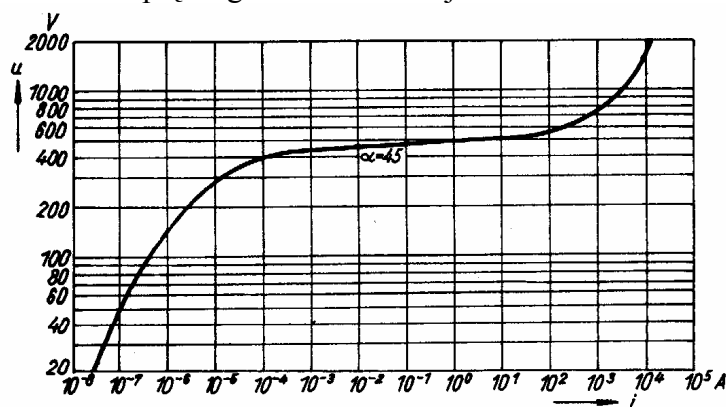


Warystory jako ograniczniki przepięć

Elementem powszechnie stosowanym w ochronie przed przepięciami jest **warystor**. Zjawisko przewodnictwa po przekroczeniu pewnego napięcia występuje w warystorze na granicy ziaren w całej objętości warystora, a nie na złączu jak w przypadku półprzewodników. Z tego względu posiadają zdolności przejmowania znacznej energii przepięcia.

Początkowo warystory wykonywano z węgliku krzemu (karborundu SiC), który charakteryzował się znaczną nieliniowością i można było uzyskać elementy ochronne na duże napięcia i o dużej mocy. Warystorowe właściwości wykryto także w ceramice spiekanej z tlenku cynku z dodatkiem tlenków bizmutu, manganu, chromu i innych metali. Warystory tlenkowe są produkowane obecnie w dużym wyborze, z przeznaczeniem do ochrony obwodów elektronicznych i elektrycznych oraz urządzeń energoelektronicznych i elektroenergetycznych o dużych mocach i napięciach.

Warystory tlenkowe charakteryzują się w określonym zakresie napięcia bardzo dużą nieliniowością charakterystyki (Rys. 1). Poniżej tego zakresu rezystancja warystora tlenkowego jest rzędu dziesiątków $M\Omega$ i zmienia się nieznacznie w funkcji napięcia, następnie w miarę wzrostu napięcia gwałtownie maleje.



Rys. 1. Charakterystyka prądowo-napięciowa warystora VP275LA25

Warystory tlenkowe mają stosunkowo dużą zdolność absorpcji energii. Ta cecha warystorów tlenkowych i krótki czas działania, tzn. szybkie przechodzenie ze stanu nieprzewodzenia w stan przewodzenia zadecydowały o ich przydatności do ochrony przepięciowej. Duża zdolność pochłaniania energii warystorów tlenkowych wynika z ich struktury i mechanizmu przewodzenia prądu. Warystory przewodzą prąd elektryczny całą swoją objętością i dlatego charakteryzują się dużą odpornością na udary prądowe i znaczną zdolnością absorpcji energii. Warystory tlenkowe są wykonywane najczęściej w postaci krążków o różnych średnicach i grubościach. Wielkość średnicy, a zatem powierzchnia przekroju poprzecznego decyduje o jego obciążalności prądowej. Natomiast grubość warystora wyznacza wartość napięcia, przy którym wchodzi on w stan przewodzenia.

Na Rys. 1 przedstawiono charakterystykę prądowo-napięciową warystora tlenkowego typu VP275L25 produkowanego przez firmę Pelelectric. Charakterystykę przedstawiono tylko dla dodatnich wartości prądu, ale w rzeczywistości warystory mają charakterystykę symetryczną i analogicznie można przedstawić jej przebieg dla ujemnych wartości prądu.

Charakterystykę można przedstawić za pomocą wzoru: $I = kU^\alpha$

gdzie: I - prąd płynący przez warystor, α - współczynnik nieliniowości, k - stały współczynnik zależny od rozmiarów warystora i właściwości materiałowych, U - napięcie względem napięcia znamionowego.

Współczynnik nieliniowości α ma różne wartości w poszczególnych zakresach charakterystyki prądowo-napięciowej warystora.

Znając współrzędne dwóch punktów charakterystyki prądowo-napięciowej można obliczyć wartość współczynnika α z zależności:

$$\alpha = \frac{\log I_2 - \log I_1}{\log U_2 - \log U_1}$$

w której: U_1, U_2 - spadki napięcia na warystorze, odpowiadające prądom I_1 i I_2 .

