

Bezpieczniki

- niedoceniane elementy elektroniczne

W pierwszej części artykułu omówione były podstawowe zagadnienia związane z bezpiecznikami. Drugi odcinek przeznaczony jest dla osób, które chcą wiedzieć nieco więcej na ten temat, zwłaszcza na temat doboru bezpiecznika do ochrony elementów półprzewodnikowych (triaków, tyrystorów, diod) pracujących w obwodach sieci energetycznej.

Całka Joule'a

W pierwszej części artykułu podane były charakterystyki czasowo-prądowe wkładek topikowych. Z charakterystyk wynika, że czym większy prąd, tym czas przerywania obwodu jest krótszy. Obowiązuje tu prosta zależność matematyczna. Wynika ona z faktu, że do zadziałania bezpiecznika potrzebna jest odpowiednia ilość energii cieplnej. Ciepło to powstaje podczas przepływu prądu przez rezystancję bezpiecznika – jest to tak zwane ciepło Joule'a (czyt. dżula). Powstającą ilość ciepła określa znany ze szkoły wzór:

$$E = (I^2 R) * t$$

Jeśli przyjmiemy, że energia E potrzebna do stopienia drucika oraz rezystancja drucika są stałe, możemy podać dla każdego bezpiecznika charakterystyczną wartość iloczynu $I^2 t$. Ponieważ w rzeczywistych warunkach, zwłaszcza podczas zwarcia, prąd zmienia swą wartość, prąd należałoby całkować w czasie. Parametr $I^2 t$ nazywany jest całką Joule'a i podaje się w katalogach. Czym większa wartość $I^2 t$, tym trudniej spalić dany bezpiecznik.

Znając wartość $I^2 t$ oraz prąd, można obliczyć czas zadziałania. Obliczeń takich w praktyce się nie wykonuje. Jednak, wbrew pozorom, wartość całki Joule'a jest przydatna.

Jak wspominałem, jest to parametr określający „łatwość spalania bezpiecznika”. Co bardzo istotne, parametr ten dotyczy także innych elementów, na przykład diody, triaka czy tyrystora. Co więcej, w katalogach diod, triaków i tyrystorów, zwłaszcza tych przeznaczonych do pracy w obwodach sieci energetycznej, podaje się wartość $I^2 t$ tych elementów.

I tu doszliśmy do zagadnienia praktycznego. Aby bezpiecznik uchronił przed uszkodzeniem element półprzewodnikowy, wartość $I^2 t$ bezpiecznika musi być mniejsza od wartości $I^2 t$ chronionego elementu półprzewodnikowego. Jest to pierwszy warunek do spełnienia przy doborze bezpiecznika do ochrony elementu półprzewodnikowego.

Nie będziemy się w to wgłębiać, bo temat jest trudny, a podane informacje wcale go nie wyczerpują – podawana w katalogach wartość $I^2 t$ zwykle dotyczy tylko czasu przedłukowego, czyli od chwili zwarcia do zapłonu łuku. Tymczasem w obliczeniach należałoby wziąć pod uwagę również wartość $I^2 t$ związaną z łukiem, a ta zależy od kilku czynników, między innymi od spodziewanego prądu zwarciovego oraz napięcia pracy.

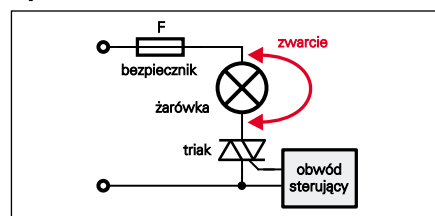


Zwarcie

Potoczne wyobrażenia roli i działania bezpiecznika zupełnie bezpodstawnie podpowiadają, że w chwili zwarcia bezpiecznik zadziała bardzo szybko i ograniczy prąd do wartości bezpiecznej dla elementu półprzewodnikowego. Zazwyczaj tak nie jest, a ponieważ w grę wchodzi dodatkowe zjawiska, warto przyjrzeć się problemowi z bliska.

