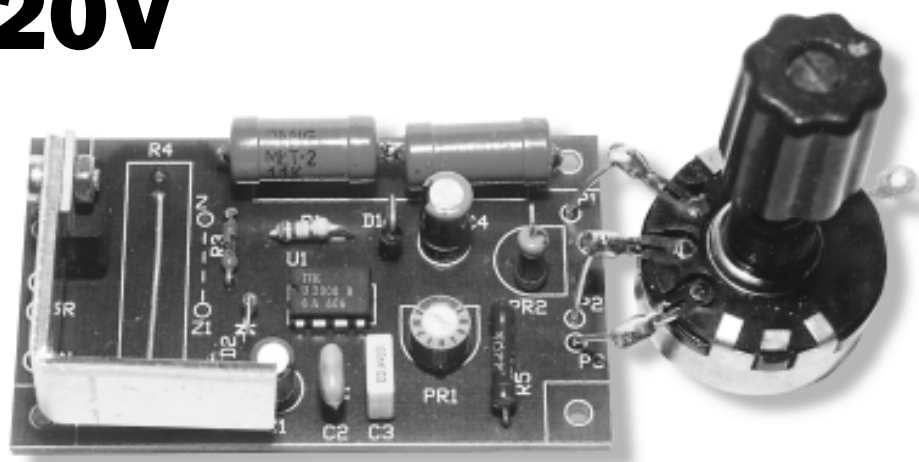


# Regulator obrotów silnika 220V

## kit AVT-422

*Problem regulacji obrotów silników elektrycznych doczekał się licznych rozwiązań, lecz nadal otrzymujemy wiele listów z prośbami, aby powrócić do tego tematu.*

*Przedstawiamy więc kolejny projekt regulatora fazowego, którego konstrukcja jest oparta na układzie U2008B firmy Temic.*



Wielu elektroników jest zainteresowanych budową regulatorów obrotów różnorodnych silników elektrycznych.

Najprostsze są układy regulacji obrotów silników prądu stałego. Natomiast samodzielna budowa regulatora obrotów dla silnika trójfazowego jest bardzo trudnym zadaniem i na pewno nie powinni się za to zabierać początkujący elektronicy. Pozostają jeszcze jednofazowe silniki prądu zmiennego. Występuje kilka rodzajów takich silników.

W tym miejscu należy przypomnieć, że nie wszystkie silniki jednofazowe dają się regulować przez zmianę wartości napięcia zasilającego. Początkującym elektrykom i elektronikom często wydaje się, że co jak co, ale zmniejszenie napięcia na pewno zmniejszy obroty każdego silnika. Rozumują następująco: jeśli przy pełnym napięciu uzyskuje się prędkość nominalną, a przy braku napięcia prędkość zerową, to na pewno istnieje takie napięcie, przy którym uzyska się prędkość równą powiedzmy połowie prędkości nominalnej.

Błąd tego rozumowania tkwi w nieuwzględnieniu faktu, że prędkość obrotowa niektórych silników wyznaczona jest nie przez wartość napięcia, tylko przez częstotliwość przebiegu zasilającego. W przypadku takich silników zmniejszanie napięcia owszem, obniży w pewnych warunkach prędkość obrotową, ale moc oraz mo-

ment obrotowy spadną przy tym do katastrofalnie małej wartości. Listy nadchodzące do redakcji świadczą, że wiele osób nie zdaje sobie sprawy z tego faktu, a potem dziwi się, że jakiś silnik prądu zmiennego nie daje się regulować za pomocą układu, który dobrze reguluje obroty ręcznej wiertarki.

Należy więc jeszcze raz wyraźnie podkreślić, że regulacja prędkości obrotowej przez zmianę napięcia zasilającego może być przeprowadzana tylko w niektórych silnikach - konkretnie w silnikach komutatorowych, a nie zda egzaminu w przypadku innego rodzaju jednofazowych silników prądu zmiennego.

### Podstawowe dane układu scalonego U2008B

Regulator zawiera nowoczesny układ scalony U2008 produkcji firmy Telefunken (wchodzącej w skład koncernu Temic). Kostki U2008 nie należy mylić ze znaną wcześniej kostką U208, która również miała podobne zastosowanie, ale nie miała kilku możliwości, dostępnych wyłącznie w nowszym układzie U2008. Oba wymienione układy wywodzą się ze znanej od lat kostki TEA1007, która również służy do fazowej regulacji mocy. Wspomniane trzy układy scalone mają po osiem nóżek, ale nie są wzajemnie wymienne. Na rynku dostępnych jest jeszcze kilka podobnych układów do fazowej regulacji prędkości obrotowej silni-

