

Samochodowe urządzenia zapłonowe

część 1

Postęp w elektronice motoryzacyjnej w ostatnich latach jest ogromny. Po wprowadzeniu układów wtryskowych i mikroprocesorowych układów zapłonowych, właściwie już nie ma możliwości żadnych ulepszeń, a jedynie pozostaje obsługa świec i utrzymanie w czystości dostępnych elementów elektrycznych.

Problem zapłonu powraca przy restauracji starszych pojazdów zabytkowych czy kulturowych, a także tych wyposażonych w gaźnik i elektroniczny układ zapłonowy, tzw. I generacji, czyli moduł elektroniczny sterowany czujnikiem bezstykowym i regulatorem odśrodkowym. Pojazdów takich jest jeszcze dużo i mimo że mają sporo lat, to często niewielkie przebiegi, i opłaca się jeszcze przy nich „pomajstrować”. Zupełny brak artykułów o układach zapłonowych w „EdW” raczej nie wynika z posiadania przez Czytelników samych nowoczesnych pojazdów, a z tego, że urządzenia zapłonowe traktowane są jako coś nieznanego i trudnego. Tymczasem są to dość proste układy elektroniczne w porównaniu z urządzeniami powszechnego użytku czy urządzeniami konstruowanymi przez amatorów. Pracują one na nieco innych zasadach, a poznanie ich na pewno zachęci wielu majsterkowiczów do zajęcia się bliżej układem zapłonowym własnego pojazdu. Poprawa parametrów silnika, jego łatwiejszy rozruch w zimie może sprawić wiele satysfakcji przy stosunkowo niewielkich kosztach. Poznanie „wnętrza” i diagnostyki układów zapłonowych może uchronić przed kupowaniem „w ciemno” modułów, cewek zapłonowych itp., gdy tymczasem przyczyna niesprawności jest zupełnie inna.

Najbardziej rozpowszechnionym układem jest zapłon akumulatorowy często nazywany klasycznym czy bateryjnym, wykorzystujący energię zmagazynowaną w cewce zapłonowej za pomocą akumulatora. Wynalazek ten ma już około 100 lat i właściwie ten rodzaj przetwarzania energii stosowany jest również w najnowszych samochodach, tyle że cewką zapłonową steruje tranzystor poprzez komputer pokładowy, a nie jak dawniej – przerywacz z kondensatorem.

Kilkanaście lat temu swoje „pięć minut” miały układy zapłonowe oparte na gromadzeniu energii w kondensatorze, zwane tyrystorowymi. Obecnie są one jeszcze stosowane tam, gdzie nie ma akumulatora, np. kosiarki, pilarki, motorowery. W samochodach nie są stosowane ze względu na trudności w miniaturyzacji (budowa przetwornicy 12/400V) oraz bardzo krótki czas wyładowania iskrowego, co prowadzi do pogorszenia parametrów silnika.

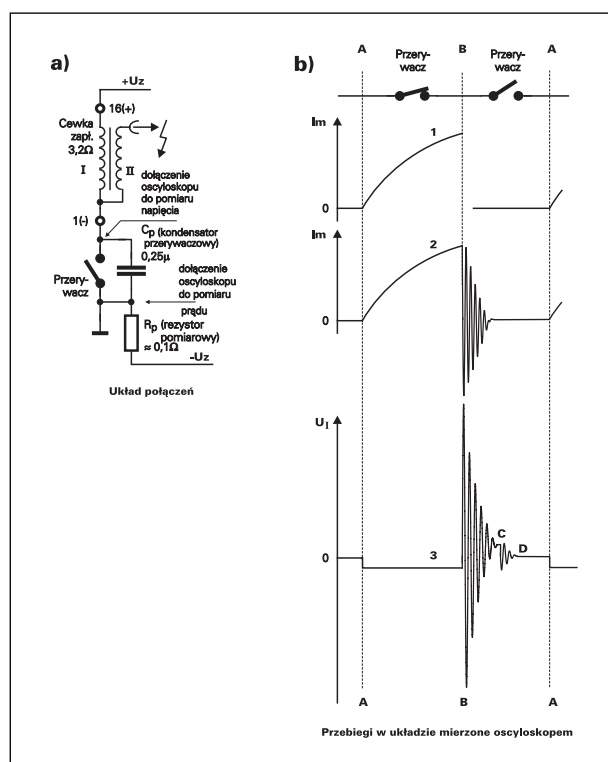
Podstawowe różnice w działaniu zapłonu klasycznego i elektronicznego

Szczegółowy opis działania zapłonu klasycznego wraz z towarzyszącymi wzorami jest w każdej książce dotyczącej elektrotechniki samochodowej i powtarzanie go tu nie ma sensu. Wiadomo, że powstawanie siły elektromotorycznej (SEM) samoindukcji polega na gwałtownym przerwaniu prądu (I_m) płynącego przez uzwojenie pierwotne cewki zapłonowej. SEM ta jest tym wyższa, im zanik prądu jest szybszy. Popatrzmy na **rysunek 1b**. W momencie A przerywacz włącza prąd cewki zapłonowej, który nie ma od razu pełnej wartości, lecz rośnie według krzywej wykładniczej i osiąga po dłuższym czasie maksimum wynikające z prawa Ohma, czyli np. $12V/3\Omega=4A$. Cewki przystosowane do tego typu zapłonu mają właśnie rezystancję ok. 3Ω , dlatego prąd bezpieczny dla przerywacza powinien wynosić około 4A.

