

变频调速应用技术讲座

张燕宾 (0717-6833317; 13972026878; zyanbin@vip.sina.com)

第 1 章 变频器的主电路

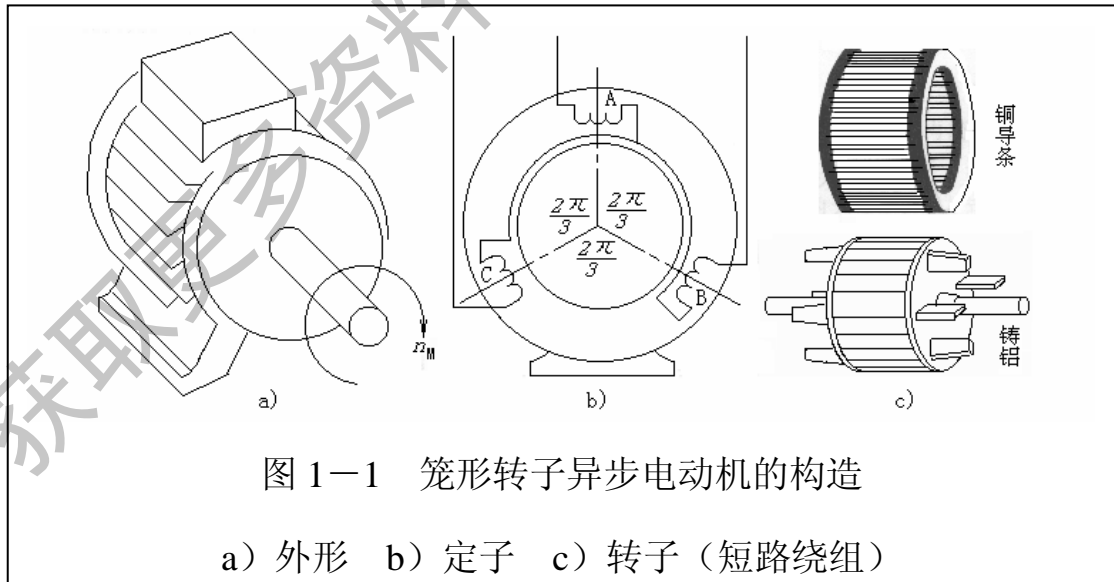
变频本来

不姓“节”

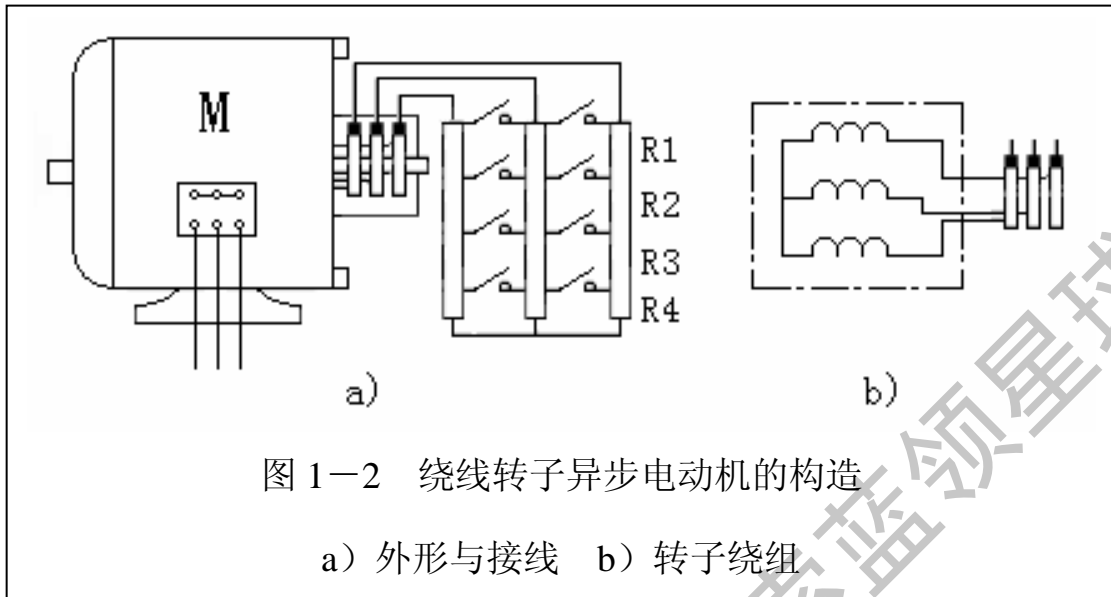
1. 1 三相交流异步电动机简介

1. 1. 1 三相交流异步电动机的构造和原理

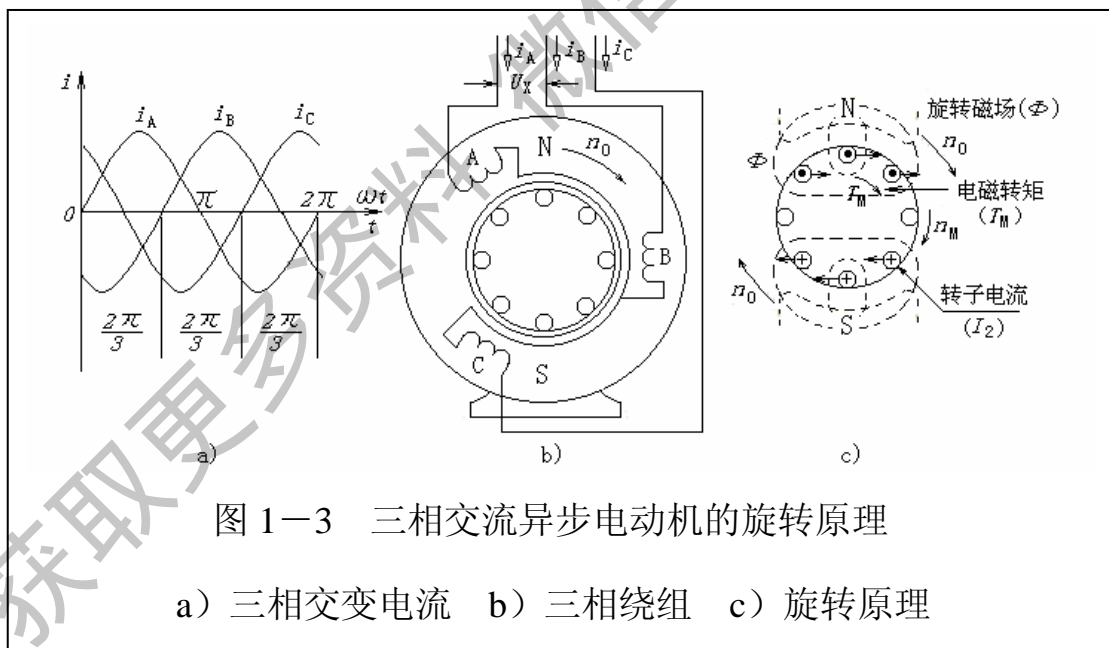
1. 笼形转子异步电动机



2. 绕线转子异步电动机



3. 旋转原理



4. 基本公式

n_0 —同步转速，即旋转磁场的转速。

$$n_0 = \frac{60f}{p}$$

f —电流的频率； p —磁极对数； n_M —转子转速。

$$\Delta n = n_0 - n_M \quad \text{—转差}$$

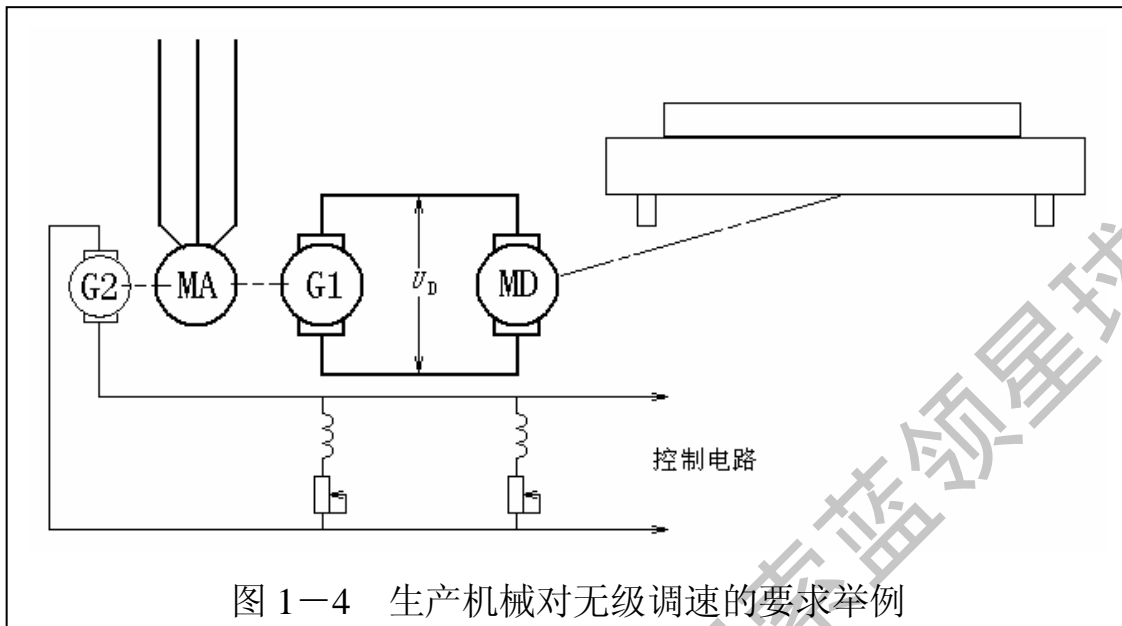
$$s = \frac{\Delta n}{n_0} = \frac{n_0 - n_M}{n_0} \quad \text{—转差率}$$

$$\Delta n = s n_0$$

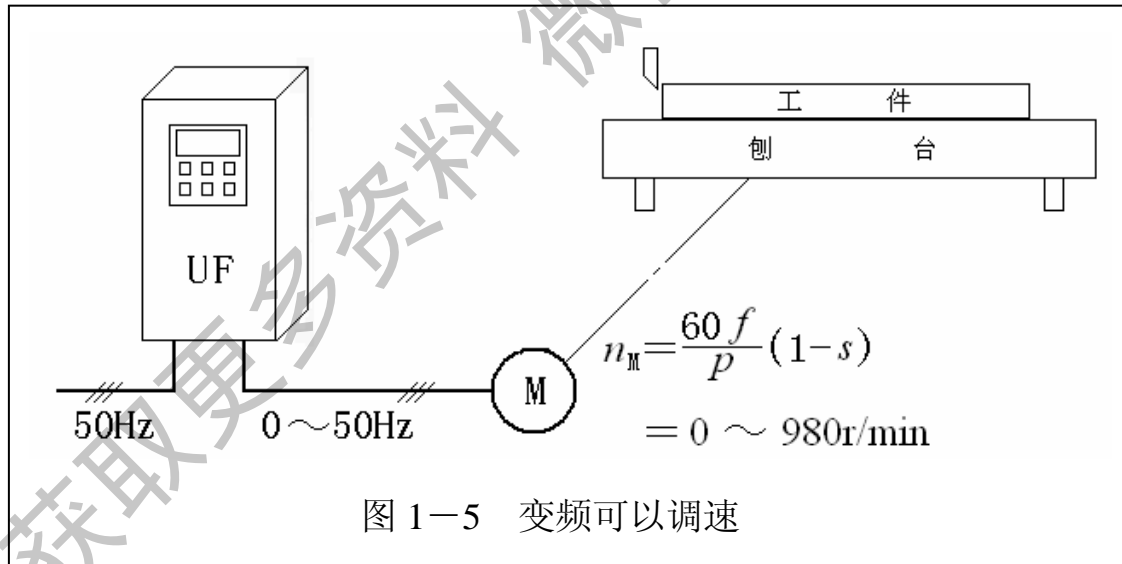
$$\begin{aligned} n_M &= n_0 - \Delta n = n_0 - s n_0 \\ &= n_0 (1 - s) = \frac{60f}{p} (1 - s) \end{aligned}$$

p	$2p$	n_0	n_M	Δn	s	备 注
1	2	3000	2900	100	0.033	5.5~7.5kW
			2930	70	0.023	11~18.5kW
			2970	30	0.01	45~160kW
2	4	1500	1460	40	0.027	11~15kW
			1470	30	0.02	18.5~30kW
			1480	20	0.013	37~315kW
3	6	1000	960	40	0.04	3~5.5kW
			970	30	0.03	7.5~30kW
			980	20	0.02	37~250kW

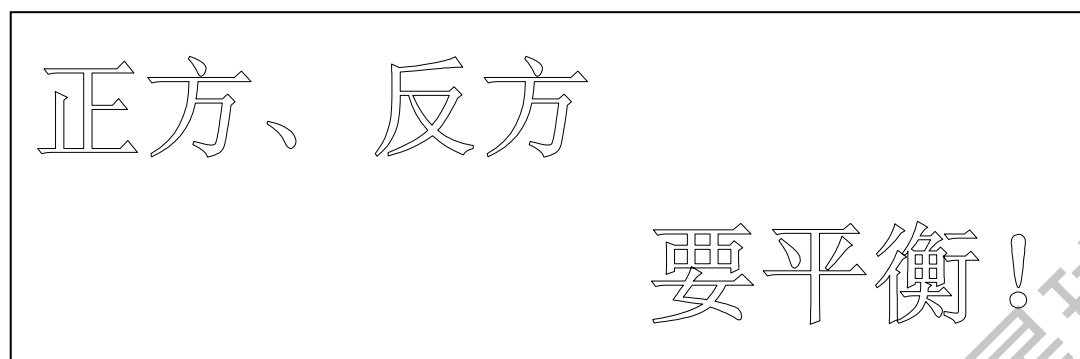
1. 1. 2 生产机械对无级调速的要求



1. 1. 3 异步电动机之梦



1. 2 电动机在能量转换中的做功过程



1. 2. 1 负载得到机械能时的做功过程

1. 能量的载体—机械的旋转系统

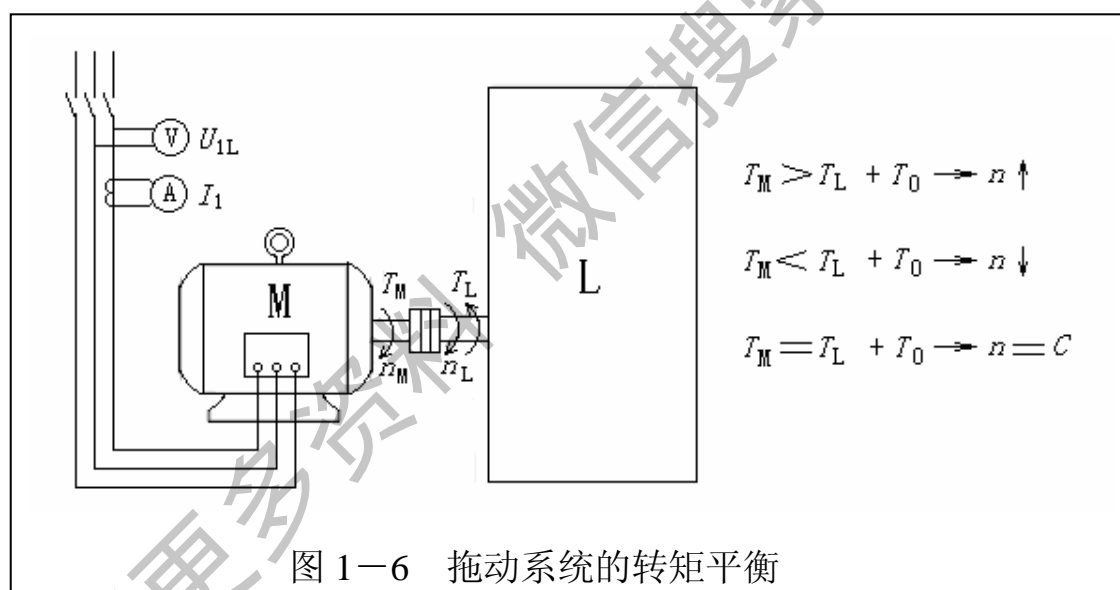


图 1-6 拖动系统的转矩平衡

2. 做功要点

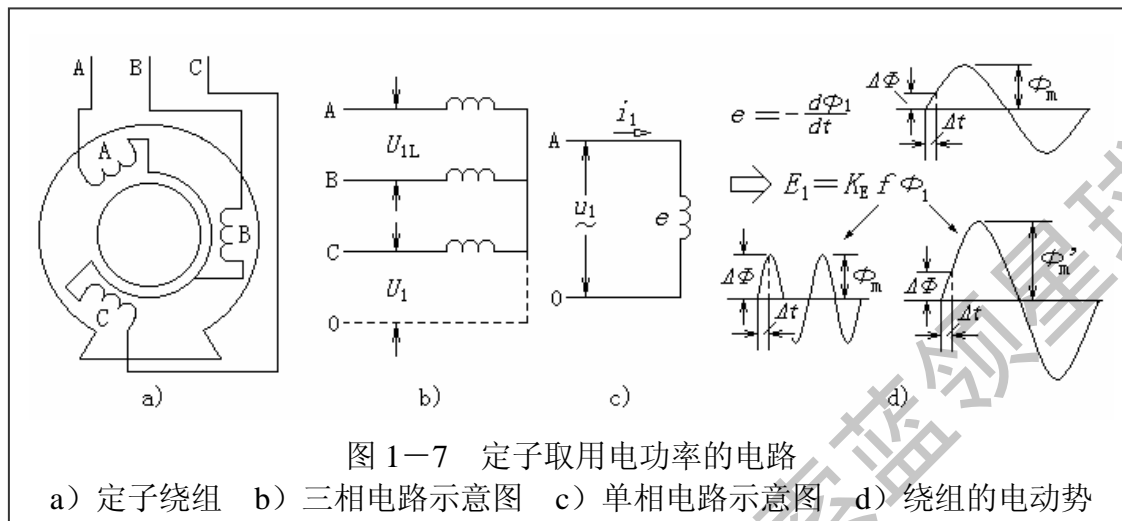
作用的一方：电动机的电磁转矩 $T_M = K_T I_2' \Phi_1 \cos \varphi_2$

反作用的一方：负载的阻转矩 T_L

做功的标志：拖动系统以一定的转速 $n_M (=n_L)$ 运行

1. 2. 2 电动机从电网取用电功率时的作功过程

1. 能量的载体—电动机的定子电路



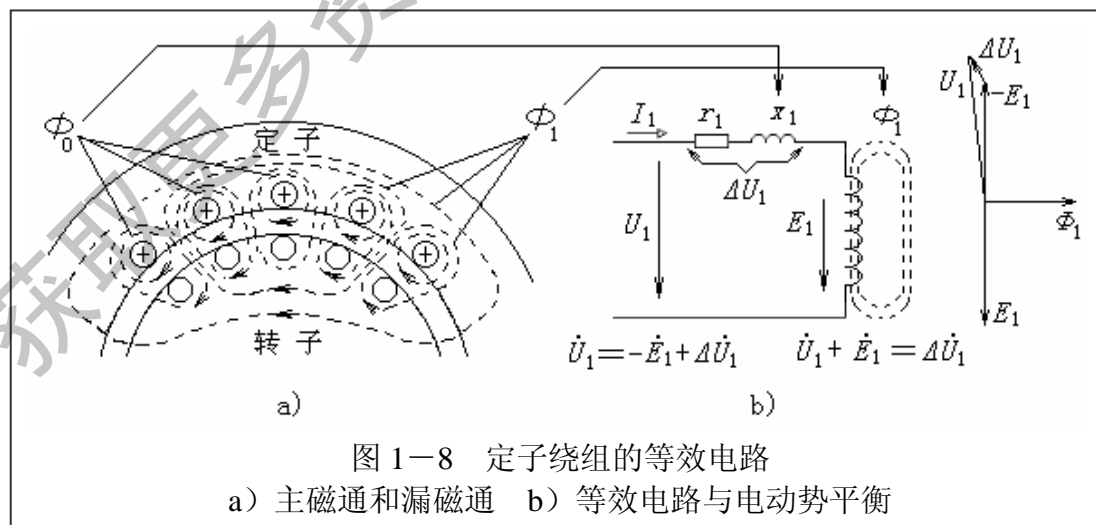
2. 作功要点

作用的一方：电源电压 U_1

反作用的一方：定子绕组的反电动势 E_1

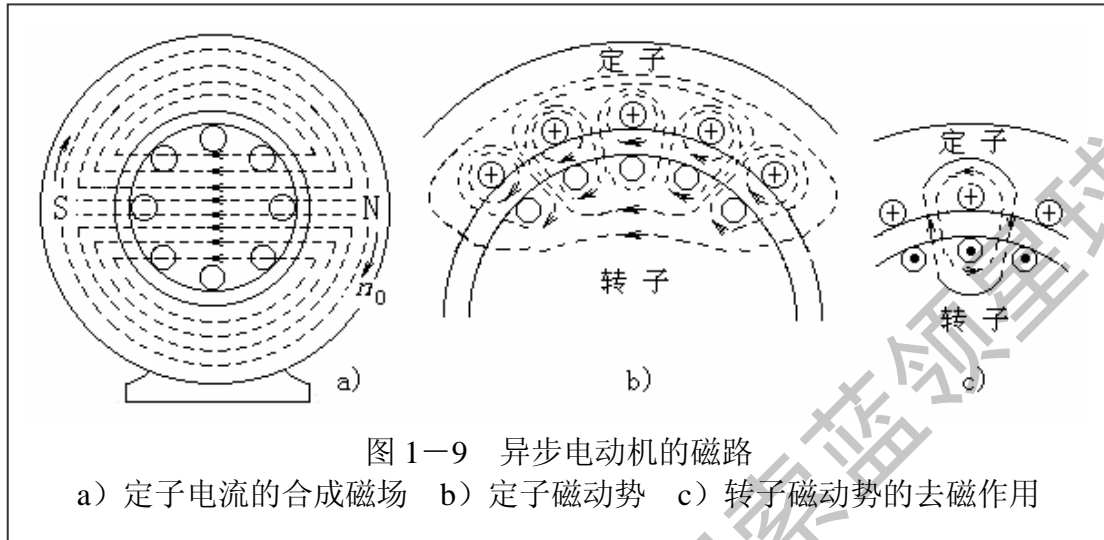
作功的标志：电路内有电流 I_1

3. 定子绕组的等效电路与电动势平衡方程



1. 2. 3 转子从定子侧吸收能量的做功过程

1. 能量的载体—电动机的磁路



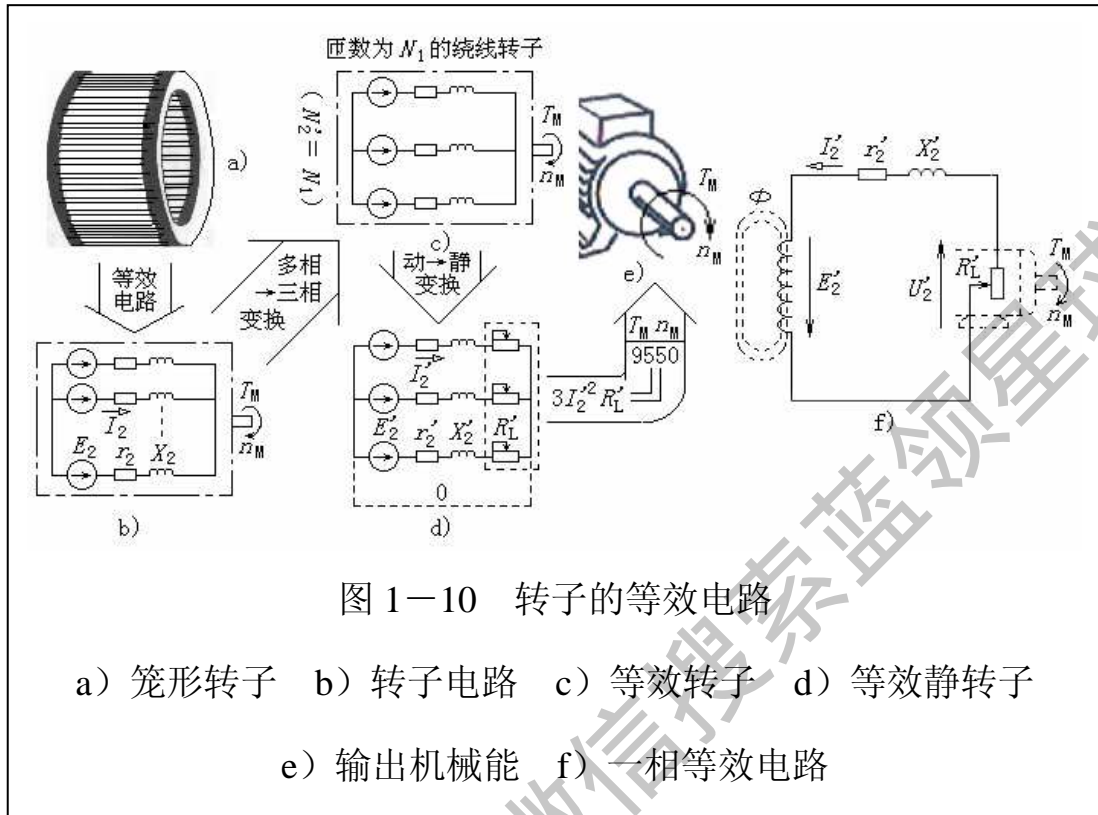
2. 做功要点

作用的一方：定子绕组的磁动势 $I_1 N_1$

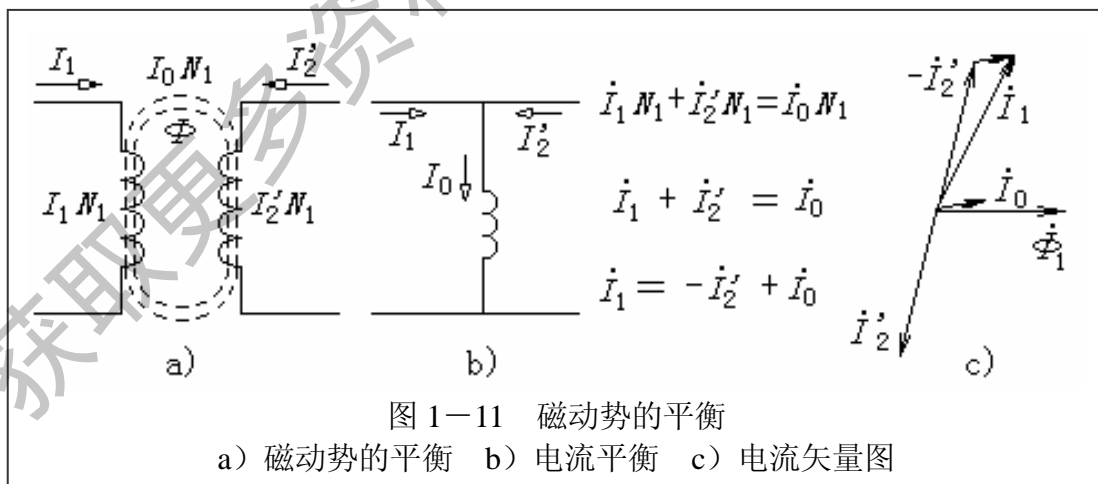
反作用的一方：转子绕组的磁动势 $I_2' N_1$

做功的标志：磁路内有磁通 Φ_1

3. 转子的等效电路



4. 磁动势的平衡



1. 2. 4 能量传递小结

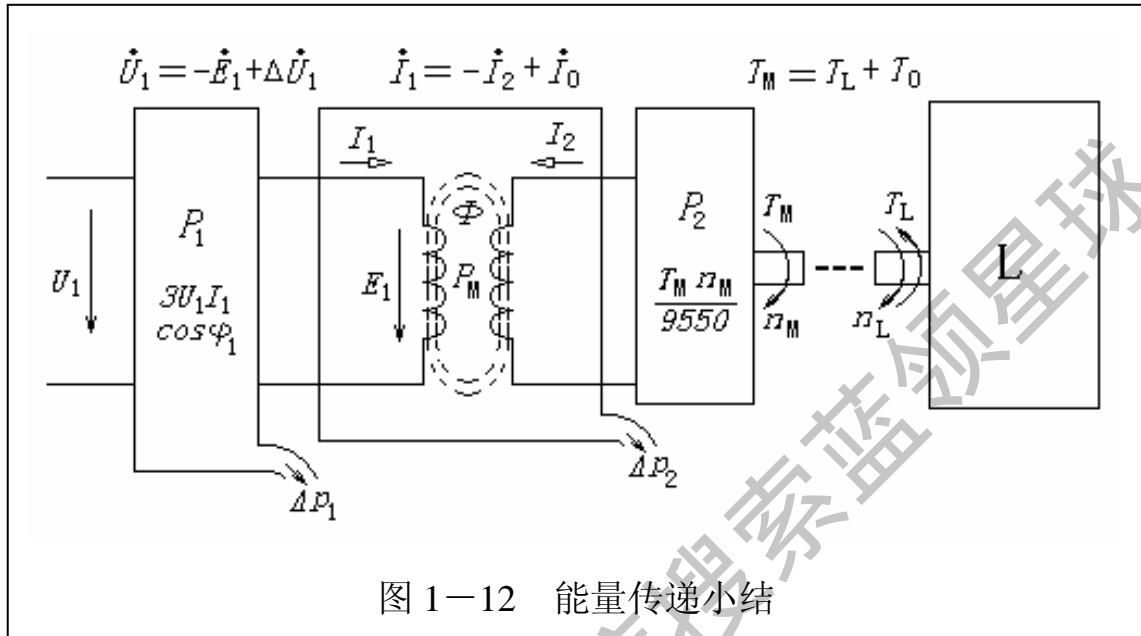


图 1-12 能量传递小结

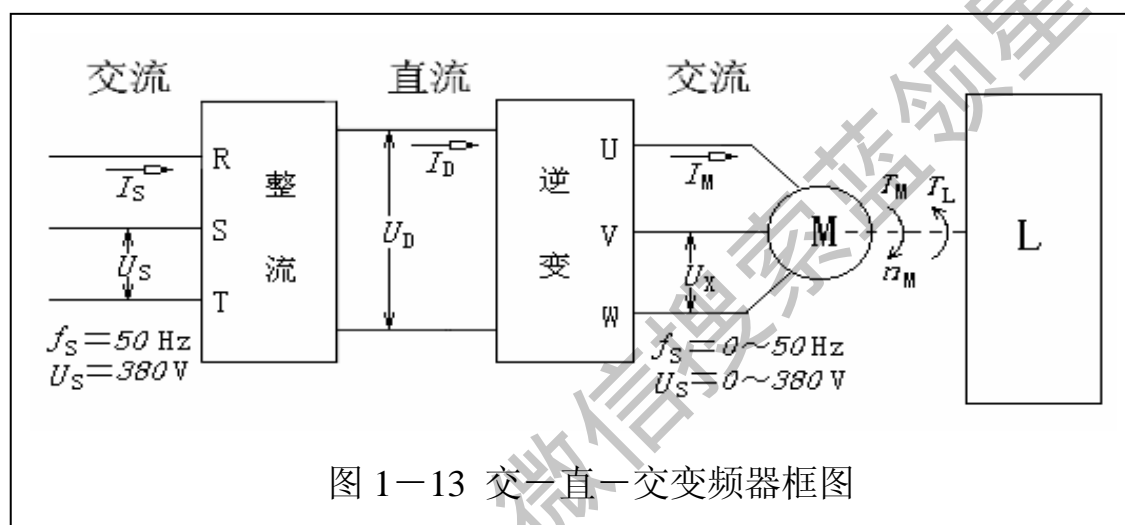
获取更多资料 微信搜索蓝领星球

休息 15 分钟

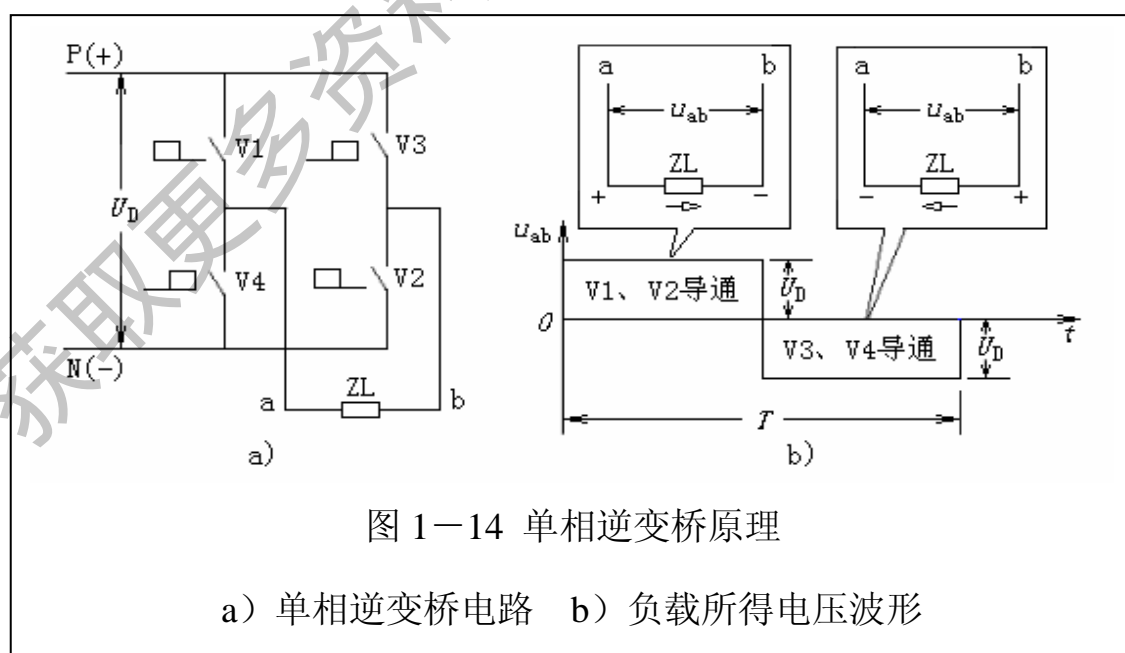
获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