#### Uwaga!

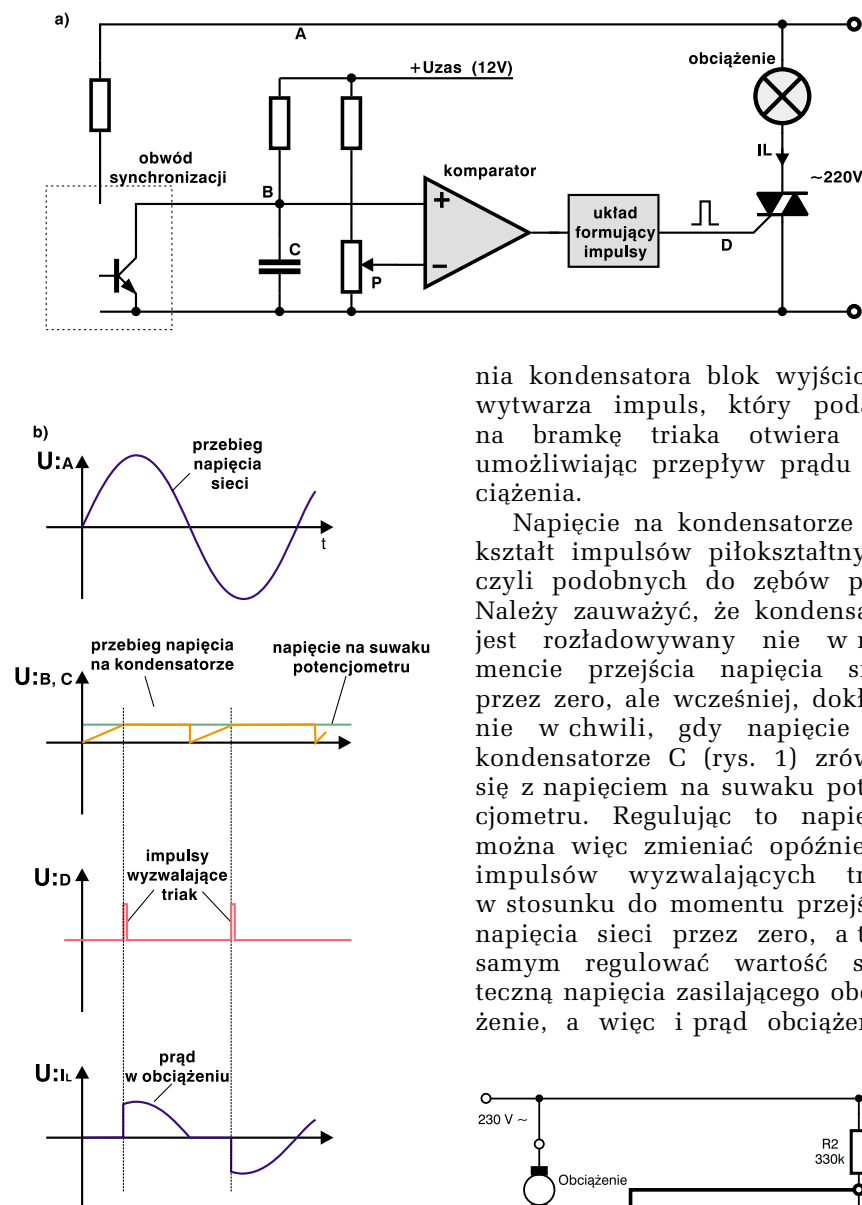
Opisany układ przeznaczony jest do regulacji prędkości obrotowej silników komutatorowych zasilanych napięciem sieci 220V, zwłaszcza do elektronarzędzi (np. wiertarka).

Układ nie nadaje się do regulacji silników prądu stałego, silników bezkomutatorowych prądu zmiennego różnego typu, ani do silników trójfazowych.

Układ nadaje się do fazowej regulacji mocy odbiorników innych niż silniki (np. grzałki), ale w takich zastosowaniach nie są wykorzystane specyficzne cechy użytego specjalizowanego układu scalonego, a ponadto niepotrzebnie generowane są zakłócenia związane ze sterowaniem fazowym. Do regulacji mocy grzania lepiej zastosować sterowanie grupowe, a nie fazowe.

Do wykonania opisanego regulatora w wersji podstawowej nie jest konieczna ani wiedza o silnikach, ani pełne poznanie właściwości użytego układu scalonego. Wystarczy zmontować i uruchomić układ według podanych wskazówek.

Wyczerpujące informacje o układzie scalonym, zawarte w pierwszej części artykułu, są przeznaczone dla Czytelników zaawansowanych, którzy zechcą przeprowadzić eksperymenty i wykorzystać wszystkie właściwości użytego układu scalonego.



Rys. 1. Ogólna zasada regulacji fazowej.

ków (oraz regulacji mocy innych odbiorników), na przykład U209, U210, U211 czy U2010. W niniejszym artykule wyczerpująco opisano właściwości i sposób wykorzystania układu U2008. Ogólna zasada działania układu regulacji fazowej zilustrowana jest na rys. 1.

W momencie, gdy chwilowa wartość napięcia sieci energetycznej wynosi zero, kondensator C2 jest na pewno rozładowany. Po rozpoczęciu każdego półokresu przebiegu napięcia sieci kondensator ten jest ładowany prądem o stałej wartości. Napięcie na kondensatorze rośnie liniowo, a następnie kondensator jest rozładowany. W momencie rozładowa-

nia kondensatora blok wyjściowy wytwarza impuls, który podany na bramkę triaka otwiera go, umożliwiając przepływ prądu obciążenia.

