TROJFÁZOVÉ VÝKONOVÉ MENIČE

Analýza obvodov výkonových meničov prináša v dôsledku opakovaného spínania a v dôsledku javov spojených so spínaním množstvo rôznych komplikácií, ktoré obmedzujú použitie matematických analýz. Našťastie v dnešnej dobe existujú výpočtové programy ako EMTP a PSPICE, ktoré umožňujú úspešne realizovať presné výpočty pri riešení problému. V tejto kapitole je popísaný princíp analýzy takého obvodu, a to na jednoduchom príklade trojfázového usmerňovača (viď. *Preklad textov prof. Eiichi Haginomoriho pre prácu s EMTP-ATP*, kapitola 8).

1 Popis zapojenia

Obr. 1 ukazuje schému, v ktorej sú k zdroju pripojené prídavné filtračné obvody (5., 7., 11. a 13. harmonickej) a k jednotlivým diódam sú pripojené prepäťové ochrany. K transformátoru je pripojený striedavý trojfázový zdroj s vnútornou impedanciou a s napätím 287,5 kV. Na jednosmernú stranu zdroja je cez jednosmerné reaktory pripojené prenosové 100 km vedenie. Na koniec vedenia je pripojená záťaž.



Obr. 1 Schéma trojfázového neriadeného usmerňovača s filtráciou vyšších harmonických sieťového prúdu

Pri použití tyristorov v riadenom usmerňovači by sa privedenie impulzu na riadiacu elektródu tyristora realizovalo riadiacim systémom TACS. Na sekundárnej strane transformátora je napätie 120 kV. Obr. 2 ukazuje jednosmerné napätie na záťaži a priebeh napätia fázy A na vstupe do usmerňovača. Na Obr. 3 je primárny prúd a prúd tečúci z fázy A do usmerňovača. Bez použitia filtra má sieťový prúd prakticky rovnaký priebeh ako prúd do usmerňovača. Vplyv filtra vyšších harmonických sa dá posúdiť z obsahu vyšších harmonických. S použitým filtrom je najvyššia úroveň pri 5. harmonickej 5 % vzhľadom k prvej harmonickej, zatiaľ čo bez filtra bola pri 5. harmonickej hodnota 16 % a pri 7. harmonickej 8 %. Na eliminovanie vplyvu vyšších harmonických sa okrem filtrácie používajú tiež viacfázové zapojenia usmerňovačov.



Obr. 2 Napätie na záťaži a priebeh napätia fázy A na vstupe do usmerňovača



Obr. 3 Priebeh prúdov fázy A – prúd siete a prúd do usmerňovača

Postupnosť krokov pri zadávaní údajov v programe ATP:

V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 4. Na napäťovom zdroji nastavíme v položke **Amp** hodnotu 234743 (t.j. $\frac{287500 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}}$), v položke **Tstart** hodnotu –1 a v položke **Tstop** hodnotu 0, čo má za následok nekonečný napäťový zdroj. V **Type of source** ponecháme voľbu **Voltage**. Fázové natočenie zvolíme v položke **Pha** –90 a frekvenciu v položke **f** 50. (obr. 5).



Obr. 4 Schéma zapojenia v ATPDraw

Component: Sup\AC	3PH.SUP					x
<u>A</u> ttributes						
	MALLIE.					-
	234743			3	ST	
f	50		<u> </u>	5	01	
pha	-90					
A1	0					
Tstart	-1					
Tstop	0					
Order: 0				Label: U		
Co <u>m</u> ment:						
Type of source						
C Current					🗖 Hi <u>d</u> e	
G Malana					🔲 Lock	
		οκ		Cancel	Help	
····				20.000		

Obr. 5 Nastavenie parametrov pre napäťový zdroj U

Nasledovným postupom (obr. 6) vyberieme vnútornú impedanciu transformátora, charakterizované vedením RL (Lines/Cables \rightarrow Lumped \rightarrow RLC Pi-equv. 1 \rightarrow 3 phase).

