

轨道交通直线感应电机驱动控制技术

魏凯, 尚敬

(南车株洲电力机车研究所有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘要: 分析了直线感应电机的特性, 详细介绍了5种主流的适应于轨道交通领域直线感应电机的逆变控制算法, 并对不同的控制技术进行了分析, 为相关技术人员提供参考。

关键词: 直线感应电机; 驱动控制; 恒滑差频率; 边端效应; 法向力

中图分类号: TM359.4; U264.1*4 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-3631(2014)04-0040-06

doi: 10.13889/j.issn.2095-3631.2014.04.010

Driving Control Technology of Linear Induction Motor for Rail Transit

WEI Kai, SHANG Jing

(CSR Zhuzhou Institute Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: By analyzing the characteristics of linear induction motor(LIM), it introduces five main driving control arithmetic methods of LIM used in the rail transit field and analyzes the control methods, which can be a reference for the relative technicians.

Keywords: linear induction motor (LIM); driving control; fixed slip frequency; end effect; normal force

0 引言

直线电机车辆与传统轮轨车辆的最大区别在于牵引传动控制系统。使用直线感应电机(LIM)驱动列车运动是中低速磁悬浮列车及直线电机轮轨列车的关键技术之一, 研究适应于LIM的控制方式对于推动直线电机轨道交通系统的工程化发展具有现实意义。

对于LIM而言, 由于列车运行时电机气隙的动态变化、线路轨道感应板的不一致性、道岔和拐弯等处感应板的不连续性以及列车速度的不同, 都会造成电机边端效应的变化(也称为第二类纵向边端效应)和电机初、次级间耦合力的变化^[1]。另外, 与旋转电机不同, LIM工作时, 除了牵引力外, 还有初级感应板与次级感应板之间的法向力(该法向力随电机电流和滑差频率的变化而变化, 它既可能是吸引力, 也可能是排斥力)。

因此, 往往需要根据这些特点对传统旋转电机的控制方法进行改进, 才能提高直线电机的运行性能。

1 LIM控制方式简介

一般来说, LIM控制分为牵引控制、再生制动控制和反相制动控制。

1.1 牵引控制

在恒力矩阶段, 逆变器对电机实施恒流控制, 列车平稳加速, 逆变器输出电压和频率均持续上升。当逆变器输出电压达到最大值时, 列车进入恒功控制阶段, 此时逆变器输出电压保持不变, 滑差频率和电机初级频率保持恒定的比值上升。当滑差频率上升到限制值后, 逆变器输出电压与滑差频率均保持不变, 电机控制进入自然特性控制阶段。

1.2 再生制动控制

再生制动控制过程与牵引控制类似。由于牵引逆变器允许短时间内有一定的过载, 因此制动时退出恒功区的速度大于牵引时进入恒功区的速度。

收稿日期: 2014-02-17

作者简介: 魏凯(1982-), 男, 工程师, 主要从事变流器系统设计开发及交流传动控制研究与应用方面的工作。

1.3 反相制动控制

在再生制动过程中,车辆速度降低,直到电机次级频率小于当时的滑差频率值时,电机便进入反相制动阶段。在反相制动控制下,电机从电网取得能量以产生制动力,进一步提高列车制动性能,进而减少空气制动。由于反相制动在电机内部要产生大量的热能,因此,它只能短时间用于直线电机牵引的轨道交通方式中,不能用于传统轮轨交通方式中。

2 LIM特性分析

2.1 电磁推力

初级电流恒定时,电机启动电磁推力随着初级频率的升高而逐渐减小。初级频率较小时,电机电磁推力随着滑差率的减小而迅速减小;初级频率较大时,电机电磁推力先增至最大值,然后随着滑差率的减小而迅速减小。由于第二类纵向边端效应引起的入端效应波削弱了气隙主磁场,最大推力随着次级速度的增大而减小;次级速度越大,入端效应波透入深度越深,对气隙主磁场的削弱影响就越强,从而使得最大电磁推力越来越小^[2](图1)。