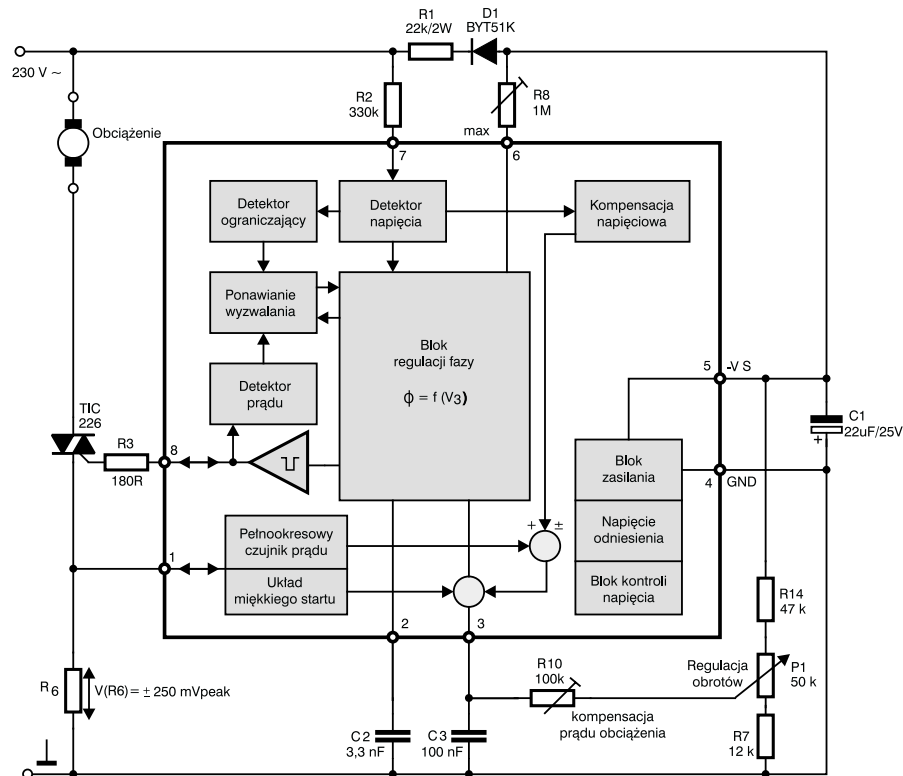
Napięcie na kondensatorze ma kształt impulsów piłokształtnych, czyli podobnych do zębów piły. Należy zauważyć, że kondensator jest rozładowywany nie w momencie przejścia napięcia sieci przez zero, ale wcześniej, dokładnie w chwili, gdy napięcie na kondensatorze C (rys. 1) zrówna się z napięciem na suwaku potencjometru. Regulując to napięcie można więc zmieniać opóźnienie impulsów wyzwalających triak w stosunku do momentu przejścia napięcia sieci przez zero, a tym samym regulować wartość skuteczną napięcia zasilającego obciążenie, a więc i prąd obciążenia.

Na rys. 2 pokazano blokowy schemat wewnętrzny i podstawową aplikację kostki U2008. Układ scalony U2008 zawiera blok zasilania, którego napięcie wyjściowe wynosi 14,5..16,5V. Takie też jest napięcie zasilające układy wewnętrzne kostki. Napięcie to jest dostępne na nóżkach 4 i 5.

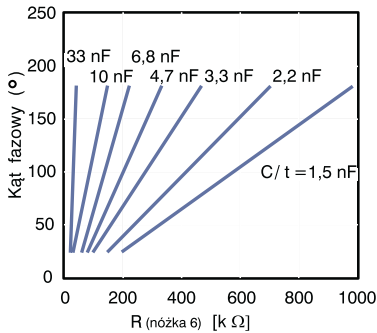
Jak się łatwo domyślić, nóżka 7 to wejście synchronizujące pracę układu z napięciem sieci. Rzeczywiście, obwód ten wykrywa moment przejścia napięcia sieci przez zero i zeruje wtedy wszystkie wewnętrzne bloki układu.

Należy zauważyć, że masą (elektrodą wspólną, punktem odniesienia) jest nóżka 4, natomiast napięcie zasilające (na nóżce 5) jest ujemne w stosunku do masy. Takie rozwiązanie wynika wprost z pewnych właściwości triaka. Mianowicie triak może być wyzwalany impulsami zarówno dodatnimi, jak i ujemnymi. Jednak większą czułość wyzwalania osiąga się przy impulsach ujemnych - stąd korzystne jest ujemne napięcie zasilające.

Dlatego też przebiegi na nóżce 2 mierzone w stosunku do masy będą ujemne, czyli należy je narysować odwrotnie niż pokaza-



Rys. 2. Blokowy schemat wewnętrzny i podstawowa aplikacja układu U2008.



Rys. 3. Kąt zapłonu w funkcji rezystancji dołączonej do nóżki 6.

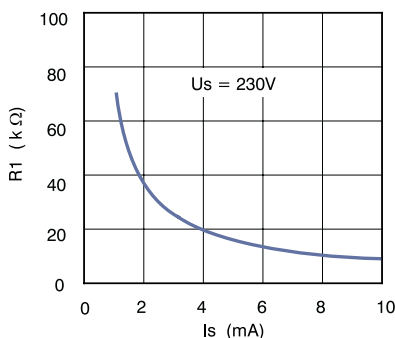
no na rys. 1. Analiza napięć i przebiegów ujemnych mogłaby być dla niektórych Czytelników dość trudna, dlatego na rys. 1 pokazano ogólną zasadę działania, ilustrując to przebiegami dodatnimi.

Napięcie na nóżce 3 (decydujące o kącie zapłonu triaka) jest podawane z potencjometru P1.

Według katalogu, zakres napięć roboczych na nóżce 3 może wynosić -1..-9V. Na podstawie rys. 1, bez trudu można się domyślić, że w kostce U2008 największe opóźnienie i kąt zapłonu triaka, czyli najmniejsze napięcie na obciążeniu uzyskuje się przy napięciu na nóżce 3 równym -9V. Jak z tego widać, potencjometr P1 służy do zmiany napięcia wyjściowego regulatora.

Z przedstawionych informacji wynika, że dla uzyskania potrzebnego zakresu napięć obciążenia (zwykle 0..95% napięcia sieci), należałoby dokładnie dobrać wartości napięć na obu końcach potencjometru, by wynosiły one -1V i -9V. Wymagałoby to dość precyzyjnego dobrania rezystorów, włączonych szeregowo z potencjometrem.

Konstruktorzy układu scalonego poszli zupełnie inną drogą. Przewidzieli możliwość regulacji



Rys. 4. Dobór rezystora ograniczającego.

