TRANSFORMÁTORY



Obr. 1 Dvojvinuťový transformátor

Na Obr. 1 je naznačený rez dvojvinuťovým transformátorom, pre ktorý platia rovnice:

$$u_{1} = \frac{d}{dt}(\Phi_{0} + \Phi_{1}) \cdot N_{1} + i_{1} \cdot R_{1} \qquad u_{2} = \frac{d}{dt}(\Phi_{0} + \Phi_{2}) \cdot N_{2} + i_{2} \cdot R_{2}$$
(1)

kde Φ_0 , Φ_1 a Φ_2 sú toky spojované všeobecne s oboma vinutiami (primárne, sekundárne). Tok Φ_0 sa uplatňuje predovšetkým vo vnútri železného jadra a určuje magnetizačnú charakteristiku. Tok Φ_0 je spoločný v oboch rovniciach a z rovníc (1) vyplýva:

$$N_2 \cdot \left(u_1 - \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \Phi_1 - i_1 \cdot R_1 \right) = N_1 \cdot \left(u_2 - \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \Phi_2 - i_2 \cdot R_2 \right)$$
(2)

Táto rovnica zodpovedá náhradnej schéme s ideálnym transformátorom podľa Obr. 2. Obvod toku Φ_0 (magnetizačného toku) môže byť pripojený na akúkoľvek stranu ideálneho transformátora. Rozptylovým tokom Φ_1 a Φ_2 zodpovedajú indukčnosti L_1 , L_2 a R_1 , R_2 sú odpory vinutí.



Obr. 2 Náhradná schéma dvojvinuťového transformátora

Model transformátora s tromi vinutiami je znázornený na Obr. 3. Tento model zodpovedá predpokladu, že každé vinutie má svoj tok. V skutočnosti nemôže mať vinutie 1 a vinutie 2 celkom rovnaký tok, ako vinutie 2 a vinutie 3. Ale pre väčšinu prípadov je model dostatočne presný. Uvedené modely sú použiteľné do frekvencií niekoľko kHz. Pre vyššie frekvencie, nad 10 kHz, alebo v prípade atmosférického alebo spínacieho prepätia nie je rozloženie napätia v primárnom vinutí lineárne v dôsledku parazitných kapacít voči zemi a vo vnútri vinutia. Pre takéto prípady by malo byť prvé vinutie modelované vo viacerých sekciách. Každá sekcia má svoju vlastnú a vzájomnú indukčnosť k ostatným.



Obr. 3 Náhradná schéma trojvinuťového transformátora

Potom je celkové vinutie vrátane primárneho, sekundárneho, atď. reprezentované tzv. indukčnou maticou. Súčasne je potrebné poznať prevedenie kovového jadra. Pri vysokých frekvenciách už nedochádza takmer k žiadnemu prieniku toku dovnútra kovového jadra. Pre frekvenčný rozsah zodpovedajúci atmosférickým impulzom nahradí železné jadro vzduch. Indukčná matica má tvar (L sú vlastné a M vzájomné indukčnosti jednotlivých, v tomto prípade štyroch, cievok):

Príklad pripojenia transformátora 550/300 kV k sieti na Obr. 4 uvažuje jednopólovú schému a v EMTP využíva procedúru SATURABLE TRANSFORMER, ktorou sa v ATPDraw zadávajú hodnoty prvkov náhradnej schémy vrátane charakteristiky naprázdno: (viď. *Preklad textov prof. Eiichi Haginomoriho pre prácu s EMTP-ATP*, kapitola 5).



Obr. 4 Jednofázový dvojvinuťový transformátor pripojený k sieti

V dôsledku saturácie danej magnetizačnou charakteristikou tečie v okamihu pripojenia transformátora k sieti do transformátora veľký magnetizačný jednosmerný prúd, ako ukazuje Obr. 5.



Obr. 5 Pripojenie transformátora k sieti a priebehy sekundárneho napätia a primárneho prúdu

Postupnosť krokov pri zadávaní údajov v programe ATP:

V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 6. Na napäťovom zdroji nastavíme v položke **Amp** hodnotu 428660.7, v položke **Tsta** hodnotu 0.01 a v položke **Tsto** hodnotu 1, čo má za následok napäťový zdroj po dobu 1 sekundy. V **Type of source** ponecháme voľbu **Voltage**. Fázové natočenie zvolíme v položke **Pha** –90 a frekvenciu v položke **f** 50. (obr. 7).

