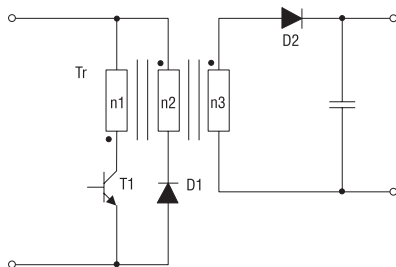


# Projektowanie zasilaczy SMPS

Tradycyjny zasilacz (z transformatorem sieciowym) można wykonać w bardzo prosty sposób, nasuwa się jednak pytanie czy warto? Czy chcemy mieć ciężki, toporny i mało stabilny układ, którego sprawność energetyczna zazwyczaj nie przekracza 50%? Czy chcemy otrzymywać napięcie, którego wartość będzie zależna od wahań napięcia sieci oraz natężenia prądu pobieranego na wyjściu zasilacza? Jeśli nie, to zapraszam do zapoznania się z treścią artykułu.

## Podstawy

Przetwornice typu *flyback* (tzw. dwutaktowa przetwornica zaporowa) jest jedną z częściej spotykanych topologii zasilaczy SMPS (schemat ideowy przedstawiono na rys. 1). W czasie, gdy przewodzi tranzystor T1, prąd w uzwojeniu pierwotnym  $n_1$  transformatora narasta w sposób liniowy, natomiast dioda D1 jest spolaryzowana zaporowo. Gdy wspomniany tranzystor zostaje zatkany,



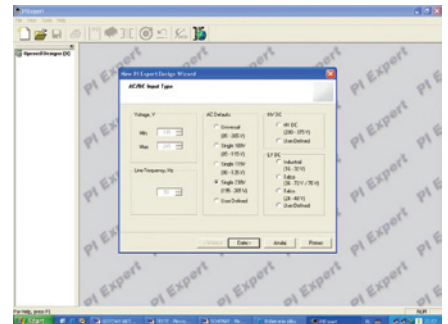
Rys. 1.

*W poprzednich częściach naszej opowieści przedstawiliśmy różne rodzaje materiałów magnetycznych miękkich, podstawy obliczania prostych elementów indukcyjnych, a także kryteria wyboru topologii budowanego zasilacza.*

*Dziś nadszedł czas na konkrety. Wspólnie spróbujemy bliżej zapoznać się z budową przetwornicy typu flyback, nauczymy się także projektować zasilacze tego typu.*

energia zgromadzona w transformatorze zostaje przekazana do obciążenia. Po przerwaniu prądu płynącego w uzwojeniu pierwotnym transformatora, na skutek zatkania tranzystora, w indukcyjności rozproszenia indukuje się napięcie o wartości zależnej od szybkości zaniku prądu płynącego w uzwojeniu pierwotnym. Dla uproszczenia możemy przyjąć, że napięcie powstające w indukcyjności rozproszenia sumuje się z napięciem uzwojenia pierwotnego.

W związku z powyższym indukcyjność rozproszenia transformatora pracującego w tego typu przetwornicy musi być możliwie jak najmniejsza. Jest ona cechą jak najbardziej niepożądaną i wpływa niekorzystnie na działanie układu. A co to jest indukcyjność rozproszenia? No właśnie – jest to wskaźnik niedoskonałości transformatora. Jej pomiaru dokonujemy podłączając miernik indukcyjności do uzwojenia pierwotnego, przy zwartych zaciskach uzwojenia wtórnego. Wartość indukcyjności rozproszenia powinna być jak najmniejsza, choć w praktyce dochodzi czasem do 5...10% znamionowej wartości indukcyjności uzwojenia pierwotnego. Dla ograniczenia wartości napięcia wy-



Rys. 2.

stępującego na tranzystorze, stosuje się dodatkowe uzwojenie  $n_2$ , zwane uzwojeniem pomocniczym. Uzwojenie to umożliwia powrót energii zgromadzonej w indukcyjności dla nieobciążonego uzwojenia wtórnego.