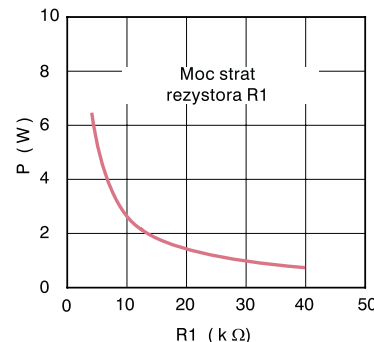
prądu ładowania kondensatora C2 przez zmianę rezystancji dołączonej do końcówki 6. Dzięki temu nie trzeba precyzyjnie dobrać maksymalnych wartości napięcia na nóżce 3 (dobierając żmudnie wartość rezystancji rezystorów włączonych szeregowo z potencjometrem P1). Można zastosować standardowe rezystory z szeregu, a potem dla maksymalnego (najbardziej ujemnego) napięcia na nóżce 3, tak ustawić wartość potencjometru montażowego R8, by uzyskać maksymalne opóźnienie impulsów wyzwalających, a więc napięcie na obciążeniu bliskie lub równe zero.

Inaczej mówiąc, potencjometr R8 ustala maksymalny kąt zapłonu triaka, czyli minimalne napięcie (i prąd) na obciążeniu. W praktycznych zastosowaniach tak ustawia się potencjometr montażowy R8, aby minimalne napięcie na obciążeniu (np. silniku) wynosiło 0..10V. W wielu wypadkach to minimalne napięcie wcale nie musi być równe dokładnie 0V. Z rys. 3 można określić przybliżoną wartość rezystancji dołączonej do nóżki 6, potrzebną do uzyskania maksymalnego kąta zapłonu triaka. Przykładowo, dla pojemności C2 równej 10nF rezystancja ta wynosi około 150kΩ.

Co ważne, czas trwania impulsów wyzwalających triak zależy ściśle od pojemności C2 (rys. 2). Każdy nanofarad pojemności C2 wydłuża o 9μs czas trwania impulsu wyzwalającego na nóżce 8. Przykładowo dla pojemności C2 równej 10nF, długość impulsu wyzwalającego wyniesie:

$$t_p = 9\mu s/nF * 10nF = 90\mu s$$

Jak widać z rys. 3, proponowane przez producenta wartości pojemności C2 mieszczą się w zakresie 1,5nF..33nF.



Rys. 5. Dobór prądu bramki triaka.

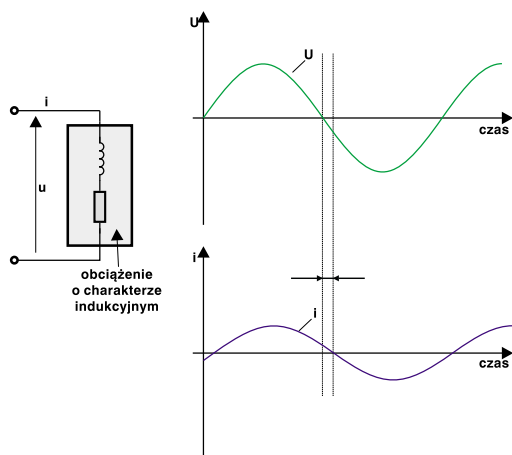
Większe pojemności i dłuższe czasy trwania impulsu wyzwalającego triak mogłyby być potrzebne w przypadku obciążenia o charakterze indukcyjnym. W takim obciążeniu prąd narasta powoli i przy znacznej indukcyjności nie zdąży narosnąć powyżej prądu podtrzymywania triaka (oznaczonego w katalogach  $I_H$ ). Po zaniku impulsu wyzwalającego triak wyłącza się ze względu na zbyt mały prąd przewodzenia. Należy jednak pamiętać, że zwiększanie długości impulsu wyzwalającego oznacza jednocześnie wzrost prądu pobieranego przez układ. Wtedy trzeba zmniejszyć wartość rezystora R1 (rys. 2), by dostarczyć potrzebnego prądu, zwracając uwagę, by był to rezystor o odpowiedniej mocy. Z rys. 4a można określić maksymalną wartość rezystora ograniczającego R1, w zależności od zapotrzebowania na prąd ( $I_s$  - średni pobór prądu). Rys. 4b

pokazuje, jaka musi być obciążalność (moc) takiego rezystora.

W praktyce, zamiast zwiększania długości impulsu wyzwalającego (przez zwiększanie C2), należy raczej równolegle z obciążeniem indukcyjnym włączyć szeregowo obwód RC tak dobrany, by po wyzwoleniu triaka przez cały czas zapewnić przepływ prądu o wartości powyżej prądu podtrzymywania triaka  $I_H$  (najpierw przez obwód RC, potem przez obciążenie indukcyjne).

Rys. 5 pozwala dobrać wartość rezystancji rezystora ograniczającego prąd impulsu wyzwalającego (włączonego między nóżką 8 a bramką triaka), w zależności od katalogowego prądu wyzwalania danego triaka ( $I_{GT}$ ).

Powyżej omówiono ogólnie działanie układu U2008 i jemu podobnych. Kostka ta ma jednak



Rys. 6. Przebiegi napięcia i prądu w obwodzie z indukcyjnością.

szereg innych, bardzo interesujących właściwości i możliwości.

### Dodatkowe informacje o układzie U2008

Przy sterowaniu obciążeń o charakterze indukcyjnym występuje nie tylko problem długości impulsu wyzwalającego, w czasie którego prąd obciążenia powinien narosnąć do wartości  $I_H$  użytego triaka. Trzeba pamiętać, że w indukcyjności prąd opóźnia się względem napięcia, a więc prąd obciążenia będzie płynął przez triak jeszcze w czasie, gdy napięcie sieci zmieni już biegunowość (po najbliższym przejściu przez zero). Ilustruje to **rys. 6**. Jak podano wcześniej, obwód synchronizacji zeruje wewnętrzne obwody w momencie przejścia napięcia sieci przez zero. Po takim wyzerowaniu układ jest gotowy do wytworzenia następnego impulsu wyzwalającego triak. Jeśli jednak taki impuls zostanie podany na bramkę triaka w czasie, gdy przez ten triak płynie jeszcze „spóźniony“ prąd z poprzedniego półokresu, to będzie to impuls stracony - triak jest przecież otwarty i przewodzi aż do chwili, gdy prąd przewodzenia zmniejszy się praktycznie do zera. Natomiast po zaniku prądu triak nie zostanie otwarty, bo w tym półokresie nie pojawi się już następny impuls wyzwalający. Triak zostanie otwarty dopiero w następnym półokresie.