Branch Linear F Branch Nonlinear F Lines/Cables F Switches F Sources F	Branch Linear Branch Nonlinear Lines/Cables Switches Sources Machines	Branch Linear	Branch Linear Branch Nonlinear Lines/Cables Switches Sources Machines Transformers MODELS	Branch Linear Branch Nonlinear Lines/Cables Switches Sources Machines Transformers MODELS TACS Lumped Distributed	Branch Linear Branch Nonlinear Lines/Cables Switches Sources Machines Transformers MODELS TACS User Specified Frequency comp.
Sources	Switches Switches Machines	Branch Nonlinear > Lines/Cables > Switches > Sources > Machines > Transformers >	branch Nominear F Lines/Cables F Switches F Sources F Machines F Transformers F MODELS F	branch wonurear , Lines/Cables , Switches , Sources , Machines , Transformers , MODELS , TACS , Liser Specified ,	Dranch Nonlinear * Lines/Cables * Switches * Sources * Machines * Transformers * MODELS * TACS * User Specified * Frequency comp. *
Switches Sources	Switches Sources Achines	Switches Sources Machines Transformers	Switches	Switches Sources Machines Transformers MODELS TACS Lumped Distributed	Switches Sources Machines Transformers MODELS TACS User Specified Frequency comp. Lumped LCC
Sources +	Sources Machines	Sources > Machines > Transformers >	Sources Machines Transformers MODELS	Sources Machines Transformers MODELS TACS Lumped Distributed	Sources Machines Transformers MODELS TACS User Specified Frequency comp. How between the second seco
	Machines •	Machines Transformers	Machines	Machines Transformers MODELS TACS Lumped Distributed	Machines Transformers MODELS TACS User Specified Frequency comp. LCC

Obr. 6 Vloženie prvku – vedenie RL – do schémy

V tomto prvku zadáme do položky **Ro** hodnotu 1, do **Lo** hodnotu 40, do **R**+ hodnotu 0.3 a do **L**+ hodnotu 20.

Component: Sup\L	INESY_3.SUP					×
Attributes						
DATA	VALUE			PHASE		-
Ro	1		11	ABC	ST	
Lo	40	0	UT1	ABC	STS	
R+	0.3					
L+	20					
Order: 0				Label:		
Comment:						1
					🔲 Hi <u>d</u> e	
					🔲 Lock	
				1		-1
		<u>o</u> k	!	Cancel	Help	

Obr. 7 Nastavenie parametrov pre vnútornú impedanciu transformátora

Prúd budeme snímať vo všetkých fázach, preto nastavíme počet fáz 3 (obr. 8).

Open Probe	:	×
Phases C 1		<u> </u>
• 3		<u>H</u> elp

Obr. 8 Nastavenie počtu fáz

V prvom filtračnom prvku zadáme hodnoty podľa nasledujúcej tabuľky.

Component: Sup\RLCY3.SUP	Component: Sup\RLCY3.SUP
Attributes	Attributes
DATA VALUE NODE PHASE NAME R_1 200 IN ABC TI L_1 0 INODE DUT 1 C_1 0.011 R.2 500 INODE DUT 1 L_2 0 INODE INODE DUT 1 INODE DUT 1 I.2 0.011 R.3 500 INODE DUT INODE DUT <t< th=""><th>DATA VALUE Image: Constraint of the second second</th></t<>	DATA VALUE Image: Constraint of the second
Order: 0 Labet	Order: 0 Labet
Comment	Comment
Output Output Indiana Image: 1 Lock Image: 1 SVintage: 1	Output I Hige Image: 0 - No Image: 1 Image: 1 \$Vintage: 1
<u>QK</u>	<u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u>

Obr. 9 Nastavenie parametrov filtračného člena

Podobne zadáme hodnoty pre filtre 5., 7., 11. a 13. harmonickej zložky napätia podľa nasledujúcich tabuliek.

Component: Sup\RLCY3.SUP	Component: Sup\RLCY3.SUP
Attributes	Attributes
DATA VALUE R_1 001 L1 100 C_11 4.0528 R_2 0.01 L_2 100 C_2 4.0528 R_3 0.01 L_3 100	DATA VALUE A L_1 100 Image: Constraint of the second seco
Order: 0 Label: 5.	Order: 0 Labet: 5.
Comment:	Comment
Output U-No U-No Strategy (1)	Output O-No I Look I SVintage,1
<u></u> <u></u>	QK Cancel Help