Jak mówiliśmy przed miesiącem, w każdym obwodzie, w tym w sieci energetycznej, możemy mówić o spodziewanym prądzie zwarcia. Zazwyczaj jest on bardzo duży, wynosi setki i tysiące amperów. Taki prąd, nawet płynąc przez krótki czas, niewątpliwie stanowi śmiertelne zagrożenie dla elementów półprzewodnikowych. **Rysunek 2** pokazuje przykład obwodu, gdzie może wystąpić tak groźne zwarcie.

Rys. 2



Przy okazji drobne wyjaśnienie. Na zagranicznych schematach bezpiecznik często oznaczany jest literą F, jak na rysunku 2. Nie oznacza to, że ma to być szybki bezpiecznik typu F. Litera F na schematach pochodzi od angielskiego Fuse i po prostu oznacza bezpiecznik. Nie ma żadnego związku z rodzajem tego bezpiecznika.

W układzie z rysunku 2 zastosowany bezpiecznik powinien ograniczyć maksymalny prąd do wartości, która nie uszkodzi elementu półprzewodnikowego, w tym wypadku triaka.

Nie jest to jednak takie proste, między innymi ze względu na duży spodziewany prąd



zwarciovowi sieci oraz ze względu na przepięcia. Przepięcia to mało znane zagrożenie pojawiające się w chwili zwarcia i zadziałania bezpiecznika.

Skąd biorą się te przepięcia?

Przede wszystkim trzeba pamiętać, że sieć energetyczna, a także każdy obwód zasilający mają jakąś indukcyjność. Jeśli występuje indukcyjność, przepięcia będą się pojawiać przy każdej gwałtownej zmianie prądu, zarówno przy prądzie stałym, jak i zmiennym. **Rysunek 3** pokazuje w uproszczeniu sytuację przy przerywaniu obwodu prądu stałego, gdzie wyłącznik F reprezentuje przepalający się bezpiecznik, przerywający przepływ prądu. W chwili przerywania prądu na cewce pojawia się potężny impuls napięcia samoindukcji.

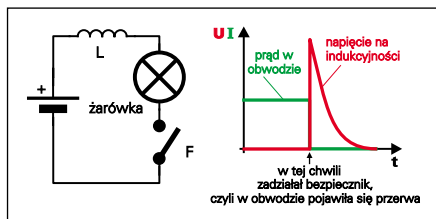
Choć przy prądzie zmiennym sytuacja jest nieco inna, trzeba się spodziewać, że w chwili zadziałania bezpiecznika, czyli w chwili przerywania prądu zwarcia, też pojawi się przepięcie.

Bliższe zapoznanie się z tym tematem przynosi kilka zaskakujących szczegółów i wskazuje, że sytuacja daleko odbiega od tej z uproszczonego modelu z rysunku 3. **Rysunek 4** pokazuje przebiegi napięcia i prądu w warunkach zwarcia szybkiego bezpiecznika, który jest w stanie rozłączyć obwód w czasie poniżej 10ms, czyli krótszym niż jeden półokres napięcia sieci energetycznej. Przerwana linia niebieska pokazuje przebieg napięcia sieci 220V. Czerwona linia pokazuje przebieg napięcia na przepalającym się bezpieczniku. Przed wystąpieniem zwarcia napięcie na bezpieczniku jest pomijalnie małe. Załóżmy, że zwarcie wystąpi 1 milisekundę po przejściu napięcia sieci przez zero. Na rysunku 4 jest to chwila t' . Tuż po zwarciu, w czasie $t^0...t^1$ w obwodzie zaczyna gwałtownie rosnąć prąd. Rośnie on według zaznaczonego fioletową linią spodziewanego prądu zwarcia. Tak duży prąd powoduje stosunkowo duży spadek napięcia na druciku topikowym bezpiecznika. Szybkość narastania prądu zależy od indukcyjności sieci oraz od jej „wydajności”. Spodziewane prądy zwarciovowe w sieci energetycznej mogą wynosić ponad 1000A.

