

MODELAREA UNOR ELEMENTELE NELINEARE MONOFAZATE DE TIP R, L

Reactanță neliniară, ramură de tip 98

Reactorul de tip 98 este o subcomponentă a modelului de transformator saturabil, dar poate fi conectat aproape oriunde în modelul rețelei și în orice număr de elemente. Singura problemă generală o constituie eficiența calculului pentru modelele foarte mari, cu multe componente nelineare.

O reactanță neliniară $L(i)$, de tip 98, se declară printr-un set de linii de date de intrare, astfel:

1. O linie de date de declarare, care poartă codul 98;
2. Un set de linii de date prin care se specifică perechile de valori curent-flux;
3. O linie de date prin care se declară finalizarea introducerii caracteristicii nelineare.

1. Linia de date de declarare a tipului ramurii - poartă codul 98, în coloanele 1 și 2:

1	2	3 ÷ 8	9 ÷ 14	15 ÷ 20	21 ÷ 26	27 ÷ 32	33 ÷ 38	39 ÷ 79	80
98	BUS 1	BUS 2	BUS 3	BUS 4	CURR	FLUX			M
-	-	-	-	-	A	V · s (Wb)			-
I2	A6	A6	A6	A6	E6.0	E6.0			I1

Semnificația parametrilor:

BUS1, BUS2 - denumirea nodurilor de început și de sfârșit, care definesc ramura.

BUS3, BUS4 - denumirile nodurilor ramurii de referință.

M - marcaj pentru mărimea de ieșire a ramurii.

CURR, FLUX - coordonatele pentru reprezentare liniară în soluția de regim cvasi-staționar.

2. Setul de linii de date prin care se specifică perechile de valori curent-flux

Perechile de valori curent-flux se declară, punct cu punct, în ordinea crescătoare a curentului, folosind câte o linie de date pentru fiecare dintre perechile de valori care definesc curba linearizată prin segmente.

Formatul liniei de date este:

1 ÷ 16	17 ÷ 32	33 ÷ 79	80
I	Flux		
A	V · s (Wb)		
E16.0	E16.0		

Punctul din origine este implicit și, în consecință, nu se introduce.

Caracteristica curent-flux este presupusă simetrică, astfel că nu trebuie introduse și valorile negative. Utilizatorul introduce 2 sau mai multe puncte pozitive pentru a declara o nelinearitate și un singur punct pentru ramură liniară.

3. Linia de marcaj pentru finalizarea introducerii caracteristicii nelineare.

1	2	3 ÷ 6	7 ÷ 79	80
		9999		

Observații:

1. Utilizarea modelului de ramură de tip 98 nu implica creșterea preciziei dacă numărul de segmente care definesc caracteristica tinde la infinit. Prea multe segmente înseamnă ca funcționarea va putea fi uneori pe un segment greșit, ceea ce conduce la eroare. Folosirea a numai două segmente înlătură întotdeauna această problemă (fiecare segment este adiacent celuilalt). Pe de alta parte, doua segmente dau o reprezentare prea grosieră. Cel mai frecvent se folosesc $3 \div 5$ segmente.
2. Problemele datorate fluxului prea mare în soluția fazorială se referă la funcționarea pe altul decât pe primul segment a caracteristicii neliniare. Primul pas al simulării tranzitorii va implica o variație mare a curentului, dacă punctul de funcționare se deplasează către segmentul al doilea sau altul mai îndepărtat. Șocul de curent produce vârfuri de tensiune în alte inductanțe. În general, pot fi discontinuități supărătoare, la momentul zero, dacă fluxul depășește primul segment al curbei de magnetizare. Pentru a evita aceste erori de simulare, se introduce un segment inițial mai lung și se ajusteze originea de fază a fazorilor, astfel încât fluxul să nu atingă valoarea maximă chiar la momentul inițial.

Descărcător ZnO exponențial $R(i)$, tip 92 - "5555."

Un asemenea model permite introducerea unui rezistor nelinear, caracteristica neliniară a acestuia fiind aproximată prin segmente de exponențială.

Modelul furnizează o reprezentare neliniară adecvată pentru descărcătoarele cu oxizi metalici - ZnO.

Ecuția de bază pentru modelarea ZnO este accentuat neliniară:

$$i = p \left(\frac{v}{V_{ref}} \right)^q,$$

unde:

i - este curentul prin descărcător,

v - este tensiunea pe descărcător,

p , V_{ref} și q - sunt constante ale aparatului.

