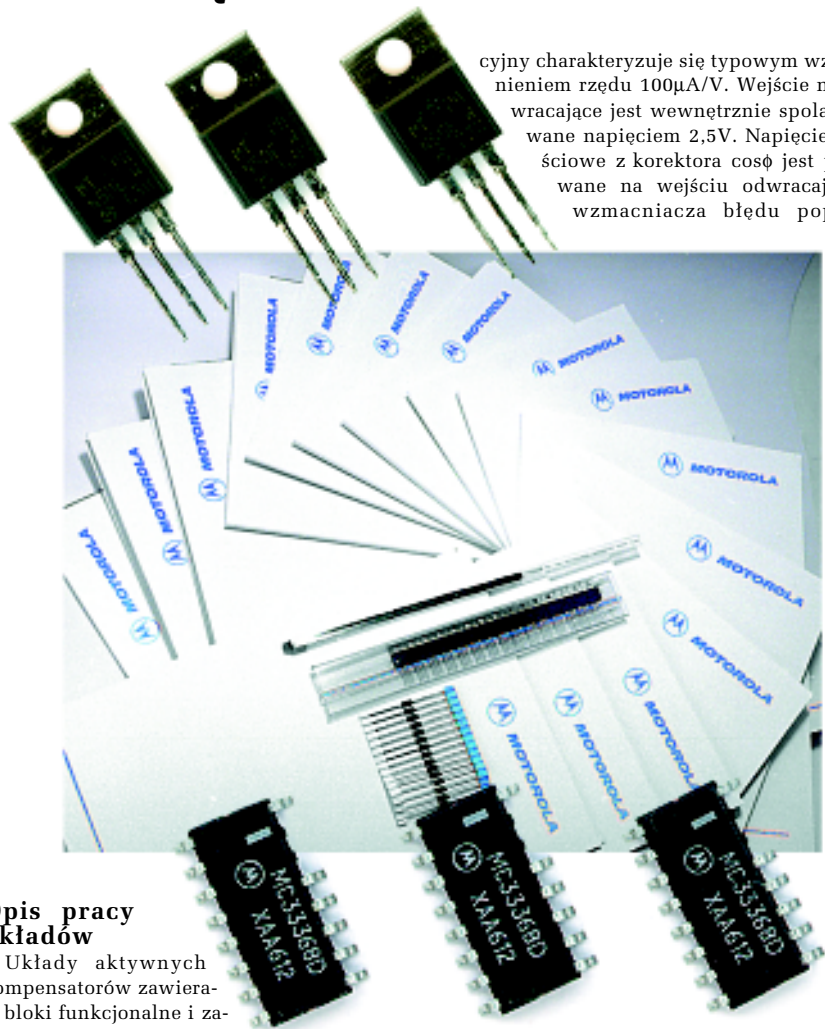


Korekcja współczynnika mocy, część 2

Stary problem, nowe rozwiązanie

W drugiej części artykułu omówiono szczegółowo zasadę działania układów MC34262 i MC33368. Przedstawiona przykładowa aplikacja ułatwi konstruktorom samodzielne wykonanie korektora fazowego, a bezpłatne próbki układów - prezent firmy Motorola - znacznie przyspieszą prace konstrukcyjne.



cyjny charakteryzuje się typowym wzmocnieniem rzędu 100 μ A/V. Wejście nieodwracające jest wewnętrznie spolaryzowane napięciem 2,5V. Napięcie wyjściowe z korektora coś jest podawane na wejściu odwracającym wzmacniacza błęd przez

Opis pracy układów

Układy aktywnych kompensatorów zawierają bloki funkcjonalne i zabezpieczenia spotykane w nowoczesnych sterownikach zasilaczy impulsowych. Są też różnice w stosunku do takich sterowników. Na schemacie blokowym pokazanym na rys. 5 (EP5/97) można zauważyć, że w pętli sprzężenia prądowego dodano układ mnożący, sterownik nie zawiera własnego generatora taktującego. Przyczyny pojawienia się tych różnic zostaną wyjaśnione przy omawianiu pracy poszczególnych bloków.

