

基于 MATLAB 的磁饱和式可控电抗器的 仿真模型参数及过渡时间分析

田铭兴,杨雪淞,顾生杰,原东昇

(兰州交通大学 自动化与电气工程学院,甘肃 兰州 730070)

摘要:建模仿真方法和过渡时间计算是磁饱和式可控电抗器研究中值得关注的 2 个重要问题。根据磁饱和式可控电抗器的饱和特性,通过对小斜率磁化特性的分析,找到了电抗器额定容量、额定电压、自耦比和绕组电阻之间的定量关系,明确了基于 MATLAB 的磁饱和式可控电抗器仿真模型参数的设置方法。通过对小斜率磁化特性的分段线性化,把从空载到满载的过渡过程分为直流磁链随时间线性增加和控制电流根据线性 RL 电路充电规律变化这 2 个过程,得到了比较准确的过渡时间计算公式。实例仿真结果说明所提分析方法简便有效。

关键词:电抗器;可控电抗器;磁饱和;仿真;过渡时间;MATLAB

中图分类号: TM 554

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.06.009

0 引言

可控电抗器在保证电网安全、可靠、经济运行方面具有重要应用价值,对于超高压长距离输电电网尤其如此。文献[1-2]是关于可控电抗器应用研究方面较早的论文,指出在新建的电网中应该广泛使用可控电抗器。之后,可控电抗器的研究和应用在国内外得到了长足发展[3-5]。可控电抗器种类较多[6-7],其中,磁饱和式可控电抗器在我国研究成果较多,并得到了实际应用[8-10]。

建模仿真方法和过渡时间计算是磁饱和式可控电抗器研究中值得关注的 2 个重要问题。在建模仿真方法方面,目前有 3 种方法:一是以文献[11-13]为代表的通过建立电抗器的微分方程并求解该微分方程的方法;二是文献[9-10]提出的用磁路分解法建立电抗器的数学模型,并建立基于 PSCAD/EMTDC 的仿真模型的方法;三是以文献[14-15]为代表的通过研究电抗器的等效物理模型、数学模型和等效电路,建立基于 MATLAB 的仿真模型的方法。较前 2 种方法,第 3 种方法具有避免或减轻自己编写仿真计算程序的繁重工作和只关注电抗器的电气特性而不使用电抗器结构尺寸等参数方面的优势。但是,文献[14-15]并未明确给出仿真模型参数和电抗器参数之间的定量关系,给这种思路的推广使用带来了不便。在过渡时间计算方面,文献[11-12]明确给出了一个计算公式,但笔者在研究中发现该公式计算误差较大。

本文拟在文献[11,15]基础上,进一步给出基于

MATLAB 的磁饱和式可控电抗器仿真模型参数与电抗器参数之间的定量关系,明确仿真模型参数的设置方法,并给出一个过渡时间计算的改进公式。

1 等效电路及参数计算

单相磁饱和式可控电抗器的结构原理图如图 1 所示[14-15]。图 1 中,绕组匝数 $N_A = N_1 + N_2$;自耦比 $\delta = N_2/N_A$;铁芯 1、2 的等效磁路长度均为 l ,等效磁路截面积均为 A ; u_A 为工作电压; i_A 为工作电流; i_d 为直流环流(控制电流); ϕ_1 为铁芯 1 的磁通; ϕ_2 为铁芯 2 的磁通。 N_A 匝绕组的电阻为 R_A ,则 N_1 匝绕组的电阻为 $(1-\delta)R_A$, N_2 匝绕组的电阻为 δR_A 。