De obicei, V_{ref} se alege dublul tensiunii nominale sau aproape de aceasta. Teoretic, alegerea este arbitrară, totuși acest parametru normalizează ecuația și previne depășirile numerice în calculul exponențialelor.

Constantele p și q sunt parametri ai descărcătorului.

Caracteristica neliniară tensiune-curent a descărcătorului se poate aproxima printr-un număr arbitrar de segmente de exponențială.

Se pot modela atât descărcătoarele cu eclatoare cât și acelea fără eclatoare. Descărcătoarele cu eclatoare necesită specificarea a două seturi de segmente de exponențială, celelalte necesită numai un set.

Alegerea exponențialelor se poate face automat, utilizând un program suport separat al aplicației ATP-EMTP (se utilizează opțiunea "ZNO FITTER").

Deși modelarea exponențială se poate aplica și altor situații decât descărcătoarelor ZnO, ea nu trebuie folosită pentru cazuri de neliniarități mai reduse. Dacă o caracteristică

linearizată prin puține segmente este destul de precisă, trebuie utilizat modelul de rezistor nelinear a cărui caracteristică tensiune-curent se obține din segmente de dreaptă.

Din cauza nelinearității extreme a caracteristicii ZnO, la tensiuni mult mai mici decât V_{ref} curenții sunt foarte mici. În scopul eliminării posibilității de depășire a limitei inferioare impuse de program, în timpul calculului exponențialelor, și pentru a scurta timpul de obținere a soluției numerice, pentru tensiuni reduse se utilizează un model linear. Acest mod de abordare este independent de utilizator. În termeni fizici, soluția nu este afectată de o asemenea simplificare.

O rezistor nelinear $R(i)$, de tip 92 – 5555., se declară printr-un set de linii de date de intrare, astfel:

1. O linie de date de declarare, care poartă codul 92 și identificatorul special 5555.;
2. O linie de date pentru variabilele de control;
3. Un grup de linii de date prin care se declară segmentele modelate prin exponențiale;
4. O linie marcaj specială pentru declararea finalizării introducerii segmentelor.

1. Linia de date de declarare, care poartă codul 92 și identificatorul special 5555.;

Introducerea datelor pentru un descărcător cu ZnO începe cu o linie de date care conține parametri invariabili și prin care se specifică codul tipului ramurii, **92**, și se dă identificatorul special **5555**, în următorul format:

1	2	3 ÷ 8	9 ÷ 14	15 ÷ 20	21 ÷ 26	27 ÷ 38	39 ÷ 44		80
92	BUS 1	BUS 2	BUS 3	BUS 4			5555.		M
-	-	-	-	-					-
-	A6	A6	A6	A6					I1

Semnificația parametrilor:

BUS1, BUS2 - denumirea nodurilor de început și de sfârșit, care definesc ramura.

BUS3, BUS4 - denumirile nodurilor ramurii de referință.

M - marcaj pentru mărimea de ieșire a ramurii (valorile uzuale, de la 1, la 4).

2. Linia de date pentru variabilele de control

Se introduc variabilele de control ale descărcătorului cu ZnO modelat, astfel:

1 ÷ 25	26 ÷ 50	51 ÷ 75	76 ÷ 80
VREF	VFLASH	VZERO	COL
E25.0	E25.0	E25.0	E5.0

Semnificația parametrilor:

VREF - este tensiunea de referință a ecuației descărcătorului, în unități de tensiune (V).

VFLASH - este tensiunea de amorsare normalizată (adică divizată prin VREF) a eclatorului de amorsare. Dacă **nu este eclator, se introduce orice număr negativ**.

VZERO - este tensiunea inițială a descărcătorului (valoarea la momentul zero), în aceleași unități ca și VREF. În aproape toate cazurile **aceasta se lasă blank**. Iterația Newton va începe cu valoarea zero a curentului.

COL - este numărul de coloane în paralel al elementului neliniar al descărcătorului. Dacă este blank, zero sau 1 se consideră numai o coloană, iar caracteristica se va folosi fără modificare. Pentru valori pozitive ale COL (numere întregi), coeficientul COEF al liniilor de date care urmează (în grupul cu numărul de ordine 3) se va multiplica intern cu COL în timpul introducerii datelor, înainte de memorare și utilizare.

