

Szoker - masażysta Generator wysokiego napięcia

Opisywany układ jest generatorem impulsów wysokiego napięcia. Dwa potencjometry pozwalają regulować niezależnie częstotliwość powtarzania oraz energię impulsów. Układ przeznaczony jest głównie do elektrostymulacji mięśni, czyli do roli elektronicznego masażysty. Może też służyć do eksperymentów i zabawy.

Pomimo, że wytwarzany impuls ma wysokie napięcie, zasilanie z małej baterii 9V i ograniczona energia impulsu nie stwarzają u zdrowych osób ryzyka dla zdrowia.

Schemat układu pokazany jest na **rysunku 1**, a wygląd płytki przedstawiają **rysunek i fotografia 2**. Podzespół warto wzlutować w płytce drukowanej w kolejności podanej

w wykazie elementów. Na początek w miejscach oznaczonych na płytce napisem *zwora* oraz zamiast kondensatora C5 trzeba wzlutować trzy zwory z kawałków drutu. Elementy R1, D1, R7 w wersji podstawowej nie są montowane. Podczas kompletowania układu należy zwracać szczególną uwagę na sposób wzlutowania elementów biegunowych: kondensatorów elektrolitycznych, tranzystorów, diody oraz układu scalonego, którego wycięcie w obudowie musi odpowiadać rysunkowi na płytce drukowanej. Liczne wskazówki dotyczące szczegółów montażu podane są na plakatach, które zamieszczone były w numerach 5...7/2004 (numery te dostępne są w sklepie internetowym AVT oraz w Dziale Prenumeraty AVT).

UWAGA! Prezentowany układ wytwarza impulsy elektryczne o znacznym napięciu, ale o niewielkiej energii. Dla zdrowych osób impulsy takie nie są groźne. Jednak dla osób szczególnie wrażliwych mogą być bardzo nieprzyjemne, a dla osób chorych, zwłaszcza z wszczepio-

nym stymulatorem (rozsrusznikiem) serca, mogą być nawet groźnie dla życia.

Z uwagi na występujące napięcie, osoby niepełnoletnie i początkujące mogą wykonać i wykorzystywać układ wyłącznie pod opieką wykwalifikowanych opiekunów (nauczycieli).

Wyjściem układu są punkty oznaczone A, B – należy do nich dołączyć przewody z odizolowanymi końcówkami. Wystarczy odizolować końcówki, ale można na tych końcach dolutować jakiegokolwiek metalowe elektrody, np. kawałki rurki miedzianej czy dwa mosiężne krążki. Do wykorzystania w roli elektronicznego masażysty można wykonać izolacyjny uchwyt z dwoma elektrodami na końcu.

Po zmontowaniu układu trzeba bardzo starannie skontrolować, czy aby elementy nie zostały wzlutowane w niewłaściwym kierunku lub w niewłaściwe miejsca oraz czy podczas lutowania nie powstały zwarcia punktów lutowniczych. Po skontrolowaniu poprawności montażu można dołączyć źródło zasilania: baterię 9-woltową lub zasilacz (4,5V...15V). Układ bezbłędnie zmontowany ze sprawnych

Garstka popularnych elementów tworzy generator wysokiego napięcia o regulowanej sile i częstotliwości powtarzania impulsów.
Efektowny generator impulsów wstrząsowych.
Wytwarza ciąg impulsów o bardzo wysokim napięciu i niedużej energii.
Przeznaczony głównie do stymulacji mięśni, czyli do elektromasażu.
Może służyć do zabawy i rozmaitych eksperymentów.
Niebieska dioda LED sygnalizuje każdy wytworzony impuls.
Opcjonalny generator może realizować serie impulsów wstrząsowych.
Typowe warunki zasilania 9V, 7...12mA.
Dopuszczalny zakres napięć zasilania 4,5V...18V.