Obr. 10 Nastavenie parametrov filtračného člena 5. harmonickej

Component: Sup\RLCY3.SUP	Component: Sup\RLCY3.SUP
Attributes	Attributes
DATA VALUE R_1 001 L_1 100 C_1 2.0678 R_2 0.01 L_2 100 C_2 2.0678 R_3 0.01 L3 100	DATA VALUE Image: Married Constraints NODE PHASE NAME NAME
Order: 0 Label: 7.	Order: 0 Labet 7.
Co <u>m</u> ment:	Comment
Dutput Image: Hige Image: Im	Output Output I Hige Look I Look I SVintage,1
<u>OK</u> <u>Cancel</u> <u>Help</u>	<u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u>

Obr. 11 Nastavenie parametrov filtračného člena 7. harmonickej

Component: Sup\R	_CY3.5UP				×	I	Component: Sup\RLC	Y3.5UP					×
Attributes							Attributes						
DATA	VALUE		NODE	PHASE	NAME	L	DATA	VALUE		NODE	PHASE		
R_1	0.01	- 🗆	IN	ABC	T1	L	L_1	100		IN	ABC	T1	
L_1	100		OUT	1		L	C_1	0.83737		OUT	1		
C_1	0.83737					L	R_2	0.01					
R_2	0.01					L	L_2	100					
L_2	100					L	C_2	0.83737					
C_2	0.83737					L	R_3	0.01					
R_3	0.01					L	L_3	100					
L_3	100	•				L	C_3	0.83737	-				
Order: 0				Label: 11.			Order: 0				Label: 11.		
Comment:							Co <u>m</u> ment:						
Output					🗖 Hi <u>d</u> e	L	Output					Hide	
0 - No	•				Lock	L	0 - No						
1					Wintage 1	L	10-140						
					1 gvindge, i							_ j_ ≱vintage, i	
		<u>0</u> K		<u>C</u> ancel	Help				<u>0</u> K		<u>C</u> ancel	Help	

Obr. 12 Nastavenie parametrov filtračného člena 11. harmonickej

Component: Sup\RLCY3.SUP	Component: Sup\RLCY3.SUP
Attributes	Attributes
DATA VALUE NODE PHASE NAME R_1 000 IN ABC II L_1 100 OUT 1 OUT 1 L_1 0.59953 R_2 0.01 II OUT 1 L_2 100 C_2 0.59953 R.3 0.01 II III III IIII IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII	DATA VALUE L_1 100 C_1 0.59953 R_2 0.01 L_2 100 C_2 0.59953 R_3 0.01 L_3 100
L_3 100 Image: Control of the second	C_3 0.59953 Order: 0
Comment	Comment:
Output 0-No \$Vintage,1	Output Output O-No Science Sci
QK Cancel Help	QK Cancel Help

Obr. 13 Nastavenie parametrov filtračného člena 13. harmonickej

Vo vlastnostiach saturačného 2-vinuťového transformátora zadáme hodnoty primárneho ($\frac{287,5}{\sqrt{3}} = 166 \text{ kV}$) a sekundárneho napätia ($\frac{120}{\sqrt{3}} = 69,3 \text{ kV}$) a hodnoty rezistancie **R** a induktancie **L** primárneho a sekundárneho vinutia a ďalšie údaje podľa nasledovnej tabuľky.

ttributes	Cha <u>r</u> acteris	stic				
	Prim.	Sec.		NODE	PHASE	NAME
U [V]	166	69		P	ABC	T1
R [ohm]	1	0.2		S	ABC	T2
	260	05		Sat	ABC	×0012
e (minionin)	200	0.5		P-N	1	
Coupling	Y 💌	Y 🔻		S-N	1	
Phase shift		0 💌		Т	ABC	RST
I(0)= 0	Rm=	800000	3-leg core	T-N	ABC	RST
F(0)= 0		i	3-winding			
Order:	0				Label:	
Co <u>m</u> ment:						
Output						Hide
	1					
10.1	10	<u> </u>				E FOOK

Obr. 14 Nastavenie parametrov transformátora

Trojfázové výkonové meniče

Component: Sup\RLCY3.SUP	Component: Sup\RLCY3.SUP
Attributes	Attributes
DATA VALUE R_1 1000 L1 0 C_1 0.005 R_2 1000 L_2 0 C_2 0.005 R_3 1000	DATA VALUE NODE PHASE NAME L_1 0
Order: 0 Labet	Order: 0 Labet
Comment	Comment
Output If Hige [0 - No If Lock [] \$Vintage,1	Output Output O-No Syntage,1
	<u></u>