Zamiast nawijać uzwojenie pierwotne cienkim drutem uzyskując pożądaną rezystancję, można wykonać uzwojenie grubszym drutem, uzyskując ok. $1,5\Omega$, a dodatkowo, poza cewką włączyć w szereg rezystor ok. $1,5\Omega$. Cewka wtedy mniej się nagrzewa, ale nieco komplikuje się układ połączeń. Komplikacji można uniknąć włączając w doprowadzenie napięcia przewód rezystancyjny, jak to jest we fiacie 126p. Indukcyjność cewki pozostanie bez zmian, bo zależy od liczby zwojów. Szybkość narastania prądu zależy właśnie głównie od indukcyjności cewki i czym jest ona większa, tym osiągnięcie prądu I_m trwa dłużej. Powróćmy jednak do przebiegu prądu w cewce. W momencie B prąd zostaje przerwany przez podniesienie młoteczka przerywacza pod działaniem krzywki na osi aparatu zapłonowego. Jeśli na zaciskach przerywacza nie będzie dołączony kondensator zapłonowy (najczęściej $0,25\mu F$), to przebieg będzie taki jak na rysunku 1b – krzywa 1. Zanik prądu jest dość powolny, ma kształt pierzasty i trwa

ok. $0,3ms$ dla typowej cewki $9,4mH/3,3\Omega$. Na zewnątrz widać silne iskrzenie styków przerywacza i maksymalną iskrę na uzwojeniu wtórnym o długości 3-4mm. Dołączmy teraz kondensator zapłonowy C_p i popatrzmy na przebieg z rysunek 1b – krzywa 2. Przebieg do momentu B będzie taki sam jak poprzednio, ale od momentu B zaczynają się „piękne” oscylacje w postaci malejącej „harmonijki”, trwającej do 1ms. Na zewnątrz nie widać już prawie iskrzenia styków przerywacza, a na iskierniku utworzonym z drutu od gniazda wysokiego napięcia do plusa zasilania (lub drugiego końca uzwojenia pierwotnego cewki) przeskakuje iskra o długości do ok. 15mm. Jednak przy powolnym kręceniu wałka aparatu zapłonowego iskra jest mniejsza, a iskrzenie przerywane większe. Powolniejsze rozwieranie styków wywołuje właśnie iskrzenie, powolniejszy zanik prądu I_m a

Rys. 1 Schemat klasycznego układu do pomiarów wyładowania iskrowego



kondensatorem a cewką zapłonową. Kąt, o jaki obraca się wałek aparatu zapłonowego (lub wału korbowego – WK) między momentami A i B nazywa się kątem zwarcia i oznaczony jest β_z , a wyraża dokładnie kąt zwarcia styków przerywacza.

Kąt β_z ustalany jest przez konstruktorów kompromisowo między czasem narastania prądu przy dużych obrotach (związany z indukcyjnością cewki zapłonowej) a czasem przerwy I_m , gdzie musi się zmieścić wyładowanie iskrowe, trwające ok. 1,5ms, a także stratami cieplnymi (zależnymi też od liczby cylindrów). Aby możliwa była obserwacja prądu I_m za pomocą oscyloskopu, należy między obudowę aparatu zapłonowego a minus zasilania włączyć rezystor pomiarowy R_p o wartości ok. $0,1\Omega$, jak na **rysunku 1a**. Oczywiście jest, że takiego pomiaru nie należy wykonywać w samochodzie, tylko na stole, napędzając aparat zapłonowy np. za pomocą wiertarki z regulacją (lub autotransformatorem) sprzęgniętej gumowym wężkiem.

Teraz przełączamy oscyloskop na większy zakres, tak aby zmieścił się przebieg o wartości $\pm 300V$. Przełączamy też zacisk pomiarowy na przewód przerywacza połączony z cewką zapłonową i obejrzymy wyładowanie iskrowe po stronie pierwotnej. Rezystor pomiarowy R_p można już usunąć, chociaż jego obecność nie przeszkadza. UWAGA! Podczas tego pomiaru nie dotykamy do punktów obwodu łączącego przerywacz z cewką zapłonową, bowiem występuje tu napięcie impulsowe ok. $\pm 300V$, co grozi nieprzyjemnym porażeniem, a dotyczy także tego miejsca w samochodzie przy pracującym silniku. Uzyskamy przebieg identyczny lub podobny jak na rys. 1b, krzywa 3.

Przed momentem A oscyloskop wskaże napięcie zasilania, czyli ok. 12V. W A zostają zwarte styki przerywacza i napięcie aż do

