

变频器功能解析(讲座)

变频器功能解析

—变频器的保护和显示功能 Protection and Monitor Function of the Inverter

摘要: 本文介绍了变频器的保护和显示功能。

关键词: 过载 过电流 过电压 欠电压 防止跳闸 瞬时停电 重合闸 运行数据 端子功能 跳闸原因

Abstract: This paper introduced the protection and monitor function of the inverter.

Keywords: Over load Over current Over voltage Under voltage Stall prevention Momentary power loss Restart Running data State of terminals Cause of trip

1 电动机过载的保护功能

1.1 基本概念

电动机过载的基本特征是温升超过额定温升。因此,从根本上说,对电动机进行过载保护的目的是,使电动机不因过热而烧坏。

1.1.1 电动机的温升曲线

(1) 温升曲线及其含义

电动机运行时,其损耗功率(主要是铜损)必然要转换成热能,使电动机的温度升高。

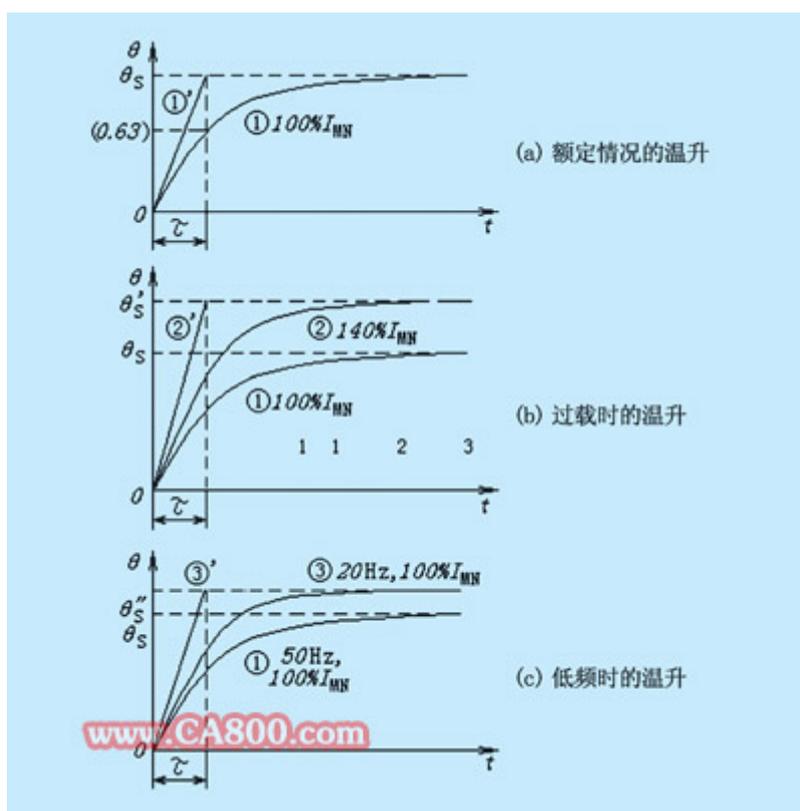


图 1 电动机的温升曲线

电动机的发热过程属于热平衡的过渡过程。因此,基本规律和其他的过渡过程相同,其温升也遵循按指数曲线上升(或下降)的规律,如图 1(a)中曲线①所示。其物理意义是:由于电动机在温度升高的同时,必然要向周围散热,温升越大,散热也越快。故温升不可能按线性规律上升,而是越升越慢。当电动机产生的热量和散发的热量相平衡时,温升不再增... ..

讲座一

—频率的给定与相关功能 Reference and Interrelated Function for Inverter

摘要: 本文综述了变频器的各种频率给定功能, 以及某些相关的功能, 并举例说明了它们的应用。

关键词: 频率给定 面板给定 外接模拟量给定 频率给定线 偏置频率

Abstract: This paper introduced all reference and interrelated function with inverter. And gave some examples for application.

Keywords:

Frequency command Keyboard frequency command External analog input Curve of analog frequency command

1 频率给定的方式与选择

1.1 基础概念

(1) 给定方式的基本含义

要调节变频器的输出频率, 必须首先向变频器提供改变频率的信号, 这个信号, 称为频率给定信号, 也有称为频率指令信号或频率参考信号的。所谓给定方式, 就是调节变频器输出频率的具体方法, 也就是提供给定信号的方式。

(2) 面板给定方式

通过面板上的键盘或电位器进行频率给定(即调节频率)的方式, 称为面板给定方式, 面板给定又有两种情况如图 1 所示:

(a) 键盘给定频率的大小通过键盘上的升键(▲键)和降键(▼键)来进行给定。键盘给定属于数字量给定, 精度较高。

(b) 电位器给定部分变频器在面板上设置了电位器, 如图 1(a)所示。频率大小也可以通过电位器来调节。电位器给定属于模拟量给定, 精度稍低。

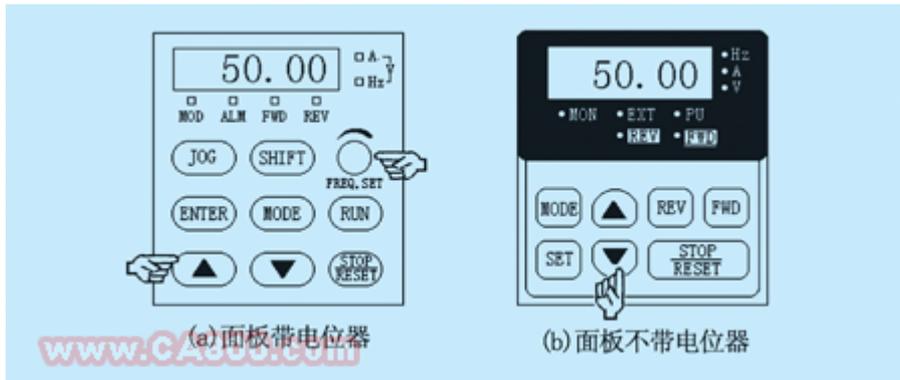


图 1 频率的面板给定方式

多数变频器在面板上并无电位器, 故说明书中所说的"面板给定", 实际就是键盘给定。变频器的面板通常可以取下, 通过延长线安置在用户操作方便的地方, 如图 2 所示。

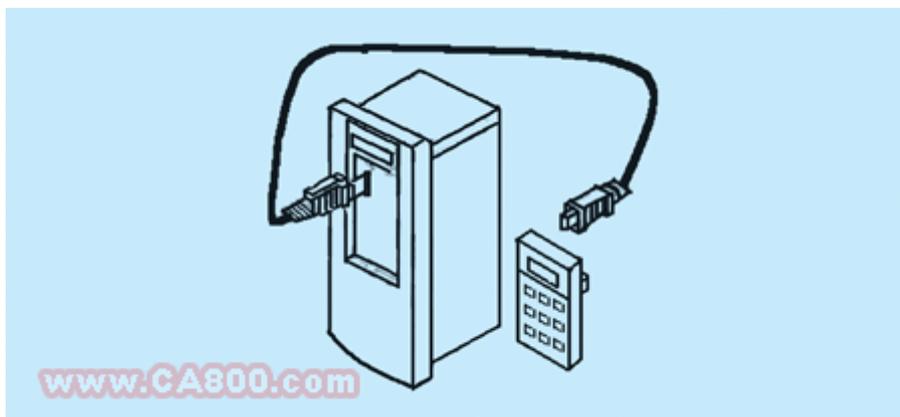


图 2 面板遥控给定

此外, 采用哪一种给定方式, 须通过功能预置来事先决定。

(3) 外部给定方式

从外接输入端子输入频率给定信号，来调节变频器输出频率的大小，称为外部给定，或远控给定。主要的外部给定方式有：

(a) 外接模拟量给定

通过外接给定端子从变频器外部输入模拟量信号(电压或电流)进行给定，并通过调节给定信号的大小来调节变频器的输出频率。

模拟量给定信号的种类有：

• 电压信号

以电压大小作为给定信号。给定信号的范围有:0~10V、2~10V、0~±10V、0~5V、1~5V、0~±5V 等。

• 电流信号

以电流大小作为给定信号。给定信号的范围有:0~20mA、4~20mA 等。

(b) 外接数字量给定

通过外接开关量端子输入开关信号进行给定。

(c) 外接脉冲给定

通过外接端子输入脉冲序列进行给定。

(d) 通讯给定

由 PLC 或计算机通过通讯接口进行频率给定。

1.2 选择给定方式的一般原则

(1) 面板给定和外接给定

优先选择面板给定。因为变频器的操作面板包括键盘和显示屏，而显示屏的显示功能十分齐全。例如，可显示运行过程中的各种参数，以及故障代码等。

但由于受联接线长度的限制，控制面板与变频器之间的距离不能过长。

(2) 数字量给定与模拟量给定

优先选择数字量给定。因为：

(a) 数字量给定时频率精度较高；

(b) 数字量给定通常用触点操作，非但不易损坏，且抗干扰能力强。

(3) 电压信号与电流信号

优先选择电流信号。因为电流信号在传输过程中，不受线路电压降、接触电阻及其压降、杂散的热电效应以及感应噪声等等的影响，抗干扰能力较强。

但由于电流信号电路比较复杂，故在距离不远的情况下，仍以选用电压给定方式居多。

2 模拟量给定的调整功能

2.1 基础概念

(1) 频率给定线的定义

由模拟量进行频率给定时，变频器的给定信号 X (X 是给定信号的统称，既可以是电压信号 U_G ，也可以是电流信号 I_G 与对应的给定频率 f_X 之间的关系曲线 $f_X=f(X)$ ，称为频率给定线。

(2) 基本频率给定线

(a) 定义

在给定信号 X 从 0 增大至最大值 X_{max} 的过程中，给定频率 f_X 线性地从 0 增大到最大频率 f_{max} 的频率给定线 称为基本频率给定线。其起点为($X=0$, $f_X=0$)；终点为 ($X=X_{max}$, $f_X=f_{max}$)，如图 3(a)和(b)所示。

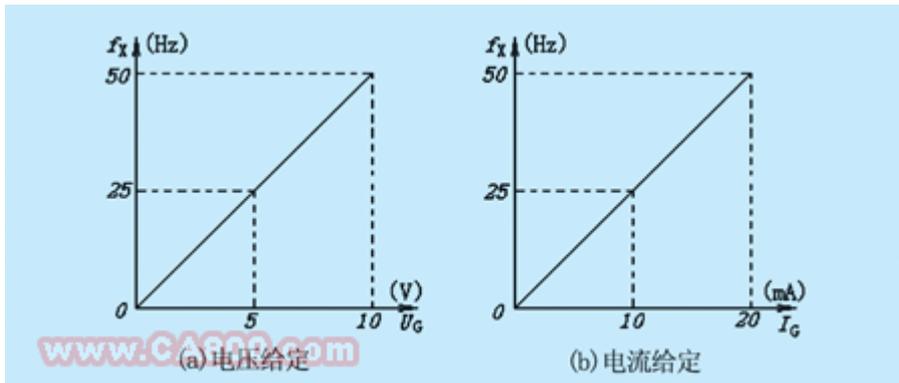


图3 基本频率给定线

例如，给定信号为 $U_G=0\sim 10V$ ，要求对应的输出频率为 $f_X=0\sim 50Hz$ 。

则： $U_G=0V$ 与 $f_X=0Hz$ 相对应； $U_G=10V$ 与 $f_X=50Hz$ 相对应。

(2) 最大频率 f_{max}

在数字量给定(包括键盘给定、外接升速/降速给定、外接多档转速给定等)时，是变频器允许输出的最高频率；在模拟量给定时，是与最大给定信号对应的频率。

(3) 频率给定线的调整

在生产实践中，生产机械所要求的最低频率及最高频率常常不是 $0Hz$ 和额定频率，或者说，实际要求的频率给定线与基本频率给定线并不一致。所以，需要对频率给定线进行适当的调整，使之符合生产实际的需要。

因为频率给定线是直线，所以，调整的着眼点便是：

(a) 频率给定线的起点

即当给定信号为最小值时对应的频率；

(b) 频率给定线的终点

即当给定信号为最大值时对应的频率。

2.2 偏置频率和频率增益设定方式

(1) 偏置频率

部分变频器把与给定信号为“0”时的对应频率称为偏置频率，用 f_{BI} 表示，如图4所示。偏置频率的表示方式主要有：

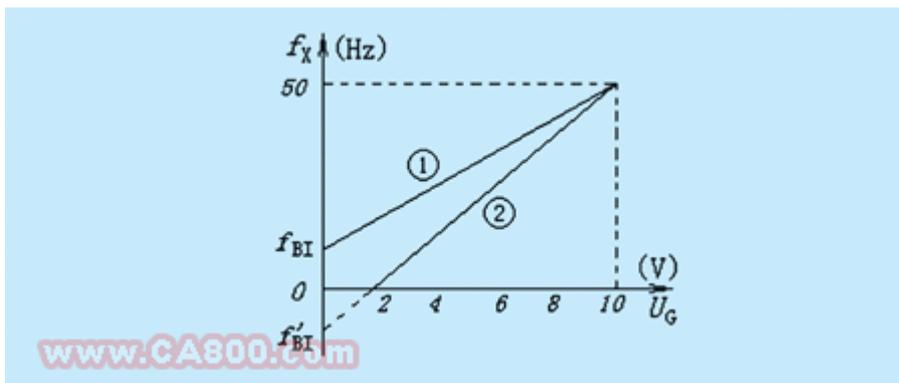


图4 偏置频率

(a) 频率表示

即直接用频率值 f_{BI} 值表示；

(b) 百分数表示

用百分数 $f_{BI}\%$ 表示：

(2) 频率增益

当给定信号为最大值 X_{max} 时，对应的最大给定频率 f_{XM} 与变频器预置的最大输出频率 f_{max} 之比的百分数，用 $G\%$ 表示：

式中， $G\%$ —频率增益， $\%$ ；

f_{max} —变频器预置的最大频率，Hz;

f_{XM} —虚拟的最大给定频率，Hz。在这里，变频器的最大给定频率 f_{XM} 不一定与最大频率 f_{max} 相等。

当 $G\% < 100\%$ 时，变频器实际输出的最大频率就等于 f_{XM} ，如图 5 中之曲线②所示(曲线①是基本频率给定线);

当 $G\% > 100\%$ 时，变频器实际输出的最大频率等于 f_{max} ，如图 5 中的曲线③所示。

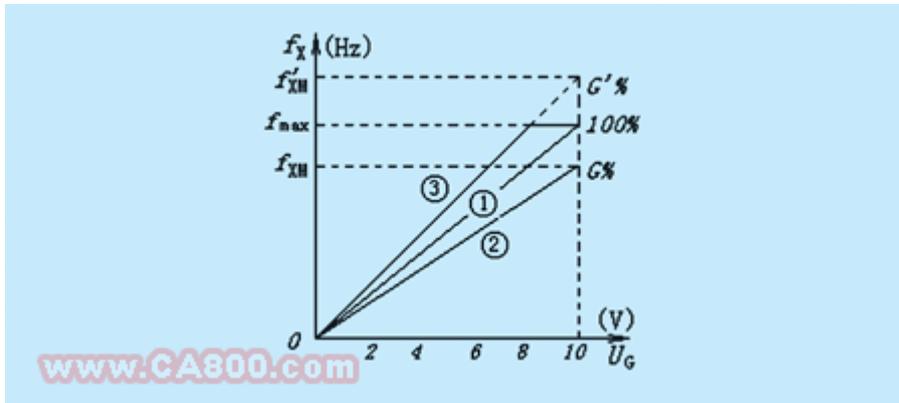


图 5 频率增益

2.3 坐标设定方式

部分变频器的频率给定线是通过预置其起点和终点坐标来进行调整的。不同变频器的具体方法又略有差异，介绍如下:

(1) 直接坐标预置

通过直接预置起点坐标(X_{min} , f_{min})与坐标(X_{max} , f_{max})来预置频率给定线，如图 6(a)所示。如果要求频率与给定信号成反比的话，则起点为(X_{min} , f_{max})，坐标为(X_{max} , f_{min})，如图 6(b)所示。

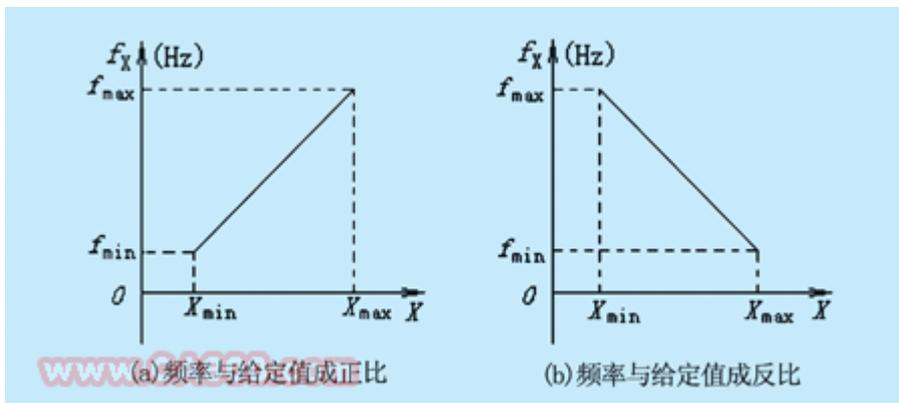


图 6 直接预置坐标调整频率给定线

(2) 上、下限值预置

有的变频器并不直接预置坐标点，而是通过预置给定信号或给定频率的上、下限值来间接地进行坐标预置。具体地说，又有:

(a) 预置给定信号的上、下限值

给定信号的最大限值用 X_{max} 表示; 最小限值用 X_{min} 表示，也可以用百分数 $X_{min}\%$ 来表示，如图 7(a)所示。

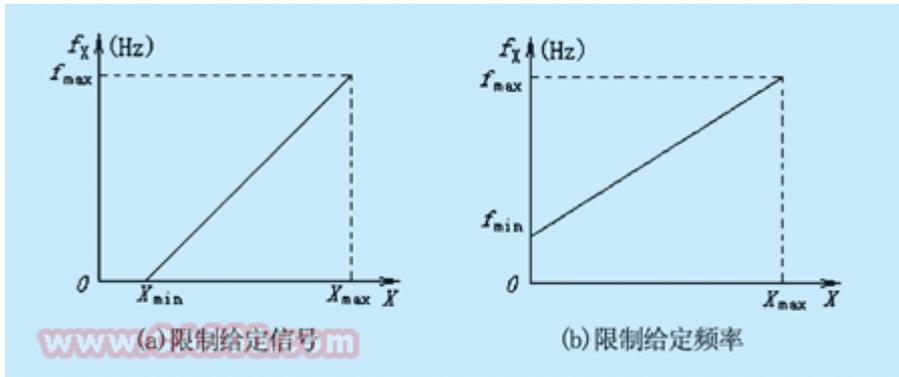


图7 频率给定线的起点与终点

(b) 预置给定频率的上、下限值

即给定频率的最大值 f_{max} 和最小值 f_{min} , 如图 7(b)所示。

2.4 频率给定线的应用举例

实例 1

某用户要求:当模拟量给定信号为 1~5V 时,变频器输出频率为 0~50Hz。

要满足上述要求,各种变频器的处理方法大致可分为两大类:

(1) 变频器的给定信号范围可选

对于这类变频器,可以将给定信号范围直接预置为 1~5V,使:与 1V 对应的频率为 0Hz,与 5V 对应的频率为 50Hz,作出频率给定线如图 8(a)中之曲线②所示(曲线①为基本频率线)。

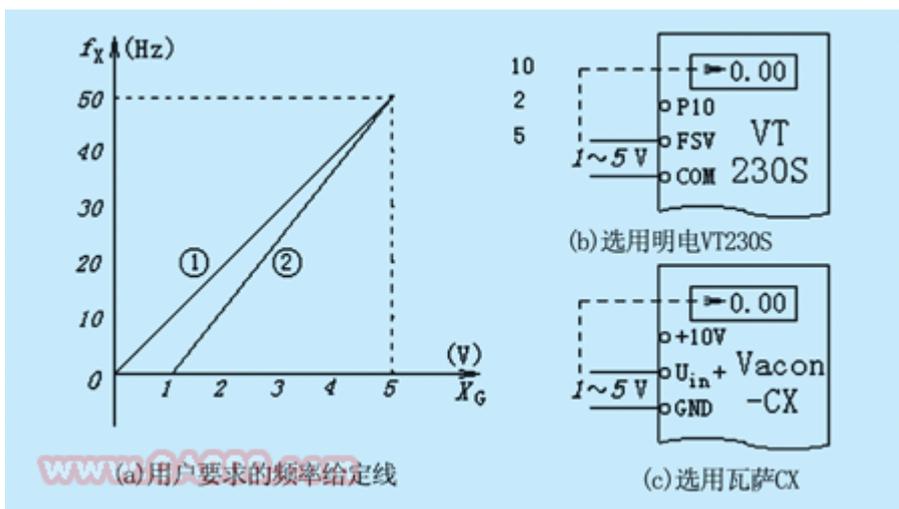


图8 实例 1 示意图之一

举例说明如下:

(a) 选用明电 VT230S 系列变频器,如图 8(b)所示:

将功能码 B00-1(最大频率的简单设定)预置为"1",则最高频率选择为"50Hz";

将功能码 C12-0(FSV 端子输入模式)预置为"3",则端子 FSV 输入的给定信号范围预置为"1~5V"。

(b) 选用瓦萨 CX 系列变频器如图 8 所示。

将功能码 1.2(最大频率)预置为"50Hz";

将功能码 2.3(U_{in} 信号的范围)预置为"1",则给定信号范围由用户设定;

将功能码 2.4(U_{in} 信号的最小值)预置为"10%",则端子 U_{in} 输入的给定信号的最小值为"10×10%=1V";

将功能码 2.5(U_{in} 信号的最大值)预置为"50%",则端子 U_{in} 输入的给定信号的最大值为"10×50%=5V"。

(2) 变频器的给定信号范围不可选

这类变频器的模拟量给定信号范围通常规定为 0~10V,针对这种情况,首先应正确作出频率给定线。

如图 9(a)所示,由" $X_G=1V$ 、 $f_X=0Hz$ "得到频率给定线②的起点 A;又由" $X_G=5V$ 、 $f_X=50Hz$ "得到频率给定线②的终点 B。图 9 中,曲线①为基本频率给定线。

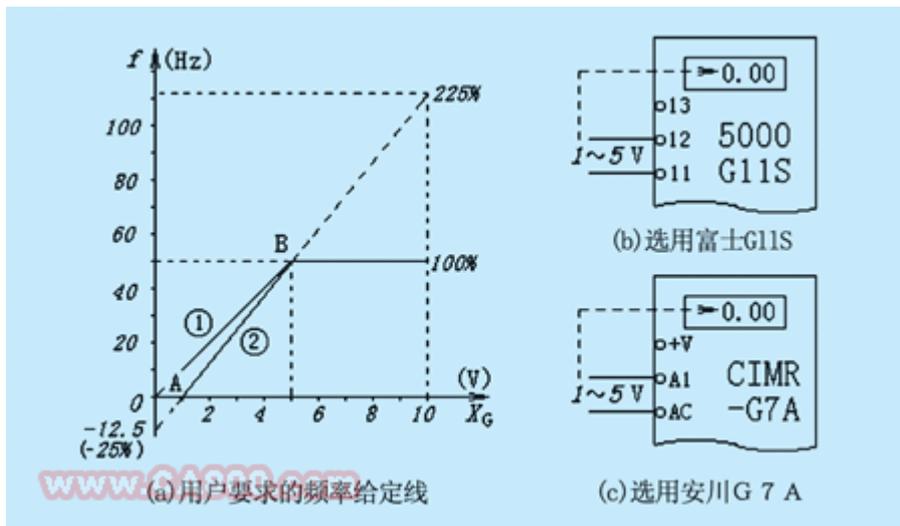


图9 实例1 示意图之二

由曲线②的延长线知:

与 $X_G=0V$ 对应的频率是 $f_{BI}=-12.5Hz$, 为最高频率的-25%;

与 $X_G=10V$ 对应的频率是 $f_{XM}=112.5Hz$, 为最高频率 f_{max} 的 225%。

不同变频器的功能预置情况举例如下:

(a) 选用富士 G11S 系列变频器, 如图 9(b)所示。

将功能码 F01(频率设定 1)预置为"1", 则给定信号从端子 12 输入, 信号范围为"0~+10V";

将功能码 F03(最高输出频率 1)预置为"50Hz";

将功能码 F17(频率设定信号增益)预置为"225%", 使与 5V 对应的频率为 50Hz;

将功能码 F18(频率偏置)预置为"-12.5Hz", 使与 1V 对应的频率为 0Hz。

(b) 选用安川 G7A 系列变频器, 如图 9(c)所示。

将功能码 E1-04(最高输出频率)预置为 50Hz;

将功能码 H3-01(选择频率指令端子 A1 的信号值)预置为"0", 则给定信号的范围为 0~+10V;

将功能码 H3-02(频率指令端子 A1 输入增益)预置为"225%", 使与 5V 对应的频率为 50Hz;

将功能码 H3-03(频率指令端子 A1 输入偏置)预置为"-25%", 使与 1V 对应的频率为 0Hz。

实例 2

用户要求:当模拟量给定信号为(0~10)V 时, 变频器的输出频率为(0~30)Hz。

解决方法:可将最大给定信号时的频率增益 G%预置为 60%, 如图 10 中曲线②所示。

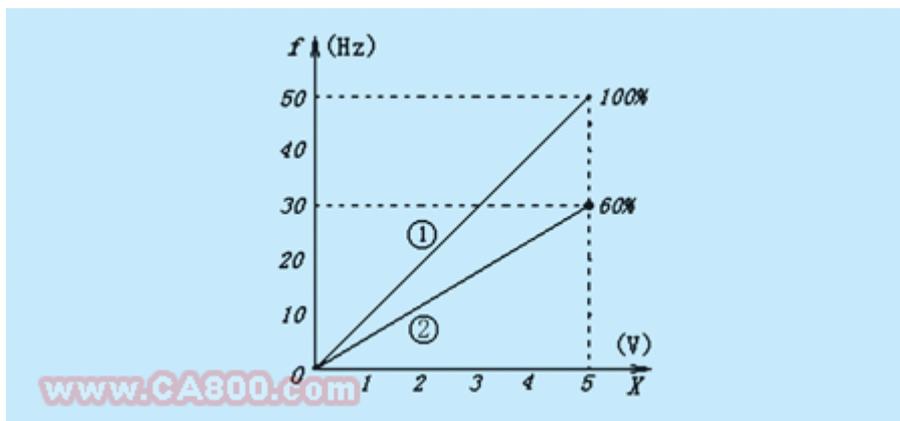


图 10 实例 2 之频率给定线

注意:变频器的最大频率不能小于基本频率(通常等于额定频率), 故本例中不能把最大频率预置为"30Hz"。

3 模拟量给定的正、反转控制与滤波

3.1 模拟量给定的正、反转功能

(1) 控制方式

主要有两种方式:

(a) 由双极性给定信号控制

给定信号可“-”可“+”，正信号控制正转，负信号控制反转，如图 11(a)所示。

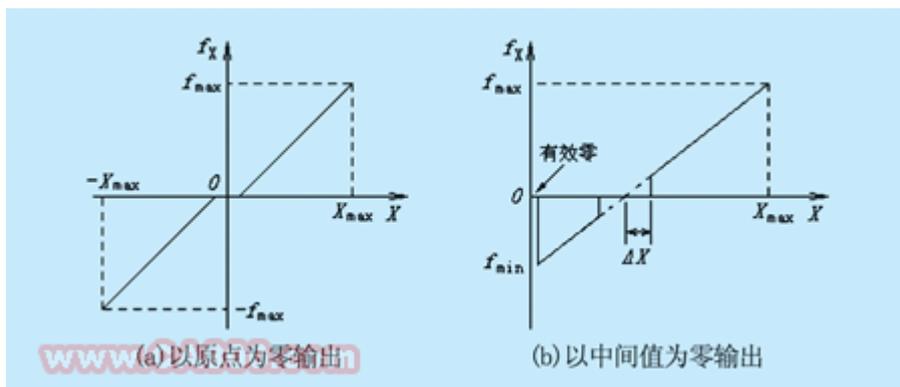


图 11 模拟量给定的正、反转控制

(b) 由单极性给定信号控制

给定信号只有“+”值，由给定信号中间的任意值作为正转和反转的分界点，如图 11(b)所示。

(2) 死区的设置

用模拟量给定信号进行正、反转控制时，“0”速控制很难稳定，在给定信号为“0”时，常常出现正转或反转的“蠕动”现象。为了防止这种“蠕动”现象，需要在“0”速附近设定一个死区 ΔX ，使给定信号从 $-\Delta X$ 到 $+\Delta X$ 的区间内，输出频率为 0Hz。

(3) 有效“0”的功能

在给定信号为单极性的正、反转控制方式中，存在着一个特殊的问题。即，万一给定信号因电路接触不良或其他原因而“丢失”，则变频器的给定输入端得到的信号为“0”，其输出频率将跳变为反转的最大频率，电动机将从正常工作状态转入高速反转状态。

十分明显，在生产过程中，这种情况的出现将是十分有害的，甚至有可能损坏生产机械。

对此，变频器设置了一个有效“0”功能。就是说，变频器的最小给定信号不等于 0 ($X_{\min} \neq 0$)。如果给定信号 $X=0$ ，变频器将认为是故障状态而把输出频率降至 0Hz。

例如，将有效“0”预置为 0.3V。则：

当给定信号 $X=0.3V$ 时，变频器的输出频率为 f_{\min} ；

当给定信号 $X < 0.3V$ 时，变频器的输出频率降为 0Hz。

3.2 模拟量给定的滤波时间

(1) 滤波时间的含义

变频器在接受模拟量给定信号时，首先要进行滤波，其物理意义与图 12 中的滤波电容类似(通常都采用数字滤波)。图中，纵坐标是给定信号的百分数 $X\%$ 。

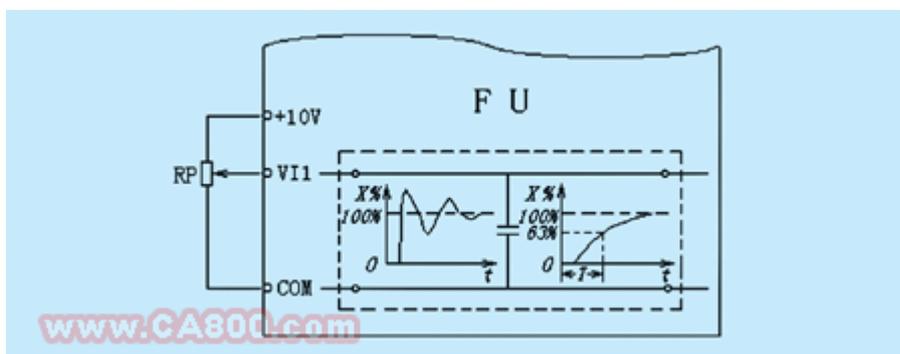


图 12 给定信号的滤波

滤波的目的，是消除干扰信号对频率给定信号的影响。

滤波时间常数，是指给定信号上升至稳定值 63%所需的时间。

(2) 滤波时间的影响

- 滤波时间太短

当变频器显示"给定频率"时,有可能不够稳定;

- 滤波时间太长

当调节给定信号时,给定频率随给定信号改变时的响应速度较慢。

4 辅助给定与其他功能

4.1 辅助给定功能

(1) 基本概念

当变频器有两个或多个模拟量给定信号同时从不同的端子输入时,其中必有一个为主给定信号,其他为辅助给定信号。

大多数变频器的辅助给定信号都是叠加到主给定信号(相加或相减)上去的。叠加后在频率给定线如图 13 中的曲线②和曲线③所示。

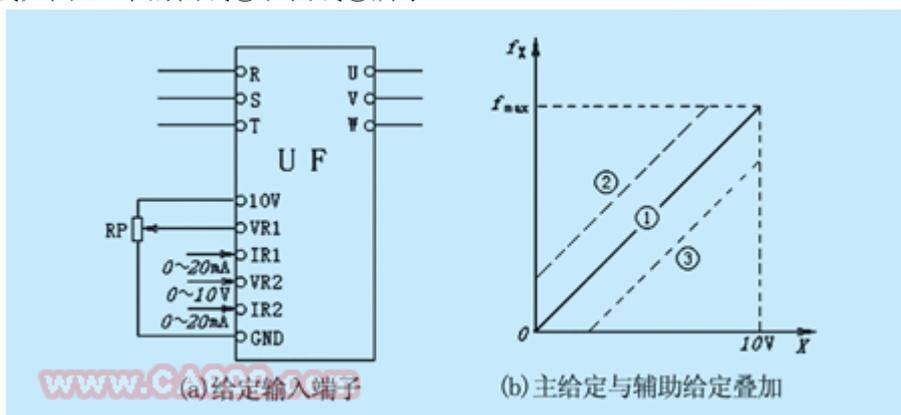


图 13 主给定与辅助给定

(2) 应用举例

(a) 多单元拖动系统的同步运行

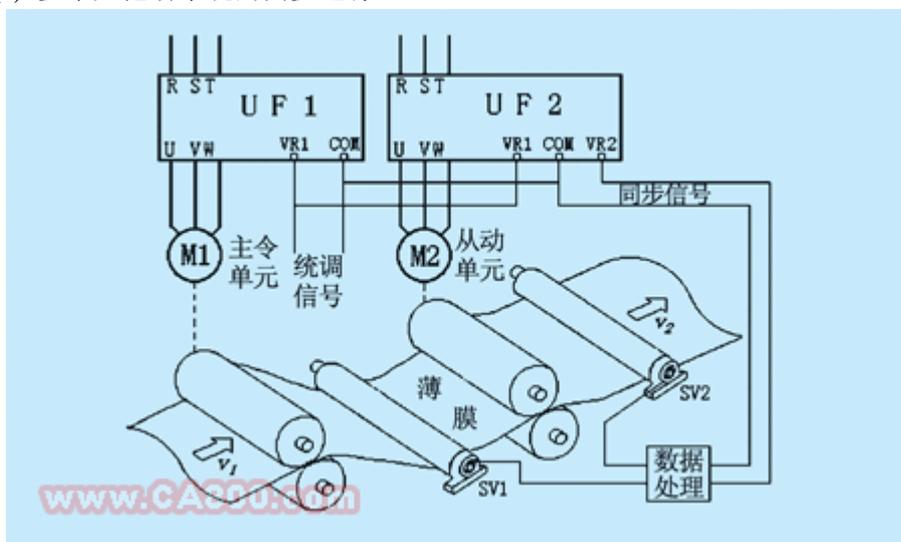


图 14 自动同步控制

在造纸、印染等机械中,整台机器具有若干个单元,每个单元都有各自独立的拖动系统,如图 14 所示:第 1 单元由电动机 M 1 拖动,第二单元由电动机 M 2 拖动……。通常,把第 1 单元称为主令单元,后面的各单元称为从动单元。在这种情况下,总是要求被加工物在各单元的线速度一致:显然,如果后面的速度低于前面,将导致被加工物的堆积;反之,如果后面的速度高于前面,将导致被加工物的撕裂。

因此,对于多单元拖动系统的要求是:

- 在调速时,各单元必须同时调节;
- 各单元的运行线速度必须步调一致,即实现同步运行。

(b) 同步信号的取出

通常,各单元都有线速度的检测装置,如图 14 中的 SV1 和 SV2 所示。

把 SV1 和 SV2 取出的线速度信号在数据处理器中进行比较后变换成同步信号,接至各从动单元的

辅助给定输入端，通过功能预置，使 VR1 端的主给定信号与 VR2 端的辅助给定信号相减。

(c) 电路特点，如图 14 所示。

- 统调信号

将各变频器的主给定端 VR1-COM 都并联起来，与统调给定信号相接，使各变频器的主给定信号同时改变，实现了统调。

- 各单元的微调

当从动单元与主令单元的不一致时，数据处理器将输出一个微调信号给从动单元，使从动单元的线速度和主令单元相等。

1 单元是主令单元，不需要进行微调。

4.2 频率给定的其他功能

(1) 频率指令的保持功能

变频器在停机后，是否保持停机前的运行频率的选择功能。再开机时，变频器的运行频率有两种状态可供选择：

- 保持功能无效

运行频率为 0Hz，如要回复到原来的工作频率，须重新加速。

- 保持功能有效

运行频率自动上升到停机前的工作频率。

(2) 点动频率功能

点动是各类机械在调试过程中经常使用的操作方式。因为主要用于调试，故所需频率较低，一般也不需要调节。所以，点动频率(用 f_J 表示)是通过功能预置来确定的。有的变频器也可以预置多档点动频率。