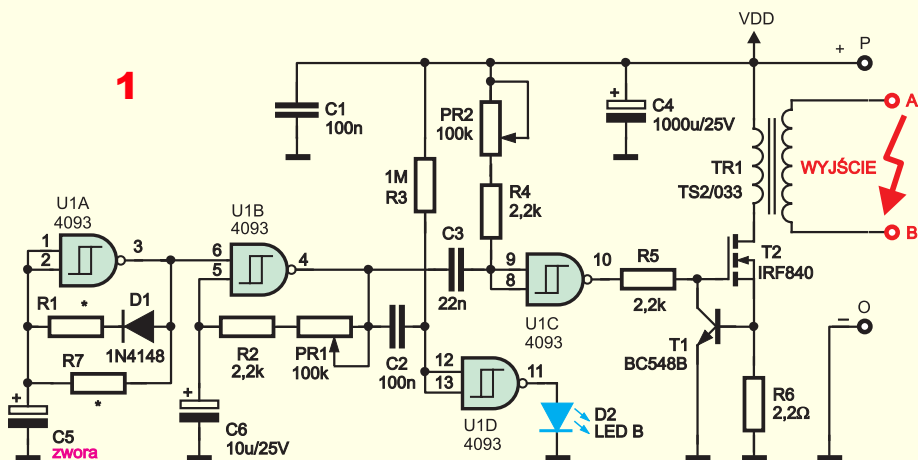
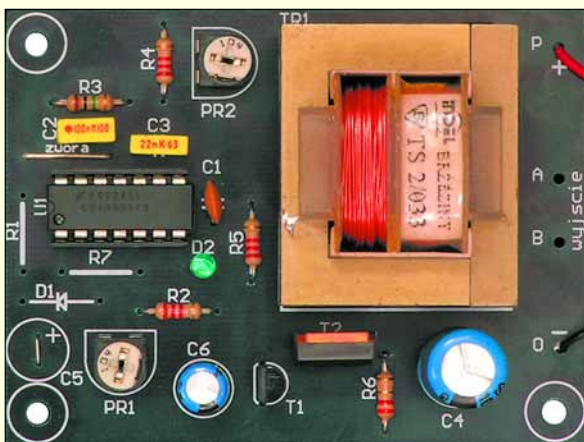
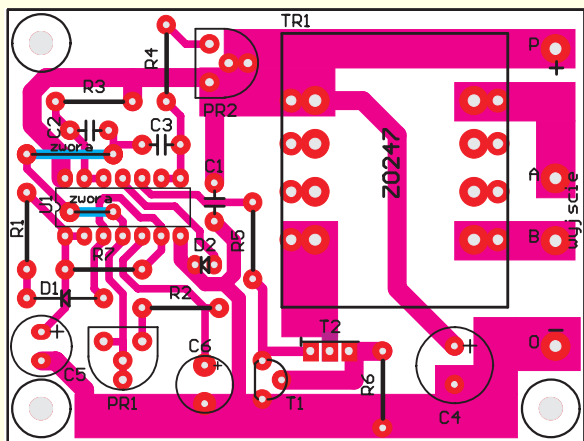
elementów od razu będzie poprawnie pracował.

Błysk niebieskiej diody LED informuje o wytworzeniu każdego kolejnego impulsu. Na początek należy potencjometr montażowy PR1 skrócić w prawo do oporu, żeby uzyskać jak najdłuższy czas powtarzania impulsów, a potencjometr PR2 skrócić w lewo, na minimum energii impulsów. Następnie należy wziąć w jedną rękę odizolowane końcówki przewodów (sond) dołączonych do punktów A, B i obserwując diodę LED D2, potencjometrem PR1 zwiększyć częstotliwość impulsów do około 1 na sekundę. Impulsy jeszcze nie będą odczuwalne. Następnie pokręcając PR2 w prawo zwiększać energię impulsów, żeby były wyraźnie odczuwalne, ale nie przykre. Tak wyregulowany układ można wykończyć do elektromasażu.

