

VYPÍNANIE SKRATOV

Vypínanie

Ide o priebeh prerušovania kontaktov vypínača, kedy pri oddelení kontaktov vzniká a zháša sa oblúk, prerušuje sa prúd a obnovuje napätie na kontaktoch vypínača.

Prerušenie prúdu

Je dočasný zánik prúdu (vypnutie) a hodnota striedavého prúdu je nulová.

Zotavené napätie

Transient Recovery Voltage (TRV) je zotavené napätie, ktoré sa objaví na kontaktoch vypínača po prerušení prúdu.

1. Parametre charakterizujúce vypínanie skratového prúdu

Vypínanie nastáva pri prechode prúdu nulou po rozpojení kontaktov vypínača v striedavom obvode. Úspešnosť alebo neúspešnosť vypnutia závisí od týchto parametrov:

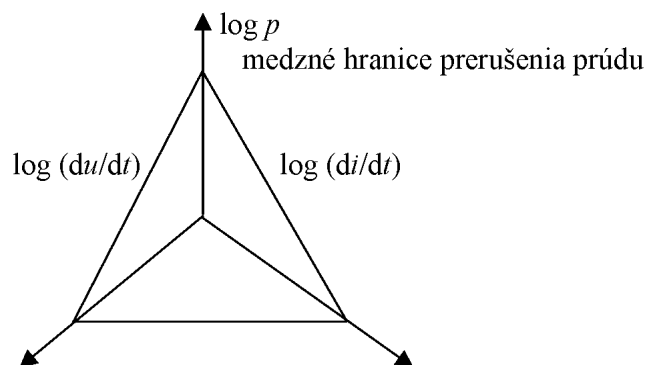
- maximálna hodnota prúdu v danom obvode
- časová zmena prúdu pred prechodom prúdu nulou (di/dt)
- nárast zotaveného napätia medzi kontaktmi (du/dt)
- maximálna hodnota zotaveného napätia (TRV)
- energia zhášaného oblúka (tlak plynu medzi kontaktmi, tvar kontaktov, počet sériových prerušovacích dráh, atď.)

Pri vypínaní prevláda prúdová strmosť (di/dt), nárast TRV (du/dt) a tlak plynu medzi kontaktmi (p). Autor stanovil experimentálne nasledujúcu rovnicu:

$$\frac{dv}{dt} = K \cdot p^\alpha \left(\frac{di}{dt}\right)^\beta \quad (1)$$

Experimentálne získané hodnoty pre vypínače s SF₆ od dvoch výrobcov sú:

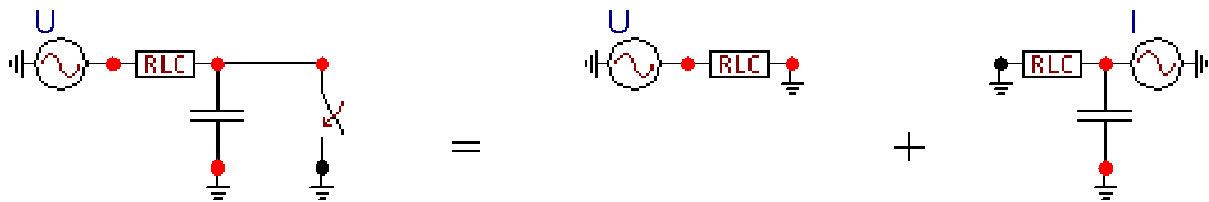
GCB	$\alpha = 2,68,$	$\beta = -2,24$
ABB	$\alpha = 1,60,$	$\beta = -1,30$



Obr. 1 Medzná hranica prerušenia prúdu

2 Metóda injekcie prúdu pre riešenie zotaveného napätia pri vypínaní obvodu

Ako ukazuje Obr. 2, môže byť vypínací obvod nahradený podľa Theveninovej vety obvodom skratu a obvodom prúdového zdroja, ktorý do obvodu injektuje z prúdového zdroja opačný prúd. Pri zopnutí prúdového zdroja v okamihu odpojenia vypínača v pôvodnom obvode a pre nulový počiatočný prúd zdroja sú veličiny pôvodného obvodu dané superpozíciou veličín obvodu skratu a obvodu prúdového zdroja. Zotavené napätie (TRV) je tu priamo napätím na prúdovom zdroji (viď. *Preklad textov prof. Eiichi Haginomoriho pre prácu s EMTP-ATP*, kapitola 2).

