

PKE – Praktyczny Kurs Elektroniki

Wykład 6

Szoker, czyli przetwornica wysokiego napięcia

Na **fotografii wstępnej** pokazane są dwie wersje szokująco prostego generatora wysokiego napięcia. Tym generatorem jest... przełącznik. Schemat układu przedstawionego z lewej strony fotografii wstępnej jest zamieszczony na **rysunku A**. W zaskakujący sposób wytwarza on napięcie na tyle wysokie, że zostaje zaświecony łańcuch szeregowo połączonych diod LED.

Jak wiadomo, do zaświecenia pojedynczej diody LED potrzebne jest napięcie ponad 2V. Aby zaświecić łańcuch złożony ze wszystkich dziesięciu diod LED z zestawu EdW09, potrzebne jest napięcie ponad 20V.

Mało tego – zwróć uwagę, że diody LED są włączone „w odwrotnym kierunku” – do ich zaświecenia potrzebne jest w punkcie X napięcie ujemne względem masy!

Jednak jak można się łatwo przekonać (także na filmiku dostępnym pod adresem www.elportal.pl/pke), przełącznik zasilany małą 9-woltową baterią w tajemniczy sposób wytwarza tak wysokie napięcie o „odwrotnej” biegunowości, a diody świecą zaskakująco jasno.

Układ nosi nazwę **Szoker** nie tylko z powodu szokująco prostego

schematu i tajemniczego działania. Może on wytwarzać napięcia wielokrotnie wyższe! Wystarczy odłączyć wszystkie diody LED (jak z prawej strony fotografii wstępnej), a wtedy w układzie według **rysunku B** między punktami X, Y wystąpią impulsy wysokiego napięcia.

W moim modelu, przy zasilaniu z baterijki o napięciu 9V, impulsy te miały wielkość (amplitude) ponad 300V, co dokumentuje **rysunek C**, pokazujący dwa zrzuty z ekranu oscyloskopu. Oscyloskop to rodzaj *telewizorka*, który pokazuje zmiany napięcia w czasie. Przebieg z prawej strony to mocno rozciągnięty jeden ujemny impuls, który ma czas trwania poniżej 20 milionowych części sekundy (20us). Impulsy mają

zaskakująco wysokie napięcie, ponad 300V, ale z uwagi na bardzo krótki czas trwania i małą energię są praktycznie nieodczuwalne i niegroźne, o czym można się przekonać, dotykając punktów X, Y palcami jednej ręki. Owszem wrażliwsze osoby poczują lekkie ukłucia, ale wiele osób, zwłaszcza tych mających suchą skórę, w ogóle ich nie poczuje.

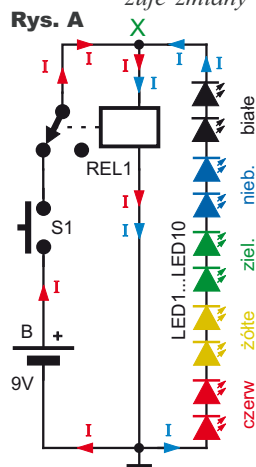
Jeśli ktoś chciałby zwiększyć siłę impulsów, powinien zasilić układ wyższym napięciem, np. 18V z dwóch połączonych szeregowo baterii.

Uwaga! Tego rodzaju eksperymentów nie powinny przeprowadzać osoby, mające wszczepiony rozrusznik serca!

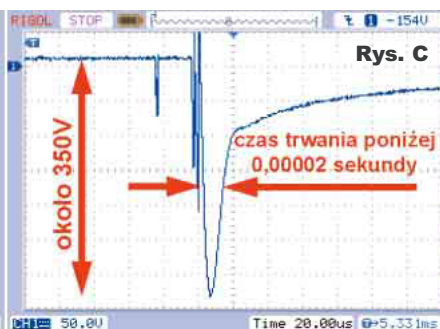
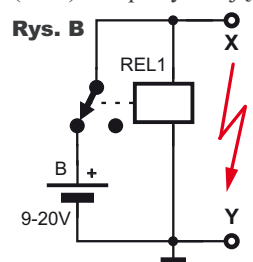
Opis układu dla „zaawansowanych”

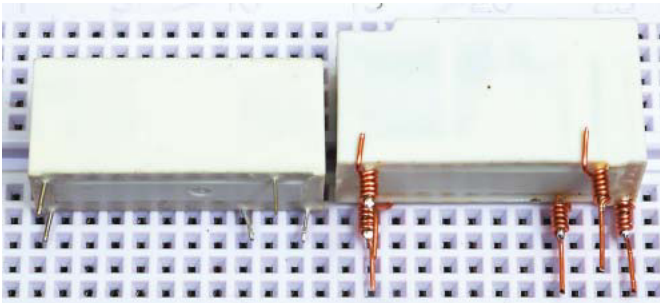
Szoker jest wyjątkowo prostym układem elektronicznym, wykorzystującym przełącznik: zarówno jego styki, jak i indukcyjność cewki. W układach z rysunków A i B styki przełącznika są tak podłączone, że w spoczynku umożliwiają przepływ prądu z baterii przez cewkę przełącznika. Przełącznik zadziała z drobnym opóźnieniem – ułamek sekundy po dołączeniu napięcia. Wtedy przełączy styki i... przerwie obwód prądu. Po przerwaniu prądu przełącznik puści – z opóźnieniem o kolejny ułamek sekundy. Styki znów zostaną zwarte i po kolejnym ułamku sekundy przełącznik znów zadziała... Cykl będzie się powtarzał i przełącznik będzie terkotał. Otrzymamy prosty generator elektromechaniczny.

Uwaga! Jeżeli przełącznik (RM96P) zawarty w zestawie EdW09 ma nóżki zbyt grube, by włożyć je w płytkę stykową, można wykonać „przejściówkę”, na przykład jak pokazuje prawa część **fotografii D**. Natomiast przełącznik NT74



bieg z prawej strony to mocno rozciągnięty jeden ujemny impuls, który ma czas trwania poniżej 20 milionowych części sekundy (20us). Impulsy mają





