

Henryk KOLKA  
Dariusz CYGANIŁEWICZ  
Jan DEBUDAJ

#### STABILIZATOR IMPULSOWY O DUŻYM ZAKRESIE ZMIAN NAPIĘCIA WYJŚCIOWEGO

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono problemy występujące przy projektowaniu stabilizatorów impulsowych o dużym zakresie zmian napięcia wejściowego i wyjściowego, a także wysokiej wartości napięcia wyjściowego. Zaproponowano rozwiązanie tych problemów na przykładzie budowy stabilizatora impulsowego redukującego napięcie wprost z sieci.

Zasada impulsowej regulacji znajduje coraz szersze zastosowanie we współczesnych rozwiązaniach stabilizatorów napięcia i prądu stałego. Pozwala ona na realizację układów, których wymiary, sprawność energetyczna i ciężar są znacznie mniejsze od tych, które oparte były o zasadę ciągłej regulacji napięcia.

Jedną z właściwości tych układów jest możliwość uzyskania dużego zakresu dopuszczalnych zmian napięcia wyjściowego. Możliwy jest tu także szeroki zakres zmian napięcia wejściowego oraz duży poziom składowej zmiennej na filtrze wejściowym. Jednak projektowanie tych układów, których napięcie wejściowe jest rzędu kilkudziesięciu wolt, nie jest proste, a także wymaga zastosowania nowych rozwiązań układowych, gwarantujących poprawność pracy całego stabilizatora. Tym zagadnieniom poświęcone będą przedstawione w pracy rozważania, szerzej omówione w pracy [6].

Prawidłowy dobór elementów stabilizatora i jego punktu pracy musi zapewnić poprawność jego działania tak w stanie ustalonym, jak i w stanach przejściowych, co jest rozpatrzone w pracach [2], [3], [6].

Z powyższych warunków wynika między innymi konieczność zapewnienia w układzie:

- a) impulsowego ograniczenia maksymalnej wartości prądu klucza,
- b) poprawnej pracy klucza tranzystorowego (przy dużym zakresie zmian  $U_{we}$  i  $U_{wy}$ ).

Rozwiązanie pierwszego problemu jest bardzo istotne z tego względu, że tak przy załączeniu układu do sieci, jak i przy jego dociągnięciu występują stany przejściowe, w trakcie których może być znacznie przekroczona dopuszczalna wartość prądu klucza tranzystorowego. Należy się tu również liczyć z możliwością wystąpienia na kluczu tranzystorowym impulsu mocy rzędu od kilkuset W do kilku kW.

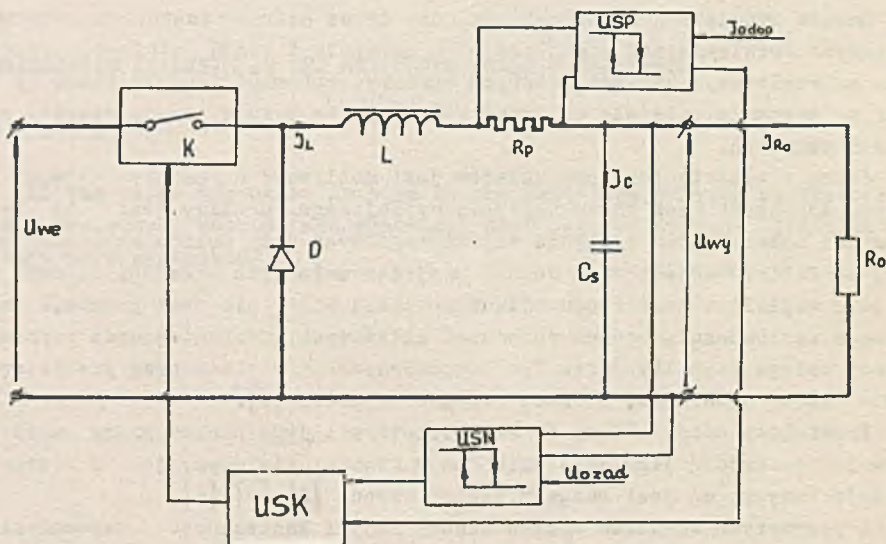
Także w stanie ustalonym układy takie nie mogą pracować, w warunkach, gdy jest  $R_o < \frac{U_{zad}}{I_o dop}$ . Rozwiązanie tych zagadnień jest możliwe w przypadku zastosowania dwóch sprzężeń zwrotnych o charakterystyce przekaźnikowej:

a) napięciowego - działa ono tak jak w klasycznym stabilizatorze impulsowym z regulatorem dwupołożeniowym. Stan klucza zależy tu od tego, jaka jest wartość napięcia wyjściowego podanego na wejście regulatora. Stabilizator pracuje z tym sprzężeniem zwrotnym, o ile jest  $I_o < I_o dop$

b) prądowego - działa ono wówczas, gdy prąd klucza tranzystorowego osiąga swoją dopuszczalną wartość. W tym przypadku układ rozpoczyna pracę z impulsowym ograniczeniem prądu.