Budowanie przetwornicy wyłącznie z elementów dyskretnych jest obecnie nieopłacalne. Jest wielu producentów gotowych sterowników stosowanych w zasilaczach SMPS. Układy te mają szereg zabezpieczeń chroniących je przed przeciążeniem, czy przed zbyt wysoką temperaturą mogącą uszkodzić ich strukturę. Godną polecenia jest amerykańska firma Power Integration, która proponuje gotowe sterowniki dla większości przetwornic małej i średniej mocy.



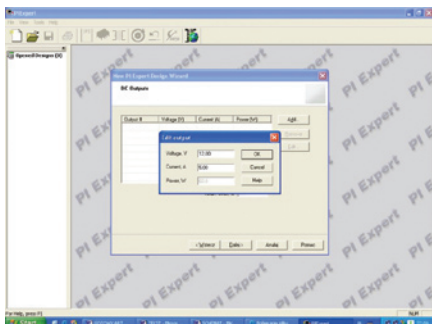
## Twój sukces

## naszą satysfakcją

[www.FERYSTER.pl](http://www.FERYSTER.pl)

**FERYSTER®** spółka jawna B. i Z. Sobków  
**PRODUCENT ELEMENTÓW INDUKCYJNYCH**

Official Power Integrations  
 Transformer Vendor (Europe)



Rys. 3.

Ze względu na przesłanie cyklu artykułów publikowanych w poprzednich numerach EP, zajmiemy się omówieniem zasilacza z punktu widzenia transformatora impulsowego, stanowiącego bardzo ważną część całego urządzenia. To właśnie od niego w największym stopniu zależy, czy budowany zasilacz będzie działał prawidłowo. Jeśli będziemy potrafili dobrze zaprojektować a następnie wykonać taki element, to na pewno uruchomienie zasilacza nie przysporzy nam większych trudności. Firma Power Integration dostarcza oprogramowanie pomocne przy projektowaniu transformatorów pod swoje „switche”. Na CD-EP6/2006B publikujemy je wraz z katalogiem firmy PMI, w którym znajdują się tablice pozwalające zorientować się w możliwościach sterowników impulsowych, które w zależności od naszych potrzeb możemy zastosować w budowanym zasilaczu. Znając moc urządzenia, rodzaj obudowy, przedział napięć zasilania, częstotliwość pracy, oraz kilka innych parametrów, możemy dobrać sterownik spełniający zadanie, jakie przed nim postawimy.

## Zaczynamy

Po uruchomieniu programu PI Expert, arkusz wymaga zdefiniowania napięcia wejściowego zasilacza (rys. 2). Możemy wybrać zasilanie prądem przemiennym w zakresie napięć od 85 do 265 V oraz prądem stałym w trzech przedziałach t.j. 16 do 48 V, 24 do 48 V, oraz 200 do 375 V. Można także zmienić częstotliwość napięcia zasilania (wybrać inną niż 50 Hz jeśli jest taka potrzeba). Następnym krokiem jest wybranie napięć i prądów, które chcemy uzyskać na wyjściu zasilacza (rys. 3). Aplikacja pozwala na zdefiniowanie sześciu napięć, choć stabilizowane jest najczęściej tylko jedno z nich. Kolejnym krokiem jest

wyбір topologii zasilacza, rodziny sterowników, rodzaju obudowy oraz częstotliwości kluczowania przetwornicy (rys. 4). Tu zazwyczaj dostępna jest topologia *flyback*, choć dla niektórych rozwiązań możliwe jest także wybranie przetwornicy typu *forward*. Dla większości sterowników dostępne są dwie częstotliwości kluczowania, tj. 66 kHz i 132 kHz (najniższa to około 40 kHz). Należy pamiętać, że wybór niższej częstotliwości wiązać się będzie ze zwiększeniem rozmiarów projektowanego transformatora, w stosunku do pracującego w układzie kluczowania z częstotliwością 132 kHz. Czasem jednak, szczególnie przy większych mocach, wybranie niższej częstotliwości pracy układu jest korzystne ze względu na sporą moc wydzielaną na diodzie zabezpieczającej (transilu). Zmniejszenie częstotliwości pracy, a zarazem zwiększenie wielkości rdzenia w znacznym stopniu niweluje ten mankament.