Fot. D

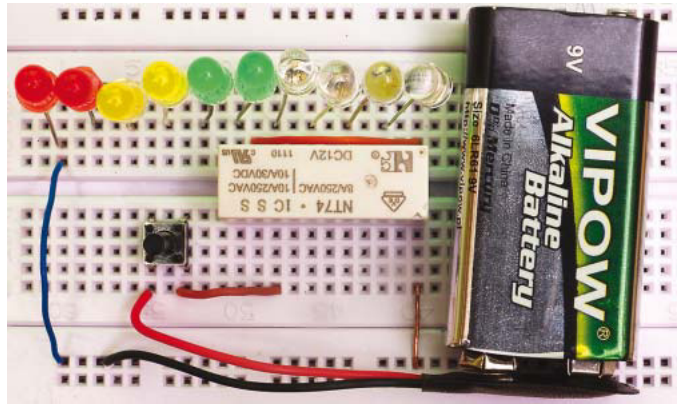
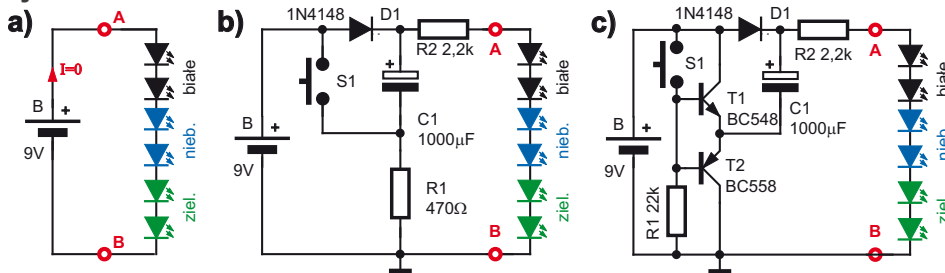
można włożyć bezpośrednio w płytkę, jak poświadcza **fotografia E**.

Wytwarzanie impulsów wysokiego napięcia związane jest z obecnością w przekaźniku cewki (indukcyjności). Podczas przepływu prądu, w indukcyjności cewki magazynowana jest energia, podobnie jak w pojemności kondensatora. Po dołączeniu źródła napięcia do cewki zaczyna przez nią płynąć prąd, jak pokazują czerwone strzałki i w cewce gromadzi się energia. Gdy styki przekaźnika zostaną rozwarte, przepływ prądu zostaje gwałtownie przerwany, a zgromadzona w cewce porcja energii zostaje przekazana do diod LED, powodując ich błysk. Jak się potocznie mówi, *cewka nie lubi zmian prądu i reaguje na nie, wytwarzając napięcie samoindukcji, które stara się podtrzymać przepływ prądu w dotychczasowym kierunku*. Po rozwarciu styku przepływ prądu pokazują niebieskie strzałki.

To wytwarzane w cewce napięcie samoindukcji ma biegunowość odwrotną niż wcześniej dołączone tam napięcie baterii i może być duże. Napięcie w punkcie X jest wtedy ujemne względem masy. Zjawisko wytwarzania impulsu (przebiecia) w cewce przy przerwaniu przepływu prądu wykorzystujemy w samochodach z silnikiem benzynowym, gdzie napięcie potrzebne do wytworzenia iskry zapłonu wynosi ponad 10 000 woltów i uzyskiwane jest z „samochodowego” napięcia 12V.

W naszym przypadku, w zestawie EdW09 mamy do dyspozycji jedynie cewkę przekaźnika o słabych parametrach, dlatego wytwarzane napięcie i wielkość gromadzonej porcji energii są niewielkie. Nie mamy szans na wytworzenie iskier, a do uzyskania odczuwalnych impulsów wyso-

Rys. 1



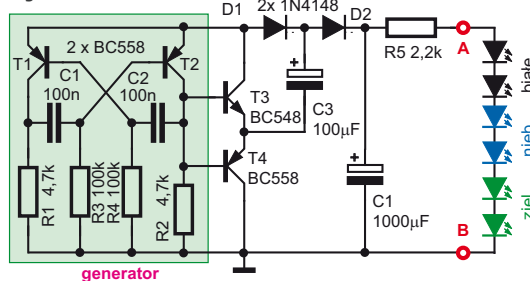
Fot. E

kiego napięcia musimy podwyższyć napięcie zasilania. Niemniej już takie proste eksperymenty pokazują tajemnicze właściwości cewek, które wykorzystujemy w różnych pożytecznych układach.

Poznajemy elementy i układy elektroniczne

Napięcie przewodzenia diod LED wynosi 2...3,4V, więc baterijka 9-woltowa, a nawet akumulator 12-woltowy nie jest w stanie zaświecić łańcucha pokazanego na **rysunku 1a**. Jeżeli jednak będziesz naciskać przycisk S1 w układzie z **rysunku 1b**, to każde naciśnięcie przycisku spowoduje błysk wszystkich diod w łańcuchu. W spoczynku przycisk S1 jest rozwarty, a kondensator C1 jest naładowany do pełnego napięcia baterii. Po każdym rozwarciu S1 prąd ładowania popłynie przez diodę D1, kondensator C1 i rezystor R1. Gdy naciśniesz przycisk S1, naładowany kondensator, który jest małą baterijką, zostanie „podrzucony do góry”, co spowoduje połączenie w szereg baterii B i naładowanego kondensatora C1. W pierwszej chwili napięcie między punktami A, B będzie dwa razy większe od napięcia baterii. Przez rezystor R2 i diody LED

Rys. 2



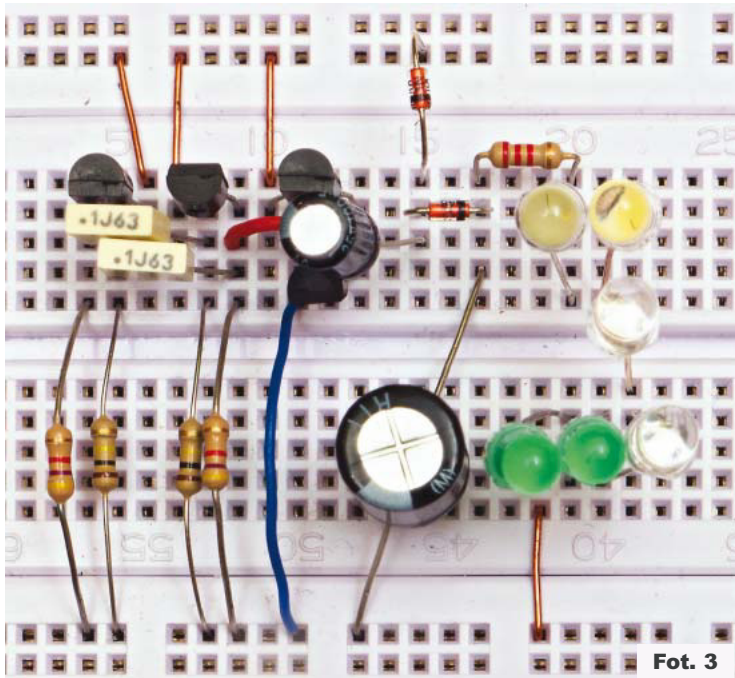
zacznie płynąć prąd. Spowoduje to rozładowanie i stopniowe obniżanie napięcia na C1. Po chwili diody zgasną. Rozwarcie S1 spowoduje ponowne naładowanie C1, a przy ponownym naciśnięciu diody LED znów zaświecą.