3. Grupul de linii de date prin care se declară segmentele modelate

Acest grup începe să se declare cu caracteristica de dinainte de amorsare, care rămâne, de altfel, singura caracteristică în cazul în care lipsesc eclatoarele. Fiecare caracteristică trebuie încheiată cu linia de date specială "9999" (în coloanele 22 ÷ 25). Pentru fiecare segment exponențial, al fiecărei caracteristici, se utilizează următorul format, în ordinea naturală a tensiunii și curentului crescător:

1 ÷ 25	26 ÷ 50	51 ÷ 75	76 ÷ 80
COEF	EXPON	VMIN	
E25.0	E25.0	E25.0	

Semnificația parametrilor:

COEF - este coeficientul "p" al ecuației descărcătorului. Acesta se dă în unități de curent (A).

EXPON - este exponentul adimensional "q" al ecuației descărcătorului.

VMIN - este tensiunea minimă pentru folosirea caracteristicii declarate, în unități relative din VREF.

Exemplu de introducere a datelor

Descărcător cu oxizi metalici fără eclatoare, fără eclatoare de amorsare (o singură exponențială), dar cu două coloane, pentru a suporta curentul de la locul de instalare.

Datele descărcătorului:

$$U_n = 400 \text{ kV}$$

$$p = 2500 \text{ A}$$

$$q = 26$$

$$\text{COL} = 2 \rightarrow \text{COEF} = 2500/2 = 1250 \text{ A}$$

```

C          1          2          3          4          5          6          7          8
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C
92R050
C          VREF          VFLASH          VZERO          COL
          778000.          -1.0          0.0          2.0
C          COEF          EXPON          VMIN
          1250.          26.          0.5
          9999.

```

Rezistor linearizat prin segmente, multifazat, cu amorsare, tip 92 -4444

Modelul din aceasta secțiune se referă la reprezentarea unui număr arbitrar de rezistențe neliniare, $R(i)$, cuplate. Nelinearitatea este redată printr-o caracteristică tensiune-curent linearizată prin segmente de dreaptă.

Elementul modelat astfel este asemănător cu modelul ZnO din secțiunea anterioară, principala diferență constând în redarea nelinearității: segmente de dreaptă în loc de porțiuni exprimate prin exponențiale. În plus, pentru modelul obținut din segmente de dreaptă se presupune că circuitul este deschis dacă eclatorul nu este amorsat.

Deosebirea de declarare dintre cele două rezistențe neliniare tip 92 se face prin codul de cerere introdus în câmpul dintre coloanele 39 și 44, adică:

5555. - pentru modelul ZnO declarat prin exponențiale

4444. - pentru modelul obținut prin linearizare pe porțiuni.

O rezistor nelinear $R(i)$, de tip 92 – 4444., se declară printr-un set de linii de date de intrare, astfel:

1. O linie de date de declarare, care poartă codul 92 și identificatorul special 4444.;
2. O linie de date pentru variabilele de control;
3. Un grup de linii de date prin care se declară segmentele de dreaptă;
4. O linie marcaj specială pentru declararea finalizării introducerii segmentelor.

1. Linia de date de declarare a ramurii neliniare

Această linie de date poartă codul 92 și identificatorul "4444.", având următorul format:

1	2	3 ÷ 8	9 ÷ 14	15 ÷ 20	21 ÷ 26	27 ÷ 32	33 ÷ 38	39 ÷ 44	45 ÷ 79	80
92	BUS 1	BUS 2	BUS 3	BUS 4	NFLASH			4444.		M
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I2	A6	A6	A6	A6	E6.0			-		I1

Semnificația parametrilor:

BUS1, BUS2 - denumirea nodurilor de început și de sfârșit, care definesc ramura.

BUS3, BUS4 - denumirile nodurilor ramurii de referință.

NFLASH – variabilă de control a logicii eclatorului de amorsare:

Dacă utilizatorul nu dorește să introducă un eclator de amorsare, atunci se ignoră variabila NFLASH.

Dacă trebuie să existe un eclator serie, NFLASH controlează deschiderea și închiderea acestuia, astfel:

a) NFLASH = +1, se folosește dacă eclatorul va amorsa și se va stinge numai o dată (după stingere eclatorul acesta rămâne deschis pentru restul simulării);

b) NFLASH = 0, dacă eclatorul va amorsa și se va stinge ori de câte ori condițiile din rețea o impun;

c) NFLASH = -1, dacă eclatorul va amorsa numai o dată și rămâne închis după aceea (nu se stinge arcul electric dintre electrozii eclatorului).