1. 3. 1 交一直—交变频器的结构与原理

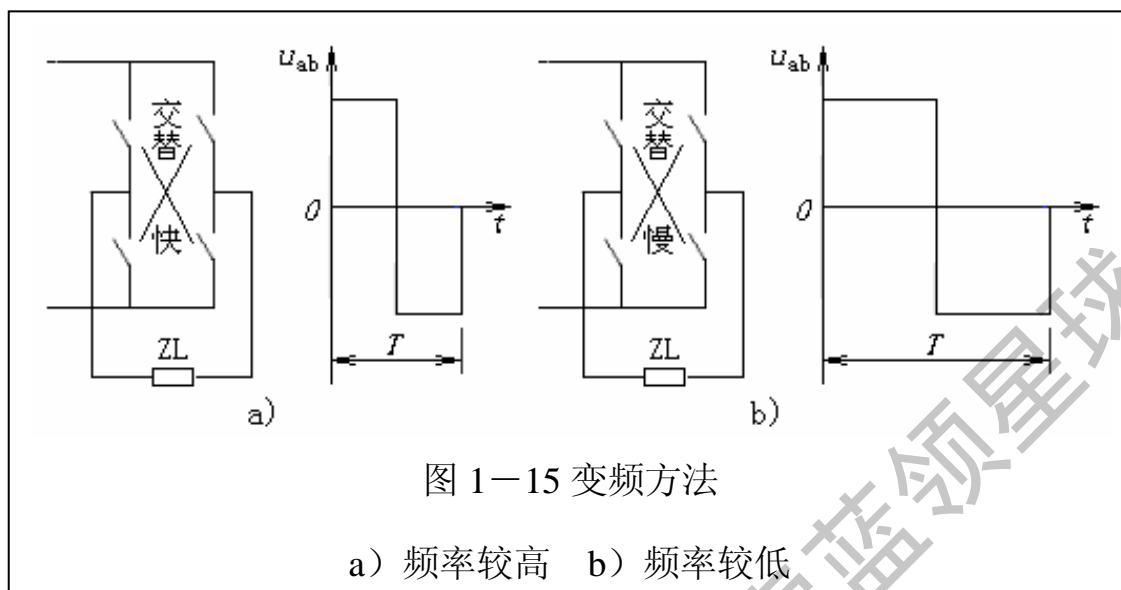
1. 基本框图



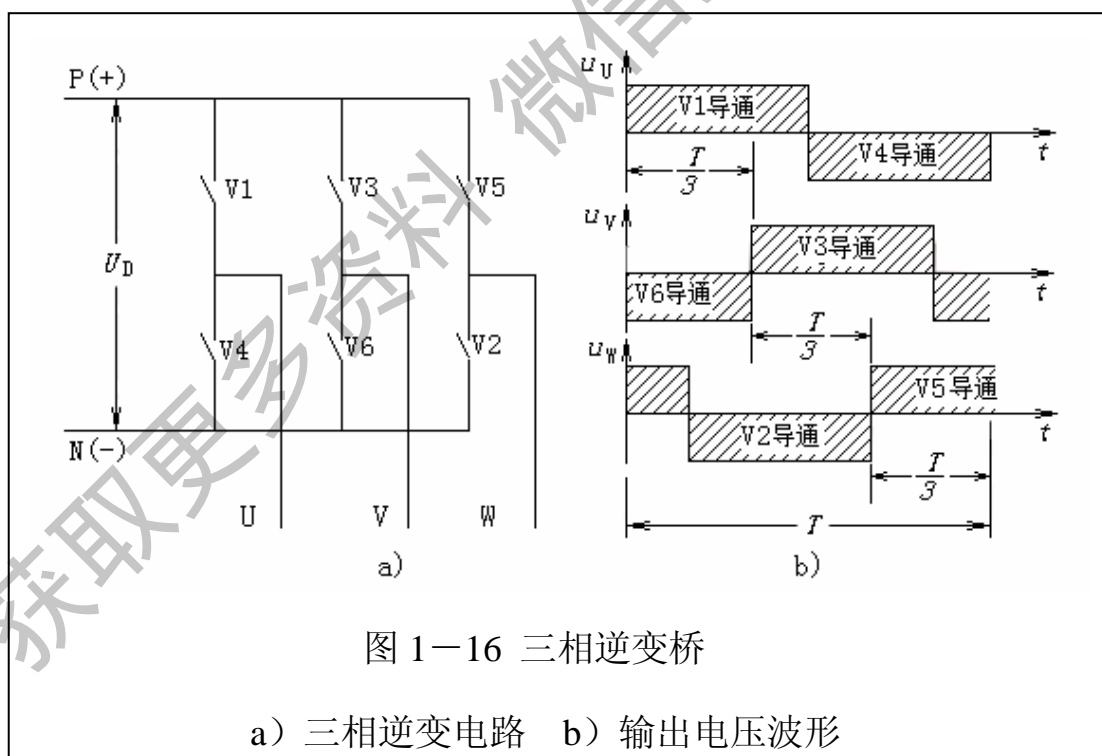
2. 单相逆变桥



3.

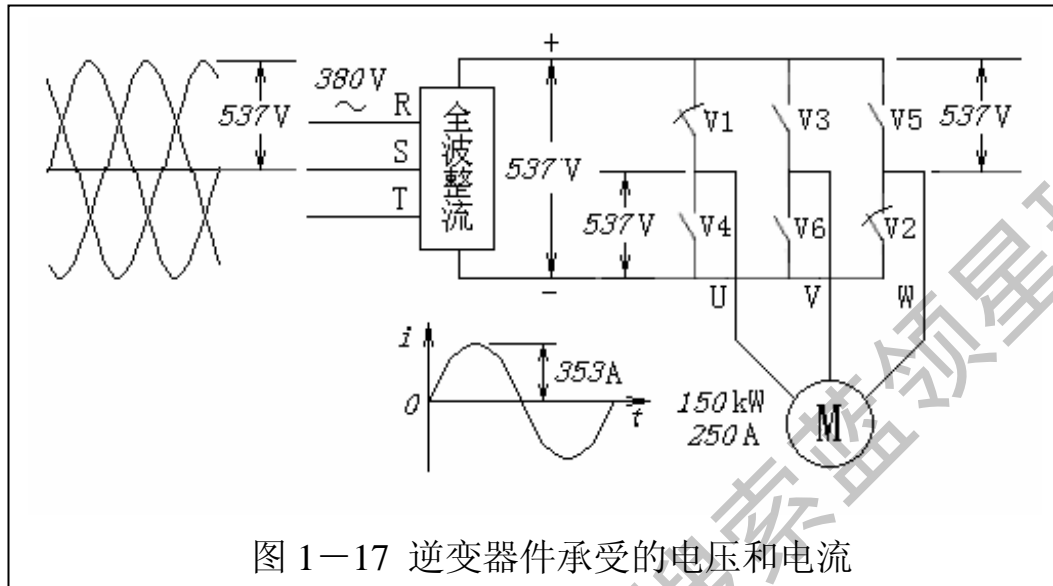


4. 三相逆变桥



1. 3. 2 逆变器件的条件与发展

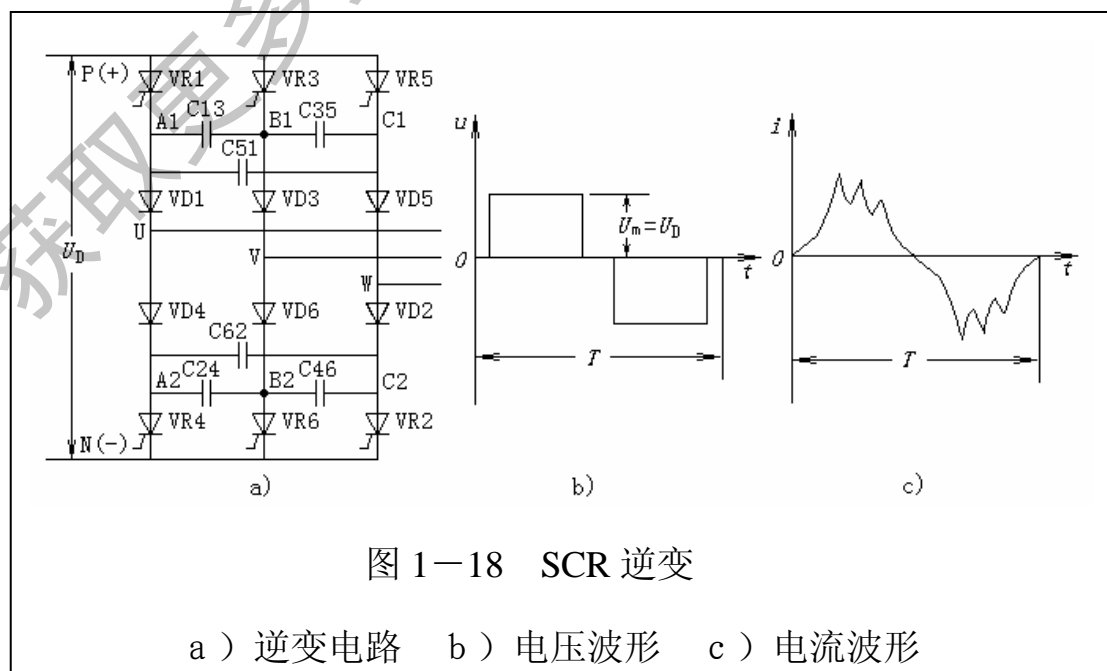
1. 逆变器件的条件



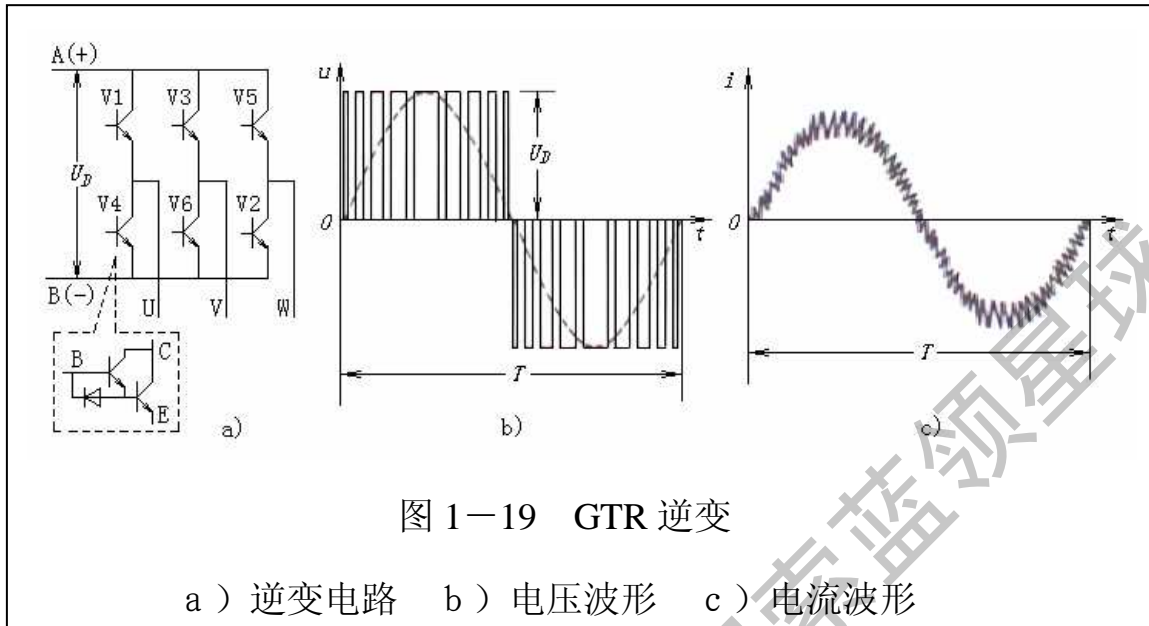
- (1) 能承受足够大的电压和电流。
- (2) 允许长时间频繁地接通和关断。
- (3) 接通和关断的控制必须十分方便。

2. 逆变器件的发展

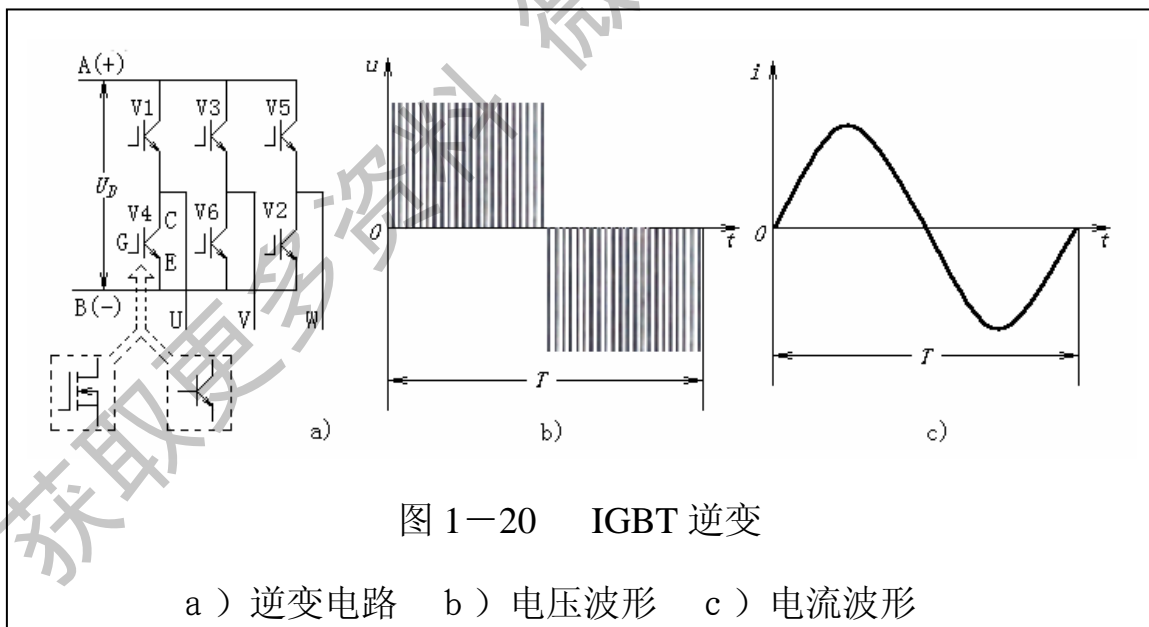
(1) 起步始于晶闸管



(2) 普及归功 GTR (BJT)



(3) 提高全靠 IGBT

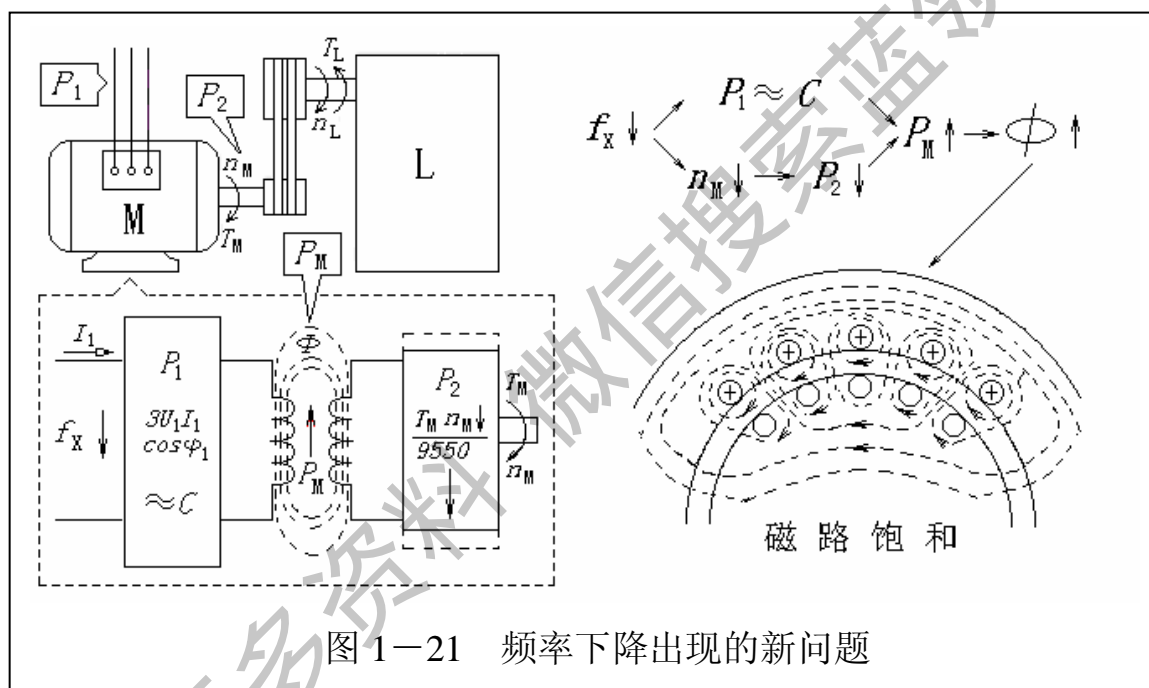


变频变压为哪般？

1. 4 变频器的输出电压与频率

1. 4. 1 变频调速出现的新问题

1. 从能量关系看主磁通的变化

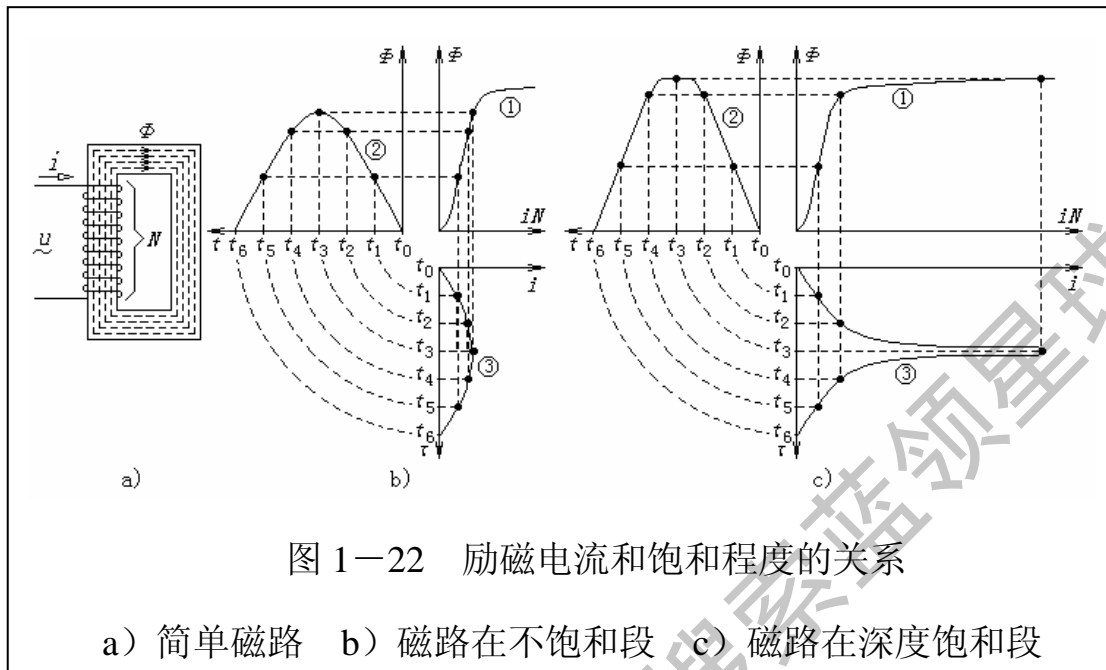


2. 从反电动势看主磁通的变化

$$E_1 = K_E f_X \Phi_1$$

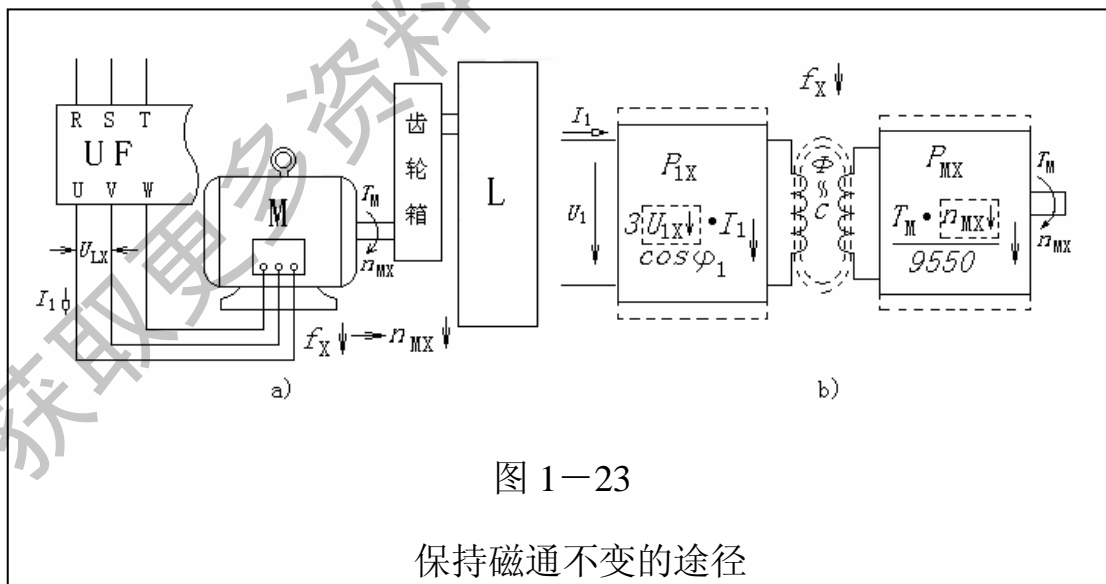
$$\therefore \Phi_1 = K_F \cdot \frac{E_1}{f_X} \uparrow$$

3. 磁通增大的后果



3. 保持磁通不变的途径

(1) 从能量角度看



(2) 从电动势的角度看

$$\therefore E_1 = K_E f \Phi_1$$

$$\therefore \frac{E_1}{f} = C \rightarrow \Phi_1 = C$$

即 $E_{1X} = C f_X \rightarrow \Phi_1 = C$

顶替办法: $\frac{U_1}{f} = C \rightarrow \Phi_1 \approx C$

设 $k_f = \frac{f_X}{f_N} \quad k_U = \frac{U_X}{U_N}$

则 $k_U = k_f \rightarrow \Phi_1 \approx C$

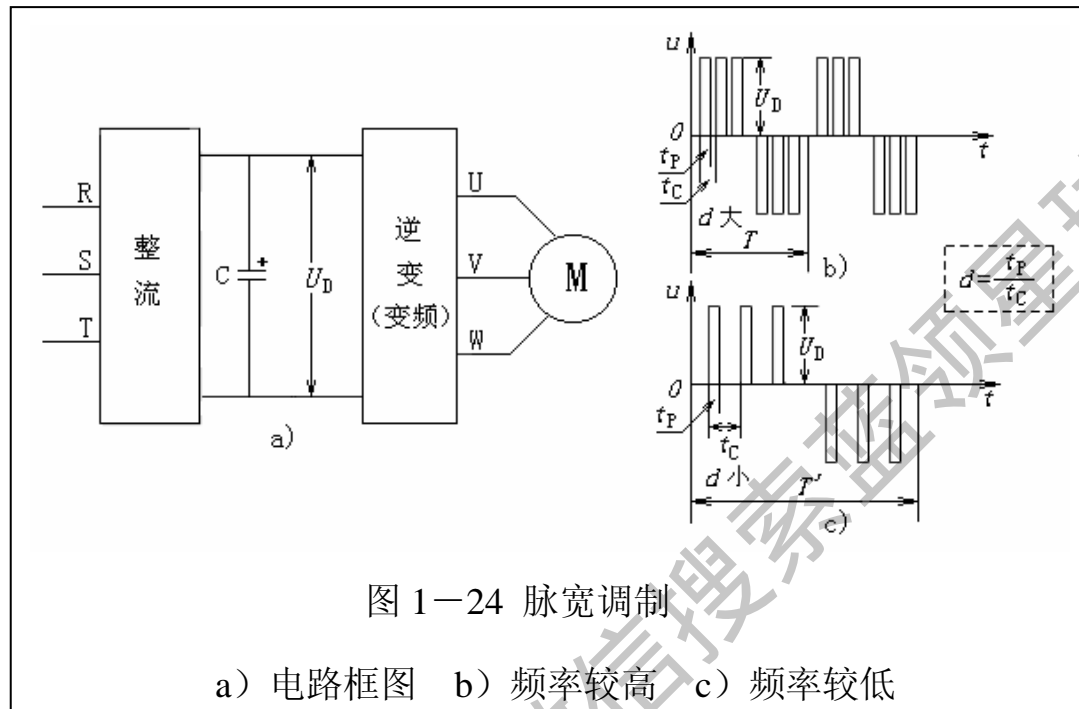
\therefore 变频的同时也要变压，变频器常称为 VVVF。

$k_U = k_f$ 时，电压与频率的对应关系

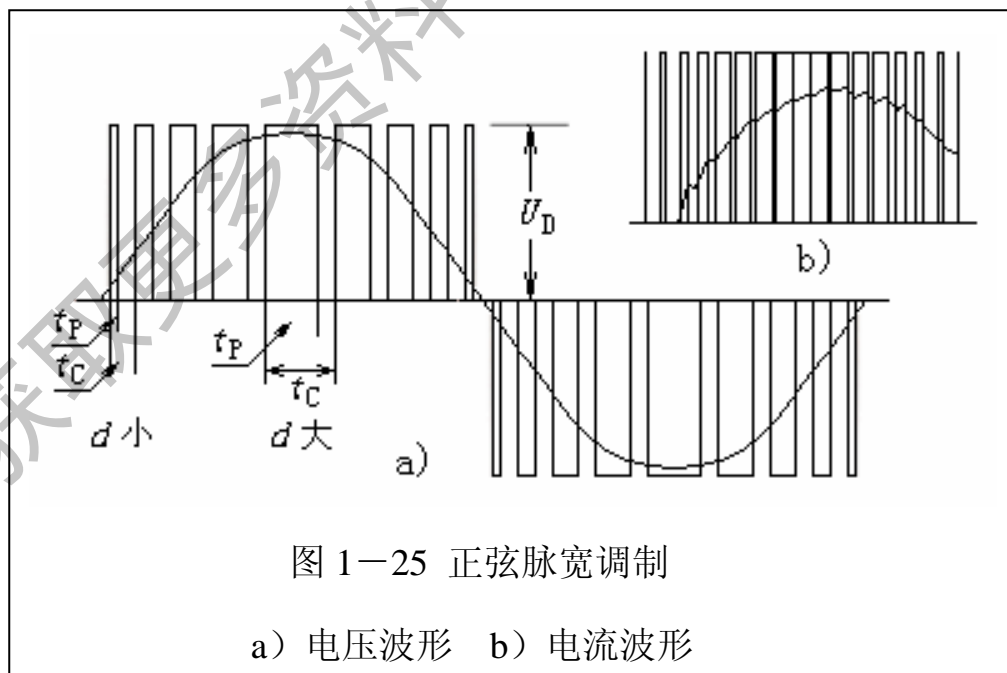
f_X	$k_f = f_X / f_N$	$U_X = k_U U_N$
50 Hz	1.0	380V
40 Hz	0.8	304V
30 Hz	0.6	228V
20 Hz	0.4	152V
10 Hz	0.2	76V
5 Hz	0.1	38V

1. 4. 2

1. PWM (脉宽调制)

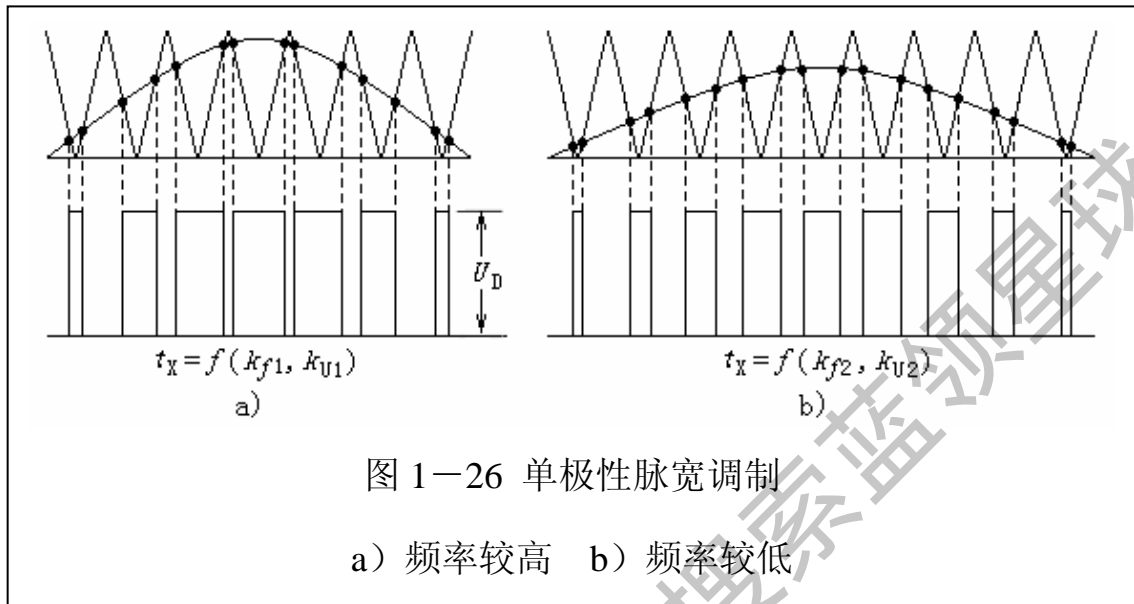


2. 正弦脉宽调制 (SPWM)

