

Wskazówki doboru warystorów

Wymagania jakim musi odpowiadać warystor

Warystor może skutecznie spełniać stawiane mu zadania tylko wtedy, gdy został właściwie dobrany. Właściwe dobranie warystora polega na spełnieniu szeregu warunków.

Najwyższe trwałe napięcie warystora musi być wyższe od napięcia, które w sposób trwały doprowadzane jest do warystora.

Najwyższe dopuszczalne udary prądowe, największa dopuszczalna energia i największa dopuszczalna średnia moc warystora muszą być wyższe od tych, na które może on być narażony.

Warystor musi zapewniać odpowiedni poziom ochrony przeciwprzebiegowej.

Definicje poszczególnych parametrów

SYMBOLE

U_{acm} - najwyższe trwałe napięcie skuteczne warystora,

U_{dcm} - najwyższe trwałe napięcie stałe warystora,

U_{zn} - znamionowe (warystorowe) napięcie warystora, równe spadkowi napięcia na warystorze przy przepływie przez niego prądu o natężeniu 1mA,

U_{CL} - napięcie obniżone równe szczytowej wartości napięcia na warystorze przy udarze prądowym o wartości szczytowej ICL,

I_{CL} - szczytowa wartość udaru prądowego, dla której określone zostało napięcie obniżone UCL

W_{tm} - największa dopuszczalna energia pojedynczego impulsu o kształcie 10x1000μs nie powodująca zmiany napięcia znamionowego, większej niż 10%,

I_{tm} - największa dopuszczalna dla warystora wartość prądu pojedynczego impulsu o kształcie 8x20μs, nie powodująca zmiany napięcia znamionowego, większej niż 10%,

P_{max} - największa dopuszczalna średnia moc warystora,

C - pojemność warystora przy częstotliwości 1kHz.

OZNACZENIA

Oznaczenie typu warystora tlenkowego składa się z symboli literowych i cyfrowych, np. **VP275L14**. Znaczenie poszczególnych elementów tego oznaczenia jest następujące:

VP - warystor tlenkowy

275 - skuteczna wartość najwyższego trwałego napięcia przemiennego warystora (napięcie robocze)

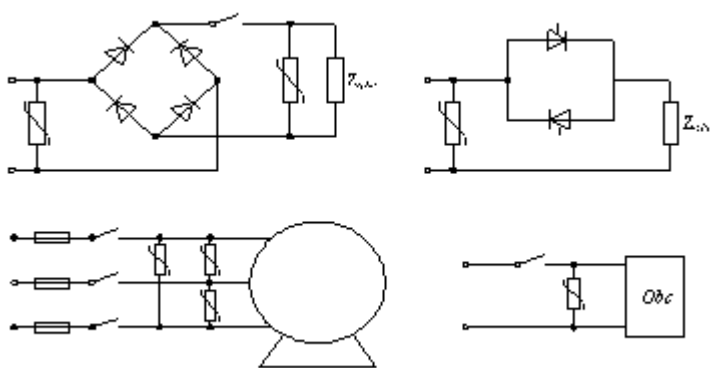
L - symbol serii

14 - średnica warystora. Wymiar ten dotyczy samego spieku ceramicznego i nie uwzględnia grubości osłony epoksydowej lub powłoki lakieru izolacyjnego.

Warystory tlenkowe wielokrotne oznaczane są w taki sam sposób jak warystory pojedyncze, jedynie na końcu oznaczenia dodawany jest symbol **x2** w odniesieniu do warystorów wielokrotnych składających się z dwóch elementów, oraz **x3** w odniesieniu do warystorów, składających się z trzech elementów, np. **VP1875PA25x3**.

Trójfazowe ograniczniki warystorowe oznaczone są tak jak warystory pojedyncze lub wielokrotne, lecz symbol serii zastąpiony jest w tym wypadku symbolem **D**, np. **VP1875D25x3**.