Aby uniknąć takiego nieprzyjemnego zjawiska (występującego powszechnie przy sterowaniu obciążeniami indukcyjnymi, np. trans-

formatorem, za pomocą prostego układu sterującego z triakiem i diakiem), układ sterujący powinien być wyposażony w czujnik prądu, który zapobiegałby wytworzeniu impulsu wyzwalającego przed zanikiem „spóźnionego“ prądu z poprzedniego półokresu. Chodzi o to, by po zmianie biegunowości napięcia sieci, impuls wyzwalający nie pojawił się dopóki nie zaniknie „opóźniony“ prąd z poprzedniego półokresu. Zilustrowano to na **rys. 7**. Dodatkowy obwód zabezpieczający nie powinien dopuścić, by impuls wyzwalający pojawił się w czasie, który na **rys. 7** zaznaczono na czerwono, bo w tym czasie przez obciążenie i triak płynie jeszcze taki „spóźniony“ prąd.

We wcześniejszych układach scalonych regulatorów, na przykład TEA1007 czy nawet w nowszym U208, specjalny obwód (wykorzystujący jedną nóżkę kostki i rezystor) monitorował napięcie na triaku. Jeśli po przejściu napięcia sieci przez zero napięcie na triaku było małe, rzędu 1..2V, to znaczy, że triak nie został zablokowany i płynie przezeń prąd. Taki obwód blokował układ wytwarzania impulsów do czasu, aż napięcie na triaku zaczynało rosnąć, to znaczy, że triak był zablokowany.

W układzie U2008 zastosowano znacznie ciekawszy sposób monitorowania prądu. Nie potrzeba już specjalnej końcówki ani rezystora. Wewnętrzny obwód dołączony do nóżki 8 kontroluje napięcie na bramce triaka. Jeśli napięcie to jest wyższe niż 40mV, to triak przewodzi prąd.

Dodatkową zaletą układu jest możliwość wprowadzenia obwodu tzw. miękkiego startu. To znaczy, że po włączeniu zasilania, nawet gdy potencjometr regulacyjny P1 jest ustawiony na maksymalną prędkość obrotową, silnik nie szarpnie gwałtownie, tylko będzie powoli zwiększał prędkość obrotową od zera

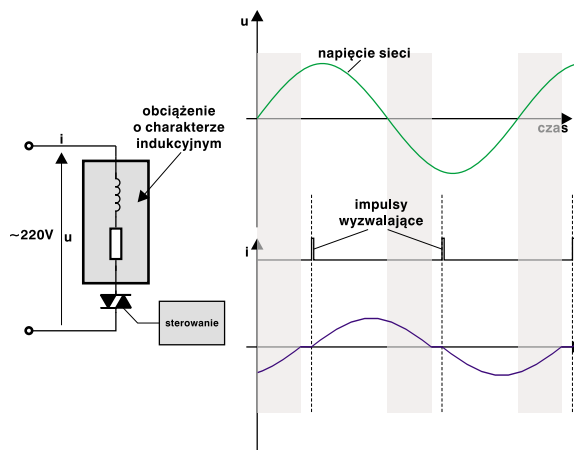
do nastawionej wartości. Funkcja ta dostępna jest po zastosowaniu jednego kondensatora. Zostanie to omówione w dalszej części artykułu.

Układ ma także wewnętrzne obwody zerowania, gwarantujące poprawną pracę i brak przypadkowych impulsów tuż po włączeniu napięcia zasilającego.

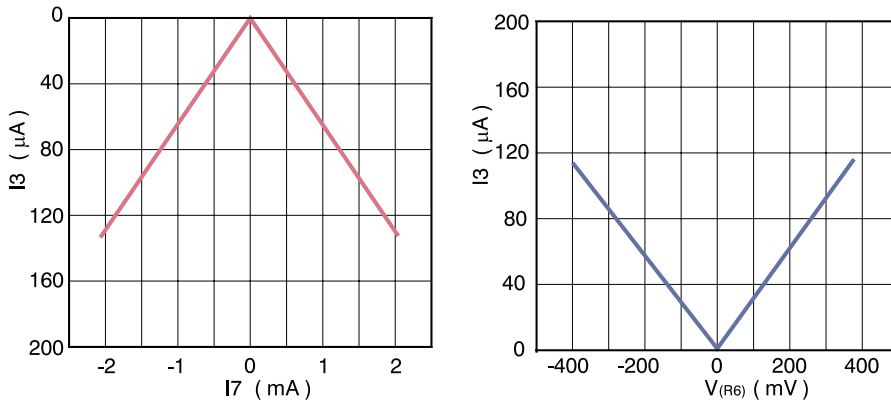
Jak wspomniano, impulsy wyzwalające podawane na bramkę triaka są krótkie, trwają jedynie dziesiątki mikrosekund. Może się więc zdarzyć, że impuls wyzwalający pojawi się w momencie, gdy w sterowanym silniku szczotki przez ułamek sekundy nie dotykały komutatora, albo też impuls wyzwalający pojawił się w momencie krótkiego zakłócenia w przebiegu napięcia sieci. W takich przypadkach triak nie zostałby otworzony, bo przecież warunkiem trwałego otwarcia jest pojawienie się prądu w obwodzie głównym jeszcze podczas trwania impulsu wyzwalającego.

