

Zasilacze (1)

Dostarczanie energii elektrycznej w odpowiedniej formie jest niezbędnym warunkiem działania wszelkich urządzeń elektronicznych. To zadanie mają do spełnienia zasilacze. Układy klasyczne z ciężkimi transformatorami sieciowymi są coraz częściej zastępowane sprawniejszymi układami impulsowymi. Czy wyeliminują je całkowicie?

W

sprzęcie elektronicznym najczęściej znajdują się zasilacze sieciowe, przetwarzające napięcie zmienne 220 V na jedno lub kilka napięć stałych. Spotyka się dwa rozwiązania. Pierwsze, tradycyjne, sprowadza się do zamiany napięcia zmiennego 220 V na zmienne napięcie, zwykle o niższej wartości, za pomocą transformatora sieciowego, a następnie wyprostowania go i stabilizacji już napięcia stałego o pożądanej wartości. Drugie rozwiązanie polega na wyprostowaniu napięcia sieciowego, a następnie przetworzeniu go na napięcie zmienne o dużej częstotliwości (20+100 kHz), po czym transformowaniu do żądanej wartości. Istniejąca zwykle pętla sprzężenia zwrotnego zapewnia stabilizację napięcia. Z uwagi na dużą częstotliwość przetwarzania zarówno transformatory (zwykle z rdzeniami ferrytowymi), jak i kondensatory filtrujące mogą być małe i lekkie. Są to tzw. zasilacze impulsowe.

Schematy ogólne obu typów zasilaczy przedstawiono na rys. 1. Każdy z nich ma swoje zalety i wady. Podstawową zaletą układów konwencjonalnych z transformatorem sieciowym są niewielkie zakłócenia o stosunkowo małej częstotliwości, które w wielu zastosowaniach mogą być skutecznie odfiltrowane. Wadą zaś są duże gabaryty i duży ciężar transformatora sieciowego. Tej samej mocy zasilacz impulsowy jest mały i lekki, ma dużą sprawność, lecz generuje zakłócenia, a i układ elektroniczny ma bardziej złożony.

Tam, gdzie zakłócenia nie są przeszkodą, natomiast potrzebna jest duża moc, stosowane są zasilacze impulsowe, natomiast czuła aparatu-

ra pomiarowa i elektroakustyczna jest wyposażana zwykle w zasilacze konwencjonalne.

Zasilacze z transformatorem sieciowym

Jednym z najważniejszych elementów takiego zasilacza jest transformator przetwarzający zmienne napięcie sieciowe na napięcia o wymaganej wartości i obciążalności prądowej.

Transformatory

W zależności od konstrukcji rdzenia transformatory dzieli się na płaszczone z rdzeniami typu EI lub M, rdzeniowe – zbudowane z kształtek typu UI, zwijane – wykonane z nawiniętej taśmy metalowej, przeciętej następnie tak, aby utworzyć dwie kształtki typu U oraz toroidalne – wykonane ze zwiniętej taśmy metalowej o dobrych właściwościach, ale trudne do wykonania. Podstawowe typy rdzeni przedstawiono na rys. 2.

Źródłem zakłóceń transformatora jest przede wszystkim jego indukcyjność rozproszenia. Najmniejszą indukcyjnością rozproszenia charakteryzują się transformatory toroidalne, najmniej korzystne są natomiast transformatory nawinięte na rdzeniach płaszczykowych, wykonanych z kształtek EI. Ostatnio pojawiły się transformatory z rdzeniami o przekroju kołowym tzw. R – core, o jeszcze mniejszym rozproszeniu niż transformatory toroidalne. Rdzenie zwijane są uniwersalne. Z jednego typu rdzenia, w zależności od wymaganej mocy, można budować zarówno transformatory płaszczykowe, jak i rdzeniowe.

