

电流源型逆变器在交直机车制动模式中的应用研究

郭建¹, 陈涛², 张志学², 李鹏¹

(1. 株洲中车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001;

2. 中车株洲所电气技术与材料工程研究院, 湖南 株洲 412001)

摘要: 因交直电力机车普遍采用加馈电阻制动模式, 而且还要从牵引电网取能以保证散热风机的正常工作, 造成资源浪费和环境污染, 所以提出了一种应用于交直电力机车制动模式的能量回馈解决方案, 详细论证了交直电力机车采用能量回馈制动、将制动过程中产生的能量回馈于电网的原理和实现方法, 并通过仿真和试验论证了其可行性。

关键词: 电流源型逆变器; 交直电力机车; 制动; 能量回馈

中图分类号: U260.359 **文献标识码:** A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.03.008

Research on Current Source Inverter Application in AC-DC Locomotive Braking Mode

GUO Jian¹, CHEN Tao², ZHANG Zhixue², LI Peng¹

(1. Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China;

2. CRRC ZIC Research Institute of Electrical Technology & Material Engineering, Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: AC-DC electric locomotive generally used feedback-resistor braking mode, which took energy from traction power network to ensure the cooling fan working, resulting in great resources waste and environmental pollution. So, a kind of energy feedback solution applied to the braking mode of AC-DC electric locomotive was presented. Principle and realization of AC-DC electric locomotive energy feedback braking and the braking energy feedback to the grid were demonstrated in detail, which was validated by the experimental results.

Keywords: current source inverter; AC-DC electric locomotive; brake; energy feedback

0 引言

交直电力机车由于受当时技术水平限制, 制动时一般采用加馈电阻制动方式, 在机车需要减速时, 主电路由牵引工况转换为制动工况, 轮对驱动直流电机发电, 将列车的动能转变为电能, 通过制动电阻以发热形式消耗掉。当机车速度降低、制动电流减小后, 进入加馈制动模式, 从供电网取电补充到电枢回路,

维持额定的电机电流以保证制动力稳定。电阻制动方式下能量无法回收, 会带来巨大的热污染和噪声污染。

我国地势西高东低, 存在较大海拔落差, 列车从高海拔地区运行至低海拔地区时, 电制动产生的能量相当可观。如朔黄铁路神池南—肃宁北区段, 海拔落差约 1 500 m, 交流传动的“神华号”机车牵引万吨列车在该区段运行时每趟可产生电能约 1.2 万 kW·h。我国目前仍有大量交直电力机车处于运用状态, 因此, 研发一种适用于交直电力机车、将制动能量回馈到接

触网的逆变装置,既有市场前景,又有良好的社会效益。

1 系统方案及构成

1.1 方案选择

交直电力机车进行制动能量回馈,可采用以下 2 种方案:

①将原电路中的晶闸管半控桥升级为全控桥,进行有源逆变;

②采用 IGBT 的四象限变流技术实现逆变回馈。

方案①在 SS7 型交直机车上应用,该方案原理简单,与既有系统联系紧密,成本较低,但由于仍采用晶闸管器件,逆变时谐波特性差,功率因数低,易发生再生颠覆;方案②为目前交流传动电力机车普遍采用的方案,谐波含量低、功率因数高、能量回馈效率高,但成本较方案①高。

由于铁路运量逐年递增,牵引电网因容量不足而导致供电质量不断恶化,严重影响行车安全,因而客户更关注电能质量和系统稳定性。随着器件技术的发展,IGBT 成本将不断降低,因此方案②更有优势。

以下以 SS4B 型交直电力机车(简称“SS4B 机车”)为对象,对电流源型逆变器在交直电力机车能量回馈领域的应用进行一些研究和探讨。

1.2 电路结构

基于 SS4B 机车主电路结构,考虑技术难度和工程实现的便利性,可保留原晶闸管半控整流桥,仅用回馈变流器取代原制动电阻。改进后的系统原理图如图 1 (SS4B 机车单台电机配 1 个制动电阻,共有 4 套独立单元,图 1 为其中 1 套)。