Przykłady zastosowań



Dobór najwyższego dopuszczalnego trwale napięcia warystora

Podczas określania najwyższego trwale dopuszczalnego napięcia warystora należy uwzględnić możliwość wzrostu napięcia w chronionym obwodzie powyżej napięcia znamionowego tego obwodu. W obwodach zasilanych z sieci energetycznej należy się liczyć ze wzrostem napięcia o 10% powyżej wartości znamionowej. W związku z tym należy dobrać warystor, którego najwyższe trwale napięcie skuteczne V_{RSM} lub najwyższe trwale napięcie stałe V_{DC} są wyższe, lecz najbliższe tej wartości, która może wystąpić trwale w obwodzie, w którym ma być umieszczony warystor. Należy się liczyć z tym, że dobranie warystora o zbyt dużej wartości trwale dopuszczalnego napięcia spowoduje podwyższenie poziomu ochrony.

Z drugiej strony dobranie warystora o zbyt małej wartości najwyższego trwale dopuszczalnego napięcia może doprowadzić, przy długotrwałym wzroście napięcia, do uszkodzenia lub przedwczesnego zużycia warystora. Należy uwzględnić fakt, że nieliniowość charakterystyki warystora powoduje przy 10% wzroście napięcia 15-to krotny przyrost mocy wydzielonej w warystorze.

Udary prądowe

Dobranie warystora ze względu na udary prądowe wymaga zbadania, na jakie udary prądowe może on być narażony. Należy określić źródła przepięć, które mogą wystąpić w chronionym obwodzie, a następnie obliczyć, jakie udary prądowe mogą spowodować te przepięcia w warystorze. Przy dobieraniu warystora musi być brana pod uwagę nie tylko wartość udarów prądowych i czas ich trwania, ale również przewidywana ilość tych udarów.

Charakterystyki określające dopuszczalną wartość i liczbę udarów prądowych podawane są dla udarów prostokątnych. Dlatego rzeczywiste udary prądowe należy zastąpić ekwiwalentnymi udarami prostokątnymi. Czas trwania ekwiwalentnego impulsu prostokątnego można obliczyć, korzystając z wzoru (6). Rzeczywisty kształt udaru prądowego najprościej określić drogą pomiarową. Jest to jednak możliwe jedynie w istniejącym układzie. Przebieg udaru prądowego można wtedy zoscylografować i przyporządkować mu ekwiwalentny udar prostokątny, np. metodą graficzną.

Gdy przepięcie spowodowane jest czynnościami łączeniowymi w obwodzie z indukcyjnością, wówczas wiadomo, że udar prądowy nie może przekraczać wartości prądu płynącego w obwodzie przed wystąpieniem stanu nieustalonego. Najwyższe napięcie, jakie może w takim przypadku wystąpić na warystorze, może być określone z charakterystyki prądowo-napięciowej warystora dla prądu, który płynął w obwodzie przed wystąpieniem czynności łączeniowych.

Dokładne obliczenie przebiegów prądowych może nastęrczać pewne trudności. Przebiegi łączeniowe mają zazwyczaj charakter oscylacyjny, przy czym charakter tych oscylacji zależy zarówno od parametrów obwodu, jak i od rodzaju użytego łącznika. Szczególnie niebezpieczne przepięcia występują w obwodach, w których zastosowane zostały elementy łączeniowe dokonujące bardzo szybkiego przerwania obwodu, np. tak zwanego ucięcia prądu. Ucięciem prądu nazywane jest zgaśnięcie łuku na przerwie międzystykowej łącznika przed przejściem naturalnej wartości prądu przez zero.

Amplituda przepięć występujących podczas przerwania obwodu z indukcyjnością określona jest zależnością

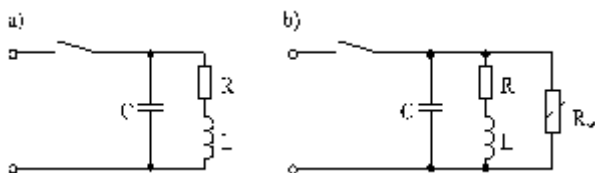
$$U_{m} = I_{0} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (12)$$

w której:

I_0 - prąd ucięcia

L - indukcyjność przerywanego obwodu

C - pojemność przerywanego obwodu.



Rys.3. Obwód RL

a) bez warystora

b) z warystorem

Napięcie określone zależnością (12) może wystąpić w obwodzie przedstawionym na rys.4a. Będzie ono miało charakter oscylacyjny. Częstotliwość tych oscylacji określona jest zależnością

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (13)$$

Po przyłączeniu do obwodu warystora, tak jak to pokazano na rys.4b, przebieg prądu nie będzie oscylacyjny.

