

# 通用变频器应用技术指南（一）

成都希望森兰变频器制造有限公司 蔡士齐编著

## 一、通用变频器基本原理

本资料所述通用变频器是指适用于工业通用电机和一般变频电机、并由一般电网供电（单相 220V、三相 380V 50HZ）、作调速控制的变频器。此类变频器由于工业领域的广泛使用已成为变频器的主流。调速的基本原理基于以下公式：

$$n_1 = \frac{60f_1}{P} \quad (1-1)$$

式中  $n_1$ ——同步转速（r/min）  
 $f_1$ ——定子供电电源频率（HZ）  
 $P$ ——磁极对数

一般异步电机转速  $n$  与同步转速  $n_1$  存在一个滑差关系

$$n = n_1 (1-S) = \frac{60f_1}{P} (1-S) \quad (1-2)$$

式中  $n$  ——异步电机转速  
 $S$  ——异步电机转差率

由（1—2）式可知，调速的方法可改变  $f_1$ 、 $P$ 、 $S$  其中任意一种达到，对异步电机最好的方法是改变频率  $f_1$ ，实现调速控制。

由电机理论，三相异步电机每相电势的有效值与下式有关。

$$E_1 = 4.44 f_1 N_1 \Phi_m \quad (1-3)$$

式中  $E_1$ ——定子每相电势有效值（V）  
 $f_1$ ——定子供电电源频率（Hz）  
 $N_1$ ——定子绕组有效匝数  
 $\Phi_m$ ——定子磁通（Wb）

由（1—3）式可分成两种情况分析

1) 在频率低于供电的额定电源频率时属于恒转矩调速

变频器设计时为维持电机输出转矩不变，必须维持每极气隙磁通  $\Phi_m$  不变，从（1—3）式可知，也就是要使  $E_1/f_1 = \text{常数}$ 。如忽略定子漏阻抗压降，可以认为供给电机的电压  $U_1$  与频率  $f_1$  按相同比例变化，即  $U_1/f_1 = \text{常数}$ 。

但是在频率较低时，定子漏阻抗压降已不能忽略，因此要人为地提高定子电压，以作漏抗压降的补偿，维持  $E_1/f_1 \approx \text{常数}$ ，此时变频器输出  $U_1/f_1$  关系如图 1—1 中的曲线 2，而不再是曲线 1。

多数变频器在频率低于电机额定频率时，输出的电压  $U_1$  和频率  $f_1$  类似图 1—1 中曲线 2，并且随着设置不同，可改变补偿曲线的形状，使用者要根据实际电机运行情况调整。

2) 在频率高于定子供电的额定电源频率时属于恒功率调速。

此时变频器的输出频率  $f_1$  提高，但变频器的电源电压由电网电压决定，不能继续提高。根据公式（1

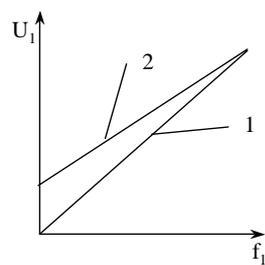


图1-1  $U/f$  关系  
 1--- $U_1/f_1 = \text{常数}$   
 2--- $E_1/f_1 = \text{常数}$

—3),  $E_1$  不能变,  $f_1$  提高必然使  $\Phi_m$  下降, 由于  $\Phi_m$  是与电流或转矩成正比, 因此也就使转矩下降, 转矩虽然下降了, 但因转速升高了, 所以它们两的乘积并未变, 转矩与转速的乘积表征着功率。因此这时候电机处在恒功率输出的状态下运行。

异步电机变频调速恒转矩和恒功率区域状态的特性如图 1—2 所示。

由以上分析可知通用变频器对异步电机调速时, 输出频率和电压是按一定规律改变的, 在额定频率以下, 变频器的输出电压随输出频率升高而升高, 即所谓变压变频调速 (VVVF)。而在额定频率以上, 电压并不变, 只改变频率。

实际上多数变频调速场合是用于额定频率以下, 低频时采用的补偿都是为了解决低频转矩的下降, 其采用的方式多种多样。有矢量控制技术, 直接转矩控制技术以及拟超导技术 (森兰变频特有专利技术) 等等。其作用不外乎动态地改变低频时的变频器输出电压、输出相位或输出频率, 也就是利用电路和电脑技术, 实时地而不是固定地改变图 1—2 中曲线 1 的形状达到低速时力矩提升, 并且稳定运行, 又不至于电流流过太大而造成故障。