(3) 频率给定异常时的处理功能

给定信号异常大致有以下两种情形：

(a) 给定信号丢失

当外接模拟频率给定信号因电路接触不良或断线而丢失时，变频器处理方式的选择功能。例如，是否停机，如继续运行，则在多大频率下运行等。

(b) 给定信号小于最低频率时的处理功能

有的负载在频率很低时实际上不能运行，因而需要预置“最低频率”。对应地，也就有一个最小给定信号。当实际给定信号小于最小给定信号时，应视为异常状态。

5 频率的限制功能

5.1 上、下限频率

(1) 基础概念

(a) 生产机械对转速范围的要求

生产机械根据工艺过程的实际需要，常常要求对转速范围进行限制。以某搅拌机为例，如图 15(a)所示。要求的最高转速是 600r/min，最低转速是 150r/min。

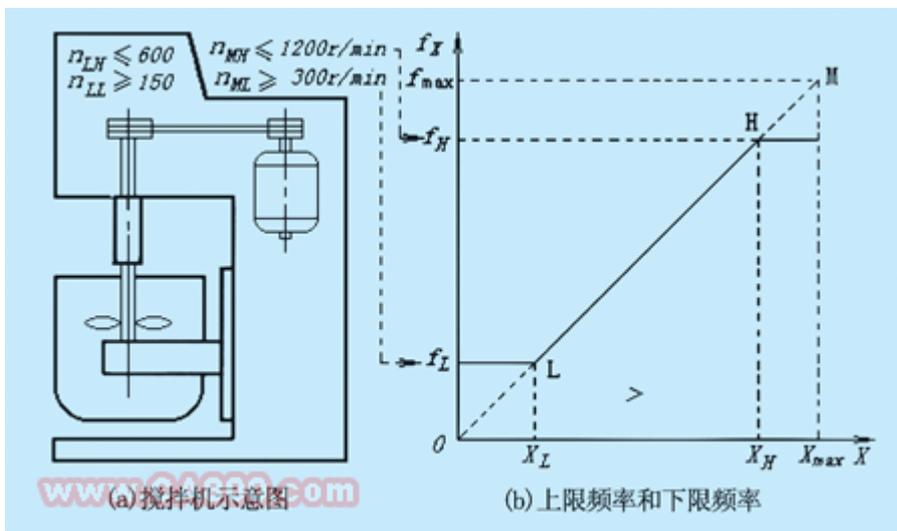


图 15 上限频率和下限频率

(b) 变频器的上、下限频率

根据生产机械所要求的最高与最低转速，以及电动机与生产机械之间的传动比，可以推算出相对应的频率，分别称为上限频率(用 f_H 表示)与下限频率(用 f_L 表示)。在上例中，如传动比 $\lambda = 2$ ，

则: $f_H = 40\text{Hz}$; $f_L = 10\text{Hz}$

(2) 上限频率与最高频率的关系

- 上限频率小于最高频率
- 上限频率比最高频率优先

这是因为，上限频率是根据生产机械的要求来决定的，所以具有优先权。

5.2 回避频率

(1) 基础概念

任何机械在运转过程中，都或多或少会产生振动。每台机器又都有一个固有振荡频率，它取决于机械的结构。如果生产机械运行在某一转速下时，所引起的振动频率和机械的固有振荡频率相吻合的话，则机械的振动将因发生谐振而变得十分强烈(也称为机械共振)，并可能导致机械损坏的严重后果。

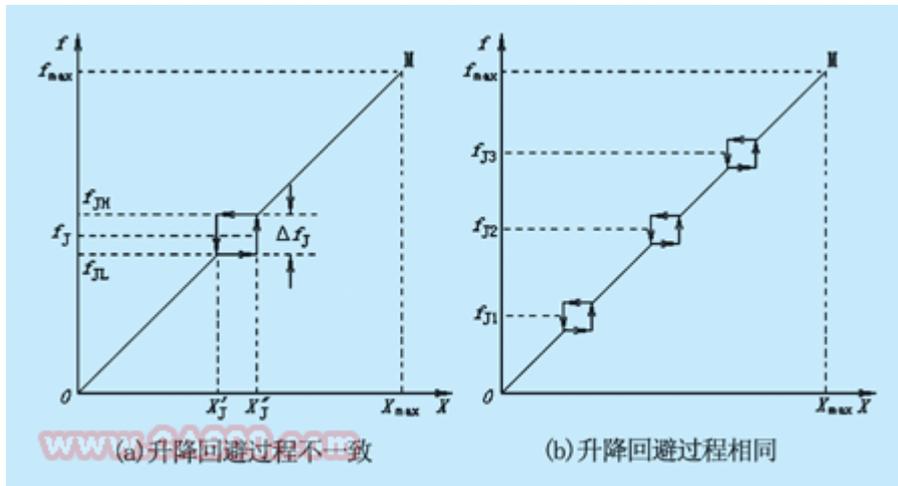


图 16 回避频率

设置回避频率 f_j 的目的，就是使拖动系统“回避”掉可能引起谐振的转速，如图 16 所示。

(2) 回避频率的预置

预置回避频率时，必须预置以下两个数据:

- 中心回避频率 f_j 即回避频率所在的位置;
- 回避宽度 Δf_j 即回避区域，如图 16(a)所示。

(3) 回避频率的数量

大多数变频器都可以预置三个回避频率，如图 16(b)所示。

6 载波频率的选择功能

6.1 基础概念

变频器输出电压的波形，都是经过脉宽调制后的系列脉冲波。脉宽调制的基本方法是:各脉冲的上升沿和下降沿都是由正弦波和三角波的交点决定的，如图 17 所示。在这里，正弦波称为调制波，三角波称为载波。三角波的频率就称为载波频率，用 f_C 表示。

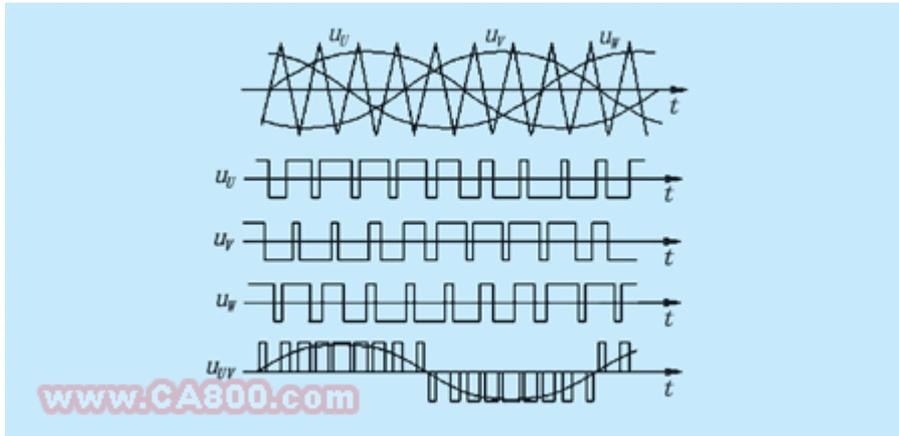


图 17 变频器输出电压波的形成

图 17 中， u_U 、 u_V 、 u_W 是各相的相电压波形， u_{UV} 则是 U 相和 V 相间线电压的波形。显然，电压脉冲序列的频率必等于载波频率。

在 PWM 电压脉冲序列的作用下，电流波形是脉动的，脉动频率与载波频率一致。脉动电流将使电动机铁心的硅钢片之间产生电磁力并引起振动，产生电磁噪声。改变载波频率时，电磁噪声的音调也将发生改变。所以，有的变频器对于调节载波频率的功能，称为“音调调节功能”。

6.2 载波频率大小的影响

(1) 载波频率对变频器输出电流的影响

(a) 载波频率与电流波形

运行频率越低，则电压波的平均占空比越小，电流高次谐波成分越大，故适当提高载波频率，可以改善电流波形。

(b) 载波频率与死区

逆变桥中，同一桥臂的上、下两个逆变管是在不停地交替导通的，为了保证在交替导通时，只有当一个逆变管完全截止的情况下，另一个逆变管才开始导通。在交替过程中，必须有一个死区(等待时间)。载波频率和死区的关系有如下的几个方面：

- 变频器的输出电流越大，每次交替所要求的死区也越大；
- 载波频率越高，则死区的累计值越大，变频器的平均输出电流越小。

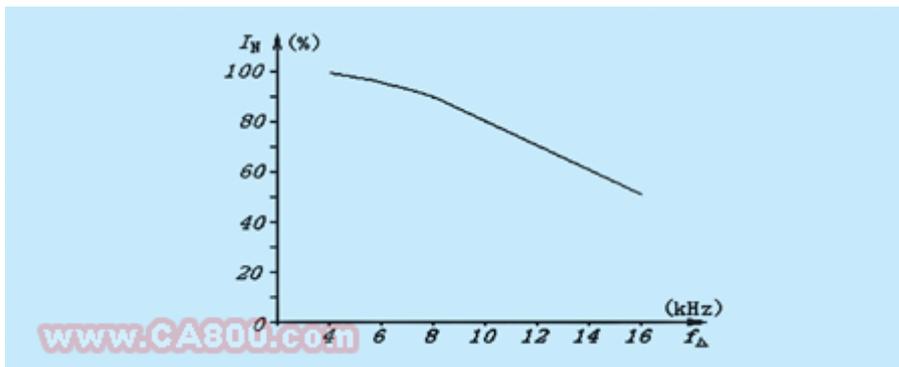


图 18 载波频率对输出电流的影响

因此，载波频率越高，变频器的允许输出电流越小，如图 18 所示(图中曲线系根据西门子 440 系列变频器提供的资料作出)。

(c) 载波频率引起的漏电流

载波频率越高，因线路相互之间，以及线路与地之间分布电容的容抗越小，由高频脉冲电压引起的漏电流越大，如图 19(a)所示。

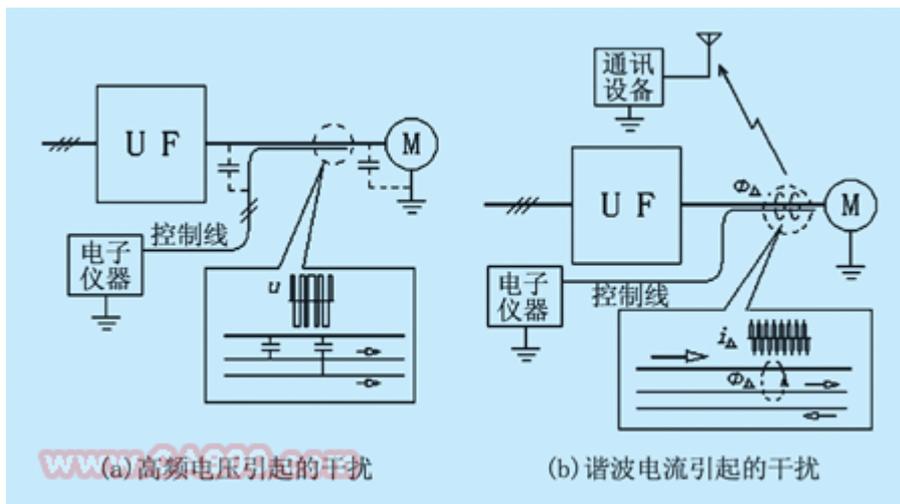


图 19 载波频率的影响

(2) 载波频率对其他设备的影响

(a) 高频电压的影响

- 对电动机运行的影响

当电动机与变频器之间的距离较远时，则载波频率越高，由线路分布电容引起的不良效应(如电动机侧电压升高、电动机振动等)越大；

- 对其他设备的干扰

载波频率越高，则高频电压通过静电感应对其他设备的干扰也越严重。

(b) 高频电流的影响

如图 19(b)所示。

- 电磁感应对其他设备的干扰

高频电流产生的高频磁场将通过电磁感应对其他设备的控制线路产生干扰；

- 电磁辐射对其他设备的干扰

高频电磁场具有强大的辐射能量，使其他设备，尤其通讯设备受到干扰。

(3) 载波频率与输出功率的关系

• 载波频率越高，谐波电流的频率也越高，则电动机定子绕组的趋表效应越严重，有效电阻值及其损失增大，电动机的输出功率越小；

- 载波频率越高，死区的累计时间越大，变频器实际工作的时间越短，输出功率越小。

(4) 载波频率与环境温度

当环境温度升高时，逆变桥中，上、下两个逆变管在交替导通过程中的死区将变窄，严重时可导致桥臂“直通”(短路)而损坏变频器。

参考文献

(略)

作者简介

张燕宾(1937-) 男 高级工程师 退休前在宜昌市自动化研究所工作，曾任自动化研究所副所长、宜昌市科委驻深圳联络处主任；宜昌市自动化学会理事长、湖北省自动化学会常务理事。著作:SPWM变频调速应用技术(编著，机械工业出版社 1997 年 12 月初版;2002 年 4 月第二版);变频调速应用实践(主编，机械工业出版社 2001 年 1 月出版);变频器应用基础(副主编，机械工业出版社 2003 年 1 月出版)。

讲座二

—电动机特性的控制功能 Control Function for Improving the Mechanical Characteristics of Motor

摘要: 本文综述了变频器为了改善电动机的机械特性而设置的各种控制模式及其相关功能。

关键词: 控制模式 V/F 控制 转矩补偿 矢量控制 自动检测 旋转编码器 转矩控制

Abstract: This paper introduced all control mode for improving the mechanical characteristics of motor. And it's interrelated function.

Keywords: Control mode V/F control Torque boost Vector control Auto-tuning Encoder Torque control

1 变频引出的特殊问题

1.1 异步电动机在频率下降后出现的问题

异步电动机的输入输出如图 1 所示。

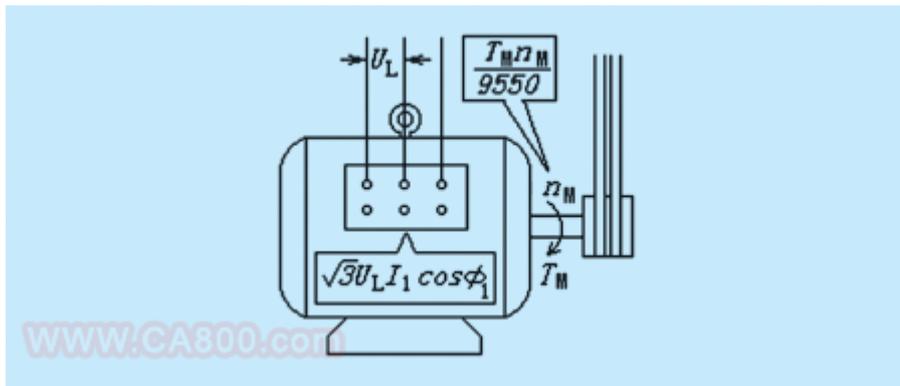


图 1 异步电动机的输入和输出

(1) 问题的提出

(a) 电动机的输入功率

众所周知，电动机是将电能转换成机械能的器件。三相交流异步电动机输入的是三相电功率 P_1 ：

$$\begin{aligned} P_1 &= \sqrt{3} U_L I_1 \cos \phi_1 \\ &= 3 U_{\phi} I_{\phi} \cos \phi_1 \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中： P_1 —电动机的输入功率，kW；

U_L —定子侧的线电压，V；

U_{ϕ} —定子侧的相电压，V；

I_{ϕ} —定子侧的相电流，A；

$\cos \phi_1$ —定子侧的功率因数。

(b) 电动机的输出功率

电动机是用来拖动负载旋转的，因此，其输出功率便是轴上的机械功率：

$$P_2 = \frac{T_M n_M}{9550} \quad (2)$$

式(2)中： P_2 —电动机输出的机械功率，kW；

T_M —电动机轴上的转矩，N·m；

n_M —电动机轴上的转速，r/min。

(c) 频率下降后出现的问题

毫无疑问，频率下降的结果是转速下降。这是因为，异步电动机的转速和频率有关：

$$n_s = \frac{60 f_x}{p} (1 - s) \quad (3)$$

式(3)中: f_x —下降了的频率, Hz;

p —磁极对数;

s —转差率, 由下式计算:

$$s = \frac{n_0 - n_M}{n_0} \quad (4)$$

式(4)中: n_0 —同步转速(即旋转磁场的转速), r/min。

由式(2)知, 转速下降的结果是: 电动机的输出功率下降。

然而, 式(1)表明, 电动机的输入功率和频率之间却并无直接关系。如果仔细分析的话, 当频率下降时, 输入功率将是有增无减的(因为反电动势将减小)。

输入不变而输出减少, 这似乎有悖于能量守恒的原理, 出现了什么问题呢?

(2) 异步电动机的能量传递

异步电动机的转子是依靠电磁感应(转子绕组切割旋转磁场)而得到能量的, 如图 2(a)所示。所以, 其能量是通过磁场来传递的。传递过程如图 2(b)所示, 可归纳如下:

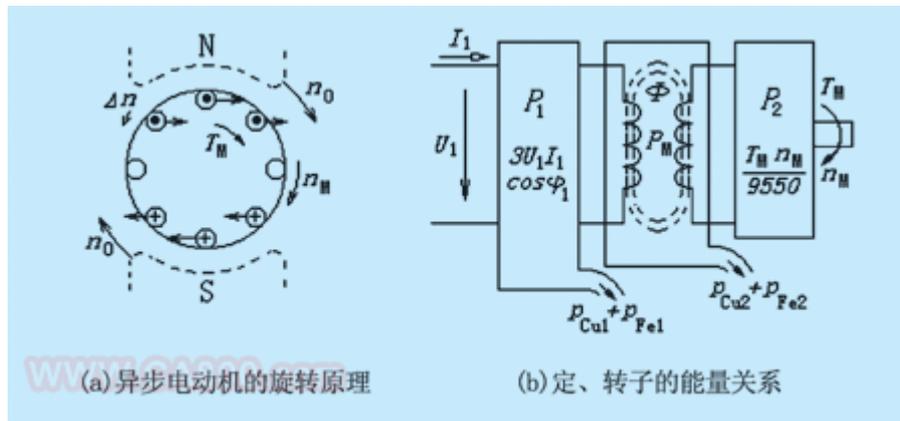


图 2 异步电动机的能量传递

(a) 从输入的电功率 P_1 中扣除定子侧损失(定子绕组的铜损 p_{Cu1} 和定子铁心的铁损 p_{Fe1})后, 便是通过磁场传递给转子的功率, 称为电磁功率, 用 P_M 表示:

$$P_M = P_1 - P_{Cu1} - P_{Fe1} \quad (5)$$

式(5)中: P_{Cu1} —定子绕组的铜损, kW;

P_{Fe1} —定子铁心的铁损, kW。

(b) 转子得到的电磁功率 P_M 中扣除转子侧损失(转子绕组的铜损 P_{Cu2} 和转子铁心的铁损 P_{Fe2}), 便是转子输出的机械功率 P_2 :

$$P_2 = P_M - P_{Cu2} - P_{Fe2} \quad (6)$$

式(6)中: P_{Cu2} —转子绕组的铜损, kW;

P_{Fe2} —转子铁心的铁损, kW。

显然, 频率下降的结果必将导致电磁功率 P_M 的“中部崛起”, 这意味着磁通的大量增加。那么, P_M 是如何增大的呢?

