

选用变频器五要点

吴忠智

(北京中瑞电子系统工程设计院, 北京 100039)

[摘要] 近 20 年笔者遇到变频器应用中存在的问题, 绝大部分都是在工厂设计上考虑不周选用不当所致。不但造成经济损失, 而且使配电系统解列。本文总结 20 年应用变频器的经验, 列出选用变频器的基本点, 达到安全应用变频器的目的。

关键词 电力电子器件 拓扑电路 负载特性 谐波

1 按逆变元器件不同对变频器进行分类

电力电子半导体器件是现代电力电子设备的核心。要设计出高效、可靠、性价比高的系统, 必须对这些器件及其特性有深入的了解, 选用时要知道器件不同, 变频器性能效果是不一样的。变频器按应用器件分类见表 1。

表 1 变频器按器件分类

应用	器件	变频器	控制电机	行业	额定值
重性能、精度要求不高	晶闸管	交直变频器(斩波器)交-交变频器	直流电机 交流电机 整流电源	石油化工冶金	高压大功率
低性能(2象限运行)	晶体管 GTR	交交变频器交-直-交 VSI、CSI	异步电机(笼型和绕线转子)	各行业	中小功率
高性能(4象限运行)	IGBT IGCT	变频器	异步电机、同步电机	各行业采矿、船舶	高、中压; 中大功率 1~30MW
伺服	集成/模块 晶闸管 (IGCT) IGBT IPM	变频器	特殊电机: 开关磁阻电机(SRM)、 无刷直流电机(BLDCM)、 步进电机、执行机构、直线电机	加工工业	
轻载电源	MOSFET IGBT IPM	变频器、电源		航空 航天	

2 变频器的拓扑电路

变频器拓扑电路不同功能效率是不同的, 要根据应用对象进行选择。目前普遍应用的有下列几种:

(1) 交-交变频器;

(2) 交-直-交变频器, 又可分为交-直-交电流源型变频器和交-直-交电压源型变频器, 其拓扑电路有两、三、多电平、多脉波(交交变频也有)多重化之分。

3 了解变频器对电机的控制方式

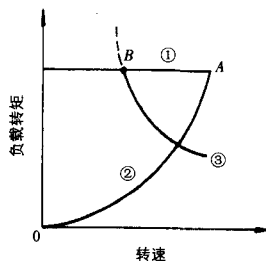
变频器对电机的控制是按电机特性及拖动负载特性的要求而进行的, 因此变频器以控制方式来衡量变频器的水平, 见表 2。

表 2 变频器控制方式分类

控制方式名称	内容	实现难度	效果	适用场合
v/f 恒定	电机的电源频率变化的同时控制变频器的输出电压, 并使二者之比恒定, 从而使电机的磁通基本保持恒定	容易	低速性能较差可开环控制	节能型
转差频率	转矩及电流由转差角频率决定	要检出电机的转速	态静态误差小, 得不到动态性能	单机运转
矢量控制	高性能控制电机的转矩电流和励磁电流	要建数学模型复杂软件相应的硬件	有良好的动态静态性能	恒转矩恒功率四象限运转负载
直接转矩控制	利用空间电压矢量 PWM(SVPWM)通过磁链、转矩的直接控制确定逆变器的开关状态来实现	只取交流电机参数控制更简单准确	同样有良好的动态静态性能	恒转矩恒功率四象限运转负载
直接速度控制	通过对变频器的输出电压、输出电流进行检测经坐标变换处理	坐标变换	更快的响应速度, 更小的转矩脉动, 更稳定的精度	恒转矩恒功率四象限运转负载
非线性控制: 自适应控制; 滑模变结构控制; 智能控制。				

4 要根据负载特性选用变频器

负载被转动时要求电机产生转矩, 其大小随负载各种条件而变化。但如果负载侧其它条件不变, 或者负载侧处于有效地进行正规控制的状态下, 表示各种转速下转矩大小的转矩-速度曲线, 根据其形状大体可分为 3 类, 如图 1 所示。



注: ①为恒转矩负载; ②为平方转矩负载; ③为恒功率(转矩与转速成反比)。

图 1 典型的负载转矩特性

4.1 恒转矩负载

负载具有恒转矩特性。例如起重机械之类的位能性负载需要电机提供与速度基本无关的恒定转矩-转速特性, 即在不同转速时负载转矩不变。当然负载的转矩-转速特性随负载自身的变化而变化。例如, 若改变

收稿日期: 2008-10-08

作者简介: 吴忠智(1933-), 教授级高工, 博士导师。先后在设计研究院从事自动化、电磁兼容、变频器应用设计研究工作, 并参加国际电气电子工程师学会(IEEE), 为高级会员。曾在美国修订 EMC 标准。