W krótkim czasie (na rysunku 3 około 1,5ms) prąd ten spowoduje rozgrzanie do bardzo wysokiej temperatury i stopienie drucika. Niestety, obwód wcale nie zostanie przerywany. Zapalił się bowiem łuk elektryczny. Oporność tego łuku jest znacznie większa niż wcześniej istniejącego drucika, co odpowiada włączeniu w obwód znacznej rezystancji. Przy znacznie większej rezystancji obwodu prąd powinien

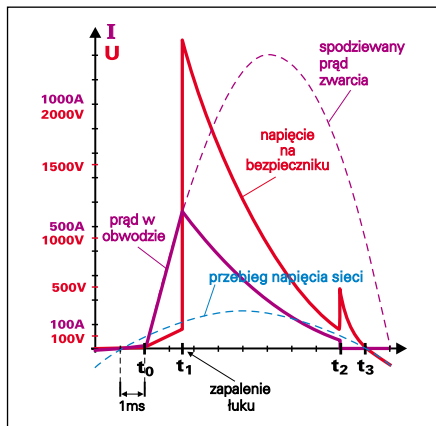
gwałtownie zmniejszyć swą wartość. Nie pozwala na to indukcyjność sieci. Jak wiadomo, „indukcyjność nie znosi zmian prądu” - przy próbie zmiany wartości prądu powstaje przepięcie (napięcie samoindukcji), które próbuje utrzymać wcześniejszą wartość prądu. Ponieważ prąd zdążył narosnąć do wartości kilkuset amperów, a rezystancja łuku jest znacznie większa od rezystancji drucika, szczytowa wartość przepięcia, próbującego podtrzymać przepływ tak dużego prądu, może wynosić nawet kilka kilowoltów. Powstałe przepięcie podtrzymuje łuk, niemniej prąd maleje dość szybko. W chwili t^2 napięcie i prąd są na tyle małe, że łuk gaśnie. Tym razem prąd gwałtownie maleje do zera. Powoduje to powstanie drugiego przepięcia, którego szczytowa wartość jest zdecydowanie mniejsza niż pierwszego, a to ze względu na mniejszą wartość prądu.

W przypadku tego bezpiecznika rozłączenie nastąpiło szybko, w czasie poniżej 10ms. Inny bezpiecznik w innych warunkach pracy (inna indukcyjność, inny prąd zwarcia) rozłączyłby obwód po dużo dłuższym czasie, a w skrajnych warunkach nie rozłączyłby wcale, bo łuk mógłby się utrzymywać na stałe.



Rys. 3

Rys. 4



Przepięcia

Czerwona linia na rysunku 4, pokazująca przebieg napięcia na bezpieczniku udowadnia, że nie ma się z czego cieszyć. Wprawdzie bezpiecznik nie pozwolił, by prąd wzrósł do pełnego spodziewanego prądu zwarcia, jednak prąd i tak zdążył narosnąć do zatrważającej wartości kilkuset amperów, a co gorsza, powstało przy tym ogromne przepięcie o ampli-



tudzie ponad dwóch kilowoltów. Przepięcie to pojawi się na elementach obwodu i z pewnością uszkodzi umieszczony w obwodzie element półprzewodnikowy (triak).

To kolejna przykra niespodzianka – *przynajmniej uszkodzenia półprzewodnika wcale nie musi być prąd, może nią być przepięcie powstające w chwili zadziałania bezpiecznika*. Mało tego, *powstające przepięcie może uszkodzić inne, podobne elementy umieszczone w tej gałęzi sieci*.

Właśnie dlatego do ochrony elementów półprzewodnikowych, zwłaszcza przy większych mocach, stosuje się dodatkowe środki zaradcze oraz bezpieczniki specjalnej konstrukcji, tak zwane bezpieczniki półprzewodnikowe. Nie znaczy to, że zawierają półprzewodniki - służą one do ochrony półprzewodników.