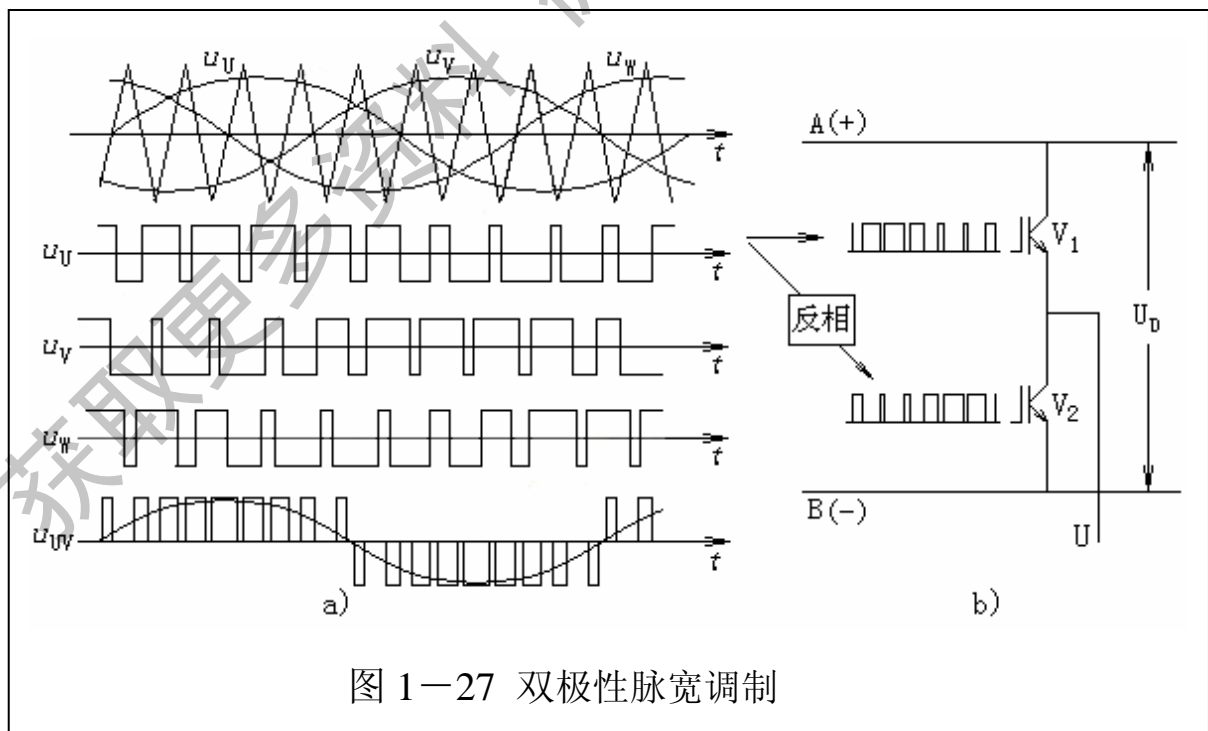


3. 正弦脉宽调制的实现

(1) 单极性调制



(2) 双极性调制



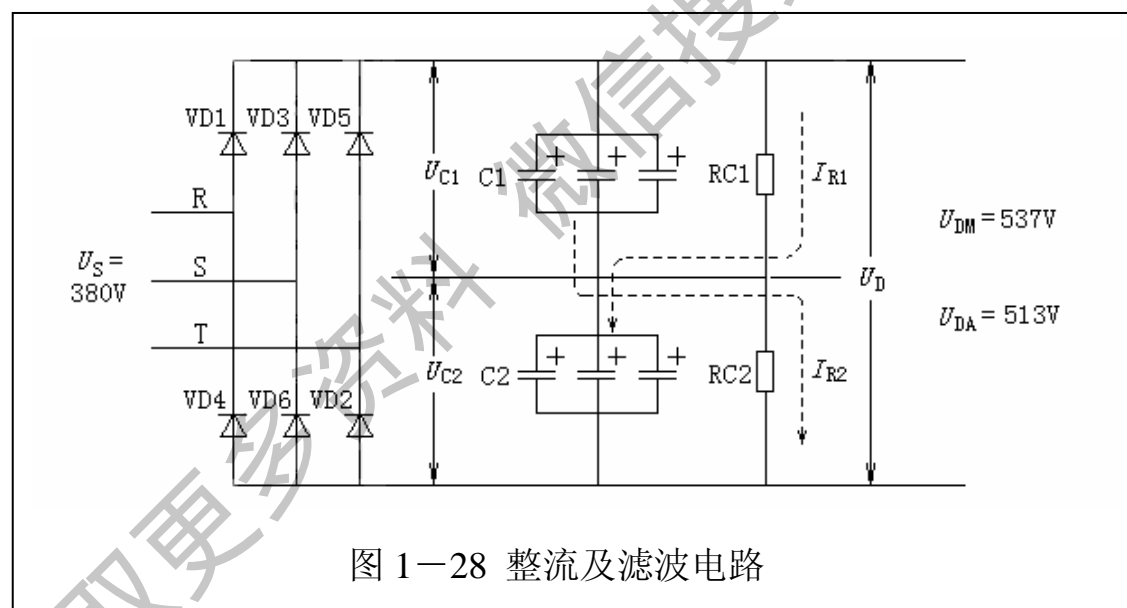
1.5 交—直—交变频器的主电路

整流滤波

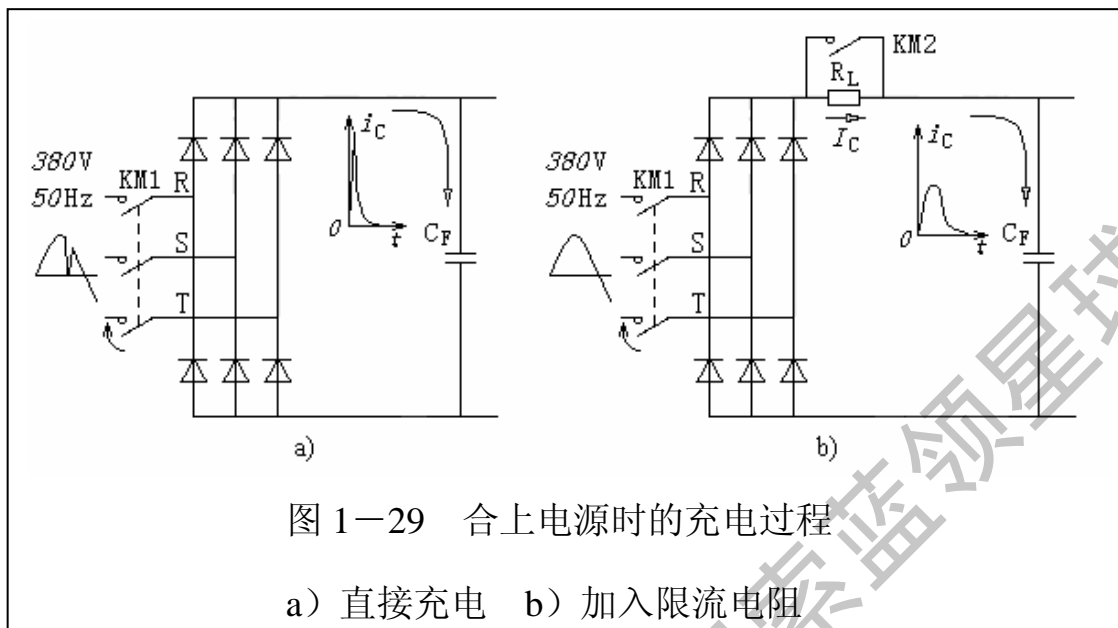
有特点!

1.5.1 整流与滤波电路

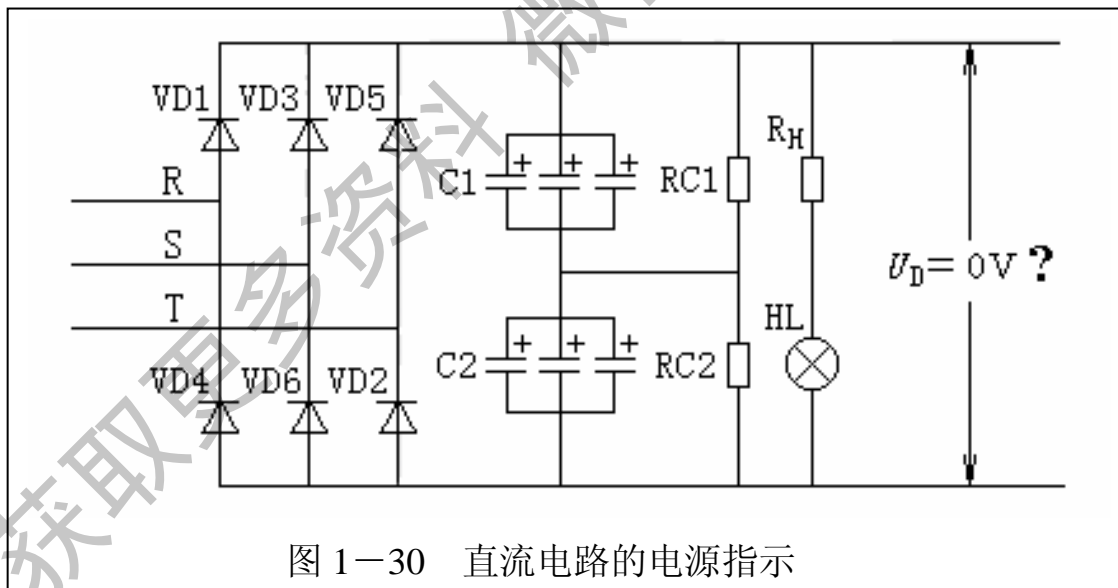
1. 滤波电容要均压



2.



3. 直流电源指示为安全



休息 15 分钟

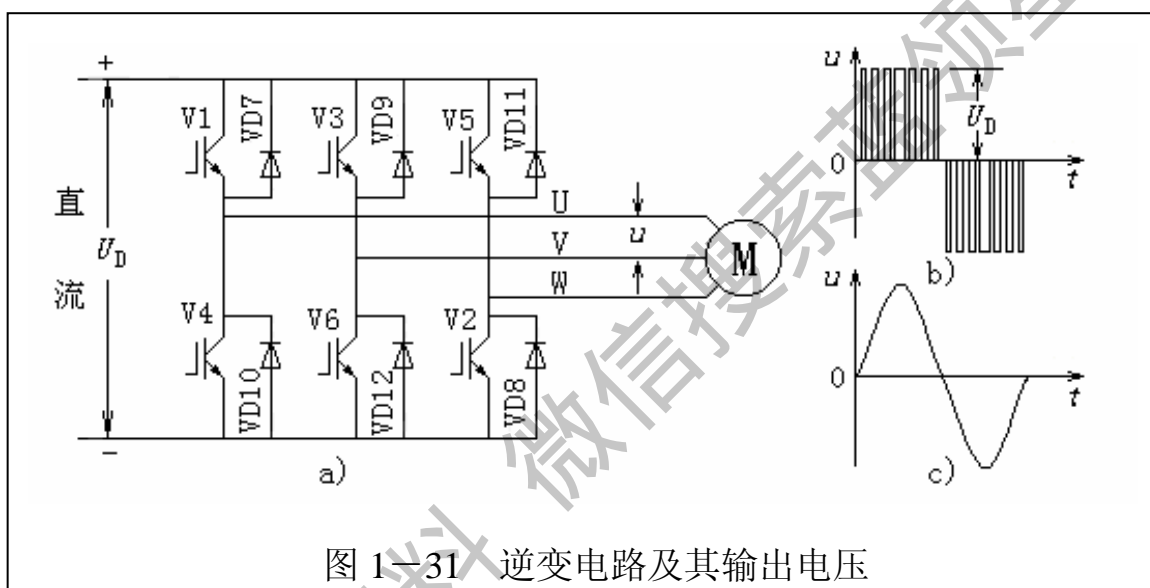
获取更多资料 微信搜索蓝领星球

反向电流

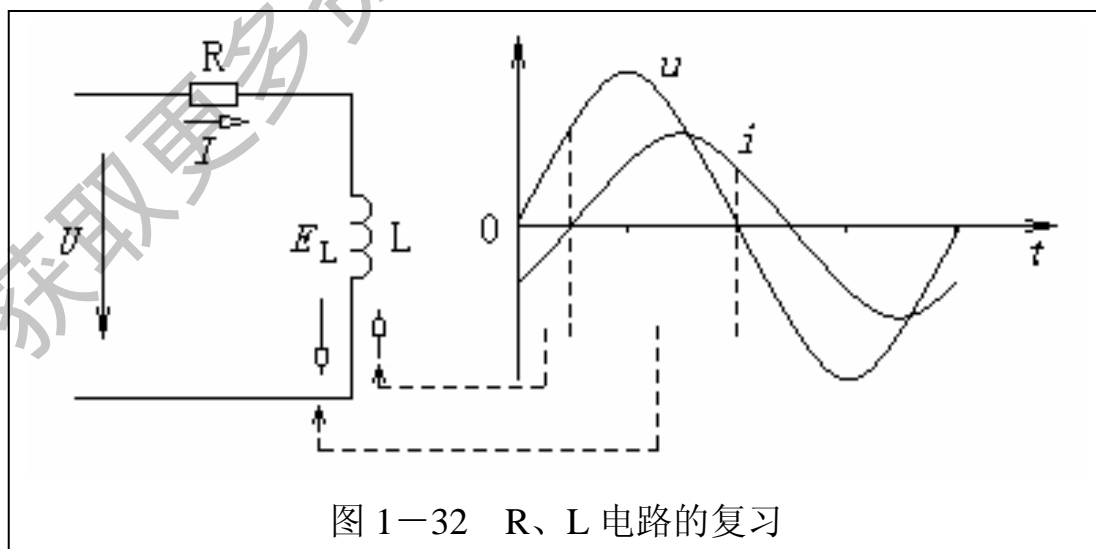
给出路！

1. 5. 2 逆变电路

1. 逆变电路的结构与输出电压

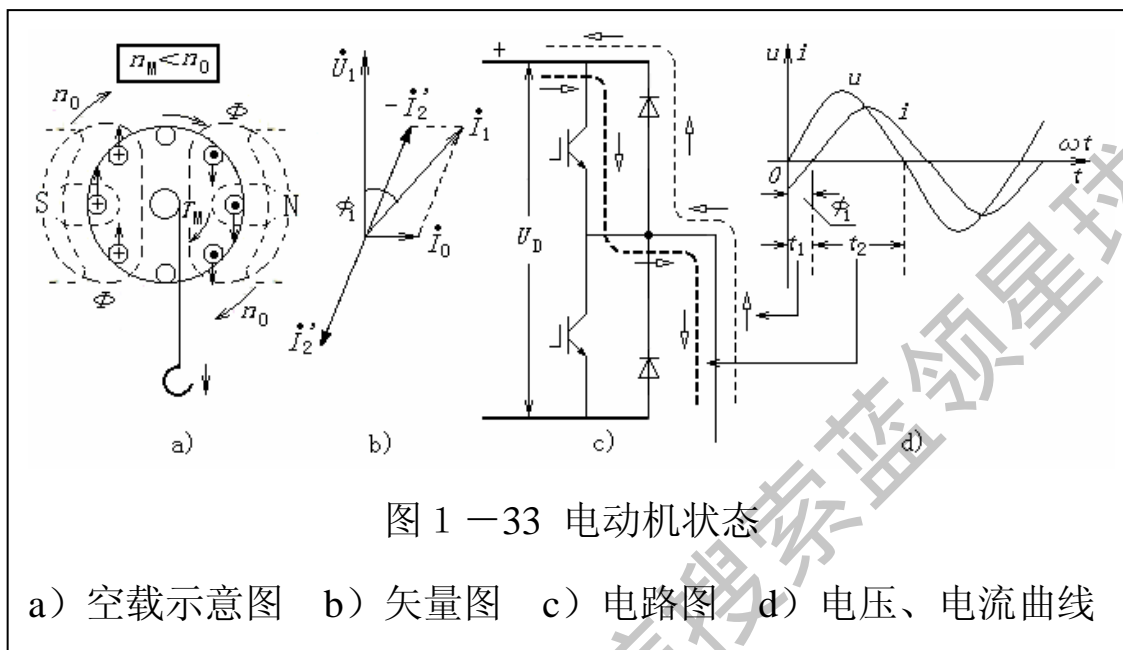


2. R、L 电路的复习

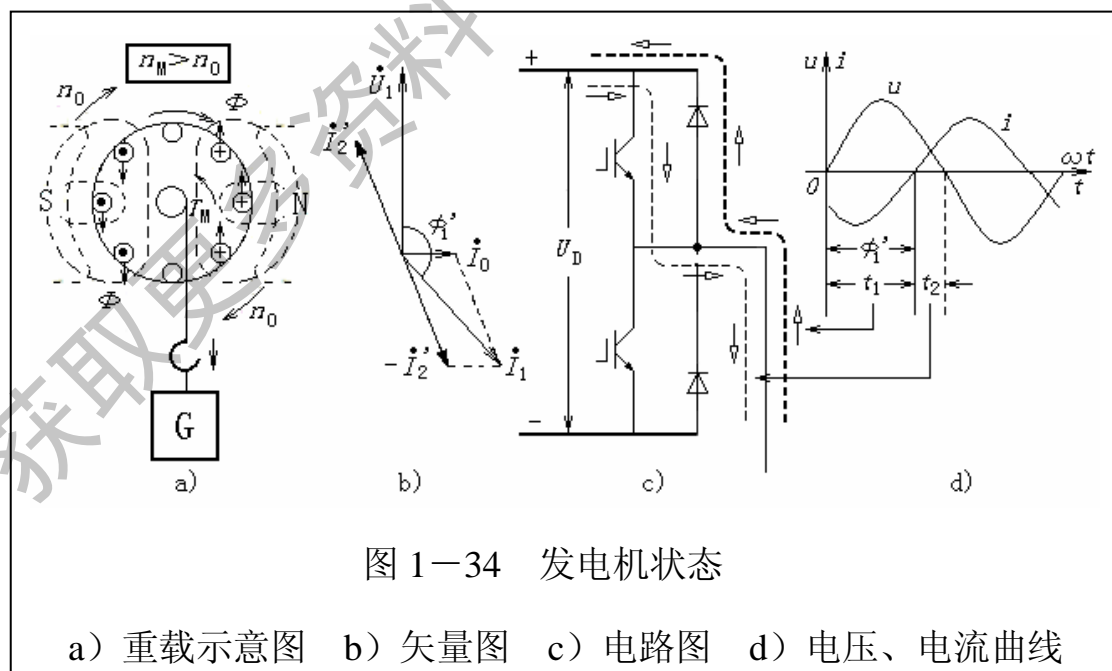


3. 逆变电路的电流路径

(1) 电动机状态 $\langle n_M < n_0 \rangle$



(2) 发电机状态 $(n_M > n_0)$



4. 逆变桥输出的禁忌

(1) 主电路的输入、输出不允许接错

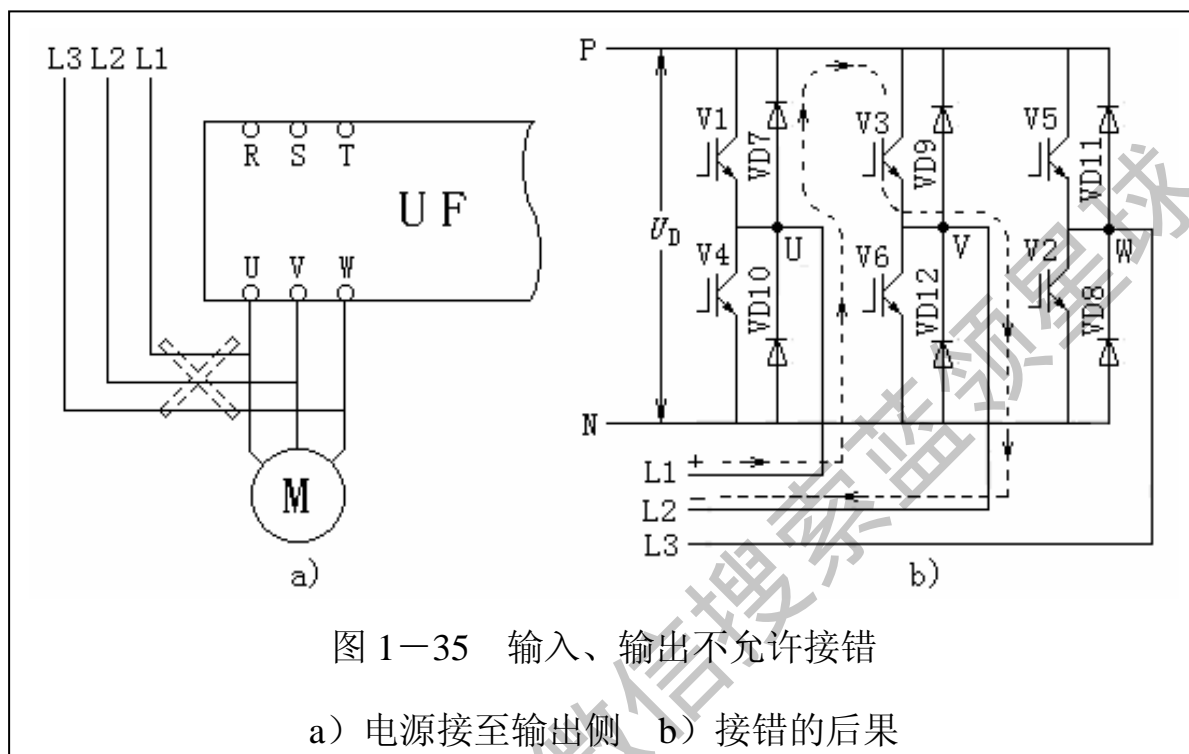


图 1-35 输入、输出不允许接错

a) 电源接至输出侧 b) 接错的后果

(2) 输出侧不能接电容器

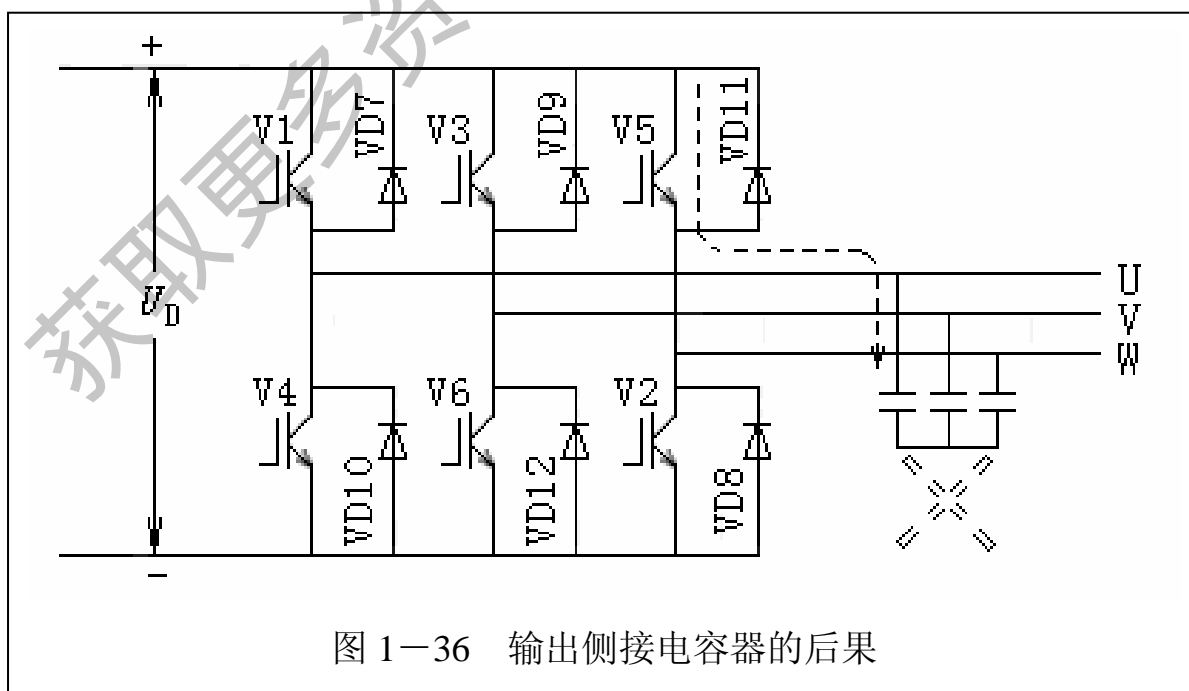


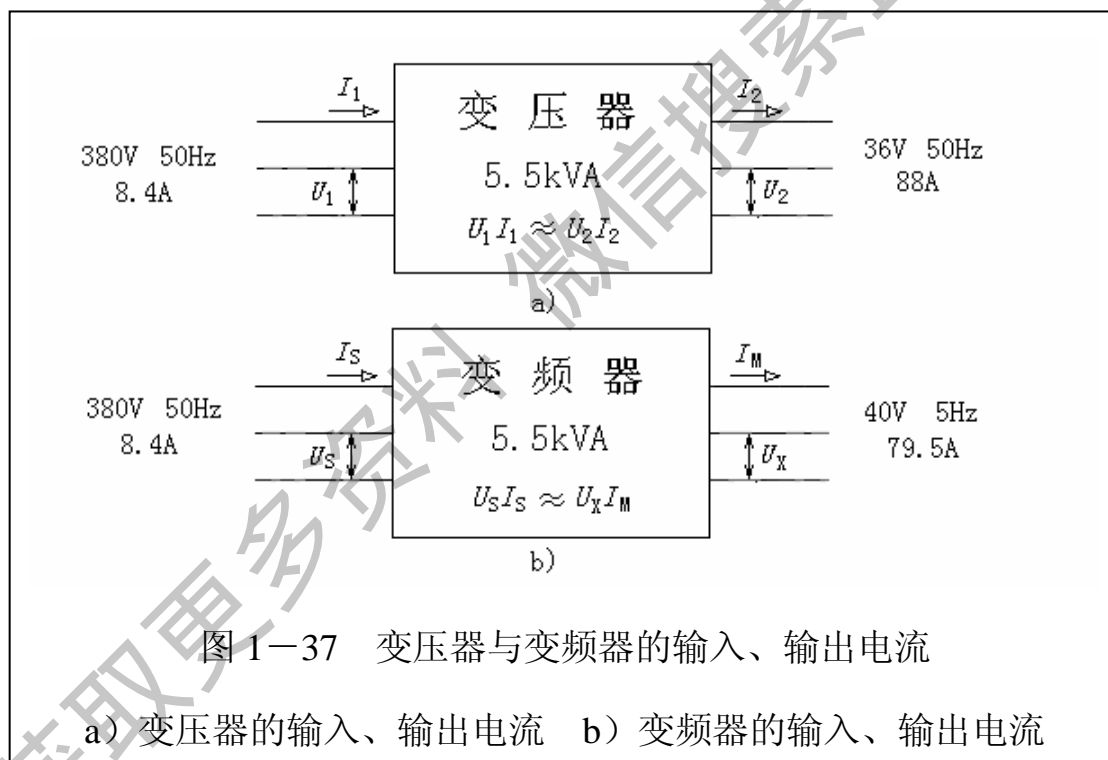
图 1-36 输出侧接电容器的后果

电流大小

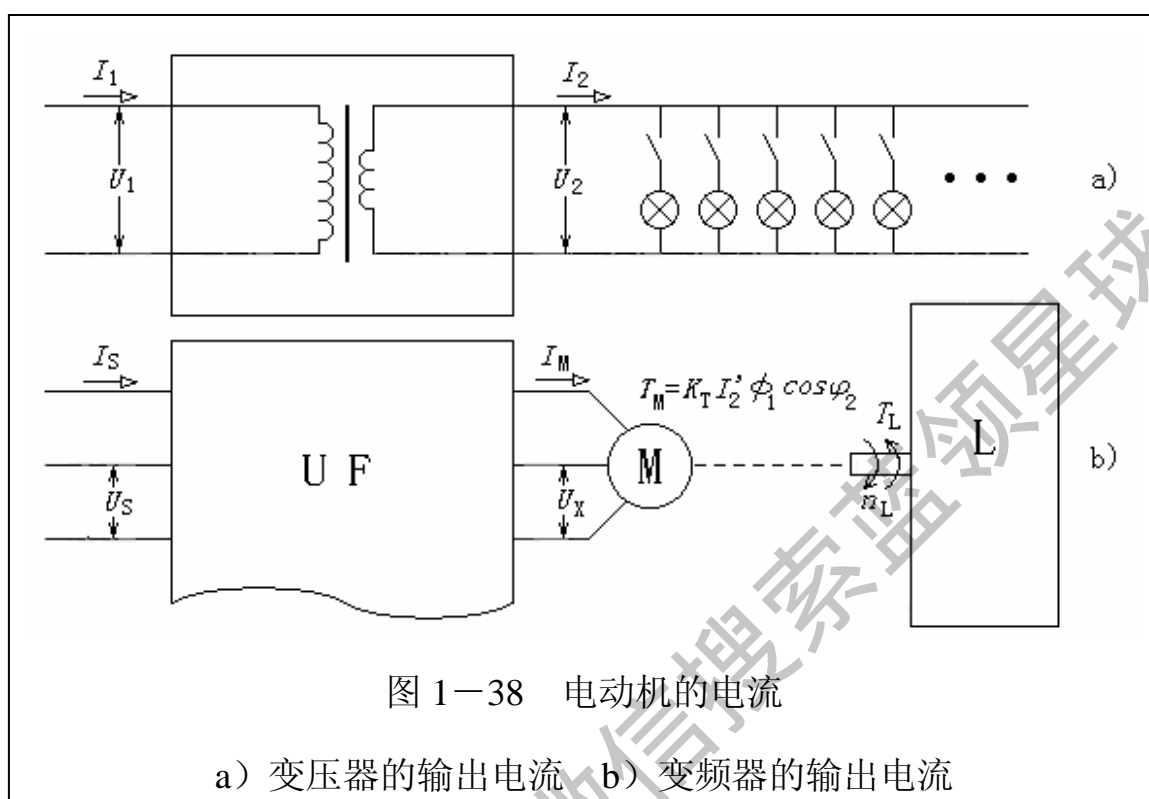
分三片！

1. 5. 3 主电路各部分的电流

1. 概述

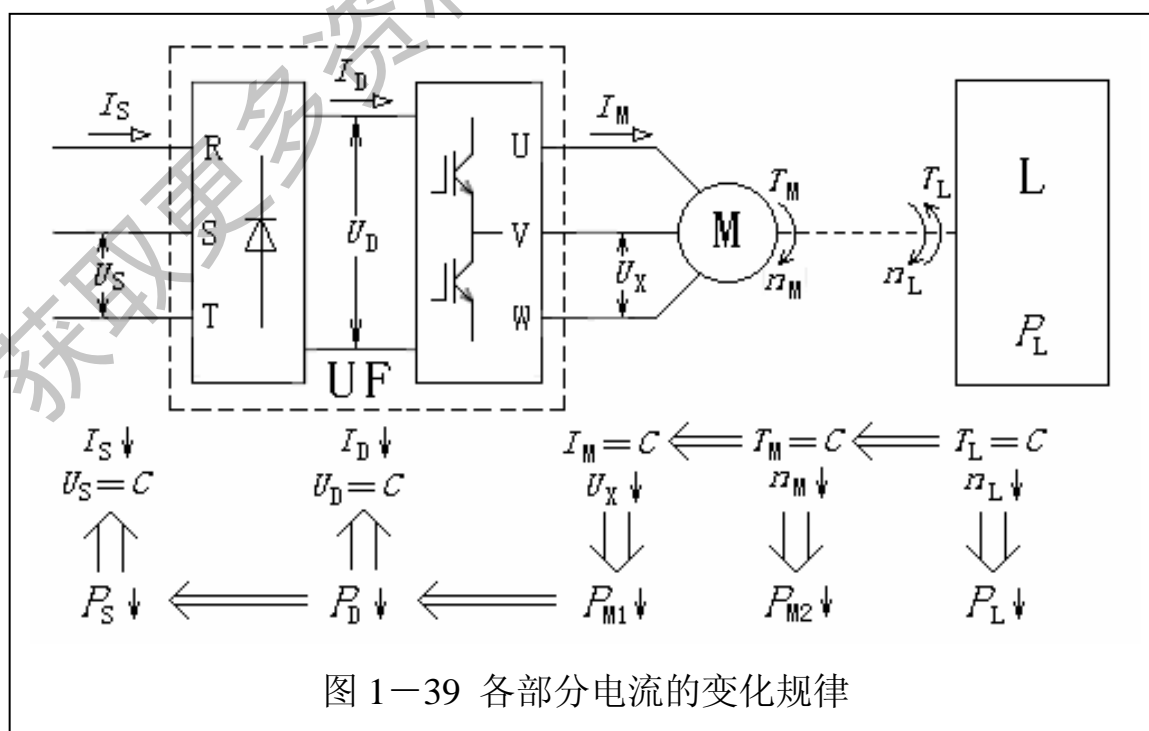


2. 变频器的输出电流



由图知，变频器输出电流的大小取决于负载的轻重。

3. 频率下降时各部分的功率与电流

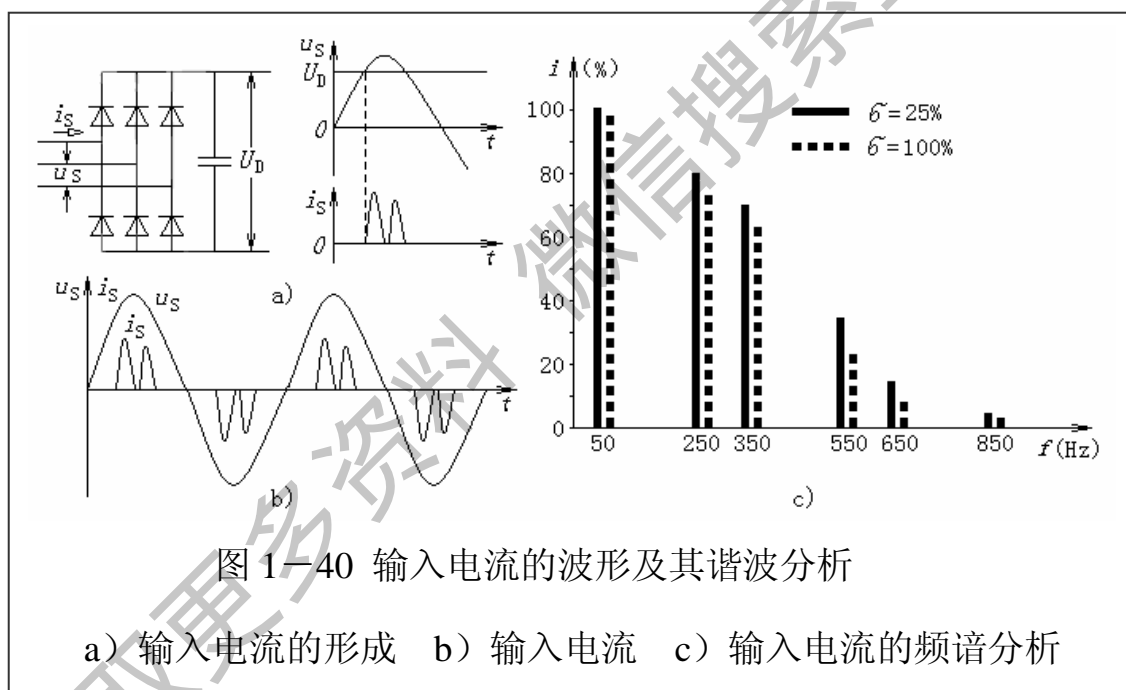


供电部门

不能恼!

