

变频器电量测量技术要点

李焦明

(坚固水泥有限公司,河南 焦作 454002)

摘要: 为了在变频调速系统发生故障时,正确使用其自身以外的测量仪表对其进行检测,详细介绍了几种常用的磁电式、整流式、电磁式、电动式测量仪表,指出了它们的测量方法及应注意的问题,给出了变频器电压、电流的测量要点。还介绍了变频器及其外部电路绝缘电阻的测量以及变频器整流桥与逆变桥的测量,以便在变频调速系统发生故障时快速、准确地查出问题所在,迅速排除故障。

关键词: 变频器; 测量; 仪表

中图分类号: TM 93

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2005)08-0096-03

1 变频器电压、电流测量存在的问题

变频器中很多的电压、电流已不再是单纯的直流或工频正弦波信号,面对变频器含有大量的谐波、畸变或是非工频的电量,变频器可使用自身的输出直接或间接得到电压、电流量,而且在变频器面板上进行显示,经过硬件上的滤波和软件上的运算,结果比较准确。许多变频器还可以通过变频器 4~20 mA 两路模拟量输出,显示电压和电流。一些变频器还带有通信接口,如施耐德的带有 MODBUS,西门子带 PROFIBUS、计算机和变频器通信,可以直接读取变频器内的参数。用触摸屏直接读取变频器里的值,后将变频器与电脑 RS-232 连接。但是,在很多情况下,如变频调速系统发生故障,仍然需要使用仪表对变频器中电压、电流进行测量。

准确的测量方法是采用具有 FFT 功能的仪器,但这些仪器价格昂贵,因此希望采用普通工频仪表测量变频器各部分电量,进行日常简单的维护。不同种类的普通电气仪表,其测量原理及其适用范围不一样,测量仪表和测量回路不同,所得到的数据也不同^[1,2]。若测量仪表选择不当,测量结果就会出现很大的误差,以致无法进行日常简单的维护和故障诊断。若测量方法不当,甚至毁坏变频器。

2 普通电压表、电流表的分类及其测量原理

根据工作原理不同,测量电压、电流常采用的普通工频仪表主要有以下 4 类。

2.1 磁电式仪表

磁电式仪表又称动圈式仪表,利用永久磁铁产生的磁场使流过被测电流的线圈(动圈)在磁场中受力发生偏转,从而带动指针指示被测电流的大小。可见,这类仪表测量的基本量是直流。

由于电压、电流可通过电阻相互转换,因此,这

类仪表也可用于对电压的测量(下面几种仪表在这一点上也是这样)。

2.2 整流式仪表

将磁电式仪表的表头与由整流元件构成的电路配合使用的仪表,称为整流式仪表。整流式仪表测量的基本量是交流(电流或电压)整流后的平均值。但在生产实际中,通常需要测量的不是电流或电压的平均值,而是电流或电压有效值。根据交流量有效值和整流后的平均值之间的比例关系(波形系数),通过测量后者即可推算出有效值。为了读数方便,整流式仪表的表面刻度尺按有效值分度。

但波形系数与波形有关,且整流式仪表一般都设计用于测量正弦量。因此,在对非正弦量进行测量时,就会产生波形误差。且波形误差随谐波含量和频率的变化而变化,对其准确的计算比较困难。

普通万用表即为整流式仪表,它包括指针式和数字式。指针式万用表对直流量的测量与磁电式仪表基本相同;数字式万用表一般采用双积分式 A/D 转换器实现对直流量的测量。对于交流量的测量,两种表都需要借助外围的整流和滤波环节,将交流量转变为直流量进行测量。

整流式仪表(包括采用该原理的普通万用表)的指示结果,既不是基波有效值,也不是总有效值,而是所有谐波有效值之和。

钳形交流电表,它是由电流互感器、整流器和磁电式电流表组成。该表表头考虑了变压器的变比和整流器的影响后进行刻度。

2.3 电磁式仪表

电磁式仪表又称动铁式仪表,利用流过被测电流的线圈产生的磁场使线圈内的定铁片和装在转轴上的动铁片同时被磁化,并呈同一极性。由于同性相斥,动铁片带动转轴发生偏转,从而指示被测电流的大小。这就是排斥型电磁式仪表的基本工作原理。吸引型电磁式仪表的原理不再赘述。

可见,这类仪表测量的基本量是被测电流有效

值的平方。但由于线圈的匝数很多,感抗将随频率的变化而变化。因此,当被测电量频率变化时,这类仪表误差较大,一般用于 50 Hz。同时,当被测电路含有大量高次谐波时,亦会出现较大的误差。此外,这类仪表还有灵敏度和准确度低、抗外磁能力差等缺点。

