

Viperowy zasilacz impulsowy

AVT-851

Pojawienie się na rynku trójkońcówkowych sterowników zasilaczy Top Switch spotkało się z uznaniem konstruktorów.

Po raz pierwszy inżynierowie dostali podzespoły i wspomagające je oprogramowanie sprowadzające proces budowy zasilacza impulsowego małej mocy do najprostszych czynności. Tym samym zostali zwolnieni z konieczności posiadania specjalistycznej wiedzy i dużego doświadczenia w dziedzinie układów impulsowych.



Producent układów Top Switch, firma Power Integrations, wyznaczyła tym samym nowy standard funkcjonalny sterowników - maksymalnie uproszczoną budowę sprowadzającą konstruowanie zasilacza do dołączenia transformatora i pojedynczych elementów towarzyszących.

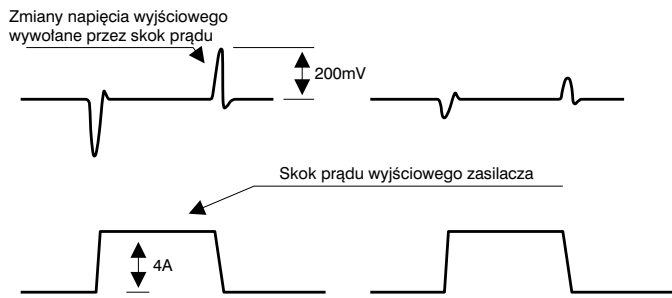
Ten niewątpliwy sukces został szybko dostrzeżony i półprzewodnikowi giganci przygotowali swoje sterowniki ideowo zgodne z Top-Switchem. Najgroźniejszym konkurentem układów serii TopSwitchy są niewątpliwie układy z rodziny Viper produkowane przez koncern STMicroelectronics.

Czytelników z pewnością zainteresuje porównanie tych układów. Idea konstrukcyjna, zasada działania, podstawowe parametry i funkcje są w obu chipach praktycznie takie same. Podobna jest również cena układów (Viper jest odrobinę tańszy). Występujące czasami bardzo finezyjne różnice w strukturze wewnętrznej nie mają praktycznie wpływu na proces budowy zasilacza czy uzyskiwane parametry. Podobny jest mocowy zakres stosowalności (od pojedynczych watów do ok. 100W), parametry kluczującego tranzystora MOS, itp. Układy różnią się jednak liczbą końcówek. Viper ma o dwie nóżki więcej od TopSwitcha, a więc pięć. Jedną z nich przeznaczono do dołączenia zewnętrznego dwójnika RC decydującego o częstotliwości pracy układu. W porównaniu do konkurenta,

który oscylator ma zaszyty w strukturze, wydaje się to rozwiązaniem gorszym. To jednak tylko pozory!

W warunkach polskich możliwość ustalenia dowolnej częstotliwości pracy, zamiast sztywnej wartości 100kHz, jest najważniejszym atutem Viper - pozwala to bowiem na zastosowanie do budowy zasilacza tanich i ogólnodostępnych ferrytów produkowanych przez Polfer. W przypadku TopSwitcha elementy Polferu się nie nadają, zakres ich stosowalności kończy się bowiem na około 80kHz, a importowane magnetyki (np. Philipsa z materiału 3F3) są kilkakrotnie droższe i trudne do kupienia. Jedyną ceną jaką płaci się za wygodę użycia tanich ferrytów to nieco większe gabaryty i ciężar zasilacza.

Druga dodatkowa końcówka, czyli wyjście wzmacniacza napięcia błędu, pozwala na dołączenie do układu Viper własnego i precyzyjnie dobranego układu kompensacji pętli sprzężenia zwrotnego. Stałe czasu elementów kompensujących pętlę mają wpływ przede wszystkim na stabilność pracy zasilacza (z uwagi na różny charakter impedancji obciążenia) i jednocześnie decydują, na przykład, o szybkości reakcji zasilacza na zmianę napięcia obciążenia. Moim zdaniem układ TopSwitch jest skompensowany „na wyrost” po to, aby był zawsze stabilny.