W efekcie pojawienia się przepięcia zmaleje rezystancja warystora i popłynięcie przez niego prąd, którego źródłem jest energia zmagazynowana w indukcyjności. Energia ta określona jest zależnością

$$W = \frac{1}{2} L I_0^2 \quad (14)$$

Natężenie prądu w obwodzie z indukcyjnością nie może się zmieniać skokowo. Bezpośrednio po przerwaniu obwodu przez warystor popłynie prąd równy prądowi I_0 . Gdyby rezystancja warystora R_w miała stałą wartość, to prąd ten zanikałby zgodnie z zależnością

$$I(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (15)$$

przy czym

$$\tau = \frac{L}{R + R_w} \quad (16)$$

Rezystancja warystora zależy jednak od płynącego przez niego prądu. W pierwszej chwili rezystancja ta określona jest zależnością

$$R_w = \frac{U_{w0}}{I_0} \quad (17)$$

Napięcie U_{w0} jest spadkiem napięcia na warystorze przy przepływie prądu I_0 . Wartość tego napięcia może być odczytana z charakterystyki prądowo napięciowej warystora lub obliczona z zależności

$$U_{w0} = 1000 \frac{1}{25} I_0 \frac{1}{25} U_{zn} \quad (18)$$

Korzystając z zależności od (16) do (18) można obliczyć wartość stałej czasowej t , która odpowiada wartości prądu I_0 . W miarę zanikania prądu płynącego przez warystor wzrasta rezystancja warystora i w związku z tym maleje wartość tej stałej czasowej. Przebieg prądu nie ma zatem charakteru eksponencjalnego.

Dokładne określenie przebiegu zanikania prądu w analizowanym obwodzie jest możliwie jedynie drogą symulacji cyfrowej. W celu dobrania warystora można przyjąć, że stała czasowa nie zmienia swojej wartości i odpowiada rezystancji warystora dla prądu I_0 . Popelnia się przy tym błąd in plus i dobiera warystor z pewnym zapasem. W przypadku gdy przerywanie obwodu następuje wielokrotnie, należy sprawdzić czy udary nie przekraczają dopuszczalnych granic z uwagi na "deratingefekt". W związku z tym należy rzeczywiste udary zamienić na ekwiwalentne udary prostokątne, bowiem charakterystyki określające maksymalne wartości oraz dopuszczalną liczbę udarów w funkcji czasu ich trwania, podawane są dla udarów prostokątnych. Z dobrym przybliżeniem można przyjąć następujące parametry zastępczego impulsu prostokątnego:

$$t_i = \tau_0$$

$$I_m = I_o$$

Symbole t_i oraz I_m odpowiadają oznaczeniom na rys.2.

Znając parametry zastępczych impulsów prostokątnych należy sprawdzić, ile takich impulsów może stłumić określony warystor bez zmiany swoich parametrów poniżej dopuszczalnych wartości.

Trwale obciążenie

Jeśli przepięcia mają charakter okresowy, to średnia moc wydzielona w warystorze przez impulsy okresowe nie może przekraczać najwyższej średniej mocy warystora.

Zależność (7) pozwala na obliczenie średniej mocy wydzielonej w warystorze, w funkcji energii pojedynczego impulsu i okresu występowania impulsów. Dla warystora o określonej najwyższej dopuszczalnej średniej mocy P_{max} i znanej energii pojedynczego impulsu W_i . Najmniejszy możliwy okres występowania impulsów, przy którym może dany warystor pracować, wynika z zależności

$$T_{min} = \frac{W_i}{P_{max}} \quad (19)$$

Należy podkreślić, że warystory tlenkowe nie nadają się do trwałych statycznych obciążeń, np. do stabilizacji napięcia.

Sprawdzenie poziomu ochrony przepięciowej

Po dobraniu warystora ze względu na najwyższe trwałe napięcie stałe lub skuteczne oraz z uwagi na zdolność absorbowania lub rozpraszania energii należy sprawdzić czy dobrany warystor zapewnia żądany poziom ochrony przepięciowej. W tym celu należy określić wartość największego udaru prądowego I_{max} i odpowiadający temu udarowi spadek napięcia na warystorze U_{max} . W zakresie działania warystora, wartość napięcia występująca przy największej oczekiwanej wartości udaru prądowego może być obliczona z zależności

$$u_{max} = 1000^{0,04} I_{max}^{0,04} V_V \quad (20)$$

w której:

V_{Vmax} - najwyższe napięcie na warystorze danego typu podczas przepływu przez niego prądu o natężeniu 1mA, podane w danych katalogowych

I_{max} - najwyższa oczekiwana wartość udaru prądowego.