	Component: Sup\AC1PH.SUP									
	Attributes									
	DATA	VALUE		NODE	PHASE	NAME				
	Amp.	428660.7		AC	1	XX0001				
	f	50								
	Pha	-90								
U	A1	0								
«Ư∕∕∕→−RLC)→°∋∎c.⁵⊷≪	TSta	0.01								
	TSto	1								
÷ ÷										
Obr. 6 Schéma zapojenia	Order: 0				Label: U					
v ATPDraw	Comment:		_							
	Type of source									
	C Current					🗖 Hi <u>d</u> e				
	C Values					🗖 Lock				
	. Voltage									
	4 0 -	1	<u>-</u> K		<u>C</u> ancel	Help				

Obr. 7 Nastavenie parametrov pre napäťový zdroj U

V RLC prvku zadáme do položky **R** hodnotu 0.5, do **L** hodnotu 30 a do **C** hodnotu 0. Keďže chceme snímať veľkosť prúdu na tomto prvku, v položke **Output** nastavíme voľbu **Current**.

Attributes	omponent: Sup\RLC.SUP								
DATA VALUE R 05 L 30 C 0 Order: 0 Lorder: Labet Output Hige	<u>A</u> ttributes								
NODE PHASE NAME R 05 From 1 x0001 L 30 0 1 x0003 0 C 0 L <td>DATA</td> <td>haus</td> <td>_</td> <td>NODE</td> <td></td> <td></td> <td>-</td>	DATA	haus	_	NODE			-		
n use I X0001 L 30 To 1 X0003 C 0 I X0003 I Order: 0 Labet I I Output I I I I I	DATA	VALUE			PHASE				
C 0 C 0 Order: 0 Comment: Output U 1 Labet U 1 U 1 U 1 U 1 U 1 U 1 U 1 U 1		00		From	1	XXUUUT			
C U U Label D Label Hige		30	- 1	10	1	XX0003			
Order: 0 Labet Comment: Hige	Ľ	10							
Order: 0 Labet Comment:									
Order: 0 Label:									
Order: 0 Label: Comment: Hige									
Order: 0 Labet: Comment: Hige									
Order: 0 Label: Comment: Hige									
Comment:	Order: 0				Label:		-		
Comment: Output I Hide							Í		
Output 🗌 Hige	Co <u>m</u> ment:								
I Hige	- Output								
						I Hige			
1 - Current	1 - Current	-				🗖 Lock			
□ \$Vintage,1						□ \$Vintage,1			
					1		-1		
			<u>0</u> K		<u>C</u> ancel	<u>H</u> elp			

Obr. 8 Nastavenie parametrov RLC prvku

Pre transformátor zadáme v záložke Attributes do jednotlivých položiek hodnoty podľa nasledovnej tabuľky.

Component: Sup\TR	AFO_S.SUP				×	Component: Sup\TR/	AFO_S.SUP					×
Attributes Charac	teristic					Attributes Charac	teristic					
ΠΑΤΑ	VALUE	าเ	NODE	DHASE		ΠΑΤΑ	IVALUE			DUARE		
lo	0.5	1	P1	1	××0003	Bmag	30000	_	P1	1	XX0003	
Fo	1365	ł	P2	1		Rp	1		P2	1		
Rmag	30000		S1	1	XX0006	Lp	132		S1	1	××0006	
Rp	1	ĺ	S2	1		Vrp	303		S2	1		
Lp	132					Rs	0.1				_	
Vrp	303					Ls	0.01					
Rs	0.1					Vrs	166					
Ls	0.01	-				RMS	0	-				
Order: 0				Label:		Order: 0				Label:		
Comment:		_				Co <u>m</u> ment:						
Cutput					∏ Hi <u>d</u> e	Output					Hide	
0 · No	<u> </u>				☐ Look	0 · No	T				Lock	
P 5	<u></u>	ĸ		<u>C</u> ancel	Help	P 5		<u>0</u> K		<u>C</u> ancel	Help	

Obr. 9 Nastavenie parametrov saturačného transformátora

Podobne, v záložke **Characteristic** zadáme hodnoty krivky saturácie podľa nasledovnej tabuľky.