升降机提升货物的重量,则对应不同负载重量有不同的转矩特性。

v/f 比一定控制只能在一定调速范围内近似维持磁通为恒定,在相同的转矩相位角的条件下,如果能够控制电机的电流为恒定,即可控制电机的转矩为恒定。

严格地说,只有 E/f 控制比为恒定才能控制电机的转矩为恒定。

传动标准电机,由于电机低速时的温升对转矩有限制,如在低速区需要恒转矩,如输送带、起重机、台车、机床进给、挤压机,可以采用矢量控制方式达到在全速范围内额定转矩控制。

4.2 平方减转矩负载

以风机、泵类为代表的平方减转矩负载,如图 2 所示。在低速下负载转矩非常小,用变频器运转在温度、转矩方面都不存在问题,只考虑在额定点变频器运转引起的损耗增大即可。一般厂家都生产有节能型变频器,既经济又达到节能要求,比调节挡板、阀门可节能 40%~50%。

还有,不进行 v/f 一定控制,而采用图 2 虚线所示的模式下降频率,则电机效率提高,可以达到更大的节能效果。

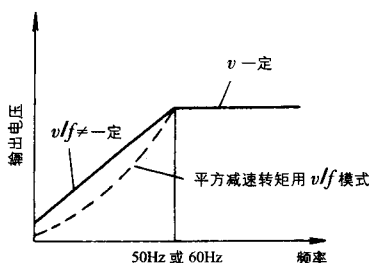


图 2 通用变频器的 V/f 模式

传动平方减转矩负载应注意的问题是,速度提高到工频以上,所需功率急剧增加,有时超过电机、变频器的容量,导致不能运转或过热,所以不要轻易提高频率。

通常,传动系统的额定选为图 1 中的 A 点,但对于恒功率负载多选为 B 点。此外,这些曲线多数只表示正常状态下的特性,但根据负载的种类,有时加速减速时的曲线与此不同,所以要注意。

4.3 恒功率负载

与恒转矩调速类似,恒功率调速亦包含两种含义:

(1) 负载具有恒功率的转矩-转速特性,恒功率的转矩-转速特性指的是负载在速度变化时需要电机提供的功率为恒定,下述类型的负载具有此特性。

① 以同一台轧机,在轧制小件时用高速轧制,轧制大件时用低速。因低速时轧制量大,故需较大转矩。

② 当车床以同一圆周速度加工不同直径的工件

时,假定车刀的切削力相等,则工件直径小的转速高、转矩小,直径大的时候转速低、转矩大。

③ 当卷绕机用同样的张力卷绕以同一速度出来的板材或线材时,因开始卷绕的卷筒直径小,因此用较小的转矩即可,但转速较高。随着不断地卷绕,卷筒直径变粗,转矩随之变大,转速相应变低。

④ 运输机械在运输重物时速度慢,轻载时速度快。无论是高速还是低速,所需动力不变。

对上述负载进行调速时,随着速度的变化,电机应能满足负载的转矩要求。

(2) 电机具有输出恒功率能力。当电机的电压随着频率的增加而升高时,若电机的电压已经达到电机的额定电压,继续增加电压有可能破坏电机的绝缘。为此,在电机达到额定电压以后,即使频率增加仍维持电机电压不变。这样电机所能输出的功率由电机的额定电压和额定电流所决定,不随频率的变化而变化,即具有恒功率特性。

使用恒转矩调速的电机驱动变转矩负载,例如风机、水泵时,速度变化到低速时电机所能输出的转矩仍有剩余,因此恒转矩调速电机可以满足调速要求。但是恒转矩调速驱动恒功率负载时,低速转矩可能满足不了负载要求。

异步电机变频调速时,通常在基频以下采用恒转矩调速,基频以上时采用恒功率调速。

5 所选配套设备达到国家和国际标准

在实践应用中往往缺配套设备变频器无法投运,或者损坏其它设备,主要是由于变频器输入输出都有谐波电流,为此产生一系列问题。根据配电系统情况按表 3 配置相应的配套设备,达到国际和国家标准。

为了限制变流装置对电力系统的谐波干扰,有利于电力电子装置的推广应用,世界各国都相继制定了国家标准,以保证电网的供电质量。其中最具有权威性的是美国电气和电子工程师协会(IEEE)制定并作为美国国家标准(ANSI)的 IEEE-519。

IEEE-519 在 1981 年首次颁布,称为“IEEE std. 519-1981 关于静态功率变换器的谐波控制和无功补偿的指南”。1992 年经修订后又重新发布了“IEEE std. 519-1992”,称为“IEEE 对电功率系统中谐波控制的要求和推荐标准”。该标准详细分析了波形畸变的原因及其影响;确定了判别畸变程度的参量,制定了对电力系统中波形畸变的限制,介绍了波形畸变的分析方法和控制措施等,对从事大功率变频调速系统开发和应用的工程技术人员具有指导性的作用。

IEEE 中用来判别波形畸变的最主要指标是畸变系数(或谐波系数) DF :

$$DF = \frac{\sqrt{\sum H_n^2}}{H_1} \cdot 100\% (n > 1)$$

表4列出IEEE对公共供电点(PCC)处电压畸变的限制要求。表5可用于正常运转条件下(连续运行1h以上)“最坏情况”的系统设计。短期起动或非正常条件下,限制值可超过50%。

