

## 采用频谱法提高直流电机测速精度

陈稚文

(温岭法雷奥汽车零部件公司, 浙江 温岭 317500)

中图分类号: TM 33

文献标识码: B

文章编号: 1001—6848(1999)03—0033—02

## 1 引言

在文献[1]中,介绍了采用电流互感器的型式,利用直流电机的特殊条件,从供电电流波形中提取换向脉冲,达到测量转速的目的。

该方法对被测电机没有附加要求,具有简单方便的特点。倘若被测电机装配工艺性较好,转速离散性小,选频滤波网络谐振频率选择合适,选频回路 $Q$ 值高,谐振曲线尖锐,那么其结果可以完全使人满意。

然而,问题是在工业化大批量生产过程中,由于种种不确定因素的影响,不可避免地会出现那样的质量问题。当该质量问题影响到转速,使换向脉冲频率偏离选频网络的谐振范围。或者出现过量火花,无法利用选频滤波网络加以抑制清除时,便会影响到测量的实现。

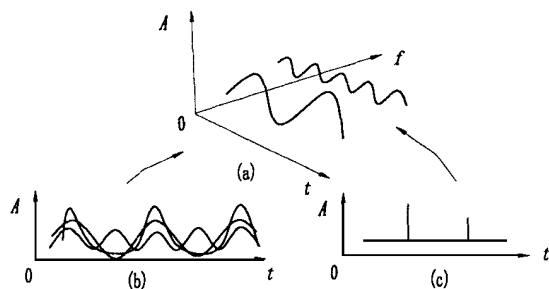
其中,尤为火花干扰为甚。直流电机因为自身结构的特点,不产生换向火花干扰可以说是不可能的。

为了兼顾多方面的要求,本方法在实际应用中,一般都将通频带适当放宽。这样由于降低了回路 $Q$ 值,会造成滤波抗干扰效果的进一步恶化。

计量测试的目的是通过对表征信息特征参数的测试,对信息进行准确而一致的评定。由于信息是以信号的形式表现出来(或者说信号是信息的载体),而信号往往会被噪声干扰所污染。因此,要对信号进行处理加工,以达到提取有用的信息,便于计量和测试的目的。为此,笔者在文献[1]中,曾经设想利用自适应跟踪选频的方法,来扩展选频范围和滤除干扰信号,增大测量适应范围,提高精度。由于自适应跟踪选频方法硬件结构复杂,实现难度大。因此,如何用比较简便的方法,从一串被干扰污染的电机转速脉冲中筛选出其主频来,便是本文所要讨论的主要问题。

## 2 频谱分析

一个电信号的特性,可以由它随时间的变化来表征。也可以由它所包含的频率分量,即频谱分布来描述。因此,时域分析和频域分析都可以探知信号的特性,它们之间有着密切的内在联系。这种联系可以用图1定性而形象地表示。图1a是信号在幅度 $A$ 、时间 $t$ 、频率 $f$ 三坐标系统中的图像。图1b是信号在幅度、时间坐标系统中的图像。图1c是信号在幅度、频率坐标系统中的图像。



(a) 信号的三坐标图像 (b) 信号的时域图像 (c) 信号的频域图像

图1 信号的图像

时域分析与频域分析之间的数学关系,可通过傅里叶变换表征。

当周期性函数 $f(t) = f(t + kT)$ 满足狄利赫列条件时,则此函数可用三角函数的级数表示:

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_k e^{j2\pi k t / T} \quad (1)$$

式(1)是复数形式的傅里叶级数,它表示周期性函数 $f(t)$ 可以用幅度是 $C_k$ 、频率是 $2\pi k / T$ 的正弦振荡之和表示。

式中 $k$ 是- 到+ 的一切整数, $T$ 是周期性函数 $f(t)$ 的重复周期, $2\pi / T$ 是角频率, $C_k$ 称为复数振幅, $C_k = |C_k| e^{j\varphi_k}$ , $\varphi_k$ 称为相位频谱。

$$C_k = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-j2\pi k t / T} dt \quad (2)$$

凡是满足狄利赫列条件的周期性函数 $f(t)$ 均可以用无限个幅度是 $C_k$ 、角频率是 $2\pi k / T$ 的正弦

收稿日期: 1999—03—29

波之和表示。\$f(t)\$称为\$C\_k\$的原函数;而\$C\_k\$称为\$f(t)\$的象函数。象函数\$C\_k\$是时间函数\$f(t)\$的频谱密度函数(常简称为频谱函数)。

