

Po trudnym i wymagającym cyklu o szumach elementów półprzewodnikowych proponujemy chwilę relaksu - teraz zajmiemy się bezpiecznikami.



Bezpieczniki topikowe

Część 1

Każdy wie, że bezpiecznik służy do ochrony układu przed uszkodzeniem. W praktyce amatorskiej najczęściej jest dobierany przypadkowo; często nie zastanawiając się wkładamy taki, jaki akurat mamy pod ręką. Niektórzy „fachowcy” bez zahamowań zastępują prawdziwe bezpieczniki kawałkiem drutu.

Mało kto zastanawia się nad parametrami bezpiecznika - takiego „prymitywnego” elementu - wydają się one niegodne uwagi w porównaniu z parametrami jakże subtelnych elementów półprzewodnikowych. Cóż to za tajemnice mogą kryć się w „druciku” zamkniętym w szklanej rurce?

Tymczasem garść podstawowych informacji o bezpiecznikach jest niezbędna dla każdego poważnego elektronika. Ponadto, jak przekonamy się w dalszej części artykułu, temat doboru bezpieczników do ochrony elementów półprzewodnikowych wcale nie jest taką łatwą sprawą.

Dla ścisłości powiedzmy, że w zasadzie pod pojęciem bezpiecznika powinniśmy rozumieć element składający się z wkładki topikowej i oprawy (gniazdka). W artykule zajmujemy się parametrami wkładek topikowych, przy czym określeń wkładka topikowa i bezpiecznik będziemy używać wymiennie.

Odróżnijmy na początek dwie sytuacje:

Pierwszą, gdy bezpiecznik ma ochronić podzespół lub blok przed uszkodzeniem w awaryjnych warunkach pracy. Dotyczy to bezpieczników zabezpieczających podczas przeciążenia i zwarcia końcowy wzmacniacz mocy albo triak pracujący w obwodzie sieci 220V.

Z drugą sytuacją mamy do czynienia gdy bezpiecznik nie jest w stanie uchronić przed uszkodzeniem, a w razie awarii w układzie jego zadanie polega tylko na przerwaniu obwodu i niedopuszczeniu do powstania dalszych szkód, w szczególności pożaru. Przede wszystkim takie zadanie mają bezpieczniki włączane w obwód sieciowy większości urządzeń elektronicznych.

W pierwszej sytuacji zależy nam na jak najszybszym przerwaniu przepływu prądu po przekroczeniu wartości nominalnej - tu chcielibyśmy zastosować jakiś bezpiecznik działający natychmiastowo lub przynajmniej bardzo szybko.

Z drugiej strony, wiele urządzeń w pierwszej chwili po włączeniu pobiera prąd większy (często nawet kilkakrotnie) od normalnego prądu pracy. W takiej sytuacji bezpiecznik przy krótkotrwałym przeciążeniu nie powinien zadziałać - tu przydałby się jakiś „leniwy” bezpiecznik. Ale co będzie gdy w urządzeniu z takim bezpiecznikiem zdarzy się jakaś awaria?

Widzimy zatem, że w zależności od potrzeb należałoby stosować różne bezpieczniki. I rzeczywiście, produkowane są bezpieczniki o różnych charakterystykach.

Całka Joule'a

Zanim omówimy parametry poszczególnych typów, wcześniej zauważmy, że aby bezpiecznik zadziałał (czyli potocznie mówiąc, aby się przepalił) potrzebna jest pewna energia elektryczna, która zamieni się na ciepło, rozgrzeje drut topikowy i spowoduje jego przerwanie.

Jaki parametr byłby pomocny przy analizie skuteczności ochrony przed uszkodzeniem?

Energia to przecież iloczyn mocy i czasu:

$$E = P \cdot t \quad (1)$$

W przypadku bezpiecznika podstawowym parametrem jest prąd pracy, zakładamy też w uproszczeniu, że rezystancja drutu topikowego pozostaje stała w różnych temperaturach - piszemy więc:

$$E = I^2 \cdot R \cdot t = (I^2 \cdot t) \cdot R \quad (2)$$

W rzeczywistych warunkach chwilowa wartość prądu płynącego przez bezpiecznik nie jest stała - potrzebna jest więc uśredniona wartość tego prądu w czasie t . Dla

ścisłości powinniśmy się więc posłużyć całą prądu w czasie t .

