

# 基于 EMTDC/PSCAD 的电力机车暂态仿真

王秀清,张铁竹,李书营

(郑州铁路职业技术学院 车辆工程学院机车教研室,河南 郑州 450052)

**摘要:** 利用 EMTDC/PSCAD 软件建立了电力机车的主电路。通过 C 语言编写自定义模块实现了在仿真过程不停止的情况下,实时调节整流电路触发角,通过实时观察牵引网侧电流的波形,并对其进行傅里叶分析,得出电力机车在运行过程中直流侧电压和牵引网侧电流的特点。

**关键词:** 电力机车;暂态分析;自定义模块;EMTDC/PSCAD;FFT 分析

中图分类号: U264.2+21

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)04-0071-03

## Transient simulation of electric locomotive based on EMTDC/PSCAD

Wang Xiuqing, Zhang Tiezhu, Li Shuying

(School of Vehicle Engineering, Zhengzhou Railway Vocational & Technical College, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** The main circuit of electric locomotive was transiently run with the software named EMTDC/PSCAD. Based on the system dynamics section, which was built with the program of C, the trigger angle can be changed when the simulation not stopped. Through the FFT analysis of the current of the traction network, the characteristic of the DC-side voltage and the current of the AC-side of the traction power supply system can be obtained.

**Key words:** electric locomotive; transient analysis; system dynamics section; EMTDC/PSCAD; FFT analysis

近年来,我国电气化铁道高速发展,其负载电力机车为单相大功率整流或逆变负荷,会向电网输入较大的负序和谐波电流。负序和谐波电流会降低电网的供电质量,还会对电力系统的安全稳定运行造成很大危害。因此,电气化铁道电能质量问题的监测、治理已成为急需解决的任务。

### 1 SS<sub>4G</sub> 电力机车主电路

韶山 4 改进型电力机车(以下简称 SS<sub>4G</sub> 电力机车)主电路采用大功率晶闸管和二极管组成的不对称半控桥式整流电路,牵引电机为 ZD105 型 6 极串励脉流电动机。主电路如图 1 所示。

图 1 中所示整流桥由不等分三绕组供电,即  $a_1b_1$ 、 $b_1x_1$  和  $a_2x_2$  绕组。3 个绕组的空载额定电压分别为 347.7 V、347.7 V 与 695.4 V,即成 1/4、1/4 和 1/2 的三段不等分比例。三段桥的工作情况如表 1 所示。

### 2 SS<sub>4G</sub> 电力机车稳定运行点参数计算<sup>[1,2]</sup>

在仿真过程中,牵引计算程序给出机车车速  $v$  和受电弓处的电功率  $P_1$ ,利用自定义模块计算出机车整流电路的稳定运行点,即牵引电机的反电势和整流桥触发角  $\alpha$  的大小。

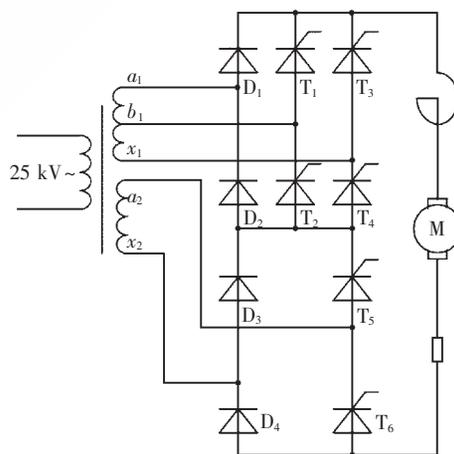


图 1 SS<sub>4G</sub> 型电力机车主电路

SS<sub>4G</sub> 型电力机车牵引电机为 ZD105 型 6 极串励脉流电动机,稳定运行时的反电势为:

$$E = \frac{1000uC_e\Phi v}{60\pi D} \quad (1)$$

其中, $E$  为牵引电机反电势(单位:V), $u$  为齿轮传动比, $D$  为动轮直径(单位:m), $C_e$  为牵引电机常数。

电力机车工作在一段桥后,可以根据电力机车整流

# 技术与方法 Technique and Method

表 1 SS<sub>4C</sub> 型电力机车移相晶闸管导通顺序表

	一段桥	二段桥	三段桥
$a_1b_1$	封锁	移相调节	满开放
$b_1x_1$	封锁	封锁	移相调节
$a_2x_2$	移相调节	满开放	满开放
整流电压	$(0\sim 1/2)U_2$	$(1/2\sim 3/4)U_2$	$(3/4\sim 1)U_2$
晶闸管	封锁 $T_1T_3T_4, T_3T_6$ 移相	$T_3T_6$ 满开放, $T_1T_2$ 移相	$T_1T_2T_3T_6$ 满开放, $T_3T_4$ 移相

