

变频器种类很多,根据性能及控制方式可把变频器分为简易型、多功能型、高性能型。变频器的控制方式有 U/f 控制、电压型 PWM 控制、电流型矢量控制、转差频率控制等。在选择变频器时,首先要选择种类,其次要选择变频器的型号、容量等。如果变频器的选型不当,会造成变频器不能充分发挥作用。选择变频器的同时还要选择与变频器匹配的外围设备。

5.1 常用变频器的品牌及主要参数

5.1.1 变频器常见品牌的介绍

目前国内市场上流行的通用变频器有很多种,如西门子、罗克韦尔、Schneider、富士、三菱、日立、松下、东芝、LG、三星、东元、时代、西普、科姆龙、普传、佳灵、森兰、利德华福、惠丰等。欧美国家的产品有性能先进、适应环境性强的特点;日本产品外形小巧、功能多;国产变频器则符合国情、功能简单、专用、大众化、价格低。

1. 德国西门子新型变频器

西门子公司推出两种新型变频器 G110 和 G150,其特点是单输入,且能广泛应用于水泵、风机等负载。G110 单相变频器的功率范围为 $0.12\sim 3\text{kW}$,设计简单、成本低,目前作为西门子 Micromaster4 系列变频器的补充部分,而不是完全替代它。G110 系列变频器分两种:一种是带有模拟量输入;另一种是采用 RS485 通信接口形式,并专门和西门子的 S7 系列 PLC 配合使用。该变频器带有插拔的键盘,具有从一个变频器到另一个变频器的参数复制功能。G150 变频器的功率范围为 $75\sim 800\text{kW}$,这种变频器提供了西门子传动固有的 PROFIBUS 接口。G150 变频器在全功率运行下,仅产生 72dB 水平的噪声,因此不需安装隔音设备,节省了安装经费和安装空间。

2. 美国罗克韦尔 PowerFlex 700 交流变频器

罗克韦尔(AB)公司的 PowerFlex 700 交流变频器使用新一代的中压功率元件 SGCT,在提高可靠性的同时降低了导通和开关损耗,并由此推出先进的无变压器变频方案。该产品提供对电源、控制和操作界面的灵活封装,用于满足空间、灵活性可靠性要求,并提供丰富的功能,允许用户在大多数应用中很容易地对变频器进行组态。其特点是人机界面及调试灵活、零间隙安装、多种通信连接及控制方式多样。

3. 西普小精灵系列变频器(国产)

西普小精灵系列变频器是依据中国国情设计的 21 世纪新产品,采用 16 位单片机、IGBT 和最新空间向量控制理论,功能精简,简易实用,通过参数设定器可得到与泛用型 G 系列相同的功能。该系列产品的控制模式为空间向量控制,输出频率范围为 $0\sim 400\text{Hz}$,载波频率范围

为 2~16kHz,过载系数为 150%,加、减速时间范围为 0.1~3200s,控制功能有正转/反转、点动、两段速等。

4. 科姆龙 KV1000 系列通用型变频器(国产)

科姆龙 KV1000 系列通用型变频器采用模块化的设计思想,使产品维护方便;采用独特的防尘通道设计,适用于多尘埃、潮湿恶劣的工业场合;采用独特的书本式面盖设计,使配线更加方便、合理,且外形美观。该系列产品的主要技术指标有 4 个:①宽电压工作范围,允许电压波动达±20%,适用于恶劣的电网环境;②强功率裕量设计,使产品的过载和抗冲击能力增强;③磁通矢量控制算法及死区补偿技术,可实现 0.5Hz 额定转矩输出,适合负载的直接起动,电流波形谐波成分少,效率高;④转速追踪再起功能,尤其适合大惯性负载的瞬停无冲击平滑起动。

5. 普传交流变频调速器(国产)

普传变频器,全称为“普传交流变频调速器”,是普传科技股份有限公司旗下的品牌变频器。主要用于三相异步交流电机的变频调速和节能,用于控制和调节三相交流异步电机的速度,并以其稳定的性能、丰富的组合功能、高性能的矢量控制技术、低速高转矩输出、良好的动态特性及超强的过载能力,在变频器市场占据着重要的地位。普传 PI8000 系列变频器是普传科技基于电机运行与控制最新理论和技术成果推出的全新电流矢量高性能变频器,以伺服功能完成对电机的完美控制。PI8600 系列变频器是普传科技基于 PI8000 系列高性能电流矢量软件平台的,针对单相 220V 的应用场合需求,特研制的一款单相经济型变频器,是现代小型加工制造业自动化控制的精品。PI9000 系列变频器是普传科技基于电机运行与控制最新理论和技术成果推出的全新电流矢量高性能变频器,以伺服功能完成对电机的完美控制。

5.1.2 变频器常用参数

1. 输入侧的额定值

中小型通用变频器输入侧的额定值主要指电压和相数。在我国,输入电压的额定值有三相 380V、三相 220V 和单相 220V 三种,输入侧电压的频率一般为工频 50Hz。

2. 输出侧的额定值

1) 输出电压 U_N

由于变频器在变频的同时也要变压,所以输出电压的额定值是指输出电压中的最大值。在大多数情况下,它就是输出频率等于电动机额定频率时的输出电压值。通常,输出电压的额定值总是和输入电压相等。