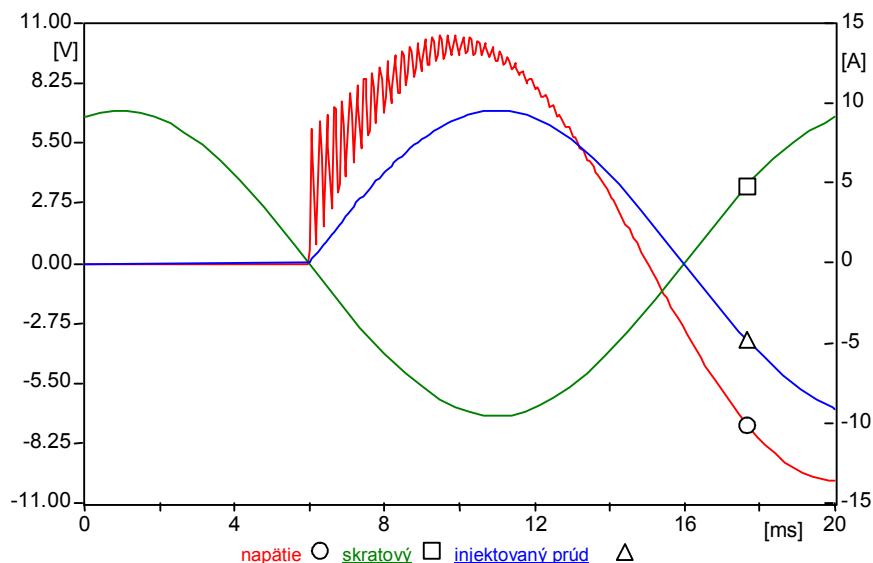


Obr. 2 Náhrada obvodu pre demonštráciu vzniku zotaveného napätia pomocou Theveninovej vety

V príklade je zdroj s frekvenciou 50 Hz, s amplitúdou napätia 10 V pripojený k sériovému rezistoru 1Ω a indukčnosti 1 mH. Kapacita má veľkosť $1 \mu\text{F}$. Ustálený skratový prúd má amplitúdu:

$$\frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{10}{\sqrt{1 + 0,314^2}} = 9,54 \text{ A}$$

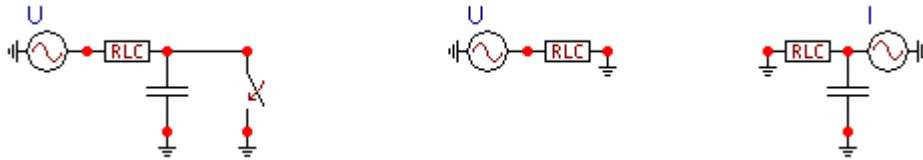
Prúd je pritom oneskorený za napätím o $\arctan 0,314 = 17,43^\circ$ a nulou prejde v čase $(90^\circ + 17,43^\circ)/18 = 5,97 \text{ ms}$. Vo výpočte bol zanedbaný malý prúd kondenzátorom. Takto definovaný prúdový zdroj potom umožňuje vypočítať zotavené napätie podľa Obr. 2 vpravo. Týmto spôsobom sa dajú analyzovať priebehy zotavených napätí v rôznych konfiguráciách elektrických sietí.



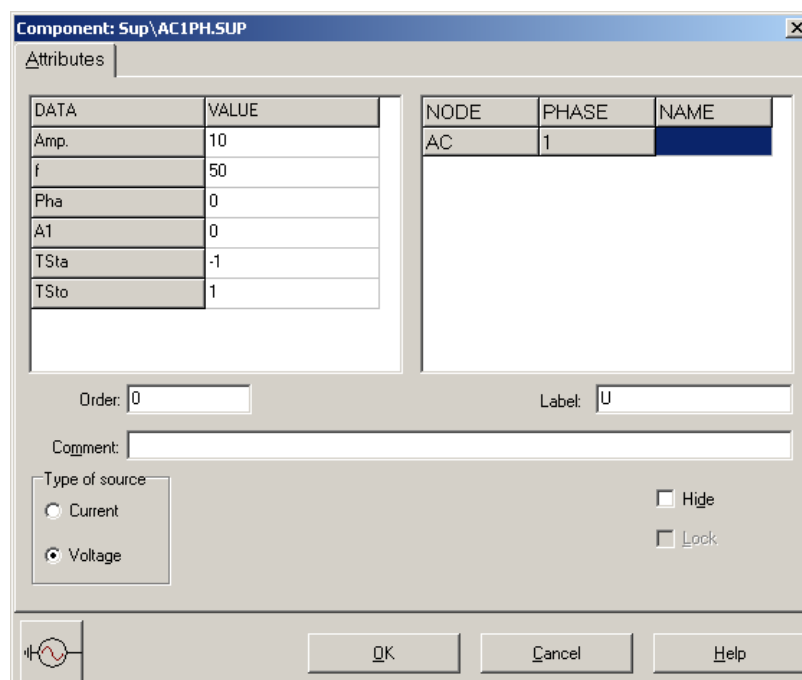
Obr. 3 Priebeh zotaveného napätia, skratového a injektovaného prúdu pre schému na Obr. 2

