

**ANDRZEJ SOWA JAROSŁAW WIATER**  
**Politechnika Białostocka**

**NOWY MODEL WARYSTORA NISKONAPIĘCIOWEGO  
PRZEZNACZONY DO STOSOWANIA W PROGRAMIE EMTP  
MODELS/ATP**

Opiniodawca:

Maszynopis dostarczono 1czerwca 2003r.

*W artykule przedstawiono metodę jednoznacznego odwzorowania charakterystyk napięciowo-prądowych warystorów wraz przykładem jej zastosowania w analizie komputerowej. Opracowany dyskretny model warystora zastosowano do obliczeń w programie EMTP.*

## **1. WSTĘP**

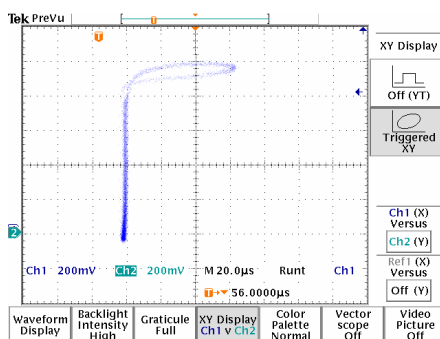
Warystory zaliczają się do elementów ograniczających przepięcia. Ich cechą charakterystyczną jest malejąca rezystancja wraz ze wzrostem prądu przez niego płynącego. W stosowanych dotychczas modelach warystorów wykorzystywanych do symulacji komputerowej warystori były zastępowane różnymi kombinacjami elementów lepiej lub gorzej opisującymi rzeczywisty przebieg prądu w funkcji napięcia. We wszystkich wykorzystywano elementy liniowe i nieliniowe o stałych skupionych. Przy dokładnej analizie zawsze pojawiały się problemy związane z wyznaczeniem parametrów zastępczych warystora. Nie bez znaczenia jest także fakt statycznego i dynamicznego wyznaczania tych parametrów. W przypadku analizy stanów nieustalonych, jakie niewątpliwie występują podczas przepięć trudno jest bezbłędnie aproksymować w sposób analogowy charakterystykę prądowo-napięciową warystora, w szczególności gdy przy narastającej wartości

prądu i opadającej warystor zachowuje się odmiennie. Jakość takiego przybliżenia jest wątpliwej klasy. Jediną rozsądną metodą, która jednoznacznie odwzoruje krzywą jest technika cyfrowa. Błąd, jaki się pojawia podczas takiego przybliżenia jest równy połowie kroku kwantyzacji przetworników AC/DC.

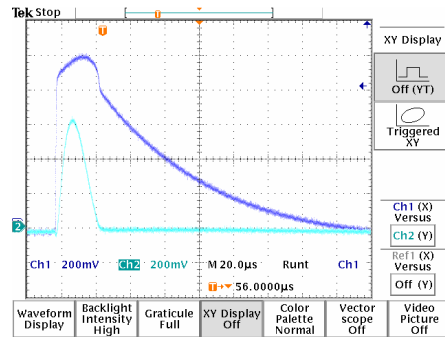
## 2. MODEL WARYSTORA NISKIEGO NAPIĘCIA

Przy bardzo małych wartościach prądu płynącego przez warystor spadek napięcia na nim jest w przybliżeniu proporcjonalny do prądu, ale przy jego dalszym przyroście szybko maleje. W chwili, gdy prąd jest rzędu kiloamperów praktycznie nie istnieje spadek napięcia na warystorze. Przy zaniku prądu napięcie na warystorze jest nieco mniejsze niż przy jego wzroście. W dotychczasowych modelach brak jest owej swoistej „pętli histerezy” w charakterystyce prądowo-napięciowej warystora.

W celu precyzyjnego odwzorowania charakterystyki pomierzono ją w warunkach rzeczywistego, znormalizowanego udaru 8/20 $\mu$ s. Rejestracji przebiegu dokonano cyfrowym oscyloskopem dwukanałowym (prąd i napięcie). Wyznaczono rzeczywistą charakterystykę przejściową typowego warystora ZnO niskiego napięcia o parametrach  $U_c=275V$ ,  $i_{sn}=20kA$ ,  $i_{max}=40kA$  (rys.1). W bardzo widoczny sposób można wyróżnić „pętlę histerezy” na krzywej otrzymanej w wyniku pomiaru na typowym elemencie.