钳形交直流电流表,是由一个具有钳形活动铁芯的表座和一个电磁式测量仪表组成。

2.4 电动式仪表

电动式仪表是利用载流的可动线圈和固定线圈之间的作用力而工作的仪表。它与电磁式仪表相比,最大的区别在于:由活动线圈代替了可动铁片。因此基本上消除了磁滞和涡流的影响,使电动式仪表的准确度得到了提高。此外,电动式仪表有固定和活动两套线圈,这样它不仅可以测量电压、电流,而且还可以测量交直流功率等。

这类仪表测量的基本量是被测电流(或者电压)的平方。

图 1 示出了普通工频仪表测量变频器电量的方法(图中①②⑤为电磁式;③⑦为电动式;④为磁电式;⑥为整流式)。

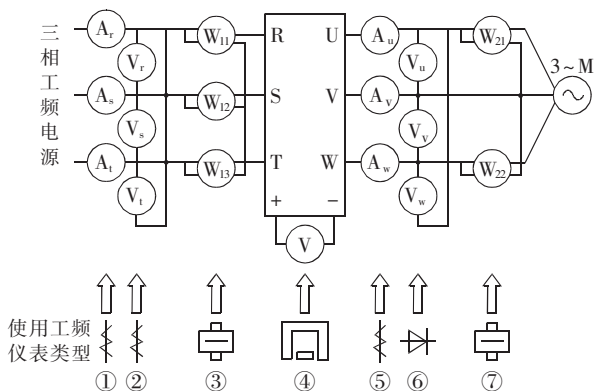


图 1 普通工频仪表测量变频器电量的方法

Fig.1 Electrical measuring of converter using normal power-frequency instruments

3 变频器电压、电流测量要点

3.1 电源电压

变频器的电源电压即为变频器的交流输入电压,该测量量的基本特征是工频正弦波,含少量的高次谐波。测量的主要目的是判断电源电压的质量,看其是否在允许的交流电压波动范围之内,有时也用来计算输入功率。测量要素为(基波)有效值。除磁电式仪表(又称动圈式)不能采用外,其他类型仪表均可采用。由于电磁式仪表对高频成分具有天然的抑制,采用电磁式仪表效果较好。推荐采用电磁式仪表。

3.2 电源侧电流

电源测电流是指变频器的交流输入电流,该测量量的基本特征是工频交流,含有高频成分。测量的主要目的是估算输入功率,测量要素为(基波)有效

值。与电源电压测量一样,推荐采用电磁式仪表。

3.3 电源侧功率及其功率因数

电源侧功率测量可采用三电动式单相功率表,由三功率表法 $P_1 = P_{W11} + P_{W12} + P_{W13}$ 计算出,也可采用两功率表法计算出。电源侧功率因数的测量,可测量出电源侧电压、电流、功率,由 $\lambda_{P1} = P_1 / (\sqrt{3} U_1 I_1) \times 100\%$ 计算出。

3.4 整流桥输出电压

整流桥输出电压是指直流环节的电压,一般较稳定,只关心其平均值,可采用磁电式仪表(指针式万用表等)。一般为 $1.35U_1$,三相 380 V 变频器再生中最大为 760 V。

3.5 变频器输出电压

在变频器的所有电量中,输出电压是最常用的一个,也是使用普通工频仪表最难测的一个。这是因为输出电压的频率会大范围变化,同时又含有大量谐波和高 du/dt 变化的 PWM 电压脉冲,使得对基波的测量非常困难。万用表等一般普通工频测试仪表无法正确地测定,不能获得精确测量值。准确地测定输出电压,只有使用具有 FFT 功能的仪器。

在不得不使用普通仪表测量变频器输出电压时,电磁式仪表(又称动铁式)不能使用。这是因为当载波频率超过 5 kHz 时,仪表内金属部分中产生的涡流损耗会增大,有可能烧坏仪表,故不能使用。

普通数字万用表由于无法有效抑制变频器的共模和差模干扰,测量很不准,也不能采用。一位电工在给变频器试机时用数字万用表测量发现变频器输出电压有 1 000 多伏(输入 380 V),问是否是变频器故障?是否会烧电机?他还不明白变频器只会降压,不会升压。由于变频器输出电压是高频载波,普通没有抗干扰的数字表根本不能采用。笔者也曾经用万用表测量变频器的输出电压有 480~520 V。

这种情况下,推荐采用整流式电压表,因变频器输出电压含有高次谐波,通过整流式仪表,以测量出输出电压的平均值。

当然,简易数字表经过电路处理也是可以测量的。如用电感平波(不能用电容)作一个单相整流电路,然后测量直流,所得值除以 1.35~1.42 即可得到变频器的当前输出电压。尽管这个值不是很准确,但足以应付一般的安装、调试和维修。

3.6 变频器输出电流

由于电磁式仪表对高频成分具有天然的抑制,采用电磁式仪表效果较好。推荐采用电磁式仪表(又称动铁式)仪表。变频器输出电流应在电动机的额定电流以下,各相的差小于 10%。用互感器与磁电式电流表测量变频器输出电流只适用于 50 Hz,抗高频干扰性能差,数值不准,但可判定三相是否平衡。