另一方面,从前面的分析已经知道,一个非线性负载造成的畸变电压,还与该负载的电流在电源阻抗上产生的压降大小有关,即与负载容量的大小有关。为此引入参数 I_{sc}/I_L ,表示在PCC点上电源短路电流与最大基波负载电流之比。IEEE允许负载容量较小的用户引入供电点的谐波电流可以大一些,这有利于合理分配用电和合理设计变流装置。

表4 IEEE的综合电压畸变率限制值

系统电压	专用系统(整流器)	一般电力系统
2.4~69kV	8%以下	8%以下
115kV以上	1.5%以下	1.5%以下

表5 通用供电系统电流畸变的限制(120V~69kV)

I_h/I_1	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

中国在国际GB12668-90中规定,电压稳态相对谐波含量的方均根值不超过10%,其中任何奇次谐波均不超过5%,任何偶次谐波均不超过2%,短时(持续时间小于30s)出现的任一次谐波含量不超过10%。我国在1993年对电能质量做了规定,对公用电网谐波如表6、7的规定。

表6 公用电网谐波电压(相电压)极限值

电网标称电压/kV	电压总谐波畸变率/%	各次谐波电压含有率/% 奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2.0
6(10)	4.0	3.2	1.6
35(66)	3.0	2.4	1.2
110	2.0	1.6	0.8

表7 注入公共连接点的谐波电流允许值

标准电压 /kV	基准短路容量 /MVA	谐波次数及谐波电流允许值/A																								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24	11	12	9.7	18	8.6	16	7.8	8.9	7.1	14	6.5	12	
6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13	6.1	6.8	5.3	10	4.7	9.0	4.3	4.9	3.9	7.4	3.6	6.8	
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9	3.7	4.1	3.2	6.0	2.8	5.4	2.6	2.9	2.3	4.5	2.1	4.1	
35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	7.4	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	3.2	1.5	1.9	1.4	2.7	1.3	2.5	
60	500	16	13	8.1	13	5.4	9.3	4.1	4.3	3.3	5.9	2.7	5.0	2.3	2.6	2.0	3.8	1.8	3.4	1.6	1.9	1.5	2.8	1.4	2.6	
110	750	12	9.6	6.0	9.6	4.0	6.8	3.0	3.2	2.4	4.3	2.0	3.7	1.7	1.5	1.5	2.8	1.3	2.5	1.2	1.4	1.1	2.1	1.0	1.9	

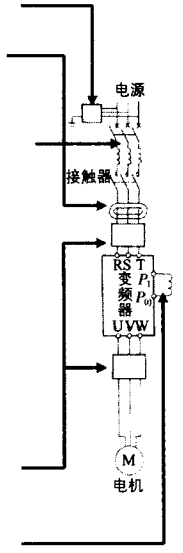
参考文献

- [1]吴忠智,黄立培,吴加林.调速用变频器及配套设备选用指南[M].第2版.机械工业出版社,2006
[2]吴忠智,吴加林.变频器原理及应用指南[M].中国电力工业出版社,2007

- [3]吴忠智,吴加林.变频器应用手册[M].第3版.机械工业出版社,2007
[4]吴忠智.工业与民用建筑电磁兼容设计[M].中国建筑工业出版社,1993

(责任编辑 祝晓艳)

表3 变频器主接线配套设备选择表

名称(型号)	功能	安装位置
避雷器(FS3-0.38)	吸收由电源侵入的感应雷击电涌,保护与电源相连接的机器时使用(30kW以上,标准装备)	
降低无线电干扰的零相电抗器(FL-Z)	无线电干扰严重时,作为降低这种干扰的措施,可使用这种零相电抗器	
电源协调用交流电抗器(AC电抗器)	(1)电源容量为500kVA以上时,适用这种电源协调用交流电抗器 (2)同一电源上有晶闸管变频器负载时,使用这种电抗器。在电源端有通过开一关控制调整功率因数的电容器时使用这种电抗器 (3)电源电压有超过3%的非平衡率时使用这种交流电抗器 电源电压非平衡率(%) = $\frac{\text{最高电压} - \text{最低电压}}{\text{三相平均电压}} \times 100\%$	
电源滤波器(FL-7)	防止由变频器产生的干扰时使用,分为电源端用滤波器和负载端用滤波器(适用于22kW以下)	
改善功率因数的直流电抗器(DC电抗器)	为了改善变频器功率因数而使用这种直流电抗器。改善后的因数 $\approx 0.94 \sim 0.95$	
电源吸收器(AS1)(AS2)	AS1: 电磁接触器用 AS2: 小型控制继电器、计时器用	注:除AC电抗器、DC电抗器、制动电阻和制动单元,需要其它选用件时,请与变频器制造公司联系
电涌抑制器(SL)	吸收由外部侵入的电涌或干扰,防止操作盘内使用的电子仪器误动作时使用这种电涌抑制器	
频率设定器(FW3-4.7k)	频率设定用电位器	