1. 6 变频器的功率因数

1. 6. 1 变频器的输入电流



1. 功率因数的两个方面

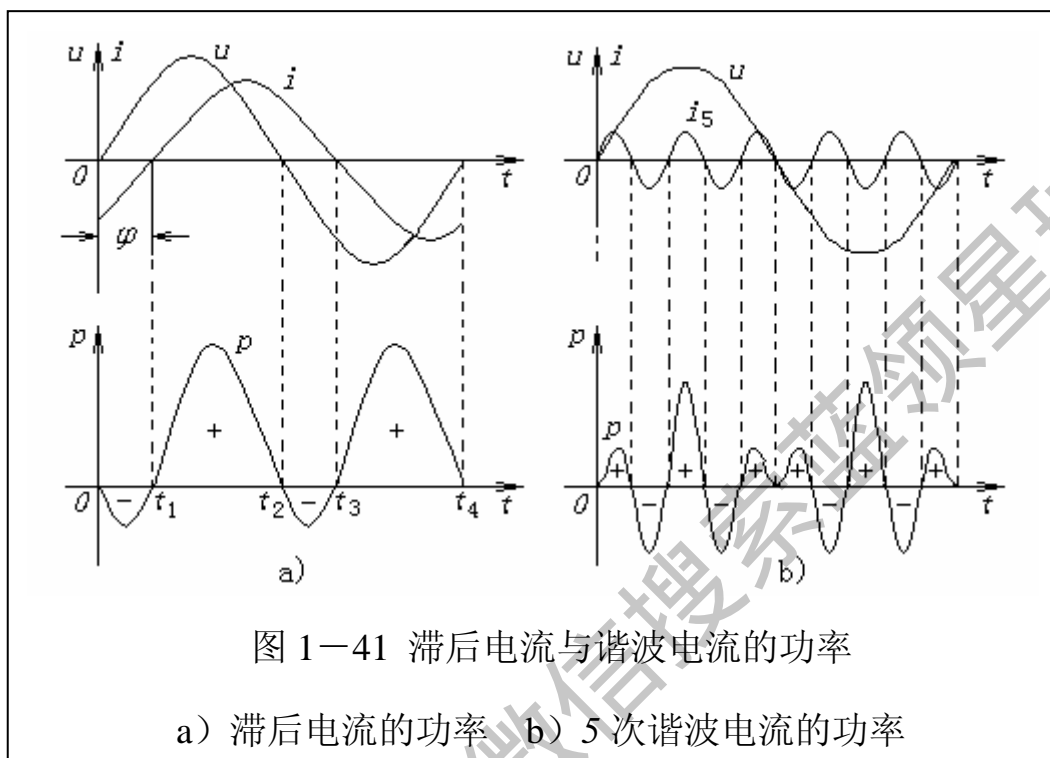


图 1-41 滞后电流与谐波电流的功率

a) 滞后电流的功率 b) 5 次谐波电流的功率

2. 功率因数的公式

$$\lambda = \frac{P}{S} = v \cdot \cos\varphi \quad [PF = DF \cdot K_d]$$

式中, λ —全功率因数 (PF);

P —有功功率, kW;

S —视在功率, kVA;

$\cos\varphi$ —位移因数 (DF);

v —电流的畸变因数 (K_d), 等于电流基波分量的有效值与总有效值之比:

$$v = \frac{I_1}{\sqrt{I_1^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots}}$$

1. 6. 3 提高功率因数的方法

1. 配接交、直流电抗器

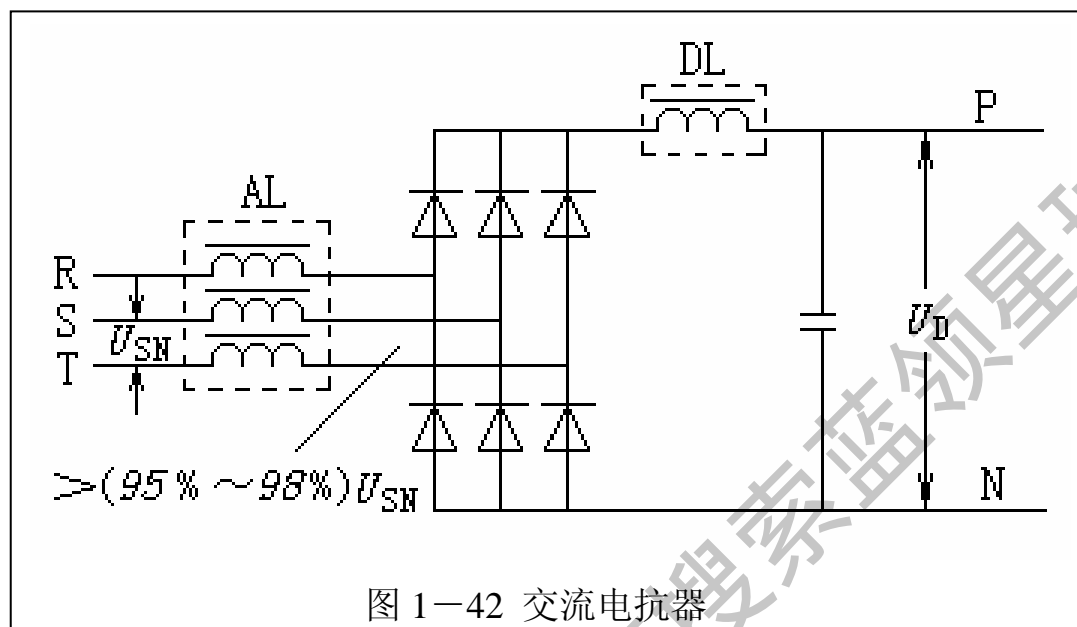


图 1-42 交流电抗器

(1) 交流电抗器除了可以将功率因数提高至 $(0.75 \sim 0.85)$ 外，还具有削弱浪涌电流和电源电压不平衡的影响。

(2) 配接直流电抗器，功率因数可提高至 0.9 以上。

2. 采用 12 脉波整流

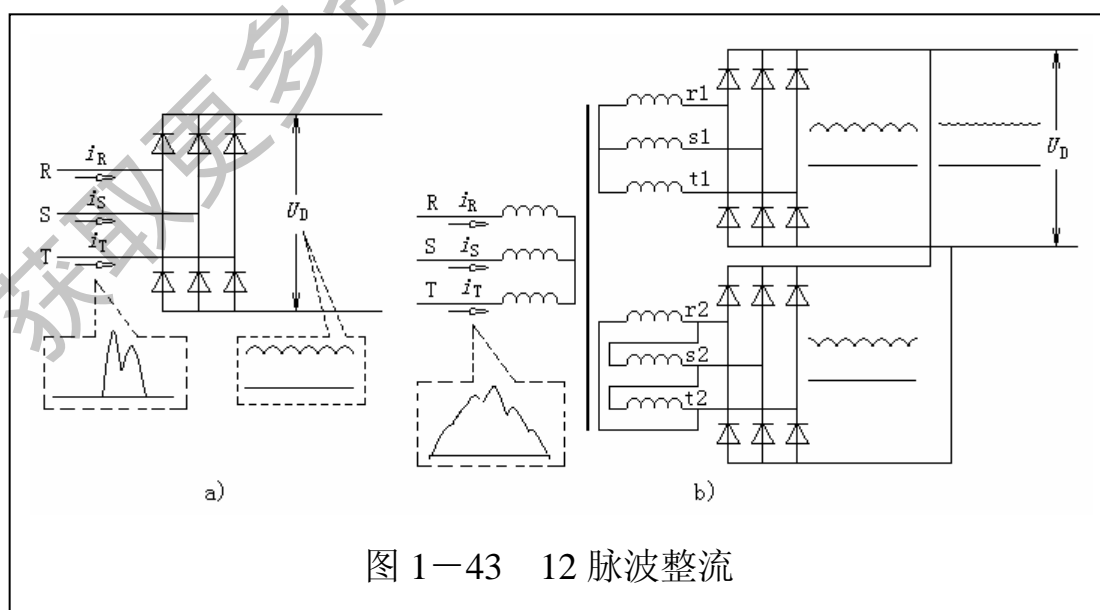


图 1-43 12 脉波整流

1.7 变频器主电路的测量

常规测量

不可靠!

1.7.1 输出电压的测量

1. 电磁式仪表

$$f_x \downarrow \rightarrow X_L = 2\pi f_x L \downarrow \rightarrow I_L \uparrow$$

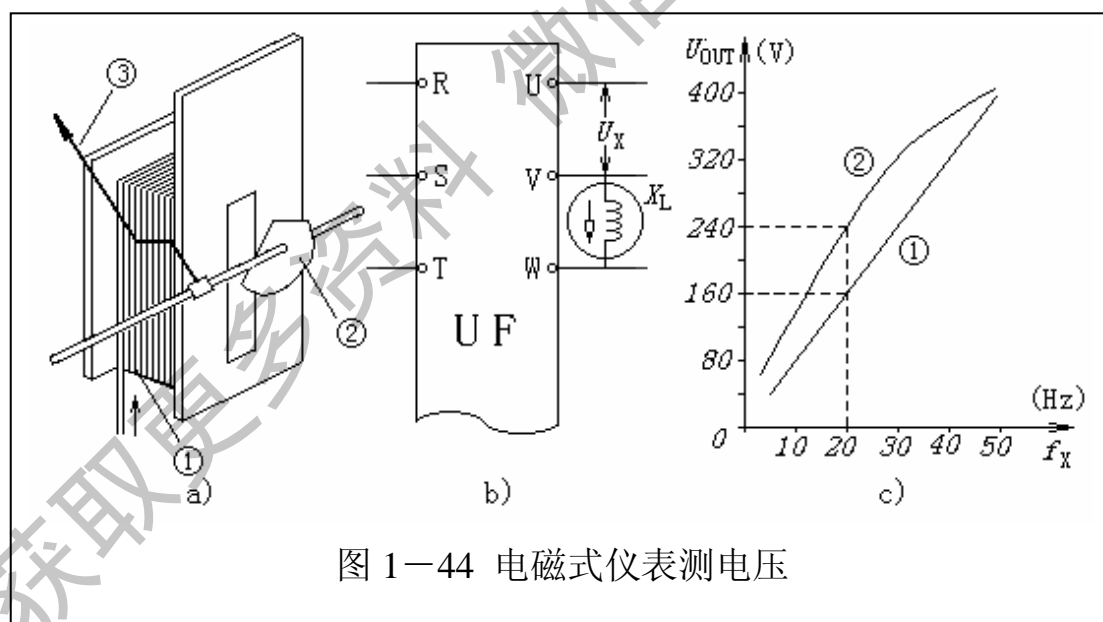


图 1-44 电磁式仪表测电压

2. 数字式仪表

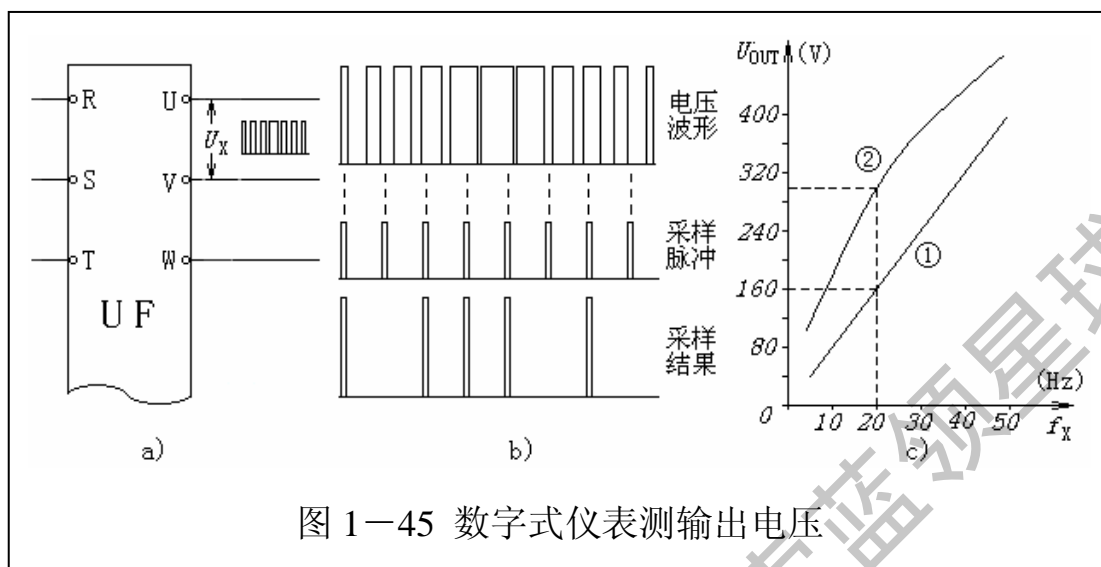


图 1-45 数字式仪表测输出电压

3. 整流式仪表

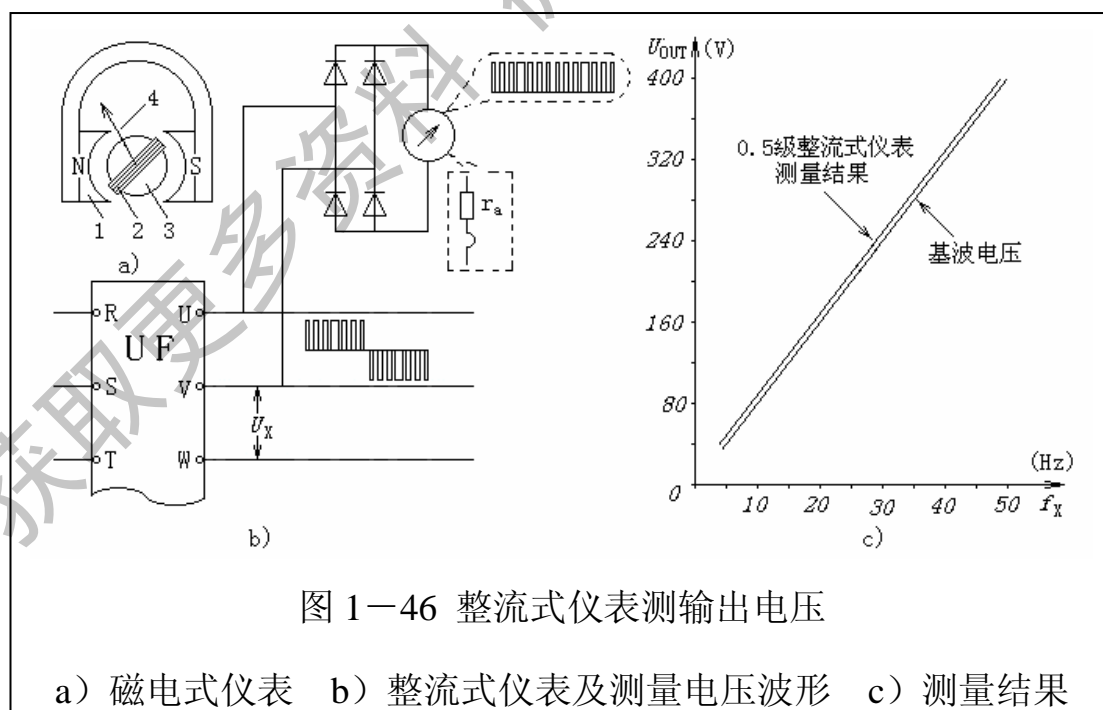


图 1-46 整流式仪表测输出电压

a) 磁电式仪表 b) 整流式仪表及测量电压波形 c) 测量结果

1. 7. 2 输入电流的测量

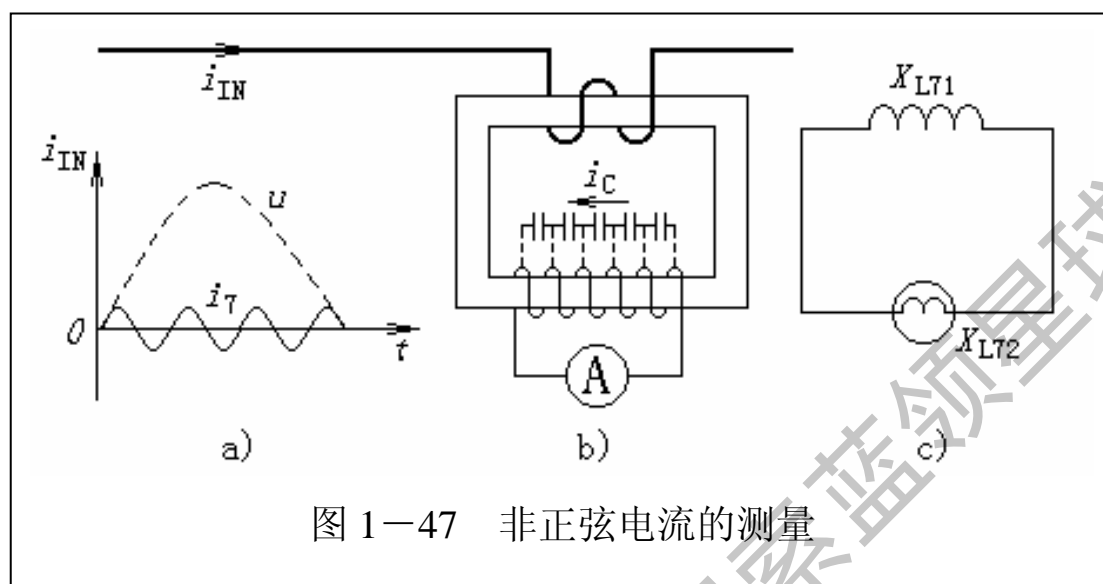


图 1-47 非正弦电流的测量

电流互感器的误差原因

以 7 次谐波电流为例：

(1) 互感器绕组和仪表绕组的感抗

$$\therefore f_7 \uparrow \rightarrow X_{L7} = 2\pi f_7 L \uparrow \rightarrow I_7 \downarrow$$

(2) 绕组分布电容的分流作用加大

$$f_7 \uparrow \rightarrow I_{C7} \uparrow \rightarrow I_7 \downarrow$$

(3) 铁心的导磁率 $f_7 \uparrow \rightarrow \mu \downarrow$ (μ —导磁率)

(4) 铁心中的功率损失

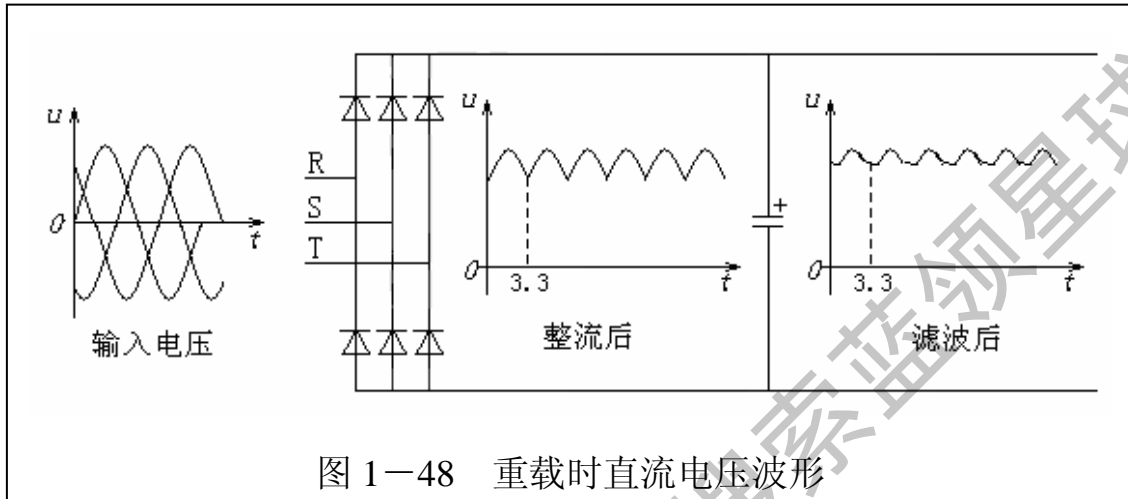
$$f_7 \uparrow \rightarrow P_7 \downarrow \quad (P_7 \text{—副方的七次谐波电流功率})$$

$$\therefore I_5' < I_5; \quad I_7' < I_7; \quad I_{11}' < I_{11}; \quad \dots$$

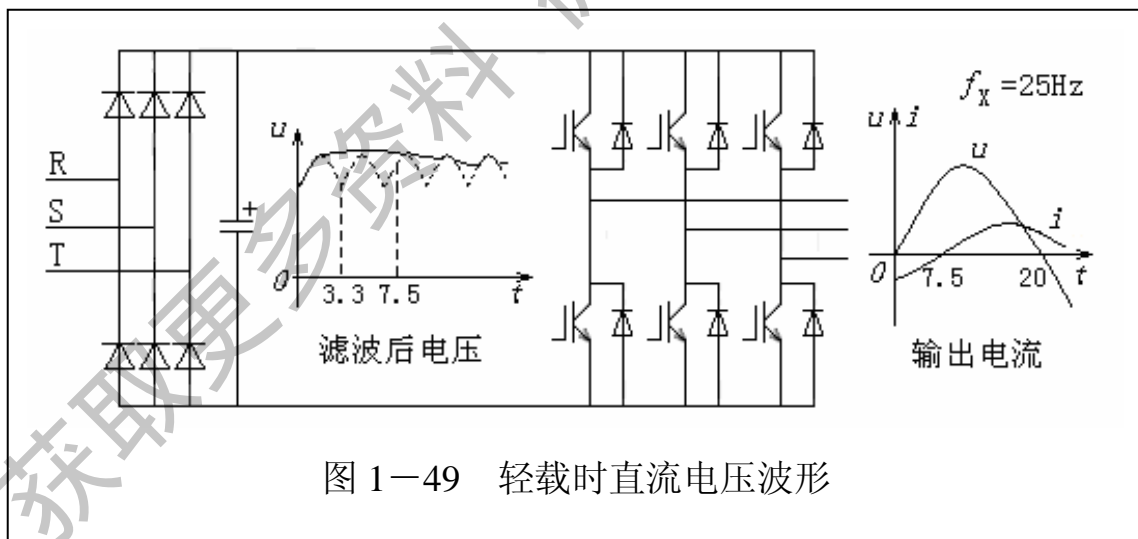
1. 7. 3 功率的测量

1. 输入电流的特点

(1) 额定频率时的直流电压波形



(2) 低频时的直流电压波形



2. 功率的测量

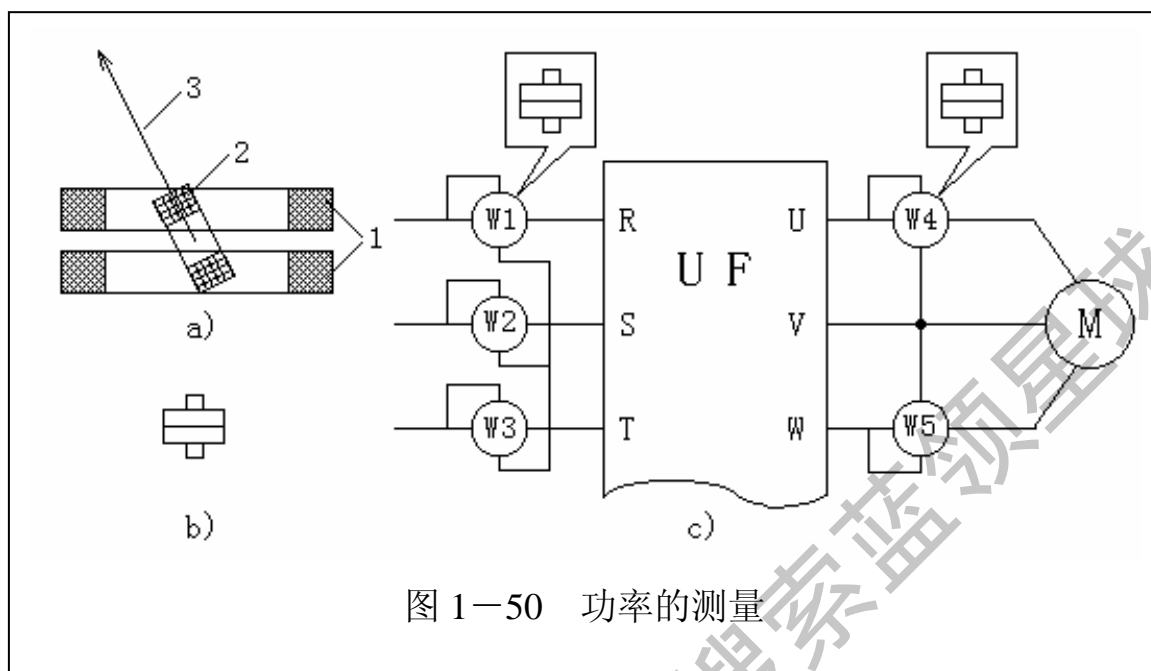


图 1—50 功率的测量

获取更多资料 微信搜索 蓝领工程师

第 2 章 电动机变频后的带负载特性

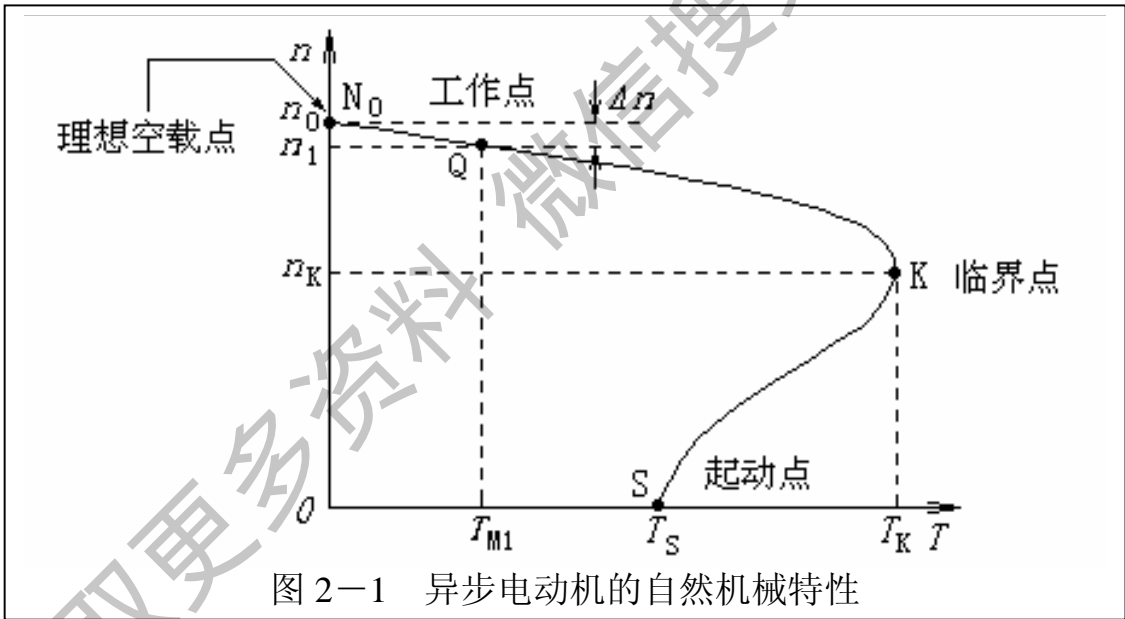
转速、转矩

难分离!