Postupnosť krokov pri zadávaní údajov v programe ATP:

V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 4. Na napätovom zdroji nastavíme v položke **Amp** hodnotu 10 a v položke **Tsta** -1 a **Tsto** hodnotu 1, čo má za následok napätový zdroj po dobu 1 sekundy. V **Type of source** ponecháme voľbu **Voltage**. Frekvenciu zvolíme v položke **f** 50.



Obr. 4 Schéma zapojenia v ATPDraw



Obr. 5 Nastavenie parametrov pre napätový zdroj U

V RLC prvku zadáme do položky **R** hodnotu 1, do **L** hodnotu 1 a do **C** hodnotu 0.

The screenshot shows the 'Component: Sup\RLC.SUP' dialog box. It has an 'Attributes' tab. On the left, there is a table with columns 'DATA' and 'VALUE'. On the right, there is a table with columns 'NODE', 'PHASE', and 'NAME'. Below these tables are fields for 'Order', 'Label', and 'Comment'. There is an 'Output' section with a dropdown menu and three checkboxes: 'Hide', 'Lock', and '\$Vintage,1'. At the bottom, there is a button with an RLC symbol, and 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

DATA	VALUE
R	1
L	1
C	0

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

Order: 0 Label:

Comment:

Output: Hide
 Lock
 \$Vintage,1

Obr. 6 Nastavenie parametrov RLC prvku

V položke kondenzátora **C** zadáme hodnotu 1 (μF). Keďže chceme zistiť veľkosť napätia na tomto prvku, v položke **Output** nastavíme voľbu **Voltage**.

The screenshot shows the 'Component: Sup\CAPACITO.SUP' dialog box. It has an 'Attributes' tab. On the left, there is a table with columns 'DATA' and 'VALUE'. On the right, there is a table with columns 'NODE', 'PHASE', and 'NAME'. Below these tables are fields for 'Order', 'Label', and 'Comment'. There is an 'Output' section with a dropdown menu and three checkboxes: 'Hide', 'Lock', and '\$Vintage,1'. At the bottom, there is a button with a capacitor symbol, and 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

DATA	VALUE
C	1

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

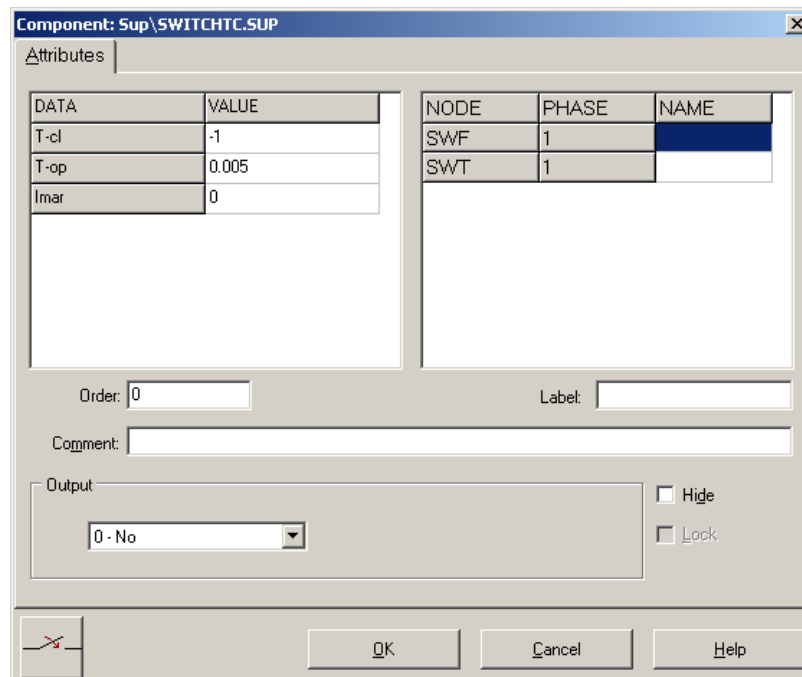
Order: 0 Label:

Comment:

Output: Hide
 Lock
 \$Vintage,1

Obr. 7 Nastavenie parametrov kondenzátora

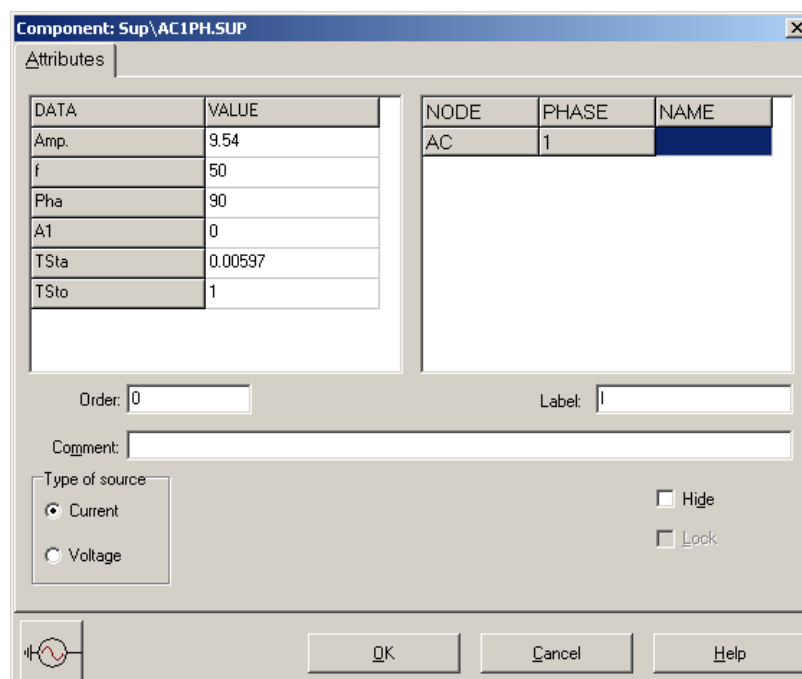
Na vypínači zadáme v položke **T-cl** hodnotu -1 , v **T-op** hodnotu 0.005 .



Obr. 8 Nastavenie parametrov vypínača

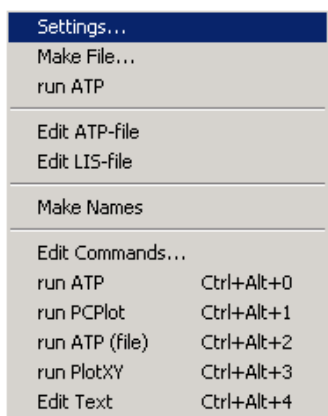
V náhradnom obvode sa hodnoty napät'ového zdroja nastavujú rovnako ako na obr. 4 a parametre RLC prvku podobne ako na obr. 6, pričom v položke **Output** nastavíme voľbu **Current**. Hodnoty kondenzátora sú rovnaké ako na obr. 7.

Na prúdovom zdroji nastavíme v položke **Amp** vypočítanú hodnotu ustáleného skratového prúdu 9.54 a v položke **Tsta** 0.00597 a **Tsto** hodnotu 1 . V **Type of source** zvolíme voľbu **Current**. Fázové natočenie nastavíme v položke **Pha** 90 a frekvenciu v položke **f** 50 .

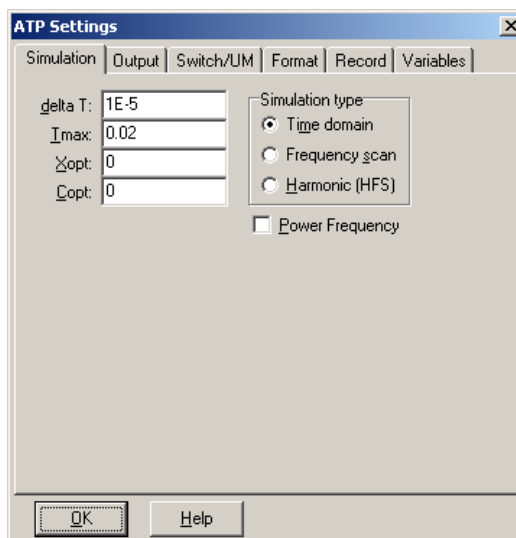


Obr. 9 Nastavenie parametrov pre napät'ový zdroj U

Časové podmienky simulácie sa nastavujú voľbou z horného menu **ATP Settings** a **Simulation** (obr. 10). Keďže sa jedná o prechodný dej, krok výpočtu musíme tomu prispôbiť **delta T** $1E-5$ s a podobne aj doba výpočtu, napr. **Tmax** 0.02 s (obr. 11).