Podczas naciskania S1 prąd nie może płynąć przez diodę D1, która wtedy pracuje w kierunku zaporowym, ale zupełnie niepotrzebnie płynie przez R1. Nieco ulepszony układ mógłby wyglądać jak na **rysunku 1c**. Gdy S1 jest rozwarty, kondensator C1 ładuje się przez diodę D1, a prąd płynie dalej przez T2 do masy. Gdy naciśniesz S1, zacznie przewodzić T1, a T2 zostanie zatkany, więc podczas naciskania „marnuje się” tylko mały prąd płynący przez R1. Mniej prądu się marnuje, ale maksymalne napięcie wyjściowe jest dodatkowo obniżone o dwa napięcia U_{BE} tranzystorów T1, T2.

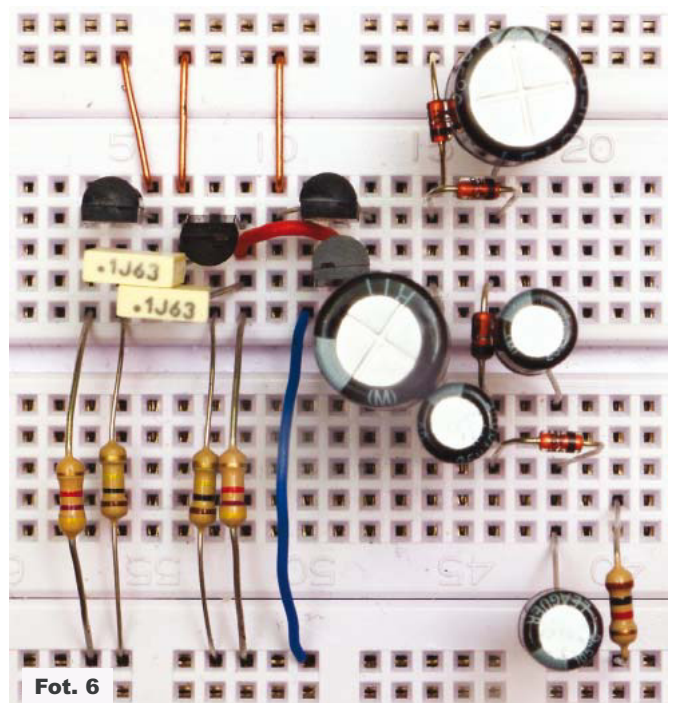
W takiej przetwornicy prąd wyjściowy płynie w sposób przerywany. Jeślibyśmy chcieli uzyskać na wyjściu napięcie stałe, to musimy dodać jeszcze jedną diodę i wyjściowy kondensator magazynujący.

Jeżeli zrealizujesz taką wersję według **rysunku 2**, diody będą świecić ciągle. Jest to najprawdziwsza **przetwornica pojemnościowa**. W idealnym przypadku byłby to podwójacz napięcia baterii, ale napięcie wyjściowe jest mniejsze niż $2 \cdot U_{BAT}$ z uwagi na spadki napięć na szkodliwych rezystancjach, na diodach D1, D2 i na napięcia U_{BE} tranzystorów T3, T4. **Fotografia 3** pokazuje mój model. Diody LED zaczynają lekko świecić, gdy napięcie na nich wynosi co najmniej 13V i takie napięcie występowało na nich, gdy napięcie zasilania wynosiło 7,5V.

Potrącając napięcia mógłbyś zrealizować według idei z **rysunku 4**. Natomiast **rysunek 5** pokazuje przykład realizacji **powielacza napięcia**. Mógłby on mieć dowolnie więcej takich ogniw wyróżnionych różowymi i niebieskimi podkładkami, ale wydajność prądowa wyjścia gwałtownie maleje

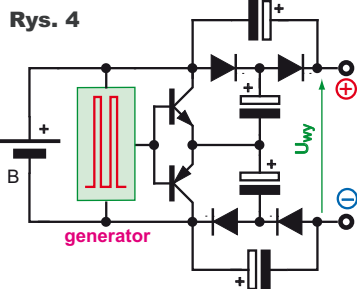


Fot. 3

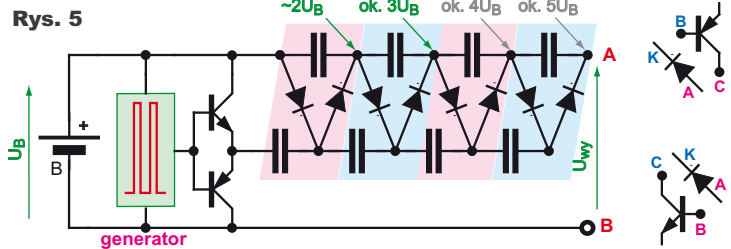


Fot. 6

wraz ze wzrostem liczby stopni powielania. **Fotografia 6** pokazuje mój model, w którym w roli generatora wystąpił multiwibrator z rysunku 2. Przy zasilaniu 9,0V napięcie wyjściowe U_{wy} bez obciążenia wynosiło 22,5V, ale przy dołączeniu obciążenia – rezystora 1kΩ spadło do 15,1V. Czym więcej stopni, tym mniejsza jest wydajność prądowa. W zestawie EdW09 mamy niewiele kondensatorów i tylko cztery diody prostownicze, więc mój model ma mniej stopni (w roli diod można byłoby wykorzystać złącza baza-kolektor tranzystora, jak pokazano z prawej strony rysunku 5).



Rys. 4



Rys. 5

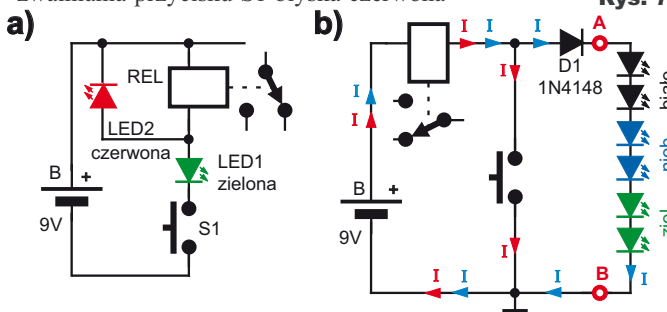
A teraz, żeby nie mieć wątpliwości co do działania układów z ilustracji tytułowej, zbudujemy prościutki układ według **rysunku 7a**. Zwróć uwagę, że czerwona dioda LED2 jest włączona „w niewłaściwym kierunku”. Gdy naciśniesz S1, zaświeci tylko zielona dioda LED1, co jest oczywiste. Dlaczego jednak w chwili zwalniania przycisku S1 błyska czerwona

dioda LED2, która jest włączona „odwrótnie”?