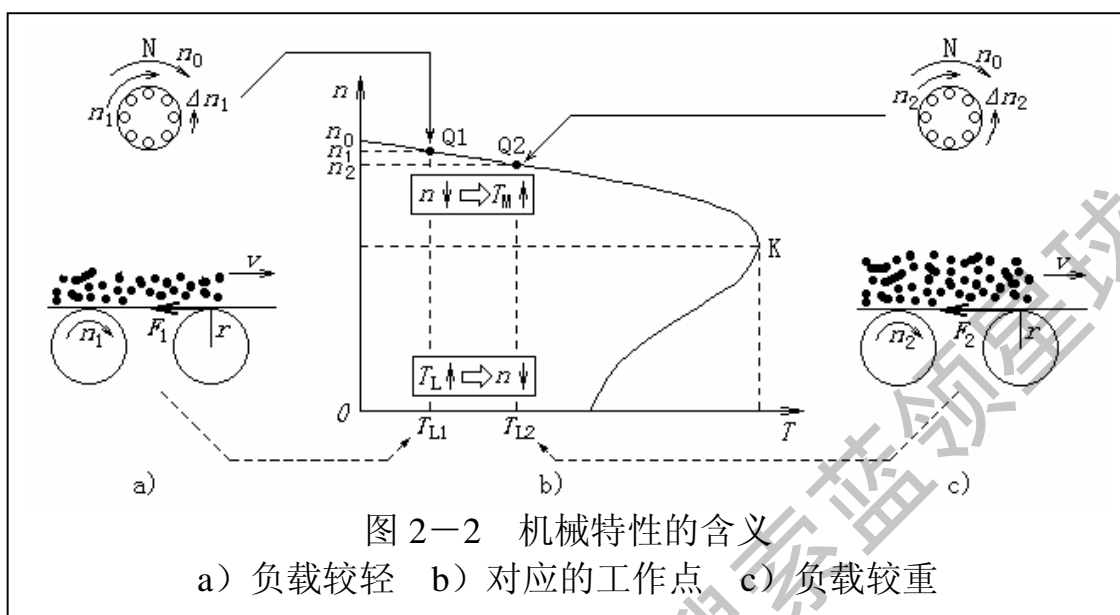
2. 1 异步电动机的机械特性

2. 1. 1 异步电动机的自然机械特性

1. 自然机械特性

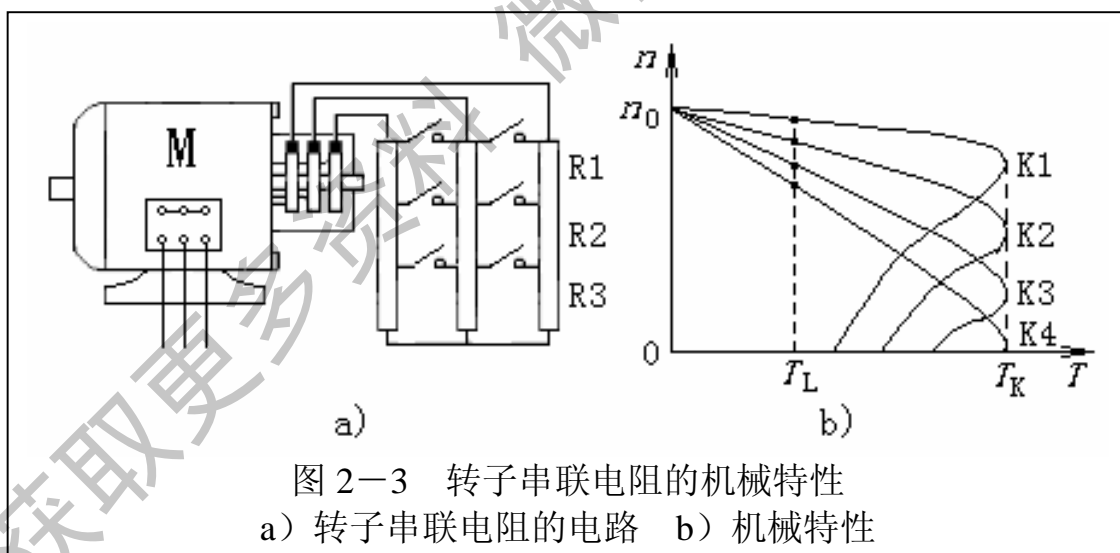


2. 机械特性的含义

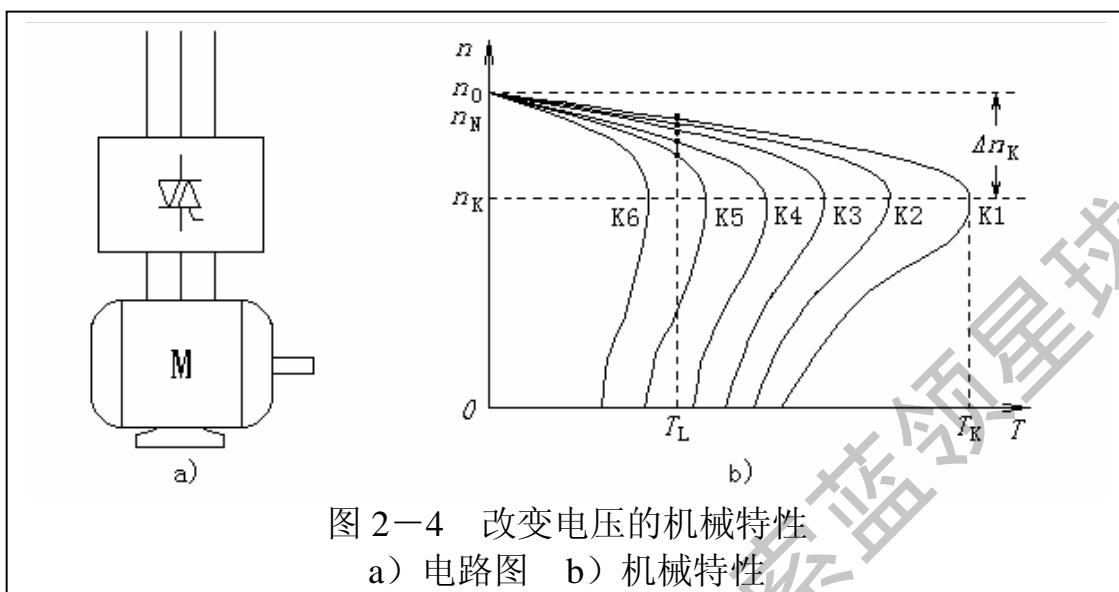


2. 1. 2 异步电动机的人工机械特性

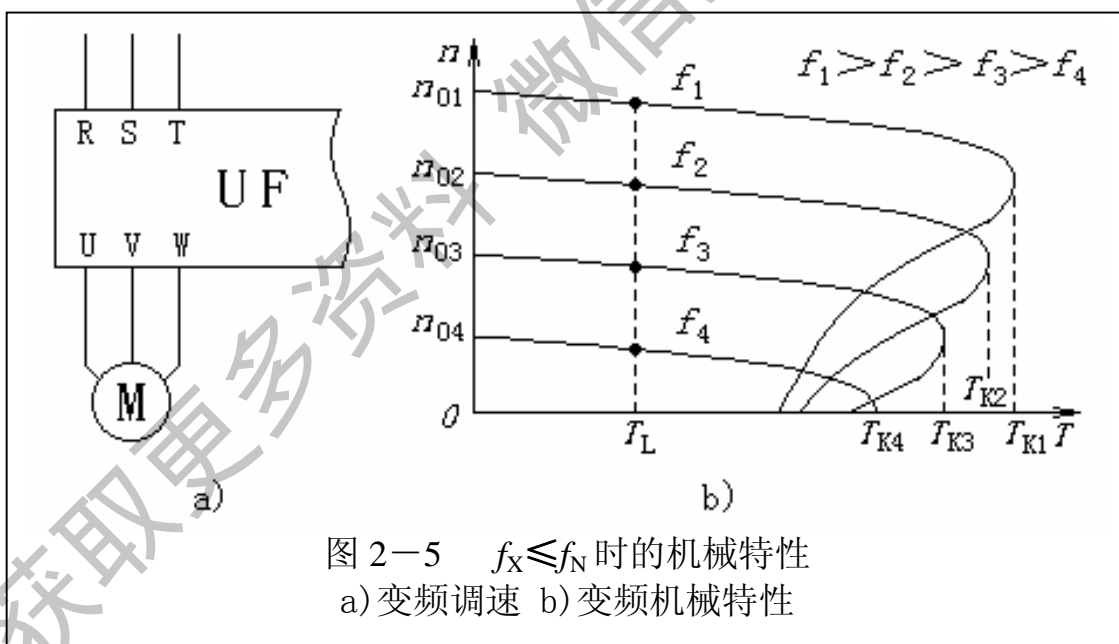
1. 转子串联电阻的机械特性



2. 改变电压的机械特性



3. 改变频率的机械特性 ($k_U=k_f$)



2. 2 V / F 控制方式

传递能量

靠磁通!

2. 2. 1 低频时临界转矩减小的原因与对策

1. 基本关系

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & T_M = K_T I_2' \Phi_1 \cos \varphi_2 \\
 \therefore & I_2' \neq I_{2N}' \\
 \therefore & T_K \approx K_T' \cdot \Phi_1 \\
 (2) \quad & \Phi_1 = K_F \cdot \frac{E_1}{f} \\
 & = K_F \cdot \frac{\dot{U}_1 - \Delta \dot{U}_1}{f} \\
 & = K_F \cdot \frac{\dot{U}_1 - I_1 Z_1}{f}
 \end{aligned}$$

2. 和磁通有关的因素 (在某一频率下)

(1) 负载不变 ($I_1 = C \rightarrow \Delta U_1 = C$):

$$U_1 \uparrow \rightarrow \Phi_1 \uparrow$$

$$U_1 \downarrow \rightarrow \Phi_1 \downarrow$$

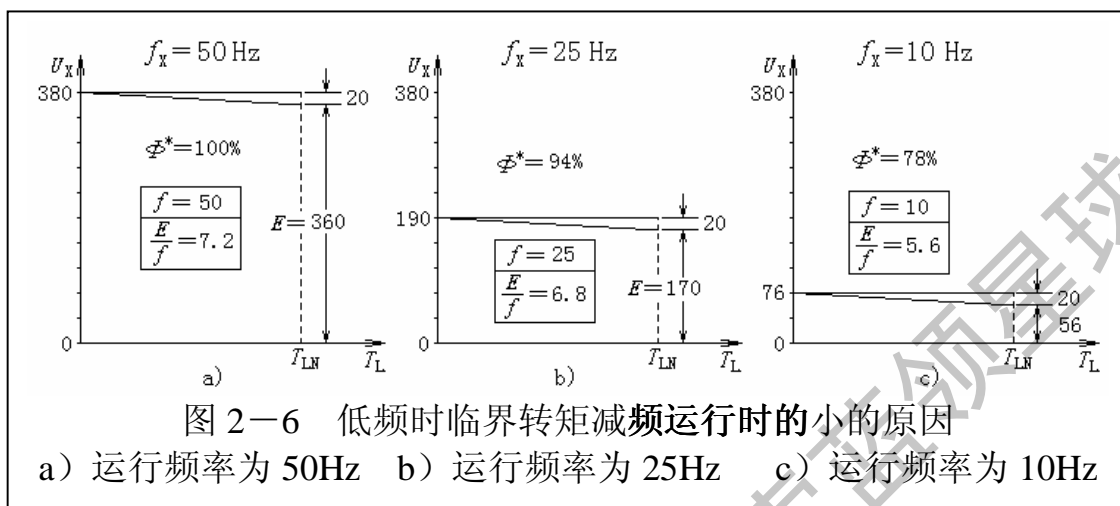
(2) 电压不变

$$I_1 \uparrow \rightarrow \Phi_1 \downarrow$$

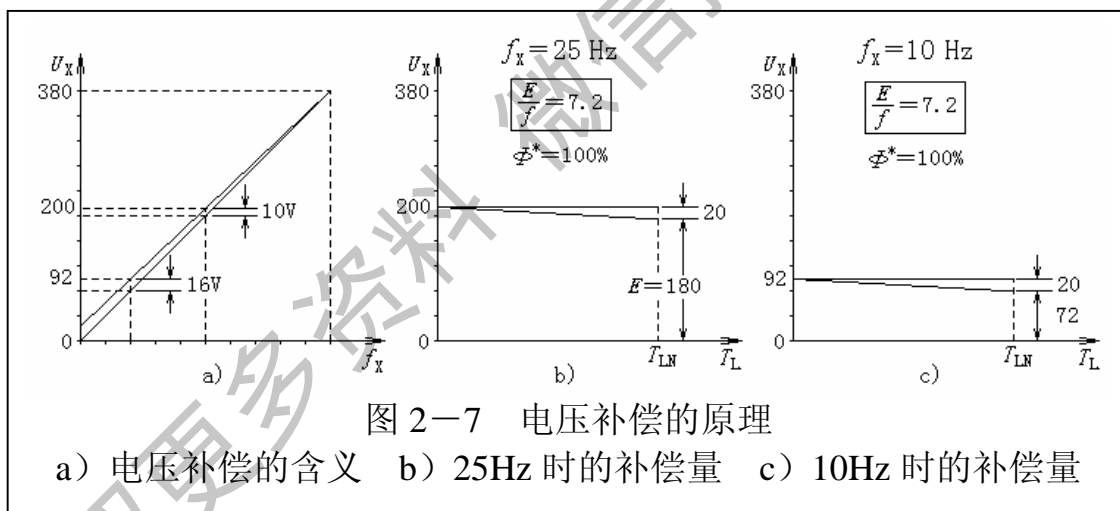
$$I_1 \downarrow \rightarrow \Phi_1 \uparrow$$

3. 变频运行时的数据举例

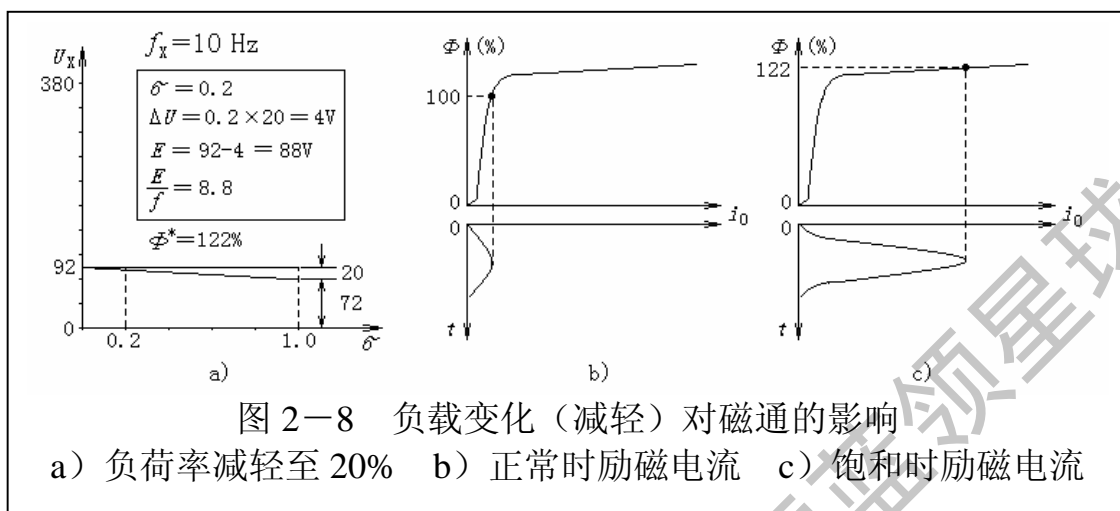
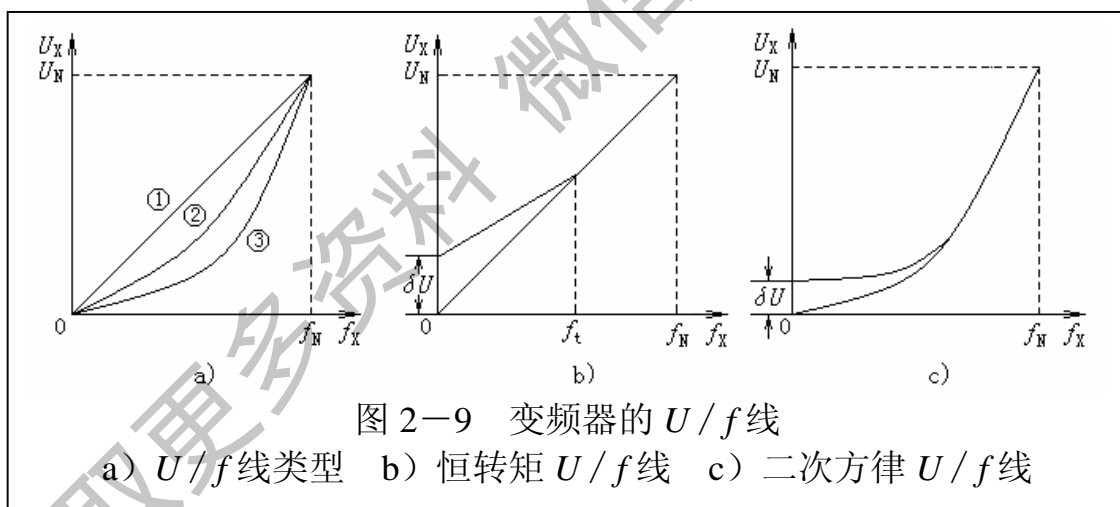
$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \Delta \dot{U}_1 \Rightarrow U_1 \approx E_1 + \Delta U_1$$



3. 对策（电压补偿、转矩补偿、转矩提升）



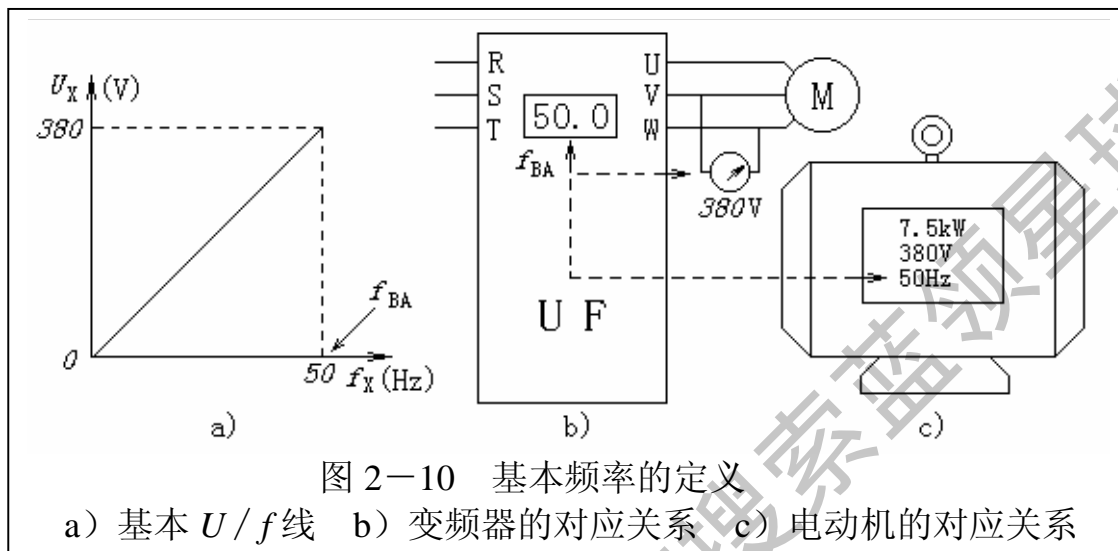
4. 负载变化的影响

2. 2. 2 变频器的 U/f 线

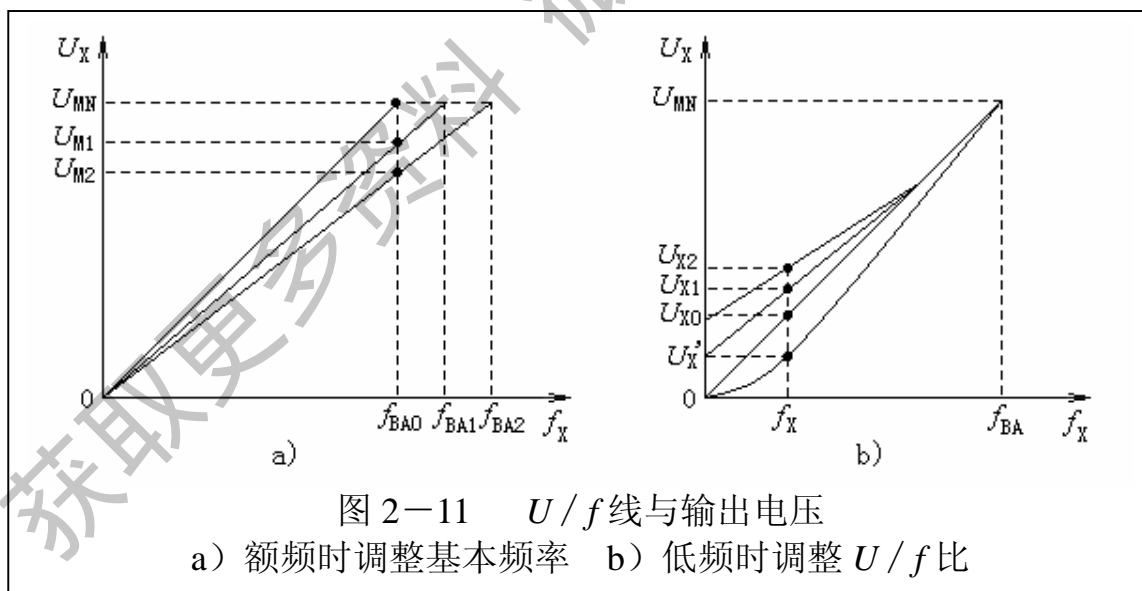
2.3 U/f 线的选择与调整

2.3.1 调整 U/f 线的实质

1. 基本频率

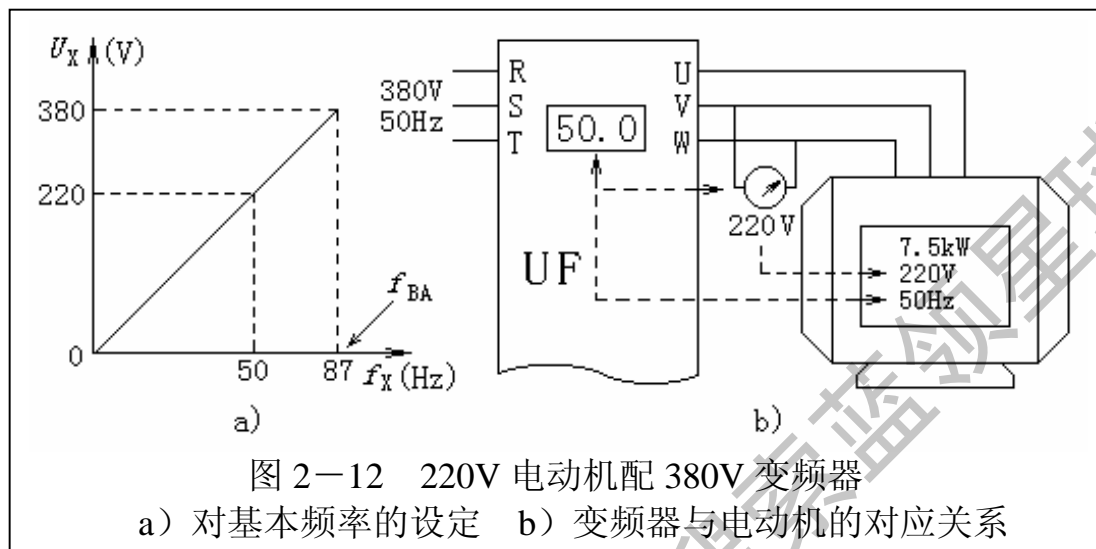


2. U/f 线与输出电压

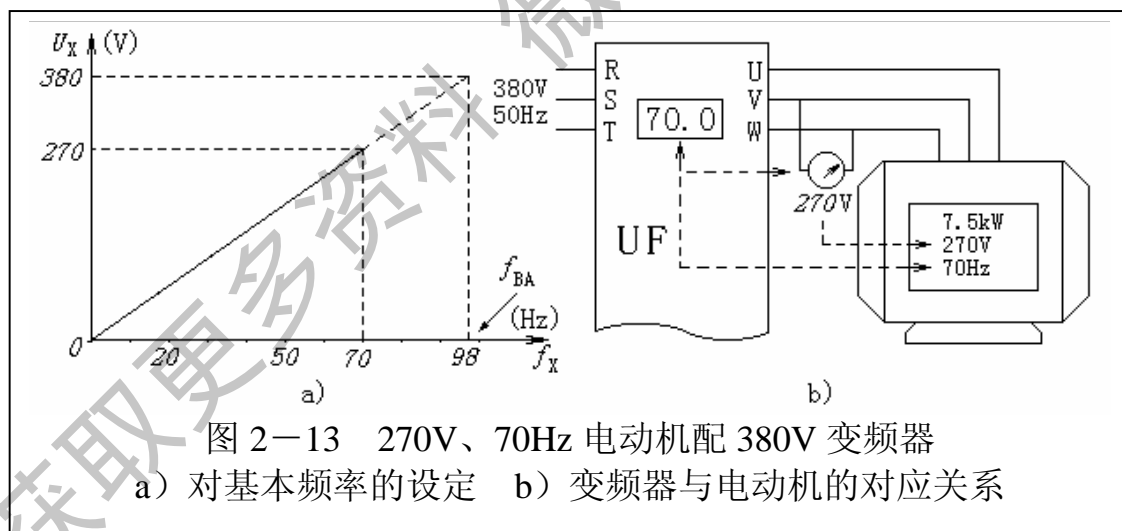


2. 3. 2 基本频率的调整

1. 三相 220V 电动机配 380V 变频器

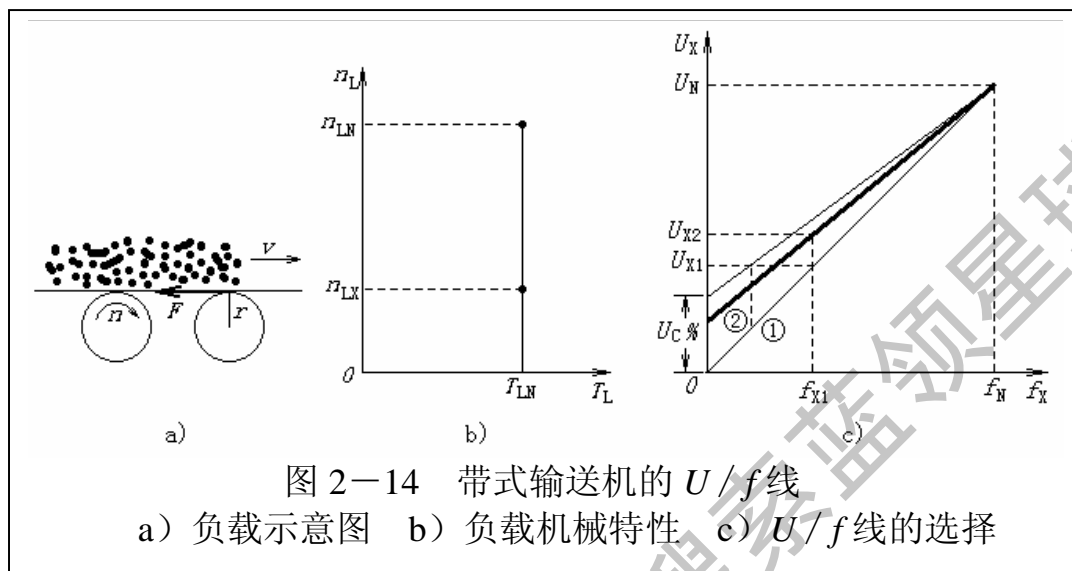


2. 270V、70Hz 电动机配 380V 变频器



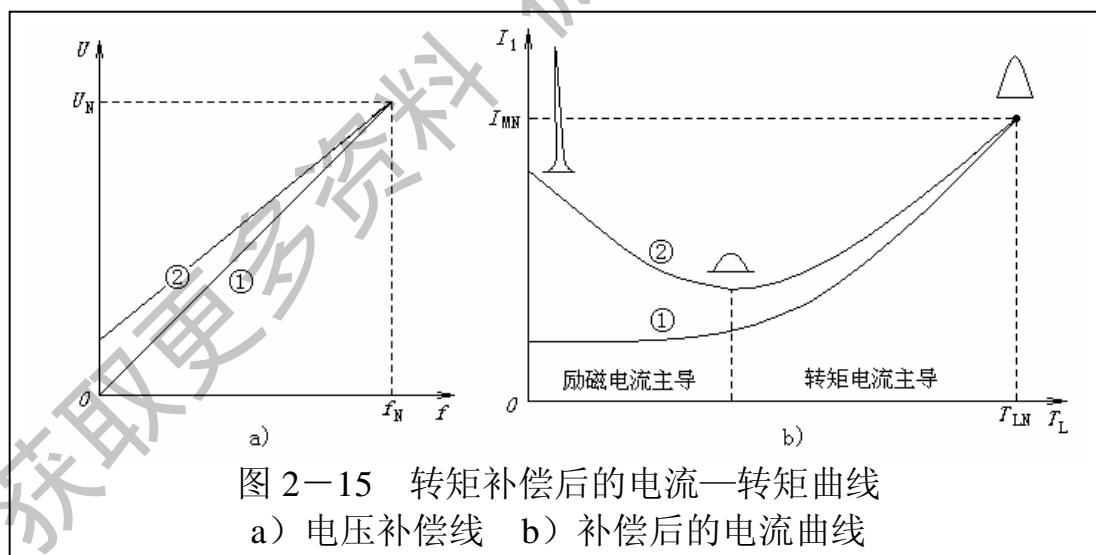
2. 3. 3 转矩提升的预置要点

1. 低频重载时

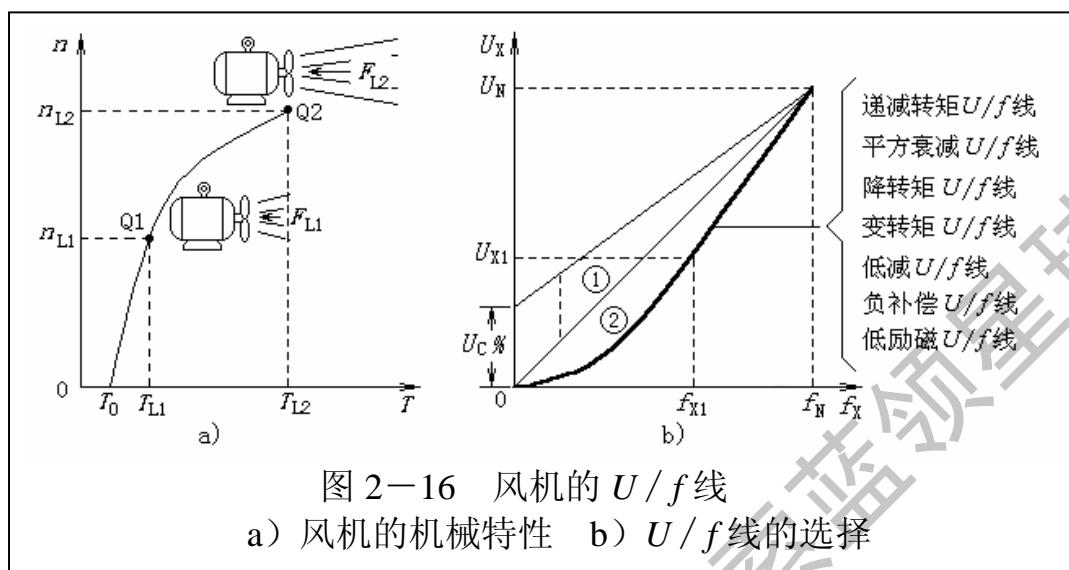


2. 低频轻载时

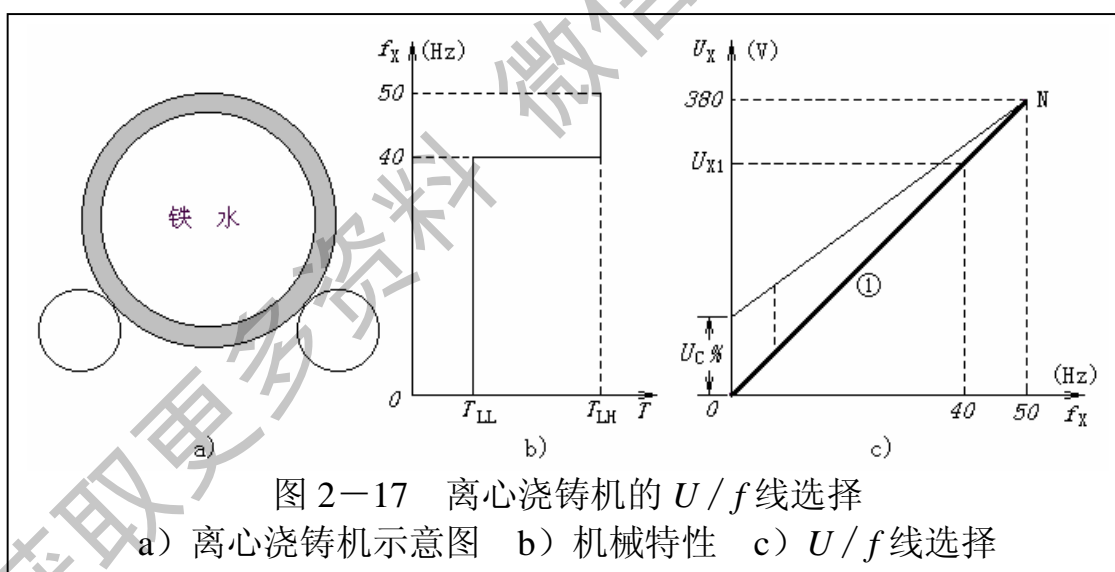
(1) 补偿后的电流—转矩曲线



(2) 风机的 U/f 线选择



(3) 离心浇铸机的 U/f 线选择



休 息 15 分 钟

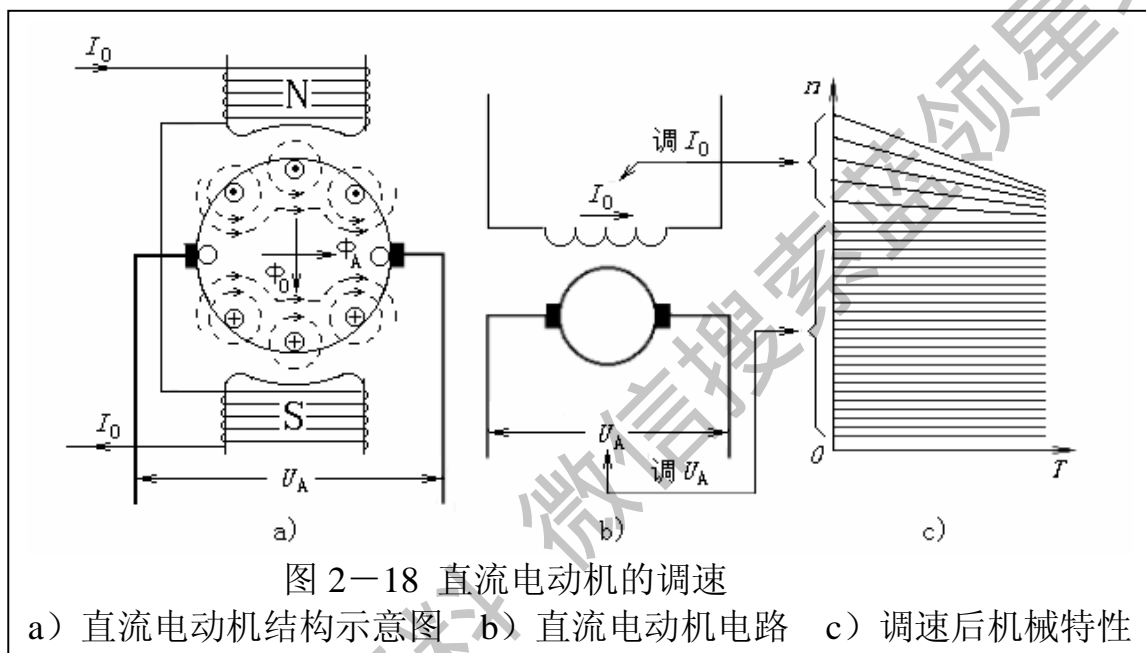
获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

2. 4 矢量控制方式

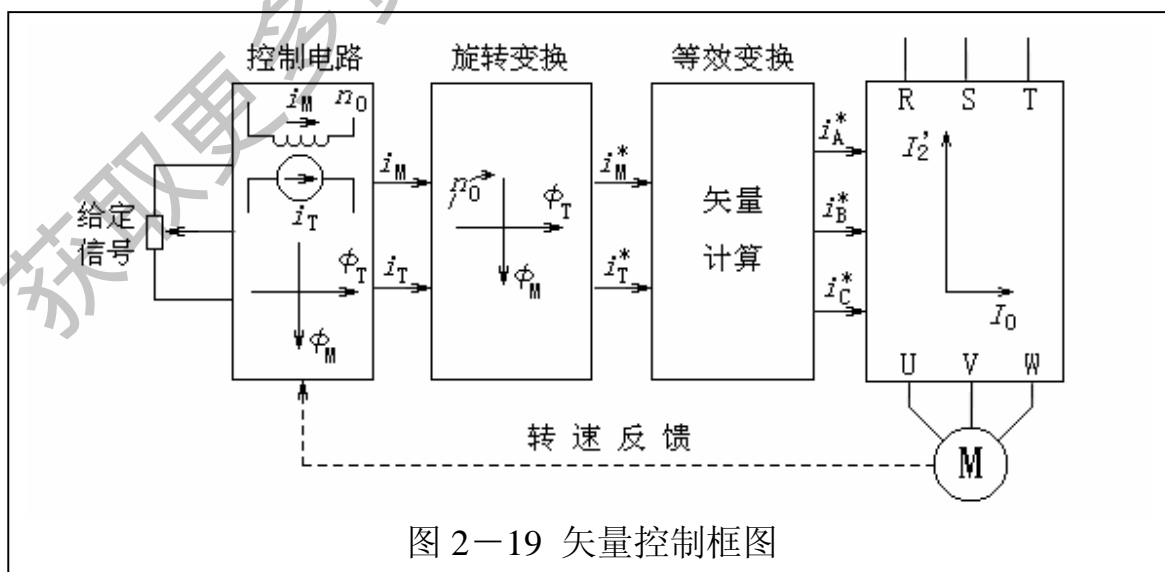
变频效颦赛 “西施”!