2) 输出电流 I_N

I_N 指允许长时间的最大电流,是用户在选择变频器时的主要依据。

3) 输出容量 S_N

S_N 取决于 U_N 和 I_N 的乘积,其表达式为

$$S_N = \sqrt{3} U_N I_N$$

4) 配用电动机容量 P_N

对于长期连续工作的负载,变频器的配用电动机容量估算方法为

$$P_N = S_N \eta_M \cos \varphi_M$$

5) 过载能力

变频器的过载能力是指允许其输出电流超过额定电流的能力,大多数变频器都规定为 150% I_N 。

3. 变频器的性能指标

1) 在 0.5Hz 时能输出多大的起动转矩

比较优良的变频器在 0.5Hz 时能输出 200% 的高起动转矩(在 22kW 以下, 30kW 以上能输出 180% 的起动转矩)。具有这一性能的变频器, 可根据负载要求实现短时间平稳加、减速, 快速响应急变负载, 及时检测出再生功率。

2) 频率指标

变频器的频率指标包括频率范围、频率稳定精度和频率分辨率。

频率范围以变频器输出的最高频率和最低频率标识, 各种变频器的频率范围不尽相同。通常, 最低工作频率范围为 0.1~1Hz, 最高工作频率范围为 200~500Hz。

频率稳定精度也称为频率精度, 是指在频率给定值不变的情况下, 当温度、负载变化, 电压波动或长时间工作后, 变频器的实际输出频率与给定频率之间的最大误差与最高工作频率之比(用百分比表示)。例如, 用户给定的最高工作频率为 120Hz, 最大误差为 0.012Hz, 则频率精度为 $0.012/120=0.01\%$ 。

通常数字量给定的频率精度约比模拟量给定的频率精度高一个数量级, 一般数字量能达到 $\pm 0.01\%$, 模拟量能达到 $\pm 0.5\%$ 。

频率分辨率指输出频率的最小改变量, 即每相邻两档频率之间的最小差值。

4. 变频器容量

通用变频器的容量用所选的电动机功率、输出容量、额定输出电流表示。其中最重要的是额定输出电流, 它是指变频器连续运行时输出的最大交流电流的有效值。

输出容量决定于额定输出电流与额定输出电压下的三相视在输出功率。日本的各变频器生产厂家在 1993 年达成行业协议: 变频器的型号规格中均标以所适用的电动机最大功率数。例如, 富士公司的 FRN30G11S-4, 表示产品型号为 FRENIC5000, 标准适配电动机容量为 30kW, 系列名称为 G11S, 电源电压为 400V。

5. 输出频率

变频器的最高输出频率, 根据型号不同差别很大, 通常有 50/60Hz、120Hz、240Hz、400Hz 或更高, 通用变频器中大容量的大都属于 50/60Hz 这一类, 而最高输出频率超过工频的变频器多为小容量。例如, 应用于车床上的变频器, 容量小, 它根据工件的直径和材料改变速度, 在恒功率范围内使用, 在轻载时采用高速可以提高生产率。

6. 保护结构

变频器内部生产的热量较大, 考虑到散热的经济性, 除小容量变频器外, 一般采用开放式构造, 用风扇进行强制冷却。对于小容量变频器, 在粉尘、烟雾多的环境, 或者棉绒多的纺织厂, 也可采用全封闭式结构。

7. 电源电压不平衡率

$$\text{电源电压不平衡率} = \frac{\text{最大相电压} - \text{最小相电压}}{\text{三相平均电压}} \times 67 \times 100\%$$

5.2 变频器的选择

通用变频器的选择包括变频器的类型选择和容量选择, 变频器的类型选择是根据负载要求来选择的。容量是根据电动机的额定电流和额定功率来决定的。在实际工程中, 负载的机械特性是不同的, 选择变频器的方法也是不同的, 所以在选择变频器之前, 一定要了解负载特

性及负载的机械特性。

5.2.1 负载特性

1. 变频器传动的电动机等效电路

变频器传动时,变频器输出的波形中含有高次谐波。基波分量的等效电路如图 5-1 所示。对于高次谐波分量,由于励磁电抗 jx_m 变大,所以高次谐波等效电路省略 x_m ,如图 5-2 所示。

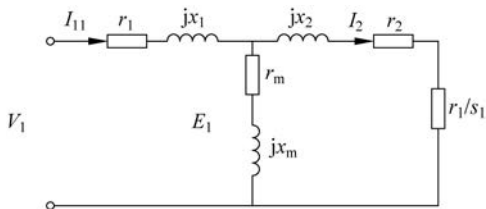


图 5-1 基波等效电路

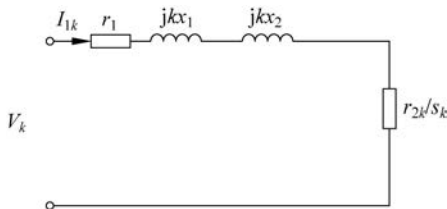


图 5-2 高次谐波等效电路

分别计算基波等效电路和高次谐波等效电路的参数,进而利用叠加原理获得变频器传动的电动机负载特性参数。

2. 空载特性

空载电流可由基波电流 I_{01} 与 k 次谐波电流 I_{0k} 叠加合成求得,即

$$I_0 = (I_{01}^2 + \sum_k I_{0k}^2)^{1/2} \quad (5-1)$$

$$I_{01} = \frac{V_1}{\sqrt{(r_1 + r_m)^2 + (x_1 + x_m)^2}} \quad (5-2)$$

$$I_{0k} = \frac{V_k}{\left[\left(r_1 + \frac{r_{2k}}{s_k} \right)^2 + (kx_1 + kx_2)^2 \right]^{1/2}} \quad (5-3)$$