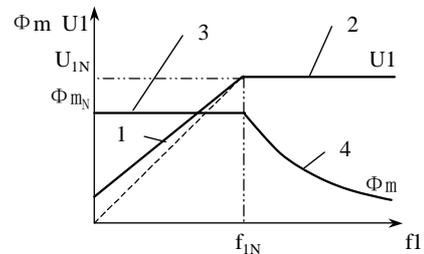


图1-2 异步电机调速时的输出特性  
1---恒转矩时的电压曲线  
2---恒功率时的电压曲线  
3---恒转矩时的转矩曲线  
4---恒功率时的转矩曲线  
 $\Phi_m$ 的大小表征电机转矩大小, 因此 $\Phi_m$ 曲线可看作转矩曲线

通用变频器的基本电路如图 1—3 所示, 它由 4 个主要部分组成, 分别是:

1. 整流部分, 把交流电压变为直流电压;
2. 滤波部分, 把脉动较大的交流电进行滤波变成比较平滑的直流电;
3. 逆变部分, 把直流电又转换成三相交流电, 这种逆变电路一般是利用功率开关元件按照控制电路的驱动、输出脉冲宽度被调制的 PWM 波, 或者正弦脉宽调制 SPWM 波, 当这种波形的电压加到负载上时, 由于负载电感作用, 使电流连续化, 变成接近正弦形波的电

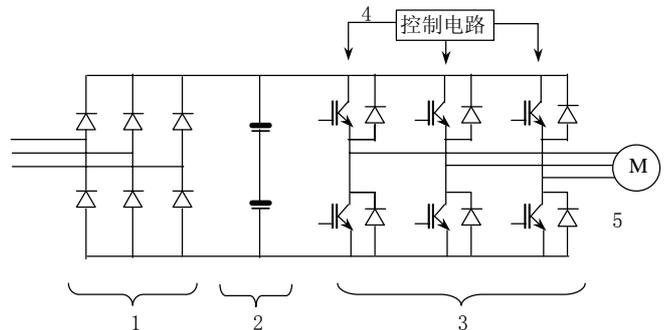


图1-3 通用变频器基本电路

- 1---整流部分      2---滤波部分      3---逆变部分  
4---控制部分      5---负载

4. 控制电路是用来产生输出逆变桥所需要的各驱动信号, 这些信号是受外部指令决定的, 有频率、频率上升下降速率、外部通断控制以及变频器内部各种各样的保护和反馈信号的综合控制等。

特别要指出的, 通用变频器对负载的输出波形都是双极性 SPWM 波, 这种波形可以大幅度提高变频器的效率, 但同时这种波形使变频器的输出区

别于正常正弦波, 产生了变频器很多特殊之处, 需要使用者予以重视。双极性 SPWM 波如图 1—4 所示, 其中图 (a) 是三角形的载波与正弦形信号进行比较的情形, 图 (b) 是比较后获的 SPWM 波形。