(3) 定子侧的等效电路

(a) 定子磁通及其在电路中的作用

如图 3(a)所示, 定子磁通可以分为两个部分:

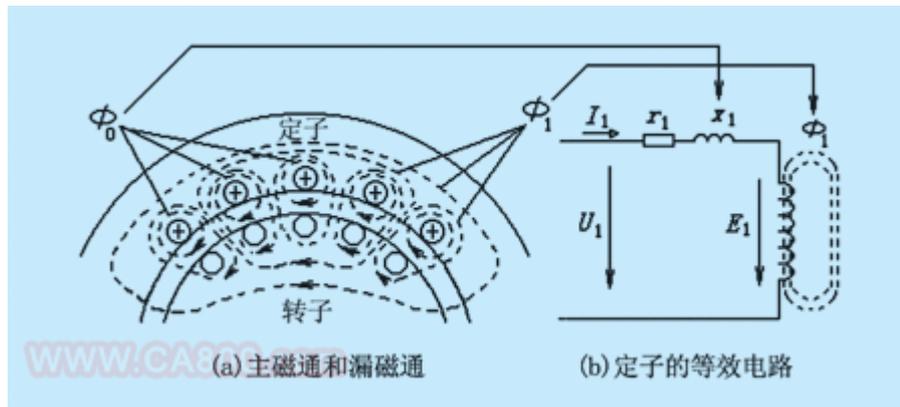


图3 定子侧的等效电路

• 主磁通 Φ_1

主磁通 Φ_1 是穿过空气隙与转子绕组相链的部分，是把能量传递给转子的部分。它在定子绕组中产生的自感电动势称为反电动势，用 E_1 表示，其有效值的计算如下式：

$$E_1 = 4.44 K_e f_1 N_1 \Phi_m \quad (7)$$

式(7)中: K_e —比例常数;

f_1 —定子电流的频率, Hz;

N_1 —每相定子绕组的匝数;

Φ_m —主磁通的振幅值, Wb。

式(7)表明, 反电动势 E_1 与频率 f_1 和主磁通 Φ_m 的乘积成正比:

$$E_1 = K_e' f_1 \Phi_m \quad (8)$$

在频率一定的情况下, 反电动势的数值直接反映了主磁通的大小。或者说, 主磁通 Φ_m 的大小是通过反电动势 E_1 的大小来体现的。

• 漏磁通 Φ_0

漏磁通 Φ_0 是未穿过空气隙与转子绕组相链的部分, 它并不传递能量, 它在定子绕组中产生的自感电动势只起电抗的作用, 称为漏磁电抗 X_1 , 其压降为 $I_1 X_1$ 。

(b) 定子侧的等效电路

图 3 (b) 所示即为定子绕组的一相等效电路, 其电动势平衡方程如下:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j \dot{I}_1 X_1 \quad (9)$$

式(9)中: \dot{U}_1 —电源的相电压, V;

\dot{I}_1 —定子的相电流, A;

r_1 —定子每相绕组的电阻, Ω ;

X_1 —定子每相绕组的漏磁电抗, Ω ;

j —复数算符。

由式(9), 定子电流的大小可计算如下:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1 + \dot{E}_1}{r_1 + jX_1} \quad (10)$$

(c) 电磁功率的计算

如上述, 把能量从定子传递给转子的是主磁通 Φ_m , 而主磁通 Φ_m 在电路中通过反电动势 E_1 来体现, 所以, 电磁功率可计算如下:

$$P_1 = 3E_1 I_1 \cos \phi_1 \quad (11)$$

(d) 频率下降的后果

由式(8)知, 当频率 f_X 下降时, 反电动势 E_1 也将下降, 由式(10)知, 这将引起电流 I_1 的增大, 并导致磁通 Φ_M 和电磁功率 P_M 的增大。

1.2 保持磁通不变的必要性和途径

(1) 保持磁通不变的必要性

(a) 磁通减小

任何电动机的电磁转矩都是电流和磁通相互作用的结果, 电流是不允许超过额定值的, 否则将引起电动机的发热。因此, 如果磁通减小, 电磁转矩也必减小, 导致带载能力降低。

(b) 磁通增大

电动机的磁路将饱和, 由于在变频调速时, 运行频率 f_X 是在相当大的范围内变化的, 因此, 如不采取措施的话, 磁通的变化范围也是非常大的。它极容易使电动机的磁路严重饱和, 导致励磁电流的波形严重畸变, 产生峰值很高的尖峰电流, 如图4所示。图4的上半部是电动机的磁化曲线; 下半部则是励磁电流的波形。

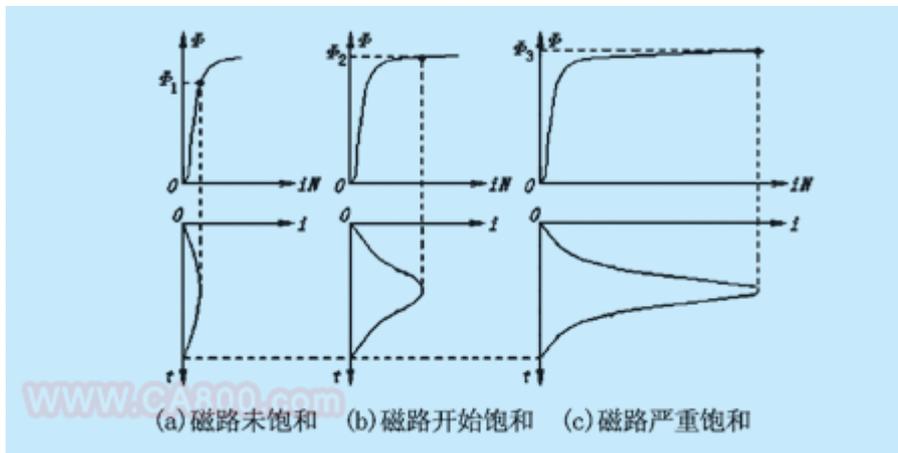


图4 磁化曲线与励磁电流

所以, 变频调速的一个特殊问题便是: 当频率 f_X 变化时, 必须使磁通 Φ 保持不变:

$$\Phi = \text{const}$$

(2) 保持磁通不变的方法

由式(8)知, 保持 $\Phi = \text{const}$ 的准确方法是:

$$\Phi_1 = \frac{E_{1X}}{f_X} = K'_1 = \text{const} \quad (12)$$

即, 在调节频率时, 必须保持反电动势 E_{1X} 和频率 f_X 的比值不变。

但反电动势是由定子绕组切割旋转磁通而感生的, 无法从外部进行控制。于是用保持定子侧输入电压和频率之比等于常数来代替:

$$\frac{U_{1X}}{f_X} \approx \text{const} \quad (13)$$

式(13)中: U_{1X} —运行频率为 f_X 时的输入电压, V。

所以, 在改变频率时, 必须同时改变定子侧的输入电压。

设频率的调节比为:

$$k_f = \frac{f_x}{f_n} \quad (14)$$

式(14)中: K_f —频率调节比:

f_x —运行频率(即调节后的频率), Hz;

f_n —额定频率, Hz。

电压的调节比为:

$$k_u = \frac{U_x}{U_n} \quad (15)$$

式(15)中: K_u —电压调节比:

U_x —与 f_x 对应的电压, V;

U_n —额定电压, V。

则:当式(13)得到满足时,有:

$$K_u = K_f \quad (16)$$

1.3 变压变频存在的问题及原因分析

(1) 存在的问题

(a) 衡量调速性能的主要因素

电动机的基本功能是拖动生产机械旋转,因此,在低频时的带负载能力便是衡量变频调速性能好坏的一个十分重要的因素。

(b) 调压调频存在的问题

满足式(16)的情况下进行变频调速时,随着频率的下降,电动机的临界转矩和带负载能力(用有效转矩 T_{MEX} 表示)也有所下降,如图5所示。

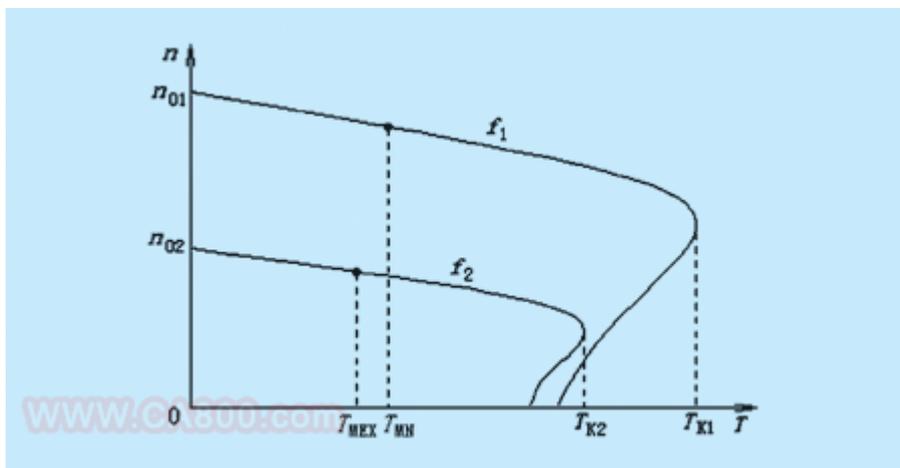


图5 频率下降($U/f=C$)后的机械特性

(2) 临界转矩下降的原因分析

(a) 电磁转矩的产生

异步电动机的电磁转矩是转子电流和磁通相互作用的结果。因此,问题的关键便是:在满足式(16)的情况下,低频时能否保持磁通量基本不变?

(b) 电磁转矩减小的原因

式(9)可以改写为:

$$-E_{1x} = U_{1x} - I_1 R_1 - j I_1 X_{1x} \quad (17)$$

式(17)表明,反电动势是定子侧输入电压减去阻抗压降的结果。

当频率 f_x 下降时,输入电压 U_{1x} 随之下降。但在负载不变的情况下,电流 I_1 及其阻抗压降却

基本不变，于是反电动势 E_{1X} 所占的比例必将减小。由式 (12) 知，磁通 Φ_M 也必减小，磁通不变的要求并没有真正得到满足，结果是导致电动机的临界转矩也减小。

2 V/F控制功能

2.1 V/F控制模式

(1) 指导思想

为了确保电动机在低频运行时，反电动势和频率之比保持不变，真正实现 $\Phi = \text{const}$ ，在式 (16) 的基础上，适当提高 U/f 比，使 $K_U > K_f$ ，从而使转矩得到补偿，提高电动机在低速时的带负载能力。如图 6 中之曲线②所示(曲线①是 $K_U = K_f$ 的 U/f 线)。这种方法称为转矩补偿或转矩提升，这种控制方式称为 V/F 控制模式。

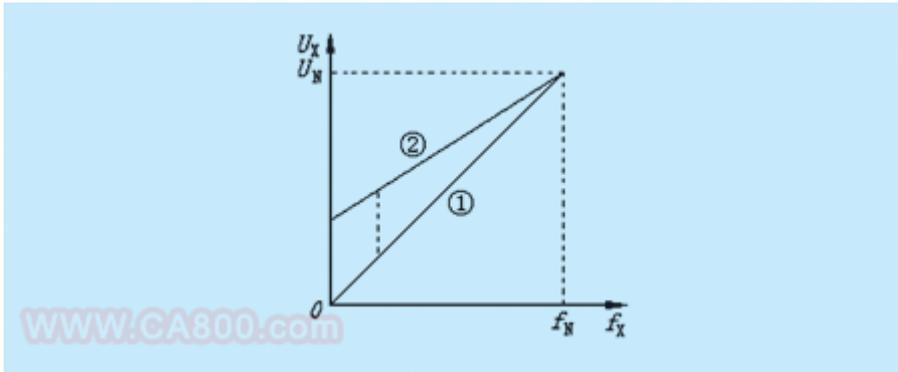


图 6 转矩补偿

(2) 基本频率

与变频器的最大输出电压对应的频率称为基本频率，用 f_{BA} 表示。在大多数情况下，基本频率等于电动机的额定频率，如图 7 所示。

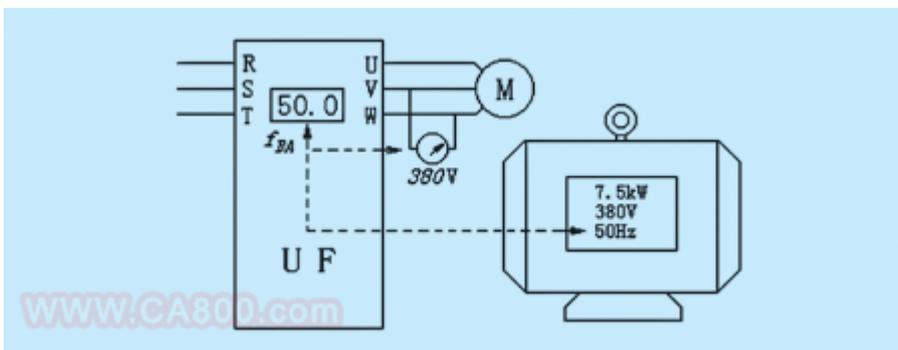


图 7 基本频率

(3) 基本 U/f 线

在变频器的输出频率从 0Hz 上升到基本频率 f_{BA} 的过程中，满足 $K_U = K_f$ 的 U/f 线，称为基本 U/f 线，如图 8(a) 所示。

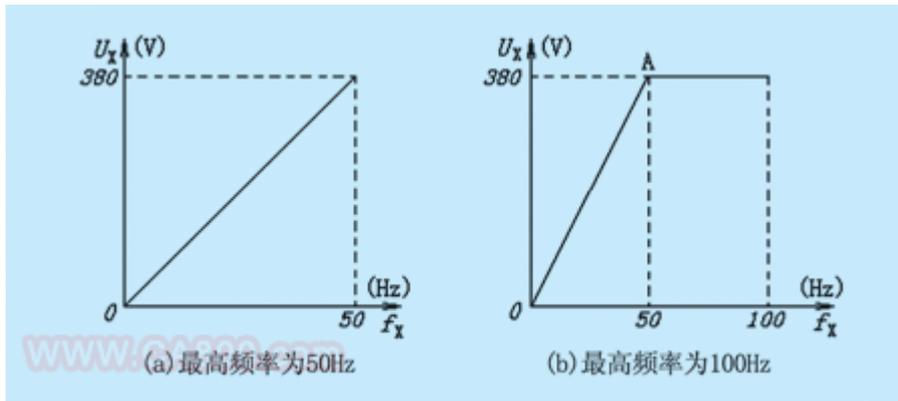


图8 基本U/f线

(4) 弱磁点

当电动机的运行频率高于额定频率时,变频器的输出电压不再能随频率的上升而上升,如图8(b)中之A点以后所示。在这种情况下,由于U/f比将随频率的上升而下降,电动机磁路内的磁通也因此而减小,处于弱磁运行状态。因此,通常把转折点A称为弱磁点。

2.2 U/f线的选择功能

(1) 不同负载在低速时对转矩的要求

各类负载在低速时所呈现的阻转矩是很不一样的,例如:

(a) 二次方律负载

阻转矩与转速的二次方成正比,如图9中的曲线①所示。低速时的阻转矩比额定转矩小得多;

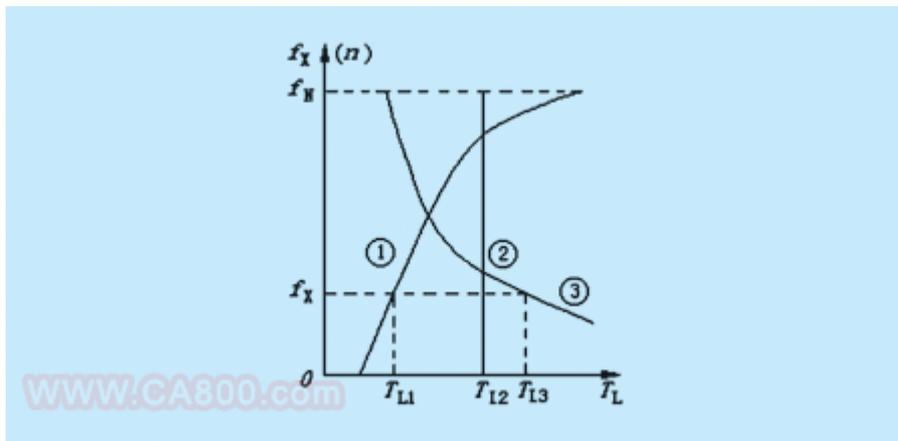


图9 各类负载的机械特性

(b) 恒转矩负载

在不同的转速下,负载的阻转矩基本不变,如图9中之曲线②所示。低速时的阻转矩与额定转速时是基本相同的;