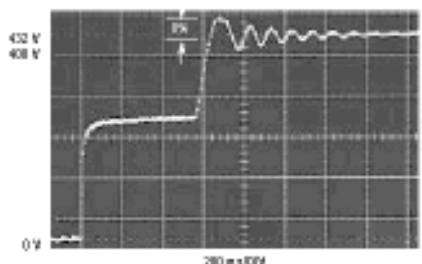
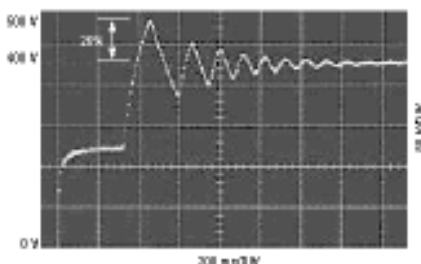
Wzmacniacz błęd

Wzmacniacz błęd ma wejście odwracające i wyjście wyprowadzone na zewnątrz. Zastosowany wzmacniacz transkonduktan-

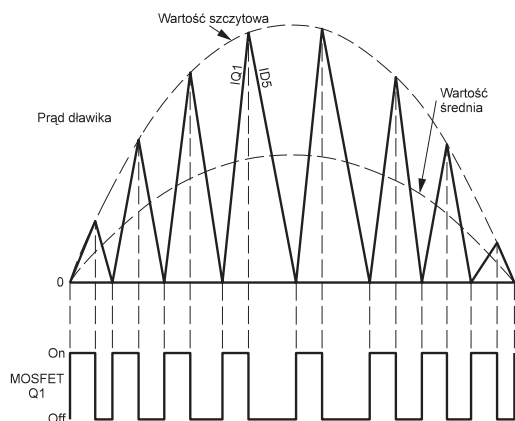
dzielnik napięcia. Maksymalna wartość prądu pobierana z dzielnika przez wejście wzmacniacza wynosi typowo ok. 0,5 μ A. Wynikający stąd błąd pomiaru napięcia jest bardzo mały.

Wyjście wzmacniacza jest wewnętrznie połączone z układem mnożącym i dodatkowo wyprowadzone na zewnątrz (pin 2), aby umożliwić dołączenie zewnętrznych elementów kompensacyjnych. Górna częstotliwość pasma wzmacniacza jest dobrana zwykle poniżej 20Hz, tak więc napięcie na wyjściu pozostaje w przybliżeniu stałe podczas całego okresu napięcia sieciowego. W rezultacie wzmacniacz błęd śledzi średnią wartość napięcia (z kilku kolejnych okresów) na wyjściu korektora. Wzmacniacz jest skompensowany temperaturowo. Stopień wyjściowy jest w stanie dostarczyć lub odprowadzić prądy do 10 μ A, przy napięciu wyjściowym od 1,7 V do 6,4 V, co w pełni wystarcza doysterowania układu mnożącego.

Główną zaletą użycia wzmacniacza transkonduktancyjnego jest podwójne wykorzystanie wejścia śledzącego napięcie wyjściowe (ang. Voltage Feedback Input) przez wzmacniacz błęd i przez komparator nadnapięciowy.



Rys. 6.



Rys. 7.

dostarczany sygnał z pętli napięciowego sprzężenia zwrotnego.

Układ mnożący steruje trybem z działania komparatora śledzącego przebieg prądu, zgodnie z sinusoidalnym przebiegiem napięcia przemienne, od zera do wartości szczytowej (rys.7). W rezultacie uzyskuje się kluczkowanie MOSFET-a "podążające" za przebiegiem sinusoidy napięcia sieciowego, a całość zachowuje się jak obciążenie rezystancyjne.

Znaczącą poprawę zniekształceń prądu pobieranego z sieci można uzyskać wymuszając przewodzenie przetwornicy w okolicy przejścia napięcia sieciowego przez wartość zerową. Wymuszenie jest uzyskiwane

Detektor zera prądu

Omawiane układy MC34262/MC33262/ MC33368 pracują jako sterowniki ze sprzężeniem prądowym, gdzie przewodzenie tranzystora jest inicjowane przez detektor zerowej wartości prądu, a przerywane wtedy, kiedy szczytowy prąd płynący przez indukcyjność osiągnie poziom wyznaczony przez wyjście układu mnożącego. Detektor zera prądu przygotowuje następną włączenie tranzystora przez ustawienie przerzutnika RS dokładnie w chwili, kiedy prąd cewki spada do zera.