Tak czy inaczej, wyrażenie w nawiasie jest wielkością charakterystyczną dla bezpiecznika - mamy więc poszukiwany parametr. Nie musimy go obliczać, bo producenci bezpieczników podają jego wartość w katalogach - jest on nazywany **całką Joule'a** i oznaczany oczywiście I^2t .

Sens tego parametru wyczuwamy intuicyjnie. Jeśli prąd przecią-

żeniowy będzie bardzo duży, to bezpiecznik zadziała szybciej, przy mniejszym prądzie odpowiednio wolniej.

Co bardziej wnikliwi Czytelnicy zapytają w tym miejscu, czy nie

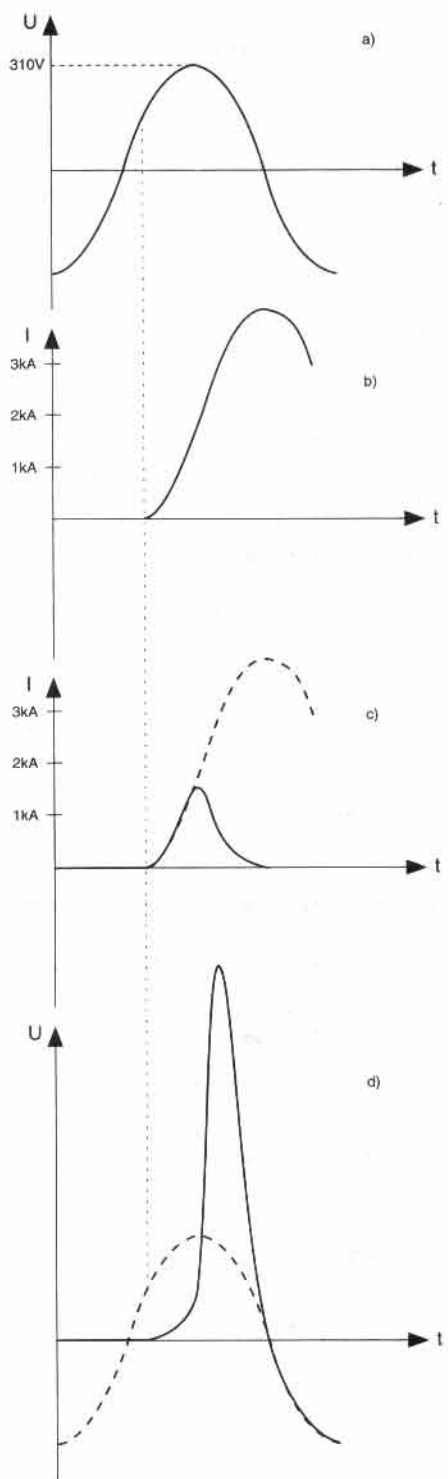
można mówić o takim samym parametrze - całce Joule'a - w odniesieniu do elementów zabezpieczających - diod lub triaków?

Oczywiście, że można! Co więcej, parametr ten (I^2t) jest podany w większości katalogów elementów półprzewodnikowych dużej mocy. Podana wartość określa dopuszczalne warunki pracy, aby struktura półprzewodnika nie uległa uszkodzeniu.

Stąd tylko krok do ważnego wniosku:

Aby skutecznie zabezpieczyć urządzenie półprzewodnikowe o znanej wartości I^2t przed uszkodzeniem w przypadku przeciążenia lub zwarcia, należy zastosować taki bezpiecznik, którego wartość parametru I^2t jest **mniejsza** od wartości I^2t danego elementu półprzewodnikowego.

Można na to spojrzeć także z innej strony. Jeśli prąd wzrośnie od zera do wartości bliskiej prądowi nominalnemu, w druciku topikowym zacznie się wydzielać pewna moc i rozgrzeje się on do pewnej, dość zresztą wysokiej temperatury. Nie nastąpi jednak jego stopienie, bo ciepło to będzie rozpraszane do otoczenia. Wytworzy się stan równowagi: ilość ciepła wytwarzanego



Rys. 1. Wykresy czasowe prądów i napięć na bezpieczniku:

- a) przebieg napięcia sieci
- b) spodziewany prąd zwarciaowy
- c) rzeczywisty prąd zwarciaowy
- d) przebieg napięcia na bezpieczniku

w danej chwili będzie równa ilości ciepła przekazywanego do otoczenia. Jeżeli jednak prąd wzrośnie do wartości większej niż nominalna, to w druciku wydzieli się więcej ciepła i w związku z budową wkładki bez-

piecznikowej wydzielane ciepło nie zdąży w krótkim czasie rozproszyć się do otoczenia i temperatura wzrośnie aż do stopienia drutu. Wydzielana moc rośnie bowiem proporcjonalnie do drugiej potęgi prądu, a zdolność odprowadzania ciepła wprawdzie wzrasta z temperaturą, ale znacznie wolniej. Do szczegółowej analizy potrzebny byłby zastępczy model cieplny bezpiecznika, analogiczny do modelu cieplnego przyrządów półprzewodnikowych omawianych w artykułach o radiatorach, z tym że oprócz rezystancji cieplnej powinniśmy tu uwzględnić także pojemność cieplną, która decyduje o czasie zadziałania. Nawet przy bardzo dużych prądach podczas zwarcia czas zadziałania bezpiecznika będzie rzędu milisekund.

W zależności od konstrukcji i użytych materiałów uzyskuje się różne właściwości. W zależności od czasu reakcji rozróżnia się **bezpieczniki szybkie i zwłoczne**.

W naszej praktyce używamy przede wszystkim rurkowych, szklanych wkładek topikowych o średnicy 5,2mm i długości 20mm na maksymalne napięcie pracy 250V. Według PN-77/E-06170 w ich oznaczeniu występuje skrót WTA (Wkładka Topikowa Aparatowa). Podane jest znamionowe napięcie wyłączeniowe i prąd nominalny. Wkładki zwłoczne oznacza się literą T (niem. träge - leniwy, bezwładny, inercyjny). Wkładki szybkie oznacza się literą F (niem. flink - zwały, zwinny), z tym że litera F w najpopularniejszych wkładkach może być pominięta. Stąd wkładki szybkie są oznaczane po prostu WTA, zaś zwłoczne WTA-T. Bezpieczniki zwłoczne mają też literkę T w oznaczeniu, np. T 315mA 250V. Z kolei oznaczenie np. 2,5/250 świadczy, że jest to bezpiecznik szybki WTA-F.

Przy okazji sprostujmy popularny wśród amatorów pogląd, że „bezpieczniki ze sprężynką są szybkie, bo sprężynka przyspiesza rozłączanie”. Jest akurat odwrotnie - większość wkładek zwłocznych (ale nie wszystkie) mają drut topikowy uformowany w kształcie spirali.

Prąd znamionowy, napięcie wyłączeniowe i zdolność wyłączenia

Powiedzmy teraz trochę, co dzieje się podczas zadziałania bezpiecznika.

Nie wygląda to tak prosto, jak

wydawałoby się na pierwszy rzut oka. Większość bezpieczników „traci życie” w warunkach zwarcia. Prądy zwarciaowe w układach elektronicznych mogą być duże, rzędu kilkudziesięciu amperów, a w sztywnych sieciach zasilających mogą dochodzić do kilkuset, czy kilku tysięcy amperów.

Czy prądy o takiej wartości płyną przez bezpiecznik przez moment poprzedzający stopień topika?

Pamiętajmy o indukcyjności obwodu zasilającego. Źródła zasilające, w tym także sieć 220V, charakteryzują się pewną indukcyjnością. Prąd nie może natychmiast wzrosnąć od zera do maksymalnej wartości prądu zwarcia. Na rysunku 1b pokazano przykładowy przebieg prądu zwarcia w sieci zasilającej 220V przy wybraniu chwili zwarcia w niekorzystnym momencie, gdy chwilowa wartość napięcia jest duża (porównaj rysunek 1a). W rzeczywistości prąd zwarciaowy, w związku z istnieniem zabezpieczeń, nie pojawi się na długo - jeśli w obwodzie zastosowano szybkie zabezpieczenia będzie trwał mniej niż pół okresu, przy wolno działających zabezpieczeniach - co najwyżej kilka okresów sieci. Dlatego wprowadzono pojęcie spodziewanego prądu zwarcia - czyli prądu jaki wystąpiłby w obwodzie bez żadnych zabezpieczeń. Prąd taki nie powinien nigdy wystąpić w sieci, bo przecież istniejące szybkie zabezpieczenia powinny zadziałać wcześniej i nie dopuścić do takiego wzrostu.