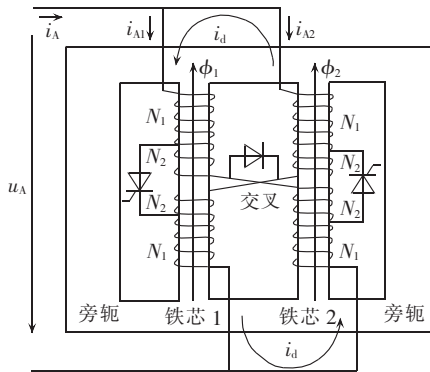


图 1 结构原理图

Fig.1 Schematic diagram of structure

由文献[15]可得电抗器等效电路如图 2 所示。由图 2 可得:

$$\begin{cases} u_1 = u_A = U_m \sin \omega t \\ u_2 = \frac{\delta}{1-\delta} u_A \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} i_1 = i_A - 2m\delta i_d \\ i_2 = 2(1-m^2\delta) i_d \end{cases} \quad (2)$$

收稿日期:2012-07-12;修回日期:2013-04-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51167009)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51167009)

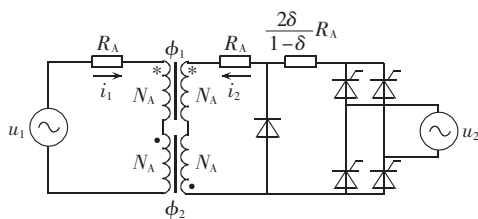


图 2 等效电路

Fig.2 Equivalent circuit

$$m = \begin{cases} 0 & 0 \leq \omega t < \alpha \\ 1 & \alpha \leq \omega t < \pi \\ 0 & \pi \leq \omega t < \pi + \alpha \\ -1 & \pi + \alpha \leq \omega t < 2\pi \end{cases} \quad (3)$$

式(2)中,自耦比 δ 一般取 $0.015 \sim 0.05$ ^[11],所以可以近似认为等效电路中的工作电流 i_1 就是电抗器的实际工作电流 i_A ,等效电路中的控制电流 i_2 是实际控制电流(直流环流) i_d 的2倍。式(3)中, α 为晶闸管触发角, α 的0时刻为电压 u_1 的正向过零时刻,取值范围为 $0 \sim \pi$ (满载时 $\alpha=0$,空载时 $\alpha=\pi$)。

由图1、2可以看出,原、副边绕组额定电压相等,且等于电抗器工作电压的一半。同时由于2个变压器原边绕组电流相等且近似等于工作电流,所以图2中2个变压器的容量各是图1电抗器容量的一半,即:

$$\begin{cases} U_n = \frac{U_{AN}}{2} \\ S_n = \frac{U_{AN}}{2} I_{AN} = \frac{S_{AN}}{2} \end{cases} \quad (4)$$

其中, U_{AN} 、 I_{AN} 、 S_{AN} 分别为电抗器额定工作电压、额定工作电流和额定容量; U_n 、 S_n 分别为变压器原、副边额定电压和额定容量。

由于变压器空载电势就是其额定电压,且等于电抗器额定电压的一半,所以得:

$$\sqrt{2} U_n = \frac{\sqrt{2} U_{AN}}{2} = 2\pi f_N \psi_s \quad (5)$$

其中, f_N 为额定频率(50 Hz); ψ_s 为铁芯饱和磁链, $\psi_s = AN_A B_s$, B_s 为铁芯饱和磁密。

本文分析中设铁芯的磁化特性如式(6)所示(小斜率理想磁化曲线):

$$B = \begin{cases} B_s & H=0 \\ \mu_0 H + B_s & H>0 \end{cases} \quad (6)$$

式(6)转化成磁链-电流关系时如式(7)所示:

$$\psi = \begin{cases} \psi_s & i_m=0 \\ \mu_0 \frac{AN_A}{l} N_A i_m + \psi_s & i_m>0 \end{cases} \quad (7)$$

其中, μ_0 为空气磁导率; i_m 为磁化电流。

图2中,稳态时,对于 i_2 平均值 I_2 而言,有:

$$\frac{1+\delta}{1-\delta} R_A I_2 = \frac{\delta \sqrt{2} U_{AN} (1+\cos \alpha)}{\pi (1-\delta)} \quad (8)$$

式中等号右边项为图2中单相可控整流桥输出平均电压。

由文献[11]可得:

$$I_2 = \frac{2B_s l}{\pi \mu_0 (2N_A)} \left(\sin \frac{\beta}{2} - \frac{\beta}{2} \cos \frac{\beta}{2} \right) \quad (9)$$