Taki sposób pracy ma dwie znaczące zalety:

- MOSFET nie może rozpocząć przewodzenia dopóki prąd w cewce nie osiągnie wartości zerowej - stąd szybkość pracy diody staje się mniej krytyczna i można zastosować tańszą diodę;
- taki sposób pracy nie wymaga czasu martwego pomiędzy cyklami pracy, prąd jest pobierany z sieci bez przerw; dzięki temu szczytowa wartość prądu jest tylko dwukrotnie wyższa od wartości średniej prądu wejściowego.

Detektor zera prądu śledzi prąd cewki poprzez pomiar napięcia na uzwojeniu pomocniczym: reaguje kiedy wartość napięcia spadnie poniżej 1,4V. Dla zwiększenia jednoznaczności pracy detektora, przewidziana jest histereza 200mV.

Wejście detektora zera prądu jest wewnętrznie poziomowane do dwóch napięć: obcinane są napięcia wejściowe powyżej 6,7V, w celu zabezpieczenia przed przebiegiem napięciowym, i napięcia poniżej 0,7V, dla zabezpieczenia przed przewodzeniem do podłoża. Czas reakcji detektora zera prądu (od pobudzenia do wyłączenia) wynosi ok. 320ms.

Tabela 1. Wyniki pomiarów korektora o mocy 175W.

Wejście AC										Wyjście DC				
V _{rms}	P _{in}	cosφ	I _{rms}		Zawartość harmonicznych prądu				V _o	V _o	I _o	P _o	η(%)	
V	W	-	A	THD	2h	3h	5h	7h	V _{p-p}	V	A	W	-	
90	193.3	0.991	2.15	2.8	0.18	2.6	0.55	1.0	3.3	402.1	0.44	176.9	91.0	
120	190.1	0.998	1.59	1.6	0.10	1.4	0.23	0.72	3.3	402.1	0.44	176.9	93.1	
138	188.2	0.999	1.36	1.2	0.12	1.3	0.65	0.80	3.3	402.1	0.44	176.9	94.0	
180	184.9	0.998	1.03	2.0	0.10	0.49	1.2	0.82	3.4	402.1	0.44	176.9	95.7	
240	182.0	0.993	0.76	4.4	0.09	1.6	2.3	0.51	3.4	402.1	0.44	176.9	97.2	
268	180.9	0.989	0.69	5.9	0.10	2.3	2.9	0.46	3.4	402.1	0.44	176.9	97.8	

Komparator nadnapięciowy

Komparator ma zapobiegać możliwości pojawienia się na wyjściu napięć wyższych od założonego. Taki stan może wystąpić podczas rozruchu przetwornicy, podczas nagłego spadku obciążenia lub podczas iskrowych zwarc w obwodzie zasilanym. Możliwość pojawienia się przepięcia wynika z niskiej częstotliwości granicznej w pętli wzmacniacza błędów i wynikającego stąd opóźnienia reakcji. Zadanie komparatora nadnapięciowego polega na śledzeniu szczytowej wartości napięcia wyjściowego i w przypadku jej wzrostu na wstrzymaniu kluczkowania MOSFET-a.

Próg zadziałania komparatora jest wewnętrznie ustawiony na 1,08 V_{ref}. Aby uniknąć fałszywych zadziałań komparatora podczas normalnej pracy, należy przewidzieć wystarczającą pojemność kondensatora na wyjściu, tak aby utrzymać międzyszczytową wartość pulsacji poniżej 16% składowej stałej napięcia wyjściowego. Czas reakcji komparatora wynosi typowo 400ns. Na rys. 6 porównano przepięcia w czasie rozruchu przetwornicy z komparatorem nadnapięciowym i bez.

