

LEM 电流传感器的应用探讨

谢珺耀,于海波

(中国电子科技集团公司第四十五研究所,北京东燕郊 101601)

摘要:介绍了 LEM 电流传感器的特性和实际应用的经验。电流实时检测技术广泛地应用在工业领域,由于受到传统方法限制,其技术成本较高。随着科学技术的发展与进步,新型的基于霍尔效应电流传感器应运而生,它可以实现零到数十安培甚至高达数千安培的电流动态检测,不但在检测电流范围上实现了突破,而且在动态性能上也有显著的提高,同时还对检测回路与主回路进行了完全隔离。因而,在电力电子行业电流检测中得到越来越广泛地应用。

关键词: 电流传感器; 主回路; 检测回路; 霍尔效应

中图分类号: TP212.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-4507(2010)01-0050-05

Application and Discussion of LEM Current Transducer

XIE Junyao, YU Haibo

(The 45th Research Institute of CETC, Beijing East Yanjiao, 101601, China)

Abstract: This paper introduces the features and the application experience of the LEM current transducer. The real-time current measurement technology is widely used in industrial control area, but due to restrictions on traditional methods, technology costs are high. As the development of science and technology, the new current transducer has emerged, it is based on Hall-effect principle, the current transducer can measure dozens of amps and even higher current, it has had a very large improvement in dynamic measurement, and achieved a complete separation between the main circuit and detection circuit. Thus, the current transducer is widely used for current detection area in the power electronics industry.

Keywords: Current Transducer; Main Circuit; Detection Circuit; Hall-effect

随着现代工业技术的不断发展,电流检测广泛地应用到工业控制领域,工业控制对电流检测的精度及响应速度的要求较高,同时希望与被检测的对象实现完全隔离,LEM 电流传感器很好地解决了

这些问题。LEM 电流传感器以其优良的性能和精巧的结构,业已成为工业控制领域中电流隔离测量的最佳解决方案,并被广泛的应用于驱动器、变频器、电机绕组、高频大电流测量等场合中。

收稿日期:2009-12-14

1 莱姆传感器的基本工作原理和特性

莱姆电流传感器是瑞士 LEM 公司推出的产品,有多种系列产品问世,在工业控制中获得广泛应用。它的原理是基于霍尔效应,是模块化的有源电流传感器,它把普通互感器与霍尔元件、电子线路有机地结合起来,充分发挥了普通互感器测量范围宽的长处和电子线路反应速度快的优势,同时,其传感器电路由于与被测电路是隔离的,因此,LEM 电流传感器的接入对被测电路的影响可以降到最低以至于完全可以忽略不计。LEM 电流传感器可对直流、交流及脉动电流进行测量^[1]。图 1 是 LEM 电流传感器原理图。

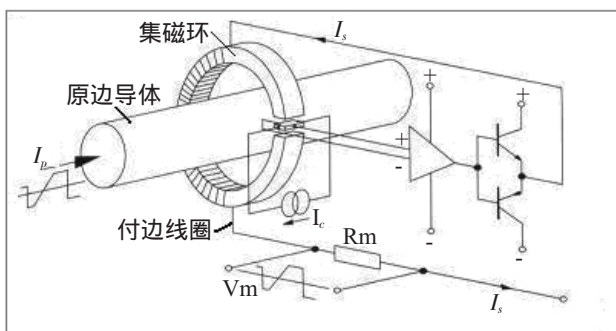


图 1 闭环电流传感器原理结构图

LEM 电流传感器有多种系列产品,每种都有不同的用途和特点,从检测电流的类型看有直流与交流,大电流与微小电流;从反馈形式看有开环和闭环;闭环根据不同的用途又有多种反馈形式,用户可以按自己的需求加以选择。图 1 是电流闭环的形式之一,笔者仅以此类型的传感器使用经验与读者共同分享。在图 1 中, I_p 是被测导体电流,可以理解 I_p 为流经原边导体的电流(类似于变压器原、副边,但它是磁场直接耦合的),在一个磁回路中有一定的间隙放置半导体霍尔器件,当 I_p 的大小发生变化时,霍尔电流 I_c 也发生变化,霍尔电压也随之发生变化,将此电压变化通过放大器放大输出,输出的电压大小反应了被测电流的大小。为了更稳定、更精确地测量原端 I_p 的大小,在磁环上绕有补