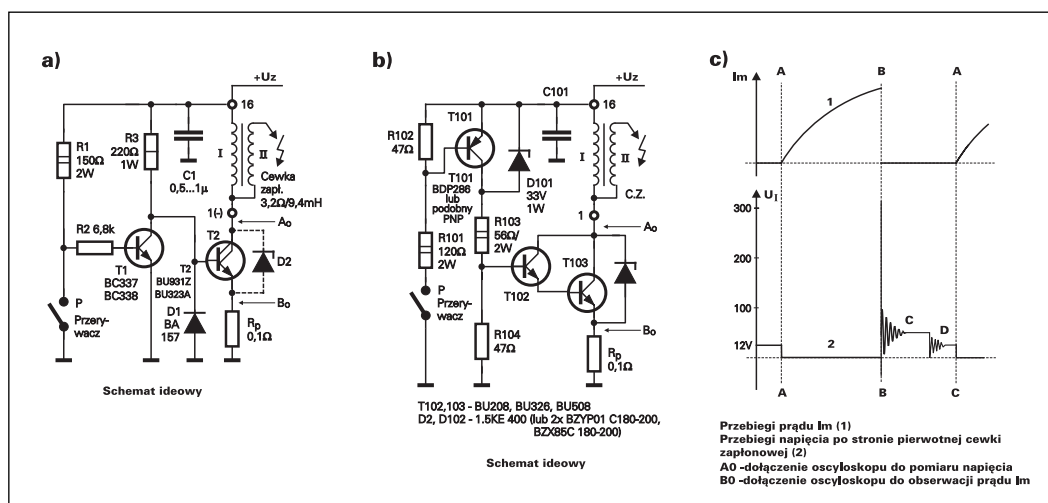
momentu B będzie prawie równe zero (poza niewielkim napięciem na stykach przerywacza, rzędu $0,1...0,2V$). W momencie B (rys. 1b) następuje zanik prądu w postaci oscylacyjnej jak pokazuje krzywa 2 i wytworzona SEM samoindukcji będzie miała podobny przebieg o wartości początkowej od $+300V$ do $-300V$, czyli dynamika wyniesie aż ok. $600V$. Ta część początkowa wyładowania iskrowego nazywa się fazą pojemnościową i trwa ok. $25\mu s$. Oscylacje są coraz słabsze i osiągają minimum w momencie C, ale poziom względem masy (- zasilania) wynosi ok. $30V$. Nietrudno obliczyć, że po stronie wtórnej wyniesie to $30V$ razy przekładnia cewki, czyli ok. $2400V$. Jest to faza indukcyjna wyładowania iskrowego i trwa ok. $1,5ms$, ale może się zmieniać w zależności od wartości prądu I_m , indukcyjności i sprawności cewki, a także od wielkości przerwy iskrowej (w silniku przerwy na świecy). Oczywiście jest, że zwiększenie I_m wydłuża wyładowanie, zwiększenie przerwy skraca czas wyładowania, cewka sprawniejsza (zamknięty obwód magnetyczny) – wyładowanie dłuższe. Od momentu C do D obserwujemy zanikający przebieg oscylacyjny na poziomie napięcia zasilania; ponieważ przerywacz jest otwarty, to oscyloskop mierzy praktycznie $+U_z$. W momencie A styki przerywacza zamykają się i cykl się powtarza. Przebieg po stronie wtórnej jest podobny, lecz napięcia fazy pojemnościowej i indukcyjnej są tyle razy większe, ile wynosi przekładnia cewki. Jeśli przekładnia wynosi 70, to będzie to $21000V$ fazy pojemnościowej i ok. $2100V$ fazy indukcyjnej, ale cewka ma jeszcze straty i tyle może nie być. Po stronie wtórnej obserwuje się jeszcze niewielki impuls ujemny o wartości do $2kV$ w momencie A, czyli zwarcia przerywacza, ale nie ma on wpływu na pracę silnika, bo ma za małą wartość do przebicia przerwy iskrowej.

Zmontujmy teraz prosty układ elektroniczny w postaci „pajaka” według schematu z **rysunku 2a**. Elementem kluczującym prąd

I_m będzie teraz tranzystor mocy wysokiego napięcia (WN), darlington np. typu BU323(A), BUX37, BU921(Z), natomiast przerywacz będzie tylko elementem sterującym (w samochodzie jest jednocześnie elementem synchronizującym). Jeśli nie posiadamy takiego tranzystora, bo nie jest to element powszechnego użytku i nie jest łatwy do nabycia, to zmontujmy układ według **rysunku 2b**. Tranzystory typu BU208, BU326, BU508, KT838 są wszechobecne w każdym sklepie z drobnicą elektroniczną. W układzie z rys. 2a rezystor sterujący R3 przewodzi prąd cały czas, jeśli przewodzi T1, to przez niego, a jeśli T1 będzie zatkany, to przez złącze BE T2. A ponieważ monolityczny darlington ma duże wzmocnienie (rzędu 200-700 przy $I_m=4A$), to rezystor R3 może mieć dość dużą wartość, rzędu 200-470 Ω i moc do przyjęcia. Tranzystory mocy z rys. 2b mają małe wzmocnienie rzędu 4-8 przy $I_m=4A$, więc musi być rezystor R103 o niewielkiej rezystancji, a ponieważ w podanym układzie przewodzi on prąd tylko wtedy, gdy zwarte są styki przerywacza, to moc ogólna będzie znacznie mniejsza od tej, gdyby był włączony cały czas. Jeśli tranzystory mocy będą w obudowach TO3, to niepotrzebne będą radiatory, natomiast jeśli w TO218 lub TO220, to można je zamontować na kawałku blachy aluminiowej o grubości 1-2mm i powierzchni 15-20 cm^2 . Jeśli mamy do dyspozycji tranzystor darlingtona BU921 lub BU931 z literką Z, to zbędna będzie dioda D2, ponieważ mają one wysokonapięciową diodę Zenera w strukturze własnej.

Po sprawdzeniu połączeń uruchamiamy układ i mierzymy oscyloskopem przebiegi prądowe na rezystorze R_p , a napięciowe na kolektorze tranzystora mocy. Od momentu A z **rysunku 2c** prąd przebiega tak samo jak w układzie klasycznym, natomiast w momencie B krzywa 1 urywa się i dokładnie od tego miejsca zaczyna się linia zerowa. Moment zaniku prądu I_m jest bardzo szybki i na ekranie zupełnie niewidoczny. Czasem pojawiają się różne „śmieci” i oscylacje, jeśli tranzystor mocy poprzedzony jest wtórnikiem emiterowym, szczególnie z cewką 4226. Przełączamy teraz oscyloskop na taki zakres, aby zmieściły się przebiegi o amplitudzie 300-400V i dołączamy oscyloskop do masy i kolektora tranzystora mocy. Faza pojemnościowa jest o ok. 10% wyższa od tej z układu klasycznego, ale półfala ujemna jest niska w wyniku istnienia diody wstecznej na złączu K-E tranzystora mocy. Oscylacje przejściowe są bardzo słabe (rys. 2c), a faza indukcyjna