由式(5-1)可以看出,变频器传动比工频电源传动的空载电流要大些。

构成空载损耗的主要部分有定子铜损、转子铜损、铁损和机械损。空载时的损耗比较见表 5-1,其中,转子铜损和与斩波频率有关的铁损是高次谐波引起损耗增大的主要部分。

表 5-1 空载时的损耗比较

损 耗	变频器传动	工频电源传动	变频器传动引起增大部分
定子铜损	$3I_{01}^2 r_1$	$3I_{01}^2 r_1$	$3 \sum_k I_{0k}^2 r_1$
转子铜损	$3 \sum_k I_{0k}^2 r_{2k}$	≈ 0	$3 \sum_k I_{0k}^2 r_{2k}$
铁损	$3I_{01}^2 r_m$ + 与斩波频率有关的铁损	$3I_{01}^2 r_m$	与斩波频率有关的铁损

3. 负载特性分析

由图 5-1 求得负载基波电流 I_{11} ,由图 5-2 求得负载 k 次高次谐波电流 I_{1k} ,再将负载的基波电流 I_{11} 与 k 次高次谐波电流 I_{1k} 叠加求得负载电流 I_1 。

$$I_1 = (I_{11}^2 + \sum_k I_{1k}^2)^{1/2} \quad (5-4)$$

负载基波电流 I_{11} 是与电动机产生功率相对应的基波电流,产生功率等于电动机轴输出

功率加上机械损耗(风损、摩擦损等)。

电动机损耗有定子铜损、转子铜损、铁损和机械损(风损、摩擦损等),它们又可分为变频器传动、工频电源传动无变化的成分和受高频分量影响而增加的成分(变频器传动引起增大部分)。

负载时的损耗比较见表 5-2。高次谐波分量引起的损耗增大部分与负载大小无关,可以大体看作一定,与空载时相同。因此,负载越轻高次谐波引起的损耗增加的影响就越大,效率、功率因数等特性将恶化。

表 5-2 负载时的损耗比较

损 耗	变频器传动	工频电源传动	变频器传动引起增大部分
定子铜损	$3I_1^2 r_1$	$3I_{11}^2 r_1$	$3 \sum_k I_{1k}^2 r_1$
转子铜损	$3I_{12}^2 + 3 \sum_k I_{1k}^2 r_{2k}$	$3I_{12}^2 \times r_{21}$	$3 \sum_k I_{1k}^2 r_1$
铁损	$3I_{m1}^2 r_m$ + 与斩波频率有关的铁损	$3I_{m1}^2 r_m$	与斩波频率有关的铁损

由于变频器传动与工频电源传动产生的负载损耗不同,相对的负载特性也就不同。我们将典型的 PWM 变频器传动与工频电源传动所产生的负载特性列表比较,见表 5-3。电动机是 4 极,功率为 15kW,全封闭外扇式。由表 5-3 中列出的特性可看出,变频器传动与工频电源传动相比,效率、功率因数恶化,线圈温升变得相当高。通常电动机温升同冷却风量产生的冷却效果关系是

$$\theta \propto \frac{1}{Q^{0.4 \sim 0.5}} \tag{5-5}$$
$$Q \propto N$$

式中: θ ——电动机的温升;

Q ——冷却风量;

N ——电动机转速。

表 5-3 负载特性的比较

电 源 种 类	工 频 电 源	PWM 变频器
电压/V	200	194
电流/A	54.5	58.8
输入功率/kW	16.5	17.1
转速/(r/min)	1453	1450
输出功率/kW	14.92	14.5
效率/%	90.8	87.5
功率因数/%	87.5	86.6
线圈温升/℃	58	77

实际上计算损耗的增加非常复杂,一般采用估算方法,即电动机在额定运转时,变频器传动与工频电源传动相比,电流约增加 10%,温升约增加 20%。

5.2.2 负载的机械特性

变频器的选择不仅要考虑负载特性还要考虑负载的机械特性。电动机的机械特性 $n=f(T_M)$ 必须与负载特性 $n=f(T_L)$ 相匹配,整个传动系统才能正常工作。下面介绍几种典型负载的机械特性。

1. 恒转矩负载

恒转矩负载的转矩不随转速的变化而变化,是一个恒定值。例如,起重机的位能性负载。如图 5-3 所示,电动机拖动卷绕轮将重物吊起,重物受地球引力为 F_L ,卷绕轮的半径为 r ,则负载转矩 $T_L = rF_L$ 。不管电动机的转速如何,因为 F_L 不变,所以 T_L 不变,因此这类负载具有恒转矩特性。

除了电梯、卷扬机、起重机、抽油机等位能负载具有恒转矩之外,摩擦类负载也是具有恒转矩特性的负载,如传送带、搅拌机、挤压成型机、造纸机等。恒转矩负载的机械特性如图 5-4 中直线①所示,当转速发生变化时,其负载功率与转矩呈线性关系,如图 5-4 中直线②所示。