(c) 恒功率负载

在不同的转速下,负载功率保持恒定,其机械特性呈双曲线状,如图9中之曲线③所示。低速时的阻转矩比额定转速时还要大得多。

(2) 变频器对U/f线的设置

因为每台变频器应用到什么负载上是不确定的,而不同负载在低频时对U/f比的要求又很不一致。

为此,各种变频器在V/F控制模式下,提供了任意预置U/f比的功能。使用户可以根据电动机在低速运行时负载的轻重来选择U/f比,如图10所示。

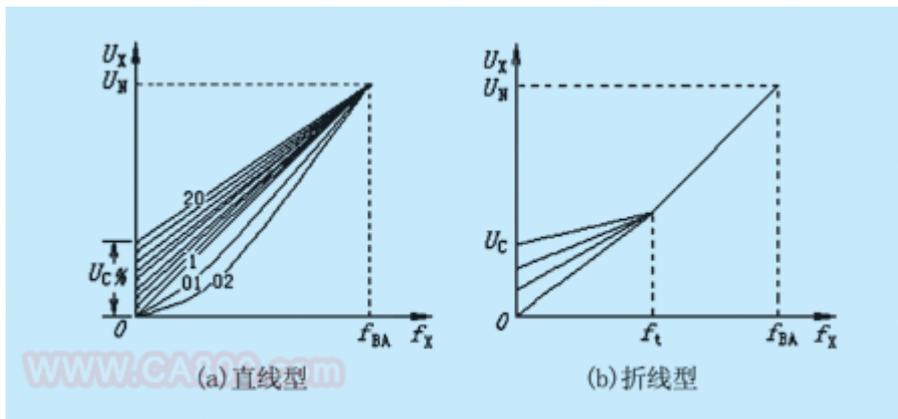


图 10 变频器为用户提供的 U/f 线

(3) U/f 线的预置要点

(a) 预置不当的后果

如果负载在低速时的转矩较大而转矩补偿(U/f 比)预置得较小, 则低速时带不动负载。反之, 如果负载在低速时的转矩较轻而转矩补偿(U/f 比)预置得较大, 则补偿过分, 低速时电动机的磁路将饱和, 励磁电流发生畸变, 严重时会使励磁电流峰值过高而导致“过电流”跳闸。

(b) 预置要点

调试时, U/f 比的预置宜由小逐渐加大, 每加大一档, 观察在最低频时能否带得动负载? 及至能带动时, 还应反过来观察空载时会不会跳闸? 一直到在最低频率下运行时, 既能带得动负载, 又不会空载跳闸时为止。

3 矢量控制功能

3.1 基本思想

(1) 对直流电动机的分析

在变频调速技术成熟之前, 直流电动机的调速特性被公认为是最好的。究其原因, 是因为它具有两个十分重要的特点:

(a) 磁场特点

它的主磁场和电枢磁场在空间是互相垂直的, 如图 11(a) 所示;

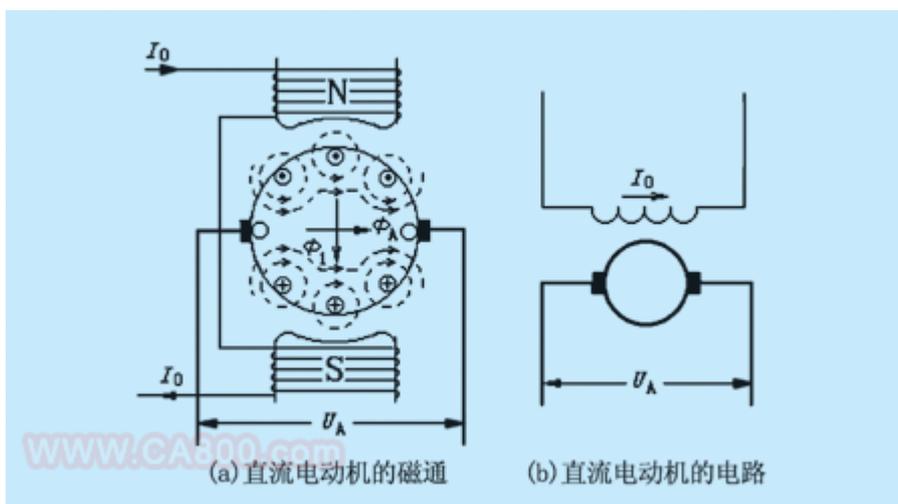


图 11 直流电动机的特点

(b) 电路特点

它的励磁电路和电枢电路是互相独立的, 如图 11(b) 所示。

在调节转速时，只调节其中一个电路的参数。

(2) 变频器的矢量控制模式

(a) 基本构思

仿照直流电动机的控制特点，对于调节频率的给定信号，分解成和直流电动机具有相同特点的磁场电流信号 i^*_M 和转矩电流信号 i^*_T ，并且假想地看作是两个旋转着的直流磁场的信号。当给定信号改变时，也和直流电动机一样，只改变其中一个信号，从而使异步电动机的调速控制具有和直流电动机类似的特点。

对于控制电路分解出的控制信号 i^*_M 和 i^*_T ，根据电动机的参数进行一系列的等效变换，得到三相逆变桥的控制信号 i^*_A 、 i^*_B 和 i^*_C ，对三相逆变桥进行控制，如图 12 所示。从而得到与直流电动机类似的硬机械特性，提高了低频时的带负载能力。

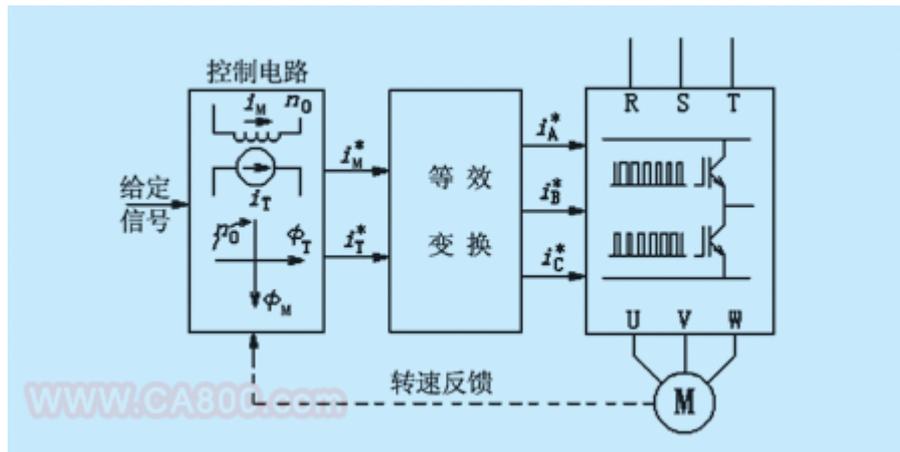


图 12 矢量控制框图

(b) 无反馈矢量控制模式与有反馈矢量控制模式

根据在实行矢量控制时，是否需要转速反馈的特点，而有无反馈和有反馈矢量控制之分。无反馈矢量控制是根据测量到的电流、电压和磁通等数据，间接地计算出当前的转速，并进行必要的修正，从而在不同频率下运行时，得到较硬机械特性的控制模式。由于计算量较大，故动态响应能力稍差。

有反馈矢量控制则必须在电动机输出轴上增加转速反馈环节，如图 12 中的虚线所示。由于转速大小直接由速度传感器测量得到，既准确、又迅速。与无反馈矢量控制模式相比，具有机械特性更硬、频率调节范围更大、动态响应能力强等优点。

3.2 电动机数据的输入

如上述，要实现矢量控制功能，必须根据电动机自身的参数进行一系列等效变换的计算。而进行计算的最基本条件，是必须尽可能多地了解电动机的各项数据。因此，把电动机铭牌上的额定数据以及定、转子的参数输入给变频器，就是实现矢量控制的必要条件。

(1) 自动检测功能

从上面所举例子可以看出，进行矢量控制时，所需数据中的相当部分，一般用户是很难得到的。这给矢量控制的应用带来了困难。对此，当代的许多变频器都已经配置了自动检测电动机参数的功能。但检测的具体方法，各种变频器不尽相同。

自动检测功能的英语名称是 auto-tuning，故有的变频器直译为“自动调谐”功能，也有的称之为“自学习”功能。

(2) 自动检测方法举例

以艾默生 TD3000 系列变频器为例，其相关功能如下：

功能码 F1.09 用于选择自动检测功能，数据码是：

“0” — 禁止自动检测；

“1” — 允许自动检测。

功能码 F1.10 用于实施自动检测，数据码是：

“0” — 不进行自动检测；

“1” — 进行自动检测，步骤如下：

- (a) 将电动机的铭牌数据预置给变频器 (功能码F1.00~F1.05)；
- (b) 将功能码F1.10 预置为“1”；
- (c) 按变频器键盘上的RUN键，变频器将执行自动 检测。

检测完毕后，自动转为“0”。

“2” — 变频器设置了一个自动检测的操作程序(说明书中称为“调谐宏”)。当功能码F1.10 预置为“2”时，该操作程序开始运行，并在显示屏上指导用户进行必要的功能预置和操作。检测完毕后，自动转为“0”。

3.3 转速反馈矢量控制中编码器的相关功能

当变频器的控制方式预置为有反馈矢量控制方式时，转速测定是十分重要的一个环节。和变频器配用的测速装置大多采用旋转编码器。

(1) 旋转编码器的输出信号

和变频器配用的旋转编码器通常为二相(A相和B相)原点输出型，其输出信号分为两相：A相和B相。两者在相位上互差 $90^\circ \pm 45^\circ$ ，如图13(b)所示，和分别是A相和B相的“非”。每旋转一转，编码器输出的脉冲数可根据情况选择。例如，TRD-J系列编码器的脉冲数从 $10p/r \sim 1000p/r$ ，分16档可选。

Z相为原点标记，其特点是：每转一转，只输出1个相位固定的脉冲，作为原点的标志。

图13(a)所示是编码器的引出线。

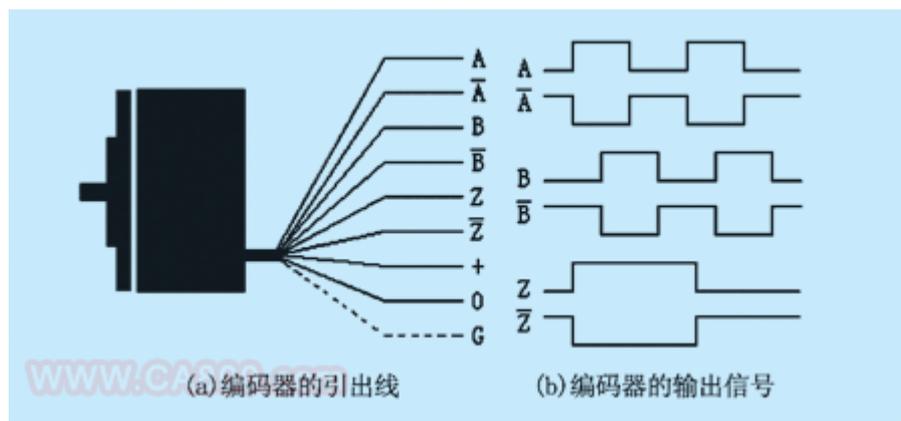


图 13 编码器的信号与接线

(2) 编码器与变频器的联接

主要有两种类型：

一种是直接联接，例如艾默生 TD3000 系列变频器和编码器之间的联接如图14(a)所示；

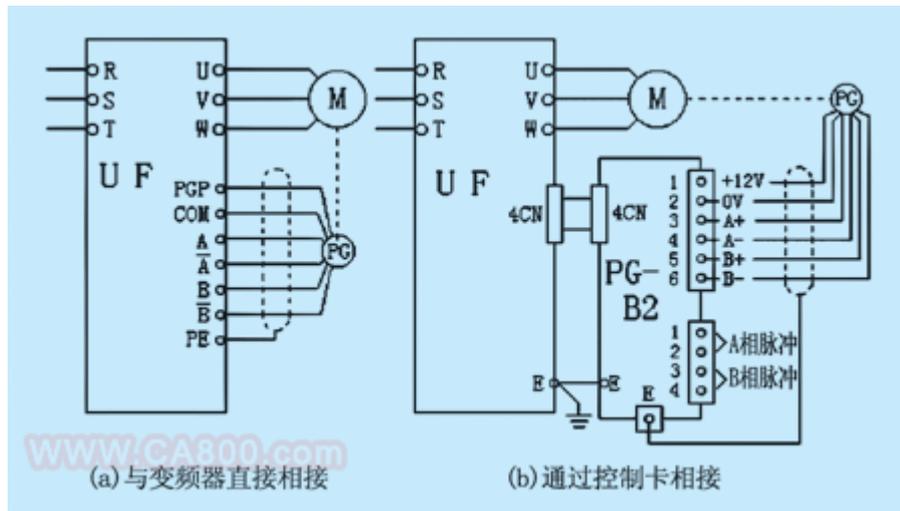


图 14 编码器与变频器的联接

另一种类型以安川VS-616G7 系列变频器为例，须配置专用的PG速度控制卡，如图 14(b)所示。将控制卡PG-B2 插入变频器的相关插座 4CN中，再将PG的引出线接至控制卡上。

(3) 编码器脉冲数的选择

一般说来，电动机在最高频率下工作时，编码器的脉冲频率以接近于 20kHz为佳，即：

$$\frac{p_0 \cdot \omega_{\max}}{60} \cdot p_0 \approx 20000 \text{ Hz} \quad (18)$$

式(18)中：p₀—编码器每转的脉冲数，p/r。

3.4 矢量控制的应用要点

(1) 应用矢量控制的注意点

由于矢量控制必须根据电动机的参数进行一系列的演算，因此，其使用范围必将受到一些限制。

(a) 电动机的容量

电动机的容量应尽可能与变频器说明书中标明的“配用电动机容量”相符，最多低一个档次。

例如，变频器的“配用电动机容量”为 45kW，电动机的下一档容量为 37kW。则该变频器只能在配接 45kW或 37kW的电动机时，矢量控制功能是有有效的。

(b) 电动机的磁极数

以 2p=4(4 极电动机)为最佳，要注意说明书中对磁极数的规定。

(c) 电动机的型号

以生产变频器的同一家公司生产的标准电动机或变频调速专用电动机为最佳，一般的通用电动机也都可用。但特殊电动机(如高转差电动机等)则不能用。

(d) 电动机的台数

矢量控制只适用于一台变频器控制一台电动机的场合。

(2) 速度控制的PID功能

当采用有反馈矢量控制模式时，变频器存在着一个转速反馈的闭环系统，并且为此专门配置了PID调节系统。以利于在调节转速的过程中，或者拖动系统发生扰动(负载突然加重或减轻)时，能够使控制系统既反映迅速，又运行稳定。

因此，在具有矢量控制功能的变频器中，有两套PID调节功能：

(a) 用于速度闭环控制的PID调节功能；

(b) 用于系统控制(例如供水系统的恒压控制等)的PID调节功能。

两种PID调节功能中，P(比例增益)、I(积分时间)、D(微分时间)的作用对象不同，但原理是相同的。

(2) 矢量控制的主要优点

• 低频转矩大

即使运行在 1Hz(或 0.5Hz)时，也能产生足够大的转矩，且不会产生在V/F控制方式中容易遇到的磁

路饱和现象。

- 机械特性好

在整个频率调节范围内，都具有较硬的机械特性，所有机械特性基本上都是平行的。

- 动态响应好

尤其是有转速反馈的矢量控制方式，其动态响应时间一般都能小于 100ms。

- 能进行四象限运行。

4 转矩控制功能

4.1 转矩控制与转速控制的区别

(1) 转速控制的特点

迄今为止，我们所讨论的变频调速，都是以控制电动机的转速为目的的，其基本特点有：

- 变频器输出频率的大小(从而电动机转速的高低)随给定信号的大小而变；
- 电动机的转矩大小是不能控制的，它总是和负载的阻转矩处于平衡状态。因此，是随负载的轻重而随时变化的；
- 电动机转矩的限值是受发热和过载能力(取决于临界转矩)制约的。

(2) 转矩控制的特点

转矩控制是矢量控制模式下的一种特殊控制方式。其主要特点是：

- 给定信号并不用于控制变频器输出频率的大小，而是用于控制电动机所产生的电磁转矩的大小，如图 15 所示：当给定信号为 10V 时，电动机的电磁转矩为最大值 T_{max} (如图中之状态①)；当给定信号为 5V 时，电动机的电磁转矩为 $T_{max}/2$ (如图中之状态②)。
- 电动机的转速大小取决于电磁转矩和负载转矩比较的结果，只能决定拖动系统是加速还是减速，其输出频率不能调节，很难使拖动系统在某一转速下等速运行。

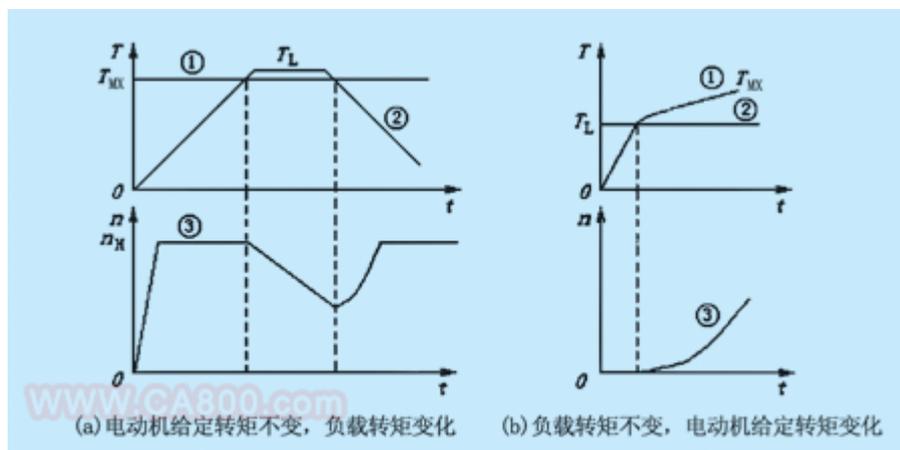


图 15 转矩控制的概念

如果给定的电动机转矩不变(等于 T_{MX})，而负载转矩变化，系统的运行如图 16(a)中之曲线③所示：

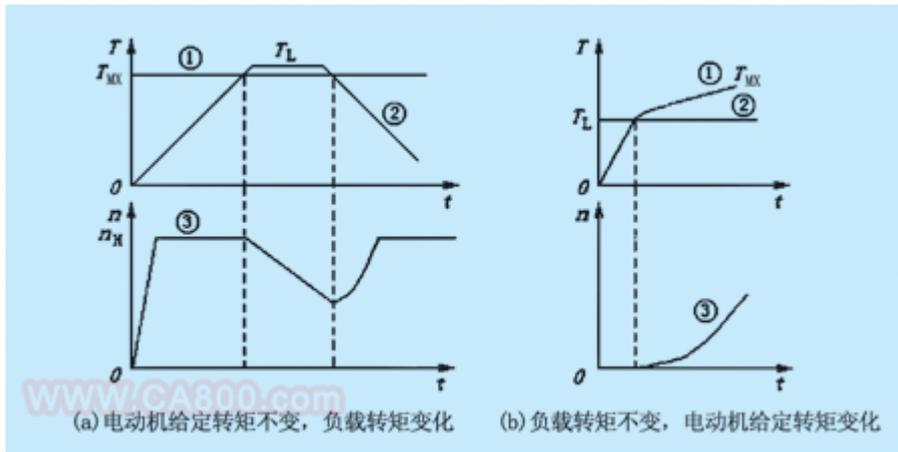


图 16 转矩控制时的转速

当负载转矩 T_L 小于 T_{MX} 时，拖动系统将加速，并且一直加速至变频器预置的上限频率，拖动系统将按上限转速 n_H 运行；

当负载转矩 T_L 超过 T_{MX} 时，拖动系统将减速；

当负载转矩 T_L 又小于 T_{MX} 时，拖动系统又加速到上限转速 n_H 。

如果负载转矩不变，而给定的电动机转矩变化(等于 T_L)，则系统的运行如图 16(b)中之曲线③所示：

当电动机转矩小于负载转矩时，转速为 0；

当电动机转矩大于负载转矩时，拖动系统开始加速，加速度随动态转矩($T_J=T_M-T_L$)的增加而增加。

4.2 转矩控制和转速控制的切换

(1) 切换的必要性

由于转矩控制时不能控制转速的大小，所以，在某些转速控制系统中，转矩控制主要用于起动或停止的过渡过程中。当拖动系统已经起动后，仍应切换成转速控制方式，以便控制转速。