Tylko dla dociekliwych – działanie układu

Sercem szokera jest układ scalony CMOS 4093, którego bramka U1B pracuje jako główny generator, wyznaczający częstotliwość powtarzania impulsów. Częstotliwość powtarzania impulsów można w szerokim zakresie zmieniać za pomocą potencjometru PR1. Generator ten pracuje ciągle, ponieważ w wersji podstawowej kondensator C5 jest zastąpiony zworą, a więc na nóżkach 3 i 6 układu scalonego panuje stan wysoki. Obwód

2



różniczkujący R3, C2 wytwarza na wejściach bramki U1D ujemne impulsy, które po „odwróceniu” przez bramkę NAND powodują krótkie zaświecenie niebieskiej diody LED D2 po każdym cyklu pracy generatora głównego, czyli sygnalizują każdy wytworzony impuls. Układ będzie typowo zasilany z baterii 9V, dlatego świadomie pominięty jest rezystor ograniczający prąd diody LED. Prąd diody LED ograniczają właściwości wyjścia bramki CMOS, pracującej przy niedużym napięciu. Jedynie gdyby układ miał być zasilany napięciem powyżej 12V, można dodać szeregowy rezystor ograniczający, ale można też po prostu zmniejszyć czas świecenia diody przez zmniejszenie stałej czasowej R3C2.

Przebieg z generatora głównego powoduje też występowanie krótkich ujemnych impulsów na wejściach bramki U1C. Czas trwania tych impulsów można regulować w szerokim zakresie za pomocą potencjometru PR2. Na wyjściu bramki U1C występują więc dodatnie impulsy o czasie trwania regulowanym przez PR2. Impulsy te otwierają tranzystor MOSFET T2. Otwarty tranzystor MOSFET umożliwia przepływ prądu przez transformator TR1. Jest to zwyczajny transformator sieciowy, tylko włączony „odwrotnie” – prąd płynie przez uzwojenie wtórne (niskonapięciowe – nawijane grubszym drutem). Na uzwojeniu pierwotnym (sieciowym) występują impulsy wysokiego napięcia.

W czasie przewodzenia tranzystora T2 indukcyjność uzwojenia transformatora jest ładowana prądem płynącym przez to uzwojenie (i dalej przez T2 i R6). Jak wiadomo, po podaniu na indukcyjność

napięcia, prąd narasta stopniowo od zera do jakiejś wartości maksymalnej. Rezystancja uzwojenia wtórnego transformatora jest rzędu jednego do kilku omów, a więc maksymalny prąd wyniósłby kilka amperów (pod warunkiem zastosowania odpowiednio wydajnego źródła zasilania). W omawianym układzie, służącym do masażu i do eksperymentów, energia impulsów musi być ograniczona do znikomej wartości, dlatego w układzie pojawił się ogranicznik prądu w postaci tranzystora T1, który nie dopuszcza do nadmiernego wzrostu prądu. Jeśli napięcie na R6 wzrasta ponad 0,5V, zaczyna się otwierać tranzystor T1 i płynący przez niego prąd zmniejsza napięcie na bramce T2, nie dopuszczając do dalszego wzrostu prądu. W analizowanym układzie ta maksymalna wartość prądu wynosi mniej niż 300mA (600mV / 2,2Ω). Należy przy tym pamiętać, że czas otarcia T2 i ładowania indukcyjności TR1 jest krótki, a źródłem zasilania jest wtedy raczej kondensator C4 o dużej pojemności, a nie mała bateria.

Podczas normalnej pracy czas przewodzenia T2 jest na tyle krótki, że impulsy prądu ładujące indukcyjność transformatora mają kształt zębów piły. Prąd narasta najdostajnie w tempie wyznaczonym przez napięcie zasilania i indukcyjność. Jeśli czas przewodzenia T2 będzie nadmierny, prąd zdąży narosnąć do maksymalnej wartości wyznaczonej przez wartość R6, co oznacza niepotrzebną stratę energii. Otóż ilość energii zgromadzonej w indukcyjności transformatora nie zależy od czasu przepływu prądu, tylko od maksymalnej, czyli szczytowej wartości prądu. W czasie otwarcia T2 następuje ładowanie indukcyjności, czyli gromadzenie w niej energii. Przez ten krótki czas na pierwotnym uzwojeniu występuje wtedy napięcie (stałe) prawie równe napięciu zasilania, natomiast na uzwojeniu sieciowym, czyli między punktami A i B, występuje napięcie kilkanaście razy wyższe. Wielkość tego napięcia wynika z przekładni zastosowanego transformatora. Wynosi ono około 120...200V, ale nie jest to właści-