Konstruktorzy kostki U2008 pomyśleli także o takich sytuacjach i wyposażyli swój układ w obwód ponownego wyzwalania (ang. retrigger). Jeśli triak nie został otwarty impulsem wyzwalającym (co układ stwierdzi, monitorując napięcie na jego bramce), po czasie najwyżej kilkuset mikrosekund pojawi się następny impuls wyzwalający. Jeśli i on nie otworzy triaka, po kolejnych kilkuset mikrosekundach pojawi się kolejny impuls, a potem następne.

Początkującym taki sposób pracy układu może wydawać się skutecznym lekarstwem na problem obciążenia indukcyjnego i po-



Rys. 7. Działanie obwodu zabezpieczającego przed zbyt wczesnym wyzwalaniem.



Rys. 8. Charakterystyki końcówki 3 pracującej jako wyjście.

wolnego narastania prądu. W rzeczywistości niewiele to pomaga, bo impulsy wyzwajające nadal są krótkie i prąd w obciążeniu nadal nie zdąży narosnąć do potrzebnej wartości podtrzymywania. Jak wspomniano, lekarstwem na obciążenie o charakterze silnie indukcyjnym jest odpowiedni obwód RC włączony równolegle z obciążeniem. W praktyce nie trzeba się tego obawiać - problem praktycznie nie występuje w przypadku silników, a mógłby dać o sobie znać w zupełnie nietypowych zastosowaniach, na przykład przy próbie umieszczenia triaka po stronie pierwotnej transformatora.

Wnikliwych Czytelników na pewno zainteresuje, dlaczego pomiędzy potencjometrem P1, a nóżką 3 włączono potencjometr montażowy R10 (rys. 2). W ogromnej większości układów wejścia sterujące pobierają bardzo mały prąd, rzędu ułamków mikroampera lub nawet pojedynczych nanoamperów. W takim wypadku wstawianie szeregowego rezystora między potencjometrem a układem zupełnie nie mijają się z celem, bo spadek napięcia na tej dodatkowej rezystancji jest znikomy. Obecność potencjometru w układzie z rys. 2 wskazuje, że w obwodzie końcówki 3 płyną prądy o wartościach przynajmniej rzędu setek mikroamperów. Tak jest w istocie i nie jest to przypadek.

Końcówka 3 nie jest bowiem prostym wejściem, ale jest jednocześnie wejściem i wyjściem. Wejściem, bo kąt fazowy (opóźnienie wyzwajania triaka) jest wyznaczony przez napięcie na tej nóżce, i wyjściem, bo końcówka ta może być źródłem prądu. Właśnie ten

prąd wywoła spadek napięcia na rezystancji R10. Spadek ten doda się lub odejmie od napięcia na suwaku potencjometru P1, a tym samym zmieni kąt wysterowania triaka. Dzięki temu prądowi płynącemu przez nóżkę 3 i spadkowi napięcia, jaki wywołuje na rezystancji R10, możliwa jest podwójna kompensacja: napięciowa i prądowa.

Przez nóżkę 3, w warunkach powiedzmy w dużym uproszczeniu „spoczynkowych“, nie płynie żaden prąd i napięcie sterujące, określające kąt wyzwolenia triaka, jest dokładnie równe napięciu na suwaku potencjometru P1. Jeśli jednak napięcie sieci obniży się, to wskutek działania obwodu kompensacji napięciowej pojawi się prąd wypływający z wyjścia, który spowoduje spadek napięcia na rezystancji potencjometru montażowego R10 i zmianę napięcia na nóżce 3 w kierunku masy, co zmniejszy kąt wysterowania triaka i utrzymanie niezmiennego napięcia na obciążeniu.

Jeśli z kolei obwód monitorowania prądu obciążenia wykryje wzrost prądu, to na wyjściu 3 pojawi się prąd, także wypływający z tego wyjścia, co również spowoduje spadek napięcia na rezystancji R10 i przesunięcie napięcia na nóżce 3 w stronę masy i zwiększenie napięcia na obciążeniu (cały czas należy pamiętać, że układ jest zasilany napięciem ujemnym).

Powyższy opis jest uproszczony i ma wyjaśnić zasadę kompensacji. W rzeczywistości obwody kompensacji napięcia sieci i prądu obciążenia pracują ciągle i współdziałają ze sobą.

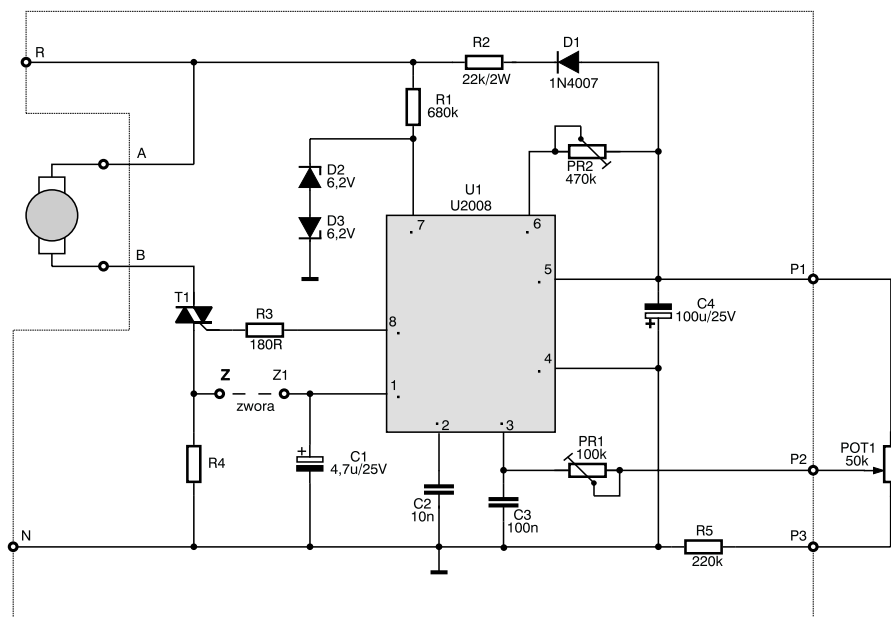
Prostsze układy regulacji, choćby znacznie starsza kostka TE-

A1007 czy nawet układ U208, nie mają takich interesujących możliwości kompensacji.