Rys. 2 Schemat układu stykowo-tranzystorowego do pomiaru wyładowania iskrowego



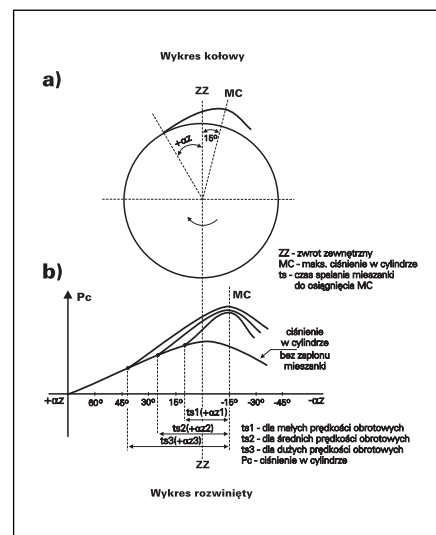
prawie gładka, w formie „siodelka” i o ok. 15% dłuższa niż w układzie klasycznym. Nawet przy najwolniejszym obracaniu aparatu zapłonowego przebiegi są idealnie równe i nie ma spadku napięcia wysokiego jak w układzie klasycznym. Przerwywacz też nie nie iskrzy, bo przerywa niewielki prąd bezindukcyjny niewymagający kondensatora, ale niewielki prąd jest jednak potrzebny do samoooczyszczania styków, i stąd obecność rezystora R1 o niewielkiej rezystancji i sporej mocy. Przeglądając schematy modułów profesjonalnych, często spotyka się na złączu K-E tranzystora mocy kondensator 220nF. Włączamy jeszcze na chwilę cały układ i obejrzymy przebiegi prądu i napięcia wyjściowego po dołączeniu tego kondensatora. Co się okazało? Przebiegi są identyczne jak w klasycznym układzie, jedynie obcięte są ujemne półfale przez diodę wsteczną D2. Przebiegi są oscylacyjne, krótsza fala indukcyjna, niższa faza pojemnościowa. Wniosek jest oczywisty: kondensator natychmiast usuwać i „wrzucić kamyczek do ogródka” konstruktorom tych modułów. Osobiście wykonałem kilkadziesiąt różnych urządzeń zapłonowych, nigdy nie montowałem kondensatorów na złączu K-E tranzystora mocy i nie zauważyłem nigdy awarii tranzystora z tej przyczyny (od tego są wysokonapięciowe diody Zenera). Mimo że tranzystor mocy „kradnie” ok. 1V napięcia zasilania, to i tak wszystkie parametry są lepsze niż w klasycznym układzie zapłonowym. Układy pokaza-

ne na rys. 2a i 2b mogą być wykonane na płytkach i zainstalowane w samochodzie przy współpracy z cewką wysokorezystancyjną, czyli ok. 3,2Ω, stosowaną powszechnie w układach klasycznych, oczywiście po usunięciu rezystora Rp i połączeniu emitera tranzystora mocy z masą. Praktycznie, montując taki układ w samochodzie, uzyskamy poprawę rozruchu w niskich temperaturach, mniejsze zużycie przerywacza i większą równomierność pracy silnika. Zwiększenia energii wyładowania jednak nie uzyskamy, jeśli będzie nadal cewka z układu klasycznego. Znaczną poprawę parametrów silnika uzyskamy dopiero instalując układ zapłonowy z cewką niskorezystancyjną, umożliwiającą uzyskanie większego prądu I_m , ale o tym dalej. Teraz wypada zająć się kątem wyprzedzenia zapłonu α_z , a doбором kąta zwarcia zajmijmy się przy projektowaniu przesłony do optoelektronicznego czujnika bezstykowego.

Kąt wyprzedzenia zapłonu

Aby silnik pracował prawidłowo, wyładowanie iskrowe musi nastąpić w odpowiednim momencie. Czas spalania mieszanki (t_s) począwszy od przeskoku iskry do osiągnięcia maksymalnego ciśnienia w cylindrze (MC) wynosi kilka ms. Maksymalne ciśnienie powinno występować w ok. 15° OWK (obrotu wału korbowego) po zwrocie zewnętrznym (ZZ rysunek 3a). Nietrudno obliczyć, że aby utrzymać MC w stałym punkcie, należy moment zapłonu przyspieszać wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika (t_{s1} , t_{s2} , t_{s3} rysunek 3b). Kąt zawarty między punktem zapłonu mieszanki a zwrotem zewnętrznym na-

zywa się kątem wyprzedzenia zapłonu i oznacza się $+\alpha_z$. W praktyce regulatorem zwiększającym $+\alpha_z$ jest mechanizm odśrodkowy zamontowany na osi aparatu zapłonowego, rzadziej wału korbowego. Czas spalania mieszanki nie jest stały i zależy od wielu czynników, tj. od temperatury silnika i otoczenia, wilgotności powietrza, kształtu komory spalania, stopnia sprężenia, ale najbardziej (po prędkości obrotowej) od zageszczania mieszanki w cylindrze, czyli od stopnia otwarcia przepustnicy (potocznie mówi się - od obciążenia silnika). Aby otrzymać silnik „elastyczny”, należy zamontować dodatkowy regulator, który opóźniałby