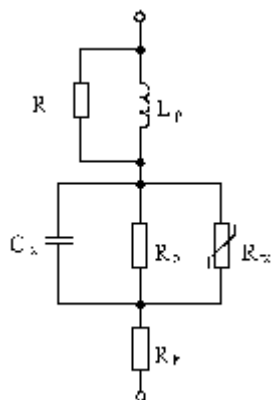
Rzeczywista wartość tego napięcia może być niższa od wyliczonej z zależności (20), z uwagi na to, że w

zależności tej przyjęto najmniejszą dopuszczalną wartość współczynnika $\alpha = 25$. Zazwyczaj wartość tego współczynnika jest znacznie większa. Trzeba jednak również uwzględnić fakt, że górny zakres działania warystora zawiera się w granicach 10^2 - 10^3 A. Powyżej tej wartości rezystancja warystora nie maleje zgodnie z zależnością (1), zatem przy bardzo dużych wartościach prądu I_{\max} napięcie U_{\max} może być większe od wyliczonego z zależności (20).

Do oszacowania poziomu ochrony przepięciowej służy podana w danych katalogowych wartość napięcia obniżonego U_{CL} odpowiadająca wartości prądu I_{CL} .

Symulacja zjawisk w obwodach z warystorami

Przedstawione sposoby doboru warystorów bazują na daleko idących uproszczeniach. Bardziej dokładne metody polegają na symulacji zjawisk występujących w obwodach z warystorami. Podstawę symulacji stanowi równanie lub układ równań obwodowych analizowanego obwodu. Z uwagi na zależność rezystancji warystora od prądu, równania te są nieliniowymi równaniami różniczkowymi i mogą być rozwiązywane jedynie metodami numerycznymi.



Rys.4. Schemat zastępczy warystora

Przy numerycznym całkowaniu równań, stanowiących matematyczny model analizowanego układu elektrycznego zachodzi potrzeba określania wartości rezystancji warystora w n -tym kroku całkowania $R_w(n)$. Rezystancja ta może być wyliczona z zależności

$$R_w(n) = e^{p(u)} \quad (21)$$

w której

$$p(u) = \left(3 + \log U_w(n) + \alpha \log \frac{V_v}{U_w(n)} \right) \ln 10 \quad (22)$$

przy czym

$U_w(n)$ - wartość napięcia na warystorze w n -tym kroku całkowania.

Bardziej szczegółowa symulacja zjawisk w obwodach chronionych warystorami tlenkowymi wymaga

uwzględnienia schematu zastępczego warystora. Taki schemat został przedstawiony na rys.4.

Symbole występujące w schemacie zastępczym warystora oznaczają:

L_p -indukcyjność przewodów łączących warystor z chronionym obiektem (przyjmuje się w przybliżeniu 1nH/mm)

R_d - rezystancja przyjmowana ze względu na stabilność obliczeń numerycznych. Wartość rezystancji R_d określa się z zależności

$$R_d = \frac{2L_p}{\Delta t}$$

w której Δt oznacza długość kroku całkowania.

C_w - pojemność warystora

R_o - rezystancja warystora dla napięć poniżej zakresu pracy warystora,

R_w - rezystancja warystora w zakresie jego pracy, określona np. zależnością (21)

R_k - rezystancja warystora powyżej zakresu jego działania.

Schemat zastępczy warystora ulega zmianom w poszczególnych zakresach pracy. Przy prądach poniżej $10^{-4}A$ można przyjąć, że $R_w = \infty$, $R_k = 0$. W zakresie pracy warystora, czyli przy prądach w granicach od 10^{-4} do 10^3A , można przyjąć, że $R_o = \infty$ zaś $R_k = 0$. Przy prądach powyżej 10^3A można przyjąć, że $R_w = 0$. Należy podkreślić, że granice pomiędzy poszczególnymi zakresami pracy warystora są nieostre.