(2) 切换的时序图

切换的时序图如图 17 所示。

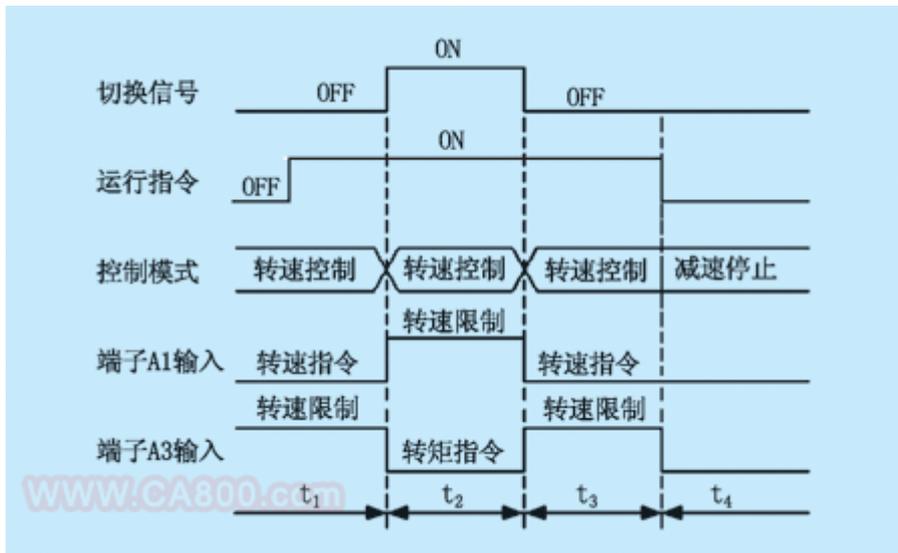


图 17 转矩控制和转速控制的时序图

(a) t_1 时段

变频器发出运行指令时，如未得到切换信号，则为转速控制模式。变频器按转速指令决定其输出频率的大小。同时，可以预置转矩上限；

(b) t_2 时段

变频器得到切换至转矩控制的信号(通常从外接输入电路输入)，转为转矩控制模式。变频器按

转矩指令决定其电磁转矩的大小。同时，必须预置转速上限；

(c) t3 时段

变频器得到切换至转速控制的信号，回到转速控制模式；

(d) t4 时段

变频器的运行指令结束，将在转速控制模式下按预置的减速时间减速并停止。

如果变频器的运行指令在转矩控制下结束，变频器将自动转为转速控制模式，并按预置的减速时间减速并停止。

4.3 转矩控制的应用

(1) 用于牵引和起重装置的起动过程中牵引装置主要有：电气机车、电梯、起重装置等。

(a) 牵引装置拖动系统的主要特点

- 负载的轻重是随机的

以电气机车和电梯为例，乘客时多时少，无规律可循；

- 对加、减速过程的要求很高

例如，装载液体的传输带以及起重和运输钢水包时，其加、减速过程必须十分平稳，起动时应毫无冲击，以保证液体不会溢出；电气机车和电梯等则还要求保证乘客的舒适感等等。

(b) 拖动系统的加速度

根据电力拖动的知识，加速度的计算公式是：

$$\frac{dn}{dt} = \frac{375T_d}{GD^2} \quad (19)$$

式(19)中： $\frac{dn}{dt}$ —拖动系统的加速度；
 GD^2 —拖动系统的飞轮力矩；

TJ—动态转矩，在忽略损耗转矩的情况下，等于电动机的电磁转矩与负载的阻转矩之差：

$$TJ = TM - TL \quad (20)$$

(c) 在转矩控制模式下起动的优点

在转速控制模式下，起动时的动态转矩不可能根据负载轻重自动进行调整。在预置起动转矩时，只能按负载最重情况进行设定，故在起动瞬间容易产生冲击。例如，火车在起动时常会有发生冲击的感觉。

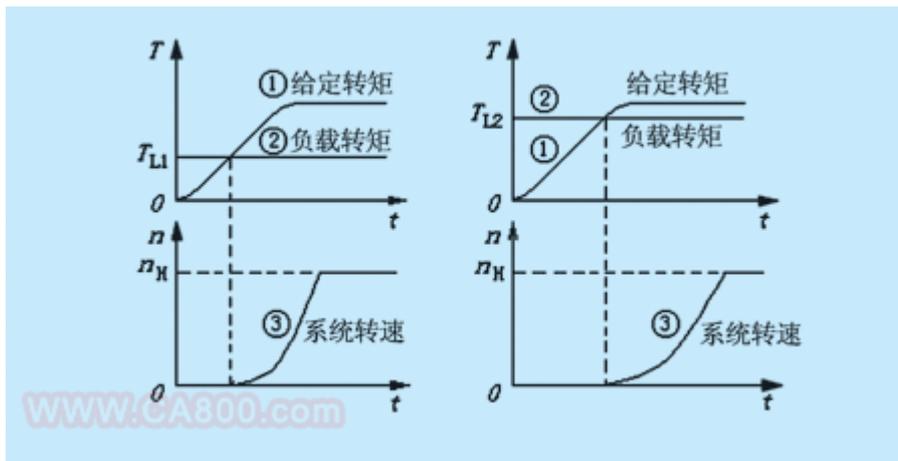


图 18 转矩控制用于起动

如采用转矩控制模式，可以使电动机的电磁转矩逐渐增大，直至能够克服负载转矩时，动态转矩和加速度才从 0 开始缓慢增加，从而使起动过程十分平稳。在图 18 中，图(a)是负载较轻时的情形；图(b)是负载较重时的情形。

由于转矩控制方式不能控制转速，所以，随着动态转矩的不断增大，加速度也必然不断增大，这又并非人们所希望的。因此，当拖动系统起动起来以后，有必要切换到转速控制方式，以便对转

速进行控制。

(2) 用于恒张力控制

(a) 卷绕机械的工作特点

在各种薄膜或线材的收卷或放卷过程中，通常要求：被卷物的张力 F 必须保持恒定： $F=C$ 为此：

• 被卷物的线速度 v 也必须保持恒定： $v=C$

如图 19(a) 所示。

所以，卷绕功率是恒定的：

$$P = F \cdot v = C \quad (21)$$

1 负载的阻转矩随被卷物卷径的增大而增大：

$$T_L = F \cdot \frac{D}{2} \quad (22)$$

如图 19(b) 中之曲线②所示。

但为了保持线速度恒定，负载的转速必须随卷径的增大而减小：

$$n_L = \frac{v}{\pi D} \propto \frac{1}{D} \quad (23)$$

如图 19(c) 中之曲线④所示。

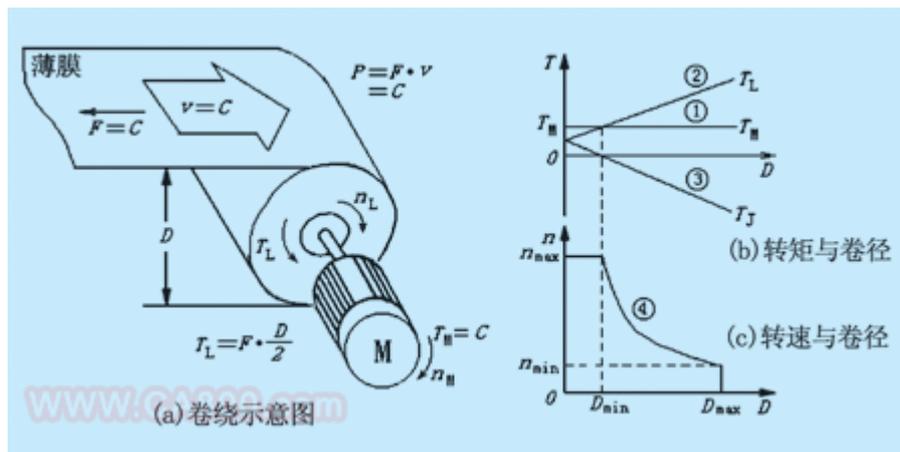


图 19 转矩控制模式在张力控制中的应用

(b) 用转矩控制模式实现恒张力运行

令变频器在转矩控制模式下运行，将给定信号设定在某一值下不变。则电动机的电磁转矩 T_M 也将不变，如图 19(b) 中之曲线①所示：

$$T_M = C$$

而动态转矩 T_J 则随着卷径 D 的增大而变为负值，如图 19(b) 中之曲线③所示。拖动系统将处于减速状态，满足图 19(c) 所示的转速变化规律。

改变给定转矩的大小，可以改变卷绕的松紧程度。

参考文献

(略)

作者简介

张燕宾(1937-) 男 高级工程师 退休前在宜昌市自动化研究所工作，曾任自动化研究所副所长、宜昌市科委驻深圳联络处主任；宜昌市自动化学会理事长、湖北省自动化学会常务理事。著作：SPWM 变频调速应用技术(编著，机械工业出版社 1997 年 12 月初版；2002 年 4 月第二版)；变频调速应用实践(主编，机械工业出版社 2001 年 1 月出版)；变频器应用基础(副主编，机械工业出版社 2003 年 1 月出版)。

讲座三

—变频器的加减速功能 The Acceleration and Deceleration Function of Inverter

摘要: 本文介绍了变频器中的加、减速时间, 加、减速方式, 以及启动和停机的相关功能。

关键词: 加速时间 减速时间 加速方式 减速方式 启动频率 暂停启动 斜坡停机 惯性停机 直流制动预励磁功能 零速伺服功能

Abstract: This paper introduced the function of acceleration time, deceleration time, acceleration pattern, deceleration pattern. And be related to the function of motor's start and stop.

Keywords: Acceleration time Deceleration time Acceleration pattern Deceleration pattern Starting frequency

1 加、减速的时间与方式

1.1 基础概念

(1) 工频启动和变频启动

电动机从较低转速升至较高转速的过程称为加速过程, 加速过程的极限状态便是电动机的启动。

(a) 工频启动

这里所说的工频启动, 是指电动机直接接上工频电源时的启动, 也叫直接启动或全压启动, 如图 1(a) 所示。

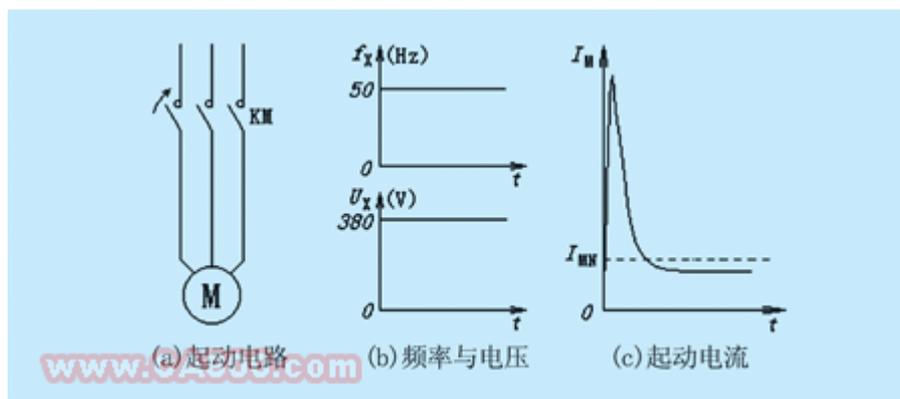


图 1 工频启动

在接通电源瞬间:

- 电源频率为额定频率 (50Hz), 如图 1(b) 的上部所示。以 4 极电动机为例, 同步转速高达 1500r/min。
- 电源电压为额定电压 (380V), 如图 1(b) 的下部所示。

由于转子绕组与旋转磁场的相对速度很高, 故转子电动势和电流都很大, 从而定子电流也很大, 可达额定电流的 (4~7) 倍, 如图 1(c) 所示。

工频启动存在的主要问题有:

- 启动电流大。当电动机的容量较大时, 其启动电流将对电网产生干扰。
- 对生产机械的冲击很大, 影响机械的使用寿命。

(b) 变频启动

采用变频调速的电路如图 2(a) 所示, 启动过程的特点有:

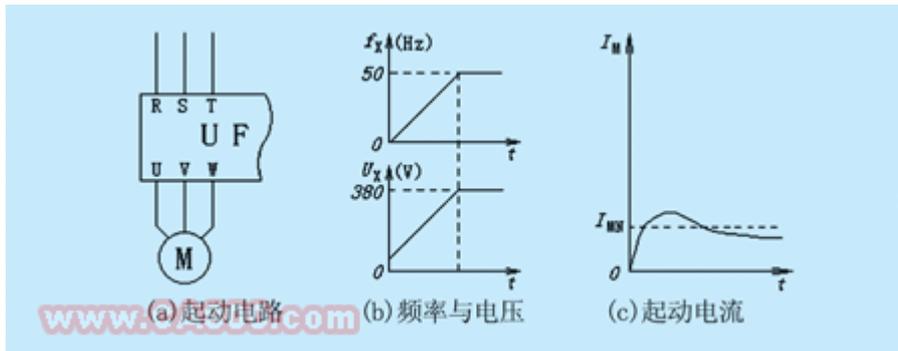


图2 变频启动

- 频率从最低频率(通常是 0Hz)按预置的加速时间逐渐上升,如图 2(b)的上部所示。仍以 4 极电动机为例,假设在接通电源瞬间,将起动频率降至 0.5Hz,则同步转速只有 15r/min,转子绕组与旋转磁场的相对速度只有工频起动时的百分之一。
- 电动机的输入电压也从最低电压开始逐渐上升,如图 2(b)的下部所示。
- 转子绕组与旋转磁场的相对速度很低,故起动瞬间的冲击电流很小。同时,可通过逐渐增大频率以减缓起动过程,如在整个起动过程中,使同步转速 n_0 与转子转速 n_M 间的转差 Δn 限制在一定范围内,则起动电流也将限制在一定范围内,如图 2(c)所示。

另一方面,也减小了起动过程中的动态转矩,加速过程将能保持平稳,减小了对生产机械的冲击。

(2) 加速过程中的主要矛盾

(a) 加速过程中电动机的状态

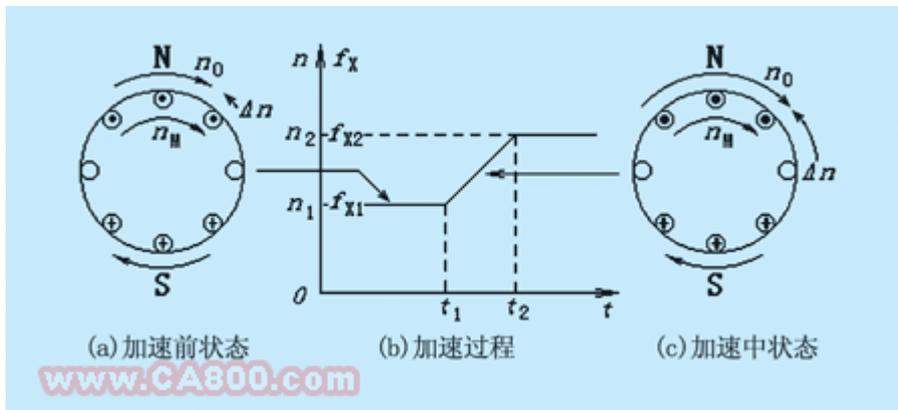


图3 加速过程

假设变频器的输出频率从 f_{X1} 上升至 f_{X2} ,如图 3(b)所示。图 3(a)所示是电动机在频率为 f_{X1} 时稳定运行的状态,图 3(c)所示是加速过程中电动机的状态。比较图 3(a)和图 3(c)可以看出:当频率 f_X 上升时,同步转速 n_0 随即也上升,但电动机转子的转速 n_M 因为有惯性而不能立即跟上。结果是转差 Δn 增大了,导体内的感应电动势和感应电流也增大。

(b) 加速过程的主要矛盾

加速过程中,必须处理好加速的快慢与拖动系统惯性之间的矛盾。

一方面,在生产实践中,拖动系统的加速过程属于不进行生产的过渡过程,从提高生产率的角度出发,加速过程应该越短越好;

另一方面,由于拖动系统存在着惯性,频率上升得太快了,电动机转子的转速 n_M 将跟不上同步转速的上升,转差 Δn 增大,引起加速电流的增大,甚至可能超过一定限值而导致变频器跳闸。

所以,加速过程必须解决好的主要问题是:在防止加速电流过大的前提下,尽可能地缩短加速过程。

(3) 变频调速系统的减速

(a) 减速过程中的电动机状态

电动机从较高转速降至较低转速的过程称为减速过程。在变频调速系统中，是通过降低变频器的输出频率来实现减速的，如图 4(b) 所示。图中，电动机的转速从 n_1 下降至 n_2 (变频器的输出频率从 f_{X1} 下降至 f_{X2}) 的过程即为减速过程。