Rys.1 Rzeczywista charakterystyka przejściowa warystora nN Ch1(X)-prąd, Ch2(Y)-napięcie



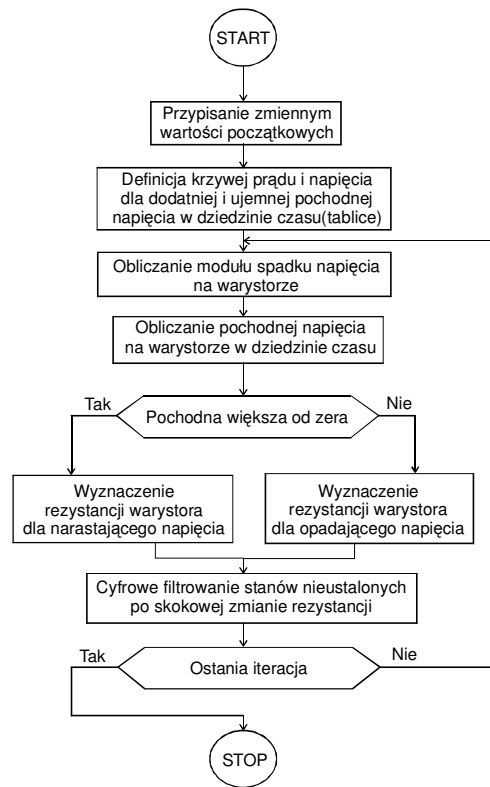
Rys. 2 Rzeczywista charakterystyka prądu Ch1 i napięcia Ch2 warystora w funkcji czasu

Wyniki pomiarów zostały także zapisane w formacie arkusza kalkulacyjnego, co pozwoliło na późniejsze aproksymowanie krzywej konkretnymi wynikami pomiarów. Oczywiście im większa liczba punktów na krzywej tym dokładniejsze będzie cyfrowe odwzorowanie (model).

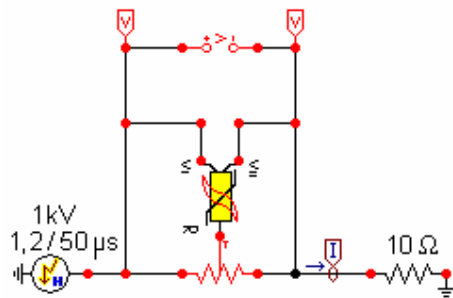
Charakterystyka przejściowa każdego elementu (napięcie w funkcji prądu) jednoznacznie określa zależność między wartością prądu i napięcia – przesunięcie fazowe jest w sposób automatyczny uwzględniane. Jedynie słuszne jest stosowanie indukcyjności, ale przy założeniu iż uwzględniamy w modelu warystora przewody łączące go z konkretnym układem, w którym on pracuje ( $1 \mu\text{H/m}$ ).

Algorytm stworzony dla potrzeb modelu warystora zamieszczono na rysunku 3. Kluczowym punktem w algorytmie jest rozdzielenie procesu obliczeniowego pod wpływem wartości pochodnej napięcia obliczanej w kolejnych iteracjach dla poszczególnych dyskretnych wartości czasu – istotny jest znak. W zależności od tego, po której stronie warystora napięcie jest większe liczona jest z tego napięcia pochodna. Ma to szczególne znaczenie w przypadku, gdy warystor będzie działał pod wpływem ujemnego napięcia lub gdy zagrożenie przyjdzie od strony systemu uziomowego. W dalszej kolejności wyznaczany jest przedział (poszczególne punkty zdefiniowanej charakterystyki stanowią granice przedziałów), w którym aktualnie znajduje się napięcie i wyznaczane są

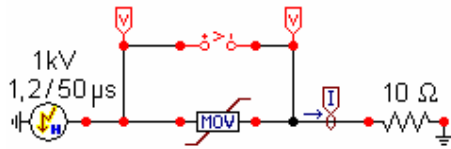
brakujące punkty w zdefiniowanej na początku charakterystyce. Aproxymowane są one prostą – liczba punktów charakterystyki zmierzonej do liczby punktów obliczanych przy analizie stanów nieustalonych jest zawsze mniejsza od jedności. Wadą tego rozwiązania jest konieczność posiadania dokładniejszej charakterystyki zdjętej oscyloskopem (20 punktów w zupełności wystarcza), ale zaletą która przeciwstawia się temu jest możliwość aproksymacji opracowanym algorytmem dowolnego elementu o charakterystyce nieliniowej i/lub jednocześnie posiadającym „pętlę histerezy”. Oczywiście sam pomiar rzeczywistej charakterystyki warystora ze względu na przetworniki AC/DC stosowane w przyrządach i ich skończoną rozdzielczość wprowadza naturalne i akceptowalne powszechnie skokowe zmiany wartości mierzonych parametrów. W przypadku implementacji krzywych zmieniających się skokowo do postaci ciągłej mamy do czynienia z dodatkowo pojawiającymi się stanami nieustalonymi. W opracowanym algorytmie okazało się konieczne wprowadzenie cyfrowego filtrowania generowanego przebiegu ciągłego zmieniającej się w czasie rezystancji warystora pod wpływem zmian napięcia. Każdorazowa zmiana wartości rezystancji powodowała pojawienie się dużej wartości pochodnej, co generowało w całym analizowanym obwodzie stany nieustalone, a co w ekstremalnych przypadkach doprowadzało do oscylacji. Wykorzystany autorski sposób filtrowania przebiegu jest funkcją dynamiczną, zmieniającą się w zależności od wartości rezystancji przed i po jej skokowej zmianie, a także od wartości pochodnej rezystancji i napięcia oraz od znaku spadku napięcia na modelowanym warystorze.