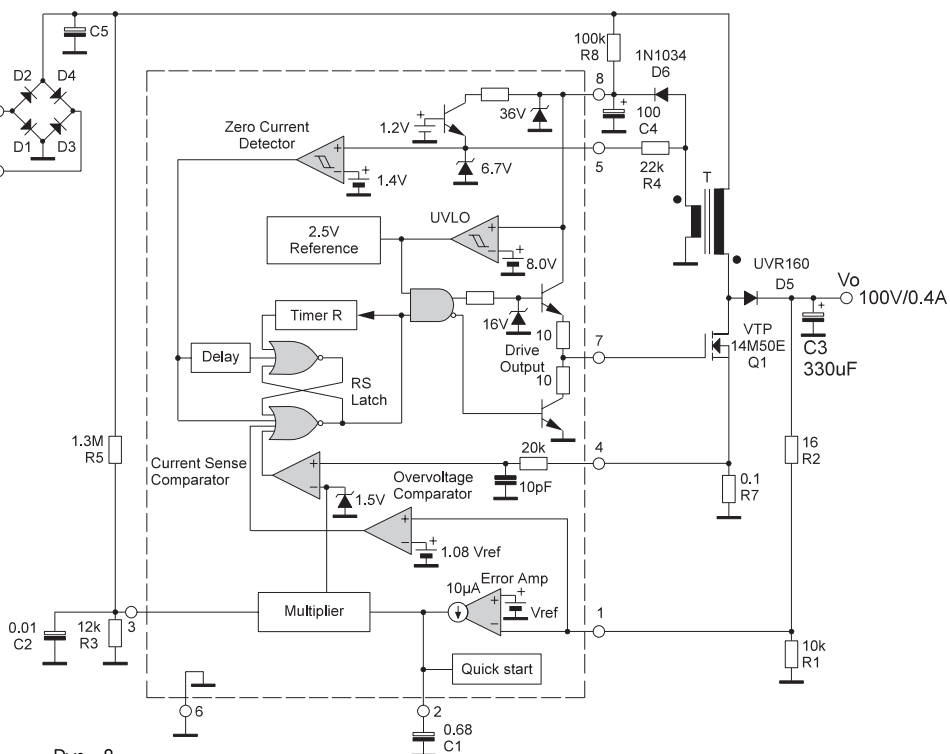
Układ mnożący

Układ mnożący jest tym elementem układu, który odróżnia omawiany sterownik od typowych sterowników zasilaczy impulsowych. Spełnia on rolę modulatora prądu pobieranego z sieci i przez to umożliwia korygowanie współczynnika mocy.

Dwupołówkowo wyprostowane napięcie przemienne (za mostkiem prostowniczym) jest śledzone na pierwszym wejściu układu mnożącego (pin 3), podczas gdy do drugiego wejścia wzmacniacza błędów jest

przez dodanie regulowanej polaryzacji do obwodów układu mnożącego i komparatora śledzącego prąd.

W układzie MC33368 wymuszenie przewodzenia może być dodatkowo sterowane z zewnątrz poprzez końcówkę 13 (ang. Frequency Clamp). Daje to możliwość wpływu na spektrum zakłóceń emitowanych wokół przejścia przez zero.



Rys. 8.

Komparator prądu przewodzenia i przerzutnik RS

Użycie komparatora prądu przewodzenia, w kombinacji z przerzutnikiem RS, daje pewność, że w czasie jednego cyklu pracy przetwornicy na wyjściu sterującym pojawi się tylko jeden impuls wyzwalający.

Prąd płynący przez cewkę wytwarza spadek napięcia na rezystorze włączonym szeregowo pomiędzy źródło tranzystora przerywającego prąd cewki a masę. Spadek napięcia jest podany na wejście monitorujące, gdzie jego wartość jest porównywana komparatorem z wartością przychodzącą z układu mnożącego.

W warunkach normalnej pracy, szczytowa wartość prądu cewki jest sterowana napięciem progowym na wyprowadzeniu 4 zgodnie z zależnością:

$$I_{L(max)} = U_{4pr} / R_7$$

Najgorsze warunki pracy występują podczas włączenia przetwornicy do sieci w momencie, kiedy sinusoida napięcia sieciowego osiąga swoje maksimum, a napięcie wyjściowe jest równe zero (kondensator wyjściowy C₃ jest „pusty”).

W tej sytuacji wyjście układu mnożącego i wejście komparatora prądu przewodzenia są wewnętrznie spolaryzowane napięciem 1,5V. Dzięki temu maksymalna wartość prądu szczytowego jest ograniczona do wartości $I_{L(max)} = 1,5V/R_7$. Do tłumienia zakłóceń o wysokiej częstotliwości, które mogą wystąpić w śledzonym sygnale, przewidziano wewnętrzny filtr RC. Filtr ten pomaga zredukować

Tabela 2. Porównanie układów do korekcji cosφ.