Obr. 15 Nastavenie parametrov paralelnej vetvy náhradného článku

Component: Sup\RLC3.SUP	Component: Sup\RLC3.SUP
Attributes	Attributes
DATA VALUE NODE PHASE NAME R_1 0 INI ABC T2 L_1 20 0 INI ABC RST L_1 0 R 0 RST OUT1 ABC RST L_2 20 0 RST INI ABC RST R_3 0 INI INI INI INI INI INI	DATA VALUE ▲ L_1 20 INDE PHASE NAME C_1 0 OUT1 ABC T2 OUT1 ABC RST OUT1 ABC RST L_2 20 C_22 0 RST INDE INDE PHASE NAME L_3 20 OUT1 ABC RST INDE
Order: 0 Labet	C_3 0 Order: 0 Labet
Dutput I Hige 1 - Current I Look. 1 SVintage,1 1	Cugnierit j Output I - Current Structurent
<u></u> <u>QK</u> <u>Cancel</u> <u>H</u> elp	QK Cancel Help

Obr. 16 Nastavenie parametrov sériovej vetvy náhradného článku

Component: Sup\RLCY3.SUP	Component: Sup\RLCY3.SUP
Attributes	Attributes
DATA VALUE R_1 0000 L1 0 C_1 0.005 R_2 1000 L_2 0 C_2 0.005 R_3 1000	DATA VALUE NODE PHASE NAME L_1 0
Order: 0 Labet	Order: 0 Labet
Comment:	Comment
Output Qutput If Hige 2 - Voltage Image: Dock Image: Strategie Stra	Output 2 · Voltage Image: Second se
QKLep	QK Help

Obr. 17 Nastavenie parametrov paralelnej vetvy náhradného článku

Trojfázové výkonové meniče

Component: Sup\RLCY3.SUP	Component: Sup\RLCY3.SUP
Attributes	Attributes
DATA VALUE R_1 6000 L_1 0 C_1 0.005 R_2 5000 L_2 0 C_2 0.005 R_3 5000	DATA VALUE NODE PHASE NAME L_1 0 IN ABC RST C_1 0.005 OUT 1 POS R_2 0 C C 0 C C_2 0.005 R.3 5000 C C C C L_3 0 C <t< td=""></t<>
Order: 0 Labet	0rder: 0 Labet
Output Image: High Image: Im	Cogment:] Output Output Output Cogment:] Couplet Cou
- <u>QK</u> <u>Cancel</u> <u>Help</u>	<u></u>

Obr. 18 Nastavenie parametrov prepäťovej ochrany

Component: Sup\RI	.CY3.SUP				<	Component: Sup\RLC	Y3.5UP				×
Attributes						Attributes					
DATA	la l	NORE	louvor.								
DATA		NODE	PHASE	NAME		DATA	VALUE	<u> </u>	NODE	PHASE	NAME
R_I			ABC	RST		L_1	0		IN	ABC	RST
L_1	0	001	1	NEG		C_1	0.005		OUT	1	NEG
C_1	0.005					R_2	5000				
R_2	5000					L_2	0				
L_2	0					C_2	0.005				
C_2	0.005					R_3	5000				
R_3	5000					L_3	0				
L_3	0					C_3	0.005	-			
Order: 0			Label:			Order: 0				Label:	
Comment:						Comment:					
Output				🗖 Hi <u>d</u> e		Output					Hide
D . No	T			Lock		0.10					E Look
I Io no						IO · NO					L FOOK
				j j_j≱vintage,i							\$_Vintage,1
	<u>0</u> K		<u>C</u> ancel	Help				<u>0</u> K		<u>C</u> ancel	Help

Obr. 19 Nastavenie parametrov prepäťovej ochrany

Component: Sup\DIODE.SUP	Component: Sup\DIODE.SUP
Attributes	Attributes
DATA VALUE Vig 0 Ihold 0 T deion 0 CLOSED 0	DATA VALUE Vig Inoid Ihold 0 Tdeion 0 CLOSED 0
Order: 0 Labet	Order: 0 Labet
Comment:	Comment:
Output Output Image: High Image: Original content of the second	Output 0 - No Image: Look
	QKHelp