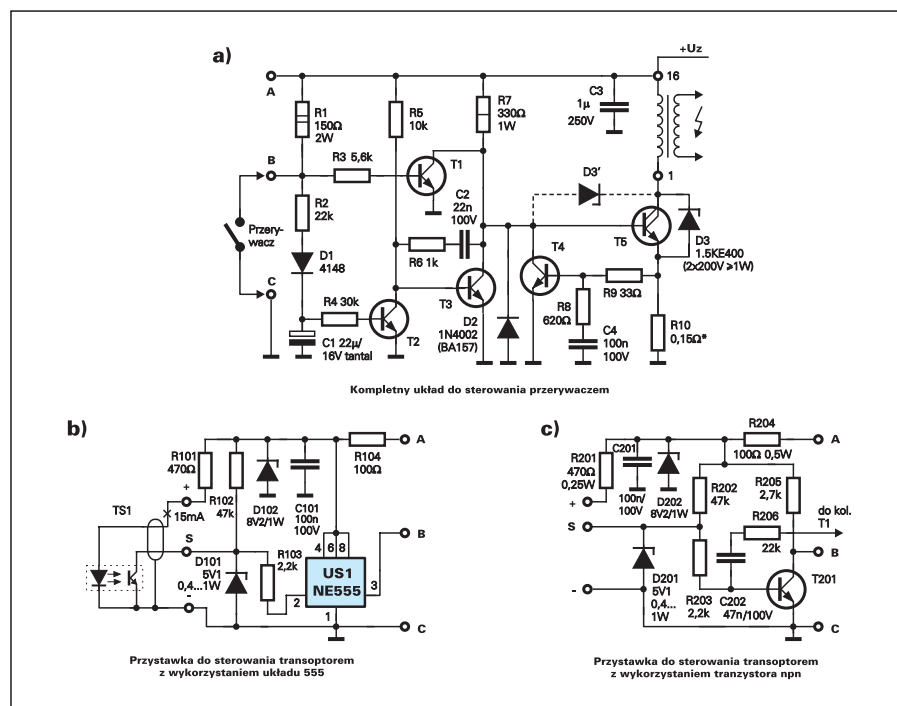


Rys. 3 Wyjaśnienie zasady wyprzedzenia zapłonu

Rys. 4 Schemat uniwersalnego modułu zapłonowego

Wykaz elementów uniwersalnego modułu zapłonowego (patrz rysunek 4)

R1	.....	150Ω/2W
R2,R206	.....	22kΩ
R3	.....	5,6kΩ
R4	.....	30kΩ
R5	.....	10kΩ
R6	.....	1kΩ
R7	.....	330Ω/1W
R8	.....	620Ω
R9	.....	33Ω
R10	.....	0,15Ω drutowy (doblerany)
R101,R201	.....	470Ω
R102,R202	.....	47kΩ
R103,R203	.....	2,2kΩ
R104,R204	.....	100Ω/0,5W
R205	.....	2,7kΩ
R206	.....	22kΩ
C1	.....	22μF/16V tantal
C2	.....	22nF/100V MKSE020
C3	.....	470nF...1μF/250V MKSE020
C4,C101,C201	.....	100nF/100V MKSE020
C202	.....	47nF/100V MKSE020
T1-T4,T201	.....	BC337/25...40
T5	.....	BU9312P, BU323(A,P), BUX37 (β≥200)
US1	.....	NE555
D1	.....	1N4148
D2	.....	1N4002...7 lub BA157...9
D3	.....	1 x 5KE 350-400 lub 2 x BZX (BZY) 85C200, lub 2 x BZYP01C 180-200
D101,D201	.....	5V1 0,4W-1W
D102,D202	.....	8V2 1W-1,3W, np. BZX85C lub BZV85C
TS1	.....	transp. szczelniny



kąt α jednocześnie ze zwiększeniem otwarcia przepustnicy. W aparatach klasycznych rolę tę pełni regulator podciśnieniowy, wykorzystujący różnicę siły ssania przy różnych otwarczeniach przepustnicy w otworze umieszczonym w kolektorze dolotowym tuż przed zamkniętą przepustnicą. Znacznie gorsza jest sytuacja w dawniejszych silnikach dwusuwowych, gdzie dla uproszczenia zastosowano stały kąt α . Nietrudno się domyślić, że jedynym ratunkiem dla takiego silnika jest układ ze zmiennym punktem zapłonu regulowanym samoczynnie za pomocą elektroniki. Obecnie jeżdżę na takim urządzeniu zamontowanym we fiacie 126p i jeśli będzie zainteresowanie Czytelników, proszę pisać do Redakcji EdW, to chętnie udostępnię opis takiego urządzenia, jak również innych z elektronicznymi regulatorami α .

Uniwersalne proste urządzenie zapłonowe

Skoro już wiemy jak powstaje iskra zapłonowa, a mamy jakiś starszy pojazd wyposażony w klasyczny układ zapłonowy, to najwyższy czas zbudować jakieś nieskomplikowane, ale dobre urządzenie zapłonowe. Z założenia powinno być nadal sterowane przerywaczem (ale tylko chwilowo), z możliwością zamontowania czujnika bezstykowego, najlepiej transoptora, dostosowane do pracy z cewką klasyczną, ale z możliwością zastosowania niskorezystancyjnej (w celu zwiększenia energii wyładowania), a także wyposażone w automatykę samowylączania prądu Im przy niewyłączonej stacyjce oraz zbudowane z łatwo dostępnych elementów. Schemat modułu zapłonowego przedstawiony jest na **rysunku 4a**. Jest to stopień sterujący, stopień mocy z ogranicznikiem prądu i automatyką, przeznaczony do sterowania przerywaczem, ale jeśli ktoś ma zamiar wykonać układ bezstykowy, teraz czy w przyszłości, to płytkę lepiej od razu zaprojektować na pełną wersję. Układ działa następująco:

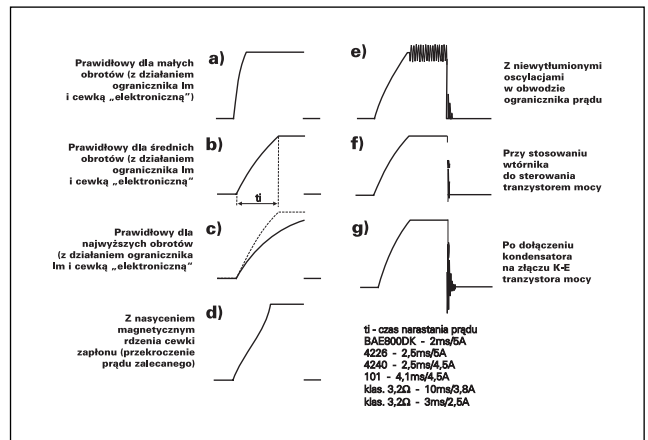
Po zwarceniu styków przerywacza napięcie w punkcie B ma wartość prawie zerową, tranzystor T1 zostaje zablokowany i nie przewodzi, wówczas przez rezystor R7 zostaje wysterowany tranzystor mocy i płynie prąd cewki o wartości zależnej od rezystancji cewki, jeśli jest klasyczne, lub wartości rezystora R10, jeśli zastosowana jest cewka niskorezystancyjna, tzw. „elektroniczna”. Tranzystor T4 pracuje jako ogranicznik Im. Gdy napięcie na rezystorze osiągnie wartość ok. 0,7V, zaczyna przewodzić tranzystor T4 ograniczając wysterowanie tranzystora mocy i nie dopuszczając do dalszego wzrostu prądu. Prąd ten łatwo obliczyć dzieląc 0,7V przez wartość rezystora R10, np.:

1) $0,7V:0,15\Omega=4,6A$ jest to wartość zalecana do cewek 4240 lub 101

2) $0,7V:0,12\Omega=5,8A$ jest to wartość zalecana do cewek niskorezystancyjnych, jak 4226 i BAE800DK.

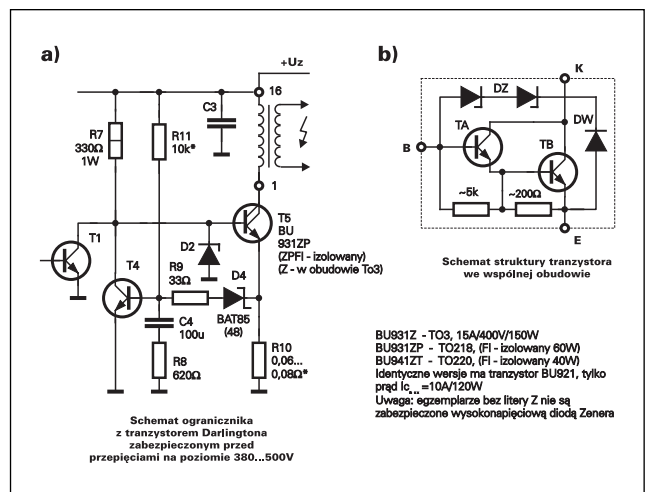
Prawidłowe i nieprawidłowe przebiegi prądu Im podane są na **rysunku 5**. Jeśli rezystor wykonujemy sami, to tylko z materiału dającego się lutować (np. nowe srebro), nawijając drut $\phi 0,6-0,7$ z materiału oporowego na rezystorze starego typu lub jako powietrzny na drucie lub gwoździu $\phi 4mm$. Dokładny prąd Im można wtedy ustawić przez zlutowanie sąsiednich zwojów rezystora. Gdy krzywa aparatu rozłączy styki przerywacza, przez rezystor R1 i R3 zostaje wysterowany tranzystor T1, który przechodzi w nasycenie blokując tranzystor mocy, a tym samym powodując zanik prądu Im i oczywiście w tym momencie następuje wyładowanie iskrowe o przebiegu poprzednio opisanym. Ponowne zwarcie przerywacza powoduje przepływ prądu cewki i cykl się powtarza. Już od pierwszego impulsu napięciowego na wejściu w punkcie B (przerywacz otwarty) przez rezystor R2 i diodę D1 ładuje się kondensator C1 do napięcia około 4,5V, wprowadzając tranzystor T2 w stan nasycenia i blokując tranzystor T3. Tranzystor T3 nie przewodzi i nie ma wpływu na pracę tranzystora mocy. Gdy jednak nie wyłączymy napięcia zasilania modułu, a przerywacz pozostaje zwarty, to w punkcie B nie ma napięcia doładowującego kondensator C1, a wtedy rozładowuje się on powoli przez rezystor R4 i złącze B-E tranzystora T2 aż do momentu, gdy T2 przestanie przewodzić. Wówczas przez rezystor R5 zostaje wysterowany tranzystor T3, który przechodzi w nasycenie i blokuje tranzystor mocy. Kondensator C2 i rezystor R6 nie dopuszczają do wyładowania iskrowego w momencie blokowania tranzystora mocy. Rezystor R4 ustala czas zadziałania tranzystora R10, jeśli jest klasyczne, lub wartości rezystora R10, jeśli zastosowana jest cewka niskorezystancyjna, tzw. „elektroniczna”. Tranzystor T4 pracuje jako ogranicznik Im, na prawie 3 sekundy. Jeśli chcemy, aby samowylączenie nastąpiło po nieco dłuższym czasie – rezystor należy zwiększyć. Na rezystorze pomiarowym R10 w czasie przepływu prądu Im występuje napięcie około

0,7V i przy znacznym prądzie rzędu 5,5A oraz kącie zwarcia 50% (45°) dla silnika czterocyndrowego wydzieli się znaczna moc. Obliczmy: $0,7V \times 5,5A \times 50\% = 2W$. Dla silnika dwucylindrowego (fiat 126p) z cewką 4240, 4,5A i $\beta z = 60^\circ$ będzie to ok. 1W. Taka moc wystąpi przy małych obrotach, ponieważ linia narastania prądu jest wtedy prawie pionowa. Dwukrotne zmniejszenie mocy strat na rezystorze pomiarowym można uzyskać montując ogranicznik według schematu z **rysunku 6**. Na rezystorze R10 będzie tylko połowa napięcia, czyli 0,35V, a resztę napięcia brakującego do otwarcia tranzystora ograniczającego trzeba wziąć z napięcia zasilania. Dioda Schottky’ego wypełnia lukę napięciową i dodatkowo kompensuje złącze B-E tranzystora T4. Rezystor R9 zwiększa skuteczność regulacji prądu Im rezystorem R11, ale jeśli mamy jeszcze diodę germanową ostrzową, to można ją zamontować zamiast diody D4 i rezystora R9. Dioda germanowa ma bardziej stromą charakterystykę napięciową i rezystor R9 jest zbędny. Rezystor R10 o wartości 0,06-0,08 Ω można uzyskać albo z drutu oporowego, albo z połączenia



