, które można otrzymać na przykład z napięcia przemiennego 12,6 V służącego zasilania żarnika lampy wyjściowej.

Regulator napięcia sterującego lampę jest zbudowany z użyciem 3-końcówkowego stabilizatora TL783 (IC1). Funkcjonalnie jest on podobny do LM317, jednak pozwala na stabilizowanie napięcia o wartości do 120 V. Napięcie wyjściowe jest ustalane za pomocą dzielnika R1 i równoległego połączenia R2 i T1 z tym, że rezystory R1 i R2 określają maksymalne wyjściowe napięcie przy nieprzewodzącym tranzystorze T1. Wyjście stabilizatora (nóżka 2) jest dołączone do masy, dzięki czemu na jego nóżce 1 otrzymuje się ujemne napięcie re-

gulowane, które następnie jest podawane na siatkę lampy.

Transoptor OK1 (CNY17) nie jest przeznaczony do odizolowania niskonapięciowych obwodów układu komparatora od regulatora napięcia, ale dopasowania wartości napięcia bazy tranzystora T1 (które może wynosić około 100 V) do napięcia wyjścia operacyjnego wzmacniacza (rzędu kilku V).

Należy zaznaczyć, że wejściowe napięcie polaryzacji (120 V) nie jest stabilizowane tylko dobrze filtrowane, dlatego do stabilizacji napięcia zasilania OK1 służą elementy R5 i D1 (diody Zenera 10 V).



Podsumowanie

Układ z rys. 2 wypróbowano w praktyce, a wyniki pomiarów zamieszczono w tabeli 1. Voltomierzami zmierzono napięcie na katodzie lampy (czyli pośrednio prąd anodowy) i na jej siatce (napięcie sterujące). Badano zmiany prądu anodowego w funkcji czasu.

W momencie podania napięcia zasilania układu (w chwili $t=0$ s) prąd anodowy

$I_a=0$ mA, a napięcie sterujące na siatce lampy jest maksymalne (algebraicznie) i a priori wiadomo, że lampa będzie otwarta. Około minuty trwa proces dość gwałtownego narastania prądu anodowego (do 293 mA) i jednocześnie zmniejszania się napięcia na siatce (do -54,3 V). Dalej lampa rozgrzewa się, więc prąd anodowy ma tendencję do wzrostu natężenia, lecz dzięki układowi stabilizacji napięcie sterowania na siatce utrzymuje jego ustaloną wartość. Po 4 minutach natężenie prądu osiągnęło wartość 299 mA, a napięcie na siatce $U(t)=-61,2$ V. Podobne wartości były utrzymywane po około 40 minutach pracy układu. Błąd regulacji natężenia prądu wynosił około 1%. Należy pamiętać o tym, że w ciągu tego czasu na układ działało szereg czynników zakłócających: rozgrzewanie się lampy, zmiana napięć zasilających, zmiana temperatury elementów itd.

Następnie zamieniłem lampę na inny egzemplarz wybrany losowo z przysłowiowej szuflady. Nie wiem czy jego parametry dużo różniły się od sprawdzanej wcześniej.

Po około 40 minutach od włączenia napięcia zasilania prąd anodowy ustabilizował się. Jego wartość wynosiła 298 mA przy napięciu sterowania doprowadzonym do siatki wynoszącym -66,5 V.

Jak można wywnioskować z podanych wyżej wyników pomiarów oraz z zastosowania innej lampy, układ stabilizacji prądu anodowego pracuje prawidłowo, jednak jest on tylko wycinkiem schematu kompletnego wzmacniacza, który aktualnie buduję i musi być jeszcze przetestowany w rzeczywistych warunkach pracy.

Jerzy Granderjan
jurekl4@gazeta.pl