Typ	MC33368	MC33262	L6560	UC3852	LX1563	TDA4862	Uwagi
Producent	Motorola	Motorola	SGS	Unitrode	Linfinity	Siemens	
Zasilanie V _{cc}	10...16 V	9...30 V	11...18 V	14...30 V	11...25 V	9...15 V	* 1
Zabezpieczenie nadnapięciowe	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak	Tak	
Rozrzut zabezpieczenia nadnapięciowego	4,8%	6,8%	20% (@25 C)	-	brak danych	83%	* 2
Wewnętrzny układ redukcji napięcia zasilającego	tak	nie	nie	nie	nie	nie	* 3
Błąd U _{ref}	±1%	±1,4%	±2,6%	±7%	±2,8%	±2,8%	* 4
Regulacja zakłóceń częstotliwościowych	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	* 5
Odporność na zakłócenia	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	* 6

* 1: Korzystniejsza jest większa rozpiętość V_{cc}.

* 2: Korzystny mały rozrzut progu zadziałania zabezpieczenia nadnapięciowego.

* 3: Układ MC33368 zawiera wysokonapięciowy (max. 500V) układ rozruchowy pozwalający zmniejszyć moc zużywaną w stanie stand-by o 0,7W.

* 4: Wąskie tolerancje zapewniają wyższą dokładność regulacji.

* 5: Regulacja częstotliwości pracy pozwala na optymalizację widma zakłóceń w.cz.

* 6: Zwiększona odporność na zakłócenia uzyskana poprzez ignorowanie zniekształceń przedniego zbocza impulsu prądowego.

zniekształcenia prądu pobieranego z sieci, szczególnie w okolicach przejścia sinusoidy przez zero. Z wartościami elementów pokazanymi na rys.8, próg zadziałania komparatora prądu zmienia się (w szczytynie wyprostowanej sinusoidy) od 1,1 V dla 90V_{AC} do 100mV dla 268V_{AC}. Czas reakcji na sygnał wejściowy komparatora prądu jest krótszy niż 200ns.

Timer zapewnia automatyczny start lub restart przetwornicy, jeżeli na wyjściu ukła-

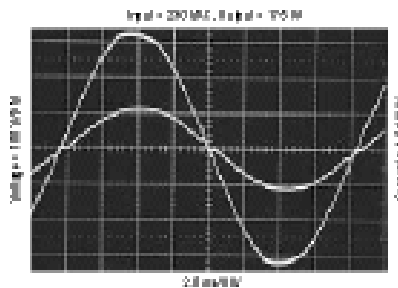
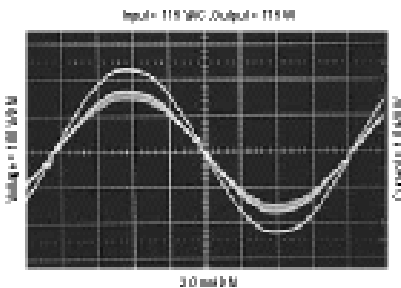
du sterującego utrzymuje się stan wyłączenia przez czas dłuższy niż 620µs po osiągnięciu przez prąd cewki wartości zerowej.

Blokada podnapięciowa i układ szybkiego startu

Aby zagwarantować niezawodność pracy sterownika, zastosowano blokadę podnapięciową, która uniemożliwia pracę przy obniżonym napięciu zasilającym V_{cc}.

W tym celu dodatnie napięcie zasilające (V_{cc}) jest monitorowane przez komparator UVLO, którego górny próg zadziałania jest ustawiony na 13V a dolny na 8,0V. W stanie gotowości (standby), przy napięciu V_{cc} = 7,0V, prąd pobierany przez sterownik ma wartość mniejszą niż 0,4 mA. Duża histereza i niska wartość prądu pozwalają na zbudowanie różnych wersji przetwornic-korektorów.

W celu ochrony układu scalonego i równolegle włączonego kondensatora C₄ przed przepięciami, napięcie V_{cc} jest dodatkowo ograniczane do 36V. Taka ochrona jest szczególnie



Rys. 10.

pożądana, jeśli rozruch przetwornicy jest opóźniany dodatkowym obwodem sterującym.