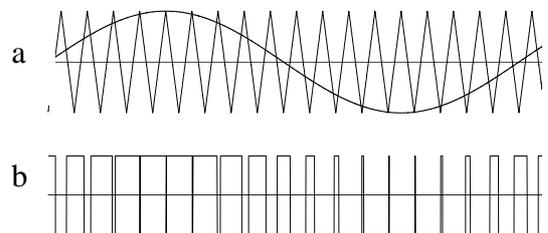


图 1-4 双极性 SPWM 调制图

## 二、森兰变频器基本系列介绍

森兰变频器基本系列、功率、特性简表如表 2—1，详细请见各系列产品《使用手册》

表 2-1 森兰变频器基本系列

系列	BT40	BT12	SB60G SB60P	SB61G SB61P	SB20	SB40	SB12
功率输入三相 380V (KW)	0.75~315	0.75~315	G 类 0.75~11 P 类 1.5~15	G 类 15~315 P 类 18.5~400	0.75~2.2	0.75~280	0.75~280
功率输入单相 220V (KW)	0.4~3.7				0.4~2.2		
控制方式	V/F	V/F	V/F 控制和矢量控制		V/F 控制	V/F 控制	V/F 控制
输频率范围	0.1~400	0.1~120	0.1~400	0.1~400	0.1~200	0.1~400	0.1~120
V/F 特性	有转矩提升、转差补偿	有转矩提升	线性或任意 V/F，有转矩提升，也可以矢量控制			有转矩提升、转差补偿	有转矩提升
加减速时间	0.1~3600s，4 种加减速时间，	0.1~3600s、加减速时间可单独设定	0.1~3600s，8 种加减速时间可选择直线或 S 形		0.1~99.9S、2 种加减速时间	0.1~3600s，4 种加减速时间	0.1~3600s、加减速时间可单独设定
程序运行	7 段频率速度、4 种运行模式	PID，多泵切换	5 种程序模式 15 段频率速度，		7 段频率速度	7 段频率速度、4 种运行模式	PID，多泵切换
附属功能	上限频率、下限频率、回避频率、电流限制、偏置频率、频率增益、失速控制、自动复位、S 加速曲线、点动控制、自动稳压、自动节能运行	上下限频率、回避频率、电流限制、偏置频率、频率增益、自动复位、自动稳压、定时换泵、睡眠、唤醒、消防、水位控制、顶时开关机	上限频率、下限频率、回避频率、电流限制、失速控制、自动复位、自动稳压、自动节能运行、瞬停再启动		上限频率、下限频率、有多功能输入端子、过载提醒、电机方向锁定、过压失速调节、过流失速调节、参数微调、类比输入频率/增益设定	上限频率、下限频率、回避频率、电流限制、偏置频率、频率增益、失速控制、自动复位、S 加速曲线、点动控制、自动稳压、自动节能运行	上下限频率、回避频率、电流限制、偏置频率、频率增益、自动复位、自动稳压、定时换泵、睡眠、唤醒、消防、水位控制、顶时开关机
模拟输入	4~20mA 0~5V/ (0~10V)	4~20mA 0~5V/ (0~10V)	4~20mA 0~5V/0~10V		4~20mA 0~5V/0~10V	4~20mA 0~5V/ (0~10V)	4~20mA 0~5V/ (0~10V)
命令输入	面板给定 外控端子	面板给定 外控端子	面板给定、外控端子、 上位机 RS485		面板给定 外控端子	面板给定 外控端子	面板给定、外控 端子、选件电位 器
运转输出信号	集中报警： 30A, 30B, 30C；开 路集电极输出： Y1, Y2, Y3 ；模拟信号输出 FMA、频率脉冲输 出 PO	集中报警： 30A, 30B, 30C；开 路集电极输出： Y1, Y2, Y3 ；模拟信号输出 FMA、压力上下限 报警： 30PA, 30PB, 30PC	多功能输出三 路	继电器输出三 路	继电器三路 多功能二路	集中报警： 30A, 30B, 30C； 多功能输出： Y1, Y2, Y3； 模拟信号输出 FMA	继电器输出： A1, B1, C1, A2, B 2, C2；多功能输 出端子 Y1, Y2； 一拖多端子： 1K1, 2K1, 3K1, 4 K1, 1K2, 2K2, 3K 2；
制动	小功率外接制动电阻/中大功率外接制动单元和电阻				外接制动电阻	小功率外接制动电阻/中大功率 外接制动单元和电阻	
防护等级	IP10	IP10	IP20	IP20	IP20	IP10	IP10

森兰变频器因各系列各有特点，因此使用前要根据用途合理选用。

1) BT40 系列有三相 380V 和单相 220V 电源供电，适合于通常工业控制调速场合，V/F=常数 的控制方式，而且有转矩提升功能，由用户根据需要而调整，使用操作比较方便。

2) BT12 系列是专门给风机水泵类负载设计的变频器，使用该系列有利于风机水泵调速系统的设计和简化，产品带有 PID、多泵切换、换泵、睡眠唤醒、消防控制、水位控制、定时开关机等功能。

3) SB60 系列是一种功能齐全的所谓“森兰全能王”系列，它能适应于要求较高的场合，产品中不仅有 V/F 开环和闭环模式，而且有无速度传感器矢量控制模式和 PG 速度传感器矢量控制模式，还可以利用 RS485 接口同上位机通讯。外壳采用塑料制作，美观大方，功率在 11~15KW。

SB60 系列安全性良好，防护等级比 BT40 和 BT12 高一个等级为 IP20，并已取得欧共体 CE 认证。

4) SB61 系列功能同 SB60 系列相当，功率较大，从 15~315KW，金属喷塑外壳，IP20 防护等级。

5) SB20 系列是小功率经济型系列，功能比 SB60 有所简化，适合一般小功率电机调速，体积小巧，

经济实用。

6) SB40 系列是 BT40 的改进型。外型、外观、使用特性、防护等级、可靠性都有所提高,使用贴片元件改善电气性能,减少干扰,使用温控风机延长了风机寿命,并有旋钮调频机种可供选用。