其中, β 为电抗器饱和度。

把式(9)代入式(8)可得:

$$\frac{\delta}{1+\delta} \sqrt{2} U_{AN} (1+\cos \alpha) = \frac{B_s l (2R_A)}{\mu_0 (2R_A)} \left(\sin \frac{\beta}{2} - \frac{\beta}{2} \cos \frac{\beta}{2} \right) \quad (10)$$

当 $\alpha=0$ 时, $\beta=\beta_n$, β_n 为额定饱和度。如果 $\beta_n=2\pi$,则由式(10)可得:

$$\frac{\delta}{1+\delta} \sqrt{2} U_{AN} = \frac{B_s l R_A}{\mu_0 N_A} \frac{\pi}{2} = \frac{AN_A B_s l R_A}{AN_A \mu_0 N_A} \frac{\pi}{2} = \frac{\psi_s l R_A}{AN_A \mu_0 N_A} \frac{\pi}{2} \quad (11)$$

由式(11)可得:

$$\mu_0 \frac{AN_A^2}{l} = \frac{\pi}{2} \frac{R_A (1+\delta)}{\delta \sqrt{2} U_{AN}} \psi_s \quad (12)$$

把式(5)、(12)代入式(7)可得:

$$\psi = \begin{cases} \psi_s = \sqrt{2} \frac{U_{AN}/2}{2\pi f_N} & i_m=0 \\ \frac{R_A (1+\delta)}{8\delta f_N} i_m + \psi_s & i_m>0 \end{cases} \quad (13)$$

由文献[11]可得工作电流基波幅值为:

$$I_{1m} = \frac{B_s l}{\pi \mu_0 N_A} (\beta - \sin \beta) \quad (14)$$

把式(11)代入式(14)可得:

$$I_{1m} = \frac{\delta \sqrt{2} U_{AN}}{\pi^2 (1+\delta) R_A} (\beta - \sin \beta) \quad (15)$$

当 $\beta=\beta_n$ 时,由式(15)可得工作电流基波幅值最大值为:

$$I_{1mm} = \frac{2\delta \sqrt{2} U_{AN}}{\pi (1+\delta) R_A} \quad (16)$$

由式(16)可以看出,工作电流最大值只取决于 U_{AN} 、 δ 、 R_A ,额定容量也一样,如式(17)所示:

$$S_{AN} = U_{AN} \frac{I_{1mm}}{\sqrt{2}} = \frac{2\delta U_{AN}^2}{\pi (1+\delta) R_A} \quad (17)$$

由式(17)可得:

$$\delta = \frac{\pi S_{AN} R_A}{2 U_{AN}^2 - \pi S_{AN} R_A} \quad (18)$$

自耦比 δ 一般取 $0.015 \sim 0.05$ ^[11],所以,在设计电抗器时,电抗器额定容量 S_{AN} 、额定电压 U_{AN} 、绕组电阻 R_A 应满足式(19):

$$0.015 \leq \frac{\pi S_{AN} R_A}{2 U_{AN}^2 - \pi S_{AN} R_A} \leq 0.05 \quad (19)$$

由式(17)可以看出,电抗器额定容量、额定电压、绕组电阻、自耦比之间具有约束关系。如果额定

容量和额定电压给定,自耦比和绕组电阻之间必须满足式(17)的约束关系。如果自耦比不能满足式(17),就有可能出现文献[16]指出的电抗器不能工作的现象。这一结论对于设计电抗器具有指导意义。

2 仿真模型的建立及举例

2.1 仿真模型的建立

根据图 2 可建立基于 MATLAB 的仿真模型。在建立仿真模型时,最主要的是饱和变压器模型参数的确定。在 MATLAB/SimPowerSystem 中,饱和变压器模型中需要指定变压器的额定容量 S_n 、额定频率 f_n 、原(副)边绕组的额定电压 $U_{n1}(U_{n2})$ 、原(副)边绕组的绕组电阻 $R_1(R_2)$ 和原(副)边绕组的绕组漏感 $L_1(L_2)$ 、铁芯的磁化特性(磁化电流和磁链的关系曲线,由离散点描述)、铁芯有功损耗电阻 R_m 。这些参数中,除了 S_n 、 f_n 、 $U_{n1}(U_{n2})$ 是国际单位制(SI)单位以外,其余参数可以是国际单位制单位,也可以是标么值。