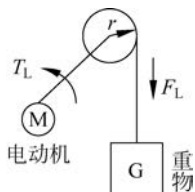


图 5-3 恒转矩负载

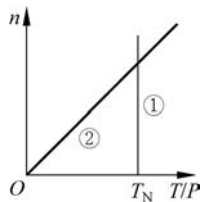


图 5-4 恒转矩特性曲线

要注意的是,恒转矩负载的转矩只是不随转速的变化而变化,但会随负载自身的变化而变化。例如,起重机的重物发生变化,则转矩也会发生变化。

2. 恒功率负载

恒功率负载的转速发生变化时,其转矩也随着变化,而负载的功率始终为一个恒定值。例如,车床以相同的切削线速度和进刀深度加工工件时,若工件的直径大,则主轴的转速低;若工件的直径小,则主轴的转速高,切削功率保持为一恒定值。例如,卷绕机开始卷绕时卷绕直径小,转矩小,则卷绕速度高;当卷绕直径逐渐增大时,转矩增大,则卷绕速度降低,保持卷绕功率为一恒定值。恒功率负载的机械特性如图 5-5 中直线①所示,其转速与转矩之间的关系如图 5-5 中曲线②所示。

3. 平方转矩负载

风机、泵类等流体机械,当叶轮转动时,其工作介质(如空气、水、油等)对叶轮的阻力大致与叶轮转速的平方成比例。当叶轮的转速较低时,流体的流速低,对叶轮的阻力小。随着叶轮转速的增加,流体的流速加快,对叶轮的阻力按转速的二次方比例增加,即 $T_L = kn^2$ 。平方转矩负载的特性曲线如图 5-6 所示,其中曲线①是转矩特性,曲线②是功率特性。

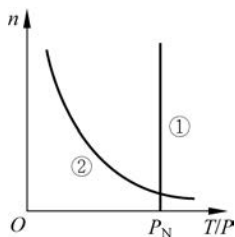


图 5-5 恒功率负载特性曲线

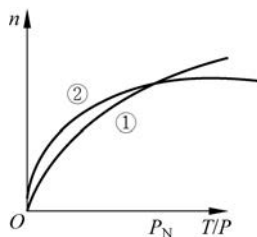


图 5-6 平方转矩负载特性曲线

由特性曲线可见,这类负载起动转矩小,随着转速升高,转矩也在增大;其负载功率与转速的三次方成比例,转速发生变化,其负载功率就有较大变化,所以这类负载用变频器调速具有很好的节能效果。

5.2.3 变频器类型选择

通用变频器根据控制功能的不同,可以分为4种类型:普通功能型 U/f 控制变频器、具有转矩控制功能的高功能型 U/f 控制变频器、矢量控制高性能变频器和直接转矩控制型变频器。变频器的类型选择要考虑负载的要求和周围的环境等因素。

1. 变频器类型选择的依据和方法

(1) 变频器类型选择的基本原则:选择通用变频器时,应以电动机的额定电流和负载特性为依据选择变频器的额定容量。各个生产商定义通用变频器的额定容量有些差异,通常以不同的过载能力为标准确定。例如,125%载荷条件下持续工作1min,以此变频器的输出电流作为变频器的额定容量(额定电流);或150%载荷条件下持续工作1min,以此变频器的输出电流作为变频器的额定容量(额定电流)。

(2) 选择类型和使用变频器前,应仔细阅读产品说明书,有不当之处应及时调整。然后再进行选型、购买、安装、接线、设置参数、试车和投入运行。

(3) 通用变频器输出端允许连接的电缆长度是有限制的,若需要长电缆运行或控制多台电动机时,应采取措施抑制对地耦合电容的影响,并应放大一、两档选择变频器容量或在变频器的输出端选择安装输出电抗器。另外,在此种情况下变频器的控制方式只能为 U/f 控制方式,并且变频器无法实现对电动机的保护,需在每台电动机上加装热继电器实现保护。

(4) 对于一些特殊的应用场合,如环境温度高于 50°C 、海拔高度高于1000m等,会引起通用变频器过电流,选择的变频器容量需放大一档。

(5) 通用变频器用于控制高速电动机时,由于高速电动机的电抗小,会产生较多的谐波,这些谐波会使变频器的输出电流值增加。因此,选择的变频器容量应比拖动普通电动机的变频器容量稍大一些。

(6) 通用变频器用于变极电动机时,应充分注意选择变频器的容量,使电动机的最大运行电流小于变频器的额定输出电流。另外,在运行中进行极数转换时,应先停止电动机工作,否则会造成电动机空载加速,严重时会造成变频器损坏。

(7) 通用变频器用于驱动防爆电动机时,由于变频器没有防爆性能,应考虑是否能将变频器设置在危险场所之外。

(8) 通用变频器用于驱动齿轮减速电动机时,使用范围受到齿轮转动部分润滑方式的制约。当用润滑油润滑时,在低速范围内没有限制,在超过额定转速的高速范围内,有可能发生润滑油欠供的情况,因此,要考虑最高转速容许值。

(9) 通用变频器用于驱动绕线转子异步电动机时,由于绕线电动机与普通异步电动机相比,绕线电动机绕组的阻抗小,容易发生因谐波电流而引起的过电流跳闸现象,因此应选择比通常容量稍大的变频器。一般绕线电动机多用于飞轮力矩较大的场合,在设定加、减速时间应特别注意核对,必要时应经过计算。

(10) 通用变频器用于驱动同步电动机时,与工频电源相比会降低输出容量的10%~20%,变频器的连续输出电流要大于同步电动机的额定电流。

(11) 通用变频器用于压缩机、振动机等转矩波动大的负载及油压泵等有功率峰值的负载时,有时按照电动机的额定电流选择变频器可能发生因峰值电流使过电流保护动作的情况。因此,应选择比其在工频运行下的最大电流更大的运行电流作为选择变频器容量的依据。