偿绕组,它与输出之间形成霍尔负反馈的闭环形式,其中 I_s 称之为补偿电流,其大小、相位反应被测电流 I_p 的大小、相位,这个电流通过一个标准电阻 R_m 产生压降以电压 V_m 的形式输出。这种闭环电流传感器的特点表现在:测量电压范围宽,反应速度快;具有很低的温度漂移;被测器件与测量回路完全隔离;在全程测量范围内可获得极优良的线性度和精度。

2 电流传感器在线性功率放大器中应用

线性功率放大器广泛地应用在许多工业场合中,比如一个可编程的恒流源电路、电机驱动器等,在应用中都需要采用间接的手段来检测输出回路的电流,而且要求与被测器件之间实现完全的电气隔离。LEM 电流传感器恰巧满足这种应用。

2.1 放大器与电流传感器组成的全闭环系统

功率放大器有一定的电流驱动能力和带宽,它可以驱动任何类型的阻性和感性负载,比如较大直流照明系统、电机驱动、恒流源负载等。图 2 是由线性功率放大器和电流传感器构成的带电流反馈的系统框图。

在图 2 中,线性功率放大器给一个感性负载提供驱动电流,这个负载可以当作电机线圈或类似的感性负载或者阻性负载(当 L_0 不存在时)来看待,相当于一个电感和电阻的串联。 R_0 是主回路的电流采样电阻,它与 R_f 组成放大器的电流负反馈以稳定负载电流, R_3 作为电压负反馈以稳定输出电压, R_4 作为功率放大器内环的极限电流限制。当信号源(或者控制器的 DA 输出) U_i 给定一个输入时,在负载回路会产生相对应的电流输出,这个电流的大小就由电流传感器来检测。当电流传感器采用单以 +5 V 电源供电时, U_0 输出的值会在 0~5 V 之间变化,检测的电流波形只会产生在第一、第二象限。为了使其与给定信号的相位和检测信号的相位有直接的对应关系,使检测到的电流波形能真实地反应回路中负载电流。

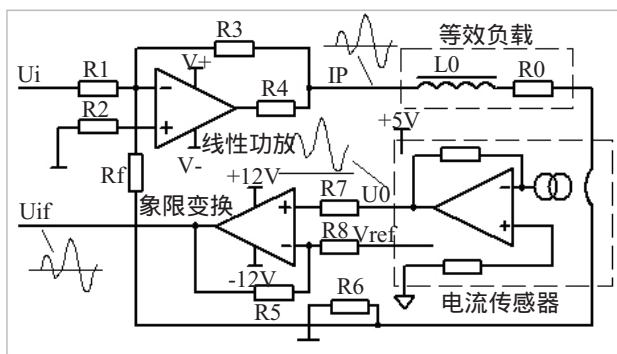


图2 电流传感器测试功率放大器输出电流原理框图

采用象限变换的方式，使电流波形在第一、第三象限产生。即 U_{if} 是一个完全代表被测回路 I_p 的电压波形，通过后续滤波处理可以反馈到控制器以实现电流的闭环控制。从原理结构分析，霍尔型的电流传感器对主回路实现了完全的隔离，能快速准确地反应被测回路的电流大小变化，并且对主回路的影响是完全可以忽略的。

2.2 电流传感器的性能指标及其检测电路的设计原则

以 LEM 电流传感器中的 LTSR 6-NP 型号为例，列举它的特点，其它型号的由于篇幅所限，不再列举。LTSR 6-NP 体积小巧，是专门用于 PCB 安装而设计的，它的外形图见图 3 所示。它的电流测量范围宽，最高可达近 20 A，有很强的过载能力和较好的线性度，性能指标见表 1。