Wewnątrz sterownika umieszczono również układ optymalizujący rozruch przetwornicy. Obwód wspomagający start ładuje wstępnie kondensator C_1 do napięcia 1,7V (rys.8). Ta wartość napięcia jest niewiele niższa od progu zadziałania układu mnożącego (pin 2), dzięki czemu MOSFET może być natychmiast wystawiony i kondensator C_4 dołącza się przez diodę D_6 powyżej górnego progu komparatora UVLO (Under Voltage Lock-Out).

Stopień wyjściowy

Układy MC34262/MC33262/MC33368 zawierają stopień wyjściowy złożony z dwóch szeregowych tranzystorów (tzw. totem-pole) specjalnie zaprojektowany do sterowania MOSFET-ów mocy. Stopień wyjściowy jest w stanie wysterować tranzystor impulsem prądu do 500mA, o czasie narastania zboczy 50ns przy obciążeniu pojemnościowym 1,0nF. Dodatkowy układ wewnętrzny zapewnia niską impedancję stopnia wyjściowego nawet w czasie działania blokady podnapięciowej. Pozwala to na rezygnację z rezystora włączonego równolegle między bramkę i źródło MOSFET-a. Stopień wyjściowy został zoptymalizowany przez ograniczenie prądów obu tranzystorów szeregowo włączonymi rezystorami 10Ω. Zmniejszają one prąd podczas przełączania i redukują emisję zakłóceń poprzez ograniczenie stromości impulsów. Dla ochrony bramki MOSFET-a, napięcie wyjściowe jest ograniczane do 16V.

Informacje praktyczne

Przykładowy układ (rys.8) zawiera tylko kilka elementów zewnętrznych, potrzebnych do zbudowania przetwornicy korygującej $\cos\phi$. Schemat przedstawia przetwornicę podwyższającą, pracującą ze sprzężeniem prądowym w cyklu ze stałym czasem przewodzenia i regulowanym czasem wyłączenia. Główną zaletą przyjętego sposobu sterowania jest wewnętrzna stabilność prądowej pętli sprzężenia zwrotnego, a więc zbędna jest dodatkowa kompensacja. Układ jest przeznaczony do zasilania uniwersalnego, tzn. od

90..268V_{ac}. Przetwornica zapewnia moc wyjściową 175W (440mA przy 400V) i w najgorszym przypadku wykazuje $\cos\phi = 0,989$. Przebieg prądów i napięć zasilających pokazano na **rys.9** dla napięć znamionowych sieci 115 i 230 V.

Pomiary wykonane zostały w układzie wg **rys.10**, a ich wyniki zestawiono w **tabeli 1**. W przypadku zasilania przetwornicy bezpośrednio z sieci jest wymagany prosty filtr przeciwzakłóceńowy na wejściu. Filtr tłumi poziom składowej prądu o częstotliwości pracy przetwornicy (20..40 kHz). Filtr użyty w układzie pomiarowym składa się z czterech kondensatorów (napięcie robocze dobrane do napięcia sieci) oraz dławika dwuuzwojeniowego na rdzeniu ferrytowym. Filtr użyty w układzie z **rys.8** wymaga dławika o minimalnej indukcyjności 28mH i obciążalności prądowej 2A.

Podsumowanie

Na przykładzie układu MC33262/MC34262 omówiono zasadę pracy sterowników do elektronicznych korektorów współczynnika mocy. Obecne na światowym rynku podobne układy scalone korzystają z tej samej idei, różnice między nimi są niewielkie i dotyczą głównie obwodów zasilania, dokładności napięć wzorcowych, zakresu temperatur pracy lub typu obudowy. W **tabeli 2** zestawiono najważniejsze różnice dla różnych układów przeznaczonych do korekcji $\cos\phi$.

Z powyższego zestawienia wynika, że z technicznego punktu widzenia najlepsze cechy wykazują układy MC33368 i MC33262 oraz L6560. Wszystkie wymienione układy są podobne w konstrukcji i proste w użyciu. Układ L6560 gwarantuje parametry elektryczne tylko dla 25°C.

MC33368 i MC33262 mają doskonałą powtarzalność źródła odniesienia U_{ref} oraz progu zadziałania zabezpieczenia nadnapięciowego. MC33368 oferuje dodatkowo możliwość wpływania na widmo zakłóceń w.cz. oraz podwyższoną odporność na zakłócenia komutacyjne na przednim zboczku impulsu prądowego. Jest to ważne przy pracy w szczególnych warunkach.

Włodzimierz Dubasiewicz