Wynika stąd wniosek, że bezpieczniki przewidziane do pracy w obwodach sieci 220V powinny zadziałać na tyle szybko, aby nie dopuścić do narosnięcia prądu zwarcia do maksymalnej wartości spodziewanej - powiemy wtedy, że są to **bezpieczniki ograniczające**.

Na rysunku 1c linią przerywaną narysowano spodziewany prąd zwarcia sieci 220V, a linią ciągłą prąd rzeczywisty w obwodzie z właściwie dobranym bezpiecznikiem - jego szczytowa wartość może mimo wszystko osiągnąć poziom kilkuset amperów, a nawet więcej.

Z kolei rysunek 1d przedstawi przebieg napięcia na bezpieczniku podczas zwarcia. Naszą uwagę zwraca duże przepięcie pojawiające się na bezpieczniku w chwili przerwania obwodu. Jaka jest jego przyczyna?

Otóż, jak mówiliśmy, obwód zasilający wykazuje pewną indukcyjność. Nic dziwnego, że w chwili

przerwania przepływu prądu wystąpi przepięcie. Ponadto, w chwili stopienia topika powstaje łuk elektryczny, co też ma swoje znaczenie. Trzeba bowiem pamiętać, iż po zadziałaniu bezpiecznika na jego zaciskach wystąpi pełne napięcie zasilające dany obwód.

Każdy, kto choć trochę miał do czynienia z wysokimi napięciami wie, że przy dużych prądach i występujących przepięciach szybkie i skuteczne przerwanie przepływu prądu nie jest taką prostą sprawą.

I tu mamy odpowiedź na pytanie dlaczego na bezpiecznikach podaje się znamionowe napięcie wyłączeniowe. Przy zastosowaniu niskonapięciowego bezpiecznika w obwodzie o wyższym napięciu mogłaby powstać sytuacja, że przepływ dużego prądu utrzyma się przez długi czas wskutek utrzymującego się łuku elektrycznego i zabezpieczenie będzie zupełnie nieskuteczne.

Podobna sytuacja wystąpi jeśli bezpiecznik zadziała w obwodzie o dużej wartości spodziewanego prądu zwarcia, rzędu kilkuset czy kilku tysięcy amperów. Tu również łuk elektryczny powstały przy prze-

rywaniu tak dużego prądu mógłby się utrzymywać dłuższy czas, czyniąc zabezpieczenie nieskutecznym. Przy ocenie bezpiecznika możemy więc mówić o zdolności wyłączenia dużych prądów.

Produkuje się rurkowe wkładki bezpiecznikowe o dużej zdolności wyłączenia spodziewanego prądu zwarciovego - 1500A. Według wspomnianej normy ich oznaczenie musi zawierać literę G. W praktyce są to wyłącznie wkładki szybkie i stosowane są do zabezpieczenia delikatnych przyrządów w obwodach sieci 220V (w szczególności triaków w ściemniaczach oświetlenia). Wkładki takie mają obowiązkowo w oznaczeniu także literę F - przykład oznaczenia:

WTA F 1,6/250/G. Poznamy je łatwo, bo szklana rurka wkładki wypełniona jest piaskiem kwarcowym pomagającym szybko zgasić łuk po zadziałaniu bezpiecznika.

Wkładki bez litery G (niekiedy bywają oznaczane literką N) - czyli WTA i WTA-T mają niską zdolność wyłączenia - tylko 35A przy prądzie przemiennym. Niemniej jednak w obwodach sieciowych większości

odbiorników stosuje się powszechnie wkładki WTA T - zwłoczne o małej zdolności wyłączenia. Oczywiście, nie zabezpieczą one elementów układu przed uszkodzeniem, ich zadaniem jest tylko przerwanie obwodu, aby nie dopuścić do eksplozji, uszkodzenia przewodów czy pożaru.

Popularne wkładki WTA i WTA-T (oraz bezpieczniki instalacyjne stosowane w domowej sieci 220V) w żadnym wypadku nie są w stanie uchronić przed uszkodzeniem delikatnych przyrządów półprzewodnikowych. Przede wszystkim czas ich działania jest zbyt długi, nie są też przystosowane do rozłączania dużych prądów zwarciovych, a ponadto (uwaga!) występujące duże przepięcia najprawdopodobniej spowodują uszkodzenie elementu.

Wartość całki Joule'a (I^2t) takich bezpieczników jest duża, bywa że do dziesięciu razy większa niż bezpieczników WTA-F-G o tym samym prądzie nominalnym.

Piotr Górecki

Cd. w EP 5/95