2. 4. 1 矢量控制的基本思想

1. 直流电机的特点



2. 矢量控制的基本思路

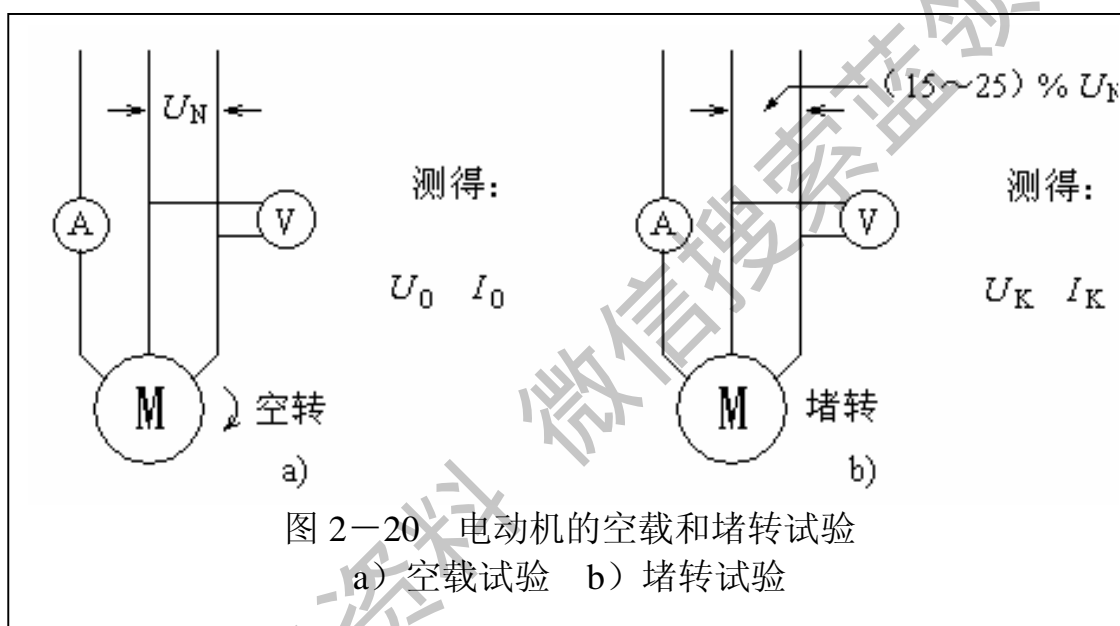


2. 4. 2 电动机参数的自动测量 (auto-tuning)

1. 矢量控制需要的参数

- (1) 电动机的铭牌数据——电压、电流、转速、磁极对数、效率等。
- (2) 电动机的绕组数据——定子电阻、定子漏磁电抗、转子等效电阻、转子等效漏磁电抗、空载电流等。

2. 电动机的空载和堵转试验



<http://www.plcworld.cn>

3. 自动测量的相关功能

表 2-1 自动测量相关功能（安川 CIMR—G7A）

功能码	功能含义	数据码及含义
T1—00	电动机 1 / 2 选择	1: 电动机 1; 2: 电动机 2
T1—01	自动测量模式	0: 旋转自测量; 1: 停止自测量
T1—02	电动机额定功率	
T1—03	电动机额定电压	
T1—04	电动机额定电流	
T1—05	电动机额定频率	
T1—06	电动机的磁极数	
T1—07	电动机额定转速	

4. 自动测量的操作

(1) 旋转自测量（可进行空载试验和堵转试验）

电动机脱离负载。

变频器通电，按下 RUN 键，先让电动机停止 1 分钟，再让电动机旋转 1 分钟（转速约为额定转速的一半）。

按下 STOP 键，中止自测量。

(2) 停止自测量（只进行堵转试验）

电动机不脱离负载。

变频器通电，按下 RUN 键，让电动机停止 1 分钟。

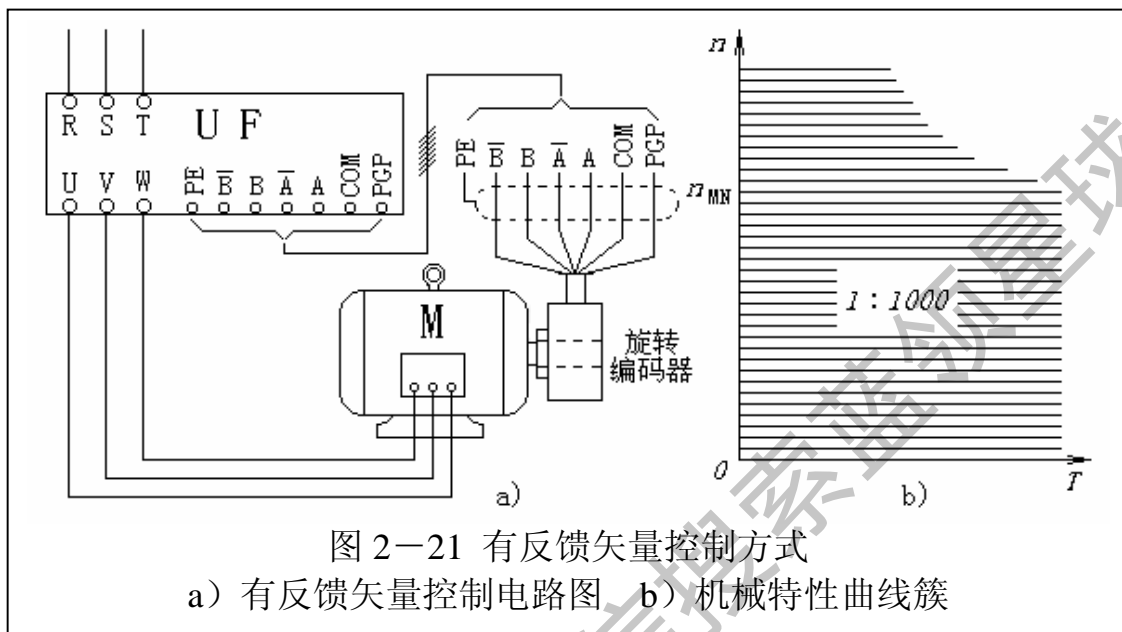
按下 STOP 键，中止自测量。

获取更多资料

<http://www.plcworld.cn>

2. 4. 3 有反馈矢量控制和无反馈矢量控制

1. 有反馈矢量控制接法

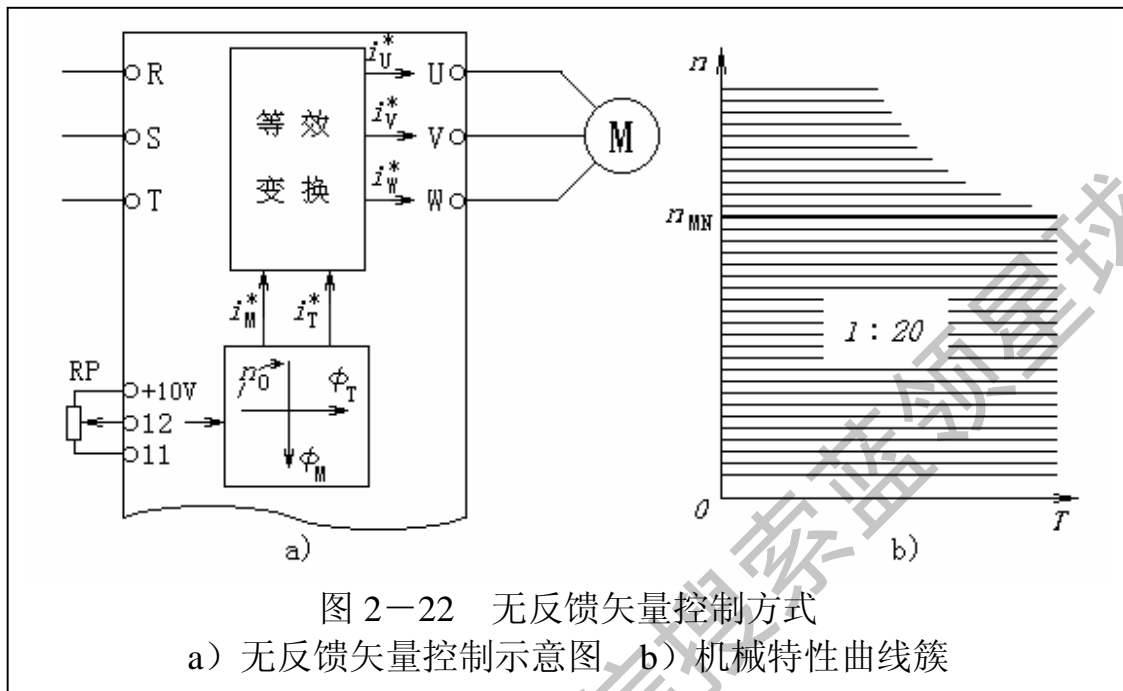


2. 相关功能

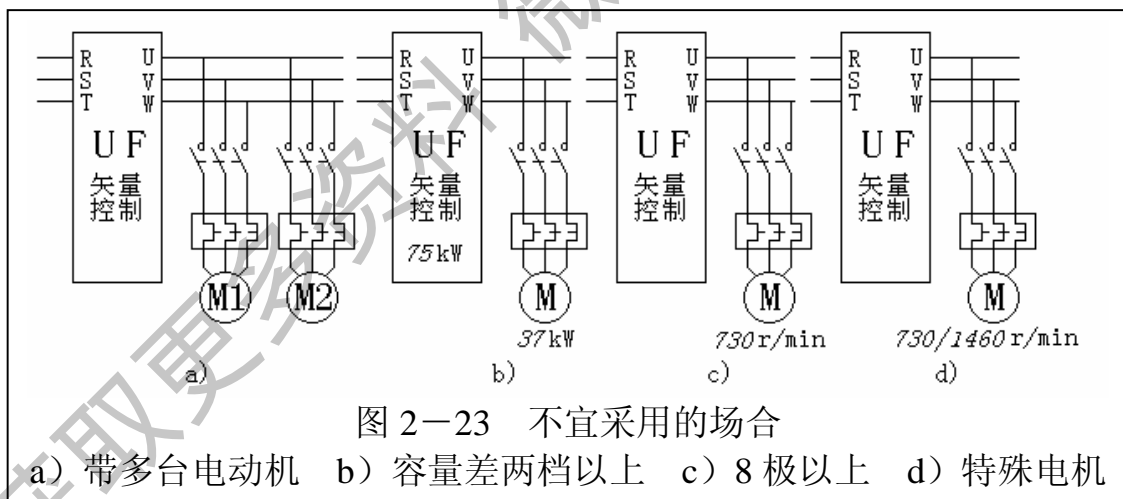
表 2-2 有反馈矢量控制的相关功能（艾默生 TD3000）

功能码	功能码名称	数据码及含义（或范围）
Fb. 00	编码器每转脉冲数	0~9999p / r
Fb. 01	编码器旋转方向	0—正方向；1—反方向
Fb. 02	编码器断线后处理方法	0—以自由制动方式停机； 1—切换为开环 V / F 控制方式

3. 无反馈矢量控制



4. 矢量控制方式的适用范围



- (1) 矢量控制只能用于一台变频器控制一台电动机的情况下。
- (2) 电动机容量和变频器要求的配用电动机容量之间，最多只能相差一个档次。
- (3) 磁极数一般以 2、4、6 极为宜。
- (4) 特殊电动机不能使用矢量控制功能。

2.5 变频调速的有效转矩线

有效范围勿超越！

2.5.1 有效转矩线的概念

1. 额定工作点与有效工作点

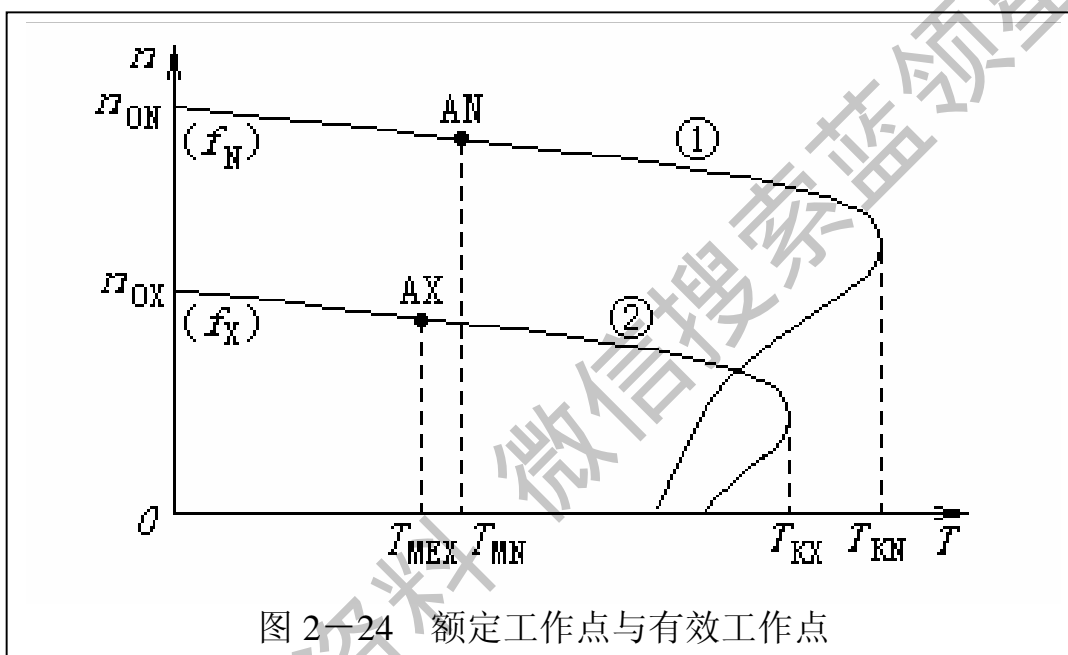


图 2-24 额定工作点与有效工作点

2. $k_U = k_f$ 时的有效转矩线

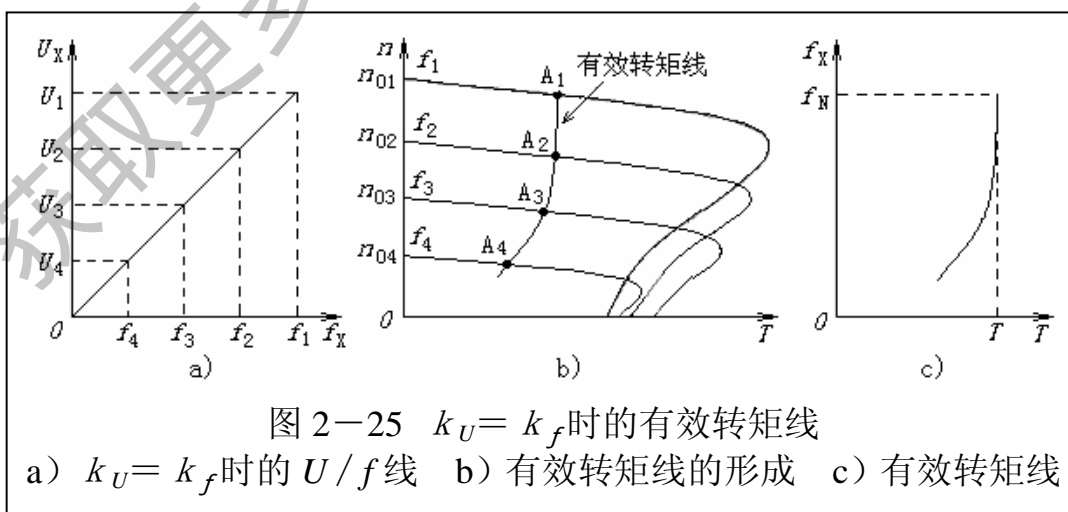


图 2-25 $k_U = k_f$ 时的有效转矩线

a) $k_U = k_f$ 时的 U/f 线 b) 有效转矩线的形成 c) 有效转矩线

2. 5. 2 电动机变频后的有效转矩线

低频运行易发烧

1. $f_x \leq f_N$ 的有效转矩线

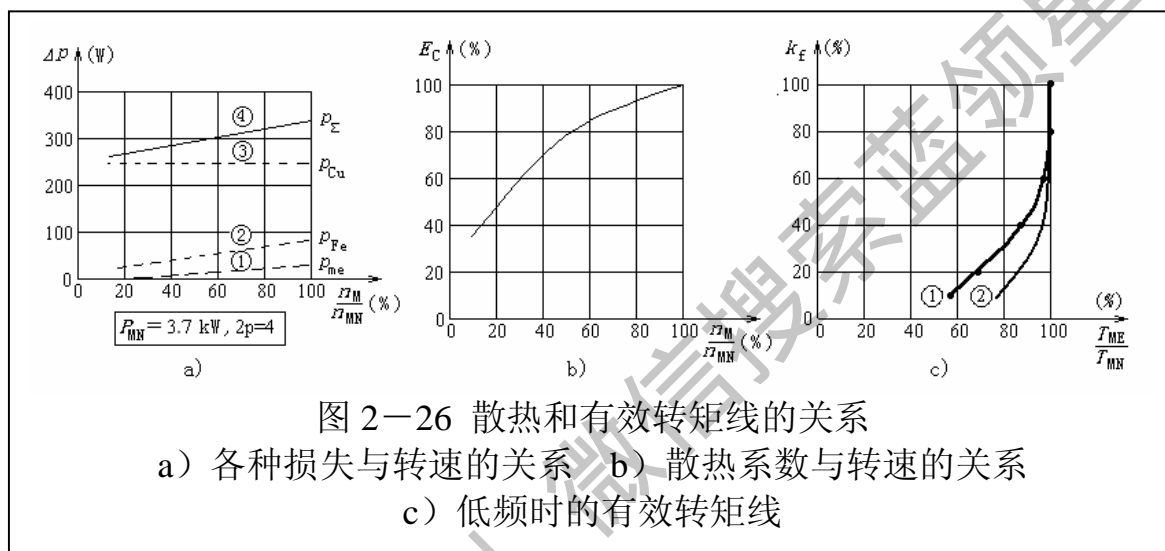


图 2-26 散热和有效转矩线的关系

- a) 各种损失与转速的关系
- b) 散热系数与转速的关系
- c) 低频时的有效转矩线

2. 有效转矩线的改善

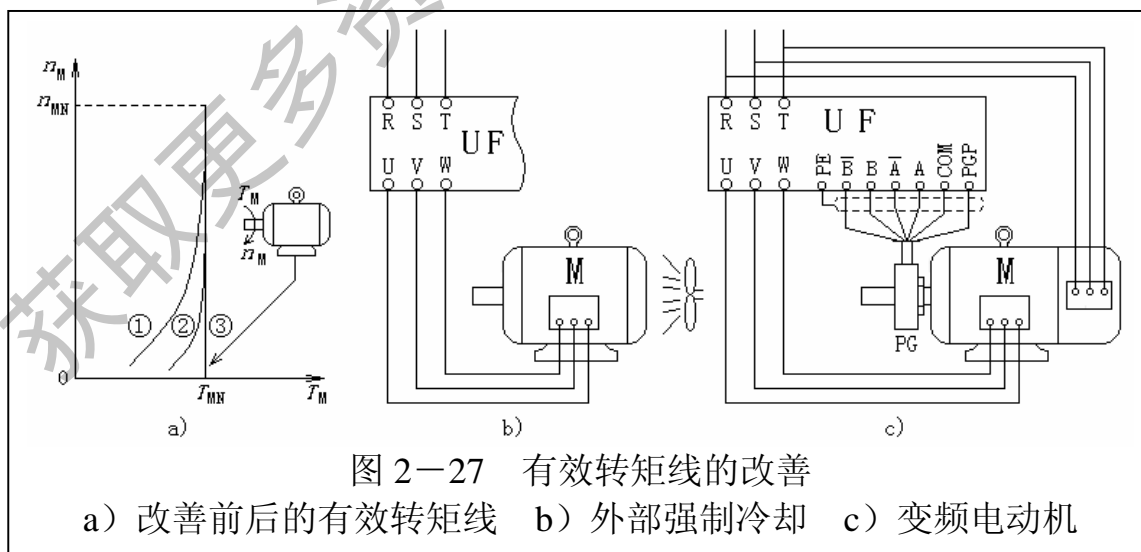


图 2-27 有效转矩线的改善

- a) 改善前后的有效转矩线
- b) 外部强制冷却
- c) 变频电动机

<http://www.plcworld.cn>

高频运行力气小

3. $f_X > f_N$ 的有效转矩线

- ∴ 最大输出电压与功率不变 $U_{IX} \equiv U_{IN}$, $P_M \triangleright P_{MN}$
- ∴ $f_X \uparrow \rightarrow U/f$ 比 $\downarrow \rightarrow$ 主磁通 $\Phi_1 \downarrow \rightarrow$ 电磁转矩 $T_{MX} \downarrow$

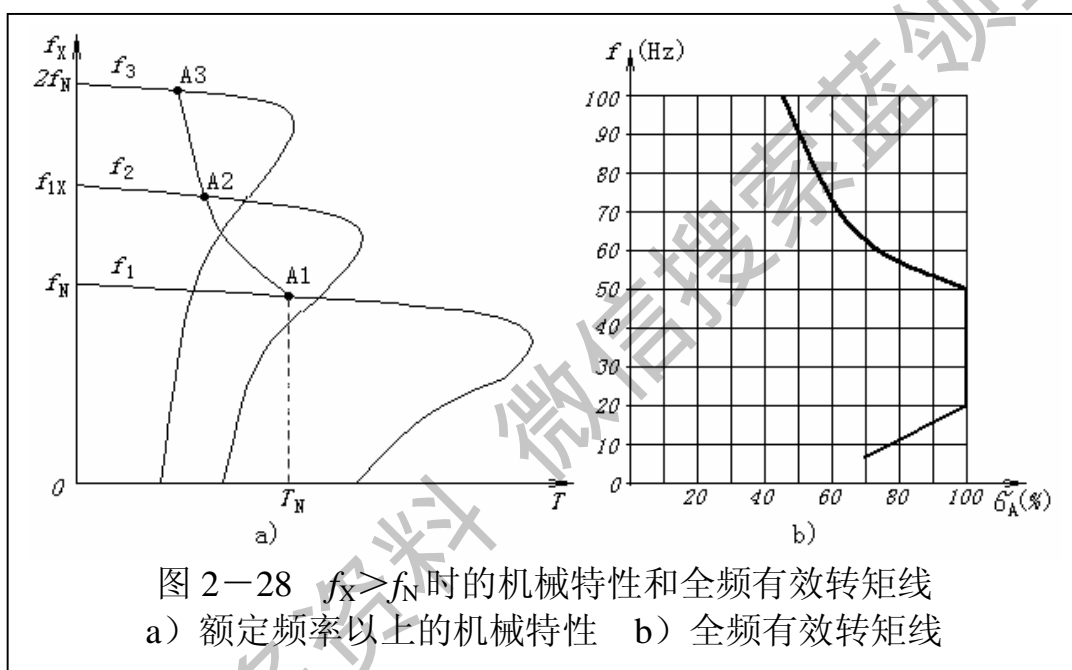


图 2-28 $f_X > f_N$ 时的机械特性和全频有效转矩线
a) 额定频率以上的机械特性 b) 全频有效转矩线

休 息 15 分 钟

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

2. 6 拖动系统的传动机构

传动机构

勿小瞧！

2. 6. 1 传动机构及其作用

1. 常见传动机构

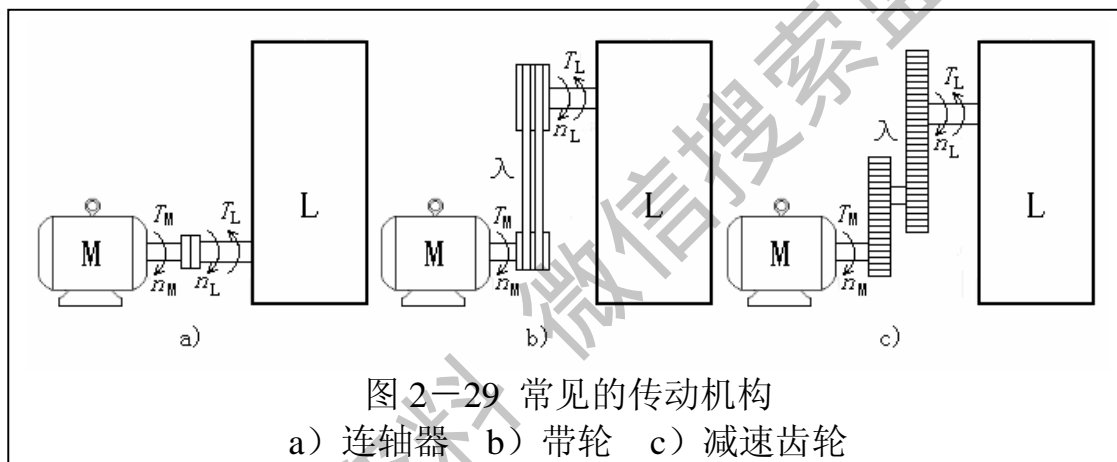


图 2-29 常见的传动机构

a) 联轴器 b) 带轮 c) 减速齿轮

2. 传动比及其作用

$$\lambda = \frac{n_M}{n_L}$$

$$n_L = \frac{n_M}{\lambda}$$

根据输能量守恒的原则，有：

$$\frac{T_M n_M}{9550} = \frac{T_L n_L}{9550}$$

$$\frac{T_M}{T_L} = \frac{n_L}{n_M} = \frac{1}{\lambda}$$

∴

$$T_L = T_M \cdot \lambda$$

2. 6. 2 传动系统的折算

1. 折算的必要性

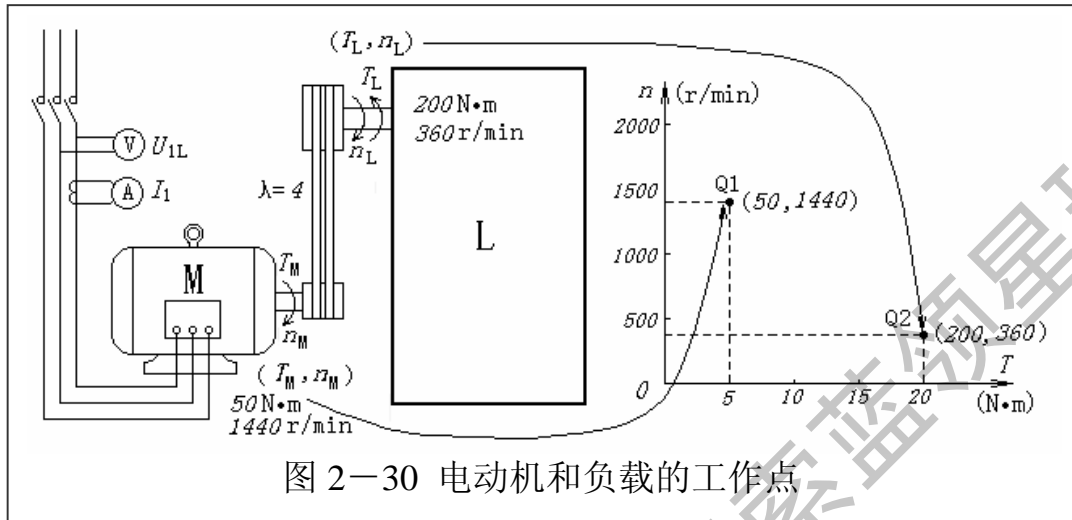


图 2-30 电动机和负载的工作点

2. 折算的基本原则

稳态过程：折算前后，传动机构所传递的功率不变。

动态过程：折算前后，旋转部分储存的动能不变。

3. 折算公式

(1) 转速的折算 $n_L' = n_L \cdot \lambda = n_M$

(2) 转矩的折算 $T_L' = \frac{T_L}{\lambda}$

(3) 飞轮力矩的折算 $(GD_L^2)' = \frac{GD_L^2}{\lambda^2}$

4. 传动比与工作频率

负载转速	传动比	电动机转速	电动机额定转速	工作频率
296	2	592	1480	20.4
	4	1184		40
	5	1480		50

表中：

$$p=2$$

$$\Delta n_N = 1500 - 1480 = 20 \text{ r / min}$$

$$f_X = \frac{pn_0}{60} = \frac{p(n_M + \Delta n_N)}{60}$$

<http://www.plcworld.cn>

2. 6. 3 调整传动比在实际工作中的应用

实例 1 某电动机，带重物作圆周运动，如图所示。运行时，到达 A 点后电动机开始过载，到达 B 点时容易堵转，怎样解决？（上限频率为 45Hz）

将传动比加大 10%，则在电动机转矩相同的情况下，带负载能力也加大 10%。但这时的上限频率应加大为 49.5Hz。

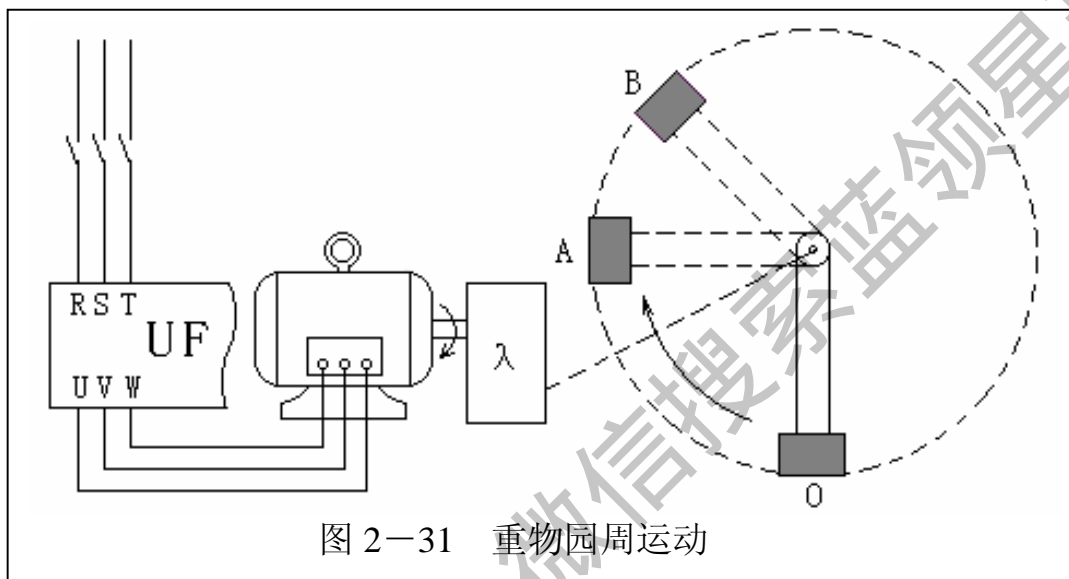


图 2—31 重物圆周运动

实例 2 提高下限频率 某恒转矩负载，电动机容量是 22kW，额定转速为 1470r / min，传动比 $\lambda=4$ ，采用无反馈矢量控制变频调速，在最低工作频率（4Hz）时运行不稳定，怎样解决？（满载运行频率范围为 4~40 Hz）