Comp	oonent: Sup\TRAFO_5.SUP			×
<u>A</u> ttril	butes Cha <u>r</u> acteristic			
	aturation			
	[A]	Fluxlinked [Wb-T]		Add
0	.5	1365		
5		1771		<u>D</u> elete
1	00	1898		Sort
1	000	2425		
5	000	4744		+
				Move
				•
E FIII		- 1		
\$	Sinclude:	Browse	Include character	ristic
			_,	
	<u>Save</u> <u>C</u> opy <u>P</u> a:	ste⊻iew		
P	5			
	<u> </u>	<u>0</u> K	<u>C</u> ancel	<u>H</u> elp

Obr. 10 Nastavenie parametrov saturačného transformátora

Budeme snímať 1-fázové napätie, preto nastavíme počet fáz 1 (obr. 11).

Open Probe		×
Phases ① 1	Г A	OK
C 3		<u>H</u> elp

Obr. 11 Nastavenie počtu fáz

Časové podmienky simulácie sa nastavia voľbou z horného menu **ATP Settings** a **Simulation** (obr. 12). Keďže sa jedná krátky prechodný dej, krok výpočtu musíme tomu prispôsobiť **delta T** 5E–5 s a podobne aj doba výpočtu, napr. **Tmax** 0.1 s (obr. 13).

		ATP Settings	×
		Simulation Output Switch/UM Format Record Variables	
Settings Make File run ATP		delta T: 5E-5 Simulation type Imax: 0.1 Imax: Time domain Xopt: 0 Frequency scan Copt: 0 Harmonic (HFS)	
Edit ATP-file Edit LIS-file			
Make Names			
Edit Commands run ATP run PCPlot run ATP (file) run PlotXY Edit Taut	Ctrl+Alt+0 Ctrl+Alt+1 Ctrl+Alt+2 Ctrl+Alt+3 Ctrl+Alt+3		
Edit lext	Ctrl+Alt+4		

Obr. 12 ATP – Settings

Obr. 13 Dialógové okno Settings – Simulation

Príkazom **Make File** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (obr. 14). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 15). V prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu **ATP run PlotXY** spustí grafický postprocesor (obr. 16).

Settings Make File run ATP	Settings Make File run ATP		Settings Make File run ATP	
Edit ATP-file Edit LIS-file	Edit ATP-file Edit LIS-file		Edit ATP-file Edit LIS-file	
Make Names	Make Names		Make Names	
Edit Commands	Edit Commands		Edit Commands.	
run ATP Ctrl+Alt+0	run ATP	Ctrl+Alt+0	run ATP	Ctrl+Alt+0
run PCPlot Ctrl+Alt+1	run PCPlot	Ctrl+Alt+1	run PCPlot	Ctrl+Alt+1
run ATP (file) Ctrl+Alt+2	run ATP (file)	Ctrl+Alt+2	run ATP (file)	Ctrl+Alt+2
run PlotXY Ctrl+Alt+3	run PlotXY	Ctrl+Alt+3	run PlotXY	Ctrl+Alt+3
Edit Text Ctrl+Alt+4	Edit Text	Ctrl+Alt+4	Edit Text	Ctrl+Alt+4

Obr. 14 ATP – Make File... Obr. 15 ATP – run ATP

Obr. 16 ATP – run PlotXY

A v ňom je s označením v: XX0006 uvedený priebeh sekundárneho napätia na vinutí transformátora a c: XX0001 – XX0003 priebeh prúdu na RLC prvku (primárny prúd). Stlačením ľavého tlačidla myši (označenie priebehu napätia) a pravého tlačidla myši (označenie priebehu prúdu) sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia.

MC's PlotXY - Data select	ion					
Load Refresh				1		?
# File Name	# of ∨ar:	# of Point	Tmax			
o512.pl4	3	2001	0,1			
Variables	ΘΘ	8	Rese	et		Ð
t	Variable	e		Х	Facto	Offset
v:XX0006 c:XX0001-XX0003	t			x	1	0
	v:XXO	006			1	0
	c:XXO	001-XXO	003	r	1	0
	Upda	te 🖺	Fot	Ir		lot

Obr. 17 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov



Obr. 18 Priebeh prúdu a napätia vo vyššie uvedenom obvode