W zakresie prądów 10^{-4} - 10^2 A współczynnik α ma właściwie stałą wartość rzędu kilkadziesiąt. Jest to tzw. zakres pracy warystorów. Przyjmuje się, że wartość współczynnika α nie może być mniejsza niż 25 i zazwyczaj osiąga znacznie większe wartości. W dolnym zakresie charakterystyki, poniżej zakresu pracy, współczynnik ma mniejsze wartości, zaczynające się od ok. 0,2. Rezystancja warystorów w tym zakresie osiąga wartość rzędu M Ω i można przyjąć, że ma stałą wartość. W górnym zakresie charakterystyki, powyżej zakresu pracy warystorów, współczynnik α zmniejsza swoją wartość, a rezystancja warystorów przy bardzo dużych prądach ustala się na poziomie ok. 0,1 - 10 Ω , w zależności od typu warystora.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że warystory mają dużą pojemność. Wartość tej pojemności zależy od geometrycznych wymiarów warystora. Natomiast o indukcyjności warystorów decyduje długość przewodów łączących. Wartość indukcyjności przewodów łączących warystor z elementem chronionym powoduje opóźnienie narastania napięcia na warystorze, a w efekcie przedłuża czas działania ochrony przepięciowej. Czas działania samego warystora, czyli czas jego przechodzenia ze stanu nieprzewodzenia w stan przewodzenia, jest rzędu pikosekund, natomiast indukcyjność przewodów łączących przedłuża ten czas do kilku - kilkunastu ns. Dlatego celowe jest umieszczanie warystora jak najbliżej chronionego elementu.

Poniżej przedstawiono najważniejsze parametry warystora:

Napięcie znamionowe warystora U_{zn} (napięcie warystorowe) to wartość napięcia, przy którym warystor wchodzi w stan przewodzenia. Stan przewodzenia jest trudno jednoznacznie stwierdzić, a więc aby określić to napięcie przyjęto, że jest ono równe spadkowi napięcia na warystorze przy przepływie prądu stałego o natężeniu 1 mA w temperaturze otoczenia 25°C. Dla warystorów o bardzo małych wymiarach określa się to napięcie przy prądzie 0,1 mA.

Największe trwale dopuszczalne napięcie robocze stałe U_{dcn} oraz przemienne U_{acn} .

Parametry te oznaczają napięcia, które mogą być w sposób trwały doprowadzane do końcówek warystorów w temperaturze nie przekraczającej 70 lub 85°C w zależności od producenta.

Temperatura jest czynnikiem, który może doprowadzić do zniszczenia warystora.

Spowodowane to jest ujemnym temperaturowym współczynnikiem rezystancji.

Rezystancja warystorów maleje ze wzrostem temperatury i tym samym wzrasta prąd płynący przez warystor przy określonym napięciu. Wpływ temperatury na rezystancję warystorów powoduje nieco inne skutki w zakresie pracy warystora i poniżej tego zakresu.

W zakresie pracy warystora wzrost temperatury powoduje obniżenie napięcia znamionowego, czyli spadku napięcia na warystorze przy przepływie przez niego prądu o natężeniu 1 mA. Miarą tego wpływu jest temperaturowy współczynnik warystora określony wzorem:

$$k_g = \frac{U_{zn9} - U_{zn}}{U_{zn}(9 - 25)}$$

w którym:

ϑ - temperatura warystora, $U_{zn\vartheta}$ - spadek napięcia na warystorze przy przepływie prądu stałego o natężeniu 1 mA w temperaturze ϑ , U_{zn} - napięcie warystorowe.

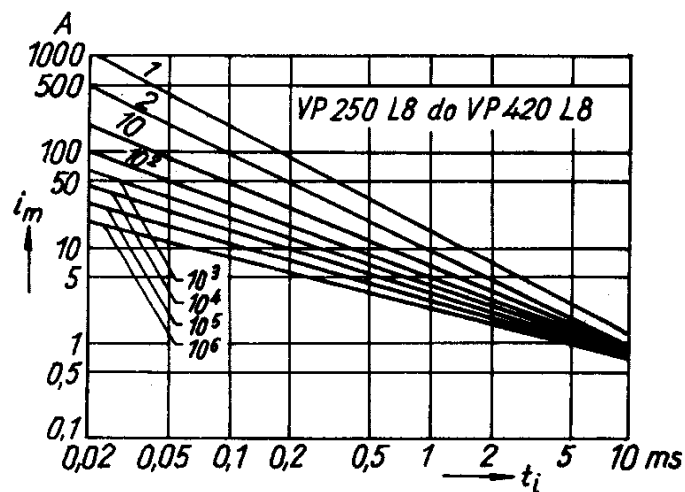
Wymagana wartość współczynnika k jest określona nierównością: $k_{\vartheta} < -0,05 \text{ \%}/K$. Oznacza to, że napięcie znamionowe warystora obniży się o mniej niż 1% przy wzroście temperatury o 20 K. W związku z tym warystor nie może pracować przy zbyt wysokiej temperaturze otoczenia.

Największa dopuszczalna średnia moc warystora P_{\max}

Warystor nie może być narażony na nadmierne obciążanie go okresowo powtarzającymi się udarami napięciowymi. W katalogach jest podawana **największa dopuszczalna średnia moc warystora P_{\max}** która jest definiowana jako średnia moc wydzielana w warystorze przez okresowe impulsy, którą warystor może być obciążony w sposób ciągły.