Układ U2008 ma więc obwody umożliwiające automatyczną korektę wysterowania triaka w zależności od napięcia zasilającego i prądu. Przykładowo, jeśli napięcie zasilające zmniejszy się o 10..20%, co jest możliwe i prawdopodobne, obwód kompensacji napięciowej automatycznie zmniejszy kąt wysterowania triaka (będzie go trochę wcześniej otwierał), czyli utrzyma na obciążeniu stałą wartość napięcia i prędkości obrotowej, byleby tylko triak nie był otwierany od razu na początku półokresu.

Podobnie działa obwód kompensacji prądu obciążenia. Wzrost prądu obciążenia wskazuje na silne obciążenie mechaniczne silnika, czyli zmniejszenie prędkości obrotowej. Obwód monitorujący prąd obciążenia zmniejsza kąt wysterowania triaka, czyli zwiększy dodatkowo napięcie zasilające i prąd, aby także przy dużym obciążeniu utrzymać możliwie stałą prędkość obrotową. Właśnie te bardzo interesujące funkcje mogą być zrealizowane dzięki obecności potencjometru R10.

Kompensacja napięciowa zrealizowana jest dzięki prądowi płynącemu w obwodzie nóżki 7. Wcześniej podano, że nóżka ta służy przede wszystkim do synchronizacji przy przechodzeniu napięcia sieci przez zero. Teraz okazuje się, że pełni ona także inną rolę: wartość prądu płynącego przez rezystor R2 informuje o wartości napięcia sieci. Prąd płynący przez rezystor R2 jest prostowany dwupołkawkowo, a po wyprostowaniu i przetworzeniu, na wyjściu 3 pojawia się odpowiadający mu prąd wpływający, tyle, że kilkunastokrotnie zmniejszony. W zasadzie sprawa jest bardzo prosta: prąd (stały, wpływający) wskazujący wartość napięcia sieci, pojawiający się na nóżce 3 jest 17-krotnie (14..20-krotnie) mniejszy niż prąd (zmienny) płynący przez rezystor R1. Zmieniając stosunek rezystancji R10 i R2 (rys. 2) można dobrać taki współczynnik kompensacji, aby przy zmianie napięcia sieci, prędkość obrotowa pozostawała stała.



Rys. 9. Schemat ideowy modułu regulatora.

Obwód kompensacji prądu obciążenia wykrywa spadek napięcia na rezystorze R6 (rys. 2) i też działa w prosty sposób. Napięcie na rezystorze R6 jest prostowane dwupołkowo i przetwarzane na prąd końcówki 3 ze współczynnikiem  $0,320\mu\text{A}$  na każdy miliwolt napięcia na rezystorze R6 ( $0,28..0,37\mu\text{A/mV}$ ). Przykładowo, jeśli na rezystorze R6 występuje spadek napięcia równy  $200\text{mV}$ , to na wyjściu 3 pojawia się prąd wypływający o wartości:

$$0,32\mu\text{A/mV} \cdot 200\text{mV} = 64\mu\text{A}$$

Dobierając wartość rezystancji R6 (aby nie przekroczyć szczytowej wartości spadku napięcia na nim równego  $300\text{mV}$ ) oraz wartość R10 można tak skompensować układ, by przy wzroście obciążenia silnika prędkość obrotowa pozostawała stała. **Rys. 8a** i **8b** pokazują zależność prądu końcówki 3 od prądu płynącego przez rezystor R2 i napięcia na rezystorze R6.

Z powyższych danych jednoznacznie wynika, że uzyskanie dobrej kompensacji napięciowej i prądowej wymaga albo obliczenia potrzebnych wartości rezystancji R2, R6 i R10, albo ich dobranie eksperymentalne. Głównie dotyczy to wartości R6, która musi być dostosowana do konkretnego obciążenia.

Część Czytelników zapewne jest w tym momencie przerażona i gotowa zrezygnować z omówionych właśnie interesujących moż-

liwości kostki. Nie ma powodu do niepokoju! Wskazówki podane w tej części artykułu w zupełności wystarczą do praktycznego wykorzystania obwodów kompensacji napięciowej i prądowej - trzeba tylko przeprowadzić kilka prostych eksperymentów z obniżaniem i podwyższaniem napięcia sieci i mechanicznym obciążeniem silnika.

Mniej doświadczeni Czytelnicy zupełnie nie muszą się obawiać wspomnianych trudności, bowiem w prosty sposób można wyłączyć obydwie kompensacje i pomimo tego uzyskać regulator obrotów silnika, wyposażony przy okazji w szereg dodatkowych, cennych funkcji, opisanych we wcześniejszych akapitach.

Nawet więcej: jeśli ktoś chce wykorzystać funkcję miękkiego startu, musi zrezygnować z kompensacji prądu obciążenia, bo funkcje te wykorzystują tę samą końcówkę (nóżka 1) i nie można ich wykorzystać jednocześnie (osoby zainteresowane wykorzystaniem obu tych funkcji muszą zastosować inną kostkę, na przykład rozbudowany układ U2010).

Natomiast wyłączenie kompensacji napięcia sieci następuje po włączeniu między nóżkę 7 a masę (n. 4) dwóch diod Zenera o napięciu  $6,2\text{V}$ , włączonych szeregowo-przeciwobnie.