电路直流侧电压  $U_d$  确定整流电路工作的桥段，然后根据各段桥主电路的工作原理，由直流电压  $U_d$ 、网压等参数推导出对应的触发角的值。

整流电路工作在一段桥时，整流桥触发角  $\alpha$  的计算如下：

$$\alpha = \arccos\left[\frac{\sqrt{2}(I_d X_{B1} + U_d \pi)}{U_2} - 1\right] \quad (2)$$

整流电路工作在二段桥时，整流桥触发角  $\alpha$  的计算如下：

$$\alpha = \arccos\left[\frac{\sqrt{2}(I_d X_{B2} + 2U_d \pi)}{U_2} - 5\right] \quad (3)$$

整流电路工作在三段桥时，整流桥触发角  $\alpha$  的计算如下：

$$\alpha = \arccos\left[\frac{\sqrt{2}(14I_d X_{B3} + 2U_d \pi)}{U_2} - 7\right] \quad (4)$$

其中， $U_2$  为交流侧电压， $I_d$  为直流侧电流， $X_{B1}$  为此时绕组  $a_2x_2$  折算到二次侧的漏电抗， $X_{B2}$  为绕组  $a_1b_1$  折算到二次侧的漏电抗， $X_{B3}$  为绕组  $b_1x_1$  折算到二次侧的漏电抗， $X_{B3}=X_{B2}$ 。

### 3 SS<sub>4C</sub> 电力机车谐波电流的暂态分析

在仿真过程中，利用 C 语言编写程序，采用 EMTDC 的自定义模块，建立反电势  $E$  的自定义模块<sup>[3]</sup>。

利用 EMTDC/PSCAD 仿真软件建立仿真系统，其中牵引网电压为 25 kV，主电路如图 2 所示。

EMTDC/PSCAD 仿真软件是电力系统暂态分析的工

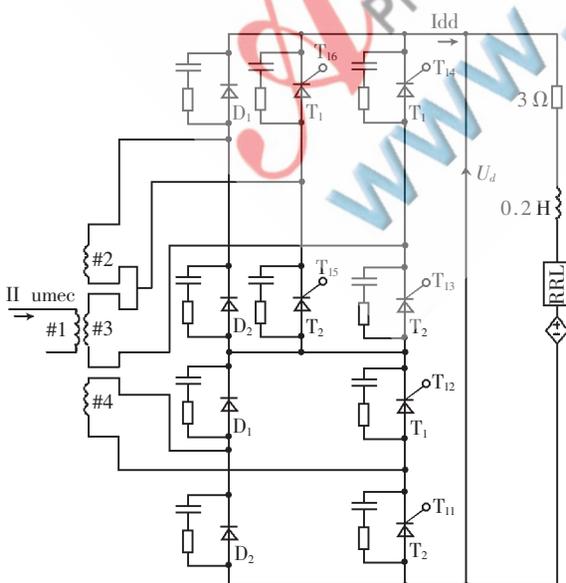


图 2 SS<sub>4C</sub> 型电力机车仿真电路

具，可以在运行不停止的情况下，实时改变电机的转速，下面对 SS<sub>4C</sub> 电力机车谐波电流进行暂态分析。

移相调节一段桥，封锁二段桥和三段桥，在 0.7 s 时刻，一段桥触发角  $\alpha$  从稳定运行时的 31° 调节为满开放的过程中，直流侧电压  $U_d$  的波形如图 3 所示，牵引网侧电

流  $I_l$  的波形如图 4 所示，牵引网侧电流  $I_l$  的 FFT 分析如图 5 所示。

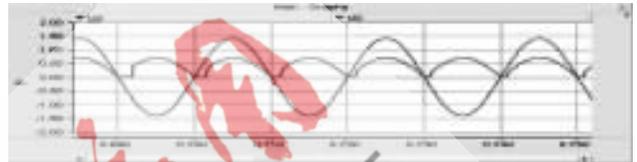


图 3 移相调节第一段桥时的直流侧电压波形



图 4 移相调节第一段桥时的交流侧电流波形



图 5 移相调节第一段桥时的交流侧电流的 FFT 分析

满开放一段桥，移相调节二段桥，在 0.52 s 时刻，使二段桥触发角  $\alpha$  从 180° 调节到稳定运行时的 89°，调节为满开放的过程中直流侧电压  $U_d$  的波形如图 6 所示，牵引网侧电流  $I_l$  的波形如图 7 所示，牵引网侧电流  $I_l$  的 FFT 分析如图 8 所示。

