DOI:10.3969/j.issn.1001 -4551.2018.10.017

伺服驱动器低压辅助电源电磁干扰的抑制研究*

孙 超,陈恒林*
(浙江大学 电气工程学院,浙江 杭州 310027)

摘要:针对伺服驱动器中逆变模块工作时会对低压辅助电源线造成严重电磁干扰的问题,对干扰传播的主要路径进行了分析。将复杂的驱动系统进行了简化,在 Matlab 仿真软件中建立了伺服驱动器的高频共模电路模型;在不同接地条件下,通过一组驱动器机壳和电机机壳,进行了辅助电源电磁干扰测试实验,确定了驱动器中高压侧干扰传播到低压辅助电源的主要干扰回路;基于该干扰传播回路,采取了优化干扰回路的抑制手段,对开关电源中的变压器部分进行了改动,增大了回路阻抗,从而大幅减小了低压线上的干扰。研究结果表明:所建模型准确,且采用的抑制手段能大幅降低辅助电源的线上干扰。

关键词:伺服驱动器;电磁干扰;低压线
中图分类号:TM464 **文献标志码**:A **文章编号**:1001 -4551(2018)10 -1106 -05

Suppression of electromagnetic interference of low voltage auxiliary power in servo driver system

SUN Chao, CHEN Heng-lin
(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at the inverter module in the servo drive which causes serious electromagnetic interference on the low-voltage auxiliary power cable, the main interference propagation path was analyzed. The complex drive system was simplified, and the high-frequency common-mode circuit model of servo driver was established in Matlab simulation software. The main disturbance loop in the drive where high-voltage side interference propagates to the low-voltage auxiliary supply was determined, by a set of drive chassis and motor chassis in different grounding conditions for auxiliary power electromagnetic interference test. Based on this interference propagation path, the interference loop was optimized, the part of the transformer in the switching power supply was optimized and the loop impedance was increased, thus greatly reducing the interference on the low-voltage bus. The results indicate that the model is accurate and the way of suppression can significantly reduce the electromagnetic interference on the auxiliary power line.

Key words: servo drive; electromagnetic interference; low-voltage line

0 引 言

伺服驱动器主要包含电源模块、驱动模块、逆变模块等。伺服驱动器采用的主要控制方式为脉宽调制(pulse width modulation,PWM),虽然提高了驱动系统的工作效率,但同时也会引发严重的电磁干扰问题[1-3]。

目前,针对驱动器高压和低压之间干扰耦合问题的研究并不多。文献[4 -6]提出了伺服驱动系统电机建模方法,但没有关注驱动器高低压耦合问题和干扰的抑制;文献[7]提出了变频器传导干扰的差模和共模高频模型,但没有分析变频器干扰对低压辅助电

收稿日期:2018 -01 -24
基金项目:国家自然科学基金资助项目(51577172)
作者简介:孙 超(1993 -),男,江西上饶人,硕士研究生,主要从事电力电子电磁兼容方面的研究。E-mail:jxsunchao@zju.edu.cn
通信联系人:陈恒林,男,副教授,博士生导师。E-mail:henglin@zju.edu.cn.

源线的影响;文献[8]对辅助电源高频模型进行了建模,但没有分析具体干扰成分和抑制措施。通常工业上采用滤波技术、屏蔽技术和改善控制策略来抑制传导干扰[9-11],但是并没有针对伺服驱动系统中低压辅助电源干扰的抑制方法。

针对以上情况,本文将以通用伺服驱动系统为研究对象,建立伺服驱动器的高频共模电路模型,提出一条新的干扰传播路径,通过一系列测试证明模型的准确性。

1　伺服驱动系统

本文采用的伺服驱动系统如图 1 所示。

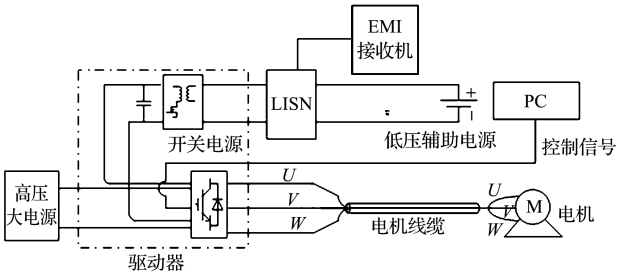


图 1　伺服驱动系统

伺服驱动系统主要包含高压大电源、低压辅助电源、驱动器、电机、上位机 PC 等几部分。其中,伺服驱动器中存在两套独立的电源系统:高压大电源和低压辅助电源。高压电通过驱动器中的逆变桥给电机供电,低压电通过驱动器中的开关电源给驱动电路、控制电路、其他敏感设备供电。高压侧的开关器件进行高频开关动作产生的干扰会耦合到低压电源线上,进而影响到系统中的敏感设备。