图3 LTSR 6-NP 电流传感器外形图

表1 性能指标

| | |
|-------------------------|----------|
| 测量电流范围 /A | 0~ ±19.2 |
| 过载能力 /A | 250 |
| 灵敏度 /Mv·A ⁻¹ | 104.16 |
| 带载测量精度(25℃)/% | ±0.7 |
| 响应时间 /ns | <400 |
| 频带宽度 /kHz | 100 |
| 线性误差 /% | <0.1 |

按照图 2 所描述的测试原理框图，笔者设计了线性功率放大电路以驱动音圈电机并检测电机线圈的动态电流以达到闭环控制的目的。从传感器本身讲，它有很高的带宽和线性度，但测量电路本身受元器件和负载的特性限制，加上温度漂移、非线性因素的影响，整体综合指标会有所下降，所以在高精度和快速响应的设计场合要特别加以小心。最终测量的灵敏度和带宽要统筹考虑，合适的灵敏度和带宽才是最好的，不能一味追求最高带宽，否则不是带来很高的成本，就会在测量中带来很大的干扰和误差。

笔者在设计检测电路时，电流传感器采用 +5 V 单一电源供电（电流传感器本身的输入输出特性见图 4），图 4 中电流传感器的输出位于平面坐标的第一、二象限内，当负载电流在负向时，输出电压在 0.5~2.5 V 之间，当负载电流在正向时，输出电压在 2.5~4.5 V 之间，输入电流与电流传感器的输出电压呈线性关系，斜率为 3.15。

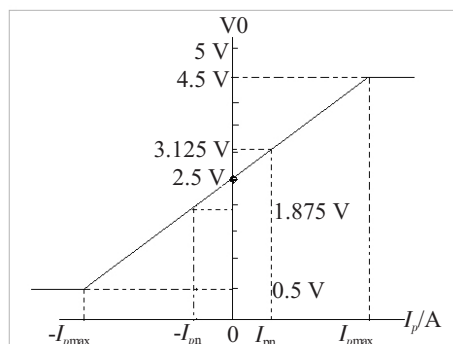


图4 LTSR 6-NP 电流传感器输入输出特性曲线

2.3 传感器输出信号处理^[2]

电流传感器检测到的信号直接供控制器使用

还不太方便,考虑控制器 A/D 采集范围(-10~+10 V),需要对电流传感器检测到的信号进行相应的处理。在设计检测电路时,依据电流传感器的特性和负载额定电流 $\pm 2\text{ A}$ 的要求,将检测电流的范围最大设定在 $\pm 6.4\text{ A}$,采样放大电路总带宽选择在 $0\sim 8.8\text{ kHz}$ 之内,并应用运放将输出信号进行坐标平移进行象限变换,将信号放大 10 倍,由此在理想情况下得到的信号输出范围为 $-6.25\sim +6.25\text{ V}$,位于平面坐标的第一、三象限内,负载电流 I_p 与平移放大后的信号仍为线性关系。电流传感器输出信号不全是有用信号,特别是有强干扰源或 PWM 恒流斩波的放大器中,由于高次谐波的存在,必须将无用的杂波进行滤波,因此,采用如图 5 所示的有源低通滤波器来进行滤波。图 5 中所示的是一个典型的二阶低通有源滤波器,信号经平移放大后送入二阶低通滤波器, U_{if} 是滤波的输入,其输出信号 U_{of} 可供控制器当作电流反馈的输入信号。

二阶低通滤波器的截止频率:

$$F=1/(2\pi \times RC) \quad (1)$$

在图 5 所示的二节低通滤波器中,有如下关系:

当截止频率一定时 $R_1=R_2=R$, $C_1=1.414C$, $C_2=0.707C$

选择好系统的截止频率,通过计算,匹配合适的 RC 参数。截止频率点要合适的位置,太高时会夹杂进许多无用的谐波和干扰信号,太低会失去一些有用的信号,两者都会造成电流波形失真,这要根据系统的要求来决定。

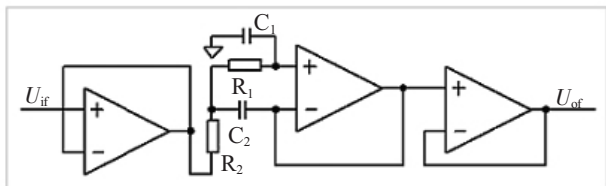


图 5 有源低通滤波器

3 实验数据分析

3.1 负载电流与输出电压值

应用上述电路,笔者进行实验测量,表 2 中列

举了负载电流及对应输出电压对应关系,其中 I_p 是流过负载的电流, U_c 是理想的输出电压, U_{of} 是实时测量的输出电压。

表 2 负载电流与输出电压的对应关系

| N | I_p/A | U_c/V | U_{of}/V | N | I_p/A | U_c/V | U_{of}/V |
|----|----------------|----------------|-------------------|----|----------------|----------------|-------------------|
| 1 | -2.00 | -6.25 | -6.16 | 14 | 0.18 | 0.58 | 0.60 |
| 2 | -1.86 | -5.82 | -5.76 | 15 | 0.35 | 1.10 | 1.08 |
| 3 | -1.71 | -5.34 | -5.32 | 16 | 0.51 | 1.59 | 1.56 |
| 4 | -1.57 | -4.90 | -4.84 | 17 | 0.66 | 2.07 | 2.04 |
| 5 | -1.40 | -4.38 | -4.36 | 18 | 0.82 | 2.55 | 2.52 |
| 6 | -1.25 | -3.89 | -3.88 | 19 | 0.97 | 3.03 | 3.00 |
| 7 | -1.11 | -3.46 | -3.40 | 20 | 1.14 | 3.56 | 3.52 |
| 8 | -0.95 | -2.98 | -2.96 | 21 | 1.30 | 4.04 | 4.00 |
| 9 | -0.80 | -2.50 | -2.44 | 22 | 1.43 | 4.47 | 4.52 |
| 10 | -0.65 | -2.02 | -2.00 | 23 | 1.60 | 5.00 | 4.92 |
| 11 | -0.49 | -1.54 | -1.52 | 24 | 1.77 | 5.53 | 5.40 |
| 12 | -0.34 | -1.06 | -1.08 | 25 | 1.94 | 6.06 | 5.88 |
| 13 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 26 | 2.00 | 6.25 | 6.12 |

利用表 2 的实测数据,将电流与电压的关系用曲线图表示(见图 6)。图中纵坐标代表输出电压,即 U_{of} 或者 U_c ,横坐标代表负载电流,即 I_p 。

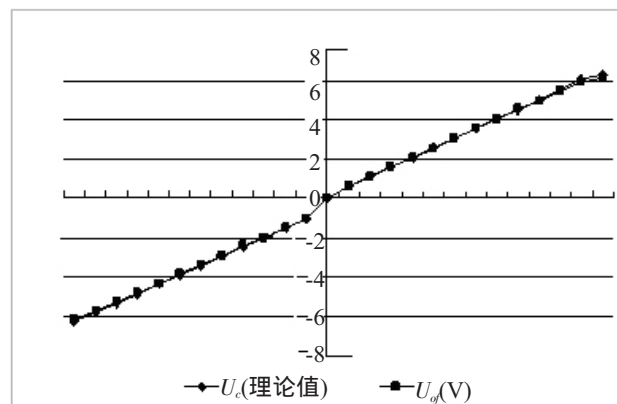


图 6 负载电流与输出电压关系曲线

从图 6 可以看出理想的电压曲线与实测电压曲线几乎重合(U_c 和 U_{of} 具体差异的细节无法在此显示,可以参看表 2)。在正、负半轴线性度很好,但在过零点时,正负半轴曲线会在电压轴上产生一个交越失真的位移点,这是因为负载电流输入为零时,放大器在零输入时往往不是一个理想的零值输