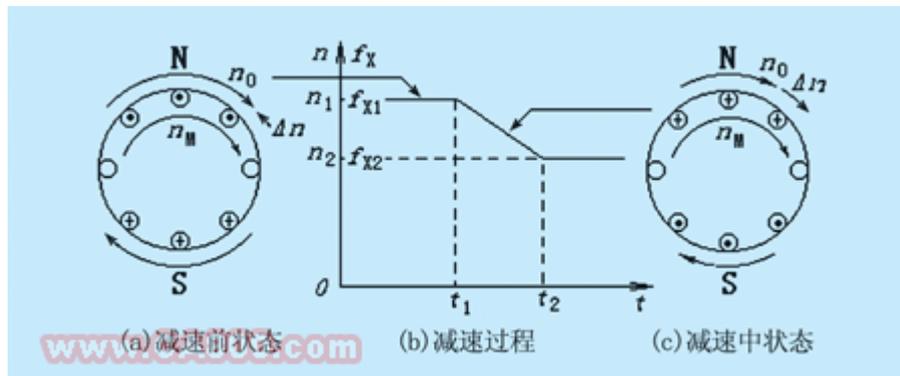


图 4 减速过程

当频率刚下降的瞬间，旋转磁场的转速(同步转速)立即下降，但由于拖动系统具有惯性的缘故，电动机转子的转速不可能立即下降。于是，转子的转速超过了同步转速，转子绕组切割磁场的方向和原来相反了。从而，转子绕组中感应电动势和感应电流的方向，以及所产生的电磁转矩的方向都和原来相反了，电动机处于发电机状态。由于所产生的转矩和转子旋转的方向相反，能够促使电动机的转速迅速地降下来，故也称为再生制动状态。

(b) 泵升电压

电动机在再生制动状态发出的电能，将通过和逆变管反并联的二极管 $VD_7 \sim VD_{12}$ 全波整流后反馈到直流电路，使直流电路的电压 U_D 升高，称为泵升电压。

(c) 多余能量的消耗

如果直流电压 U_D 升得太高，将导致整流和逆变器件的损坏。所以，当 U_D 上升到一定限值时，须通过能耗电路(制动电阻和制动单元)放电，把直流回路内多余的电能消耗掉。

(4) 减速过程中的主要矛盾

(a) 减速快慢的影响

如上述，频率下降时，电动机处于再生制动状态。所以，和频率下降速度有关的因素有：

• 制动电流

就是电动机处于发电机状态时向直流回路输送电流的大小。

• 泵升电压

其大小将影响直流回路电压的上升幅度。

(b) 减速过程的主要矛盾

和加速过程相同，在生产实践中，拖动系统的减速过程也属于不进行生产的过渡过程，故减速过程应该越短越好。

同样，由于拖动系统存在着惯性的原因，频率下降得太快了，电动机转子的转速 n_M 将跟不上同步转速的下降，转差 Δn 增大，引起再生电流的增大和直流回路内泵升电压的升高，甚至可能超过一定限值而导致变频器因过电流或过电压而跳闸。

所以，减速过程必须解决好的主要问题是在防止减速电流过大和直流电压过高的前提下，尽可能地缩短减速过程。在一般情况下，直流电压的升高是更为主要的因素。

1.2 加、减速的功能设置

变频器中，针对电动机在升、降速过程中的特点，以及生产实际对拖动系统的各种要求，设置了许多相关的功能，供用户进行选择。

(1) 加、减速时间

(a) 加速时间的定义

不同变频器对加速时间的定义不完全一致，主要有以下两种：

- 定义 1

变频器的输出频率从 0Hz 上升到基本频率所需要的时间；

- 定义 2

变频器的输出频率从 0Hz 上升到最高频率所需要的时间。

在大多数情况下，最高频率和基本频率是一致的。

加速时间的定义如图 5(a) 所示。

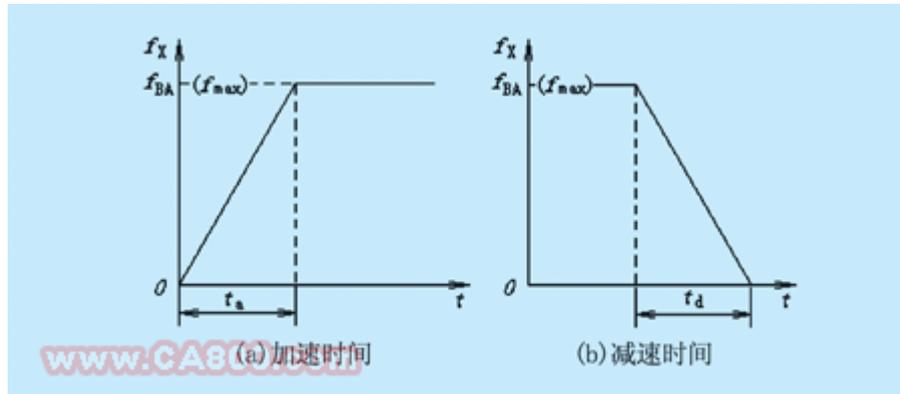


图 5 加速时间的定义

(b) 减速时间的定义

- 定义 1

变频器的输出频率从基本频率下降到 0Hz 所需要的时间；

- 定义 2

变频器的输出频率从最高频率下降到 0Hz 所需要的时间。

减速时间的定义如图 5(b) 所示。

(2) 加、减速方式

(a) 加速方式

加速过程中，变频器的输出频率随时间上升的关系曲线，称为加速方式。变频器设置的加速方式有：

- 线性方式

变频器的输出频率随时间成正比地上升，如图 6(a) 所示。大多数负载都可以选用线性方式。

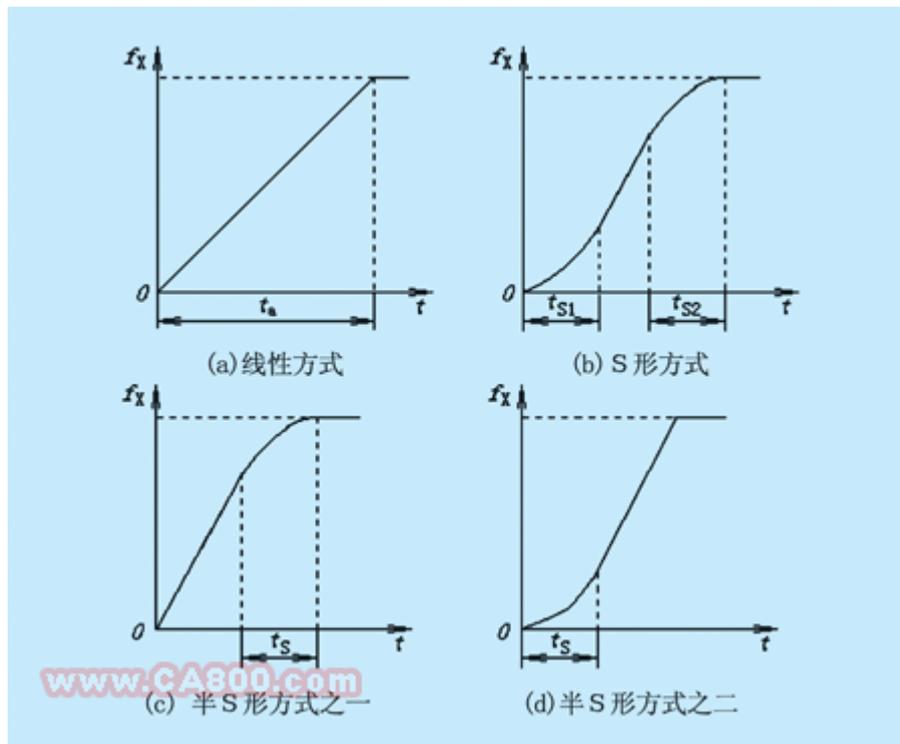


图6 加速方式

- S形方式

在加速的起始和终了阶段，频率的上升较缓，加速过程呈S形，如图6(b)所示。例如，电梯在开始起动以及转入等速运行时，从考虑乘客的舒适度出发，应减缓速度的变化，以采用S形加速方式为宜。

- 半S形方式

在加速的初始阶段或终了阶段，按线性方式加速；而在终了阶段或初始阶段，按S形方式加速，如图6(c)和6(d)所示。图6(c)所示方式主要用于如风机一类具有较大惯性的二次方律负载中，由于低速时负荷较轻，故可按线性方式加速，以缩短加速过程；高速时负荷较重，加速过程应减缓，以减小加速电流；图6(d)所示方式主要用于惯性较大的负载。

(b) 减速方式

和加速过程类似，变频器的减速方式也分线性方式、S形方式和半S形方式。

- 线性方式

变频器的输出频率随时间成正比地下降，如图7(a)所示。大多数负载都可以选用线性方式。

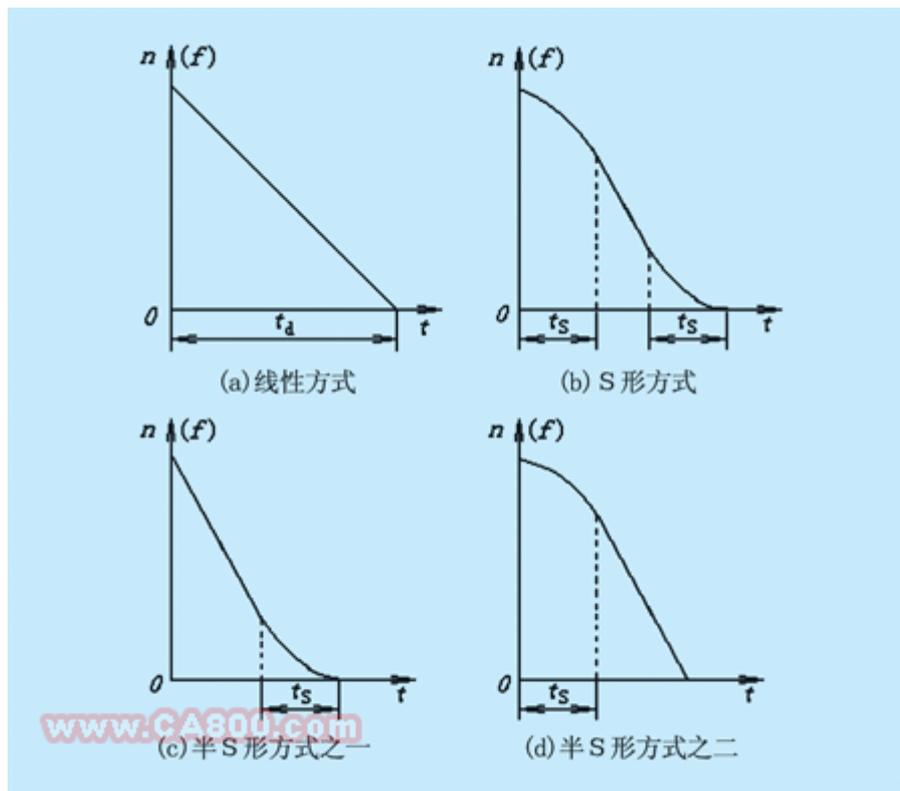


图7 减速方式

- S形方式

在减速的起始和终了阶段，频率的下降较缓，减速过程呈S形，如图7(b)所示。

- 半S形方式

在减速的初始阶段或终了阶段，按线性方式减速；而在终了阶段或初始阶段，按S形方式减速，如图7(c)和7(d)所示。

减速时S形方式和半S形方式的应用场合和加速时相同。

2 变频调速的起动功能

2.1 起动频率与暂停加速功能

(1) 起动频率

(a) 功能含义

电动机开始起动时，并不从0Hz开始加速，而是直接从某一频率下开始加速。在开始加速瞬间，变频器的输出频率便是起动频率。

设置起动频率是部分生产机械的实际需要，例如：

- 有些负载在静止状态下的静摩擦力较大，难以从0Hz开始起动，设置了起动频率后，可以在起动瞬间有一点冲力，使拖动系统较易起动起来；
- 在若干台水泵同时供水的系统里，由于管路内已经存在一定的水压，后起动的水泵在频率很低的情况下将难以旋转起来，故也需要电动机在一定频率下直接起动；
- 锥形电动机如果从0Hz开始逐渐升速，将导致定、转子之间的磨擦。所以，设置了起动频率，可以在起动时很快建立起足够的磁通，使转子与定子间保持一定的空气隙等等。

(b) 设置起动频率的方式

主要有两种方式：

- 稍有给定信号($X=0+$)，变频器的输出频率即为起动频率 f_s ，如图8(a)所示；

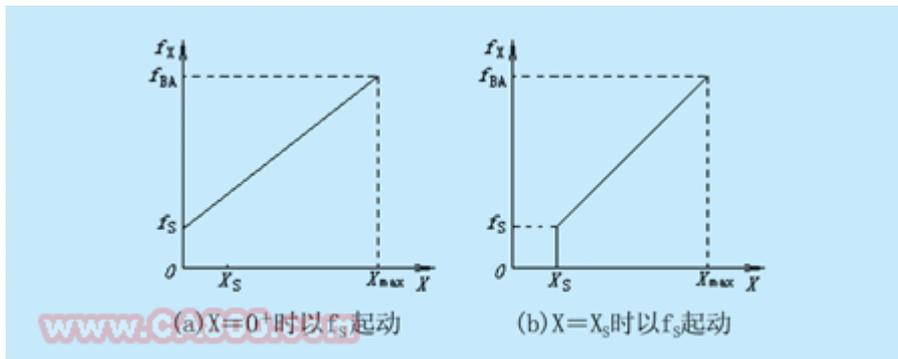


图 8 起动频率

• 设置一个死区 $X_s\%$, 在给定信号 $X < X_s\%$ 的范围内, 变频器的输出频率为 0Hz ; 当给定信号 $X = X_s\%$ 时, 变频器直接输出与 $X_s\%$ 对应的频率, 如图 8(b) 所示。

(2) 暂停加速功能

(a) 功能含义

电动机起动后, 先在较低频率 f_{DR} 下运行一个短时间, 然后再继续加速的功能。

在下列情况下, 应考虑预置暂停加速功能:

- 对于惯性较大的负载, 起动后先在较低频率下持续一个短时间 t_{DR} , 然后再加速;
- 齿轮箱的齿轮之间总是存在间隙的, 起动时容易发生齿间的撞击, 如在较低频率下持续一个短时间 t_{DR} , 可以减缓齿间的撞击;
- 起重机械在起吊重物前, 吊钩的钢丝绳通常是处于松弛状态的, 预置了暂停加速功能后, 可首先使钢丝绳拉紧后再上升;
- 有些机械在环境温度较低的情况下, 润滑油容易凝固, 故要求先在低速下运行一个短时间, 使润滑油稀释后再加速;
- 对于附有机械制动装置的电磁制动电动机, 在磁抱闸松开过程中, 为了减小闸皮和闸辊之间的摩擦, 要求先在低频下运行, 待磁抱闸完全松开后再升速, 等等。

(b) 设置暂停加速的方式

设置暂停加速的方式主要有两种:

- 变频器输出频率从 0Hz 开始上升至暂停频率 f_{DR} , 停留 t_{DR} 后再加速, 如图 9(a) 所示;

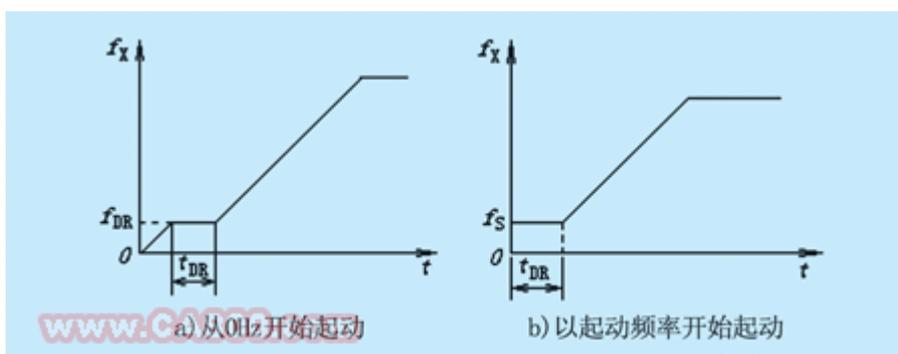


图 9 低频持续时间

- 变频器直接输出起动频率 f_s 后暂停加速, 停留 t_{DR} 后再加速, 如图 9(b) 所示。

2.2 起动前直流制动功能

(1) 功能含义

起动前先在电动机的定子绕组内通入直流电流, 以保证电动机在零速的状态下开始起动。

如果电动机在起动前, 拖动系统的转速不为 0 ($n_m \neq 0$) 的话, 而变频器的输出频率 (从而同步转速 n_0) 从 0Hz 开始上升, 则在起动瞬间, 电动机或处于强烈的再生制动状态 (起动前为正转时), 或处于反接制动状态 (起动前为反转时), 如图 10(a) 所示, 容易引起电动机的过电流。例如:

拖动系统以自由制动的方式停机，在尚未停住前又重新起动；
风机在停机状态下，叶片由于自然通风而自行转动(通常是反转)。

(2) 功能设置

- 选择功能

即选择是否需要起动前的直流制动功能；

- 制动量

即应向定子绕组施加多大的直流电压 U_{DB} ；

- 直流制动时间

即进行直流制动(施加直流电压)的时间 t_{DB} 。如图 10 (b) 所示。

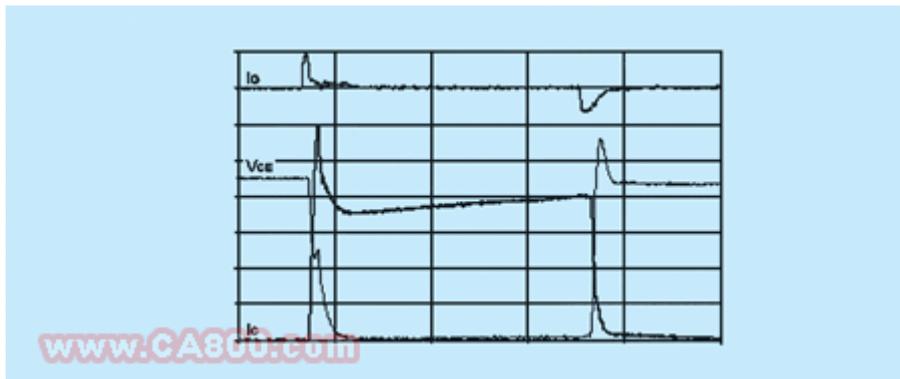


图 10 起动前的直流制动

3 变频调速的停机功能

3.1 基础概念

(1) 电动机的停机方式

在变频调速系统中，电动机可以设定的停机方式有：

(a) 减速停机

即按预置的减速时间和减速方式停机，如上述，在减速过程中，电动机处于再生制动状态，如图 11 (a) 所示。

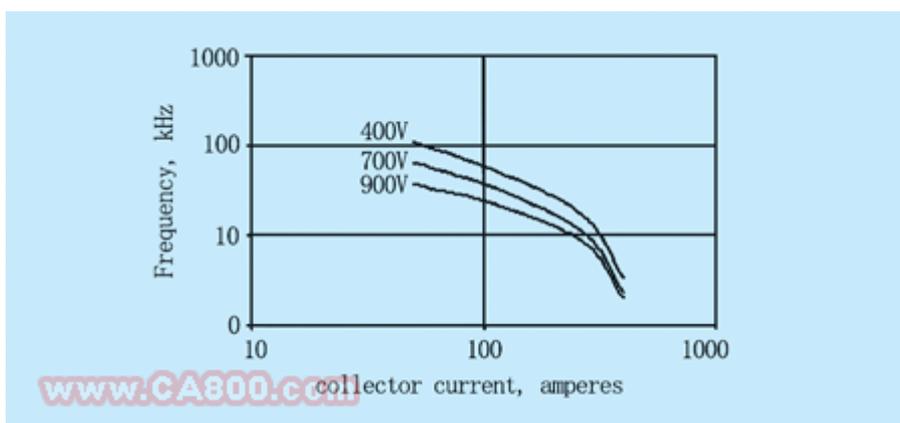


图 11 变频器的停机功能

(b) 自由制动

变频器通过停止输出来停机，这时，电动机的电源被切断，拖动系统处于自由制动状态。由于停机时间的长短由拖动系统的惯性决定，故也称为惯性停机，如图 11 (b) 所示。