(12) 通用变频器用于驱动潜水泵电动机时,因为潜水泵电动机的额定电流比普通电动机的额定电流大,所以选择变频器时,其额定电流要大于潜水泵电动机的额定电流。

(13) 通用变频器用于驱动罗茨风机或特种风机时,由于其起动电流很大,所以选择变频器时一定要注意变频器的容量是否足够大。

(14) 通用变频器不适用于驱动单项异步电动机,当通用变频器作为变频电源用途时,应在变频器输出侧加装特殊制作的隔离变压器。因为当普通变压器工作在高于 50Hz 及波形失真的情况下时,其铁芯损耗、涡流损耗和温度会大幅度提高,导致其发热严重,并进一步带来绝缘降低、啸叫等问题。从结构材料上看,50Hz 变压器的铁芯材料的磁感应强度高,当工作频率增高时,要求铁芯材料的磁感应低,宜采用较薄的铁芯材料,如 0.1mm(50Hz 变压器的铁芯材料一般为 0.35mm),以利于降低铁芯的涡流损耗。另外,铁芯体积、安匝数、铁芯形状等都与频率有关。

(15) 对加速时间有特殊要求时,应该核算通用变频器的容量是否满足所要求的加速时间,如果不能满足则必须加大 1 档通用变频器的容量。因为在由电网电源供电的场合,电源频率是恒定的,电动机从转差率为 1 开始加速,此时加速电流与转矩大体上是成比例的,而在大转差率的起动加速区域,其加速电流变化为额定电流的 400%~500%,甚至更高,因为电网电源的容量很大,有足够的电流提高给电动机。

而当用通用变频器驱动电动机时,与电网驱动则不同,其短时最大电流一般不超过额定电流的 200%,通常在超过额定值 15%时,通用变频器的过流保护或防失速保护就会动作,而停止加速,以保持转差率不要过大。所以 U/f 控制的通用变频器即使运用转矩提升功能,其起动转矩一般最高也超不过额定转矩的 150%,而且由于低频时散热等问题,电动机所输出的转矩要小于额定转矩。另外,在进行急剧加速和减速时,一般利用防失速功能避免跳闸,但同时也加长了加、减速时间。为了保证加速时间不受防失速功能的影响,应增大通用变频器的容量以加大通用变频器输出电流能力,但是,尽管如此,电流的大幅度增大并不能使电动机转矩增大,所以最好也同时加大电动机容量。

(16) 对减速时间有特殊要求时,如果内部制动功能不能满足要求,应在外部加制动电阻制动,并要根据需要对制动电阻的大小进行计算。在通用变频器调速控制系统中,电动机的减速是通过降低通用变频器输出频率而实现的。

当需要电动机以比自由减速更快的速度减速时,可以加快通用变频器输出频率的降低速度,使其输出频率对应的速度低于电动机的实际转速,对电动机进行再生制动。在这种情况下,异步电动机将成为异步发电机,负载的机械能被转换为电能,并通过逆变桥与 IGBT 反并联的二极管回馈通用变频器的中间直流回路。

当电动机瞬时减速或快速停车时,由于惯性,电动机速度将大于通用变频器指令速度,这时负载的动能由电动机转换成电能,同样也要回馈到中间直流回路。中间直流回路虽然并联大电容器,但只能吸收部分能量。当负载惯量或频繁变速时,由于回馈能量大,电容器难以吸收而引起过电压,在这种场合就需要使用制动单元,由制动单元监测直流回路电压,控制制动电阻的通断,形成一个斩波电路,消耗电动机回馈的电能,并产生制动力矩,获得瞬时减速、快速停车的效果。但是,当上述回馈能量过大时,通用变频器本身的过电压保护电路将会动作并切断通用变频器输出,使电动机处于自由减速状态,反而无法达到快速减速的目的。

为了避免出现上述现象,在通用变频器中通常采用直流制动电路。在直流制动回路中,当直流中间回路的电压上升到一定值时,制动三极管将会导通,使直流电压通过制动电阻以热能的形式消耗掉,这也是制动电阻的作用。合理地配置制动单元或制动电阻有利于通用变频器的安全、可靠运行。

需要说明的是,一般的通用变频器均设有交流制动功能和直流制动功能。交流制动功能

一般用于所要求的制动转矩小于额定转矩的 50% 的场合。交流制动功能可以减小电动机中的制动功率,而不是制动电阻消耗的功率。交流制动功能可以在参数菜单中设定。如果所要求的制动转矩高于额定转矩的 50% 就不能采用交流制动功能,而应采用直流制动,采用直流制动就必须采用制动电阻。

(17) 应考虑物理环境。通用变频器集成度高、整体结构紧凑、自身散热量较大,对安装环境温度、湿度和粉尘量等要求较高,在使用说明书中有详细的安装环境要求,应注意选用符合要求的防护等级产品。

(18) 应考虑电气环境。安装通用变频器应考虑电气环境主要是中心控制室、通用变频器、电动机三者之间的距离以及电磁干扰和电气安全等方面的问题。

2. 根据不同负载类型选择变频器

1) 恒转矩负载

多数负载具有恒转矩特性,但在转速精度及动态性能等方面的要求一般不高,例如挤压机、搅拌机、传送带和提升机等。变频器的选用分为以下两种情况。

(1) 采用普通功能型变频器,要实现恒转矩调速,必须加大电动机和变频器容量,提高低速转矩。

(2) 采用具有转矩控制功能的高功能型变频器,可很好地实现恒转矩负载的调速运行。

恒转矩负载采用通用变频器控制时,应注意以下几点:

(1) 由于恒转矩负载类设备存在一定静摩擦力,有时负载的惯量很大,在起动时要求有足够的起动转矩,这就要求通用变频器有足够的低频转矩提升能力和短时过流能力。但在负载较重、低速运行的情况下,为提高转矩提升能力而使电压补偿提得过高,往往容易引起过电流保护动作。选型时应充分考虑这些情况,必要时应将通用变频器的容量提高一档,或者采用具有矢量控制或直接转矩控制的通用变频器。采用矢量控制或直接转矩控制通用变频器可以在不过流的情况下提供较大的起动转矩。

(2) 当恒转矩负载需要长期在低速下运行时,电动机温升会增高,电动机输出转矩会下降,必要时应换用变频器专用电动机或改用 6、8 级电动机。变频器专用电动机和普通异步电动机的主要差别是变频器专用电动机绕组线径较粗、铁芯较长,且自身带有独立的冷却风扇,能保证在全频率变化范围内输出 100% 的额定转矩。改用 6、8 级电动机可使电动机运转在较高频率附近。

(3) 对于升降类恒转矩负载,如提升机、电梯等,这类负载的特点是起动时冲击电流大,在其下降过程中需要一定制度转矩,同时会有能量回馈,因此要求变频器有一定余量。变频器本身提供的制动电阻不足时,必须外加制动单元。

2) 恒功率负载

卷扬机、机床主轴等负载,属于恒功率负载,机械特性较复杂。由公式 $P = T \cdot n / 9550$ 可看出,当功率 P 恒定时,输入转矩 T 与转速 n 一定成反比。

(1) 当低速运行时,要求机械特性硬些(转矩变化与所引起的转速变化的比值称为机械特性硬度)。如果控制系统采用开环控制,可选用具有无转矩反馈矢量控制功能的变频器。

(2) 当要求调速精度和动态性能指标较高时,以及要求高精度同步运行等场合,可采用带速度反馈的矢量控制方式的变频器。如果控制系统采用闭环控制,可选用能四象限运行、 U/f 控制、具有恒转矩功能型的变频器。

在恒功率负载设备上采用变频调速时,为了不过分增大通用变频器的容量,又能满足恒功率的要求,一般采用如下方法:

(1) 当在整个调速范围内可分段进行调速时,可以采用变极电动机与通用变频器相结合或者机械变速与通用变频器相结合的办法。

(2) 如果在整个调速范围内要求不间断地连续调速,则在异步电动机的额定转速选择上应慎重考虑。一般选择的依据是在异步电动机的机械强度和输出转矩能满足转速的要求时,尽量采用 6、8 极电动机。

(3) 选择通用变频器时,系统设计时应注意不能使异步电动机超过其同步转速运行,否则易造成破坏性机械故障。通用变频器的容量一般取 1.1~1.5 倍异步电动机的容量。变频控制柜应加装专用冷却风扇。

3) 平方转矩负载

风机、泵类等负载属于平方转矩负载,在运行频率低于 15Hz 以下时,风机、泵类等负载在低速运行时所需要的转矩要求相应降低,过载能力较小,一般为 110%~120% 额定电流,持续时间 1min。由于这类负载对转速精度要求不高,因此通常选择普通功能型的变频器。但在实际应用中应注意以下几点:

(1) 通用变频器的运行上限频率不要在 50Hz 附近,否则会引起功率消耗急剧增加,失去应用变频器节能运行的意义,并可使风机、泵类负载和电动机的机械强度及通用变频器的容量都将不符合安全运行要求。

(2) 一般风机、泵类负载不宜在低频下运行,以免发生逆流、喘振等现象。

(3) 在满足异步电动机起动转矩的前提下,应尽量采用节能模式,以获得更大的节能效果。对于转动惯量较大的风机、泵类负载,应适当加大加、减速时间,以避免在加、减速过程中过电流保护或过电压保护动作,影响正常运行。

(4) 对于空压机、深井泵、泥沙泵、音乐喷泉等负载需加大变频器容量。

(5) 选择通用变频器时,降转矩负载的功率表达式为 $P=Kn^3$,转矩的表达式为 $T=Kn^2$ 。

在进行系统设计时应注意:一般情况下,风机、水泵采用变频器调速的主要目的是节能,理论与实践证明可节能范围为 20%~50%;通用变频器的容量应与异步电动机的额定功率相同,并应核对通用变频器的额定电流是否与异步电动机的额定电流一致。

3. 根据环境选择变频器

在变频器实际应用中,为了降低成本,大多数变频器直接安装于工作现场。工作现场一般灰尘大、温度高,并且在南方还有湿度大的问题;另外,外界的干扰也影响变频器的正常使用。因此,对变频器的工作环境有一定要求。

1) 温度

变频器环境温度为一10~50℃,一定要考虑通风散热。

2) 相对湿度

符合 IEC/EN60068-2~6。

3) 抗震性

符合 IEC/EN60068-2~3。

4) 变频器的抗干扰

(1) 外来干扰。变频器采用了高性能微处理器等集成电路,对外来电磁干扰较敏感,会因电磁干扰的影响而产生错误,对运转造成恶劣影响。外来干扰多通过变频器控制电缆侵入,所以铺设控制电缆时必须采取充分的抗干扰措施。