用一般数字电流钳型表,也是测不准的。如

有人用一般数字电流钳型表实测 1 台 1.5 kW 的 DANFOSS 变频器(带 1.5 kW 三相异步电机)输出电流超过 10 A 甚至近 20 A。

3.7 输出侧功率及其功率因数

输出侧功率测量可采用电动式单相功率表,由两功率表法 $P_2 = P_{W21} + P_{W22} + P_{W13}$ 计算出。也可采用三功率表法计算出。这种方法得出的输出侧功率,由于输出电压、电流的不准确,使得这个值也不是很准确。可根据电源侧功率 $P_1 =$ 输出侧功率 P_2 的功率平衡原理,测出电源侧功率从而得到输出侧功率。输出侧功率因数的测量,可测量出输出侧电压、电流、功率,由 $\lambda_{j2} = P_2 / (\sqrt{3} U_2 I_2) \times 100\%$ 计算出。

4 变频器及其外部电路绝缘电阻测量

在电气设备或配电线路中,绝缘材料的好坏对电气设备的正常运行和安全用电有着重大影响,而说明绝缘材料性能的重要标志是它的绝缘电阻值的大小。绝缘材料往往由于发热、受潮、污染老化等原因,而使绝缘电阻降低以致损坏,造成漏电或发生短路事故。因此,必须定期地对电气设备或配电线路彼此绝缘的导电部分之间,导电部分与外壳之间的绝缘电阻进行检查。

兆欧表(俗称摇表)是一种检查电气设备或配电线路、测量大电阻的简便直读式仪表。其主要由直流高压电源部分和磁电式流比计(比率表)两大部分组成。目前国产摇表中常采用交流发电机作为电源,经过晶体管整流,变成脉动直流电压后再输出。

变频器的主回路使用的是半导体,因此不要实施耐压测试。如果实施耐压测试,将会使半导体裂化。同样,用兆欧表测量变频器外部电路的绝缘电阻前,必须拆下变频器所有端子上的电线,这样测量电压才不会加到变频器上。控制回路的通断测试,请使用万用表(高阻挡),不要用兆欧表。

对变频器进行绝缘电阻的测量时,使用直流 500 V 兆欧表仅对主回路实施,不要对控制回路用兆欧表进行测试。

5 变频器整流桥与逆变桥模块的测量

IGBT 模块也可以用指针式万用表 10 k 档检测其是否能动作来判定其好坏,用指针(黑-红)去触发模块的 G-E,可使模块 C-E 导通,当 G-E 短接时则 C-E 关闭。测耐压值可用晶体管参数测试仪,并且要短接触发端 G-E 才能测 C-E 的耐压值。用耐压表给 IGBT 模块测量耐压值时要特别注意:一定要同时短接各触发端 G-E,否则当 G-E 有残余电压,C-E 处于半导通状态时,不但测不到耐压值,还会把模块烧坏。对外观一样同类型的模块,根据电流大的电容量也大的原理,用电容表测出模块 G-E 或 C-E 结的电容量,即可比较出模块电流的大小。

参考文献:

- [1] 方之稹,高琦,吕江虹. 电气实验技术与测量[M]. 北京:中国计量出版社,2003.
- [2] 杜虎林. 数字万用表实用测量技法与故障检修[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.
- [3] 童亦斌,刘京斗,黄大为,等. 采用普通仪表测量变频器电量的相关问题[J]. 电力电子技术,2004,38(2):82-84. TONG Yi-bin, LIU Jing-dou, HUANG Da-wei, et al. Analysis of the measurement for inverter electrical parameters using conventional instruments[J]. **Power Electronics**, 2004, 38(2): 82-84.
- [4] 李继波. 几种常见的变频故障分析与处理[J]. 变频器世界, 2003, (7): 61. LI Ji-bo. Analysis and troubleshooting of several usually observed faults of inverters[J]. **The World of Inverters**, 2003, (7): 61.
- [5] 申乐群. 关于 Siemens 变频器的常见故障分析与处理[J]. 变频器世界, 2004, (2): 130. SHEN Le-qun. The common malfunction analysis and processing of Siemens inverter[J]. **The World of Inverters**, 2004, (2): 130.

(责任编辑:戴绪云)

作者简介:

李焦明(1970-),男,河南沁阳人,高级工程师,主要研究方向为电力拖动与自动控制。

Technical essentials of electrical measuring for converter

LI Jiao-ming

(Jiangu Cement Company, Jiaozuo 454002, China)

Abstract: It is necessary to test converter using normal measuring instruments during speed regulation system fault. Several instruments are introduced: magnetoelectric type, rectifier type, electromagnetic type and electrodynamic type. Their measuring methods and cautions are brought forward, and the technical essentials of voltage/current measuring for converter are offered. Furthermore, the insulation resistance measuring of converter and its external circuits are introduced, as well as the test of rectifier bridge and converter bridge. It helps to detect and remove system fault.

Key words: converter; measurement; instrument