Rys. 1. Przebieg zmian napięcia wyjściowego w odpowiedzi na zmianę prądu w zasilaczu „wolnym” (z lewej) i „szybkim” (z prawej).

W efekcie jego reakcje są wolne i przy nagłych skokach prądu na wyjściu zasilacza pojawiają się „szpilki” (rys. 1). Temu zjawisku można w Viperze przeciwdziałać, co czyni ten układ bardziej uniwersalnym, mimo potrzeby dołączenia do niego dodatkowych 5 elementów biernych.

Zarówno dla TopSwitcha jak i Vipera dostępne jest oprogramowanie wspomagające proces projektowania.

W przypadku pierwszego układu określenie „program” jest nieco na wyrost - dostajemy po prostu arkusz kalkulacyjny (zastępujący kalkulator) wykonujący za projektanta obliczenia. Niby niewiele, ale arkusz jest przygotowany bardzo starannie i okazuje się naprawdę pomocny. W przypadku Vipera program przygotowany przez ST nie uwzględnia Vipera 20, a jedynie „silniejsze” układy z rodziny. W takiej sytuacji potrzebne obliczenia trzeba robić „na piechotę” lub użyć arkusza kalkulacyjnego od TopSwitcha.

Jak wspomniałem, układy są podobne i liczy się je tak samo, a dowodem na to może być opisana poniżej konstrukcja zasilacza na Viperze, dla którego obliczenia wykonano za pomocą arkusza „topowego”, którego plik źródłowy dostępny jest w Interencie i na płycie CD-EP02/2000.

Opis układu

Schemat elektryczny zasilacza przedstawiono na rys. 2. Zasilacz pracuje w konfiguracji prostej przetwornicy zaporowej (dwustakowej) z izolacją galwaniczną obwodu wtórnego i dostarcza ciągłej mocy wyjściowej 24W (12V/2A). Częstotliwość pracy wynosi 50kHz, a do budowy użyty został

popularny i tani rdzeń EE30. P o n i e w a ż układ Viper jest bardzo podobny do opisywanego już TopSwitcha, to jego wewnętrzne funkcje zostaną jedynie zasygnalizowane.

Wejściowe napięcie sieciowe, poprzez bezpiecznik i termistor NTC ograniczający impuls prądu w momencie włączenia zasilacza do sieci, jest podawane na filtr przeciwzakłóceń. Ponieważ tzw. „rozkuchowe” termistory NTC nie są elementami popularnymi, można w jego miejsce włączyć stały rezystor drutowy.

Filtr przeciwzakłóceń zawiera dwie pojemności C1 i C2 oraz dławik skompensowany prądowo. Ponieważ moc układu nie jest duża, w razie problemów z kupnem dławika fabrycznego śmiało można próbować użyć podobnego elementu innego producenta. Po wyprostowaniu w mostku M1, napięcie zostaje odfiltrowane. Gdy poziom zakłóceń generowanych przez zasilacz jest istotny, to warto użyć jako C3 kondensatora o małych wartościach ESR i ESL. Dodatkowo można go zablokować kondensatorem ceramicznym, np. 2,2nF.