7) SB12 系列是 BT12 的改进型。有同 SB40 相似的改进范围。

8) SB80 系列变频器采用了最新的 32 位嵌入式高速电机控制专用数字处理器,利用模型参考自适应方法解决了电机电阻参数在线辨识的难题,实现了普通变频器难以涉及的高性能无速度传感器基于瞬时转子磁场定向的真正矢量控制算法。SB80 系列使用最新的模型自适应技术和励磁电流正弦注入检测技术,可以实现转速、定子电阻和转子电阻三个参数同时辨识,能准确辨识电机运行时的参数变化,结合本公司的专利技术“一种电流采样电阻”(专利号:01206891.8),使定子电阻和转子电阻检测精度和观测准确性有了极大的提高,不但可以消除参数初值误差的影响,还可以自动适应电机温度变化导致的参数变化的影响,使磁通观测和速度辨识准确。上述先进技术的使用,首次实现了基于瞬时转子磁场定向和精确磁通观测的真正动态电流矢量控制,其参数辨识的稳定性和电流控制的快速性为停电再启动、旋转启动、快速加速减速、突变负载无跳闸控制提供了很好的解决手段,使 SB80 系列变频器完全达到了目前电机控制的国际领先水平。

### 三、变频器的选用原则

#### 3.1 变频器的输出功率和电流选择必须等于或大于被驱动异步电机的功率和电流。

由于变频的过载能力没有电机过载能力强,一旦电机有过载,损坏的首先是变频器(如果变频器的保护功能不完善的话);又如果设备上已选用的电机功率大于实际机械负载功率,但是有可能用户会把机械功率调节到达到电机输出功率,此时,变频器一定要可以胜任,也就是说变频器的功率选用一定要等于或大于电机功率。

个别电机额定电流值较特殊,不在常用标准规格附近,又有的电机额定电压低,额定电流偏大,此时要求变频器的额定电流必须等于或大于电机额定电流。

#### 3.2 必须认清变频器调速与机械变速存在本质上的区别。

绝对不能不假思索地将某电机使用机械变速改为相同功率的变频器变速。因为功率是转矩与转速的乘积:

$$P = M \omega = (9.81m) \times \left( \frac{2\pi}{60} n \right) = 1.027 m \cdot n \quad (3-1)$$

式中 M —— 转矩 牛顿米 (1 牛顿米 = 9.81 公斤米)  
 $\omega$  —— 角速度 弧度/秒 (1 弧度/秒 =  $\frac{2\pi}{60}$  转/分)  
 或 m —— 转矩 公斤米  
 n —— 转速 转/分

机械变速时(例如齿转变速、皮带变速)、若变比为 K,在电机功率不变时,忽略变速器效率,  $P = 1.027 m \cdot n = 1.027 (K \times m) \cdot \left( \frac{n}{K} \right)$ ,即转速下降 K 倍,会造成转矩可升高 K 倍,它属于恒功率负载,这就如图 3—1 的曲线 1 所示。

而变频器的转矩——转速曲线如图 1—2 曲线 3 所示,低于额定频率时,恒转矩运行,电机不能提高输出转矩。高于额

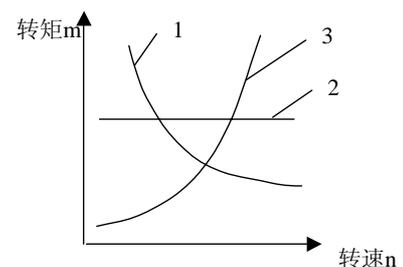


图3-1不同负载的机械特性  
 1---恒功率负载(例如:卷绕机)  
 2---恒转矩负载(例如:传送带)  
 3---平方率负载(例如:风机水泵)

定频率时，转速升高转矩下降。

图 3—1 表示常见的不同负载机械特性。图中 3 为平方律负载（例如风机、水泵）、2 为恒转矩负载（例如传送带），这二种负载在电机低与额定频率运行时，负载力矩没有增加，所以当在额定频率以下时，可以按电机功率大小配置变频器功率。

图 3—1 1 是恒功率负载（例如切削机床），低速时力矩增加；而变频器和电机低于额定频率时电流被限制，力矩不能增加，所以变频器调低电机转速有可能会造成电机带不动负载，选用时要根据减速造成力矩增加的比例，选用比原电机功率大的电机和变频器。例如原来 1.5KW 电机，负载转矩 1kgm, 转速 1460 转/分，机械变速后转速降到 720 转/分，转矩就可达 2kgm, 但原来的电机和变频器不可能输出 2kgm 的转矩。因此，要改变电机和变频器都是  $1.5 \times 2 = 3KW$ ，选用标准功率 3.7 或 4KW 的才行。

