

# 再生能馈装置开通整流功能的可行性分析

## Feasibility Analysis on Rectifier Function of Regenerative Energy Feeder

韩伦

Lun Han

北京市地铁运营有限公司供电分公司  
中国·北京 100082  
Beijing Subway Power Supply Branch,  
Beijing, 100082, China

**【摘要】**目前,城市轨道交通牵引供电普遍采用的是二极管整流机组供电,存在着直流输出电压波动范围大、能量只能单向流动的缺点。论文通过分析现有12脉波整流机组的输出特性及中压能馈装置的典型输出特性得出:能馈装置基于大功率PWM整流器,其功率传输及直流输出特性完全可控,因此可以与12脉波整流机组并联运行等结论。

**【Abstract】**At present, the traction power supply of urban rail transit generally adopts diode rectifying unit, which has the disadvantages of large dc output voltage fluctuation range and one-way energy flow. By analyzing the output characteristics of the existing 12 pulse wave rectifier units and the typical output characteristics of the medium voltage energy feeders, the paper concludes that the energy feeders are based on the high-power PWM rectifier, and their power transmission and dc output characteristics are completely controllable, so they can operate in parallel with the 12 pulse wave rectifier units.

**【关键词】**再生能馈;整流器;逆变

**【Keywords】**regenerative energy feeder; rectifier; inversion

**【DOI】**10.36012/peti.v2i1.1281

## 1 现有中压能馈装置简介

### 1.1 功能简介

中压能馈装置基于大功率四象限变流器,在保证牵引网能够吸收列车制动时所产生的能量的同时,避免了列车再生制动能量在电阻上的白白消耗,节约能源的同时,还能为列车提供牵引能量,减小直流网压跌落。

### 1.2 设备构成

中压能馈装置的系统构成主要包括10kV开关柜一台(H1)、能馈变压器(NKB)、能馈低压柜(NKD)、能馈双向变流器柜(NKS)、直流开关柜(Z1)、负极隔离柜(G1)等部分。

### 1.3 基本工作原理

中压能馈装置的核心本质为一个PWM整流器,即可以满足四象限内自由输出的变流器,PWM整流器的核心技术为PWM脉宽调制技术,在此技术的基础上应运而生的功率变换装置,主电路是由一个三相逆变桥和一个三相交流电感L组成。PWM技术的基本原理为冲量等效原理——冲量(脉冲面积)相同但是组成形状不一样的脉宽较小的脉冲量,加在惯性

的轴线上时,其总和基本一致。根据冲量等效原理,可以用一系列等幅不等宽的脉冲(脉冲宽度按正弦规律变化)来代替一个正弦半波。PWM波的获取(脉冲宽度的计算)依赖于脉宽调制技术。典型的PWM脉宽调制技术为正弦脉宽调制技术(SPWM),基本方法如下:用预期大小和相位的输出波形作为调制信号,与三角波信号进行比较,并用比较得到的高低电平驱动IGBT通断,最终逆变桥将输出预期波形<sup>[1]</sup>。通过PWM脉宽调制技术控制三相逆变桥输出电压 $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$ 的幅值和相位,从而控制交流电流 $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ 的大小和相位,最终达到控制变流器的目的。

## 2 整流机组及能馈装置的特性配合

### 2.1 传统整流器(二极管)的输出特性

传统整流机组分为6脉波、12脉波、24脉波三类,脉波数越大整流波形越整齐,但无论哪一种,在城市轨道交通直流牵引系统里等效模型的本质构造都是一样的<sup>[2]</sup>,能够用一个等效内阻、一个二极管与一个理想电压源串联表示。D为理想二极管,空载电阻用 $U_k$ 表示,其中,二极管不考虑压降,仅限制电流的方向。不同脉波数的整流机组仅等效电阻的约束及取值

条件不同,6脉波整流机组的等效电阻为常数,而12及24脉波整流机组的等效电阻应分段取值。输出特性可以根据空载电压及等效电阻得出<sup>[9]</sup>。图1为12脉波整流机组的特性输出曲线。

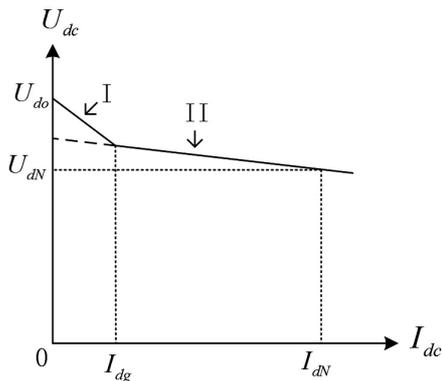


图1 12脉波整流特性输出曲线

## 2.2 中压能馈装置特性

由于中压能馈装置输出可以根据程序设定被控制,而且具备整流及逆变双重功能,所以中压能馈设备特性输出可以同时满足四个象限的需求,即可同时具备整流、逆变及无功补偿功能<sup>[4]</sup>。图2为中压能馈设备的典型特性输出曲线,图中 $U$ 、 $I$ 分别为空载电压及整流、逆变工况下的最大电流。设备到达最大电流后,保持最大输出功率运行。