出,它受制于输出级的饱和压降、零点漂移、系统噪声的影响。在闭环控制系统中,这种失调可以通过软件补偿实现,或者在硬件电路设计中加以考虑,以降到最小误差范围内。关于电流传感器的相频特性,读者可以参考 LEM 公司的资料来考证,这里不再描述。

3.2 数据计算分析^[3]

利用下面的最小二乘法公式进行曲线拟和,以量化的形式进行考察:

$$\text{因为一次曲线公式为 } y = f(x) = a_0 + a_1x \quad (2)$$

$$\text{又 } \frac{\partial S}{\partial a_j} = 0 \text{ (其中 } S = \sum_{i=0}^n f(x_i) \text{)} \quad (3)$$

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum x_i = \sum y_i \\ a_0 \sum x_i + a_1 \sum x_i^2 = \sum x_i y_i \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{得到 } a_0 = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (5)$$

$$a_1 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (6)$$

利用表 2 的数据按照上式进行计算得:

$$a_0 = -0.0075 \quad a_1 = 3.0822$$

$$\text{于是有 } y = 3.0822 \times x - 0.0075 \quad (7)$$

进而有如下曲线拟合关系式:

$$\text{拟合曲线 } : U_{of} = 3.0822 \times I_p - 0.0075 \quad (8)$$

$$\text{通过计算,最大线性误差 } < 1.5\% \quad (9)$$

.....
(上接第 47 页)

3 结束语

赋能是薄膜电容切片机生产工艺中必不可少的一道工序,直接关系到产品的数量和质量,对于提高设备的生产效率发挥着至关重要的作用。赋能仪的开发使用,生产出的电容质量,赋能后与赋能前相比,容量更加稳定,损耗更小,质量更加有保证。

通过以上的数据分析,线性度优劣好坏一方面取决于电流传感器本身,另一方面取决于后续处理电路,为了提高线性度和精度,除了选择合适的传感器之外,在设计后续处理电路需要注意选择性能好的运算放大器,采用精度较高的电阻电容,还需要选择适合的工作频率等。上述对曲线的拟合,既完成了对检测电路的重新标定,又提高了测量精度。

4 结束语

本文介绍 LEM 电流传感器的工作原理和主要特性,并探讨了电流传感器在电流检测中的应用,通过对所测数据的分析对比可知 LEM 电流传感器具有很好的线性度和很高的响应速度,可以应用在多种工业场合作电流动态检测,如线性功率放大电路、电机驱动器、恒流源等。作者在这些方面也进行了深入地研究与实际考察,由于篇幅所限,不再逐一列举,敬请读者谅解。文中总结了作者对 LEM 传感器应用的一些实际经验,与大家互勉分享,希望对从事电流检测的朋友,有所帮助。

参考文献:

- [1] LEM 公司电流传感器数据手册. Current Transducer LTSR 6-NP datasheet[Z].
- [2] 王俊省. 微型计算机检测技术及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1996.
- [3] 王惠文, 孟洁. 多元线性回归的预测建模方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2003, 5(3): 45-47.

作者简介: 谢珺耀(1964-), 男, 甘肃泾川人, 高级工程师, 主要从事半导体专用设备的研发工作。

参考文献:

- [1] 翟光亚. 国产分切机的赋能设计与设备改造[J]. 电子元件与材料, 2001, (20)3: 5-6.
- [2] 于凌云, 翟光亚. 金属化薄膜电容器赋能机理分析与新型分切赋能装置的研制[J]. 电子质量, 2001(5): 11-12.

作者简介: 任蓉莉(1983-), 女, 毕业于太原理工大学, 主要从事电子工业专用设备的电气设计工作。