Liczbe zwojów przypadającą na 1 V napięcia indukowanego można wyznaczyć z wyrażenia:

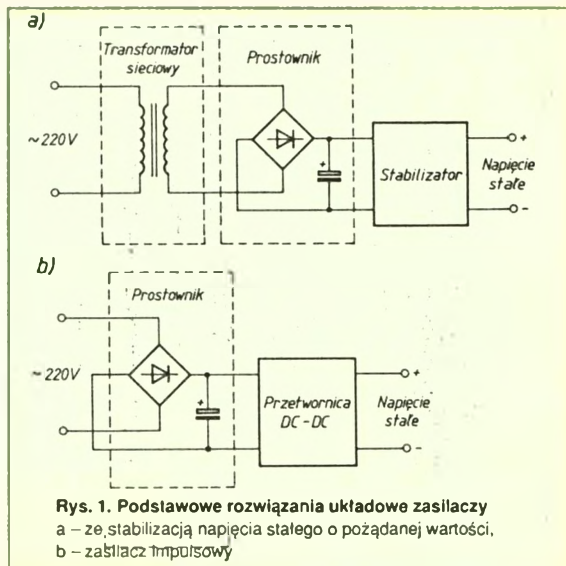
$$n = \frac{450\ 000}{B \cdot S} [zw / V]$$

przy czym:

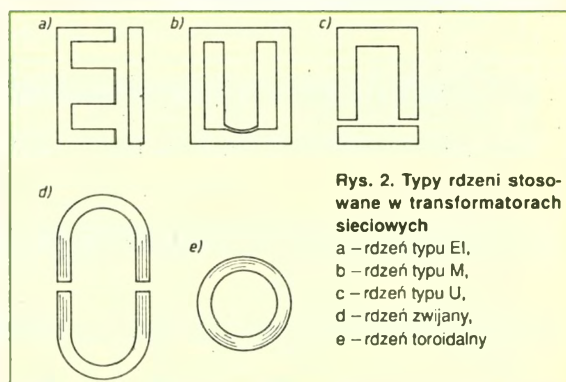
B – wartość indukcji w rdzeniu [Gs]

S – przekrój rdzenia [cm²].

W zależności od typu rdzenia wartość indukcji w rdzeniu zawiera się w granicach od 10 000 Gs do 18 000 Gs przy

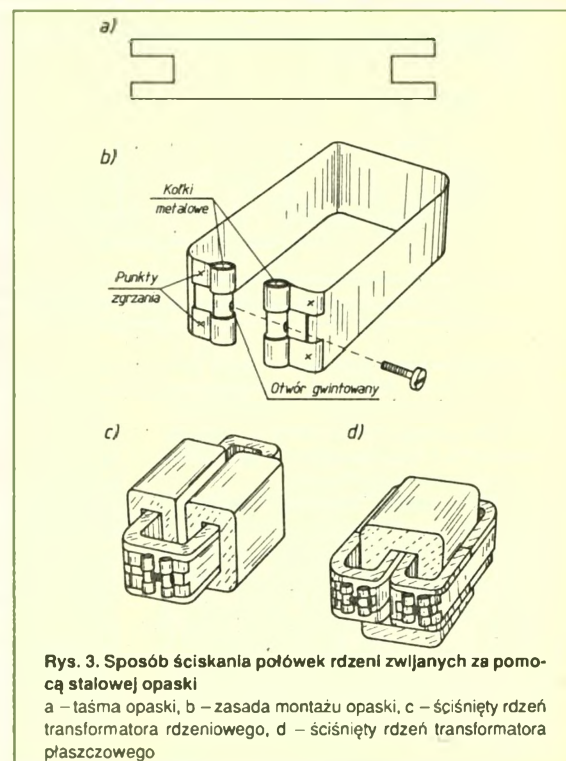


Rys. 1. Podstawowe rozwiązania układowe zasilaczy a – ze stabilizacją napięcia stałego o pożądanej wartości, b – zasilacz impulsowy



Rys. 2. Typy rdzeni stosowane w transformatorach sieciowych

a – rdzeń typu EI, b – rdzeń typu M, c – rdzeń typu U, d – rdzeń zwijany, e – rdzeń toroidalny