Rys. 3 Algorytm dyskretnego modelu warystora



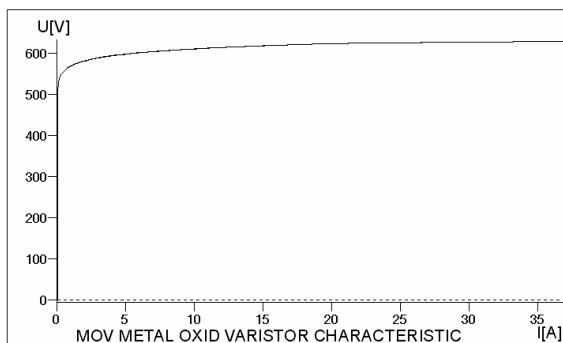
Rys.4 Schemat w programie EMTP z wykorzystaniem opracowanego modelu



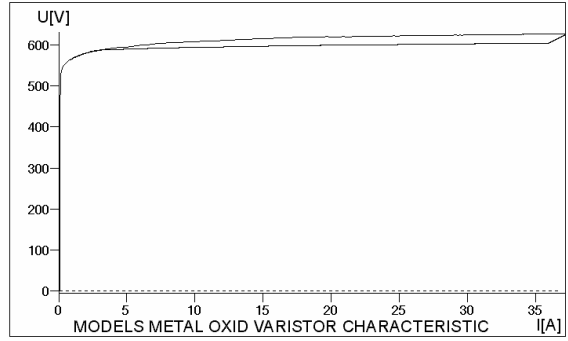
Rys.5 Schemat w programie EMTP z wykorzystaniem typowego elementu typu MOV

W programie EMTP wykorzystano do aproksymacji brakujących punktów charakterystyki  $I=f(U)$  funkcję wykładniczą. Niweluje ona załamania na aproksymowanej krzywej, ale jednocześnie ogranicza pole do zastosowania elementu typu MOV. Jednocześnie konieczne jest stosowanie tzw. współczynnika odniesienia ( $V_{ref}$ ), który zapobiega pojawieniu się nierzeczywistych, dużych wartości napięcia w wyniku aproksymacji wykładniczej (w przypadku gdy napięcie aproksymowane jest równe napięciu punktu z charakterystyki wprowadzonej przez użytkownika) [1].

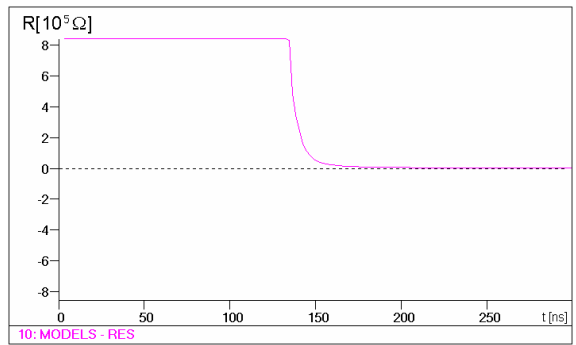
W celu weryfikacji opracowanego dyskretnego modelu warystora sięgnięto to dwóch źródeł. Pierwszym jest krzywa zdjęta doświadczalnie, a drugim typowy element MOV stosowany w programie EMTP do modelowania warystorów. Rysunek 7 przedstawia jednoznacznie „pętlę histerezy” w opracowanym modelu na tle standardowego elementu z EMTP (rys.6).