Przed zrobieniem kolejnego kroku musimy zdać sobie sprawę z wymogów bezpieczeństwa, jakie musi spełniać transformator. W zasilaczach sieciowych, a taki właśnie najczęściej będziemy projektować, uzwojenie wtórne musi być galwanicznie odizolowane od uzwojenia pierwotnego. Transformatory w takich właśnie układach muszą wytrzymać próbę napięciową na poziomie 3700... 5000 VAC w zależności od normy, jakiej podlega urządzenie wyposażone w taki zasilacz. Żeby zapewnić wysoki poziom bezpieczeństwa poszczególne uzwojenia transformatora muszą być od siebie odpowiednio odizolowane. Zazwyczaj pomiędzy uzwojeniem pierwotnym a wtórnym stosuje się trzy warstwy izolacji. Są to różnego rodzaju taśmy (najczęściej poliestrowe) lub folie elektroizolacyjne o grubościach zazwyczaj nie przekraczających 50  $\mu\text{m}$ . Dla zwiększenia bezpieczeństwa nie należy się także uzwojenia na całej szerokości karkasu.

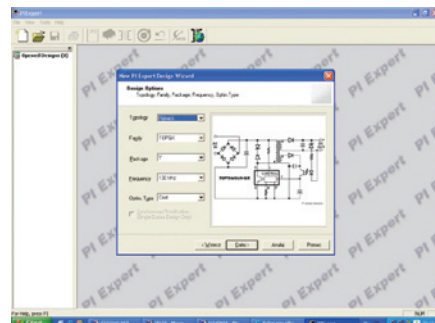
Zastosowanie 3 milimetrowych „marginesów” po obu stronach karkasu znacznie oddala od siebie uzwojenia, które chcemy izolować. Jeśli wielkość transformatora nie pozwala nam na taki zabieg, to istnieje alternatywa dla tego rozwiązania. W małych transformatorach (najczęściej o mocy do kilkunastu watów) możemy wypełnić karkas po brzegi, pod warunkiem jednak,

że uzwojenie (lub uzwojenia) wtórne wykonamy przewodem w potrójnej izolacji typu TIW (*Triple Insulated Wire*). Pytanie o „marginesy” pojawia się podczas projektowania. Musimy zdecydować, którą z możliwości wybrać.

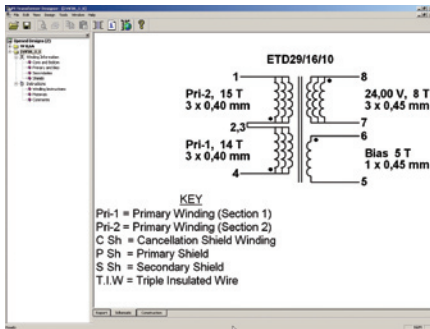
Aplikacja sama zaproponuje nam rodzaj i wielkość rdzenia, którego powinniśmy użyć. Istnieje oczywiście możliwość zmiany zarówno jego kształtu jak i wielkości. Jeśli oprogramowanie nie daje możliwości wyboru rdzenia który posiadamy, a zależy nam na jego użyciu, to znając jego wymiary możemy w dość prosty sposób dodać go do bazy PI Expert.