Wartość szczytowa znormalizowanego impulsu prądowego I_{tm}

Bardzo ważną cechą warystorów jest odporność na udary prądowe. Udry prądowe o zbyt dużej wartości szczytowej prowadzą do obniżenia napięcia znamionowego warystora, co w efekcie może być przyczyną jego zniszczenia. Dlatego w katalogach jest podawana **wartość szczytowa znormalizowanego impulsu prądowego I_{tm}** o kształcie 8/20 μs , która nie powoduje zmiany napięcia znamionowego o więcej niż 10 %. Poza tym jest podawana dopuszczalna liczba impulsów prądowych, którymi warystor może być obciążony w czasie całego okresu eksploatacji bez obawy obniżenia jego napięcia znamionowego o więcej niż 10%. Na Rys. 2 przedstawiono graficznie liczby największych dopuszczalnych, prostokątnych udarów prądowych w funkcji czasu trwania pojedynczego impulsu i jego wartości szczytowej dla warystorów VP250L8.



Rys. 2. Liczby najwyższych dopuszczalnych prostokątnych udarów prądowych w funkcji czasu trwania pojedynczego impulsu i jego wartości szczytowej (dla VP250L8).

Najwyższa dopuszczalna energia W_{tm}

Inną wielkością charakterystyczną podawaną w katalogach jest **najwyższa dopuszczalna energia W_{tm}** którą warystor może zaabsorbować bez spowodowania obniżenia jego napięcia znamionowego o więcej niż 10 %.

Napięcie obcinane U_{CL}

Istotną wielkością charakteryzującą warystor jest tzw. **napięcie obcinane U_{CL}** , które określa największą wartość napięcia, jaka może wystąpić na warystorze przy udarze prądowym o maksymalnej wartości I_{CL} .

Warystory tlenkowe mogą być łączone szeregowo bez żadnych ograniczeń. Największe dopuszczalne napięcie układu składającego się z szeregowo połączonych warystorów jest równe sumie największych napięć poszczególnych elementów. Zalecane jest

łączenie szeregowo warystorów tlenkowych o takich samych średnicach. Natomiast równoległe łączenie warystorów wymaga specjalnego selekcjonowania elementów. Przy równoległym łączeniu warystorów tego samego typu, których charakterystyki różnią się nieznacznie, obciążenie będzie bardzo zróżnicowane i jeden z elementów może przejmować praktycznie całą energię. Ponadto warystory mogą być łączone z innymi elementami ograniczającymi przepięcia, takim i jak: ochronniki iskiernikowe lub półprzewodnikowe elementy ograniczające.

Warystor może skutecznie chronić obwód elektryczny przed skutkami przepięć tylko wtedy, gdy zostanie prawidłowo dobrany. Muszą być wówczas spełnione następujące warunki:

- największe trwałe napięcie warystora musi być większe od napięcia, które w stanie ustalonym może wystąpić na warystorze;
- największe dopuszczalne udary prądowe i największa dopuszczalna średnia moc warystora muszą być większe od tych, na które jest narażony warystor zamontowany w układzie;
- warystor powinien zapewniać odpowiedni poziom ochrony przepięciowej, czyli napięcie, które może wystąpić na warystorze w warunkach ekstremalnych, musi być mniejsze od napięcia niszczącego element chroniony.

Przy określaniu największego trwale dopuszczalnego napięcia warystora należy uwzględniać możliwość wzrostu napięcia w obwodzie powyżej napięcia znamionowego tego układu. W obwodach zasilanych z sieci energetycznej należy się liczyć ze wzrostem napięcia o 10% powyżej wartości znamionowej. Należy dobrać warystor, którego największe trwałe napięcie skuteczne U_{acm} lub największe trwałe napięcie U_{dcm} są większe, lecz najbliższe która może wystąpić w stanie w obwodzie chronionym danym warystorem. Należy się liczyć z tym, że dobranie warystora o zbyt dużym najwyższym trwałym napięciu spowoduje zwiększenie napięcia obcinania warystora, czyli zwiększenie wartości napięcia, które może wystąpić w chronionym obwodzie. Dobranie warystora o zbyt małej wartości największego trwale dopuszczalnego napięcia może doprowadzić, przy wzroście napięcia roboczego układu, do uszkodzenia lub przedwczesnego zużycia warystora. Dobranie warystora ze względu na udary prądowe wymaga zbadania, na jakie obciążenie będzie narażony warystor w obwodzie, w którym zostanie zainstalowany. Trzeba określić źródła przepięć, które mogą wystąpić w tym obwodzie, a następnie obliczyć, jakie udary prądowe mogą te przepięcia spowodować w warystorze. Przy dobieraniu warystora musi być brana pod uwagę nie tylko wartość uderzeń prądowych i czas ich trwania, ale również przewidywana liczba tych uderzeń. Przy korzystaniu z charakterystyk dla dużych liczb impulsów należy określić długość przerw między impulsami, aby nie została przekroczona wartość dopuszczalna średniej mocy wydzielonej w warystorze.