Obr. 20 Nastavenie parametrov usmerňovacích diód

Component: Sup\RLC.SUP	×	Component: Sup\RLC.S	UP			×
Attributes		Attributes				
DATA VALUE NODE PHASI R 002 From 1 L 500 Tr 1	E NAME NEG	DATA R	VALUE 0.05 500	NODE From To	PHASE	NAME POS POSL
	ne de	с	0			
Order: 0 Labet		Order: 0			Label:	
Comment:		Comment:				
Output	☐ Hi <u>d</u> e	Output				☐ Hi <u>d</u> e
0 · No	□ Lock	0 - No	•			□ Lock
	∫∏ § Vintage,1					∏ ⊈Vintage,1
-REC-	Help	-RLC-	<u>0</u> K		<u>C</u> ancel	<u>H</u> elp

Obr. 21 Nastavenie parametrov pre jednosmerné reaktory na vyhladenie napätia

Component: Sup\LIN	EZT_2.5UP			×	Component: Sup\LINE	2T_2.5UP				×
Attributes					Attributes					
DATA R/I+ R/I0 A+ A0 B+ B0 I	VALUE ▲ 005	NODE INA INB OUTA OUTB	PHASE 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	NAME NEGL POSL NEGLE POSLE	DATA R/I0 A+ A0 B+ B0 I I	VALUE 0.2 300 750 300000 250000 100 1		NODE INA INB OUTA OUTB	PHASE 1 1 1 1	NAME PGL POSL NEGLE POSLE
ILINE	1				IPUNCH	0	•			
Order: 0			Label:		Order: 0				Label:	
Comment:					Comment:					
Output 0 - No				☐ Hige ☐ Look ☐ \$Vintage,1	Output	V				Hige Lock SVintage,1
	<u>0</u> K		<u>C</u> ancel	Help			<u>0</u> K		<u>C</u> ancel	Help

Obr. 22 Nastavenie parametrov prenosového 100 km vedenia

omponent: Sup\RLC.SUP									
<u>A</u> ttributes									
DATA	VALUE		NODE	PHASE	NAME				
R	200		From	1	NEGLE				
L	30		То	1	POSLE				
С	0				_				
I			1						
Order: 0				Label:					
Comment:									
_ ,					_				
σαφαί					∏ Hi <u>d</u> e				
2 - Voltage	•				🗖 Lock				
					⊈Vintage,1				
		ΟΚ	1	Cancel	Help				
				<u>_</u>					

Obr. 23 Nastavenie parametrov záťaže

Časové podmienky simulácie sa nastavia voľbou z horného menu ATP Settings a Simulation (obr. 24). Keďže sa jedná krátky prechodný dej, krok výpočtu musíme tomu prispôsobiť delta T 2.5E-6 s a podobne aj doba výpočtu, napr. Tmax 0.1 s (obr. 25).

		ATP Setting	IS			×
		Simulation	Output Sv	vitch/UM	Format Record Variables	
		<u>d</u> elta T: <u>I</u> max: ≚opt: <u>C</u> opt:	2.5E-6 0.1 0		Simulation type Time domain Frequency <u>s</u> can <u>H</u> armonic (HFS)	
Settings Make File run ATP				I	Eower Frequency	
Edit ATP-file Edit LIS-file						
Make Names						
Edit Commands run ATP run PCPlot run ATP (file)	Ctrl+Alt+0 Ctrl+Alt+1 Ctrl+Alt+2					
run PlotXY Edit Text	Ctrl+Alt+3 Ctrl+Alt+4	<u> </u>	<u> </u>	elp		

Obr. 24 ATP – Settings

Obr. 25 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. 26). Príkazom run ATP v hornom menu ATP sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 27). V prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu ATP run PlotXY spustí grafický postprocesor (obr. 28).

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. 26 *ATP* – *Make File... Obr.* 27 *ATP* – *run ATP Obr.* 28 *ATP* – *run PlotXY*

A v ňom je s označením c: STSA–T1A uvedený prúd siete a c: T2A–RSTA priebeh prúdu do usmerňovača fázy A. Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia.



Obr. 29 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov

Obr. 30 Priebeh prúdov fázy A – prúd siete a prúd do usmerňovača

Podobne, s označením v: RSTA– je uvedené napätie na záťaži a v: NEGLE–POSLE priebeh napätia fázy A na vstupe do usmerňovača. Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia.



Obr. 31 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov

Obr. 32 Usmernené napätie na záťaži a priebeh napätia fázy A na vstupe do usmerňovača