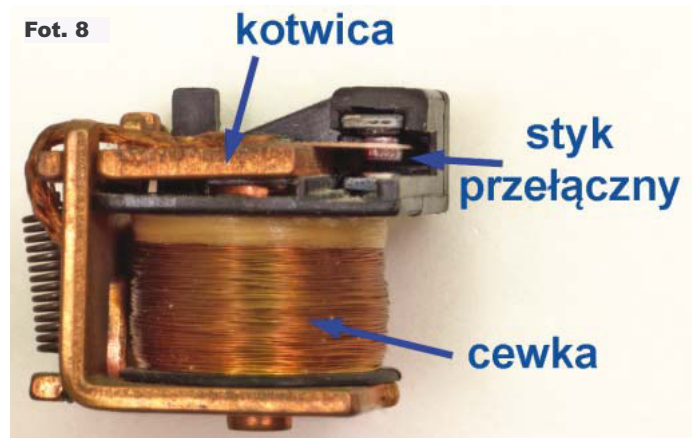
Otóż przekaźnik to rodzaj elektromagnesu, więc zawiera cewkę. Po dołączeniu napięcia do cewki zaczyna płynąć prąd i elektromagnes przyciąga ruchomą tzw. kotwicę oraz przełącza połączone z nią styki. **Fotografia 8** pokazuje inny typ przekaźnika, gdzie można lepiej zaobserwować zasadę działania.

W każdym razie częścią przekaźnika jest cewka. A każda cewka ma pewną indukcyjność. Można powiedzieć w uproszczeniu, że *indukcyjność to zdolność do przeciwstawiania się zmianom prądu.*

Indukcyjność cewek i dławików wyrażana jest w henrach (H), a także w milihenrach (mH), mikrohenrach (μF), nanohenrach (nH). Cewka (często nazywana dławikiem) „nie lubi” zmian prądu i co bardzo dziwi początkujących, na zmiany prądu reaguje wytworzeniem „własnego” napięcia, tzw. *napięcia samoindukcji*. Napięcie to ma taką biegunowość, że próbuje podtrzymać dotychczasowy przepływ prądu. Wartość wytworzonego napięcia samoindukcji, wytworzonego przez cewkę, zależy od indukcyjności i od szybkości zmian



Rys. 7



Fot. 8

prądu, co wyraża znany ze szkoły wzór:
 $U = L \cdot dI/dT$.

W układzie z rysunku 7a w chwili zwarcia S1 prąd cewki, dzięki jej indukcyjności, nie narasta gwałtownie, tylko płynnie w ciągu ułamka sekundy. Zmiany prądu podczas jego narastania powodują wytworzenie napięcia samoindukcji, które odejmują się od napięcia zasilającego i przeciwstawiają się zmianom prądu, co skutkuje spowolnieniem narastania prądu. Natomiast w chwili rozwarcia S1, przepływ prądu zostaje gwałtownie przerwany i cewka ze swej natury natychmiast na to reaguje wytworzeniem napięcia samoindukcji o „przeciwniej” biegunowości, by podtrzymać w ten sposób dotychczasowy przepływ prądu przez cewkę, który zamyka się przez czerwoną diodę LED1. Trwa to krótko, ułamek sekundy, prąd stopniowo maleje, w miarę wyczerpywania się energii cewki, która jest przekazywana do diody.

Nawet jeśli wszystkiego dobrze nie rozumiesz, zapamiętaj, że *indukcyjność nie lubi zmian prądu i reaguje na nie, wytwarzając napięcie samoindukcji*.

Przy okazji warto nadmienić, że i cewki, i kondensatory są magazynami energii: - w kondensatorze zmagazynowana jest energia, jeśli występuje na nim napięcie ($E = CU^2/2$), - w cewce zmagazynowana jest energia, gdy płynie przez nią prąd ($E = LI^2/2$).

Kondensator i cewkę są w pewnym sensie „odwrotne”, ponieważ:

- w kondensatorze zmiany napięcia powodują przepływ prądu ($I = C \cdot dU/dT$),
- w cewce zmiany prądu powodują powstanie napięcia ($U = L \cdot dI/dT$).

A teraz zbuduj dziwny układ według rysunku 7b i fotografii 9. Po zwolnieniu przycisku S1 zauważysz wyraźne błyskanie diod łańcucha LED1-LED6 (możesz też w łańcuchu wykorzystać wszystkie pozostałe diody z zestawu EdW09).

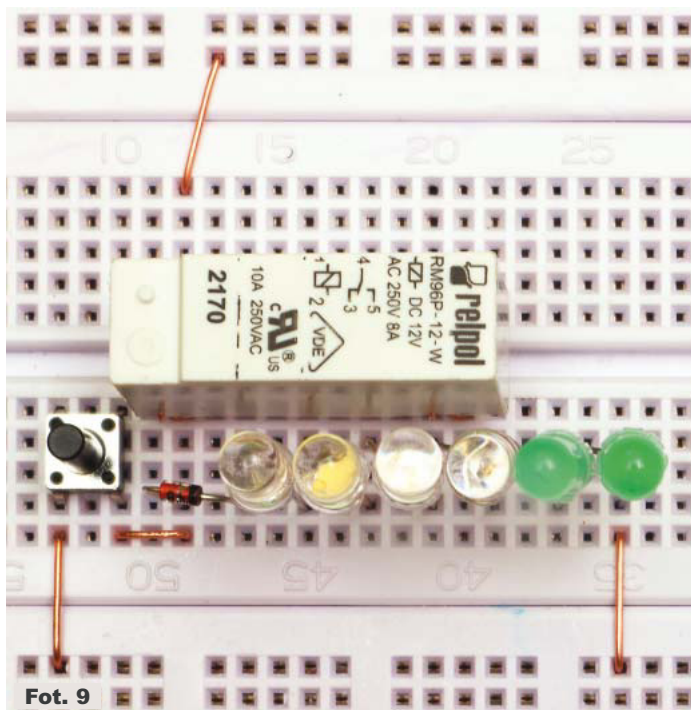
Podczas naciskania przycisku prąd płynie przez cewkę przekaźnika i przez zwarte styki S1 w kierunku zaznaczonym czerwonymi strzałkami. Natomiast po rozwarciu styków S1 prąd nadal chce płynąć przez cewkę w tym samym kierunku i aby tak było, cewka wytwarza napięcie samoindukcji, które może być dużo większe niż napięcie baterii zasilającej i prąd płynie przez chwilę przez D1 i łańcuch diod LED1-LED6, jak pokazują niebieskie strzałki. Co ciekawe, i dziwne dla początkujących, wartość wytwarzanego przez cewkę napięcia samoindukcji nie zależy od napięcia baterii. Dla praktyka jest ważne, że *wartość napięcia samoindukcji „samoczynnie się dopasowuje”, byle podtrzymać przepływ prądu*. Dlatego w ukła-

dzie z rysunku 7a cewka wytworzy napięcie poniżej 3V, a w układzie z rysunku 7b – wielokrotnie większe, kilkanaście woltów. Dziwne zjawisko samoindukcji pozwala wytworzyć nawet bardzo duże napięcia (przebiecia) – przy natychmiastowym przerwaniu prądu, napięcie samoindukcji będzie bardzo duże (teoretycznie nieskończenie wielkie).