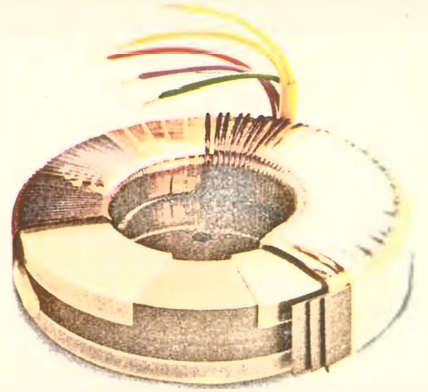


Rys. 3. Sposób ściskania połówek rdzeni zwijanych za pomocą stalowej opaski

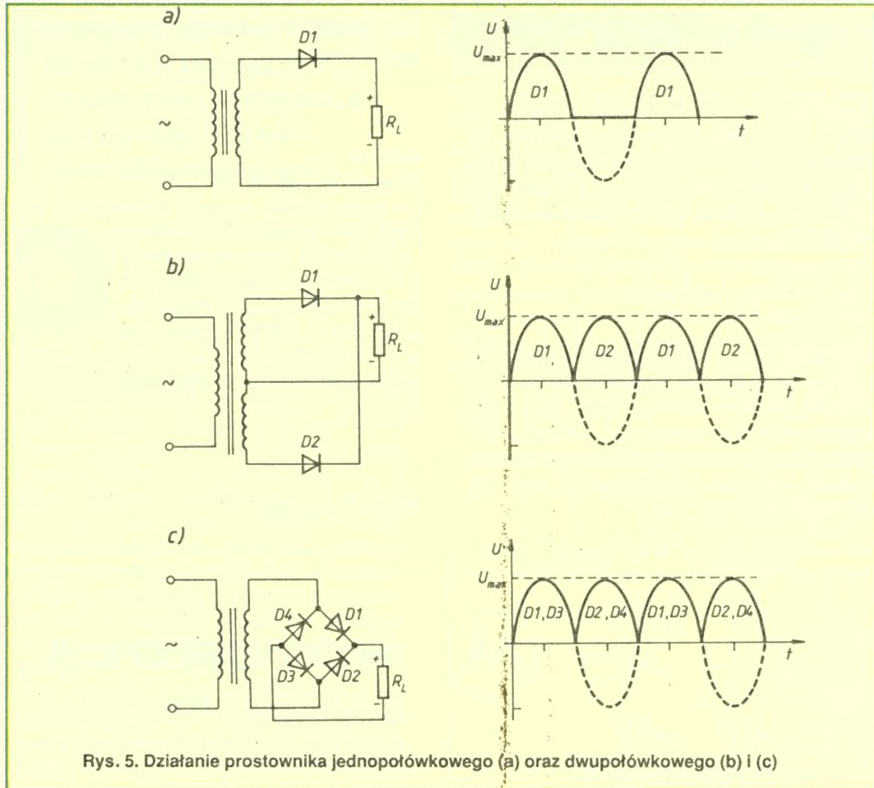
a – taśma opaski, b – zasada montażu opaski, c – ściśnięty rdzeń transformatora rdzeniowego, d – ściśnięty rdzeń transformatora płaszczykowego

Porównanie podstawowych parametrów zasilaczy

Parametr	Zasilacz impulsowy	Zasilacz konwencjonalny
Sprawność [%]	60+90	30+50
Masa przy mocy 100 W [kg]	2,5	5
Objętość przy mocy 100 W [l]	1,6	10
Względny poziom zakłóceń	10	1



Rys. 4.
Transformator toroidalny



w zasilaczu jest prostownik. W przypadku sieci jednofazowej prostowanie napięcia zmiennego może być jednopółkowe lub dwupółkowe. Z uwagi na poziom tętnień najczęściej jest stosowane prostowanie dwupółkowe. W prostowniku jednopółkowym (rys. 5a) dioda D1 przewodzi, gdy polaryzacja napięcia na uzwojeniu wtórnym transformatora względem diody jest dodatnia. Powoduje to przewodzenie diody i przeniesienie napięcia z uzwojenia wtórnego do obciążenia. Gdy polaryzacja napięcia zmienia się na przeciwną, dioda ulega zablokowaniu i przez ten czas prąd przez obciążenie nie będzie płynąć. Całe napięcie odłoży się wtedy na spolaryzowanej zaporowo diodzie D1. Wartość średnią napięcia na wyjściu prostownika jednopółkowego można wyznaczyć z zależności:

$$U_{sr} = \frac{U_{max}}{\pi}$$

Zastosowanie prostowników jednopółkowych z uwagi na tętnienia jest małe i ogranicza się w zasadzie do układów wysokiego napięcia o małym poborze prądu. Powszechnie stosowany jest układ prostownika dwupółkowego, którego zasada działania jest przedstawiona na rys. 5b i 5c. Przy za-