当给定满足式(19)的电抗器额定容量 S_{AN} 、额定电压 U_{AN} 、额定频率 f_n 、绕组电阻 R_A 时,可由式(4)算得 MATLAB 中变压器模型的额定功率和额定电压,其额定频率就是电抗器的额定频率。由式(18)算出 δ 后,由式(13)可以算出磁化特性,此时,磁化电流可由式(16)或 $\sqrt{2} S_{AN}/U_{AN}$ 给定。若用标么值表示磁化特性,则根据 MATLAB/SimPowerSystem 中饱和变压器模型参数基值定义方法可计算得:

$$\begin{bmatrix} i_m \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (20)$$

注意,当忽略变压器模型中原、副边绕组的绕组电阻和漏感时,变压器模型的原、副边绕组电阻、电感可以设定为 0,但是在这种情况下, MATLAB/SimPowerSystem 希望把原、副边绕组电阻设定为足够小的非零数,如 $10^{-10} \Omega$;也可以把图 2 中的电阻 R_A 移到变压器模型中而作为变压器的原、副边电阻(每个变压器的原、副边电阻均为 $R_A/2$)。当忽略铁芯有功损耗时,变压器模型中的电阻 R_m 可以设置为足够大的数,如 $10^{10} \Omega$ 。

由以上分析可以看出,在建立图 2 的 MATLAB/SimPowerSystem 仿真模型时,用标么值表示变压器的磁化特性特别方便,因为此时磁化特性由式(20)给定,不随电抗器的不同而变化。所以,当给定满足式(19)的电抗器额定容量 S_{AN} 、额定电压 U_{AN} 、额定频率 f_n 、绕组电阻 R_A 时,就可以建立图 2 的 MATLAB/SimPowerSystem 仿真模型,从而对图 1 所示电抗器进行仿真,而无需知道电抗器的几何尺寸等其他参数。

2.2 仿真举例

电抗器参数:额定容量 $S_{AN}=60.044 \text{ MV} \cdot \text{A}$;额定

电压 $U_{AN}=500/\sqrt{3} \text{ kV}$;额定频率 $f_n=50 \text{ Hz}$;绕组电阻 $R_A=40 \Omega$ 。由式(17)算得 $I_{AN}=208 \text{ A}$;由式(18)算得 $\delta=0.0474$ 。

仿真时,电抗器在 0 s 时刻由空载突变到满载。工作电流 i_1 和控制电流瞬时值 i_2 波形如图 3 所示;铁芯 1 的磁链 ψ_1 和铁芯 2 的磁链 ψ_2 及其平均值 ψ_{a1} 、 ψ_{a2} 波形如图 4 所示;工作电流 i_1 的基波幅值 I_{m1} 和控制电流 i_2 的平均值 I_2 ,以及工作电流等于 0 条件下控制电流平均值 I_{20} 波形如图 5 所示。