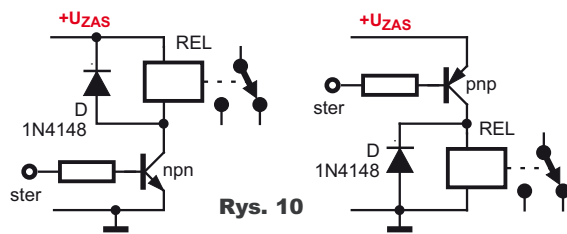
Właśnie z uwagi na duże przebiecia, aby zapobiec uszkodzeniu tranzystora podczas wyłączania, zawsze równoległe do cewki przekaźnika dodajemy według rysunku 10 zwykłą diodę „w odwrotnym kierunku” gaszącą te przebiecia.

Trzeba też wiedzieć, że jeśli przekaźnik już zadziałał i przełączył swoje styki, to do podtrzymania takiego stanu wystarczą napięcie i prąd cewki dużo niższe od nominalnego, nawet wynoszące tylko 20% nominalnego. Gdybyśmy zasilali układy napięciem 12V, moglibyśmy zrealizować oszczędnościowe sterowanie według rysunku 11. W pierwszej chwili po otwarciu (nasyceciu) tranzystora T1 kondensator C1 jest pusty, napięcie na nim wynosi zero, więc na cewkę przekaźnika podane jest pełne napięcie zasilania. Gdy kondensator C1 naładuje się, prąd zostanie ograniczony przez R1. W praktyce wartość C1 musi być odpowiednio duża (100uF...1000uF), żeby przekaźnik niezawodnie zadziałał, a R1 trzeba dobrać zależnie od rezystancji cewki przekaźnika ($1...2 \cdot R_{cewki}$).

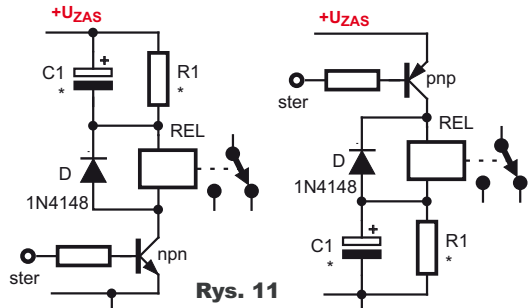
Układy z rysunku 11 bywają przydatne, gdy napięcie zasilania nie jest mniejsze od napięcia nominalnego przekaźnika. My jednak mamy sytuację odwrotną: zasilamy nasze układy z baterijki 9-woltowej, a tymczasem w zestawie EdW09 mamy przekaźnik o napięciu nominalnym 12V. Wprawdzie według karty katalogowej przekaźnik powinien zadziałać już przy napięciu 70% nominalnego, czyli 8,4V. Jednak w przypadku częściowo zużytej,



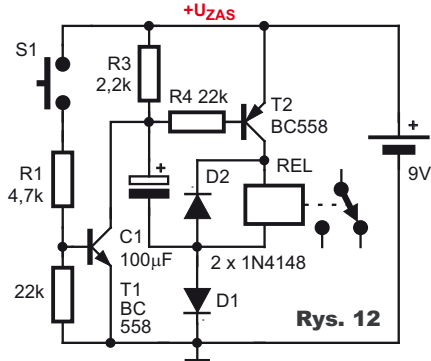
Fot. 9



Rys. 10



Rys. 11



Rys. 12

małej baterii może być z tym kłopot... Dlatego zbudujemy niecodzienny układ sterowania przekaźnikiem według rysunku 12 i fotografii 13. Pozwala on zastosować przekaźnik o napięciu nomi-

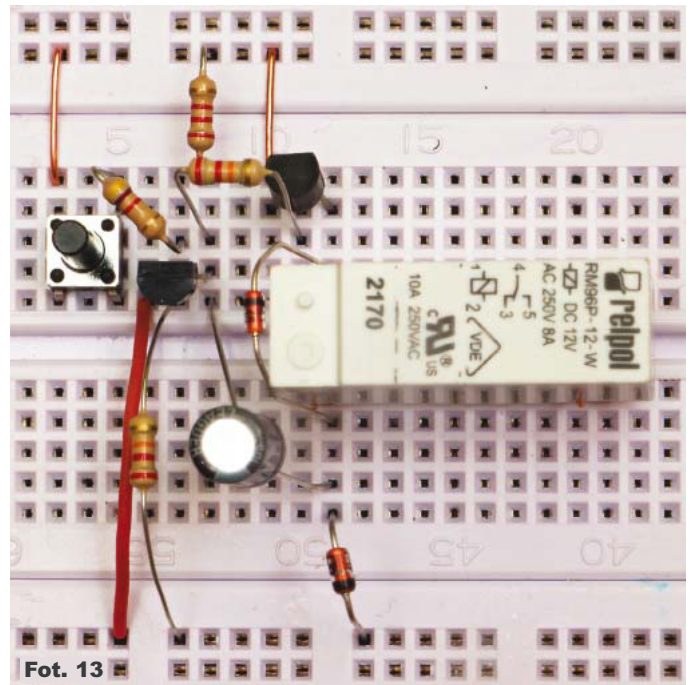
nalnym 1,5...2 razy wyższym niż napięcie zasilania. W spoczynku oba kondensatory są zatłkane i kondensator C1 zostaje naładowany prądem płynącym przez R3, C1 i D1. Gdy zostaną otwarte oba tranzystory, T1 „ściągnie w dół”, do masy dodatni biegun kondensatora C1. Na przełącznik zostanie podana suma napięć zasilającego i napięcia kondensatora C1, co niezawodnie załączy przełącznik. Gdy kondensator się rozładuje, do podtrzymania przełącznika z powodzeniem wystarczy prąd płynący przez T2, przełącznik i diodę D1. Po wyłączeniu (zatłkaniu) tranzystora T1 kondensator C1 zacznie się ładować przez R3 i D1, przez co T2 będzie jeszcze przewodził i dlatego przełącznik puści (zostanie wyłączony) dopiero po chwili, gdy naładuje się C1.

Posiadane przeze mnie przełączniki 12V typu NT74 i RM96P działają przy napięciu na cewce 7,4V, a w omawianym układzie działały już przy napięciu zasilania $+U_{ZAS}=4,9V$.