$f = 50 \text{ Hz}$. Przy wyznaczaniu przekroju rdzenia, z uwagi na istniejące szczeliny powietrzne lub lakierowanie blach należy przyjąć pewien współczynnik wypełnienia żelazem zgodnie z zależnością:

$$S = 0,9 \cdot a \cdot b$$

w której:

- a – grubość rdzenia [cm]
- b – szerokość rdzenia [cm]

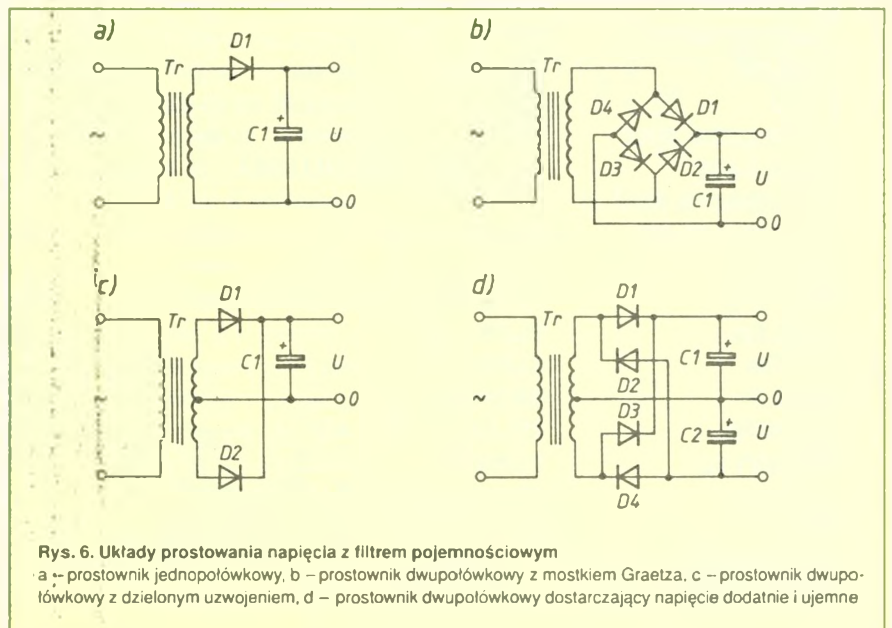
0,9 – współczynnik wypełnienia żelazem.

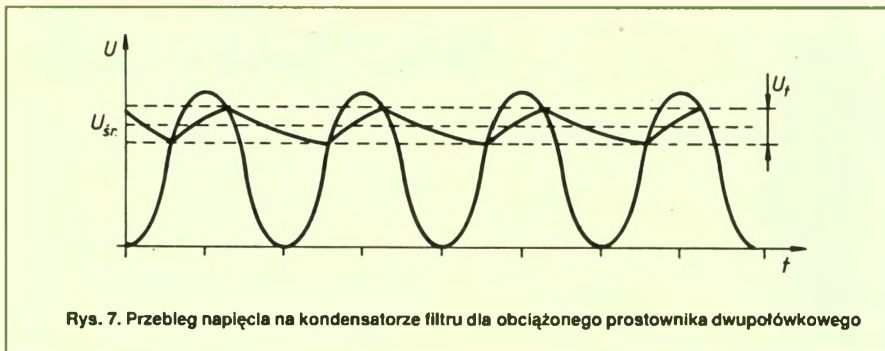
W rdzeniach związanych ważne jest jego właściwe złożenie. Obie półowki rdzenia powinny być oznaczone tym samym numerem. Do ich ściskania można zastosować opaskę metalową ściągającą wkrętem (rys. 3).