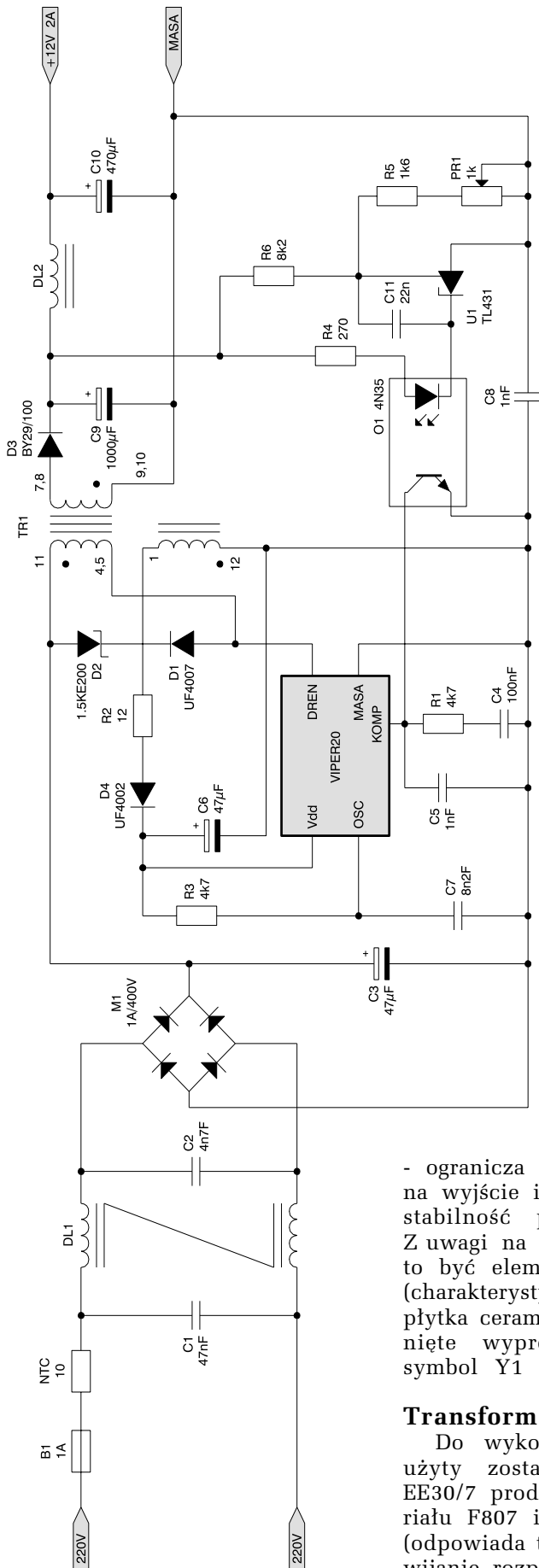
Układ elektryczny zasilacza nie jest skomplikowany. Wyprostowane napięcie sieci podawane jest na początek pierwotnego uzwojenia transformatora, drugi koniec jest zamykany do masy poprzez zawarty w układzie Vipera klucz MOS. Dołączone do pierwotnej strony transformatora dwie diody eliminują szpilkowe przepięcia pochodzące od indukcyjności rozproszenia transformatora. W momencie gdy klucz zostaje wyłączony, napięcie na kluczu (drenie tranzystora MOS) gwałtownie narasta. Ponieważ drugi koniec jest dołączony do plusa kondensatora C3, amplituda jest dość duża: do napięcia wyprostowanej sieci (maksymalnie 360V) dodaje się przetransformowane na wejście napięcie wyjściowe, czyli około 130V, co daje w sumie już blisko

500V. Do tego wszystkiego dodaje się wąska „szpilka” przepięcia pochodzącego od wspomnianej indukcyjności rozproszenia. Wielkość przepięcia zależy przede wszystkim od wielkości indukcyjności rozproszenia transformatora - im indukcyjność ta jest większa, tym w polu rozproszonym gromadzi się więcej energii i amplituda jest większa - oraz od występujących w układzie pojemności (np. pojemności transformatora), które ograniczają wysokość szpilki.