Należy pamiętać, że wybór przesadnie dużego rdzenia nie tylko zwiększy nam koszty zasilacza, ale także zwiększy wielkość i ciężar całego urządzenia. Po wybraniu rdzenia staramy się maksymalnie zmniejszyć liczbę zwojów uzwojenia wtórnego. Jest to oczywiście możliwe tylko do pewnego stopnia, po którym transformator wejdzie niestety w stan nasycenia. Zmniejszanie liczby zwojów pociąga za sobą zmniejszanie szerokości szczeliny powietrznej, wykonywanej zazwyczaj na środkowej kolumnie jednej z jego połówek. Mniejsza szczelina jest dla nas korzystna ze względu na mniejszy poziom zakłóceń emitowanych przez układ. Czasem dla zmniejszenia zakłóceń transformatory wyposaża się w tzw. ekrany. Mogą one być wykonywane w dwóch formach:

- Pierwsza z nich, to tzw. ekran wewnętrzny otwarty. Wykonuje się go najczęściej po uzwojeniu pierwotnym. Ma postać jednej warstwy „szczelnie” nawiniętego uzwojenia wykonanego na całej szerokości karkasu. Innym sposobem jest nawinięcie w tym samym miejscu jednego zwoju wykonanego cienkiej blachy mie-



Rys. 4.



Rys. 5.

dzianej. Blacha powinna mieć szerokość pozostałych uzwojeń. Należy jednak pamiętać by przełożyć ją warstwą izolacji, aby nie dopuścić do zwarcia początku i końca zwoju.

- Drugi rodzaj ekranu stanowi tzw. ekran zewnętrzny. Jest to najczęściej jeden zwarty zwój blachy miedzianej owiniętej na zewnątrz rdzenia.

Mając wyliczoną liczbę zwojów poszczególnych uzwojeń transformatora, kształt i wielkość rdzenia, a także szczelinę powietrzną, możemy przystąpić do jego wykonania.

Karkasy, na których wykonuje się transformatory impulsowe występują w dwóch podstawowych wersjach: *vertical* (czyli pionowej) oraz *horizontal* (czyli poziomej). W zależności od miejsca, jakie przeznaczymy na transformator, możemy wybrać jedno z dwóch rozwiązań.

Musimy pamiętać, że rozłożenie poszczególnych uzwojeń transformatora ma ogromny wpływ na działanie układu. Najczęściej uzwojenie wysokonapięciowe (w naszym przypadku pierwotne) nawijane jest jako pierwsze. Należy tak rozplanować transformator, żeby uzwojenie to składało się z jak najmniejszej liczby warstw. Dla więcej niż dwóch warstw, ze względu na duże odległości poszczególnych uzwojeń od siebie, wspomniana wcześniej indukcyjność rozproszenia może mieć stosunkowo dużą wartość. Początek i koniec uzwojenia pierwotnego należy tak wyprowadzić, żeby się ze sobą bezpośrednio nie krzyżowały (o ile oczywiście jest to możliwe ze względów technologicznych). Różnica potencjałów między początkiem, a końcem uzwojenia może spowodować „przebicie” izolacji, jaką pokryty jest drut (najczęściej jest to emalia), a co za tym idzie uszkodzenie transformatora.

Jako drugie nawijamy uzwojenie pomocnicze (*bias*). Ze względu na

fakt, że oba uzwojenia mają wspólny potencjał izoluje się je od siebie najczęściej jedną warstwą izolacji. Jest to uzwojenie mające najczęściej kilka zwojów, które powinniśmy „rozrzuć” na całej dostępnej szerokości karkasu (oczywiście uwzględniając „marginesy”, jeśli zostały założone w projekcie). Prąd, jaki płynie w uzwojeniu biasu, w rozwiązaniach Power Integration ma najczęściej natężenie kilku (bądź kilkunastu) miliamperów, a więc przekrój drutu użytego do jego wykonania może być niewielki.

Po uzwojeniu pomocniczym przyszedł czas na uzwojenie wtórne. Powinno być ono tak rozplanowane, by jak najdokładniej pokryć całą dostępną szerokość karkasu. Dla częstotliwości 132 kHz, ze względu na „efekt naskórkowości” (o którym pisaliśmy już w poprzednich artykułach) nie ma sensu stosowanie drutu o średnicy większej niż 0,36 mm (głębokość wnikania prądu dla tej wartości częstotliwości wynosi około 0,18 mm).