wy impuls wysokiego napięcia. Ten właściwy impuls jest jeszcze krótszy i powstaje w momencie, gdy zostaje zatkany tranzystor T2. Jak wiadomo, „cewki nie lubią zmian prądu” i na zmianę (w tym wypadku przerwanie) prądu reagują wytworzeniem napięcia samoindukcji. I właśnie to napięcie samoindukcji jest właściwym impulsem wysokiego napięcia. Na uzwojeniu wtórnym i na tranzystorze T2 pojawia się impuls, dlatego pracuje tam wysokonapięciowy tranzystor IRF840. Jeszcze większy impuls pojawia się na uzwojeniu sieciowym. Teoretycznie impuls między punktami A, B mógłby mieć amplitudę znacznie powyżej 1000V, ale w praktyce rezystancja skóry w połączeniu z małą energią zgromadzoną w transformatorze powoduje, że ten króciutki impuls ma amplitudę znacznie mniejszą. Oznacza to, że impuls na uzwojeniu wtórnym nie jest bardzo duży, a więc zasadniczo tranzystor T2 mógłby mieć niższe napięcie pracy. W każdym razie przy proponowanych wartościach elementów impuls wyjściowy jest wyraźnie odczuwalny, a nawet trochę bolesny. O tym, że energia impulsu nie jest duża, świadczy fakt, że nawet przy maksymalnej częstotliwości powtarzania i maksymalnej energii układ pobiera nie więcej niż 12mA przy zasilaniu 9V, co daje moc pobieraną około 0,1W. Znaczna część tej mocy jest zużywana przez diodę LED i pracujący układ, dlatego wytwarzane impulsy niosą niedużą energię i nie stanowią zagrożenia dla przeciętnej, zdrowej osoby.

Możliwości zmian

Zamiast potencjometrów montażowych można zastosować klasyczne potencjometry obrotowe lub suwakowe – z uwagi na impulsowy sposób pracy przewody łączące takie potencjometry z płytką powinny być możliwie krótkie.

Zamiast transformatora TS2/033 można zastosować praktycznie każdy transformator sieciowy o napięciu wtórnym 4...24V. Układ nie wymaga żadnych zmian, należy się tylko upewnić, czy do punktów A, B dołączone są końcówki uzwojenia sieciowego. Na wszelki wypadek na płytce dodano otwory, pozwalające na wlutowanie odpowiednich zwór.

Proponowane wartości elementów dają impulsy wyraźnie odczuwalne, niemniej ich energia jest stosunkowo mała. W sumie o energii impulsów decyduje wartość rezystora R6 oraz czas „ładowania” cewki wyznaczony przez stałą czasową $C3*(R4+R2)$. Tranzystor mocy T2 pozwala pracować przy dużych prądach, czyli przy rezystancji R6 rzędu ułamka oma, oczywiście pod warunkiem współpracy ze źródłem zasilania o odpowiedniej wydajności. Duży prąd ładujący indukcyjność transformatora daje bardzo silne impulsy – czas ładowania musi być dłuższy (zwiększenie C3). Przeprowadzone testy wskazały jednak, że już przy wartości R6 równej 1Ω i C3

= 47nF impulsy były zbyt silne jak na układ mający charakter niecodziennej zabawki. Z kolei przy wartości R6 równej 4,7Ω oraz 10Ω impulsy wyjściowe były zbyt słabe, wręcz nieodezwalne. Wartości R6 = 2,2Ω i C2 = 22nF okazały się optymalne dla układu o charakterze edukacyjno-rozrywkowym.

W wersji podstawowej elementy R1, R7, D1 nie są montowane. Generator główny z bramką U1B pracuje ciągle i urządzenie wytwarza nieprzerwany ciąg impulsów. Jeśli ktoś chciałby wykorzystać tego rodzaju układ w roli elektronicznego masażysty, czyli stymulatora mięśni, może wykonać układ, dający serie impulsów. Należy wtedy wlutować te dodatkowe elementy. Ich wartość należy dobrać we własnym zakresie według konkretnych potrzeb. W każdym razie wartość R7 określi czas powtarzania serii impulsów (zazwyczaj będzie to czas rzędu kilku, kilkunastu sekund). Wartość R1 określi czas trwania serii impulsów (czas ten zwykle będzie rzędu jednej do kilku sekund). Wartość R7 może wynosić 22kΩ ... 1MΩ. Wartość R1 będzie mniejsza od R7, ale nie może być mniejsza niż 2,2kΩ z uwagi na oporności wewnętrzne kostki 4093. Wartość C5 należy dobrać w zakresie 10uF ... 1000uF, by uzys-