由图 3—5 可知,仿真结果正确反映了电抗器工作过程,所以仿真模型是有效的。

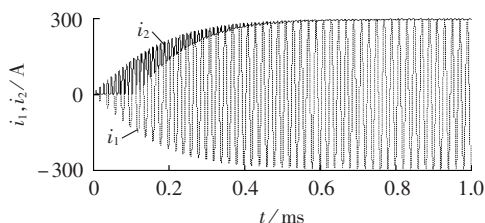


图 3 工作电流 i_1 和控制电流 i_2 瞬时值波形
Fig.3 Transient waveforms of i_1 and i_2

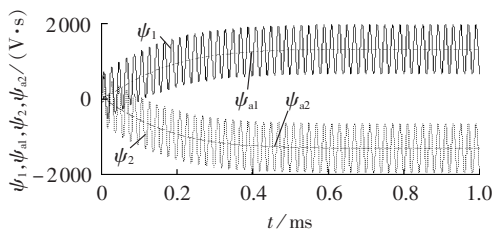


图 4 磁链波形
Fig.4 Waveforms of magnetic linkage

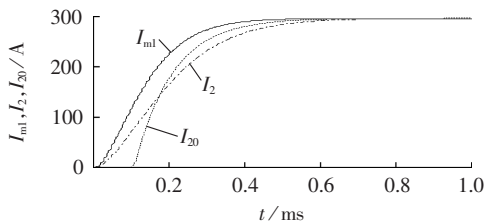


图 5 电流平均值波形
Fig.5 Waveforms of average current

3 过渡时间计算

文献[11]给出的过渡时间计算公式为:

$$t = \frac{1-\delta}{2\delta f_n} \quad (21)$$

用式(21)可算出空载到满载的过渡时间为 0.2009 s。由图 5 可知,在 0.2009 s 时过渡过程远未结束,所以根据式(21)计算由空载到满载的过渡时间误差较大。

磁饱和式可控电抗器是一个非线性系统,对其过渡时间的计算较为复杂[17]。但从图 5 可以看出,可用工作电流等于 0 条件下的控制电流(图 5 中的 I_{20})的过渡时间近似作为电抗器的过渡时间,此时,由图

2 可得:

$$\frac{2\delta\sqrt{2}U_{AN}}{\pi(1-\delta)} = \frac{1+\delta}{1-\delta}R_{\Lambda}I_{20} + 2\frac{d\psi_d}{dt} \quad (22)$$

其中, ψ_d 为直流磁链, 即为 ψ_1 的平均值。

根据式(13)所示的小斜率磁化特性, 当 $\psi_d < \psi_s$ 时, $I_{20}=0$, 则由式(22)可得:

$$\frac{2\delta\sqrt{2}U_{AN}}{\pi(1-\delta)} = 2\frac{d\psi_d}{dt} \quad (23)$$

当 $\psi_d \geq \psi_s$ 时, $\psi_d = \psi_s + \frac{R_{\Lambda}(1+\delta)}{8\delta f_N}I_{20}$, 代入式(22)

可得:

$$\frac{2\delta\sqrt{2}U_{AN}}{\pi(1-\delta)} = \frac{1+\delta}{1-\delta}R_{\Lambda}I_{20} + 2\frac{R_{\Lambda}(1+\delta)}{8\delta f_N}\frac{dI_{20}}{dt} \quad (24)$$

由式(22)得到式(23)和式(24)的实质是对小斜率磁化特性的分段线性化。

由式(23)可得:

$$\psi_d = \frac{\delta\sqrt{2}U_{AN}}{\pi(1-\delta)}t_1 \quad (25)$$

因为 $\sqrt{2}U_{AN} = 2\pi f_N 2\psi_s$, 所以由式(25)可得:

$$t_1 = \frac{1-\delta}{2\delta f_N} \frac{\psi_d}{2\psi_s} \quad (26)$$

由式(26)可得 ψ_d 由 0 增加到 ψ_s 时所用时间为:

$$t_1 = \frac{1-\delta}{4\delta f_N} \quad (27)$$

式(27)算得的 t_1 即为图 5 中电流 I_{20} 等于 0 时所对应的时间。

另外, 式(24)说明, 在工作电流等于 0 条件下, 平均电流 I_{20} 的建立过程等效于直流电压 $\frac{2\delta}{1-\delta} \frac{\sqrt{2}U_{AN}}{\pi}$

通过电阻 $\frac{1+\delta}{1-\delta}R_{\Lambda}$ 对电感 $\frac{(1+\delta)R_{\Lambda}}{4\delta f_N}$ 的充电过程, 即为线性 RL 电路的充电过程, 其充电时间常数为:

$$\tau = \frac{\frac{(1+\delta)R_{\Lambda}}{4\delta f_N}}{\frac{1+\delta}{1-\delta}R_{\Lambda}} = \frac{1-\delta}{4\delta f_N} \quad (28)$$