(c) 减速加直流制动

首先按预置的减速时间减速，然后转为直流制动，直至停机，如图 11 (c) 所示。

(d) 在低频状态下短暂运行后停机，当频率下降到接近于 0 时，先在低速下运行一个短时间，然后再将频率下降为 0Hz，如图 11(d) 所示。在下列情况下，应考虑预置暂停减速功能：

惯性大的负载从高速直接减速至 0Hz 时，有可能因停不住而出现滑行的现象。如先在低速段运行，然后从低速降为 0Hz，可消除滑行现象；

对于需要准确行车的场合，如卷扬机，为准确停车，即在低速短时运行即爬行后，再减至 0Hz，即可达到准确停车的目的。

对于附有机械制动装置的电磁制动电动机，在磁抱闸抱紧前先在低速段作短时运行，可减少磁抱闸的磨损，等等。

(2) 设置暂停减速的方式

和暂停加速相同，需要预置的参数有：

- (a) 暂停减速的频率 f_{DD} ；
- (b) 停留时间 t_{DD} ，如图 11(d) 所示。

3.2 变频器的直流制动功能

(1) 基础概念

(a) 采取直流制动的必要性

- 有的负载要求能够迅速停机，但减速时间太短将引起电动机实际转速的下降跟不上频率的下降，产生较大的泵升电压，使直流回路的电压超过允许值。采用直流制动，能增大制动转矩、缩短停机时间，且不产生泵升电压；
- 有的负载由于惯性较大，常常停不住，停机后有“爬行”现象，可能造成十分危险的后果。采用直流制动，可以实现快速停机，并消除爬行现象。

(b) 方法和原理

直流制动就是向定子绕组内通入直流电流，使异步电动机处于能耗制动状态。如图 12(a)，由于定子绕组内通入的是直流电流，故定子磁场的转速为 0。这时，转子绕组切割磁力线后产生的电磁转矩与转子的旋转方向相反，是制动转矩。因为转子绕组切割磁力线的速度较大，故所产生的制动转矩比较强烈，从而可缩短停机时间。此外，停止后，定子的直流磁场对转子铁心还有一定的“吸住”作用，以克服机械的“爬行”。

(2) 功能设置

采用直流制动时，需预置以下功能：

(a) 直流制动的起始频率 f_{DB}

在大多数情况下，直流制动都是和再生制动配合使用的。即：首先用再生制动方式将电动机的转速降至较低转速，然后再转换成直流制动，使电动机迅速停住。其转换时对应的频率即为直流制动的起始频率 f_{DB} ，如图 12(b) 所示。

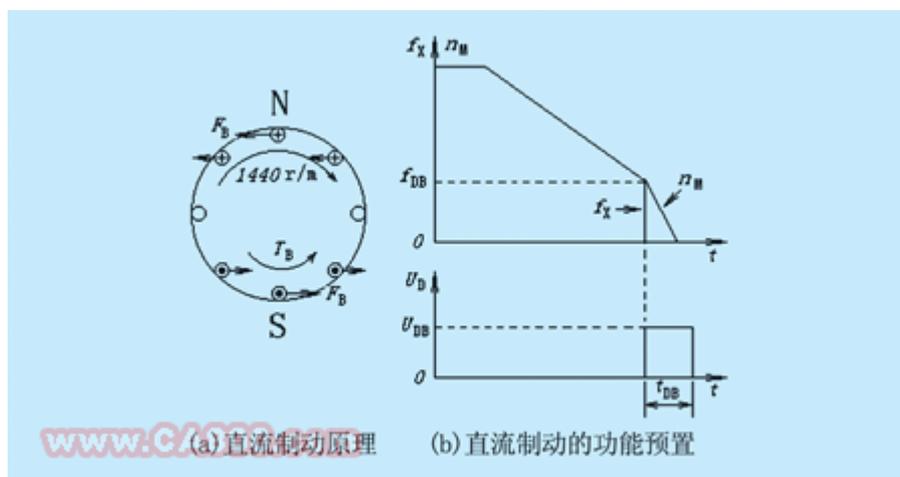


图 12 直流制动原理和预置

预置起始频率 f_{DB} 的主要依据是负载对制动时间的要求，要求制动时间越短，则起始频率 f_{DB} 应越高。

(b) 直流制动强度

即在定子绕组上施加直流电压 UDB 或直流电流 IDB 的大小，它决定了直流制动的强度。如图 12(b) 所示。

预置直流制动电压 UDB(或制动电流 IDB) 的主要依据是负载惯性的 大小，惯性越大者，UDB 也应越大。

(3) 直流制动时间 tDB

即施加直流制动的 时间长短。

预置直流制动时间 tDB 的主要依据是负载是否有“爬行”现象，以及对克服“爬行”的要求，要求越高者，tDB 应适当长一些。

4 变频器的预励磁和零伺服功能

4.1 基础概念

(1) 电磁制动电动机及其控制特点

对于要求停机位置十分准确的场合，常常采用带有机械制动功能的电磁制动电动机。

(a) 电磁制动电动机简介

以 YEJ 系列电磁制动电动机为例，其基本电路如图 13 所示。

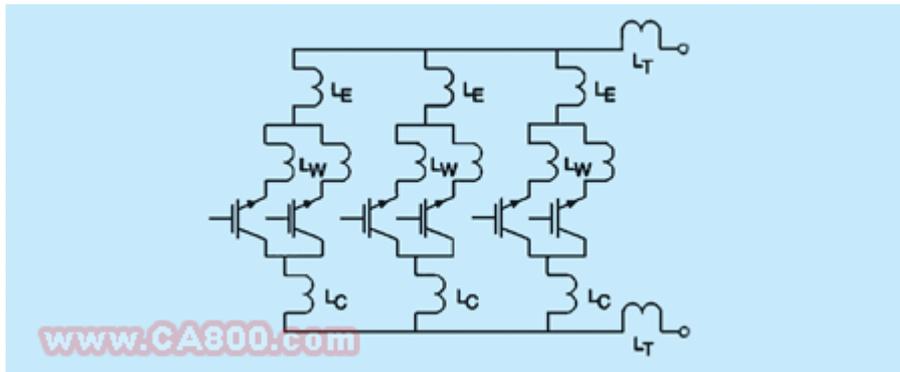


图 13 电磁制动电动机

当接触器 KM 断开、电动机 M 未运行时，制动电磁铁的线圈 YB 处于失电状态，制动器的抱闸为抱紧状态；

当接触器 KM 接通时，YB 经 KM 的辅助接点而得电，所得电压是经半波整流的相电压 (DC99 V)。这时，制动器的抱闸松开，电动机起动。

图 13 中，二极管 VD1 用于进行半波整流；VD2 用于当外加电压过 0 时，为线圈 YB 提供一个续流通路；压敏电阻 RV1、RV2 用于当 KM 断开时，防止线圈 YB 因反电动势过大而击穿。

(b) 电磁制动电动机的控制特点

由于磁抱闸从通电到完全松开，以及从断电到完全抱紧，都需要时间 (约 0.3~0.6s)，并且有一个逐渐松开和逐渐抱紧的过程。在逐渐松开和逐渐抱紧的过程中，希望在抱闸和闸辊之间，尽量减少滑动摩擦。最好是在电动机停住的状态下抱紧，在抱闸完全松开后起动。

(2) 起重机械的溜钩问题

起重机械由于重物本身具有重力加速度，当重物从空中的停止状态转为上升或下降的运动状态时，如果使制动电磁铁 YB 先通电，等抱闸松开后再接通电动机，则在抱闸逐渐松开，而电动机尚未通电的过程中，重物必将下滑，形成“溜钩”。如果使电动机和制动电磁铁 YB 同时通电，则当抱闸尚未完全松开的过程中，电动机将处于过载状态。

同样，当重物从上升或下降的运动状态转为停止状态时，如果使电动机和制动电磁铁 YB 同时断电，则因为抱闸从断电到完全抱紧，需要时间，在抱闸尚未完全抱紧的过程中，重物也必将下滑，形成“溜钩”。如果令制动电磁铁 YB 在电动机断电之前，提前断电，待电动机断电时，抱闸已经抱紧了。在制动电磁铁 YB 逐渐抱紧的过程中，电动机也必将处于过载状态。

4.2 功能设置

在“有反馈矢量控制”方式下，当变频器的运行信号有效，但频率给定信号为 0Hz 时，可以使变频器向电动机提供足够的励磁电流，产生足够大的零速转矩，以防止重物“溜钩”。

(1) 预励磁功能

当电动机从停住状态转为运行状态时，预先向电动机绕组内输入足够大的励磁电流，使电动机产生足够强的零速转矩的功能。

(2) 零伺服功能

当电动机从运行状态转为停住状态时，变频器在运行指令有效的情况下，在频率给定信号为 0 时，变频器使电动机保持足够强的零速转矩的功能。

5 某些变频器的特殊功能

(1) 加、减速的衔接功能

生产实践中，有时会遇到这样的情况：在拖动系统正在加速的过程中，又得到减速或停机的指令。这时，就出现了加速过程和减速过程的衔接问题。

变频器对于在加速过程尚未结束的情况下，得到停机指令时减速方式的处理如图 14 所示。

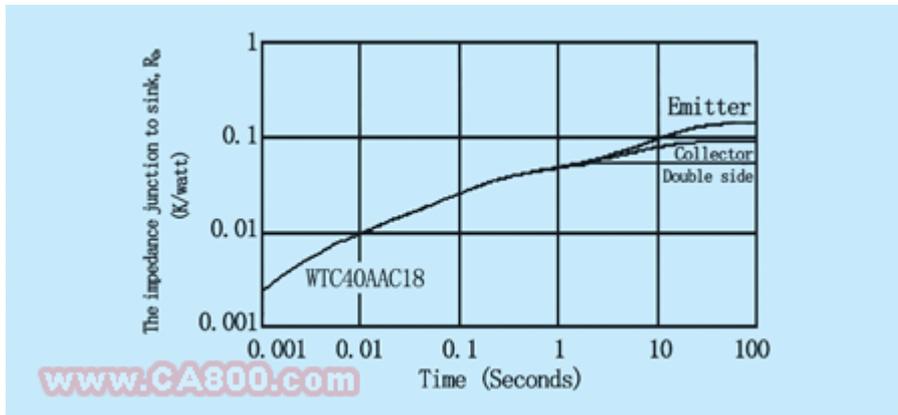


图 14 加减速的衔接功能

图 14(a) 是运行指令，图 14(b) 是加、减速曲线。曲线①是在运行指令时间较长情况下的 S 形加速曲线；曲线②和曲线③是在加速过程尚未完成，而运行指令已经结束时的减速曲线。用户可根据生产机械的具体情况进行选择。

(2) 加、减速时间的最小极限功能

某些生产机械，出于特殊的需要，要求加、减速时间越短越好。对此，有的变频器设置了加、减速时间的最小极限功能。其基本含义是：

(a) 最快加速方式

在加速过程中，使加速电流保持在变频器允许的极限状态 ($I_A \triangleright 150\%I_N$ ， I_A 是加速电流， I_N 是变频器的额定电流) 下，从而使加速过程最小化。

(b) 最快减速方式

在减速过程中，使直流回路的电压保持在变频器允许的极限状态 ($U_D \triangleright 95\%U_{DH}$ ， U_D 是减速过程中的直流电压， U_{DH} 是直流电压的上限值) 下，从而使减速过程最小化。

(c) 最优加速方式

在加速过程中，使加速电流保持在变频器额定电流的 120% ($I_A \triangleright 120\%I_N$)，使加速过程最优化。

(d) 最优减速方式

在减速过程中，使直流回路的电压保持在上限值的 93% ($U_D \triangleright 93\%U_{DH}$)，使减速过程最优化。

(3) 异常停机功能

当生产机械发生紧急情况时，将发出紧急停机信号。对此，有的变频器设置了专门用于处理异常情况的功能。在异常停机期间，其操作信号都将无效。

参考文献

(略)

作者简介

张燕宾(1937-) 男 高级工程师 退休前在宜昌市自动化研究所工作，曾任自动化研究所副所长、宜昌市科委驻深圳联络处主任；宜昌市自动化学会理事长、湖北省自动化学会常务理事。著作：SPWM 变频调速应用技术(编著，机械工业出版社 1997 年 12 月初版；2002 年 4 月第二版)；变频调速应用实践(主编，机械工业出版社 2001 年 1 月出版)；变频器应用基础(副主编，机械工业出版社 2003 年 1 月出版)。

讲座四

—变频器的外接端子及其控制功 The Control Function and Outer Terminals of the Inverter

摘 要: 本文介绍了变频器用于远程控制的输入和输出端子的功能预置, 并举例说明几种主要功能的使用方法。

关 键 词: 输入控制端子 输出控制端子 基本控制端 可编程控制端 报警输出端 模拟量输出端 开关量输出端 升速/降速功能 多档速功能 频率到达功能。

Abstract: This paper introduced the function of the input terminals and output terminals for remote control. And introduced the some method in use with example.

Keywords: Input control terminals Output control terminals Basic control terminals Programmable control terminals Alarm signal output terminals Analog output terminals Switching output terminals UP/DOWN function Multi-speed function Frequency arrived function.

1 变频器的控制功能

1.1 基础概念

变频器运行的控制信号也叫操作指令, 如起动、停止、正转、反转、点动、复位等。

和频率给定方式类似, 变频器操作指令的输入方式也有:

(1) 键盘操作

即通过面板上的键盘输入操作指令。大多数变频器的面板都可以取下, 安置到操作方便的地方, 面板和变频器之间用延长线相联接, 从而实现了距离较远的控制, 如图 1 所示。

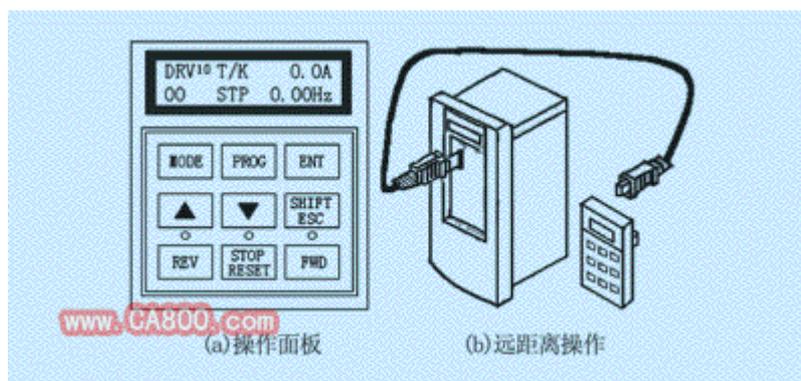


图 1 面板操作

(2) 外接输入控制

操作指令通过外接输入端子从外部输入开关信号... ..

讲座五

—变频器的系统控制功能 The System Control Function of the Inverters

摘要: 本文介绍了变频器中的程序控制功能和PID调节功能。并对PID调节的基本原理进行了深入浅出的讲解。

关键词: 程序控制 程序步 单循环 自动调节控制 目标信号 反馈信号 比例增益 比例带 积分时间 微分时间

Abstract: This paper introduced the inverter's programmed control and PID control function. And explained the basic principle of PID control in simple terms.

Keywords: Programming control Step Simple cycle Automatic regulate control Target signal Feedback signal Proportion gain Proportional band Integral time Derivative time

1 变频器的内置程序控制功能

1.1 基本概念

各种变频器都具有按时间控制的程序控制功能，在一个运行周期中，可以划分为若干个程序步。各程序步的工作频率、运行时间以及加、减速的快慢都由用户根据生产工艺的需要来进行预置。

(1) 程序步的划分

程序步是按运行频率的不同而划分的，如图1所示。一个周期内各程序步需要预置的内容如下：

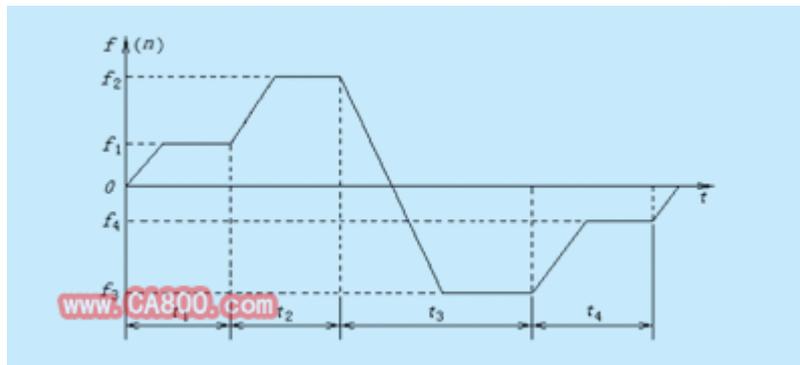


图1 变频器的编程功能

1 程序步 1: 工作频率为 f_1 ，运行时间为 t_1 (包括加速过程所需的时间)，加速时间为 t_{A1} ;

1 程序步 2: 工作频率上升为 f_2 ，运行时间为 t_2 (包... ..)