

浅谈变频器 U/f 控制中存在的问题及其解决方法

李新秀

(宁夏工商职业技术学院机械工程系, 宁夏 银川 750000)

摘要:对变频器 U/f 控制方式的原理进行简单介绍, 通过对机械特性分析和实际应用当中存在问题进行原因分析说明, 从理论研究的高度对实际应用提出解决方法。

关键词:变频器; U/f 控制; 无级调速; 主磁通; 机械特性

随着新型技术的不断发展, 变频器的问世, 使得交流调速取代了直流调速。交流电动机变频调速技术具有节能、改善工艺流程、提高产品质量和便于自动控制等诸多优势, 所以是一种国内外应用最广泛、最有前途的调速方式。但任何一种产品不是绝对完美的, 从产品的研发诞生之初, 其局限性就始终伴随。变频器的 U/f 控制模式是一种最简单最基本的模式, 深入详细的了解和掌握它的特点, 对先天存在的问题都有合理的解决方法, 在实际应用中起到至关重要的作用。

1 变频器 U/f 控制原理

根据异步电动机的转速表达式:

$$n = 60f_1(1-s)P \quad (1式)$$

式中 f_1 ——定子供电频率, 单位为 Hz;

P ——磁极对数;

S ——转差率;

n ——电动机转速, 单位为 r/min。

可知, 只要平滑的调节异步电动机的供电频率 f_1 , 就可以平滑调节异步电动机的转速 n , 从而实现异步电动机的无级调速, 但是事实上只改变频率 f_1 并不能正常调速, 因由电机学知, 三相异步电动机每相绕组中感应反电动势的有效值是:

$$E_1 = 4.44f_1 N_1 k_{N1} \Phi_m \quad (2式)$$

由于 $4.44N_1 k_{N1}$ 均为常数, 所以定子绕组的反电动势 E_1 可以等效为:

$$E_1 \propto f_1 \Phi_m \quad (3式)$$

又因为定子侧的电动势平衡方程式为:

$$U_1 = E_1 + \Delta U \quad (4式)$$

(其中 U_1 ——定子相电压, ΔU ——电动机定子内阻抗压降)

在额定频率时, 可以忽略 ΔU , 可得到

$$U_1 \approx E_1 \quad (5式)$$

从而得到 $E_1 \propto f_1 \Phi_m$ (6式)

此时若 U_1 不变, 则 E_1 也基本不变。如果这时从额定频率 f_{N1} 向下调节频率, 则必须使 Φ_m 增加, 即 $f_1 \downarrow \rightarrow \Phi_m \uparrow$ 。

由于额定工作时电动机的磁通已接近饱和, Φ_m 增加将会使电动机的铁心出现深度饱和, 这将使励磁电流急剧升高, 导致定子电流和定子铁芯损耗急剧增加, 使电动机工作不正常。可见, 在变频调速时单纯调节频率是行不通的。

为了在下调频率时, 磁通 Φ_m 保持不变, 可根据式子 $U_1 \approx E_1 \propto f_1 \Phi_m$, 让

$$E_1/f_1 = U_1/f_1 = \text{常数} \quad (7式)$$

因此, 在额定频率 f_{N1} 以下调频时, 同时下调加在定子绕组上的电压 U_1 , 即为变频器的恒 U/f 控制。

2 变频器 U/f 控制方式的机械特性及存在的问题

2.1 U/f 控制方式的机械特性

在 U/f 控制方式下, 异步电动机的电磁转矩和转速之间的函数关系, 称为 U/f 控制方式的机

械特性。当改变电源频率时, 也会引起异步电动机机械特性的改变。

2.1.1 调压比和调频比

调频过程中, 若将频率下调至 f , 则有: $f = k_f f_N$ (k_f 为调频比), 且 $k_f < 1$, 此时电压跟着调为 $U = k_u U_N$ (k_u 为调压比), 且 $k_u < 1$ 。

2.1.2 调频后电动机的机械特性

通过机械特性找出几个特殊点, 得出异步电动机的机械特性曲线。

a. 理想空载点 ($0, n_{0k}$)

b. 临界转矩点 (T_{kx}, n_{kx})

转速差为 $\Delta n_{kx} = n_{0k} - n_{kx}$

当 $f < f_N$ 调频时, 其空载转速 n_{0k} 在 n_0 的下方不断下移。下面通过一组实验数据来观察临界点随频率变化的规律, 从而得出机械特性曲线的大致轮廓。表 1 是某 4 极电动机在 $k_f = k_u < 1$ 时的实验结果。

2.1.3 调速时的机械特性曲线结合表 1 中的数据, 就可以做出 $k_f = 1, 0.9, 0.5, 0.3$ 时的机械特性曲线 $f_{N1}, f_{0.9}, f_{0.5}, f_{0.3}$, 如图 1 所示:

2.2 存在的问题

通过分析图 1 中的各条特性曲线, 我们可总结出 U/f 控制方式的特征如下:

a. 从 f_N 向下调频时, n_{0k} 下移, T_{kx} 逐渐减小。

b. f 不同时, 临界转差 Δn_{kx} 变化不是很大, 所以稳定工作区的机械特性曲线基本上是平行的, 且机械特性较硬。

c. 在 f_N 附近下调时: 当 $k_f = k_u \rightarrow 1, T_{kx}$ 减少很少, 可近似认为 $T_{kx} \approx T_{kN}, f$ 调的很低时: 当 $k_f = k_u \rightarrow 0, T_{kx}$ 减小很快。即在低频时, T_{kx} 的大幅减小, 严重影响到电动机在低速时的带负载能力; 在实践应用中, 在 u/f 控制模式下, 存在着一个十分突出的问题: 就是在运行过程中, 由于 u/f 模式没选好, u 的补偿过大造成电动机磁通过饱和, 使电动机电流增大, 发生变频器过电流跳闸。此故障现象的原因是由于低频运行时, 为了能带动较重的负载, 常常需要进行转矩补偿(即提高 u/f 比, 也叫转矩提升)。导致电动机磁路的饱和程度随负载的轻重而变化。这种由电动机磁路饱和和引起的过电流跳闸, 主要发生在低频、轻载的情况下。

工厂案例: 一台 fm90g11-4cx 变频器(配套 90kw 尿素大颗粒冷却转鼓电机)空载时, 经常发生过流跳闸。当冷却转鼓筒内装有超过筒筒一半颗粒尿素后反而运行稳定。大颗粒冷却转鼓电机空载时选择了 u/f 模式进行反复调整 u/f 比, 使输出电压提高一些, 以便获得一定的起动转矩, 解决了空载过流跳闸问题。

3 原因分析及解决方法

3.1 T_{kx} 减少的原因分析

表 1 $k_f = k_u < 1$ 时的临界点坐标

k_f	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
$n_{0k}/(r \cdot \min^{-1})$	1500	1350	1200	1050	900	750	660	450	300
T_{kx}/T_{kN}	1.0	0.97	0.94	0.9	0.85	0.79	0.7	0.6	0.45
$\Delta n_{kx}/(r \cdot \min^{-1})$	285	285	285	285	279	270	255	255	186

注: T_{kN} 为额定频率时的临界转矩

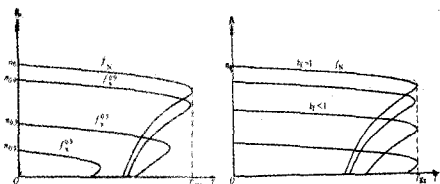


图 1

图 2

通过前面的分析, 我们知道由于调频时为维持电动机的主磁通 Φ_m 不变, 而防止电动机铁心磁通过饱和, 需保证 $E_1/f_1 = \text{常数}$, 其中式子 $E_1/f_1 = \text{常数}$ 是一种近似等式, 是以忽略电动机定子绕组阻抗压降 ΔU 为代价的。但低频时 f_1 降得很低时, U_1 也很小, 此时再忽略 ΔU 就会引起很大的误差, 从而引起 T_{kx} 大幅下降。通过前面的分析知道, $U_{1x} = E_{1x} + \Delta U_{1x}$, 从而可以看出, 当 f_1 降低时, U_{1x} 也已很小, ΔU_{1x} 在 U_{1x} 中的比重越来越大, 而 E_{1x} 在 U_{1x} 中的比重却越来越小。如果任保持 $U_{1x}/f_1 = \text{常数}$, 则 E_{1x}/f_1 比值却在不断减小。依据(6式)知, 此时主磁通 Φ_m 减小, 从而引起电磁转矩 T_{kx} 的减小。

以上分析过程可表示为:

$$k_f \downarrow (k_f = k_u) \rightarrow (\Delta U_{1x}/U_{1x}) \uparrow \rightarrow (E_{1x}/U_{1x}) \downarrow \rightarrow \Phi_m \downarrow \rightarrow T_{kx} \downarrow$$

3.2 解决的方法

针对 $k_f = k_u$ 下降时 E_{1x} 在 U_{1x} 中的比重减小, 从而造成主磁通 Φ_m 和电磁转矩 T_{kx} 下降的情况, 可适当提高调压比 k_u , 使 $k_u > k_f$, 即提高 U_{1x} 的值, 使得 E_{1x} 的值增加, 从而保证 $E_{1x}/f_1 = \text{常数}$ 。这样就能保证主磁通 Φ_m 基本不变, 最终使得电动机的临界转矩得到补偿。

经过电压补偿后, 电动机机械特性在低频时的 T_{kx} 得到了大幅提高, 虽然频率降到很低, 但是电动机的电磁转矩几乎没变, 电动机的机械特性得到了大大的改善。其特性曲线如图 2 所示。

结束语

通过对通用变频器 U/f 控制方式运行过程中存在问题的分析, 提出了解决这些问题的实际对策, 随着新技术和新理论不断在变频器上的应用, 变频器存在的这些问题有望通过变频器本身的功能和补偿来解决。随着工业现场和社会环境对变频器的要求不断提高, 满足实际需要的真正“绿色”变频器也会不久问世。

参考文献

- [1]变频器原理及应用[M]北京:机械工业出版社
- [2]交流调速系统[M]北京:机械工业出版社
- [3]三菱 FR-E500 系列变频调速器使用手册

作者简介:李新秀(1979,6-),女,电气助理讲师,2003 年毕业于宁夏大学电气工程与自动化专业。现任宁夏工商职业技术学院机械工程系电气自动化教师。