Wystarczy jednak, aby przepięcie miało wartość 150V, a Viper ulegnie uszkodzeniu - maksymalne napięcie dren-źródło wynosi bowiem 600V. Takiej awarii zapobiega w układzie dioda D2 (popularnie zwana transilem, czyli dioda Zenera dużej mocy). Transil ogranicza amplitudę szpilek do poziomu o 200V wyższego od napięcia na C3, co zapewnia bezpieczną pracę klucza. Maksymalne napięcie dren - źródło nie przekroczy bowiem w omawianym układzie wartości 560V. Dioda D1 zapewnia aktywność transila jedynie przy wyłączonym kluczu. Energia „szpilek” jest zamieniana przez transil na ciepło i podzespół ten nieco się w układzie grzeje - jest to zjawisko najzupełniej normalne.

W strukturę Vipera wbudowany został obwód startowy, który zapewnia ładowanie kondensatora C6 po włączeniu układu do sieci i start przetwornicy. Podczas normalnej pracy, energii do sterownika dostarcza dodatkowe uzwojenie transformatora wraz z diodą D4 i rezystorem R2. Rezystor R2 jest potrzebny w momencie uruchamiania układu, gdyż ogranicza początkowy prąd ładowania C6. Elementy R3 i C7 decydują o częstotliwości pracy układu, zaś C5, C4 i R1 są elementami kompensacji częstotliwościowej.

Stabilizacja napięcia wyjściowego jest realizowana w sposób klasyczny, to jest za pomocą regulowanej diody Zenera U1, sterującej transoptorem O1. Zwrócić uwagę na miejsce skąd pobierane jest napięcie wyjściowe do porównań - przed dławikiem DŁ2, a nie za nim. Ma to wpływ na zwiększenie szybkości reakcji zasilacza na zmiany prądu obciążenia oraz umożliwia włączenie



Rys. 2. Schemat elektryczny zasilacza.

znacznie mniejszej (niż typowe 100nF) wartości pojemności kompensacyjnej C11. Aby zminimalizować wartość tętnień i zakłóceń na wyjściu zasilacza, konieczne jest użycie jako C9 i C10 kondensatorów o niskim ESR-zwyczajnie i często stare kondensatory dają mierne wyniki.

Na zakończenie jeszcze akapit o kondensatorze C8. Jak wynika ze schematu ideowego, jest on włączony pomiędzy masę „gorącą” układu, a więc tę po stronie pierwotnej transformatora, i masę obwodu wtórnego. Pojemność ta separuje więc niebezpieczne napięcie sieci energetycznej od obwodu wtórnego. Tak włączone kondensatory dość często spotyka się w zasilaczach impulsowych małej i średniej mocy, a ich rola jest podobna do działania ekranu międzyuzwojeniowego w transformatorze

- ogranicza przenikanie zakłóceń na wyjście i radykalnie poprawia stabilność pracy przetwornicy. Z uwagi na bezpieczeństwo musi to być element wysokiej jakości (charakterystyczne cechy to gruba płytka ceramiczna, szeroko rozsunięte wyprowadzenia i zwykle symbol Y1 w oznaczeniu).

Transformator

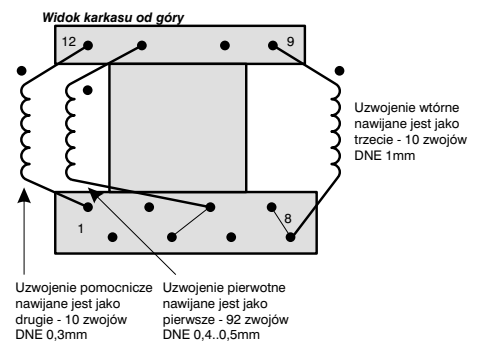
Do wykonania transformatora użyty został popularny rdzeń EE30/7 produkcji Polferu z materiału F807 i o szczelinie 0,35mm (odpowiada to stałej $Al=200$). Nawijanie rozpoczyna się od uzwojenia pierwotnego. Ma ono 92

zwoje drutu o średnicy 0,4..0,5mm ułożonego w trzech warstwach. Początek uzwojenia na końcówce 11., koniec na 4. lub 5. (patrz również rys. 3).