Wróćmy teraz do elektromechanicznego generatora z przełącznikiem z ilustracji tytułowej. Otóż możesz zmniejszyć częstotliwość przełączania, dołączając równolegle co cewki przełącznika kondensator C1 według **rysunku 14a**. Wtedy jednak przepięcia przy przerywaniu prądu praktycznie zanikną, ponieważ będą ładować kondensator C1. Możesz też wykonać nieco bardziej rozbudowany generator według **rysunku 14b**.

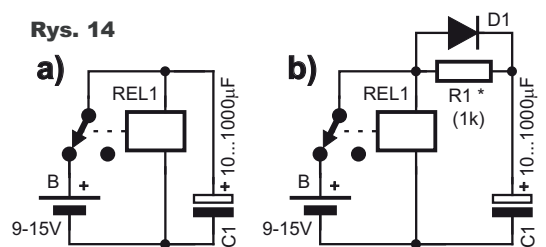
Impulsowe przetwornice indukcyjne. Wykorzystamy teraz jedyną cewkę występującą w zestawie EdW09 – cewkę przełącznika. Możemy w oparciu o nią zbudować najprawdziwsze przetwornice indukcyjne i to w trzech podstawowych konfiguracjach. Zasada działania przetwornic impulsowych wielu początkującym zupełnie niesłusznie wydaje się trudna. Podstawą są specyficzne właściwości cewki, która nie lubi zmian prądu i reaguje na nie wytworzeniem napięcia samoindukcji. We wszystkich przetwornicach impulsowych mamy co najmniej jeden przełącznik – klucz, który jest na przemian zwierny i rozwierany z dużą częstotliwością. Regulacja parametrów przetwornicy

(głównie napięcia wyjściowego) polega na zmianie współczynnika wypełnienia, czyli zmianie stosunku czasu zwarcia i rozwarcia klucza, co jest zilustrowane na **rysunku 15**. W praktyce rolę kluczy odgrywają różne rodzaje tranzystorów. W ramach kursu PKE wykorzystujemy wyłącznie tranzystory bipolarnie małej mocy typu BC548 i BC558. W wykładzie 2 na fotografii 12 pokazane były tranzystory bipolarnie dużej mocy. Trzeba jednak wiedzieć, że istnieją jeszcze inne rodzaje tranzystorów. Bardzo popularne są tak zwane tranzystory polowe MOSFET, a znacznie mniej popularne są tranzystory polowe JFET. **Rysunek 16a** pokazuje symbole takich tranzystorów polowych. Ich elektrody – wyprowadzenia nazywają się inaczej. Odpowiednikiem bazy jest tu bramka (G – gate), odpowiednikiem emitera jest źródło (S – source), a odpowiednikiem kolektora jest dren (D – drain). Analogicznie do tranzystorów npn i pnp, także i tu mamy do dyspozycji komplementarne (dopełniające) tranzystory z kanałem n i z kanałem p. Działanie tranzystorów MOSFET (**rysunek 16b**) jest w dużym stopniu podobne

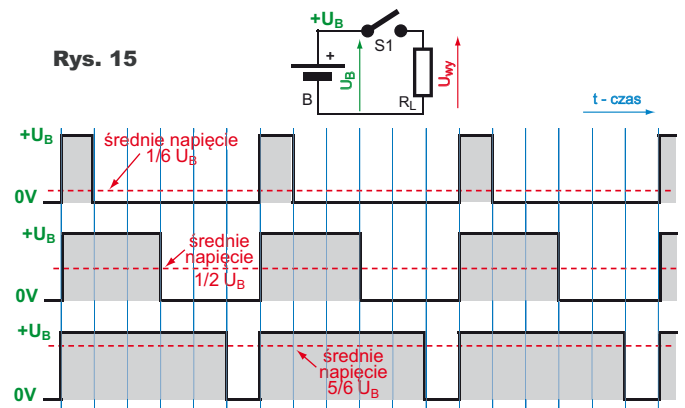


Fot. 13

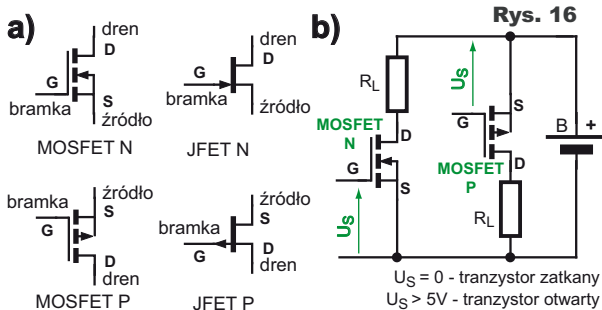
Rys. 14



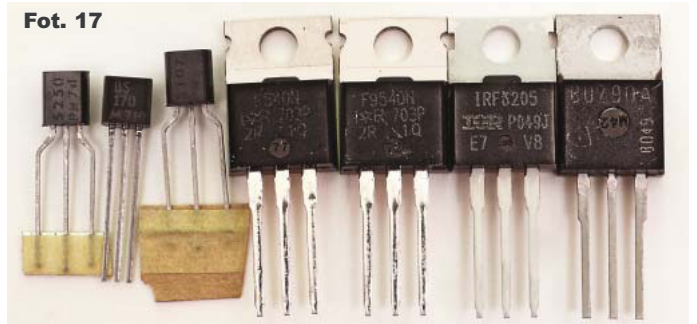
Rys. 15



do działania tranzystorów bipolarnych, tylko w obwodzie elektrody sterującej (bramki) nie płynie prąd – sterowane są



Rys. 16



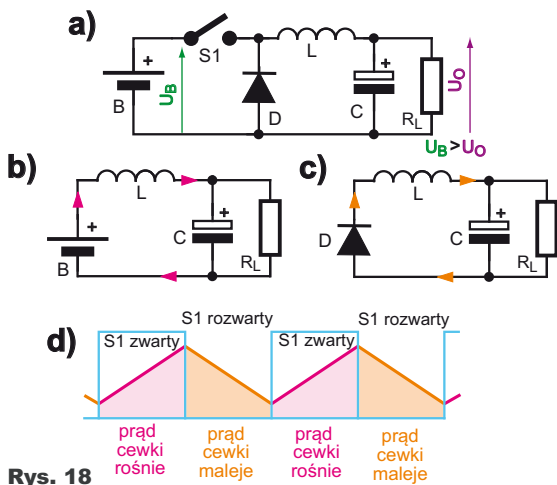
Fot. 17

napięciem. Tranzystory MOSFET mają wiele zalet, zwłaszcza w roli przełączników okazują się dużo lepsze od tranzystorów bipolarnych. Dlatego znajdują powszechne zastosowanie m.in. jako przełączniki – klucze w przetwornicach impulsowych, zwłaszcza przy niewysokich napięciach. W praktyce tranzystory MOSFET są wykorzystywane bardzo często, zwłaszcza tranzystory MOSFET dużej mocy, pokazane z prawej strony **fotografii 17**.