Rysunek 5 pokazuje przebiegi napięcia i prądu w przypadku zastosowania specjalnego bezpiecznika półprzewodnikowego. Dzięki specjalnej konstrukcji (m.in. przewężeniu drucika, a właściwie paska topikowego) łuk zapala się jeszcze szybciej, ale nie od razu na całej długości drucika. Zwiększająca się stopniowo rezystancja łuku powoduje przepięcie o wartości znacznie mniejszej niż poprzednio. Ostatecznie proces wyłączenia jest jeszcze szybszy, a powstające przepięcia – znacznie mniejsze.

Podane właśnie informacje nadal nie wyczerpują tematu. Więcej materiału zawierają artykuły w EP 4/95, 7/95, 8/95 i 9/95 z cyklu Notatnik Praktyka. Zainteresowani powinni szukać dodatkowych szczegółów w literaturze specjalistycznej i katalogach firmowych. Pozostali mogą przygotować się na ewentualną wymianę elementów i pozostać przy podanych wcześniej wnioskach, że skuteczne zabezpieczenie elementów półprzewodnikowych przed zwarciami jest w warunkach amatorskich niemal niemożliwe.



Obecna sytuacja

W kraju od lat produkowano (krakowska Elektrotechniczna Spółdzielnia Pracy SPEL) wkładki topikowe oznaczane WTA (Wkładka Topikowa Aparatowa) zwłoczne i szybkie – WTA-T oraz WTA. W nielicznych urządzeniach zawierających triaki i tyrystory stosowano bezpieczniki WTA-G (ściślej WTA-FG), które można było poznać po gasiwie – piasku znajdującym się wewnątrz rurki. Oprócz tych wkładek o standardowych wymiarach 5x20mm, w kraju produkowane były inne bezpieczniki, między innymi dla telekomunikacji czy do ochrony półprzewodników (rodzina Btp). Obecnie w ofercie rynkowej można spotkać wiele bezpieczników zagranicznych o różnych parametrach. Według standardu IEC rozróżnia się nie dwa rodzaje wkładek (T- zwłoczne i F – szybkie), tylko pięć: FF –bardzo szybkie, F – szybkie, M –

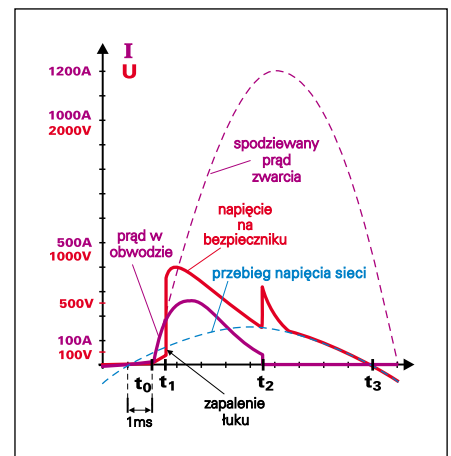
średnio szybkie, T – opóźnione, TT – zwłoczne. Charakterystyki czasowo-prądowe pokazane są w uproszczeniu na rysunku 6. Poszczególne kraje i organizacje wprowadziły jeszcze inny sposób podziału. Charakterystyki jak na rysunku 1 (w poprzednim numerze EdW) niewiele mówią o zdolności wyłączania prądów zwarciovych i przydatności do poszczególnych zastosowań. Profesjonalni konstruktorzy projektujący zabezpieczenia muszą więc sięgnąć do szczegółowych firmowych katalogów.

Wiele cennych danych można znaleźć także w zbiorczych katalogach firm handlowych, na przykład w bardzo przydatnym katalogu firmy ELFA, gdzie podane są podstawowe dane wielu bezpieczników. Fotografie na tej stronie pokazują kilka typów bezpieczników z oferty tej firmy.



Piotr Górecki

Ciąg dalszy za miesiąc



Rys. 5

Rys. 6