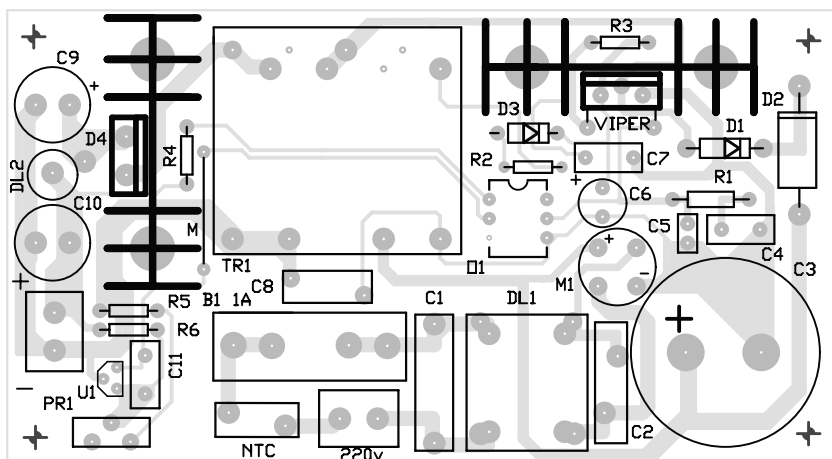
Kluczem do sukcesu i dobrej pracy zasilacza jest staranne nawijanie uzwojeń: ciasno, zwój przy zwoju z zachowaniem niewielkiego marginesu od brzegu karkasu. Zarówno na początek jak i koniec uzwojenia należy nałożyć koszulki izolacyjne, co chroni go przed przebiciami wewnątrz transformatora. Oczywiście każdą nawiniętą warstwę trzeba starannie zaizolować na całej szerokości taśmą poliesterową. Ponieważ miejsca do nawijania jest sporo, nie należy żałować izolacji. Taśma poliesterowa nie jest towarem sklepowym, od którego uginają się półki, a więc warto wiedzieć, iż można ją pozyskać ze starych kondensatorów styroflexowych na wysokie napięcie obcinając im brzegi piłką do metalu. Przy okazji dowiadujemy się, jakie jest napięcie przebicia pojedynczej warstwy folii.

Emalia izolująca typowy drut nawojowy o średnicy 0,3mm ma napięcie przebicia około 50V, jeden milimetr przerwy powietrznej przebija się przy tysiącach woltów. Warto o tym pamiętać podczas nawijania, a także o tym, że izolacja pomiędzy uzwojeniem wtórnym a pierwotnym powinna wytrzymać napięcie rzędu 3kV.

Uzwojenie pomocnicze nawija się jako drugie. Nawijanie rozpoczyna się od 12. nóżki karkasu, a kończy na pierwszej, całość zaś liczy tylko 10 zwojów. Z uwagi na niewielki prąd pobierany z tego uzwojenia, w zupełności wystarczy użyć przewodu o średnicy 0,25..0,4mm. Uzwojenie powinno zostać nawinięte w środku karka-



Rys. 3. Sposób uzwojania transformatora.



Rys. 5. Schemat montażowy płytki zasilacza.

su, a całość zaizolowana potrójną warstwą folii izolacyjnej.

Uzwojenie wtórne nawijane jest jako ostatnie i również liczy 10 zwojów. Do nawinięcia potrzebny jest jednak grubszy drut - wymagana średnica to 1..1,2mm. Początek uzwojenia mocuje się do końcówki 9. lub 10., koniec do 7. lub 8.