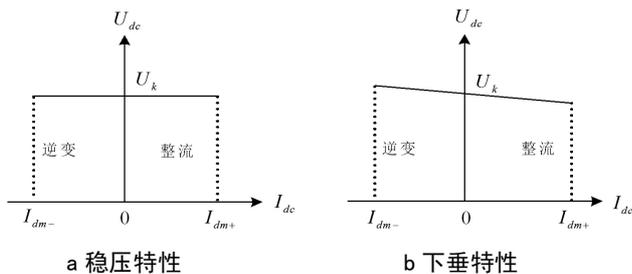


图2 中压能馈设备典型特性曲线

通过上述两种中压能馈设备典型特性曲线的优化与组合,可演变出多种特性曲线。①稳压特性。稳压特性输出是中压能馈装置运行中最常见的运行方式,可视其为一个理想电压源。只需控制其电压、电流便可实现。稳压特性能够保证中压能馈装置在四象限内输出恒定电压及电流,不会造成牵引网电压过大波动,有利于车辆的运行。不过由于输出特性较为硬朗,不易与其它电压源同时并联运行。②下垂特性。下垂特性输出即指直流电压随输出功率的增大而下降。下垂特性可以通过控制电流的输出实现。此方式的特点为电压值的输出随电流值输出的波动而波动。由于中压能馈设备配备了调节器,故不会被内、外部环境因素影响输出,且电压输出为计算所得,故可以保证稳定的输出曲线。

## 2.3 输出特性配合

图3所示为10号线(二期)中压能馈装置与既有二极管整流机组之间的外特性配合曲线示意图。其中,①为中压能馈装置的直流特性曲线;②为二极管整流机组的直流特性曲线; $U_{do}$ 为二极管整流机组的理想空载直流电压; $U_{lk}$ 为中压能馈装置空载电压,该值通过10kV母线电压乘以一个固定系数得到,可随10kV电压的波动自动调整(默认情况下 $U_{lk}$ 值会比二极管整流机组理想空载电压 $U_{do}$ 高30V); $U_{LM}$ 为中压能馈装置逆变电压限制值;A点为逆变区限功点,默认限功值为2MW;B点为整流区限功点,可设置范围为(0~2MW)。

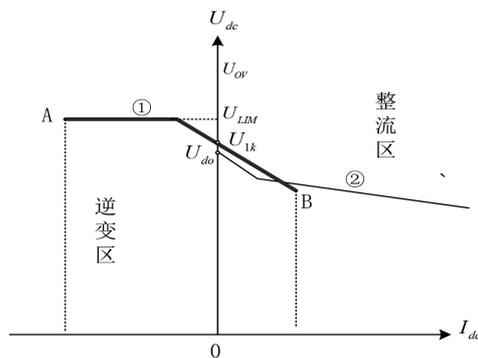


图3 直流特性配合曲线

## 3 中压能馈与整流机组并列运行分析结论

通过上述原理分析可知:①12脉波整流机组的输出特性为典型的下垂特性,且直流输出不可控,因此两套12脉波整流机组并联运行时,其输出均流效果完全依赖于线路等效阻抗的一致性。②中压能馈装置基于大功率PWM整流器,其功率传输及直流输出特性完全可控,因此可以与12脉波整流机组并联运行,且输出均流情况主要由中压能馈装置的直流输出特性决定,与机组内部采用的变压器阻抗大小无关。③使中压能馈装置的空载电压(逆变开启电压)动态跟踪10kV网压,且比二极管整流机组理想空载电压高30V,可以保证中压能馈装置与既有二极管整流机组并联运行不会产生环流。

### 参考文献

- [1]张刚.城市轨道交通能馈式牵引供电变流系统关键技术研究[D].北京:北京交通大学,2017.
- [2]孔令洋.城市轨道交通系统型式选择研究[D].北京:北京交通大学,2009.
- [3]田胜利.城市轨道交通DC1500V24脉波整流器整流管配置[J].现代城市轨道交通,2005(1):18-20.
- [4]沈茂盛,刘志刚,张钢,等.采用三电平电压型PWM整流器的地铁牵引供电系统[J].电工技术学报,2007,22(7):74-77.