

高速电动机供电系统谐波抑制方法的研究

崔红<sup>1</sup>, 王凤翔<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>辽宁省交通高等专科学校, 沈阳 110000; <sup>2</sup>沈阳工业大学, 沈阳 110026)

摘要: 高速电动机供电系统的谐波电流较大, 谐波抑制比较困难, 滤波器拓扑结构及滤波器参数的合理选择成为高速电动机控制技术的一个重要问题。高速电动机采用通用  $\text{H}$  变频器时产生的谐波电流会导致高速电机的附加损耗。分析了抑制高速电动机供电系统谐波电流的方法, 通过对多种谐波抑制方法的比较, 研究了两种有效的谐波电流抑制方法。即在变频器输出端配置两种复合滤波器, 这两种方法可以在较宽的频带范围内, 在基本上不削弱基波的情况下, 能够有效地抑制变频器输出侧的谐波电流。谐波电压也可以通过该滤波器抑制。通过对一台额定功率为  $30\text{ kW}$ 、额定转速为  $1500\text{ r/min}$  的高速永磁电动机的仿真和实验研究验证了该方法的有效性, 为实际应用提供了理论依据。

关键词: 高速电机;  $\text{H}$  变频器; 谐波抑制; 滤波器

中图分类号:  $\text{TM752}$  文献标识码:  $\text{A}$  文章编号:  $1000-4753(2014)01-0000-00$

0 引言

1 引言

高速电动机以其功率密度大、体积小、节能等优点在高性能机械中应用越来越广, 如高速磨床、高速离心压缩机等。高速电动机转速可达每分钟数万转甚至数十万转, 绕组电流频率较高。由于高频高速的特点及其驱动变频器存在的谐波, 由此带来的高速电机供电系统谐波大的问题越来越严重。

高速电动机通常由高频  $\text{H}$  逆变器驱动。由  $\text{H}$  逆变器产生的谐波电流和谐波电压将引起高速电机的附加损耗, 导致电机转子温升增加、电机效率下降, 还会增加电机的振动和噪声<sup>[1]</sup>。受  $\text{H}$  逆变器功率器件开关频率的限制, 高频  $\text{H}$  逆变器与低频  $\text{H}$  逆变器相比, 谐波电流阶次低, 幅值大。谐波频率接近于基波的频率, 因此抑制高速电动机供电系统的谐波电流比较困难。

本文通过对高速电动机采用  $\text{H}$  变频器时产生的谐波电流的不同抑制方法比较, 研究了两种有效的谐波电流抑制方法, 即二阶  $\text{U}$  和三阶  $\text{E}$  复合滤波器, 这两种方法可以在较宽的频带范围内, 使高速电动机供电系统的谐波电流显著减小, 而基波电流损失很少。

采用通用  $\text{H}$  变频器时谐波抑制的常用方法

高速电动机变频系统的方框图如图 1 所示。通过在变频器的整流桥与滤波电容之间的直流侧加直流电抗器可以在一定程度上减小高速电动机供电系统的电流和电压中的谐波成分, 改善变频器的功率

器与低频  $\text{H}$  逆变器相比, 谐波电流阶次低, 幅值大。谐波频率接近于基波的频率, 因此抑制高速电动机供电系统的谐波电流比较困难。

本文通过对高速电动机采用  $\text{H}$  变频器时产生的谐波电流的不同抑制方法比较, 研究了两种有效的谐波电流抑制方法, 即二阶  $\text{U}$  和三阶  $\text{E}$  复合滤波器, 这两种方法可以在较宽的频带范围内, 使高速电动机供电系统的谐波电流显著减小, 而基波电流损失很少。

收稿日期: 2013-12-10

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (51276147)

因数,还可以起到限制逆变侧短路电流的作用。

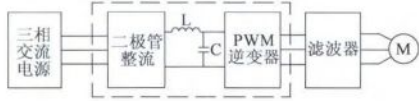


图 5 高速电动机变频系统的方框图

高速电动机供电系统常用的谐波抑制方法是在变频器的输出侧装设无源滤波器。如采用  $\pi$  滤波器来抑制电机供电系统的电流谐波。

$\pi$  滤波器结构如图 6 所示。

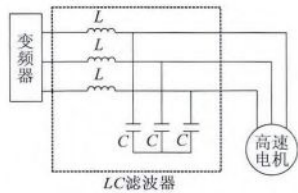


图 6 变器输出端  $\pi$  滤波器的结构图

对于  $\pi$  滤波器的设计首先要考虑滤波器的截止频率。 $\pi$  滤波器的截止频率选择如下：

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{L C}} \quad (1)$$

式中： $\omega_c$  为逆变器输出的基波频率； $\omega_c$  为滤波器的截止频率， $\omega_c = \frac{1}{\sqrt{L C}}$ ； $\omega_{c1}$  为最低次的谐波频率。截止频率选择的依据是使滤波器的输出电压近似为正弦波而且要避免谐振。