3.3 变频器的选用型号应根据使用要求而作细仔考虑。

(1) 基本考虑内容是使用环境条件、电网电压、负载大小及性质。

(2) 环境温度长期较高，安装在通风冷却不良的机柜内时，会造成变频器寿命缩短。电子器件、特别是电解电容等器件、在高于额定温度后，每升高  $10^{\circ}C$  寿命会下降一半，因此环境温度应保持较低，除设置完善的通风冷却系统以保证变频器正常运行外，在选用上增大一个容量等级，以使额定运行时，温升有所下降是完全必要的。

(3) 电网电压处于不正常时，将有害于变频器，电压过高，如对 380V 的线电压如上升到 450V 就会造成损坏，因此电网电压超过使用手册规定范围的场合，要使用变压器调整，以确保变频器的安全。

(4) 高海拔地区因空气密度降低，散热器不能达到额定散热器效果，一般在 1000m 以上，每增加 100m 容量下降 10%，必要时可加大容量等级，以免变频器过热。

(5) 使用于不同用途时，选择变频器的系列型号应作分析，对于一般用途变频器采用 V/F = 常数控制方式已可满足，对于负载变化范围大，而且又要求较高运转精度要求的场合，特别是低速时要求有稳定的速度和负载能力时，则要选用矢量控制等方式的变频器，对数控机床等精密传动还要采用闭环控制和有速度传感器的方式，相应的变频器也要有这些配合的接口，选用时需要综合考虑。

(6) 变频器使用不同场所对变频器的防护等级要作选择，为防止鼠害、异物等进入应作防护选择，常见 IP10、IP20、IP30、IP40 等级分别能防止  $\Phi 50$ 、 $\Phi 12$ 、 $\Phi 2.5$ 、 $\Phi 1$  固体物进入。

(7) 当变频器为降低电动机噪声而将调制频率重新设置得较高并超过出厂设置频率时，会造成变频器损耗增大。设置频率越高，损耗越大，因此要适当减载，图 3-2 表示不同调制频率和负载率时的相应减载曲线，不同公司、不同系列会有差别，但趋势是相似的。不少使用者由于不懂这一点，一味增加调制频率，造成变频器过热而损坏，或者变频器输不出额定功率。

(8) 矢量控制方式只能对应一台变频器驱动一台电机，而且变频器的额定电流应等于或大于电机额定电流，电机的实际使用电流不能比额定电流太小（不低于变频器额

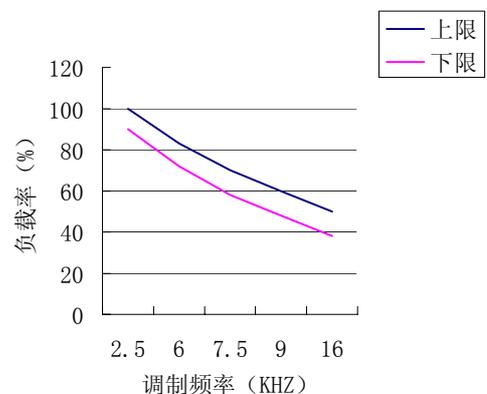


图3-2 不同调制频率与负载率降低的关系

定电流的 1/8)。为了正确地使用矢量控制，在驱动前，变频器对电机冷态参数还需进行输入或自动识别。

(9) 一台变频器驱动多台电机时，变频器容量应比多台电机容量之和大，并且只能选择 V/F 控制模式，不能用矢量控制模式。

(10) 当多台变频器的逆变单元共用一个整流 / 回馈单元时，即采用公共直流母线方式，有利于多台逆变器制动能量的储存和利用，此时整流 / 回馈单元的容量要足够大，并要有防止小功率变频器整流桥过载损坏的措施。使用中多台电机不能同时制动。

(11) 对风机水泵类负载（即平方律负载），如原来使用阀门、风门调节流量，当改用变频器调速控制流量时，就会带来大幅度节能。而摩擦类负载（恒转矩负载），使用变频调速的节能效果基本上不能体现，对用机械变速扩大转矩的场合，使用变频器还可能带不动负载，这在选用时必须充分注意！在这些场合使用变频器，其目的是工作机械需要作速度调整。