Po nawinięciu należy włożyć w karkas rdzeń, ścisnąć połówki koszulką termokurczliwą lub gumką i zmierzyć indukcyjność uzwojenia pierwotnego, która powinna wynosić około 1,7mH. Jeśli miernik wskaże wartość różniącą się od podanej liczby więcej niż o $\pm 10\%$, trzeba koniecznie skontrolować, czy szczelina w rdzeniu ma prawidłową wartość 0,35mm. W następnym kroku warto jest sprawdzić prawidłowość rozkładu początków i końcówek uzwojeń poprzez ich stopniowe łączenie szeregowo i obserwację wskazań miernika indukcyjności. Na wszelki wypadek rdzeń skleja się po całkowitym uruchomieniu zasilacza, należy jednak uważać, aby kształtki nie rozsunęły się podczas jego pracy - jest to prawie pewny sposób na spalenie Vipera w ciągu kilkunastu mikrosekund.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 110x60mm. Wzór mozaiki ścieżek dostępny jest w Internecie oraz na płycie CD-EP02/2000. Rozmieszczenie elementów przedstawiono na rys. 4.

Oprócz elementów konieczne jest wlutowanie jednej zwory z drutu. Aby polepszyć komfort pracy tranzystora D2, do jednej z jego

końcówek można dolutować niewielką (1..2cm²) blaszkę spełniającą rolę radiatora. Ważne jest, aby ten radiator był przymocowany do tej końcówki, która jest dołączona do stałego potencjału 300V - inaczej blaszka będzie pełniła dodatkowo funkcję małej anteny i promieniowała zakłócenia. Ta sama uwaga dotyczy układu Vipera - mimo braku konieczności, korzystnie jest z punktu widzenia generowanych przez zasilacz zakłóceń odizolować układ od radiatora.

Na zakończenie montażu polecam nałożenie koszulki termokurczliwej na kondensator C8, co polepszy bezpieczeństwo użytkownika zasilacza.

Wysoka integracja zasilacza istotnie utrudnia jego uruchamianie. Zanim na wejście podane zostanie napięcie sieci warto jednak skontrolować prawidłowość pracy pętli sprzężenia zwrotnego oraz przeprowadzić elementarne testy „zwarciowo-polaryzacyjne“. Zasilacz warsztatowy o regulowanym napięciu podłącza się do wejścia (zamiast sieci) i kontroluje wartość i polaryzację napięcia na kondensatorze C3. Gdy do końcówki V_{DD} Vipera podłączymy zasilacz o napięciu zbliżonym do 12V, na wejściu oscylatora powinien być widoczny przebieg пилоkształtny o częstotliwości około 50kHz.

Gdy zasilacz podłączony zostanie do wyjścia zasilacza, a w miejsce diody LED z transoptora włączymy na czas próby zwykłą (nie podczerwoną!) diodę LED, można sprawdzić prawidłowość pracy układu kontroli napięcia wyjściowego - dioda powinna rozbłysnąć

WYKAZ ELEMENTÓW:

wszystkie rezystory o mocy 0,125W
Viper 20B
(w obudowie Pentawatt HV)

Rezystory

- R1, R3: 4,7k Ω
- R2: 12 Ω
- R4: 270 Ω
- R5: 1,6k Ω
- R6: 8,2k Ω
- PR1: 1k Ω , pionowy

Kondensatory

- C1: 47nF/400V
- C2: 4,7nF/400V
- C3: 47 μ F/400V (średnica 25mm)
- C4: 100nF/63V
- C5: 1nF/25V ceramiczny
- C6: 47 μ F/25V
- C7: 8,2nF/63V poliestrowy
- C8: 1nF/3kV!
- C9: 1000 μ F/16V, niski ESR
- C10: 470 μ F/16V, niski ESR
- C11: 22nF

Półprzewodniki

- U1: TL431
- D1: UF4007, RU1P lub inna dioda 1A/1000V/100ns (nie zalecam "nieśmiertelnej" BA159!)
- D2: transil 1.5KE200
- D3: BYW29-100 lub inna dioda 5A/50V/trr<100ns
- D4: UF4002, BA157
- O1: 4N35
- M1: mostek okrągły 1A/400V