计算如表 2—3。

表 2—3 提高下限频率的计算

负载转速		29.4r / min~294r / min
原传动比 $\lambda=4$	电动机转速	117.6r / min~1176r / min
	工作频率	4Hz~40Hz
修改传动比 $\lambda=6$	电动机转速	176.4r / min~1764r / min
	工作频率	6Hz~60Hz

<http://www.plcworld.cn>

实例 3 传动比与电动机的起动

某锯片磨床，卡盘直径为 2 m，传动比 $\lambda = 5$ ；
电动机的容量为 3.7 kW。

1. 存在问题

起动较困难，升速时间太长。

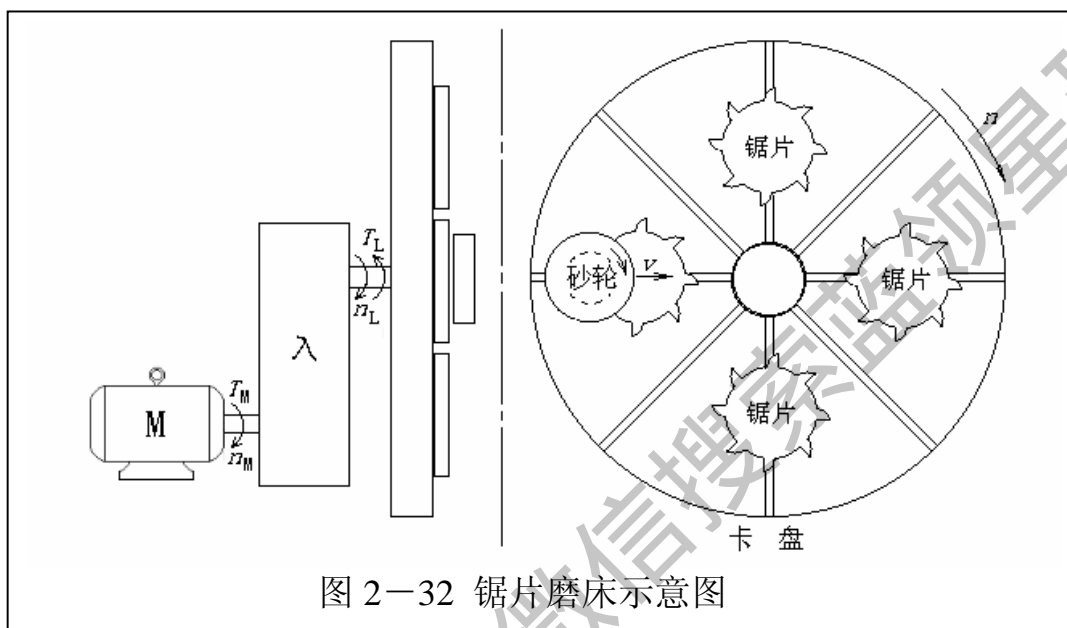


图 2—32 锯片磨床示意图

2. 对策

将传动比增大为 $\lambda = 7.5$ ，可使折算到电动机轴上的飞轮力矩减小为原来的 44%。

结果，卡盘可以在 5s 内起动起来。

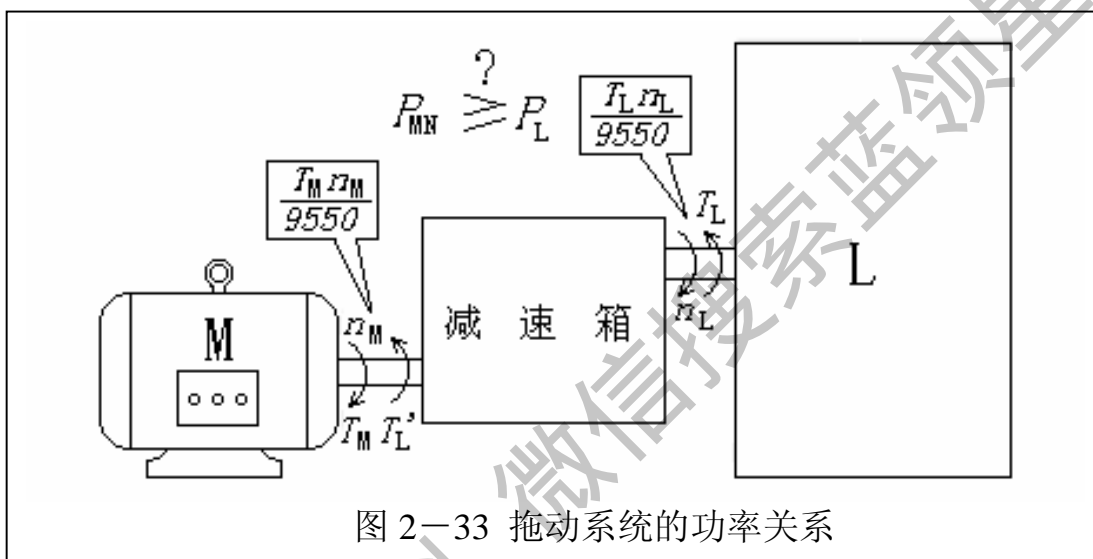
获取更多资料

2.7 变频拖动系统的基本规律

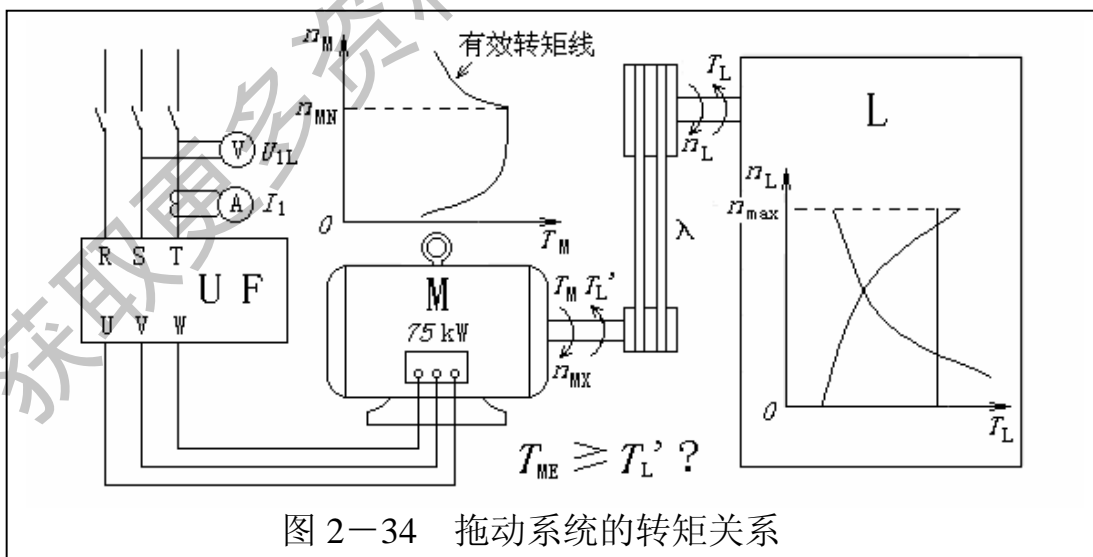
能量守恒须牢记!

2.7.1 变频拖动系统必须满足的条件

1. 电动机与负载的功率关系

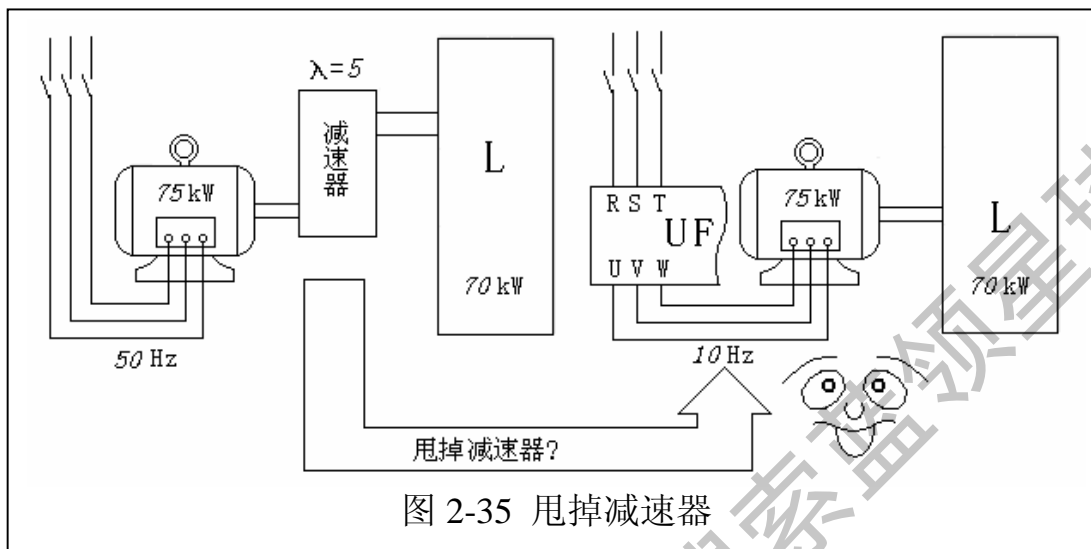


2. 电动机与负载的转矩关系

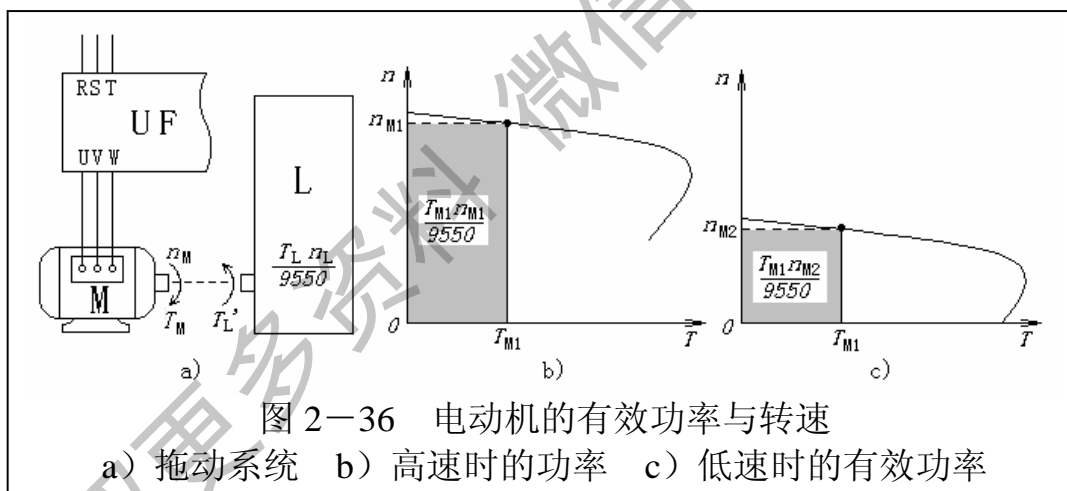


2. 7. 2 拖动系统的重要规律与常见误区

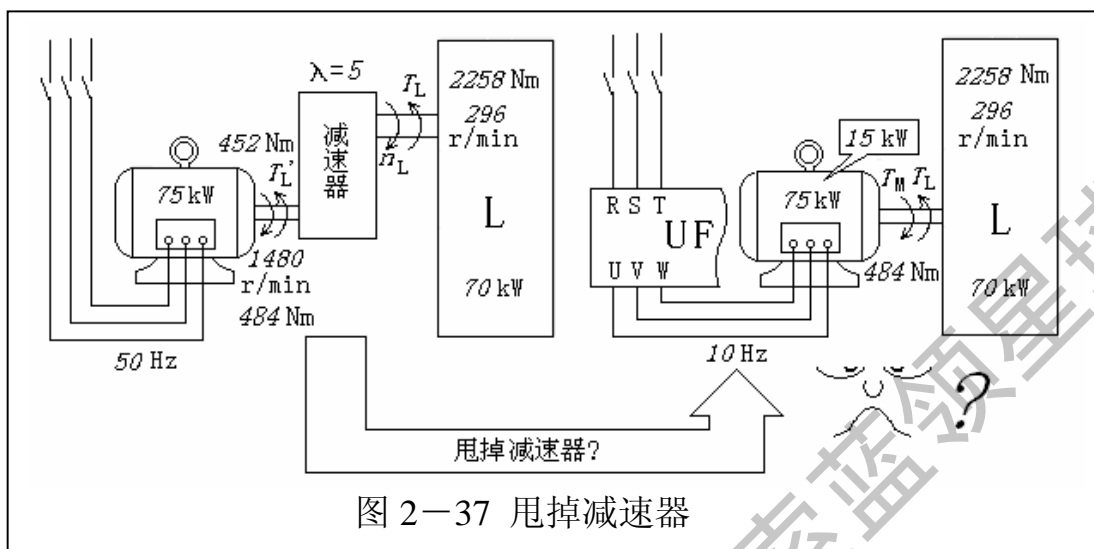
[误区一] 甩掉减速器



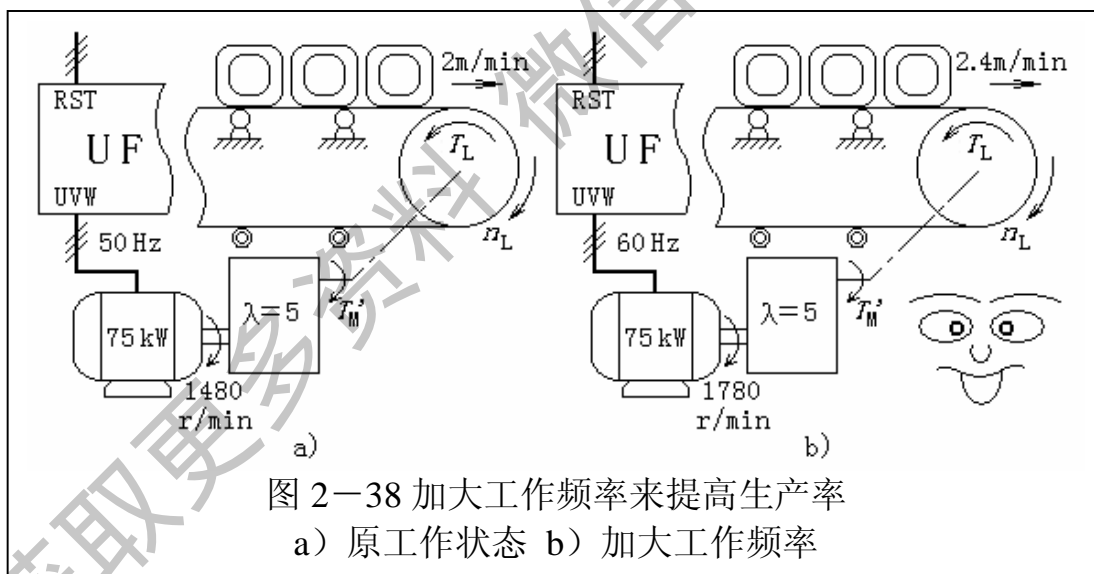
1. 错误原因——电动机降速后的有效功率要随转速下降



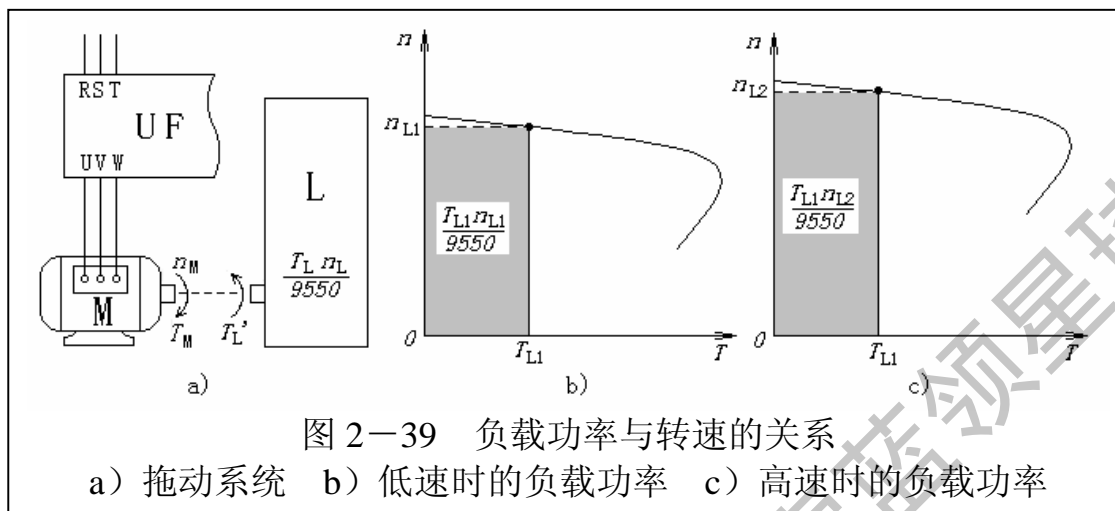
2. 具体分析



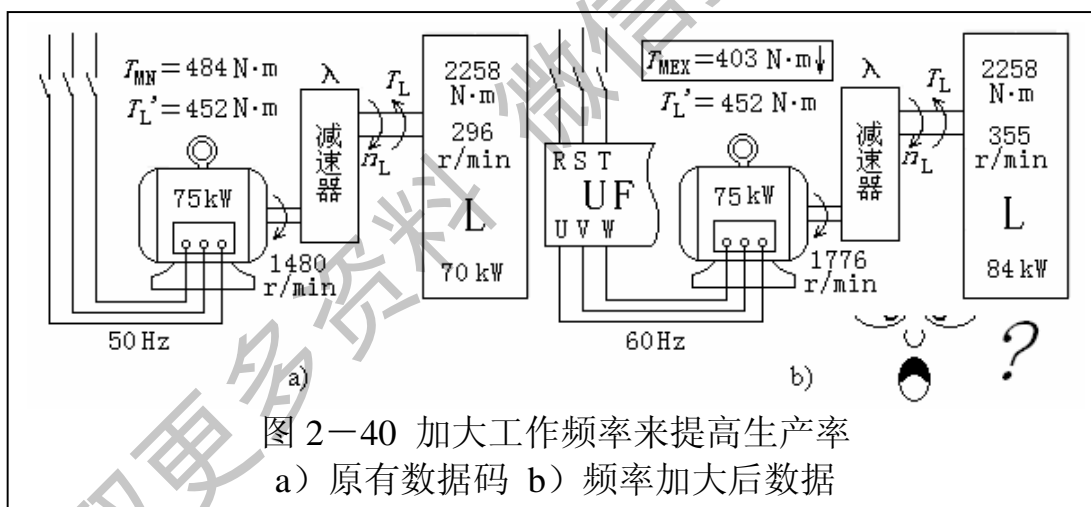
[误区二] 加大工作频率来提高生产率



1. 错误原因——负载升速后所需功率加大



2. 具体分析

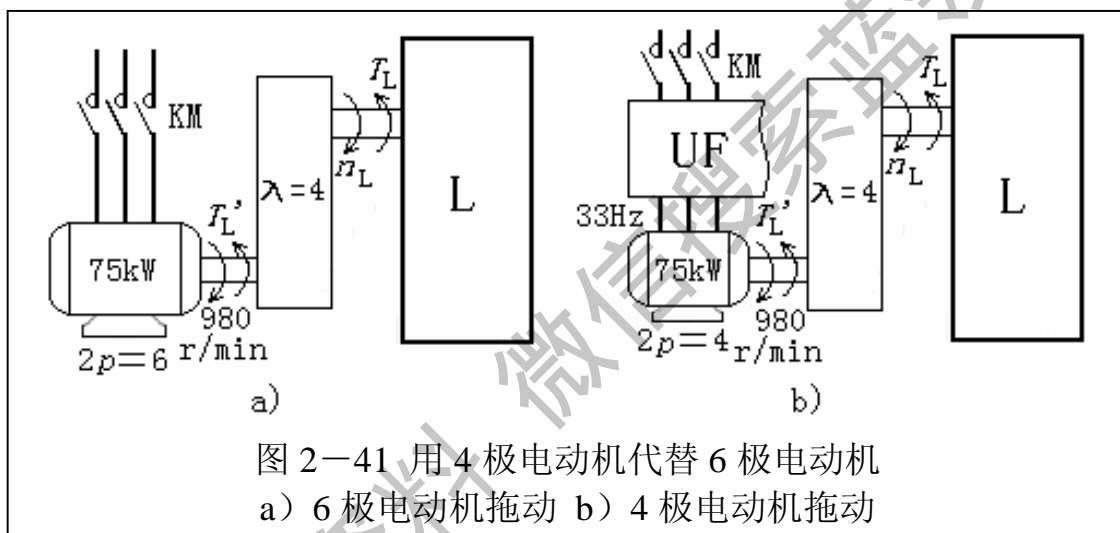


<http://www.plcworld.cn>

拖动还得

比力气!

[误区三] 功率相同就可以



错误原因——电动机额定转矩与额定转速的关系

$$T_{MN} = \frac{9550P_{MN}}{n_{MN}}$$

表 2-4 不同磁极对数电动机的额定转矩 (75kW)

磁极数 (2p)	额定转速 (n _{MN})	额定转矩 (T _{MN})
2	2970r / min	241N · m
4	1480 r / min	484 N · m
6	980 r / min	731 N · m

<http://www.plcworld.cn>

[综合实例] 某排粉机，原拖动系统数据：

三相整流子电动机额定功率：160kW；

额定电流：285A，工作电流：234A，负荷率： $\sigma_A \approx 0.82$ ；

额定转速：1050 / 350r / min；传动比： $\lambda=2$

改造为普通电动机变频调速时：

电动机数据：160kW，275A，1480 r / min。

运行情况：转速为 1050r / min 时，电动机过载，电流达 316A。

1. 原拖动系统的计算数据

$$\text{额定转矩} \quad T_{MNO} = \frac{9550P_{MN}}{n_{MN}} = \frac{9550 \times 160}{1050} = 1455 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned} \text{负载转矩} \quad T_L' &= T_{MNO} \cdot \sigma_A = 1455 \times 0.82 = 1194 \text{ N} \cdot \text{m} \\ T_L &= T_L' \cdot \lambda = 1194 \times 2 = 2388 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\text{负载最高速} \quad n_{L\max} = \frac{n_{MO\max}}{\lambda} = \frac{1050}{2} = 525 \text{ r / min}$$

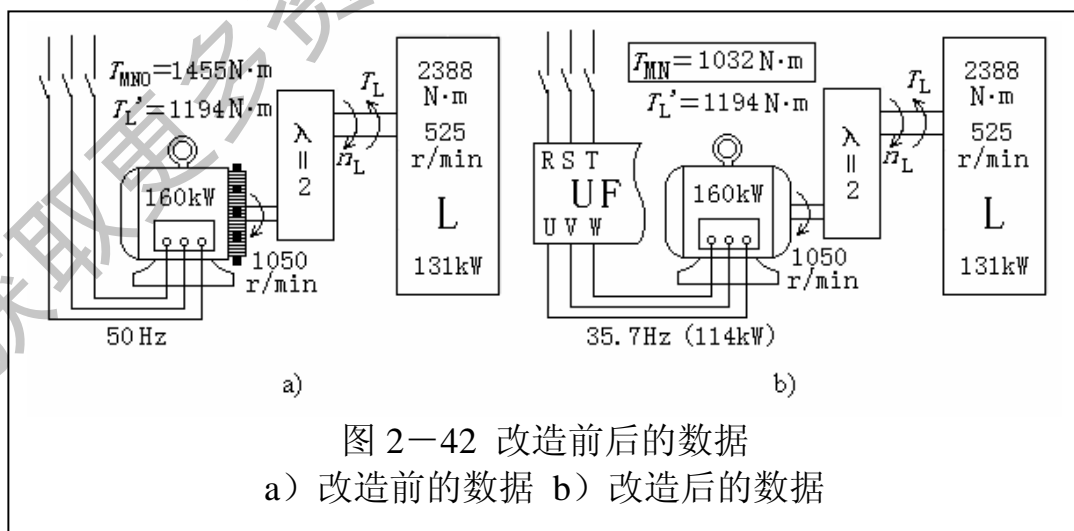
$$\text{最大功率} \quad P_L = \frac{T_L n_{L\max}}{9550} = \frac{2388 \times 525}{9550} = 131 \text{ kW}$$

2. 改造后拖动系统的计算数据

$$(1) \text{ 工作频率} \quad f_X = \frac{pn_{OX}}{60} = \frac{2 \times 1070}{60} = 35.7 \text{ Hz}$$

$$(2) \text{ 有效功率} \quad P_{ME} = P_{MN} \cdot \frac{f_X}{f_N} = 160 \cdot \frac{35.7}{50} = 114 \text{ kW}$$

$$(3) \text{ 电动机的转矩} \quad T_{MN} = \frac{9550P_{MN}}{n_{MN}} = \frac{9550 \times 160}{1480} = 1032 \text{ N} \cdot \text{m}$$



<http://www.plcworld.cn>

【解决办法】

方法一 加大传动比

∴ 当 $n_M = n_{MN} = 1480 \text{ r/min}$ 时
 $P_M = P_{MN} = 160 \text{ kW}$

∴ 令：

负载转速等于最高转速时，电动机的转速等于额定转速：

则

$$\lambda' = \frac{n_{MN}}{n_{L\max}}$$

$$= \frac{1480}{525} = 2.8 \quad (=1.4\lambda)$$

$$T_L' = \frac{T_L}{\lambda}$$

$$= \frac{2388}{2.8} = 853 \text{ N} \cdot \text{m} < T_{MN} \quad (=1032 \text{ N} \cdot \text{m})$$

电动机的上限工作频率等于额定频率：

$$f_x = f_N = 50 \text{ Hz}$$

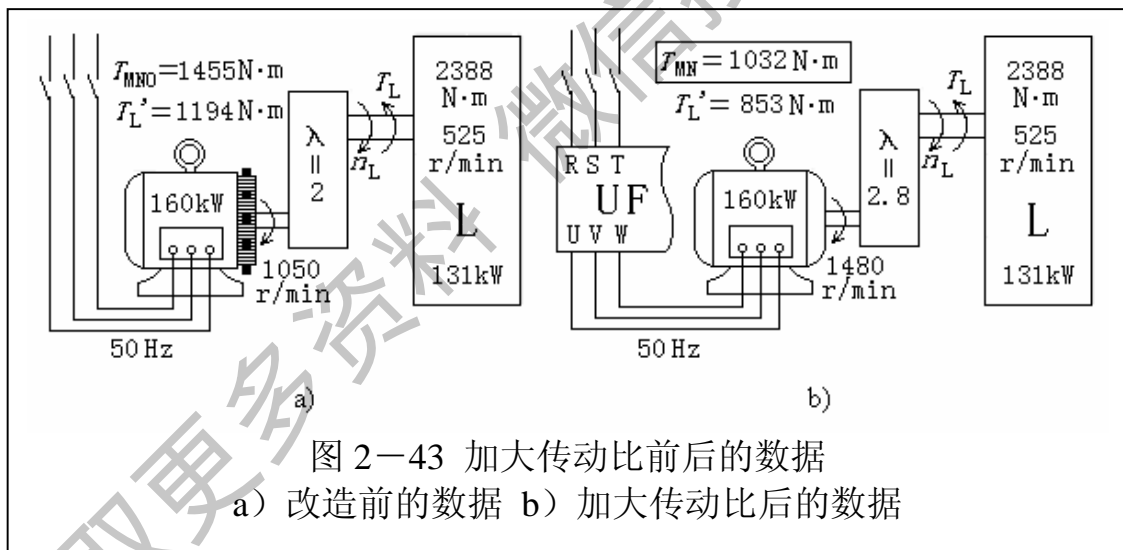


图 2-43 加大传动比前后的数据

a) 改造前的数据 b) 加大传动比后的数据

<http://www.plcworld.cn>

方法二 改选 6 极电动机

电动机数据 160kW, 297A, 980 r/min

$$T_{MN} = \frac{9550P_{MN}}{n_{MN}}$$

$$= \frac{9550 \times 160}{980} = 1559 \text{ N} \cdot \text{m}$$

在 1050r/min 时的工作频率:

$$f_x = f_N \times \frac{n_{MX}}{n_{MN}}$$

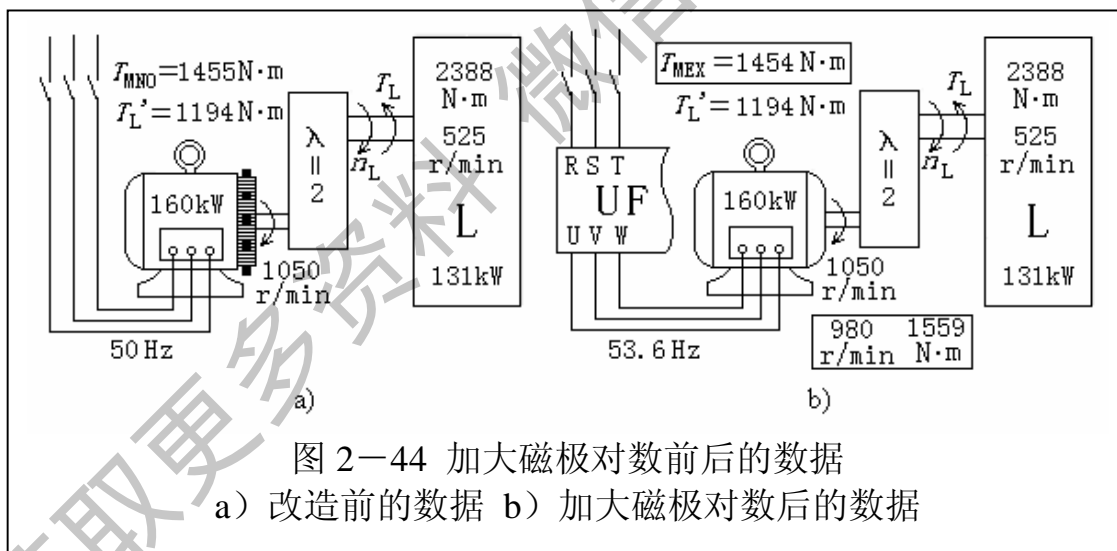
$$= 50 \times \frac{1050}{980} = 53.6 \text{ Hz}$$

在 1050r/min 时的电动机转矩:

$$T_{MX} = T_{MN} \times \frac{f_N}{f_x}$$

$$= 1559 \times \frac{50}{53.6} = 1454 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$> T_L' (= 1194 \text{ N} \cdot \text{m})$$

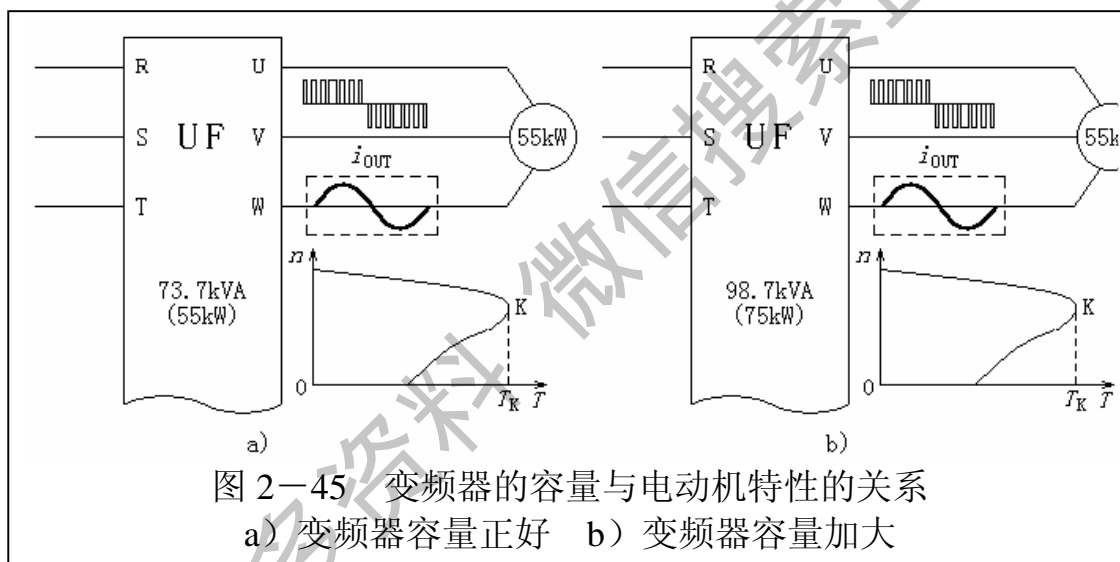


2. 8 变频器的选型

电流大小
最重要!