Należy zaznaczyć, że projektowany układ winien być tak zrealizowany, by w całym zakresie pracy zachował stałą wartość stosunku składowej zmiennej napięcia wyjściowego, do jego wartości średniej.

Koncepcja takiego rozwiązania jest pokazana na rys. 1.



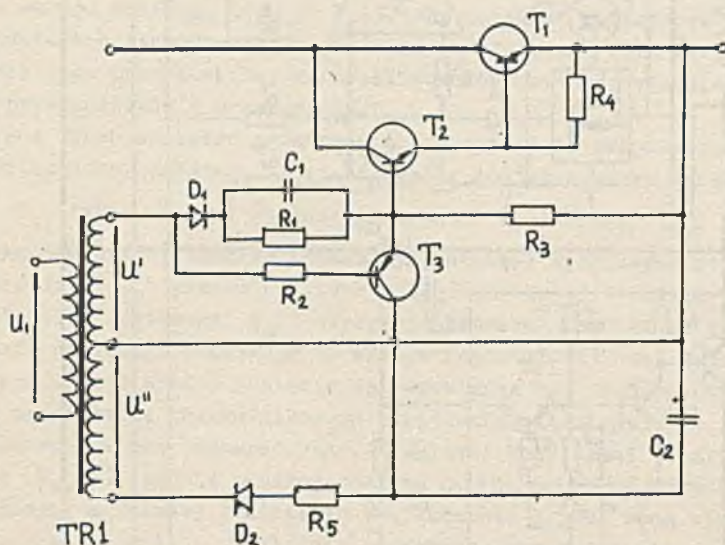
Rys. 1. Struktura stabilizatora impulsowego

USP - człon przekaźnikowy sprzężenia prądowego, USN - człon przekaźnikowy sprzężenia napięciowego, K - klucz tranzystorowy, USK - układ sterowania klucza

Drugi zaznaczony we wstępie problem, tzn. zapewnienie poprawności pracy klucza tranzystorowego jest równie złożony. Trudności z jakimi można się tu spotkać to:

- zapewnienie poprawnej pracy klucza tranzystorowego tak w stanie nasycenia, jak i odcięcia, w szerokim zakresie napięć wejściowych i wyjściowych ( $U_{we} \in \langle 180-250 \rangle V$ ,  $U_{wy} \in \langle 50-150 \rangle V$ );
- zapewnienie jak najmniejszych strat mocy na przełączanie, co osiąga się przy odpowiednio stromych i zmieniających się równocześnie zboczach napięcia i prądu kolektorowego klucza tranzystorowego.

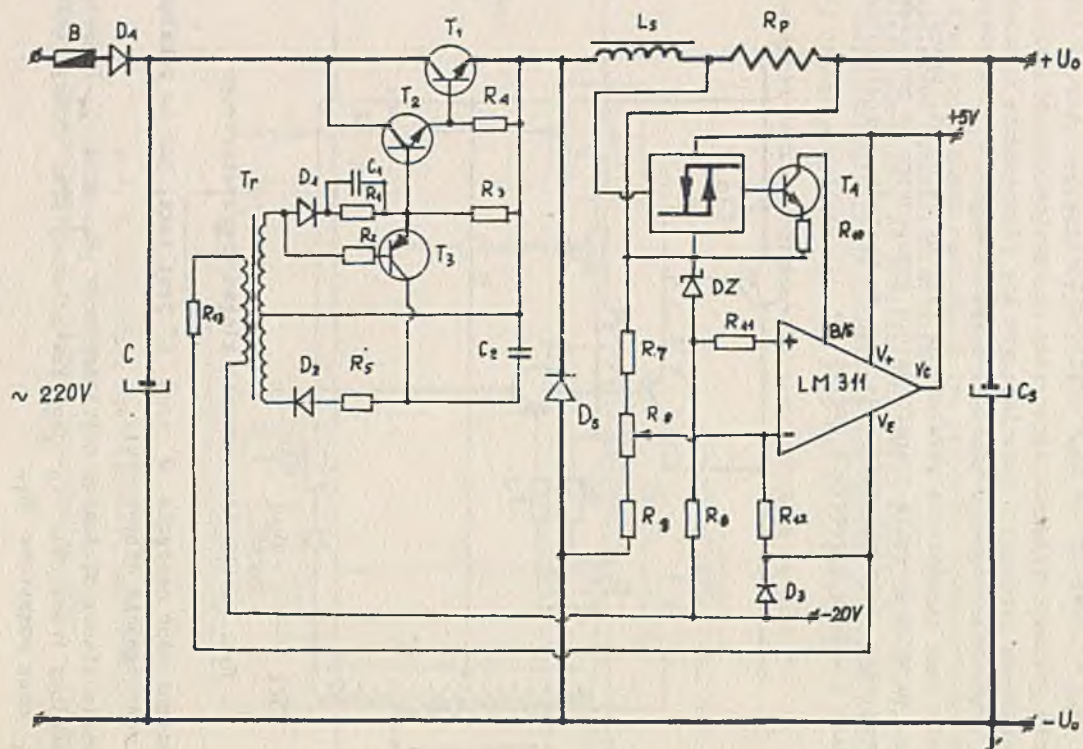
Rozwiązanie tego zagadnienia pokazano na rys. 2, na podst. pracy [7]. Zaproponowano tu wykorzystanie transformatora impulsowego do przenoszenia impulsu sterującego. Napięcie wejściowe  $U_1$  ma kształt prostokątny i otrzymywane jest z układu sprzężenia zwrotnego.