(2) 变频器产生的干扰。变频器的输入和输出电流的波形含有很多高次谐波成分,它们将以空中辐射、线路传播等方式把自己的能量传播出去,对周围的电子设备、通信和无线电设

备的工作形成干扰。因此,在选择变频器时,要采取措施削弱干扰信号,在后续将详细介绍抗干扰技术。

5.2.4 变频器容量的计算

变频器容量的选择是根据所选电动机的容量和电动机的工作状态作为依据的。变频器的选择原则是变频器的额定输出电流和电压要大于等于电动机的额定电流和电压。

1. 连续运行场合

由于变频器传给电动机的电流是脉动的,其脉动值比工频供电时电流要大,在选择变频器的容量时必须留有余量,要满足以下 3 个条件:

$$P_{\text{CN}} \geq \frac{kP_{\text{M}}}{\eta \cos \varphi} \quad (5-6)$$

$$I_{\text{CN}} \geq kI_{\text{M}} \quad (5-7)$$

$$P_{\text{CN}} \geq \sqrt{3}U_{\text{M}}I_{\text{M}} \times k \times 10^{-3} \quad (5-8)$$

式中: P_{M} ——负载所要求的电动机的轴输出功率;

η ——电动机的效率(通常约为 0.85);

$\cos \varphi$ ——电动机的功率因数(通常约为 0.75);

U_{M} ——电动机电压;

I_{M} ——电动机的电流,是工频电源时的电流, A;

k ——电流波形的修正系数(PWM 方式时,取值范围为 1.05~1.1);

P_{CN} ——变频器的额定容量, kV·A;

I_{CN} ——变频器的额定电流, A。

还可以用估算法,即

$$I_{\text{CN}} \geq (1.05 \sim 1.1)I_{\text{max}} \quad (5-9)$$

式中: I_{max} ——电动机实际最大电流或额定电流(铭牌值)。

如按电动机实际运行的最大电流来选择变频器,变频器的容量可以适当缩小,如图 5-7 所示。

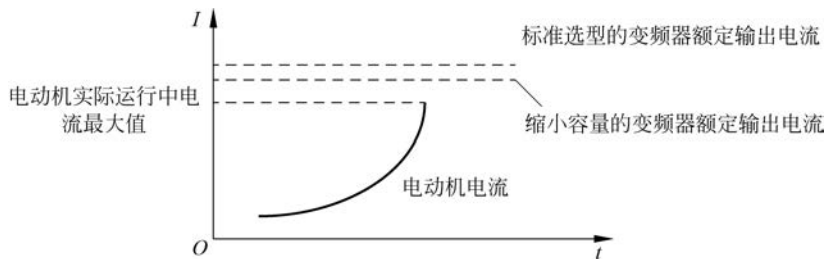


图 5-7 变频器容量按最大值电流选择曲线

2. 加、减速运行场合

变频器的最大输出转矩是由变频器的最大输出电流决定的。一般情况下,对于短时间的加、减速而言,变频器允许达到额定输出电流的 130%~150%,这一参数通常在各型号变频器产品参数表的“过载能力”“过载容量”“过电流承受量”中给出。因此,短时间加、减速时的输出转矩也可以增大。由于电流的脉动,应将要求的变频器过载电流提高 10%后再进行选定,即要求变频器容量提高一级,如图 5-8 所示。

3. 频繁加、减速运行场合

假设电动机频繁加、减速运行时的特性曲线如图 5-9 所示,此时可根据加速、恒速、减速等各种运行状态的电流值,按下式进行计算。

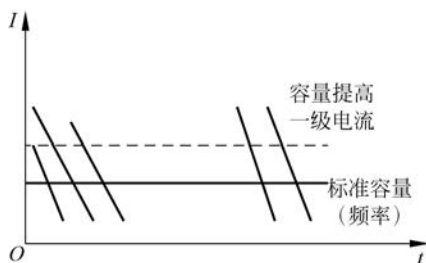


图 5-8 变频器输出电流曲线

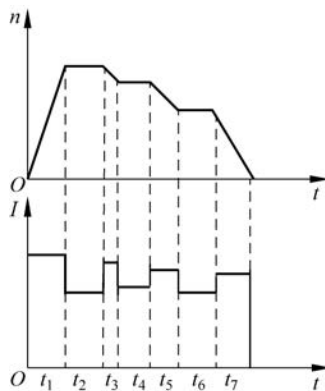


图 5-9 频繁加、减速运行特性曲线

$$I_{CN} = \frac{I_1 t_1 + I_2 t_2 + \cdots + I_5 t_5}{t_1 + t_2 + \cdots + t_5} k_0 \quad (5-10)$$

式中: I_{CN} ——变频器额定输出电流;

$I_1, I_2, \cdots, I_5$ ——各运行状态下的平均电流;

$t_1, t_2, \cdots, t_5$ ——各运行状态下的时间;

k_0 ——安全系数(运行频繁时 $k_0 = 1.2$, 其他情况时 $k_0 = 1.1$)。

4. 一台变频器拖动多台电动机并联运行

当一台变频器拖动多台电动机时,要考虑以下两种情况。

(1) 根据各电动机的电流总和来选择变频器。

(2) 在整定软启动、软停止时,一定要按起动最慢的那台电动机进行整定。

当变频器短时过载能力为 $150\%/min$ 时,若电动机加速时间在 $1min$ 以内,则有

$$1.5 P_{CN} \geq \frac{k P_M}{\eta \cos \varphi} \left[1 + \frac{n_s}{n_T} (K_s - 1) \right]$$