Różne

- DL1: Dps U15L23 (Polfer) lub podobny
- DL2: DSp70.10-100 (10 μ H/2A) Polfer
- B1: bezpiecznik zwłoczny 1A z oprawką do druku
- NTC: termistor NTC 10 Ω /1W lub rezystor 4,7 Ω /2W drutowy
- TR1: transformator do wykonania, rdzeń EE30/7 z materiału F807 (Polfer) wraz z karkasem typu 2010
- Całkowita szczelina powietrzna 0,35mm, indukcyjność uzwojenia pierwotnego 1,7mH, uzwojenia wg opisu w tekście
- Złącza ARK 5mm 2 sztuki, radiatorzy dla Vipera i D3

jasnym światłem po przekroczeniu na wyjściu napięcia około 12V.

O ile zasilacz przeszedł te próby pomyślnie, można obciążyć go samochodową żarówką (np. 12V/10W) i włączyć do sieci. Po starcie pozostaje jedynie wyregulować napięcie wyjściowe za pomo-

cą potencjometru PR1. Jeśli zasilacz będzie milczał, szukanie winowajcy proponuję rozpocząć od pomiaru napięć na C3 (310V) i drenie Vipera. Gdy rdzeń transformatora cicho terkocze, usterka prawdopodobnie leży w obwodzie zasilania układu (R2, D4 i C6), poza tym zawsze winowajcą może być transformator, dlatego nalegam na przeprowadzenie wszystkich testów, jakie podane zostały przy okazji opisu.

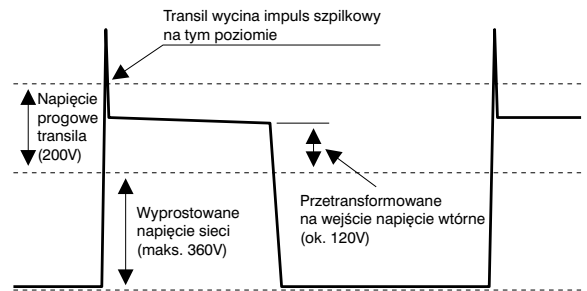
Modyfikacje napięciowo - prądowe

Z uwagi na prosty sposób ograniczania przepięć za pomocą transila, nie wolno jest dowolnie zmieniać napięcia wyjściowego zasilacza, ograniczając się jedynie do zmiany wartości rezystancji dzielnika R6, R5. W skrajnych przypadkach przetransformowane na stronę pierwotną napięcie wtórne może osiągnąć taki poziom, że zamiast samych szpilek transila „zechce“ wyciąć także przebieg

normalny (patrz rys. 5).

Myślę, że każdy potrafi sobie wyobrazić skutki, jakie wywoła przeszło dwadzieścia watów mocy wydzielającej się w niewielkiej diodzie, tak samo ciekawe są przemyślenia, jak długo będzie pracował Viper, gdy w układzie nie będzie diody D2, a amplituda szpilek na jego drenie osiągnie np. 200V.

Niewielkie zmiany napięcia wyjściowego (9..15V) można zrealizować poprzez odjęcie lub dołożenie 1 zwoju drutu do uzwojenia wtórnego i zmianę stopnia podziału dzielnika R5, R6. Większe zmiany napięciowe wymagają już przeprojektowania transformatora. Z pewnością pomocny do tego zadania okaże się arkusz kalkulacyjny przedstawiający policzone niniejsze zadanie (plik źródłowy dostępny w Internecie i na płycie CD-EP2/2000).



Rys. 5. Napięcie na drenie klucza w chwili, gdy jest on wyłączony.

Nieco gorzej z mocą wyjściową. Za pomocą Vipera 20 trudno jest uzyskać na wyjściu więcej niż 25..30W. Na szczęście jednak jest to najślabszy członek rodziny i ma on starsze i mocniejsze rodzeństwo.
Robert Magdziak,
trebor@mi.com.pl

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/pcb.html> oraz na płycie CD-EP02/2000 w katalogu PCB.