2　伺服驱动器高压侧对低压辅助电源干扰传播路径

为分析伺服驱动器中低压辅助电源线上的干扰,首先需要确定干扰传播回路。高频开关管是整个系统的干扰源,干扰可以从多条路径传播至辅助电源处,如图 2 所示。

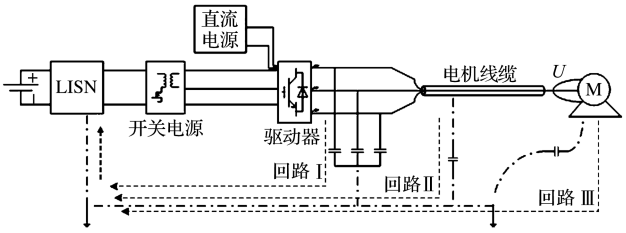


图 2　驱动器低压电源干扰耦合途径

通常认为高压侧的干扰耦合到低压侧存在以下 3 条干扰传播路径:(1)干扰源通过 IGBT 模块与散热片之间的寄生电容将干扰传播至参考地,再传到辅助电源;(2)干扰源通过电机线缆对地的寄生电容将干扰传播至辅助电源;(3)干扰源通过电机机壳对地寄生电容将干扰传播至辅助电源。

本文建立了驱动器共模电路模型,在模型中提出了一条新的干扰传播主要回路,如图 3 所示。

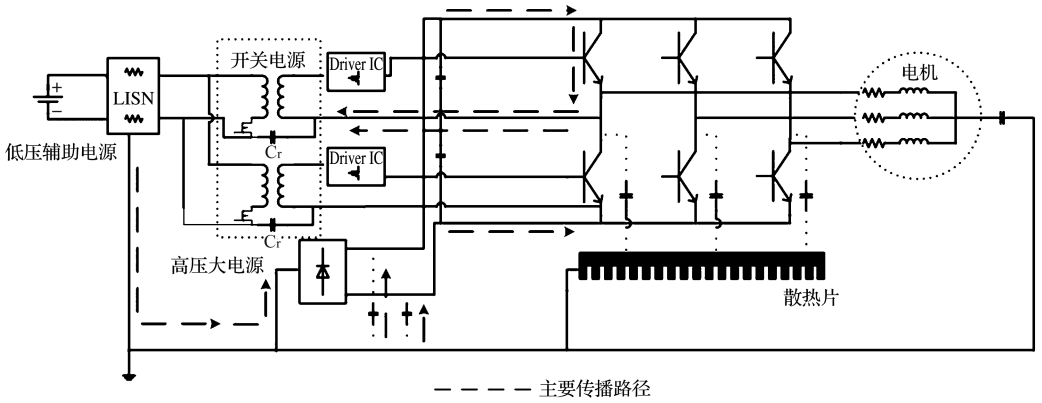


图 3　驱动器低压线干扰传播主要回路

由图 3 可以看出:驱动器中 IGBT 上管的开关电源副边地线直接接到了逆变桥上、下桥臂的中点,驱动器下管 IGBT 的开关电源副边地线直接接到了逆变电路的负线。因此,高压侧的干扰会通过开关电源副边地线传导至开关电源处,并经由开关电源变压器原副边之间的寄生电容传导耦合至低压辅助电源线上,干扰会经过 LISN 进入大地,再通过高压大电源线缆对地的寄生参数回到逆变电路的正、负高压线上,从而构成了完整的干扰主要传播回路。