即

$$P_{CN} \geq \frac{k P_M}{\eta \cos \varphi} \left[1 + \frac{n_s}{n_T} (K_s - 1) \right] = \frac{2}{3} P_{CN1} \left[1 + \frac{n_s}{n_T} (K_s - 1) \right] \quad (5-11)$$

$$I_{CN} \geq \frac{2}{3} n_T I_M \left[1 + \frac{n_s}{n_T} (K_s - 1) \right] \quad (5-12)$$

当电动机加速时间在 $1min$ 以上时,有

$$P_{CN} \geq \frac{k P_M}{\eta \cos \varphi} \left[1 + \frac{n_s}{n_T} (K_s - 1) \right] = P_{CN1} \left[1 + \frac{n_s}{n_T} (K_s - 1) \right] \quad (5-13)$$

$$I_{CN} \geq n_T I_M \left[1 + \frac{n_s}{n_T} (K_s - 1) \right] \quad (5-14)$$

式中: P_M ——负载所要求的电动机的轴输出功率;

n_T ——并联电动机的台数;

n_s ——电动机同时起动的台数;

η ——电动机效率(通常为 0.85);

P_{CN1} ——连续容量, $\text{kV} \cdot \text{A}$;

K_s ——电动机起动电流/电动机额定电流;

I_M ——电动机额定电流, A ;

P_{CN} ——变频器容量, $\text{kV} \cdot \text{A}$;

I_{CN} ——变频器额定电流;

k ——电流波形的修正系数(PWM 方式时,取值范围为 1.05~1.1)。

当变频器驱动多台电动机,但其中有一台电动机可能随机挂接到变频器,或随时退出运行时,变频器的额定输出电流可按下式计算:

$$I_{1\text{CN}} \geq k \sum_{i=1}^J I_{\text{MN}} + 0.9 I_{\text{MQ}} \quad (5-15)$$

式中: $I_{1\text{CN}}$ ——变频器额定输出电流, A ;

I_{MN} ——电动机额定输入电流, A ;

I_{MQ} ——最大一台电动机的起动电流, A ;

k ——安全系数,一般取值范围为 1.05~1.1;

J ——余下电动机台数。

5. 电动机直接起动时

通常三相异步电动机直接用工频起动时,其起动电流为额定电流的 4~7 倍,对于电动机功率小于 10kW 的电动机直接起动时,可按下式选取变频器:

$$I_{\text{CM}} \geq \frac{I_k}{K_g} \quad (5-16)$$

式中: I_k ——在额定电压、额定频率下,电动机起动时的堵转电流, A ;

K_g ——变频器的允许过载倍数,一般取值范围为 1.3~1.5。

6. 大惯性负载起动时

根据负载的种类,不少场合往往需要过载容量大的变频器,但通用变频器过载容量通常为 125%、60s 或 150%、60s,过载容量超过此值时,必须增大变频器的容量。这种情况下,一般按下式计算变频器的容量:

$$P_{\text{CN}} \geq \frac{kn_M}{9550\eta\cos\varphi} \left(T_L + \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_M}{t_A} \right) \quad (5-17)$$

式中: GD^2 ——换算到电动机轴上的总飞轮矩($\text{N} \cdot \text{m}^2$);

T_L ——负载转矩, $\text{N} \cdot \text{m}^2$;

η ——电动机效率(通常为 0.85);

t_A ——电动机加速时间, s ;

k ——电流波形的修正系数(PWM 方式时,取值范围为 1.05~1.1);

n_M ——电动机额定转速, r/min ;

P_{CN} ——变频器容量, kW 。

7. 多台电动机并联起动且部分直接起动

这种情况下,所有电动机由变频器供电,且同时起动,但一部分功率较小的电动机(一般小于 7.5kW)直接起动,功率较大的则使用变频器功能实行软起动。此时,变频器的额定输出电流按下式进行计算:

$$I_{\text{CN}} \geq \frac{N_2 I_k + (N_1 - N_2) I_n}{K_g} \quad (5-18)$$

式中: N_1 ——电动机总台数;

N_2 ——直接起动的电动机台数;

I_n ——电动机直接起动时的堵转电流, A;

K_g ——变频器容许过载倍数(1.3~1.5)。

5.3 本章小结

(1) 了解常用变频器的品牌、型号和主要参数,是选择变频器的基本常识。选择变频器时,首先选择变频器的类型,然后确定变频器的容量。

(2) 选择变频器要有一定的原则和方法。

(3) 变频器的类型选择与所带负载的机械特性有关,不同类型负载选择变频器的方法不同。变频器选择还与变频器的工作环境有关。

(4) 变频器容量是根据电动机的容量来选择的。在不同的工作场合,变频器容量的计算方法不同。选择变频器时,一定要计算准确。

思考题与习题

1. 常用的变频器的品牌有哪些?
2. 变频器常用参数有哪些?
3. 典型负载有哪些? 它们各有哪些特点?
4. 选择变频器类型的依据有哪些?
5. 在连续场合,变频器的容量如何选择?
6. 在频繁加、减速场合,变频器的容量如何选择?
7. 多台电动机并联起动且部分直接起动,变频器容量如何选择?
8. 大惯性负载起动时,变频器容量如何选择?
9. 一台变频器拖动多台电动机并联运行,变频器容量如何选择?