式(28)算得的 τ 即为图 5 中电流 I_{20} 按指数规律上升的时间常数。

工程中一般认为, 线性 RL 电路充电开始后经 $3\tau \sim 5\tau$ 充电过渡过程就基本结束。所以, 电抗器由空载到满载的过渡时间为:

$$t = t_1 + (3 \sim 5)\tau = (4 \sim 6)\frac{1-\delta}{4\delta f_N} \quad (29)$$

由式(29)可算得由空载到满载的过渡时间为 $0.4018 \sim 0.6027$ s。对照图 5 可知, 式(29)是比较准确的。

4 结论

a. 基于 MATLAB 的磁饱和和式可控电抗器仿真

模型参数只与电抗器额定容量、额定电压、自耦比、绕组电阻和漏电感、磁化特性有关, 而与电抗器几何尺寸无关。在一定近似条件下(如忽略绕组漏电感, 小斜率磁化特性用标么值表示)时, 只要给定电抗器额定容量、额定电压、绕组电阻和自耦比就可以对电抗器进行仿真分析。

b. 电抗器额定容量、额定电压、绕组电阻、自耦比之间具有定量约束关系。这一结论对于设计磁饱和式可控电抗器具有指导意义。

c. 通过对小斜率磁化特性的分段线性化, 把过渡过程分为直流磁链的线性增加和控制电流根据线性 RL 电路充电规律变化这 2 个过程, 所得过渡时间计算公式比较准确。

参考文献:

- [1] GOLOVCHAN V D, DOROZHKO L L, SEROKIN V M. Comparison of controllable reactor and thyristor devices[J]. Elektrotekhanika, 1994, 65(1): 28-36.
- [2] ALEKSANDROV G N, KASHINA V A, LISCHINA T V. Economic efficiency of AC power transmission with controlled shunt reactors[J]. Elektrotekhanika, 1991, 62(2): 6-11.
- [3] BELYAEV A N, SMOLOVICH S V. Steady-state and transient stability of 500 kV long-distance AC transmission lines with magnetically controlled shunt reactors[C]//2005 IEEE Power Tech Conference. Saint-Petersburg, Russia: IEEE, 2005: 1-6.
- [4] 周勤勇, 郭强, 卜广全, 等. 可控电抗器在我国超/特高压电网中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(7): 1-6.
ZHOU Qinyong, GUO Qiang, BU Guangquan, et al. Application of controllable reactors in China's power grid at extra and ultra voltage level[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(7): 1-6.
- [5] 黄晓胜, 史欢, 田翠华. 基于磁控电抗器的变电站无功电压控制[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(8): 99-102.
HUANG Xiaosheng, SHI Huan, TIAN Cuihua. Reactive power and voltage control based on MCR in substations[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(8): 99-102.
- [6] 田铭兴, 励庆孚. 磁饱和式和变压器式可控并联电抗器[J]. 高压技术, 2003, 29(7): 26-27.
TIAN Mingxing, LI Qingfu. Magnetic saturation type and transformer type controllable shunt reactor[J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(7): 26-27.
- [7] 张丽, 徐玉琴. 并联电抗器在超(特)高压电网中应用及发展[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(4): 75-78.
ZHANG Li, XU Yuqin. Application and development of shunt reactors in EHV & UHV transmission lines[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(4): 75-78.
- [8] 邱宇峰. 国家电网公司科技项目可行性研究报告——超高压可控电抗器技术研究[R]. 北京: 中国电力科学研究院, 2005.
- [9] 邓占锋, 王轩, 周飞, 等. 超高压磁控式并联电抗器仿真建模方法[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(36): 108-113.
DENG Zhanfeng, WANG Xuan, ZHOU Fei, et al. Modeling of extra-high voltage magnetically controlled shunt reactor[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(36): 108-113.
- [10] 王轩, 邓占锋, 于坤山, 等. 超高压磁控式并联电抗器稳态特性[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(33): 104-109.