Rys. 5 Przebiegi prądu Im w różnych sytuacjach

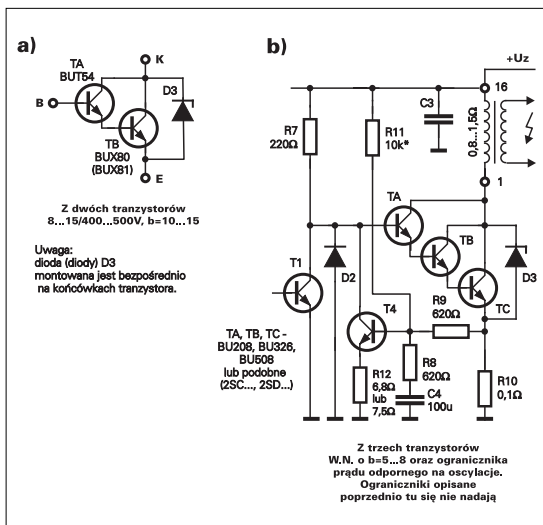
Rys. 6 Ogranicznik prądu z małymi stratami oraz skompenzowany temperaturowo (częściowo - korzystnie)



dwóch rezystorów np. 0,12Ω. Najlepszym i najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie monolitycznego darlingtona wysokiego napięcia o maksymalnym prądzie kolektora 10-15A i napięciu K-E rzędu 400-500V. Tranzystorów takich jest bardzo duży wybór, ale w katalogu. W popularnych sklepach na ogół nie ma, ale w większych czasami można znaleźć najczęściej stosowane jak: BU323(A,P), BU931(ZP), BUX37. Jeśli nie uda się zdobyć wymienionych tranzystorów, to pozostaje złożenie układu Darlingtona z dwóch pojedynczych tranzystorów 400-500V/8-15A z rysunku 7a. Diody zabezpieczające D3 pełnią jednocześnie funkcję diody wstecznej i muszą mieć moc powyżej 1W. Czasem udaje się kupić specjalne: typu 1.5 KE400 o mocy ok. 3W, ale wystarczą BZYP01C 180-200 lub BZX (BZV)85C 200, 2 szt. Może się też komuś nie spodobać brak zapasu napięcia K-E tranzystora mocy w stosunku do napięcia diody Zenera. Katalogowe napięcie np. 400V praktycznie jest większe 1,5-2 razy np. tranzystor BU326A wytrzymuje 700-900V, gdy w katalogu jest 400V. Łatwo dostępne, a więc dyżurne tranzystory wysokiego napięcia typu BU508, BU326, BU208 lub ich japońskie zamienniki z serii 25C... i 25D... mają na ogół małe wzmocnienie w granicach 5-10. Nieco lepsze β mają uniwersalne, np. BUT54, BUX80(81) w granicach 10-14. Składając układ Darlingtona, należy wybrać te o największym wzmocnieniu przy prądzie 4A. Podczas pomiaru lepiej nie włączać w obwód cewki zapłonowej (przepięcia), a rezystor ok. 1Ω.

Podawane często w katalogach h_{FE} na ogół nie zgadza się z rzeczywistością, bo jest miarodajne przy małych prądach kolektora, rzędu 0,5-1A. Do współpracy z cewką niskorezystancyjną można wykorzystać dostępne tranzystory o małym wzmocnieniu, montując potrójny układ Darlingtona, jak na rysunku 7b.

Rys. 7 Tranzystor Darlingtona złożony z tranzystorów pojedynczych W.N.



Aby skutecznie usunąć oscylacje pasożytnicze, trzeba też przekonstruować nieco ogranicznik prądu I_m. Ta wersja ogranicznika może być zastosowana do wszystkich układów elektronicznych. Nie polecam natomiast montowania wtórnika emiterowego do sterowania tranzystora mocy: czy to darlingtona monolitycznego czy składanego. Pozornie taki układ pracuje poprawnie, są nawet mniejsze straty sterowania tranzystora końcowego, ale bardzo trudno pozbyć się różnych „śmieci”, jakie występują zamiast niewidocznej linii zaniku prądu, oraz różnych oscylacji pasożytniczych. Szczególnie „wredna” pod tym względem jest cewka „4226” i trochę „101”. Zdecydowanie czystszy impuls wyjściowy I_m jest przy zastosowaniu 3-stopniowego darlingtona. Wzmocnienie ogólne darlingtona składanego jest iloczynem wzmocnienia poszczególnych tranzystorów, a dobór rezystora sterującego R7 podany jest w tabeli 1. Przy montażu tranzystorów wchodzących w układ Darlingtona trzeba pamiętać o tym, że egzemplarze mniejszej mocy, w mniejszych obudowach lub izolowane należy przyjąć jako sterujące. Jako tranzystory małej mocy w zasadzie mogą być wykorzystane dowolne o β>200, ale BC337 lub 338 z grupy 25 lub 40 są najlepsze, bo mają małe napięcie nasycenia, są szybsze w pracy impulsowej i odporne na drobne przepięcia. Jeśli tranzystor mocy jest składany z dwóch pojedynczych tranzystorów i rezystora R7 o wartości 100-150Ω, to tranzystory T1 i T3 należy wybrać o większym wzmocnieniu tj. ≥300 (z grupy 40) w celu zapewnienia małego napięcia nasycenia tych tranzystorów i pewnego kluczowania tranzystora mocy. Aby otrzymać układ ze sterowaniem bezstykowym, trzeba jeszcze dobrać człon wzmacniający słaby i powolny impuls z czujnika. Może to być wzmacniacz operacyjny lub komparator o napięciu wyjściowym w stanie niskim bliskim 0, np. LM393, LM358, ale wymaga to użycia sporej liczby elementów. Znacznie prostsze jest zastosowanie „wszechmogącej” kostki NE555 (może być wersja CMOS 555) lub nawet tylko jednego tranzystora małej mocy z dodatnim pojemnościowym sprzężeniem zwrotnym z kolektora tranzystora sterującego T1 (rys. 4a, b). Diody Zenera 5V1 na wejściu układu 555 jest dobrana tak, aby zmniejszyć amplitudę sygnału z czujnika, a tym samym zwiększyć szybkość przełączania komparatora 555, co odczuje zmniejszeniem opóźnie-