Transformatory toroidalne (rys. 4) mimo swoich wielu zalet są trudne w uzwojaniu. Potrzebna jest do tego specjalna maszyna. Poza tym transformatory te mają gorsze odprowadzanie ciepła.

Prostowniki

Transformator rzadko kiedy jest jedynym elementem zasilacza, chyba że wykorzystywany jest do zasilania modnych ostatnio żarówek halogenowych. Zwykle stopniem następnym





Rys. 7. Przebieg napięcia na kondensatorze filtru dla obciążonego prostownika dwupołkowego

stosowaniu transformatora o podwójnym uzwojeniu wtórnym (rys. 5b) diody przewodzą naprzemiennie w zależności od chwilowej polaryzacji napięcia na uzwojeniu wtórnym transformatora. Po dołączeniu drugiej pary diod można otrzymać napięcie ujemne – układ obecnie szeroko stosowany.

W przypadku, gdy wymagane jest napięcie o jednej polaryzacji, wygodniejszy jest układ z mostkiem Greatza przedstawiony na rys. 5c, zwłaszcza że dostępne są gotowe fabryczne mostki prostownicze przystosowane do szerokiego zakresu napięć i prądów. W tym rozwiązaniu transformator może mieć prostszą konstrukcję. Diody przewodzą parami na przemian, dzięki czemu uzyskuje się efekt prostowania dwupołkowego. Wadą układu most-

kowego jest szkodliwy spadek napięcia na dwóch szeregowo połączonych diodach, co należy uwzględnić przy projektowaniu zasilaczy niskonapięciowych o dużym poborze prądu. Wartość średnia wyprostowanego napięcia wynosi:

$$U_{sr} = \frac{2U_{max}}{\pi}$$

Prostownik jako ostatnie ogniwo w zasilaczu jest stosowany głównie w spawarkach oraz do zasilania silników elektrycznych. W innych zastosowaniach zwykle za nim występuje filtr, który ma za zadanie wygładzenie tętniącego napięcia w stopniu umożliwiającym jego dalsze wykorzystanie.

Filtry

Najprostszym, a jednocześnie najczęściej stosowanym filtrem jest filtr pojemnościowy, w skład którego wchodzi kondensator lub kondensatory o dużej pojemności (rys. 6). W czasie przewodzenia diod prostownika kondensator gromadzi ładunek, który następnie jest przekazywany do obciążenia w czasie, gdy zasilacz nie dostarcza energii. Na rys. 7 przedstawiono przebieg napięcia na kondensatorze filtru na tle przebiegu wyprostowanego. Amplitudę tętnień na kondensatorze można wyznaczyć z zależności:

$$U_t = \frac{I}{2\pi f C} [V]$$

w której:

I – prąd obciążenia [A]

f – częstotliwość napięcia wyprostowanego [Hz]; dla prostownika jednapółkowego f = 50 Hz, dla dwupołkowego f = 100 Hz

C – pojemność kondensatora [F]. Bardziej rozbudowane układy filtrów zawierają ogniwa LC lub RC, obecnie jednak z uwagi na dostępność stabilizatorów scalonych stosowanie ich w układach zasilaczy jest ograniczone. ■

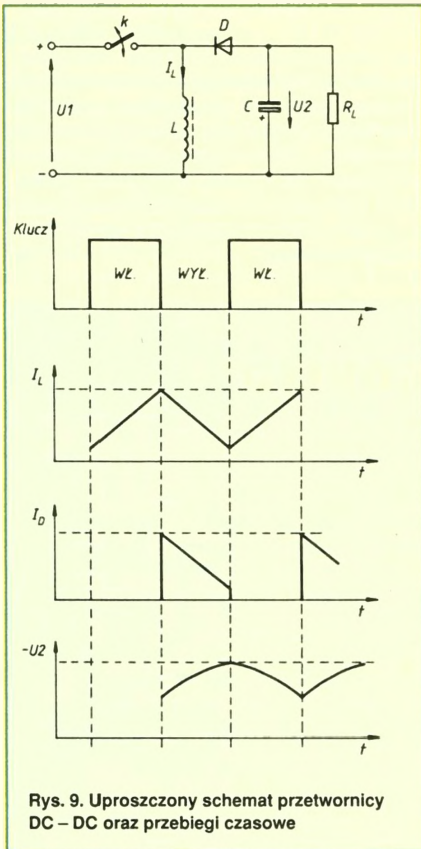
Maciej Feszczuk

Zasilacze (2)