Klasyczna przetwornica obniżająca.

Rysunek 18a przedstawia przetwornicę obniżającą (znaną też jako *step-down*, *buck converter*). Podczas pracy klucz (przełącznik) S1 jest zwierany i rozwierany z dużą częstotliwością. Możemy łatwo regulować średnią wartość napięcia wyjściowego, ale w przypadku samego klucza byłby to przebieg prostokątny, mało użyteczny do zasilania innych układów – patrz rysunek 15. Średnie napięcie „za kluczem” jest bezpośrednio zależne od współczynnika wypełnienia. Mówiąc najprościej, to napięcie prostokątne zostaje uśrednione w znanym ze szkolnych podręczników filtrze LC i na wyjściu otrzymujemy „gładkie” napięcie stałe o wartości zależnej od współczynnika wypełnienia. *Napięcie wyjściowe takiej przetwornicy zawsze jest mniejsze od napięcia zasilającego U_B .*

Idea jest prosta, jednak trzeba pamiętać o tym, że *cewka nie lubi zmian prądu i reaguje na nie wytworzeniem napięcia samoindukcji*. Gdy klucz S1 zostaje zwarty, prąd w cewce płynie i narasta według **rysunku 18b**, a gdy klucz S1 zostaje rozwarty, nagłe przerwanie prądu spowodowałoby wytworzenie przez cewkę silnego

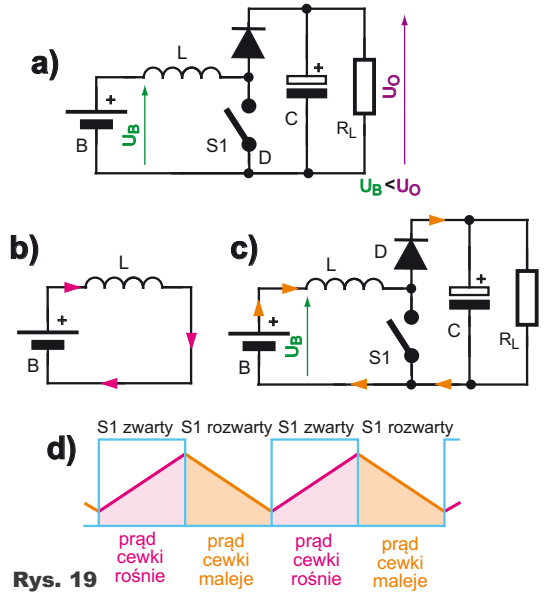


Rys. 18

impulsu napięcia samoindukcji. W tym przypadku byłoby to niekorzystne, dlatego w takiej przetwornicy niezbędna jest (na pozór niepotrzebna, włączona „odwrotnie”) dioda D. Po rozwieraniu klucza S1 cewka wytworzy napięcie samoindukcji, ale nieduże, dokładnie takie, by prąd nadal płynął przez cewkę, zamykając się przez diodę D, a także przez C i obciążenie R_L , jak ilustruje **rysunek 18c**. **Rysunek 18d** pokazuje przykładowe przebiegi prądu w takiej przetwornicy.

Klasyczna przetwornica podwyższająca.

Rysunek 19a przedstawia przetwornicę podwyższającą (*step-up*, *boost converter*). Gdy klucz S1 zostaje zwarty (**rysunek 19b**), prąd zaczyna płynąć przez cewkę i ładuje się ona – gromadzi energię. Czas zwarcia klucza S1 nie powinien być zbyt długi, bowiem mała cewka z różnych powodów może zgromadzić tylko niewielką porcję energii. Gdy klucz S1 zostaje rozwarty, cewka, nie lubiąc zmian prądu, wytwarza napięcie samoindukcji, które próbuje podtrzymać przepływ prądu, który płynie według **rysunku 19c**. Wytworzone napięcie samoindukcji jest dokładnie takie, żeby podtrzymać przepływ prądu. Taka przetwornica wytwarza na wyjściu napięcie U_O większe, nawet dużo większe, od napięcia



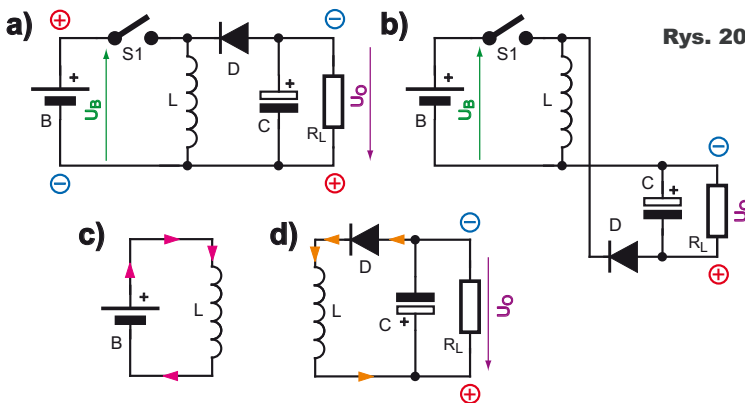
Rys. 19

Klasyczna przetwornica odwracająca.

Rysunek 20a pokazuje układ przetwornicy odwracającej (*inverter*, *boost-buck converter*). Ponieważ biegunowość napięcia wyjściowego U_O jest odwrotna niż napięcia baterii U_B , warto przerysować schemat do postaci z **rysunku 20b**. Tak jak poprzednio, po zwarciu S1 prąd płynie według **rysunku 20c** i ładuje cewkę energią. Po rozwieraniu S1, prąd chce płynąć i płynie przez cewkę nadal w tym samym kierunku według **rysunku 20d**, a taki kierunek prądu powoduje, że napięcie wyjściowe na obciążeniu R_L ma niejako odwróconą biegunowość. Napięcie na wyjściu jest ujemne, a jego wartość może być mniejsza lub większa od napięcia zasilającego, zależnie od współczynnika wypełnienia impulsów sterujących oraz od obciążenia. Przykładowe przebiegi w takiej przetwornicy też mogą wyglądać jak na rysunkach 18d i 19d. Cewka nie lubi zmian prądu, więc przy zwartym kluczu S1 prąd płynie rośnie, a przy rozwartym kluczu S1 prąd płynie się zmniejsza.