nia sygnału czujnika przez elementy modułu. W układzie z pojedynczym tranzystorem wartość ta nie ma znaczenia, bo w punkcie S albo jest U_{CEsat} fototranzystora czujnika, albo U_{B-E} tranzystora T201. Zmontowany ze sprawdzonych elementów moduł nie wymaga specjalnego strojenia, ale jeśli po zwarceniu zacisków wejściowych B i C prąd odbiega od założonej wartości podanej w tabeli 2 dla danego typu cewki zapłonowej, należy dobrać rezystor R10. Większa wartość powoduje zmniejszenie prądu I_m. Jeśli budujemy układ z ogranicznikiem według rysunku 6, to prąd I_m ustawić rezystorem nastawnym jako R11, a po zmierzeniu wlutować najbliższy rezystor stały. Nie należy przesadzać z dokładnością, wystarczy z szeregu 5%. Jeśli mamy zmontowany też układ przyspieszający do czujnika bezstykowego, to przepływ prądu I_m kluczujemy przez zwieranie punktu S do masy. Odczyt prądu będzie ograniczony czasem zadziałania automatyki, i jeśli chcemy „zatrzymać” I_m dłużej, to zwieramy bazę tranzystora T3 do masy, ale nie za długo, bo nagrzewa się tranzystor mocy. Jeśli uruchamiamy układ bezstykowy, to usuwamy rezystor R1.

β całkowity	Rs (R7)	Moc rezystora	Uwagi
≥300	390	1W	darlington monolityczny
≥250	330	1W	
≥200	270	1W	darlington składany z 2-3 sztuk pojedynczych
≥160	220	2W	
≥130	180	2W	
≥100	150	2W	
≥80	120	2x240Ω/2W	
≥60	100	2x200Ω/2W	

Tabela 1

Dobór rezystora sterującego w zależności od współczynnika wzmocnienia prądowego β zastosowanych tranzystorów mocy

Tabela 2

Rozszerzone parametry cewek zapłonowych spotykanych najczęściej na rynku krajowym

WL - energia wyładowania iskrowego

WL I- energia wyładowania iskrowego po stronie pierwotnej = 0,5 x L x I_m² [mJ, mH, A]

WL II- energia wyładowania iskrowego po stronie wtórnej = 0,5 x L x I_m² x η [mJ, mH, A]

Cewka zapłonowa	R1 [Ω]	R2 [kΩ]	L1 [mH]	L2 [H]	V [Z/Z1]	I _m [zalecane A]	Sprawność η	WL po stronie wtórnej [mJ]	Czas narastania I _m [ms]	Uwagi
4220	3,2	7,5	9,4	51	61	4,0	0,35	26	4,5/3A	olejowa
4226	0,8	6,8	5,4	47	94	5,4	0,59	48	2,5	olejowa
4240	1,5	12	~10	70	81	4,4	0,47	47	4,5	olejowa, dwubiegowa
101	1,5	8,5	~10	66	78	4,4	0,64	64	4,5	sucha, dwubiegowa
BAE 800 DK	0,6	7,7	4,6	42	97	6,0	0,64	53	2,0	sucha, dwubiegowa zastępuje 103 BIAZET

nia sygnału czujnika przez elementy modułu. W układzie z pojedynczym tranzystorem wartość ta nie ma znaczenia, bo w punkcie S albo jest U_{CEsat} fototranzystora czujnika, albo U_{B-E} tranzystora T201. Zmontowany ze sprawdzonych elementów moduł nie wymaga specjalnego strojenia, ale jeśli po zwarceniu zacisków wejściowych B i C prąd odbiega od założonej wartości podanej w tabeli 2 dla danego typu cewki zapłonowej, należy dobrać rezystor R10. Większa wartość powoduje zmniejszenie prądu I_m. Jeśli budujemy układ z ogranicznikiem według rysunku 6, to prąd I_m ustawić rezystorem nastawnym jako R11, a po zmierzeniu wlutować najbliższy rezystor stały. Nie należy przesadzać z dokładnością, wystarczy z szeregu 5%. Jeśli mamy zmontowany też układ przyspieszający do czujnika bezstykowego, to przepływ prądu I_m kluczujemy przez zwieranie punktu S do masy. Odczyt prądu będzie ograniczony czasem zadziałania automatyki, i jeśli chcemy „zatrzymać” I_m dłużej, to zwieramy bazę tranzystora T3 do masy, ale nie za długo, bo nagrzewa się tranzystor mocy. Jeśli uruchamiamy układ bezstykowy, to usuwamy rezystor R1.

Stefan Roguski