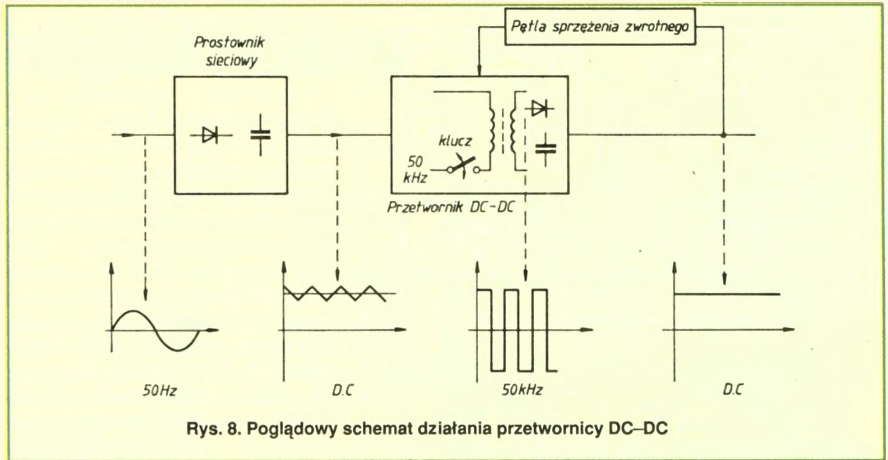
Zasilacze impulsowe

Jak wspomniano na wstępie, w zasilaczach impulsowych napięcie sieciowe podlega przetworzeniu na przebiegi prostokątne o częstotliwości od kilku do kilkudziesięciu kiloherców. Schemat blokowy przetwornicy DC-DC (napięcie stałe na napięcie stałe) przedstawiono na rys. 8.

Zasadę działania przetwornicy DC-DC ilustruje rys. 9. Gdy klucz K jest zamknięty, napięcie zasilające U_1 jest doprowadzone do indukcyjności L w wyniku czego następuje liniowo narastający przepływ prądu I . Dioda D jest spolaryzowana zaporowo i nie przewodzi prądu. Po otwarciu klucza K indukcyjność L , chcąc podtrzymać kierunek przepływu prądu, zmienia polaryzację napięcia na przeciwną, co spowoduje przewodzenie diody D i energia zgromadzona w indukcyjności przemieści się do kondensatora C w postaci ładunku elektrycznego oraz do obciążenia R_L .



Rys. 9. Uproszczony schemat przetwornicy DC-DC oraz przebiegi czasowe



Rys. 8. Poglądowy schemat działania przetwornicy DC-DC

zenia R_L . Układ zmienia polaryzację napięcia wejściowego. Wraz ze zmniejszeniem czasu zwarcia klucza w stosunku do czasu przerwy, średnie napięcie na wyjściu będzie maleć. Jak więc widać, sterowanie napięciem wyjściowym jest możliwe przez zmianę stosunku czasu zwarcia klucza do czasu rozwarcia.

Przetwornice

Przetwornice dzielone są ze względu na sposób przenoszenia energii do obciążenia. Przetwornice przenoszące energię od razu w pierwszym takcie pracy nazywają się jednotaktowe lub przepustowe, drugi rodzaj przetwornic to przetwornice dwutaktowe, zwane też zaporowymi.

Przetwornice zaporowe (flyback)

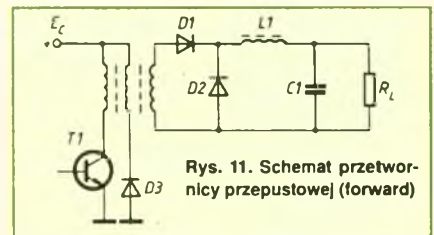
Podstawowy układ przetwornicy zaporowej przedstawiony na rys. 10. Włączenie tranzystora T , który pracuje jako klucz, powoduje przepływ prądu przez uzwojenie pierwotne transformatora Tr . Następuje magazynowanie energii w jego indukcyjności L . Po wyłączeniu tranzystora pojawia się przepięcie na kolektorze i przeniesienie energii do obwodu wtórnego przez diodę D . Aby ograniczyć wartość przepięcia stosowane jest dodatkowe uzwojenie z diodą D_2 .