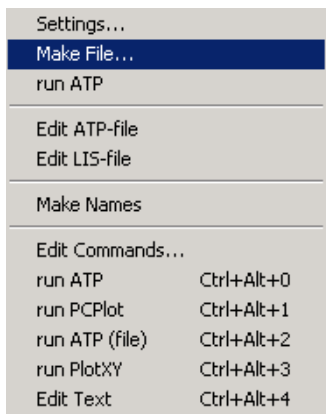


Obr. 10 ATP – Settings

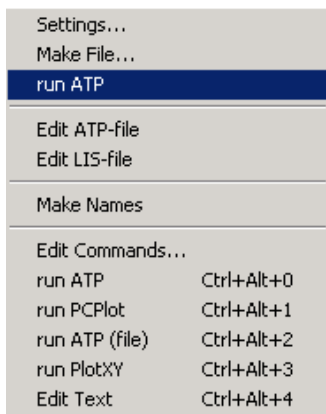


Obr. 11 Dialógové okno Settings – Simulation

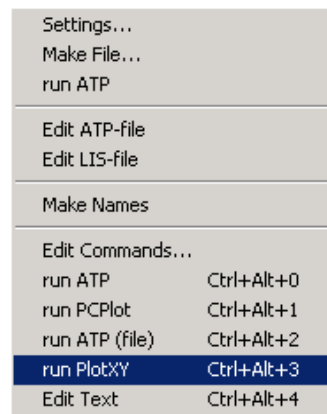
Príkazom **Make File** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (obr. 12). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 13). V prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu **ATP run PlotXY** spustí grafický postprocesor (obr. 14).



Obr. 12 ATP – Make File...

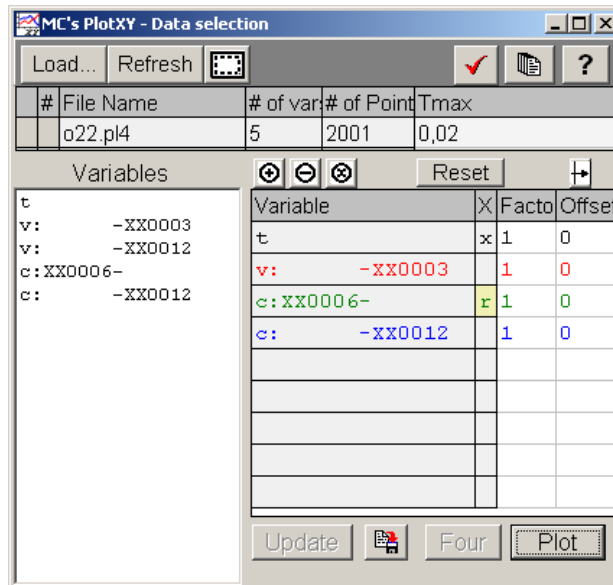


Obr. 13 ATP – run ATP

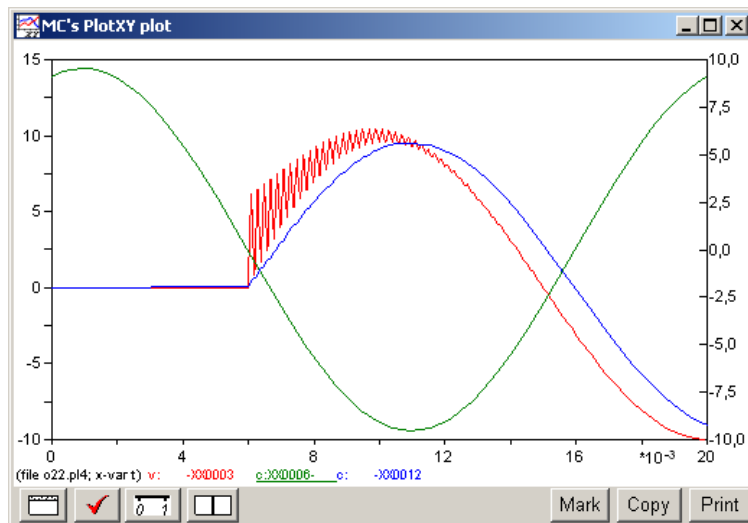


Obr. 14 ATP – run PlotXY

A v ňom je s označením **v: -XX0003** uvedený požadovaný priebeh zotaveného napätia a **c: XX0006-** priebeh skratového a **c: -XX0012** priebeh injektovaného prúdu. Stlačením ľavého tlačidla myši (praveho pre prúdy) sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia.



Obr. 15 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov



Obr. 16 Priebeh zotaveného napätia, skratového a injektovaného prúdu