## Opis urządzenia

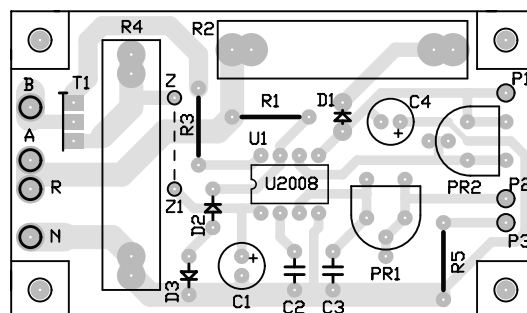
Schemat ideowy praktycznego układu regulacyjnego pokazano na **rys. 9**. Jest to w zasadzie fabryczna aplikacja, umożliwiająca albo zrealizowanie funkcji miękkiego startu (przez zastosowanie kondensatora C1 i zwarcie R4 - **rys. 9**), albo też wprowadzenie kompensacji prądu obciążenia (bez kondensatora C1, ale z rezystorem R4 i zworą Z-Z1). Jak wspomniano, diody Zenera D2 i D3 umożliwiają wyłączenie obwodów kompensacji napięcia sieci i obwodu ponownego wyzwalania (retrigger). Potencjometr umożliwia płynną regulację obrotów. Kondensator C2 i czynna rezystancja potencjometru PR2 wyznaczają maksymalny kąt zapłonu, czyli minimalne napięcie skuteczne na obciążeniu.

Potencjometr PR1 umożliwia między innymi dobranie zakresu zmian kąta fazowego, by w skrajnych położeniach głównego potencjometru P1 uzyskać na obciążeniu napięcia bliskie zeru i pełnemu napięciu sieci.

## Montaż i uruchomienie

**Uwaga! W opisanym układzie występują napięcia groźne dla życia i zdrowia. Osoby bez odpowiednich kwalifikacji mogą wykonać i uruchomić opisany układ tylko pod opieką wykwalifikowanych osób dorosłych.**

Montaż układu na płytce z **rys. 10** nie powinien nikomu sprawić trudności. W wersji podstawowej nie przewiduje się rezystora R4, należy go zastąpić zworą. Należy włutować kondensator C1, nie montować zwory Z - Z1. W zestawie AVT-422B przewidziano diody Zenera D2, D3, których włutowanie wyłączy kompensację napięciową i ponowne wyzwalanie. Po zmontowaniu należy dołączyć obciążenie (np. silnik wiertarki)



Rys. 10. Schemat montażowy.

i ustawić rezystancje potencjometrów PR1 i PR2.

Jest to bardzo łatwe i nikomu nie powinno sprawić trudności. Najpierw, przy ustawieniu potencjometru P1 na minimum, należy ustawić PR2 tak, by napięcie na obciążeniu (silniku) wynosiło 0..10V. Potem, w drugim skrajnym ustawieniu potencjometru P1, należy za pomocą PR1 ustawić maksymalne napięcie na obciążeniu, zbliżone do napięcia sieci. Wcześniej należy zmierzyć napięcie sieci, bo często różni się od nominalnego. Maksymalne napięcie na obciążeniu będzie o kilka woltów mniejsze od napięcia sieci.

Po takiej regulacji jeszcze raz należy sprawdzić napięcie na obciążeniu, przy ustawieniu P1 na minimum - zazwyczaj nie będzie potrzebna żadna korekcja położenia PR2.

Układ modelowy został wypróbowany najpierw w wersji z kondensatorem C1 (miękki start) i diodami Zenera D2, D3. Tym samym oba obwody kompensacji zostały wyłączone.

Wypróbowano współpracę układu zarówno z wiertarką elektryczną, jak i z żarówką. Nie wy-

stały żadne problemy. Później wypróbowano działanie układu bez diod D2, D3 - układ również pracował poprawnie, trzeba tylko było nieco skorygować ustawienie potencjometrów PR1 i PR2.

Zaawansowani Czytelnicy zapewne zechcą wypróbować działanie obwodów kompensacji. Należy wtedy włutować dobrany samodzielnie rezystor R4, włutować zwrót Z-Z1, a nie montować C1, D2, D3. Wskazówki dotyczące doboru elementów zostały podane w początkowej części artykułu.

**Uwaga! Na elementach układu może wystąpić pełne napięcie sieci. Wszelkie regulacje potencjometrów należy przeprowadzać po odłączeniu układu od sieci, a w żadnym wypadku w pracującym układzie!**

Zestaw AVT-422 jest przeznaczony do celów edukacyjnych, a nie do pracy w, niekiedy trudnych, warunkach warsztatowych. Osoby, które chciałyby wykorzystać go do innych celów niż eksperymenty, muszą we własnym zakresie zatroszczyć się o obudowę, skutecznie chroniącą przed porażeniem. Dla zwiększenia bezpieczeństwa, wskazane by-

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

R1: 680kΩ  
R2: 22kΩ/2W  
R3: 180Ω  
R4: zwrora (patrz tekst)  
R5: 220kΩ  
PR1: 100kΩ  
PR2: 220kΩ lub 470kΩ  
POT1: potencjometr 47kΩ/A

### Kondensatory

C1: 4,7μF/25V  
C2: 10nF foliowy MKT  
C3: 100nF foliowy MKT  
C4: 100μF/25V

### Półprzewodniki

D1: dioda 1N4007  
D2, D3: diody Zenera 6,2V  
T1: triak 4..6A 600V (np. TIC226, BTA12/600)  
U1: U2008

łoby zastosowanie potencjometru z ośką z tworzywa sztucznego.

Wykonawca układu musi się zatroszczyć, by zastosowana obudowa i jej właściwości ochronne odpowiadały obowiązującym przepisom bezpieczeństwa.

**Piotr Górecki, AVT  
Zbigniew Orłowski**