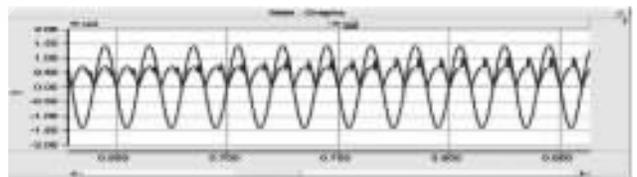


图 6 移相调节第二段桥时的直流侧电压波形

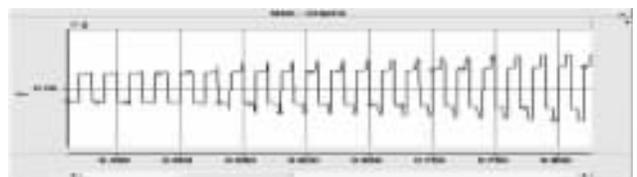


图 7 移相调节第二段桥时的交流侧电流波形

满开放一段桥，移相调节二段桥，在 0.75 s 时刻，使二段桥触发角  $\alpha$  从稳定运行时的 89° 调节为满开放的过程中直流侧电压  $U_d$  的波形如图 9 所示，牵引网侧电

## 技术与方法 Technique and Method



图 8 移相调节第二段桥时的交流侧电流的 FFT 分析

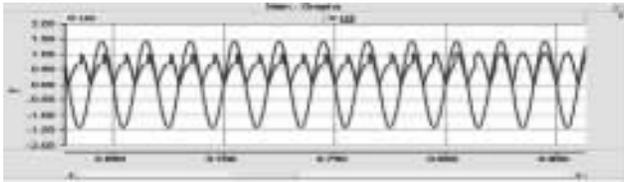


图 9 移相调节第二段桥时的直流侧电压波形

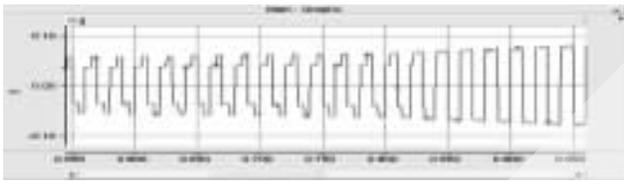


图 10 移相调节第二段桥时的牵引网侧电流波形

流  $I_l$  的波形如图 10 所示。

满开放一段桥、二段桥,移相调节三段桥,在 0.52 s 时刻,使三段桥触发角  $\alpha$  从  $180^\circ$  调节到稳定运行时的  $129^\circ$ ,调节为满开放的过程中直流侧电压  $U_d$  的波形如图 11 所示,牵引网侧电流  $I_l$  的波形如图 12 所示,牵引网侧电流  $I_l$  的 FFT 分析如图 13 所示。



图 11 移相调节第三段桥时的直流侧电压波形

通过对电力机车的稳态和暂态分析,得出如下结论:

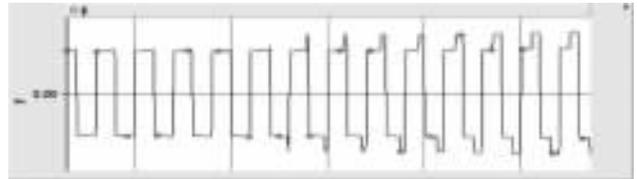


图 12 移相调节第三段桥时的牵引网侧电流波形



图 13 移相调节第三段桥时的交流侧电流的 FFT 分析

(1) 直流传动电力机车的谐波主要是 3、5、7 次等奇次谐波。

(2) 在三段桥的调节过程中,稳定运行时桥段数越多,牵引网侧电流的畸变就越小,但是在调节的过程中,网侧电流的畸变并不是一直在减小。

(3) 电力机车在运行过程中和各段桥调节的过程中,谐波没有突变。

## 参考文献

- [1] 杨兆昆.韶山 4 改型电力机车乘务员[M].北京:中国铁道出版社,2001.
- [2] 张有松,朱龙驹.韶山 4 型电力机车[M].北京:中国铁道出版社,1998.
- [3] 袁涛,郑建勇,曾伟,等.PSCAD/EMTDC 中自定义模型研究及其在有源滤波器控制算法仿真中的应用[J].电气应用,2006,25(11):71-73.

(收稿日期:2011-10-28)

## 作者简介:

王秀清,女,1982年生,硕士研究生,讲师,主要研究方向:电力机车传动与控制。