周期性函数的频谱如图2所示。

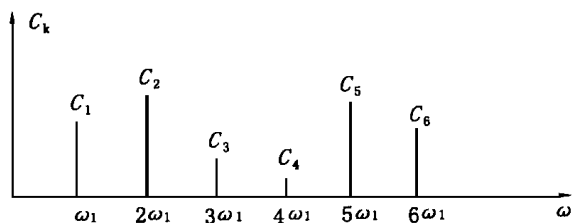


图2 周期性函数的频谱

特征是:

(1) 对应于每个\$k\omega\_1\$值,有一个\$C\_k\$值,频谱分布是离散性的,所以叫离散频谱,也叫线状频谱。\$\omega\_1 = 2\pi/T\$是基频。

(2) 频谱是谐波性的,是由等距离的频谱线组成的,谐波频率有着简单的倍数关系。

在电子科学技术中,遇到的电信号几乎都是满足狄利赫列条件和绝对可积条件的时间函数,因此它们的频谱函数必然存在。

由于电机干扰信号是火花干扰,其特点是初始幅值大,频率较高,以衰减振荡的形式出现,包含有丰富的谐波成分,在频谱图上会看到许多谱线。但由于它不是周期性的连续波信号,而是以突发状态出现。因此,看到的都是幅值较小且呈离散分布的谱线,与电机转速脉冲基频有较大不同,完全能够轻易地将它们区别出来。

### 3 快速傅里叶变换

利用计算机进行实时数据采集和频谱分析,通常采用快速傅里叶变换(FFT)算法。

快速傅里叶变换(FFT)算法是数字处理的重要工具之一。物理意义为:在时间轴上的连续波\$h(t)\$,是由频率为\$f\$的谐波\$h(f)ej2\pi f t\$通过积分叠加而形成的,因此通过快速傅里叶变换(FFT)方法可以得到实时频谱分布。

离散傅里叶变换的公式为:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \omega_N^{kn}, k=0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3)$$

式中, \$\omega\_N = e^{-j2\pi/N}\$, 将输入序列\$x(n)\$分成前后两半,得到:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x(n) \omega_N^{kn} + \sum_{n=N/2}^{N-1} x(n) \omega_N^{kn} \quad (4)$$

改变右式第二个和式求和区间可得:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x(n) \omega_N^{kn} + \sum_{n=0}^{N/2-1} x(n+N/2) \cdot \omega_N^{(n+N/2)k} = \sum_{n=0}^{N/2-1} x(n) \omega_N^{kn} + \omega_N^{N/2k} \cdot \sum_{n=0}^{N/2-1} x(n+N/2) \cdot \omega_N^{kn}$$

由于 \$\omega\_N^{N/2k} = e^{-j(2\pi/N)N/2k} = e^{-j\pi k} = (-1)^k\$。代入合即得:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N/2-1} [x(n) + (-1)^k X(n+N/2)] \omega_N^{kn} \quad (5)$$

再考虑输出序列,将\$k\$分成偶数和奇数部分,并且用\$2r\$和\$2r+1\$分别表示:

$$X(2r) = \sum_{n=0}^{N/2-1} [x(n) + X(n+N/2)] \omega_N^{2rn} \quad (6)$$

$$X(2r+1) = \sum_{n=0}^{N/2-1} [x(n) - X(n+N/2)] \omega_N^{2rn} \omega_N^{2rn} \quad (7)$$

由于 \$\omega\_N^{2rn} = e^{-j2\pi 2rn/N} = e^{-j2\pi rn/N/2} = \omega\_N^{rn/2}\$, 因此上面2式都是关于\$N/2\$点的离散变换。

式(6)的意义是输入序列\$x(n)\$的前后半之和的\$N/2\$点离散傅里叶变换,式(7)为输入序列\$x(n)\$的前后半之差并乘上因子\$\omega\_N^{rn/2}\$的\$N/2\$的离散傅里叶变换,得到的结果分别是偶数点输出和奇数点输出。

由于总是选择\$N\$为2的整数次幂,因此\$N/2\$点的离散傅里叶变换可以继续逐次分解成偶数和奇数输出点,直至\$N/2=1\$时,已经变成两点的离散傅里叶变换了。图3是它的计算流程图。