Jeśli jednak zdecydujemy się na częstotliwość kluczowania układu wynoszącą 66 kHz, to maksymalna średnica drutu, jaki możemy użyć wzrasta nam do około 0,52 mm.

Sprawą niezwykle istotną jest dobranie średnicy przewodów do odpowiedniej gęstości prądu. Optymalna jej wartość, dla transformatorów wykorzystywanych do pracy ciągłej to od 4 do 5 A/mm<sup>2</sup>. Oznacza to, że dla przewodu o przekroju 1 mm<sup>2</sup> maksymalna wartość natężenia prądu to 4 A.

Jeśli prądy płynące w transformatorze mają znaczne wartości, a drut dobrany przez nas „pod naskórkowość” ma zbyt mały przekrój, to możemy użyć kilku przewodów nawijając uzwojenie jednocześnie kilkoma (połączonymi równoległe) drutami. Chcąc uzyskać jak najmniejszą wartość indukcyjności rozproszenia, starajmy się, aby odległości pomiędzy poszczególnymi uzwojeniami były możliwie jak najmniejsze. Samo wyprowadzenie uzwojeń pod piny powinno być tak zaprojektowane, by uzwojenie pierwotne oraz *bias* znajdowały się po jednej, natomiast uzwojenie (uzwojenia) wtórne po drugiej stronie karkasu.

Na końcówki przewodów „wysokonapięciowych” starajmy się zakładać koszulki izolacyjne. Musimy także pamiętać, że standardowe rdze-

nie używane w transformatorach impulsowych (manganowo-cynkowe) są świetnymi przewodnikami i dlatego należy starać się, by odległości (nie izolowanych części) przewodów od rdzenia były możliwie jak największe. Jest to oczywiście niezwykle ważne ze względu na bezpieczeństwo nasze oraz osób, które w przyszłości będą korzystać z naszego niezwykle udanego i niezawodnego zasilacza.

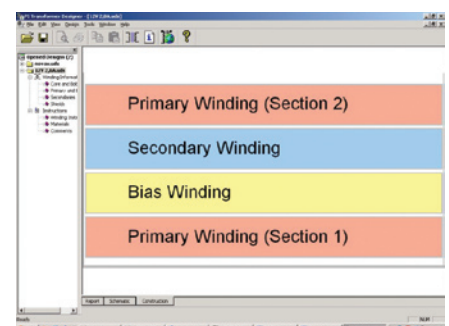
Producent sterowników w pakiecie programów do projektowania zasilaczy, poza tradycyjną aplikacją do projektowania transformatorów PI Expert, dostarcza także program o nazwie PI-Transformer Designer. Jest to niezwykle przydatne narzędzie, za pomocą którego (po zakończeniu projektowania) mamy możliwość ustalenia „pinologii” (czyli sposobu wyprowadzeń poszczególnych uzwojeń do pinów transformatora), szerokości użytych „marginesów”, grubości (oraz liczby) zastosowanych drutów, liczby warstw izolacji, oraz wielu innych, szalenie istotnych szczegółów dotyczących wykonania transformatora.

Widok edytowanego transformatora przedstawiają **rys. 5 i 6**.

Jeżeli jednak mimo naszej moliwej pracy okaże się, że zasilacz nie działa, to nie pozostaje nam nic innego jak tylko spakować projekt do załącznika i wysłać na adres [konstruktor@feryster.pl](mailto:konstruktor@feryster.pl). Od tego momentu życie stanie się o wiele prostsze i piękniejsze...

Działający zasilacz, choć niewątpliwie będzie mały, sprawny i niezawodny (...i będzie cieszył nas jak najlepsza zabawka z czasów dzieciństwa), z pewnością skutecznie zaburzy otaczające nas pole elektromagnetyczne. O tym jak się tego ustrzec i jak naprawić to, co do tej pory zepsuliśmy, dowiedzie się z kolejnego artykułu...

**Grzegorz Piślewski**  
Konstruktor firmy FERYS TER



Rys. 6.