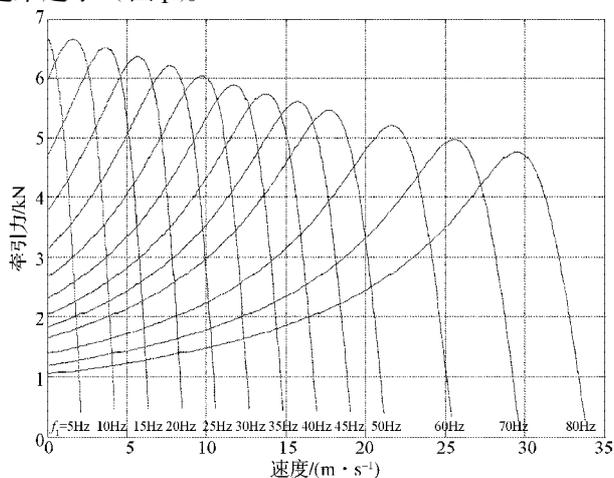


图1 LIM典型的推力曲线族

Fig. 1 Typical thrust force curve family of LIM

图2示出不同滑差频率下的电机推力波形曲线族。可以看出,高滑差频率曲线负斜率较小,低滑差频率曲线负斜率较大:滑差频率为6 Hz或8 Hz时,电机的启动电磁推力较大,电磁推力随着次级速度的增加而减小得最快;滑差频率在10 Hz到15 Hz范围内,电机的启动电磁推力较小,电磁推力随着次级速度的增加而减小得较缓慢^[3]。

2.2 电磁法向力

图3示出LIM典型的法向力曲线族,图4中各滑差频率对应法向力的采样点源自图3。通过分析图4中6~25 Hz滑差频率范围内法向力曲线发现,滑差频率为6 Hz或8 Hz

时法向力较大,且随着次级速度的增加,其变化也较大;滑差频率为12 Hz或15 Hz时法向力较小,且会随着次级速度的增加而增大,但其变化相对较稳定。滑差频率为25 Hz时,法向力在一定的速度范围内呈现排斥力。

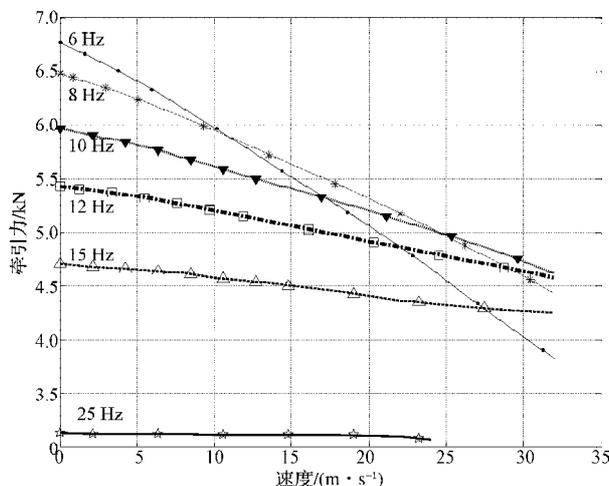


图2 不同滑差频率下的电机推力波形曲线族

Fig. 2 Thrust force curve family of LIM at different slip frequencies

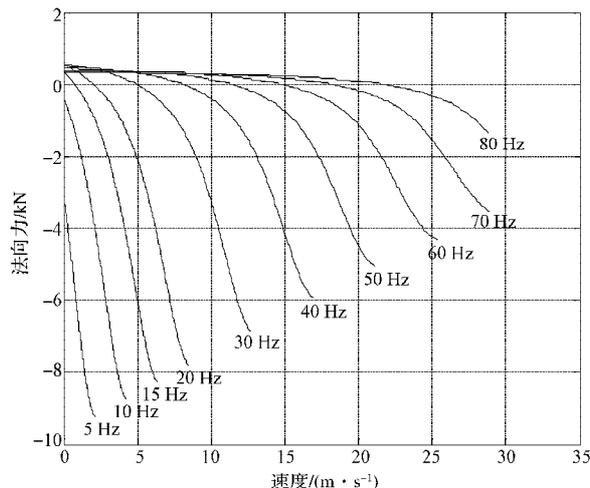


图3 LIM典型的法向力曲线族

Fig. 3 Typical normal force curve family of LIM

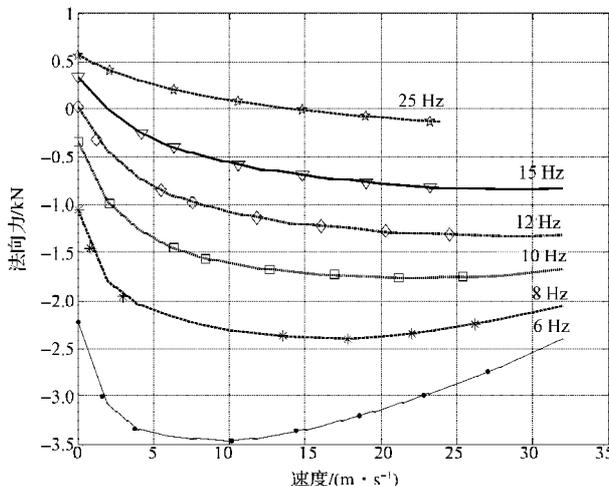


图4 不同滑差频率下的电机法向力波形曲线族

Fig. 4 Normal force curve family of LIM at different slip frequencies