M - marcaj pentru mărimea de ieșire a ramurii (valorile uzuale, de la 1, la 4).

2. Linia de date pentru variabilele de control

Aceasta este destinată datelor diverse și, ca și caracteristica care urmează, trebuie omise dacă se folosește procedura de referință (unde BUS3 și BUS4 sunt numele unei asemenea ramuri precedente).

Pentru cazurile fără element de referință, a doua linie de date trebuie să conțină datele diverse tip 92, după cum urmează:

1 ÷ 25	26 ÷ 50	51 ÷ 75	76 ÷ 80
R-lin	V-flash	V-zero	
Ω	V	V	
E25.0	E25.0	E25.0	

Semnificația parametrilor:

R-lin este rezistența liniară care poate fi conectată în serie cu caracteristica neliniară. Ea se poate folosi pentru a reprezenta rezistența prizei de pământ a descărcătorului. Este acceptată și valoarea zero. Unitatea de măsură este Ω .

V-flash este tensiunea de amorsare a eclatorului, în [V]. Dacă nu există eclator, se introduce orice număr negativ.

V-zero este tensiunea inițială a ramurii, în [V]. În aproape toate cazurile, acest câmp se lasă blank. Iterația Newton va porni de la curent zero.

3. Grupul de linii de date prin care se declară segmentele de dreaptă

Este specificată caracteristica neliniară, punct cu punct, de la stânga la dreapta (în ordinea curentului crescător), câte o linie de date pentru fiecare pereche de valori care definesc curba liniarizată prin segmente. Formatul liniei de date este:

1 ÷ 25	26 ÷ 50	51 ÷ 75	76 ÷ 80
I	U		
A	V		
E25.0	E25.0		

4. Linia marcaj pentru declararea finalizării introducerii segmentelor

Se declară finalizarea introducerii perechilor de valori care definesc caracteristica tensiune-curent prin introducerea cuvântului rezervat 9999. între coloanele 20 și 25 (sau 9999 în câmpul dintre coloanele 22 ÷ 25).

Observații:

1. Dacă caracteristica este simetrică în raport cu originea, se poate utiliza un artificiu pentru a economisi spațiul rezervat pentru tabele. Se specifică numai porțiunea pozitivă a caracteristicii (atât curentul cât și tensiunea sunt pozitive).

2. Nu trebuie specificată originea, aceasta fiind implicită. Utilizarea ulterioară va folosi simetria admisă a caracteristicii.

3. Este necesar să fie specificată întreaga caracteristică (inclusiv punctele din cadranul 3 cu tensiune și curent negativ), numai dacă aceasta nu este simetrică în raport cu originea.

Exemple de introducere a datelor

a) Setul de cartele pentru modelarea unui descărcător cu rezistență variabilă din Si-C, folosit în rețelele de medie tensiune, 20 kV este următorul:

```
C Linii de date pentru modelarea DRV/MT SiC
C - Tensiunea de amorsare la impuls de trăsnet - 80 kV;
C - curentul nominal de impuls de trăsnet - 5 kA.
C      1      2      3      4      5      6      7      8
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C
92R007 PPT                                4444.
```

```

C      1      2      3      4      5      6      7      8
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C      R-lin                                V-flash                                V-zero
C                                          80000.0
C      I                                U
C      750.0                                55000.0
C      1500.0                               70000.0
C      5000.0                               80000.0
C      9999
92S007 PPT R007 PPT 4444.
92T007 PPT R007 PPT 4444.

```

b) Exemplul este pentru un descărcător ZnO, Tridelta192, $U_n = 220$ kV

```

C DESCARCATORUL DOM TRIDELTA192 in celula AT-2 - 220 kV
C - Nu are eclatoare de amorsare (se comportă ca și cum eclatorul ar amorsa și
C      ar rămâne amorsat pe durata simulării);
C - Curentul nominal de impuls de trăsnet - 20 kA.
C
C      1      2      3      4      5      6      7      8
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
92R209      -1.0      4444
C      R-lin                                V-flash                                V-zero
C      0.0                                -1.0
C      I                                U
C      0.00005                               192000.0
C      0.0002                                375000.0
C      2500.0                                400000.0
C      5000.0                                436000.0
C      10000.0                               461000.0
C      20000.0                               507000.0
C      9999
92S209      R209                                4444.
92T209      R209                                4444.
C

```