Przetwornice przepustowe (forward)

Podstawowy układ przetwornicy przepustowej przedstawiono na rys. 11. Gdy tranzystor T_1 przewodzi, energia przekazywana jest jednocześnie do obciążenia R_L przez diodę D_1 i indukcyjność L_1 . Po wyłączeniu tranzystora energia zgromadzona w indukcyjności L_1 jest przekazywana do obciążenia przez diodę D_2 . Energia zgromadzona w rdzeniu jest przekazywana do zasilania przez diodę D_3 , dzięki czemu napięcie na kolektorze tranzystora T_1 nie przekracza $2E_c$.

Przetwornica przeciwsobna (push-pull)

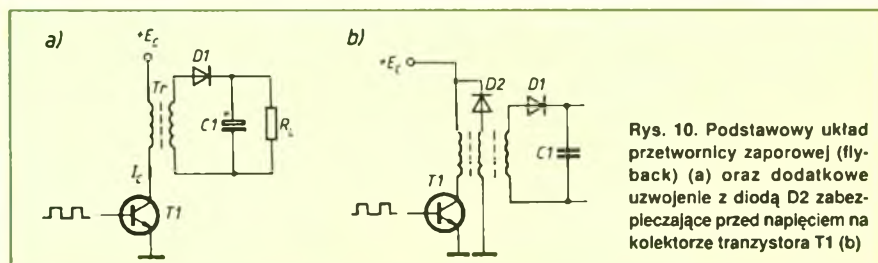
Schemat przetwornicy przeciwsobnej przedstawiono na rys. 12a. Działanie jej polega na naprze-



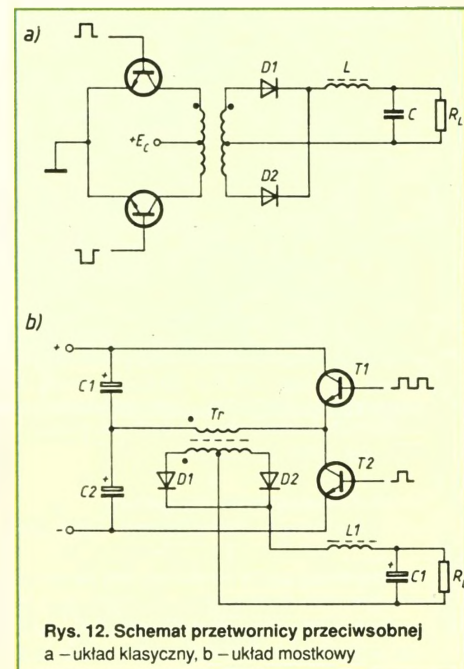
Rys. 11. Schemat przetwornicy przepustowej (forward)

miennym włączaniu tranzystorów T_1 i T_2 i przekazywaniu energii do indukcyjności L oraz obciążenia R_L przez diody D_1 i D_2 . W momentach, gdy oba tranzystory są zablokowane, do obciążenia przekazywana jest energia zgromadzona w indukcyjności L . Na rys. 12b przedstawiono przetwornicę przeciwsobną w układzie mostkowym z tranzystorami połączonymi szeregowo. Zaletą takiego rozwiązania jest to, że napięcie na kolektorach tranzystorów nie przekracza wartości E_c . W porównaniu jednak z układem klasycznym z rys. 12a uzyskuje się moc wyjściową o połowę mniejszą.

Maciej Feszczuk



Rys. 10. Podstawowy układ przetwornicy zaporowej (flyback) (a) oraz dodatkowe uzwojenie z diodą D_2 zabezpieczające przed napięciem na kolektorze tranzystora T_1 (b)



Rys. 12. Schemat przetwornicy przeciwsobnej a - układ klasyczny, b - układ mostkowy