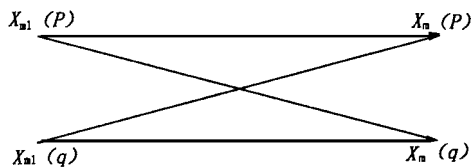


图3 只要求1次复数乘法的简化蝶形图

图3中, \$m=1, 2, \dots, \log\_2 N\$, \$p\$和\$q\$分别是前后两半数据的相应位置,它随\$m\$的不同而变化。

### 4 程序编制

程序编制可以根据条件用汇编语言、TurboC或Basic语言来实现。一般情况下Basic语言程序运行速度较慢,不适用于实时检测,但目前计算机的运行速度不断提高,在586以上的机器上运行用Basic语言编制的“FFT”1024点快速变换程序仅需1s左右,那么由于用Basic语言编程的简单方便,还是可以在试验中,甚至实时检测中加以应用的。

(下转第36页)

线、剪线等功能,自动化程度达到同类产品的最高水平。除装卸工件为手工操作外,其余全过程自动化完成。

(4)采用可编程控制器(PLC),变频调速,梯形曲线速度控制,触摸式人机界面等技术。整机性能稳定,生产效率高,操作方便,是微电机生产线(或单机)的重要设备之一。

本设备的主要性能指标:

适用定子最大外径: 150mm

适用定子最大厚度: 50mm

适用定子最小槽口宽度: 2.5mm

适用定子极数: 4, 6, 8, 10, 12

适用漆包线直径: 0.1~1.0mm

最高绕线速度: 2000 匝/m in

主电机功率: 1.1kW

整机重量: 360kg

外型尺寸(长×宽×高): 710mm × 700mm × 1205mm

## 5 结 语

本设备经用户使用证明,用本设备绕制的定子,绕组紧实、美观、体积小,节省大量漆包线,内阻大为减小,电机质量显著提高。说明以绕代嵌,势在必行。由于进口单工位多极定子绕线机的价格为5~10万美元/台,国内一般生产厂家难以接受,严重妨碍了这一新工艺的推广使用。RDS 10/150型双工位多极定子绕线机性能价格比较合理,对促进微电机行业技术进步,具有重大的社会和经济效益。

作者简介: 庞积伟(1955-),男,高级工程师,工学硕士,从事微电机系列设备的研究与开发。

(上接第34页)

## 5 系统实现

取样仍然采用电流互感器的方式,具体功能框图可参见文献[1]。根据待测电机性能转速范围确定选频电路谐振频率,进行预滤波,提高信噪比。

考虑到转速测试覆盖范围增大,回路Q值可适当放低,使通频带增宽。

在计算机信号采样上,因模数转换实现需要专用A/D变换板,较为麻烦。基于尽量简化硬件电路原则考虑,实验仅采用一块电压比较器来实现。对转速波形鉴幅得到一串连续的方波脉冲,由计算机打印机接口直接输入。这样完全不涉及计算机内部改装,因而显得非常简单安全。

根据频谱原理可知,脉冲方波含有丰富的谐波成分,用此方法输入方波和经A/D变换输入正弦波,在得到的频谱分布上会有较大的不同,尤其在倍频程处会出现频谱峰值。但从基频的分辨角度看还是完全一致的,完全可以在程序上将倍频程峰值和基频区别出来,因此并不影响测量结果的判定。

## 6 结 语

利用以上原理组成一简单计算机系统,对直流微电机转速进行测量,结果符合原理分析。完全能将电火花干扰和正常转速频率区别出来。

当取样频率高于待测频率3倍以上时,有较好的分辨率,因此对低转速电机测试效果更好。因为在低速状态下,电机本身的换向脉冲波形就不理想。前后沿有较大峰谷现象,存在大量换向火花干扰,很难用选频滤波和鉴幅整形的方法加以解决,在原来的测量中经常出现误差。用本方法则能较好地弥补原方法的不足,提高测量精度。

因此,将频谱分析法结合应用于直流电机转速测量,不失为一种简单有效提高测量精度的好方法。

## 参考文献:

- [1] 陈稚文 直流微电机测速新方法[J]. 微电机, 1999, 32(1): 36-37.

作者简介: 陈稚文(1948-),男,工程师,从事电机测试和制造工艺工作。