3　伺服驱动系统 EMI 测试

为验证图 3 中的干扰传播主要回路,本文针对伺服驱动系统做了实验测试,如表 1 所示。

电机和驱动器分别处于不同接地条件时,实验(1~4)对低压辅助电源线上的 EMI 进行测试;实验 5 对电机线缆在驱动器输出侧和电机输入侧处进行共模

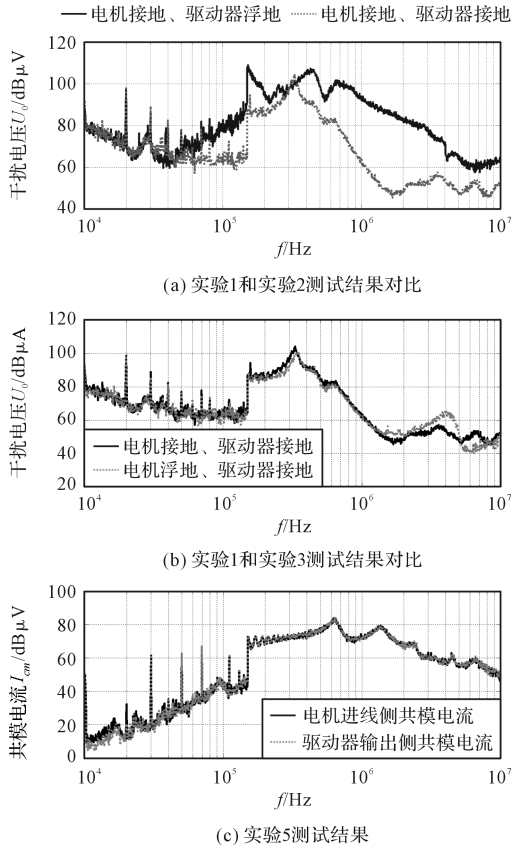
电流的测试。

表 1 设备不同接地情况

实验编号	实验状态	
	电机机壳是否接地	驱动器机壳是否接地
实验 1	是	是
实验 2	是	否
实验 3	否	是
实验 4	否	否
实验 5	电机线缆两端共模电流测试	

实验(1 ~4)中,改变电机机壳和驱动器机壳的接地状态,实质是改变了干扰回路中存在的高频阻抗,当壳体不接地时,对应包含该壳体的回路阻抗会增大,如果干扰传播通过了这一壳体,实测的 EMI 结果应该会减小;反之,干扰传播未通过这一壳体,干扰大小不会有明显变化或者是反而变大。

实验结果如图 4 所示。



(a) 实验1和实验2测试结果对比

(b) 实验1和实验3测试结果对比

(c) 实验5测试结果

图 4 实验结果

从实验 1 和实验 2 的结果对比可以看到:驱动器壳体浮地,增大了图 2 中回路 I 的阻抗,但是 EMI 测试结果并没有减小而是增大了,因此回路 Ⅰ 并不是干扰传播的主要回路;

从实验 1 和实验 3 的结果可以看到:电机机壳浮地,增大了图 2 中回路Ⅲ的阻抗,两次实验测得的 EMI 大小无明显变化,因此回路Ⅲ也不是干扰传播的主要回路;

从如图 4(c)所示的中共模电流的测试结果可以得到:驱动器输出侧共模电流和电机进线侧共模电流基本一致,并没有共模电流通过图 2 中的回路Ⅱ进行传播,因此回路 II 不是干扰传播的主要回路。而实验 2 中驱动器机壳浮地,干扰增大的现象是因为驱动器和电机之间存在干扰耦合的回路,增大驱动器壳体对地的阻抗,等效于增大了驱动器和电机之间阻抗,本应在该回路中传播的干扰通过驱动器中的开关电源耦合到了低压辅助电源线上。

因此,根据以上实验测试结果,可以确认图 3 提出的干扰传播路径是最为主要的。

4 伺服驱动器高频共模电路模型

基于干扰传播回路的分析,本文建立了伺服驱动系统低压辅助电源共模电路模型,如图 5 所示。

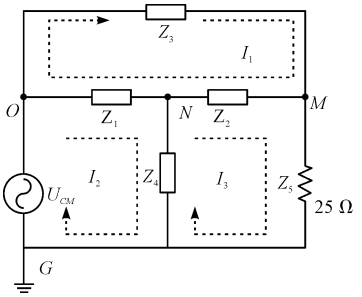


图 5 共模电路模型

O 点—等效高压正负线;M 点—等效低压辅助电源正负线;N 点—等效驱动器 IGBT 上下桥臂中点;G 点—等效伺服驱动器机壳即大地;Z_1—伺服驱动系统驱动器三相输出侧中点 N 和高压线中点 O 之间的阻抗;Z_2—三相输出侧中点 N 和低压线中点 M 之间的阻抗,主要是逆变桥臂上三管 IGBT 驱动电路中开关电源的等效阻抗(3 个 DC/DC 并联);Z_3—高压线中点 O 和低压线中点 M 之间的阻抗,主要是逆变桥臂下三管 IGBT 驱动电路中开关电源的等效阻抗(单个 DC/DC);Z_4—三相输出侧中点 N 对散热片的阻抗;Z_5—LISN 上的标准电阻,由于是共模等效模型,取值即为 25 Ω

模型中每个阻抗参数的物理意义如表 2 所示。

表 2 参数说明

阻抗编号	物理意义	数值大小
Z_1	构造测试点加入的测试阻抗	0.001 Ω 30 pF
Z_2	IGBT 上管驱动电路开关电源阻抗	0.003 Ω 9 969 pF
Z_3	IGBT 下管驱动电路开关电源阻抗	0.001 Ω 3 323 pF
Z_4	IGBT 桥臂中点对散热片的阻抗	0.003 Ω 145 pF
Z_5	LISN 共模阻抗	25 Ω

5　伺服驱动器低压辅助电源线干扰的抑制

根据共模电路的模型,可以有针对性地对回路中关键参数进行优化,以此起到 EMI 的抑制效果。本文主要采用了开关电源变压器优化和滤波器设计的综合抑制手段,对低压线上的干扰进行抑制。