本研究以被控对象为  $i_e$ 、 $e_e$ 、 $\dot{e}_e$  的高速永磁电动机为例，在使用台达  $\Delta$  型变频器时对图 5 的高速电动机变频系统进行了滤波器参数设计，变频器的输出电压  $e_e$ ，容量为  $N$ ，输出基波频率  $f_e$ ，载波频率  $f_{ce}$ ，选取截止频率  $f_c$ 。输出侧选取的滤波器  $\pi$ ， $e_e$ 。

采用  $\times$  软件对高速电动机变频系统在未加和加  $\pi$  滤波器的情况下分别进行了仿真研究，其中图 7 为变频器输出端未加滤波器时的仿真电流波形及电流谐波分析，图 8 为在变频器输出端

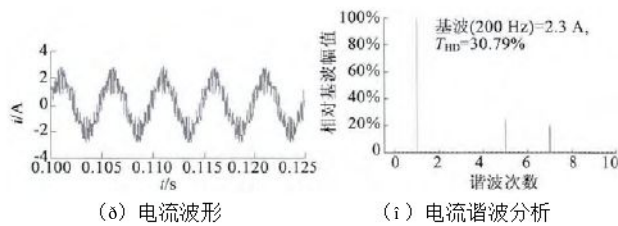


图 7 未加滤波器时仿真电流及谐波分析

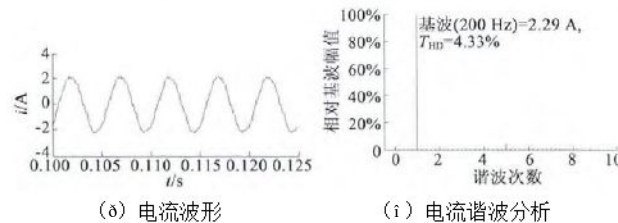


图 8 加  $\pi$  滤波器时仿真电流及谐波分析

加  $\pi$  滤波器，电感  $L$  和电容  $C$  时的仿真电流波形及电流谐波分析。

在上述 3 种情况下，在整流器和逆变器之间的直流侧采用两个  $\pi$  电容相串联，并在两个电容旁各并联了一个  $\omega_c \div C_{ui}$  的均压电阻。

从图 9 可以看出，在变频器输出端未加滤波器时，高速电动机供电系统的电流谐波非常大，总谐波畸变率 ( $i_{n\%}$ ) 为  $30.79\%$ ，基波电流幅值为  $2.3$  A。从图 10 可以看出，在变频器输出端加  $\pi$  滤波器后， $i_{n\%}$  为  $4.33\%$ 。