kać potrzebny czas powtarzania serii impulsów. Przy takiej pracy z seriami impulsów częstotliwość generatora głównego U1B zwykle będzie większa – warto zmniejszyć wartość C6, nawet do 1uF i jako C6 wlutować kondensator stały. Gdyby trzeba było zmienić energię impulsów, trzeba będzie dodatkowo zmienić wartość R6, ale w grę wejdzie też czas ładowania cewki, wyznaczony nie tylko przez $C3*(R4+R2)$, ale też przez zmniejszony okres generatora U1B. Aby zachować pełne możliwości kontroli za pomocą PR2, okres cyklu generatora U1B powinien być co najmniej dwa razy większy od czasu impulsów wytwarzanych przez obwód $C3*(R4+R2)$. W szczególnych przypadkach może być potrzebna zmiana napięcia zasilania (w zakresie 4,5V ... 18V), wymiana transformatora TR1, albo zasilanie obwodu wyjściowego (transformator, tranzystor T2, rezystor R6) podwyższonym napięciem. Dlatego generalnie takie przeróbki należy zalecić tylko bardziej doświadczonym elektronikom, którzy są w stanie zaobserwować przebiegi na oscyloskopie i rozumiejąc dobrze zasadę działania układu, dobrać potrzebne warunki pracy.

Piotr Górecki

Wykaz elementów (w kolejności lutowania)

- | | | |
|----|-------------------------------------|---|
| 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | zwora z drutu pod U1 |
| 2 | <input type="checkbox"/> | zwora z drutu obok C2 |
| 3 | <input type="checkbox"/> | zwora z drutu zamiast C5 |
| 4 | <input type="checkbox"/> | R2 – 2,2kΩ (czerw.- czerw.- czerw.-złoty) |
| 5 | <input type="checkbox"/> | R4 – 2,2kΩ (czerw.- czerw.- czerw.-złoty) |
| 6 | <input type="checkbox"/> | R5 – 2,2kΩ (czerw.- czerw.- czerw.-złoty) |
| 7 | <input type="checkbox"/> | R3 – 1MΩ (brąz-czar.-zielony-złoty) |
| 8 | <input type="checkbox"/> | R6 – 2,2Ω (czerw.- czerw.- złoty-złoty) |
| 9 | <input type="checkbox"/> | podstawka 14-pin pod układ scalony U1 |
| 10 | <input type="checkbox"/> | C1 – 100nF (może być oznaczony 104) |
| 11 | <input type="checkbox"/> | C2 – 100nF (może być oznaczony 104) |
| 12 | <input type="checkbox"/> | C3 – 22nF (może być oznaczony 223) |
| 13 | <input type="checkbox"/> | PR1 – potencjometr montażowy 100kΩ (może być oznaczony 104) |
| 14 | <input type="checkbox"/> | PR2 – potencjometr montażowy 100kΩ (może być oznaczony 104) |
| 15 | <input type="checkbox"/> | T1 – BC548 |
| 16 | <input type="checkbox"/> | D2 – LED niebieska 3mm |
| 17 | <input type="checkbox"/> | C6 – 47uF/16V |
| 18 | <input type="checkbox"/> | T2 – IRF840 lub podobny wysokonapięciowy |
| 19 | <input type="checkbox"/> | C4 – 1000uF/25 |
| 20 | <input type="checkbox"/> | TR1 – transformator sieciowy TS2/033 lub podobny |
| 21 | <input type="checkbox"/> | do punktów P, O dołączyć złączkę baterii (kijanę) |
| 22 | <input type="checkbox"/> | dołączyć przewody (sondy) do punktów A, B |
| 23 | <input type="checkbox"/> | U1 – włożyć do podstawki układ scalony CMOS 4093 |

Uwaga! W wersji podstawowej nie montować R1, R7, D1.

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-738