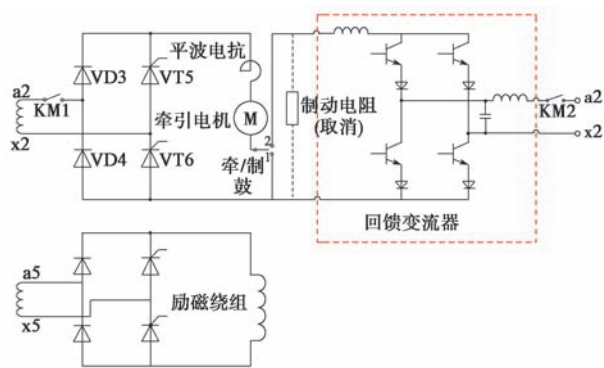


图 1 能馈系统原理

机车牵引时牵 / 制鼓在 1 位(变流器断开)、接触器 KM1 闭合、KM2 断开,供电网提供的电能经整流桥供给牵引电机,机车牵引运行。

制动时牵 / 制鼓在 2 位、接触器 KM1 断开、KM2 闭合,整流桥 VD3、VD4 二极管作续流,此时牵引电机为发电状态,所发电能进入回馈变流器,变流器将直流电逆变为交流电后送至变压器 a2-x2 绕组,通过它回馈至供电网,实现能量回馈。同时,变流器依据指令控制制动电流大小,调节机车制动力。

由于变流器可达到全导通状态,满足低速时制动

电流要求,因此该方案不再需要加馈制动。

2 仿真测试

2.1 仿真模型

机车电路拓扑为单台电机及回馈变流器串联后,2 个串联支路并联构成一个主电路。SS4B 单节机车有 2 台转向架,合计 4 条串联支路。为简化计算,本文仅选取其中一条串联支路进行仿真。直流电机由一个电源等效,电流的流向是从直流侧(电机)流向交流侧(电网),系统主要由 3 部分组成,即网侧 LC 滤波器、IGBT 模块以及直流侧平波电抗器。仿真模型如图 2。

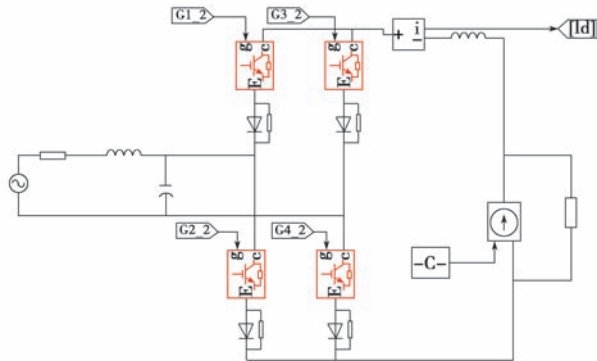


图 2 能馈系统仿真模型

2.2 参数设定

1) 网侧 LC 滤波器参数的设定

网侧电流 i_s 与电网电动势 e_s 在单位功率因数下的关系为

$$e_s = E_m \sin \omega t \quad (1)$$

$$i_s = I_{sm} \sin \omega t \quad (2)$$

$$V_c \approx e_s = E_m \sin \omega t \quad (3)$$

E_m 与 I_{sm} 分别为电网电动势及额定网侧电流的峰值,流过电容的电流为

$$i_c = C \frac{dV_c}{dt} = \omega C E_m \cos \omega t \quad (4)$$

若工作在整流状态,则整流器阀侧电流 i_j 为

$$i_j = i_s - i_c = I_{sm} \sin \omega t - \omega C E_m \cos \omega t = \sqrt{I_{sm}^2 + (\omega C E_m)^2} \sin(\omega t - \arctan \frac{\omega C E_m}{I_{sm}}) \quad (5)$$

若工作在逆变状态,则

$$i_j = i_s + i_c = I_{sm} \sin \omega t + \omega C E_m \cos \omega t = \sqrt{I_{sm}^2 + (\omega C E_m)^2} \sin(\omega t + \arctan \frac{\omega C E_m}{I_{sm}}) \quad (6)$$

对于单极性调制而言, i_j 的峰值不能超过 I_{dc} , 则

$$C \leq \frac{\sqrt{I_{dc}^2 - I_{sm}^2}}{\omega E_m} \quad (7)$$

若要使功率因数越高,则 C 应该越小。

若变流器的额定容量为 600 kW, 则额定电流峰值为 750 A。