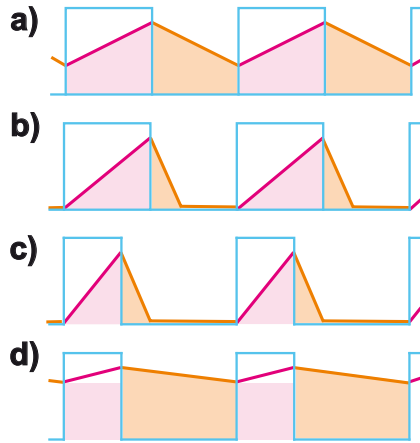
Szybkość narastania i zmniejszania się prądu może być różna, zależnie od kilku czynników. **Rysunek 21** pokazuje cztery przykłady. Zasada jest prosta: w cewce *szybkość zmian prądu jest wprost proporcjonalna do napięcia na cewce*: podczas ładowania (S1 zwarty) stromość narastania prądu jest wprost proporcjonalna do napięcia baterii, a podczas rozładowania (S1 rozwarty) – do napięcia wyjściowego. Zmieniając stosunek czasu ładowania i rozładowania, można regulować wartość napięcia wyjściowego przetwornicy. Nie będziemy szczegółowo analizować tego wątku.

Wszystkie trzy przedstawione konfiguracje (i wiele innych pokrewnych) są wykorzystywane we współczesnych układach

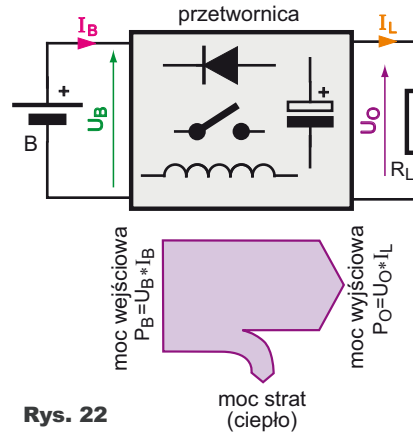


Rys. 20

zasilaczy impulsowych. Należy podkreślić, że gdyby elementy (S1, D, L, C) były idealne, bezstratne, to uzyskalibyśmy bezstratne przetwornice o 100-procentowej sprawności. W praktyce tego rodzaju przetwornice mają sprawność 70...98%. Oznacza to, że z mocy pobieranej z baterii ($P_B = U_B \cdot I_B$) 70...98% jest przekazywane do obciążenia R_L jako moc wyjściowa ($P_O = U_O \cdot I_L$), natomiast pozostała część mocy 30%...2% marnuje się w postaci ciepła strat w elementach przetwornicy, co obrazowo przedstawia rysunek 22.



Rys. 21



Rys. 22

Zachęcam Cię, żebyś praktycznie zrealizował i wypróbował taką przetwornicę impulsową! Co prawda pełna analiza jej działania byłaby skomplikowana, bo w grę wchodzi kilka wzajemnie związanych czynników, jak choćby częstotliwość pracy oraz

indukcyjność i inne parametry cewki. Jednak warto zapoznać się z taką przetwornicą choćby z grubsza – w ten sposób wkroczysz w dziedziny elektroniki, przez wielu nie do końca słusznie uznawane za ogromnie tajemnicze i trudne.

My moglibyśmy zrealizować podstawowe przetwornice z wykorzystaniem cewki przekąźnika, która ma bardzo dużą rezystancję, przez co bardzo, bardzo daleko jej do ideału. Dlatego nasze przetwornice miałyby dużo mniejszą sprawność.

Zrealizujemy na koniec przetwornicę podwyższającą według rysunku 23, która da na wyjściu napięcie około 13V, które zaświeci łańcuch 6 diod LED. Mój model pokazany jest na fotografii 24.

Wykorzystujemy tu generator astabilny o dość dużej częstotliwości i wypełnieniu większym niż 50% ($R_4 > R_3$). W zasadzie podczas normalnej pracy takiej przetwornicy napięcie wyjściowe wyznaczone jest przez współczynnik wypełnienia przebiegu sterującego, ale przy bardzo małym obciążeniu wyjścia napięcie gwałtownie by rosło. Aby napięcie wyjściowe nie zależało ani od obciążenia, ani od napięcia baterii, dodaliśmy obwód sprzężenia zwrotnego z tranzystorem T4, który będzie pilnował wartości napięcia wyjściowego. Gdy tranzystor ten jest zatkany, multiwibrator pracuje normalnie, a czasy otwarcia i zatkania tranzystorów T1, T2 oraz, co ważne, T3 są określone przez elementy R3C1 i R4C2. Gdy natomiast T4 przewodzi, wtedy zwiększa prąd rozładowania C2, a tym samym skracając czas przewodzenia tranzystorów T2, T3. Tranzystor T4 zmienia więc wypełnienie klucza T3.

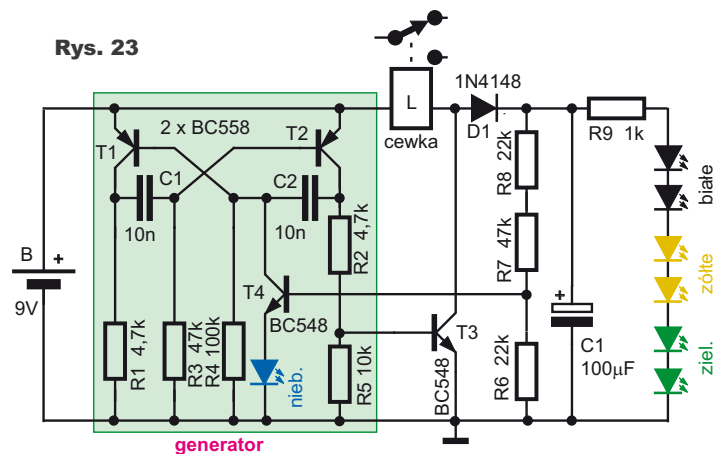
Gdy napięcie baterii zasilającej jest niskie lub gdy pobór prądu byłby duży, tranzystor T3 przewodzi stosunkowo długo, ładuje prądem cewkę przekąźnika, a gdy T3 jest zatkany, na cewce pojawia się napięcie samoindukcji i energia z cewki przekąźnika jest przekazywana do kondensatora C1. W każdym razie napięcie samoindukcji cewki dodaje się do napięcia baterii.

Gdy napięcie na kondensatorze C1 jest na tyle duże, że zaczyna przewodzić

tranzystor T4 (co sygnalizuje niebieska dioda LED), następuje skracanie czasu przewodzenia T3, czyli najprościej mówiąc, cewka przekąźnika jest ładowana coraz krócej – gromadzi coraz mniejsze porcje energii, które powodują zwiększanie napięcia wyjściowego. W ten sposób obwód z tranzystorem T4 nie dopuszcza do wzrostu napięcia wyjściowego ponad wartość wyznaczoną przez dzielnik R6, R7, R8.

W moim modelu łańcuch diod, zaświecający się przy napięciu 12V, zaczyna lekko świecić już przy napięciu baterii 5,75V, a jasne świecenie i stabilizacja występowały przy napięciach zasilania powyżej 6,2V.

Rys. 23



Fot. 24