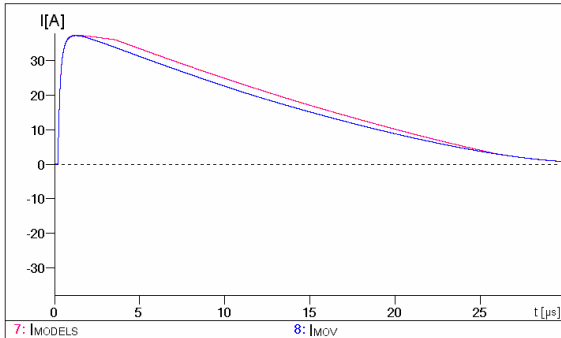
Rys. 6 Charakterystyka przejściowa warystora wg. EMTP



Rys. 7 Charakterystyka przejściowa warystora z wykorzystaniem opracowanego modelu

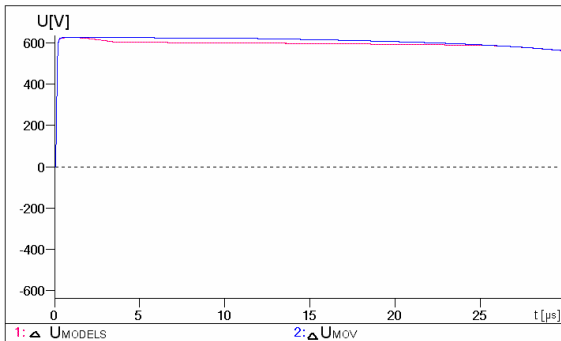


Rys. 8 Charakterystyka zmian rezystancji modelu warystora w funkcji czasu



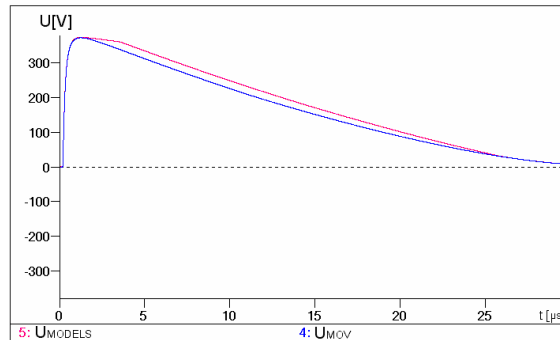
Rys. 9 Prąd w modelowanych warystorach

Krzywa koloru czerwonego odpowiada opracowanemu modelowi, zaś krzywa koloru niebieskiego elementowi typu MOV. W przypadku opracowanego modelu warystora prąd przez pewien okres czasu utrzymuje się na wyższym poziomie niż na elemencie z EMTP (rys.9). Stwarza to mniejsze zagrożenie w rzeczywistości niż by to wynikało z stosowanego dotychczas sposobu analizy układów przeciwprzepięciowych. Należy też zwrócić uwagę na niższy poziom napięcia na modelowanym warystorze (rys. 10,11) – faktyczny wyższy poziom ochrony.



Rys. 10 Spadek napięcia na warystorze





Rys. 11 Napięcie na warystorze

### 3. WNIOSKI

Dotychczasowe modele warystorów w sposób niejednoznaczny odzwierciedlały ten element stosowany w ochronie przeciwprzepięciowej w instalacjach elektrycznych i urządzeniach elektronicznych. Opracowany model dokładnie oddaje rzeczywisty kształt charakterystyki prądowo-napięciowej warystora bezpośrednio przenoszony z krzywych otrzymanych doświadczalnie, co umożliwia dokładniejszą analizę układów przeciwprzepięciowych w programie EMTP. Jednocześnie opracowany algorytm może służyć do modelowania zupełnie innych elementów nieliniowych. W przypadku implementacji krzywych zmieniających się skokowo do postaci ciągłej mamy do czynienia z dodatkowo pojawiającymi się stanami nieustalonymi, które w sposób cyfrowy zostały wyeliminowane gwarantując jednocześnie otrzymanie pożądanego kształtu charakterystyki.

### LITERATURA

- [1]. ElectroMagnetic Transients Program (EMTP) Rule Book
- [2]. User Guide to Models in ATP

## **NEW LOW VOLTAGE METAL OXIDE ARRESTER MODEL DESIGNED FOR EMTP MODELS/ATP USE**

### **Abstract**

Metal oxide arrester is component of TN, IT, TT system. MOAs ensure over-voltage protection by resistance drop during surge current flow. So far during computer simulation MOAs was presented as linear and non-linear elements. In these models simulation accuracy is determined by elements determine precision. This paper presents unambiguous describe method of MOAs V-I characteristic. This method and new discrete MOAs model was used to computer simulation in EMTP. Digital technique used to describe MOAs V-I characteristic decrease mistake. Half of AC/DC converters quantization step used in measurement devices is new error level insert in computations. This paper also compares new and old MOAs model used in EMTP. New discrete algorithm can be used to computer implementation of any non-linear element. New model is useful in case of jump voltage change in computed system.