在开关电源变压器中,原边和副边的地之间存在 3 300 pF 的 Y 电容,起抑制自身 MOSFET 产生的共模电流的作用。然而在整个伺服驱动系统中,该电容成为了干扰传播路径上的关键参数之一,因此在保证电源正常工作的前提下,去掉了该 Y 电容。变压器原副边之间没有 Y 电容之后,高频下原副边之间的阻抗会增大,从而对低压辅助电源 EMI 起到抑制效果。

在对变压器进行优化之后,可以在图 5 的 O 点处或者 M 点处增加滤波电路。本文在低压辅助电源线上增加了一个简单的滤波电路,主要包含一个 2 mH 的差模电感,一个 10 μF 的 X 电容和 8 mH 的共模电感。电路拓扑如图 6 所示。

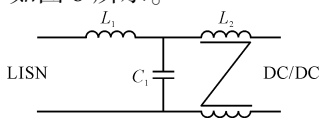


图 6　滤波电路拓扑

由于优化变压器已经能给伺服驱动系统 EMI 带来较好的改善,新增的滤波电路可以达到低成本和小体积的目的。

6　实验验证

6.1　共模电路模型的验证

本研究在 Matlab 中,对伺服驱动器共模电路模型进行仿真,可以得到 LISN 的时域下共模电压,对该电压做 FFT 变换,得到共模电压频谱,将实测频谱包络线和仿真频谱包络线进行比较,比较结果如图 7 所示。

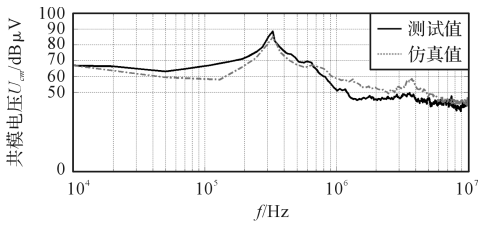


图 7　低压辅助电源线共模电压的测试和仿真结果

由图 7 可以看出:仿真结果和测试结果吻合的很好,所建立的共模电路模型是较为准确的。

6.2　低压辅助电源线干扰抑制效果

本研究将开关电源中的 Y 电容去掉,对低压辅助电源线上的 EMI 进行测试,测试结果如图 8 所示。

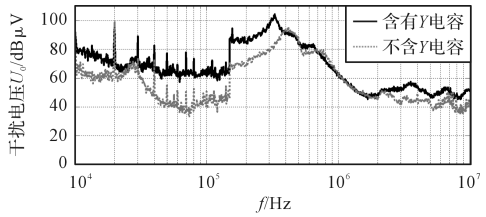


图 8　变压器优化后干扰抑制效果

去掉变压器中的 Y 电容后可以看到,干扰明显下降,在 100 kHz 频段附近的干扰下降了近 20 dBuV。再将设计的滤波器接入低压辅助电源线上,可以看到,经过综合抑制手段之后,干扰在 10 kHz ~ 10 MHz 频段范围内被抑制到 60 dBμV 以内,如图 9 所示。

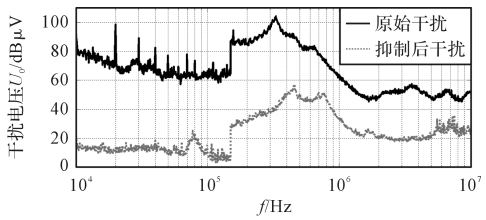


图 9　综合抑制后效果对比

7　结束语

本文对伺服驱动器高压侧和低压侧之间干扰问题进行了研究分析,在 Matlab 仿真软件中建立了准确的驱动器高低压线耦合回路的共模等效电路模型,在模型中提出了新的干扰传播路径,并通过机壳接地实验验证了干扰传播路径和共模电路模型;基于电路模型,笔者对干扰回路中的关键参数进行分析,并针对关键的变压器进行了优化设计。

通过实验证明:干扰回路优化配合滤波器的综合抑制手段有很好的干扰抑制效果,在 400 kHz 以下频段干扰电压下降 40 dBμV,高于 400 kHz 频段干扰下降也达 20 dBμV。

因此,本文提出的共模模型可以作为伺服驱动器设计系统 EMC 问题的参考,变压器优化手段也可以应用在同类产品上。

(下转第 1115 页)

本文引用格式:

孙　超,陈恒林. 伺服驱动器低压辅助电源电磁干扰的抑制研究[J]. 机电工程,2018,35(10):1106 - 1109,1115.

SUN Chao, CHEN Heng-lin. Suppression of electromagnetic interference of low voltage auxiliary power in servo driver system[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2018,35(10):1106 - 1109,1115.

《机电工程》杂志:http://www.meem.com.cn