Rys. 2. Układ sterowania klucza tranzystorowego

Jeżeli biegunowość napięcia  $U'$  oraz  $U''$  jest taka, jak to pokazano na rys. 2, to równocześnie odbywa się:

- wysterowanie klucza złożonego z tranzystorów  $T_1$  oraz  $T_2$ . Prądowy impuls sterujący tranzystor  $T_2$  jest kształtowany przy pomocy kondensatora  $C_1$  oraz rezystora  $R_1$ ,
- ładowanie kondensatora  $C_2$  w obwodzie  $U''$ ,  $C_2$ ,  $R_5$ ,  $D_2$ .



Rys. 3. Stabilizator impulsowy

Uwaga: napięcia +5 V i -20 V oznaczono względem potencjału  $+U_0$ .

Jeżeli biegunowości napięć  $U'$  oraz  $U''$  zmieniają się na przeciwne to następuje nasycenie tranzystora  $T_3$  i pojawia się ujemne napięcie pomiędzy bazą a emiternem klucza. Pozwala to na zmniejszenie czasu przeciągania prądu kolektorowego i na zwiększenie stromości opadania zbrocza tego prądu, a więc wpływa na zwiększenie sprawności.

Pełny schemat omawianego zasilacza impulsowego jest pokazany na rys.3. W układzie tym napięcie wejściowe jest uzyskiwane w wyniku jednopółkwoowego prostowania napięcia zmiennego jednofazowego. Stwierdzono, iż dla poprawnej pracy układu wystarcza zastosowanie filtra pojemnościowego.

W zakresie normalnej pracy układu, (tj. gdy pracuje on jako stabilizator napięciowy), moment załączenia i wyłączenia klucza jest wypracowany przez sprzężenie zwrotne napięciowe, zrealizowane w oparciu o komparator LM311.

Prądowe sprzężenie zwrotne oparte jest w swej budowie o przerzutnik Schmitta w wersji scalonej typu SN 7413. Aby zapewnić poprawność pracy układu (zgodnie z postawionymi wymaganiami), należało znacznie zawęzić strefę histerezy tego przerzutnika, co zrealizowano przez odpowiednie połączenie dwóch przerzutników z brankami NAND.

Współpracę dwóch sprzężeń zwrotnych można opisać na przykładzie dociążenia stabilizatora. Założmy, iż stabilizator został skokowo obciążony opornością  $R_o$  taką, że jest spełniony warunek  $\frac{U_o \text{ zad}}{R_o} > I_o \text{ dop}$ . Wówczas, tak jak w każdym stabilizatorze impulsowym, nastąpi wyładowywanie kondensatora sterownika  $C_s$  prądem  $I_c(t) = -I_{R_o}(t) + I_L(t)$ . Obniżający się poziom napięcia wyjściowego  $U_{wy}$  utrzymuje poprzez USN klucz tranzystorowy w stanie nasyconym. Powoduje to wzrost prądu  $I_L(t)$  do jego dopuszczalnej wartości i spadek napięcia na rezystorze  $R_p$  osiąga wartość równą progowi zadziałania przekaźnikowego sprzężenia prądowego i w efekcie zostaje odciążony klucz tranzystorowy. W dalszej kolejności ustali się taki stan, że  $U_{wy}(t)$  będzie poniżej poziomu zadziałania napięciowego sprzężenia zwrotnego, a momenty załączenia i wyłączenia klucza będą wyznaczone przez poziomy załączenia i wyłączenia prądowego, przekaźnikowego sprzężenia zwrotnego. Ta idea została zrealizowana w układzie pokazanym na rysunku 3 w wyniku odpowiedniego połączenia ze sobą wyjść obydwu sprzężeń zwrotnych. Pewne opracowania dotyczące projektowania impulsowych stabilizatorów napięcia można znaleźć w literaturze [1], [4], [5].