图 11 为采用通用变频器，在变频器输出端未加和加  $\pi$  滤波器时，高速电动机供电系统的实验电流波形及谐波分析。

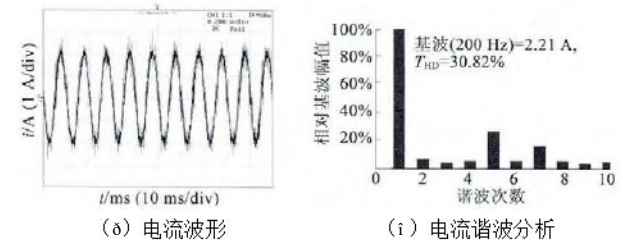


图 11 未加滤波器时的实验电流波形及谐波分析

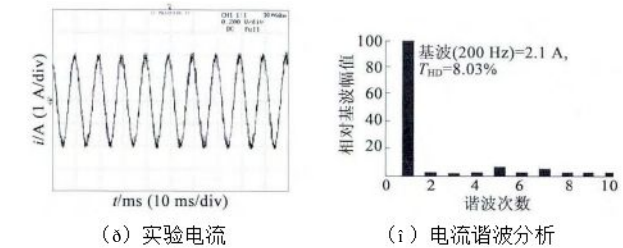


图 12 加  $\pi$  滤波器时的实验电流波形及谐波分析

从实验结果可以看出，采用定值  $\pi$  滤波器对于高速电动机供电系统的电流谐波有一定抑制效果。

谐波抑制的有效方法是在变频器的输出侧加装  $\pi$  和二阶低通滤波器。

在变频器的输出侧加装  $\pi$  二阶低通滤波器。

由于受变频器的载波频率的限制，对于高频逆变器来说，滤波器的截止频率与基波相比较低。由于需要的电感和电容值较大，所以滤波器的成本将增加。因此在设计滤波器时要综合考虑总谐波畸变率、基波降压以及滤波器的成本等方面。

变频器输出端  $\pi$  二阶低通滤波器的结构图如图 13 所示。

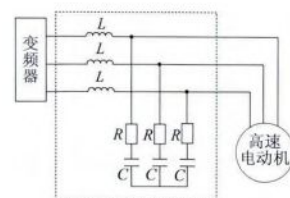


图 13 变频器输出端  $\pi$  二阶低通滤波器的结构图





图 yĕ 为上述高速电动机在加不同滤波器时线电压基波压降的实验结果比较图p 图 yŭ 为上述高速电动机在加不同滤波器时电压谐波抑制的实验结果比较图p

滤波器类型	$U/V$
1	376.4
2	375.1
3	374.9
4	376

滤波器类型	电压总谐波畸变率 (%)
1	40.12
2	10.93
3	9.75
4	8.51

以上述的高速电动机为被控对象,结合滤波器的各参数的分析以及参数的变化对谐波抑制效果的影响,通过仿真分析对各参数作适当的调整,即可得到滤波器的优化参数。三阶 EäE 滤波器的参数选择:  $y_a \dot{E}pÚyÊa\tilde{n}$ ,  $i_a \dot{E}pÚpý \div$ ,  $y \dot{E}pÚÊNa\tilde{n}$ ,  $i \dot{E}pÚpÊ \div$ ,  $i_a \dot{E}pÚú \div$ ,  $\dot{E}ÊÊ\sigma\ddot{O}$  时,高速电动机供电系统的仿真和实验电流波形以及谐波分析分别如图 ýýú 图 ýý 所示。

图  $y_{\hat{E}}$  和图  $y_{\hat{u}}$  中  $y$  为未加滤波器;  $\hat{y}$  为加  $\hat{E}\hat{A}$  滤波器;  $\hat{E}$  为加二阶  $\hat{U}\hat{E}\hat{A}$  滤波器;  $\hat{u}$  为加三阶  $\hat{E}\hat{A}\hat{E}$  滤波器。从图  $y_{\hat{E}}$  和图  $y_{\hat{u}}$  中可以看出, 在加二阶  $\hat{U}\hat{E}\hat{A}$  或三阶  $\hat{E}\hat{A}\hat{E}$  滤波器之后谐波抑制效果明显提高。

通过对高速电动机供电系统的仿真和实验研究可知:

(y) 在采用通用  $\text{ii} \times$  变频器时, 在不加任何滤波器的情况下, 高速电动机供电系统的电流谐波比较大。

(y)在变频器输出侧加  $\bar{E}a$  滤波器后,抑制高速电动机供电系统谐波的效果比较明显b

(E) 在采用通用  $\text{U}_2$  变频器时,抑制高速电动机供电系统电流谐波更有效的方法是在变频器的输出端加二阶  $\text{U}_2$  或三阶  $\text{U}_2$  复合滤波器 $\text{U}_2$  可以在较宽的频带范围内,使高速电动机供电系统的电流谐波减小显著 $\text{U}_2$  对于  $\text{U}_2$   $\text{U}_2$ ,  $\text{U}_2$   $\text{U}_2$  的高速电动机,电流总谐波畸变率小于  $\text{U}_2$ ,基波电流损失小于  $\text{U}_2$ ,而电压总谐波畸变率小于  $\text{U}_2$ ,基波电压损失小于  $\text{U}_2$ ,都在允许的范围内 $\text{U}_2$

## 参考文献

- [illegible]

(下转第 55 页)



从图 4 可知,与二阶低通滤波器相比,在变频器输出侧加装三阶低通滤波器后,高速