- WANG Xuan,DENG Zhanfeng,YU Kunshan,et al. Steady-state characteristics of extra-high voltage magnetically controlled shunt reactor[J]. Proceedings of the CSEE,2008,28(33):104-109.
- [11] 尹忠东. 磁阀式可控电抗器的理论研究及应用[D]. 武汉:武汉水利电力大学,1997.
- YIN Zhongdong. Magnetic valve controllable reactor theory research and application[D]. Wuhan:Wuhan University of Hydraulic and Electrical Engineering,1997.
- [12] 陈伯超. 新型饱和可控电抗器理路及应用[M]. 武汉:武汉水利水电大学出版社,1999:70-93.
- [13] 郑伟杰,周孝信. 基于动态磁阻的磁控式并联电抗器等效电抗暂态模型[J]. 中国电机工程学报,2011,31(4):1-6.
- ZHENG Weijie,ZHOU Xiaoxin. Equivalent electro-magnetic transient model based on dynamic reluctance for magnetically controlled shunt reactor[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(4):1-6.
- [14] 田铭兴,励庆孚,王曙鸿. 磁饱和式可控电抗器的等效物理模型及其数学模型[J]. 电工技术学报,2002,17(4):18-21.
- TIAN Mingxing,LI Qingfu,WANG Shuhong. An equivalent physical model and a mathematical model of the controlled saturable reactor[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2002,17(4):18-21.
- [15] 田铭兴,励庆孚. 磁饱和式可控电抗器的等效电路及仿真分析[J]. 电工技术学报,2003,18(6):64-67.
- TIAN Mingxing,LI Qingfu. An equivalent circuit and simulation analysis of magnetically-saturated controllable reactors[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2003,18(6):64-67.
- [16] 张永峰,程新功,宗西举. 基于分岔理论的磁阀式可控电抗器匝数比研究[J]. 电力自动化设备,2009,29(8):91-94.
- ZHANG Yongfeng,CHENG Xingong,ZONG Xiju. Turn ratio of magnetic valve type controlled reactor based on bifurcation theory[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(8):91-94.
- [17] 符五久. 非线性电感电路的过渡特性[J]. 抚州师专学报,2000,19(4):32-35.
- FU Wujia. Transient characteristic of nonlinear inductance circuit[J]. Journal of Fuzhou Teachers College,2000,19(4):32-35.

作者简介:

田铭兴(1968-),男,甘肃武威人,教授,博士,研究方向为电力系统电能质量分析及其综合治理、电力电子技术及其应用、电机电器及其控制(E-mail:tianmingxing@mail.lzjtu.cn);

杨雪崧(1990-),男,甘肃兰州人,硕士研究生,研究方向为电力系统无功补偿和电压控制;

顾生杰(1973-),男,甘肃白银人,高级工程师,研究方向为电力系统无功补偿和电压控制;

原东昇(1987-),男,甘肃定西人,硕士研究生,研究方向为可控电抗器及其应用。

Analysis of simulation model parameters and transition time based on MATLAB for magnetically-saturated controllable reactor

TIAN Mingxing,YANG Xuesong,GU Shengjie,YUAN Dongsheng
(Lanzhou Jiaotong University,Lanzhou 730070,China)

Abstract: Modeling method and transition time calculation are two important issues in the research of magnetically-saturated controllable reactor. According to the saturation characteristics of magnetically-saturated controllable reactor and by analyzing the small slope magnetization characteristic curve,the quantitative relationship among its rated capacity,rated voltage,turns ratio and winding resistance is obtained and the way for setting the parameters of simulation model based on MATLAB is presented. The small slope magnetization characteristic curve is piecewise linearized to divide the transition from no-load to full-load into two processes;the DC flux increases linearly with time and the control current varies according to the charge law of a linear RL circuit,based on which,a more accurate formula of transition time calculation is derived. Case simulation confirms the effectiveness of the presented analysis method.

Key words: electric reactors; controllable reactor; magnetic saturation; computer simulation; transition time; MATLAB