#### Wnioski końcowe

1. Przeprowadzone badania stabilizatora wykazały pełną przydatność zastosowanej koncepcji. W układzie osiągnięto:
  - a) możliwość regulacji napięcia wyjściowego w zakresie od 50÷150 V (napięcia stałego),

- b) możliwość zmian napięcia wejściowego w zakresie od 180±250 V (wartość skuteczna napięcia zmiennego),
- c) zakres zmian poziomu ograniczenia prądowego od 1±5 A,
- d) współczynnik stabilizacji napięcia wyjściowego przy zmianach  $\pm 20\%$   $U_{we}$  - rzędu 0,04%,
- e) oporność wyjściową  $r_{wy} \leq 4 \cdot 10^{-4} R_o$ ,
- f) pulsację napięcia wyjściowego  $\alpha_t = \frac{\Delta U_{pp}}{U_{o\acute{s}r}} \leq 0,05\%$
- g) częstotliwość pracy 15±20 kHz,
- h) sprawność układu  $\eta \geq 90\%$ .
- Mimo, iż moc wyjściowa układu jest rzędu 700 W, układ ten posiada małe wymiary (wraz z układami zabezpieczeń i sterowania posiada objętość mniejszą od dwóch decymetrów sześciennych).
  - Wybór częstotliwości pracy umożliwił znaczne zmniejszenie efektów akustycznych - tak kłopotliwych do wytkumienia w stabilizatorach impulsowych.
  - Przyjęcie (w trakcie projektowania układu) dużej wartości prądu krytycznego pozwoliło na znaczne zmniejszenie wymiarów dławika, przy równoczesnym polepszeniu zachowania się układu w stanach dynamicznych obciążenia i dociążenia.
  - Gdyby istniała potrzeba zmniejszenia wartości składowej zmiennej napięcia wyjściowego, to można to uzyskać rozbudowując zaproponowany w artykule układ o dodatkowy człon ciągły, który będzie pracował jako filtr czynny (przy małym spadku napięcia na tym układzie).
  - Opracowane impulsowe ograniczenie prądu może być stosowane w większości impulsowych stabilizatorów napięcia i spełniać tam rolę startu oraz zabezpieczenia przed przeciążeniem lub zwarcie.

Przedstawiony w artykule układ może znaleźć szerokie zastosowanie w zasilaczach laboratoryjnych. Może on także służyć do zasilania szeregu urządzeń elektronicznych, których warunki pracy są zbliżone do tych, jakie były rozpatrywane przy projektowaniu i budowie omówionego stabilizatora.

## LITERATURA

- [1] Hnatek E.R.: Design of solid-state power supplies, Van Nostrand Reinhold Company 1971.
- [2] Kolka H.: Projektowanie impulsowych stabilizatorów napięcia, (rozprawa habilitacyjna - w przygotowaniu).
- [3] Pałczyński B., Stefański W.: Półprzewodnikowe stabilizatory napięcia i prądu stałego, MON Warszawa 1971.
- [4] Manuel d'applications C.I.L. Tome 2, Regulateurs de Tension - Cat. Sescosem 1972.
- [5] Linear integrated circuits - cat. Sescosem 1972.
- [6] Cygankiewicz D., Debudaj J.: Praca dyplomowa w Instytucie Elektroniki, 1975 r.
- [7] Hewlett-Packard Journal april 1973, High Efficiency Modular Power Supplies Using Switching Regulators.

ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ С БОЛЬШОМ ДИАПАЗОНОМ  
ИЗМЕН ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

## Р е з ю м е

В статье излагаются проблемы возникающие при проектировании импульсных источников питания с большим диапазоном изменений входного и выходного напряжения. Предлагается решение этих проблем на примере изготовления импульсного источника питания редуцирующего напряжение непосредственно из сети.

SWITCHING VOLTAGE REGULATOR WITH LARGE OUTPUT  
VOLTAGE CHANGING RANGE

## S u m m a r y

The paper presents project problems related to the switching voltage regulators with large range of output voltage changes.