2. 8. 1 变频器容量的选择

1. 变频器的容量与电动机特性



<http://www.plcworld.cn>

2. 电动机与变频器额定电流的比较

表 2-5 电动机与变频器额定电流的比较

电动机容量 (kW)		22.0	30.0	37.0	45.0	55.0	75.0
电动机额定电流 I_{MN} (A)	2p=2	42.2	56.9	70.4	83.9	102.7	140.1
	2p=4	42.5	56.9	69.8	84.2	102.5	139.7
	2p=6	44.6	59.5	72.0	85.4	104.9	142.4
	2p=8	47.6	63.0	78.2	93.2	112.1	152.8
变频器额定电流	康沃	45.0	60.0	75.0	91.0	112.0	150.0
	森兰	45.0	60.0	75.0	91.0	115.0	150.0
	英威腾	45.0	60.0	75.0	90.0	110.0	150.0
	安邦信	61.0		90.0		150.0	
	艾默生	45.0	60.0	75.0	90.0	110.0	152.0
	三菱	43.0	57.0	71.0	86.0	110.0	
	富士	45.0	60.0	75.0	91.0	112.0	150.0
	安川 G7	52.0	65.0	80.0	97.0	128.0	165.0
	ABB-800	55.0	72.0	86.0	103.0	141.0	166.0
	瓦萨 CX	48.0	60.0	75.0	90.0	110.0	150.0
	丹佛士	44.0	61.0	73.0	90.0	106.0	147.0

3. 电动机工况与变频器的选择

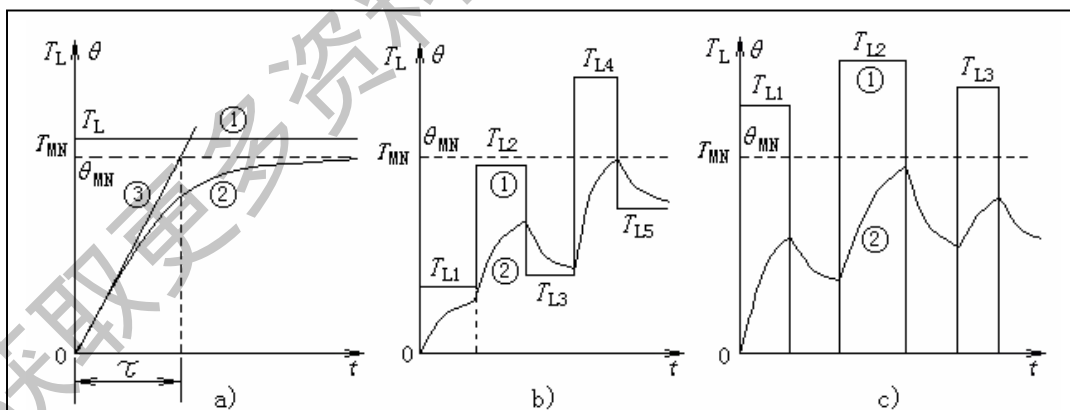


图 2-46 电动机的工作

a) 连续不变负载 b) 连续变动负载 c) 断续负载

<http://www.plcworld.cn>

4. 一台变频器带多台电动机

(1) 多台电动机同时起动和运行

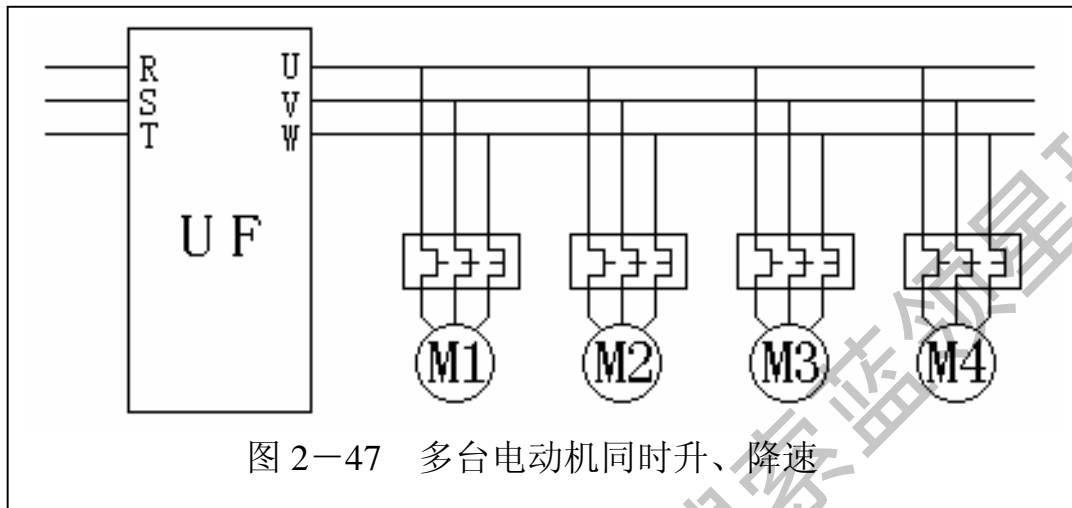


图 2-47 多台电动机同时升、降速

$$I_N > 1.05 \sim 1.1 \times \sum I_{MN}$$

(2) 多台电动机分别起动

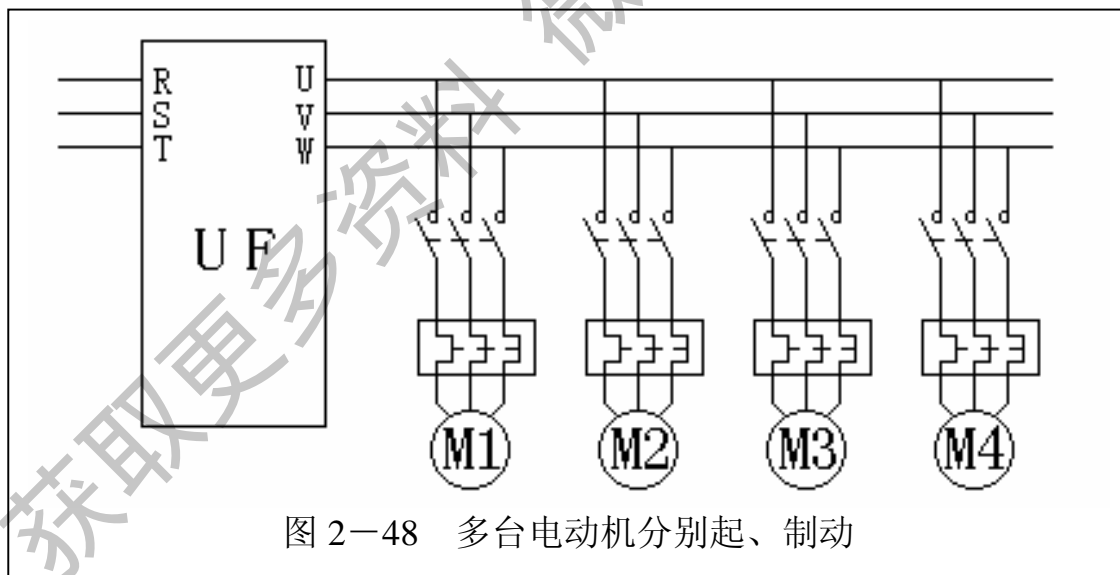


图 2-48 多台电动机分别起、制动

$$I_N > \frac{(1.05 \sim 1.1)I_{MN} + K_1 I_{ST}}{K_2}$$

<http://www.plcworld.cn>

2. 8. 2 变频器的类别与选择

表 2-6 变频器的类别与应用

变频器类别		常见型号举例	主要特点
通用变频器	普通型	康沃: CVF-G1、G2 森兰: SB40、SB61 安邦信: AMB-G7 英威腾: INVT-G9 时代: TVF2000	只有 V / F 控制方式, 故: 机械特性略“软”; 调速范围较小; 轻载时磁路容易饱和。
	高性能型	康沃: CVF-V1 森兰: SB80 英威腾: CHV 台达: VFD-A、B 艾默生: VT3000 富士: 5000G11S 安川: CIMR-G7 ABB: ACS800 A-B: Power Flex 700 瓦萨: VACON NX 丹佛士: VLT5000 西门子: 440	具有矢量控制功能, 故: 机械特性“硬”; 调速范围大; 不存在磁路饱和问题。 如有转速反馈, 则: 机械特性很“硬”; 动态响应能力强; 调速范围很大; 可进行四象限运行。
专用变频器	风机水泵用	康沃、富士、安川等: P 系列 森兰: SB12 三菱: FR-A140 艾默生: TD2100 西门子: 430	只有 V / F 控制方式, 但增加了: 节能功能; 和工频的切换功能; 睡眠和唤醒功能, 等。
	起重机械用	三菱: FR241E ABB: ACC600	
	电梯用	艾默生: TD3100 安川: VS-676GL5	
	注塑机用	康沃: CVF-ZS / ZC 英威腾: INVT-ZS5 / ZS7	
	张力控制用	艾默生: TD3300 三垦: SAMCO-vm05	

第3章 变频器的常用功能

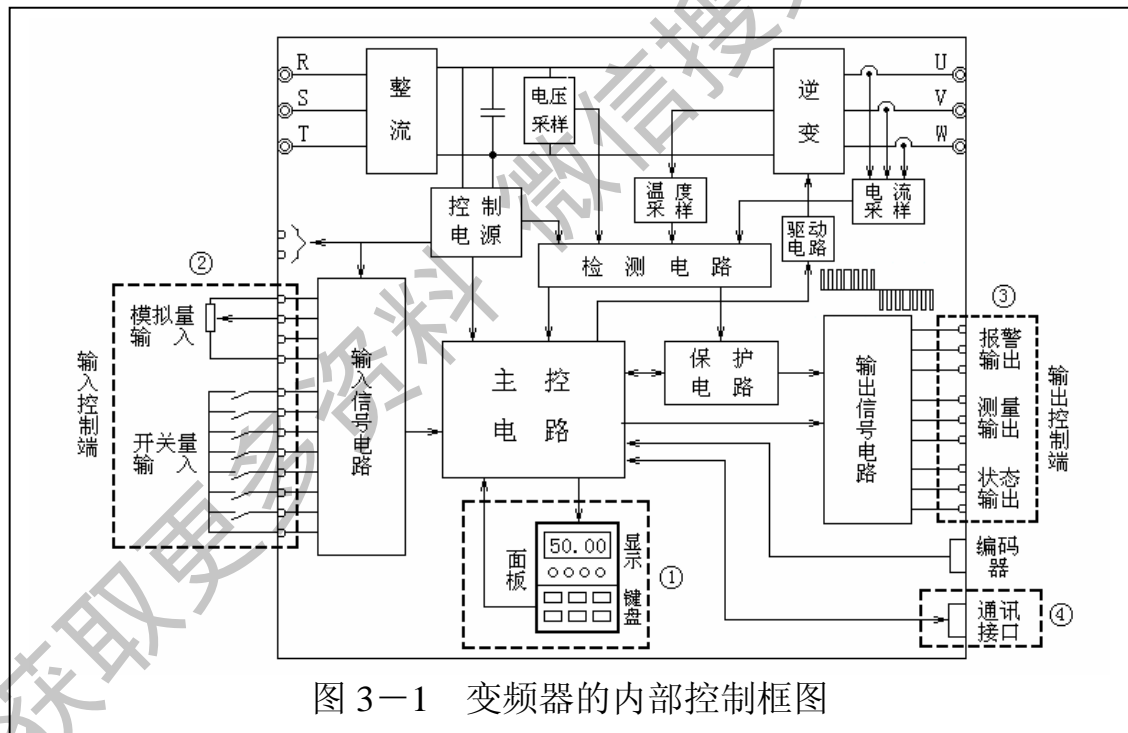
3.1 变频器的控制通道

通道不对

不能动!

3.1.1 变频器的控制框图与控制通道

1. 控制框图



2. 控制通道

- (1) 面板①——主要用于近距离、基本控制；
- (2) 外接控制端子②和③——主要用于远距离、多功能控制；
- (3) 通讯接口④——主要用于多电动机、系统控制。

3. 1. 2 外接控制端子

1. 外接频率给定和输入控制端

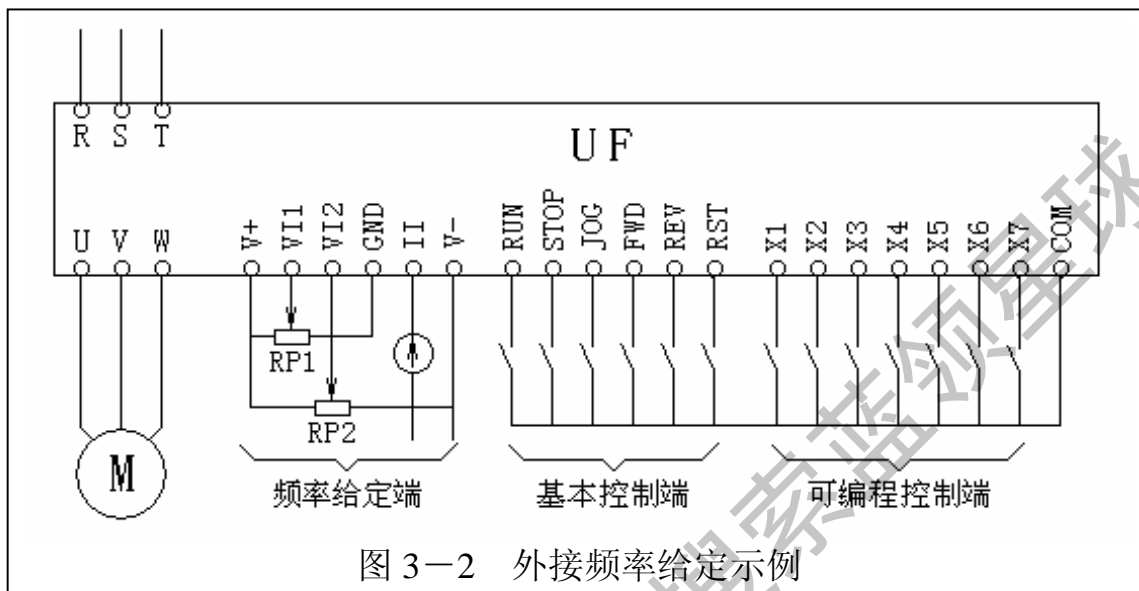


图 3-2 外接频率给定示例

2. 外接输出控制端

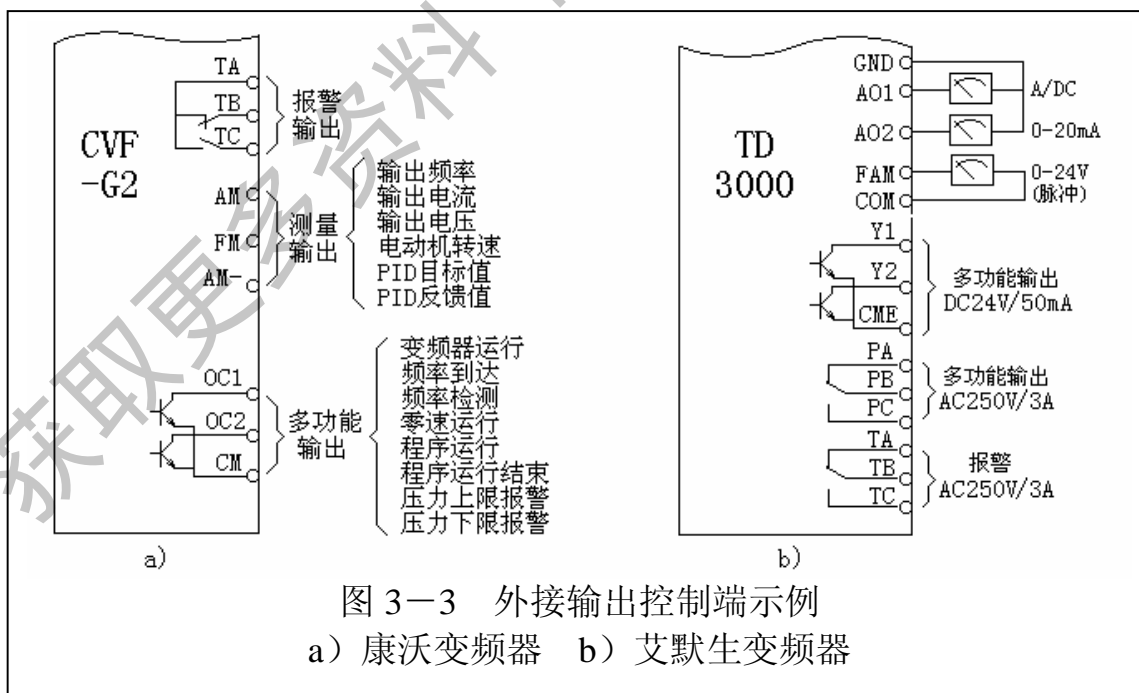


图 3-3 外接输出控制端示例

a) 康沃变频器 b) 艾默生变频器

3. 模拟量输出端

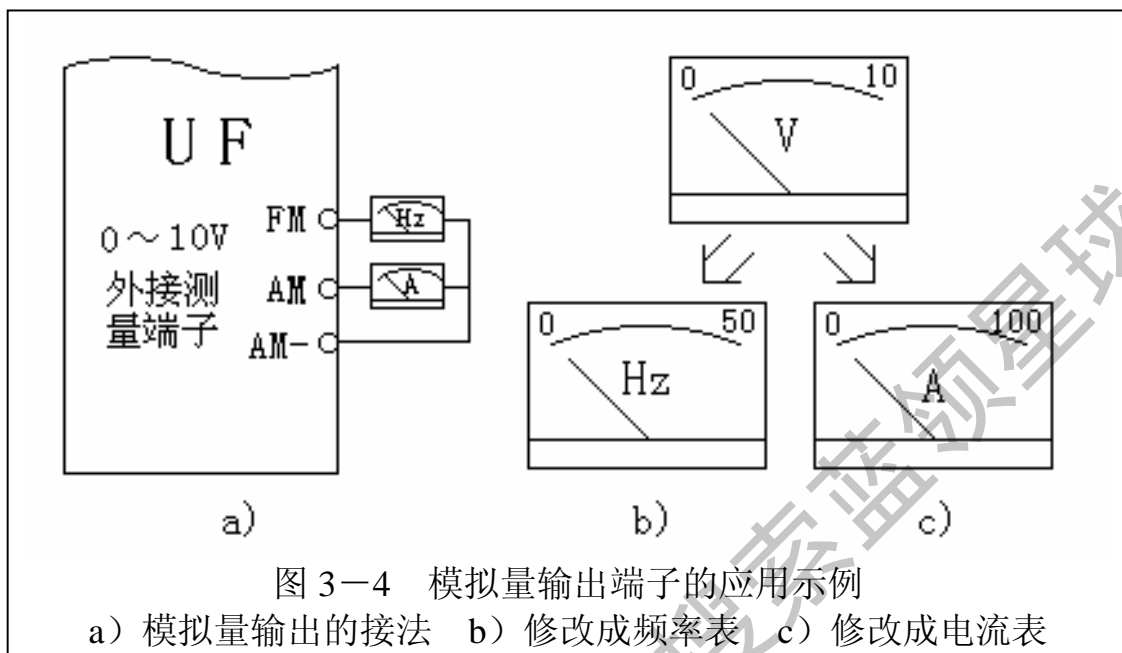


图 3-4 模拟量输出端子的应用示例

a) 模拟量输出的接法 b) 修改成频率表 c) 修改成电流表

获取更多资料 微信搜索 蓝球

3. 2 模拟量频率给定

信号出格

有办法!

3. 2. 1 频率给定线

[实例] 给定信号为 2~8V,

要求对应的输出频率为 0~50Hz。

1. 频率给定线

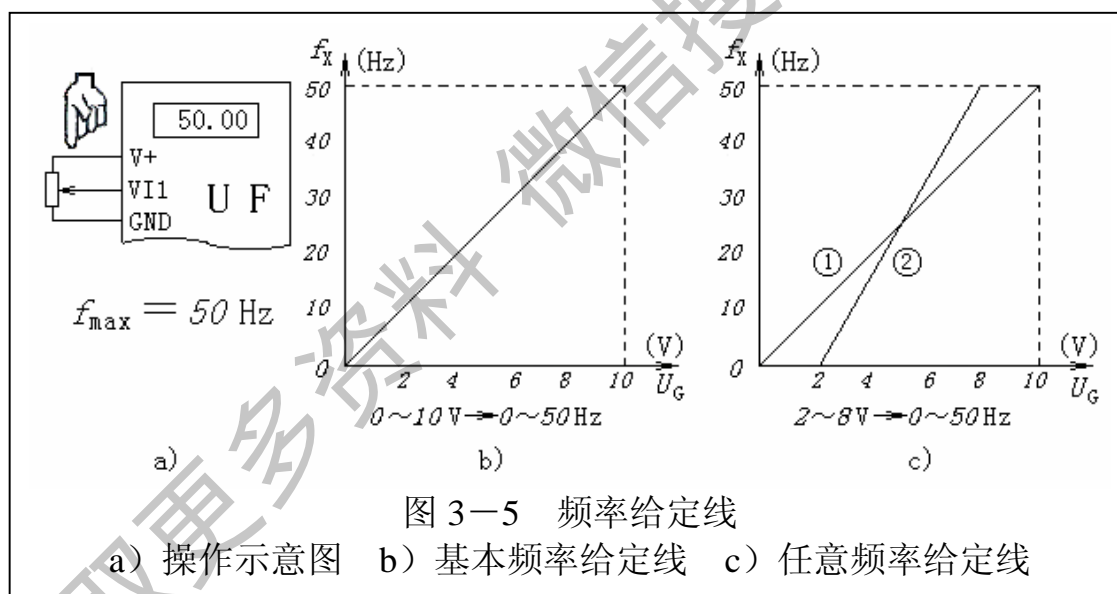
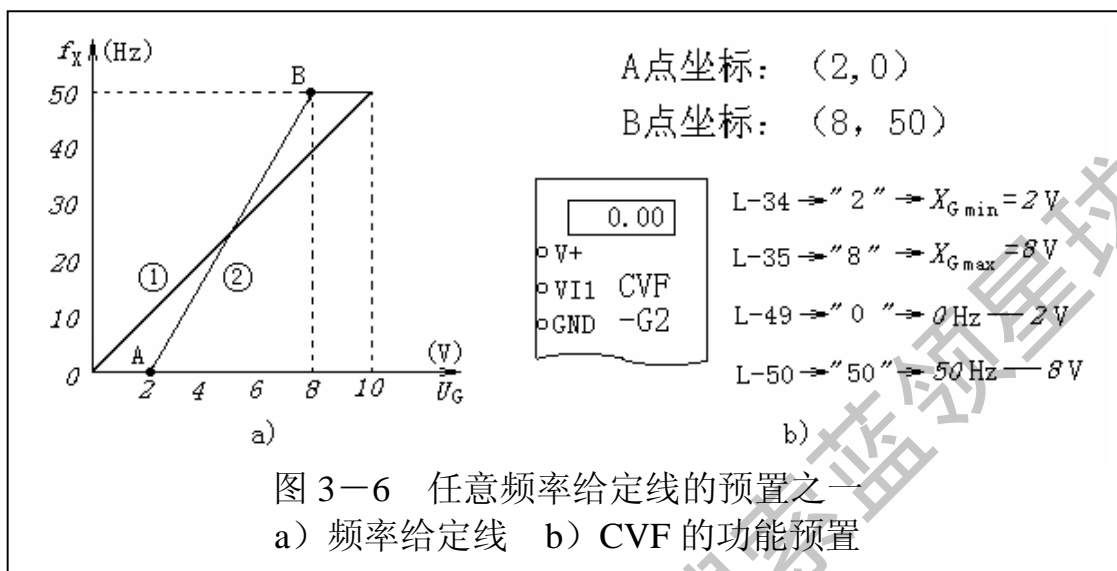


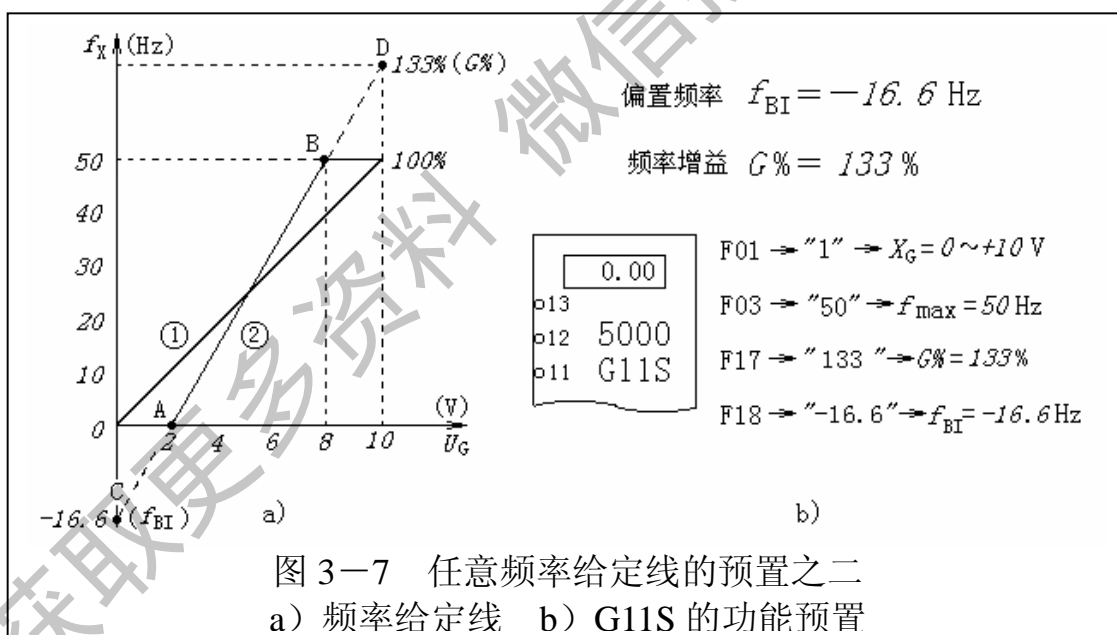
图 3-5 频率给定线

2. 任意频率给定线的预置

(1) 直接坐标法

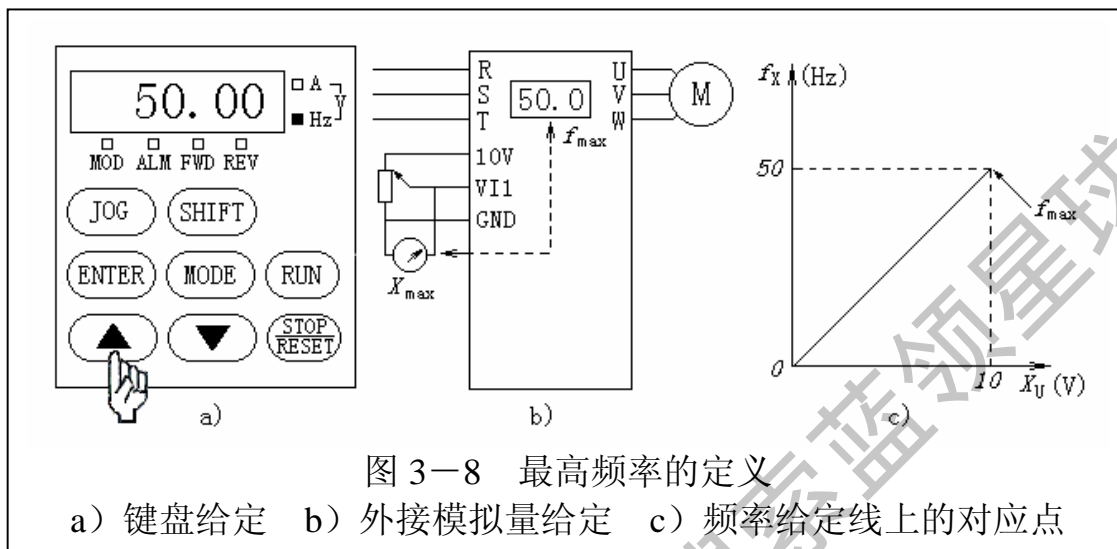


(2) 偏置频率和频率增益

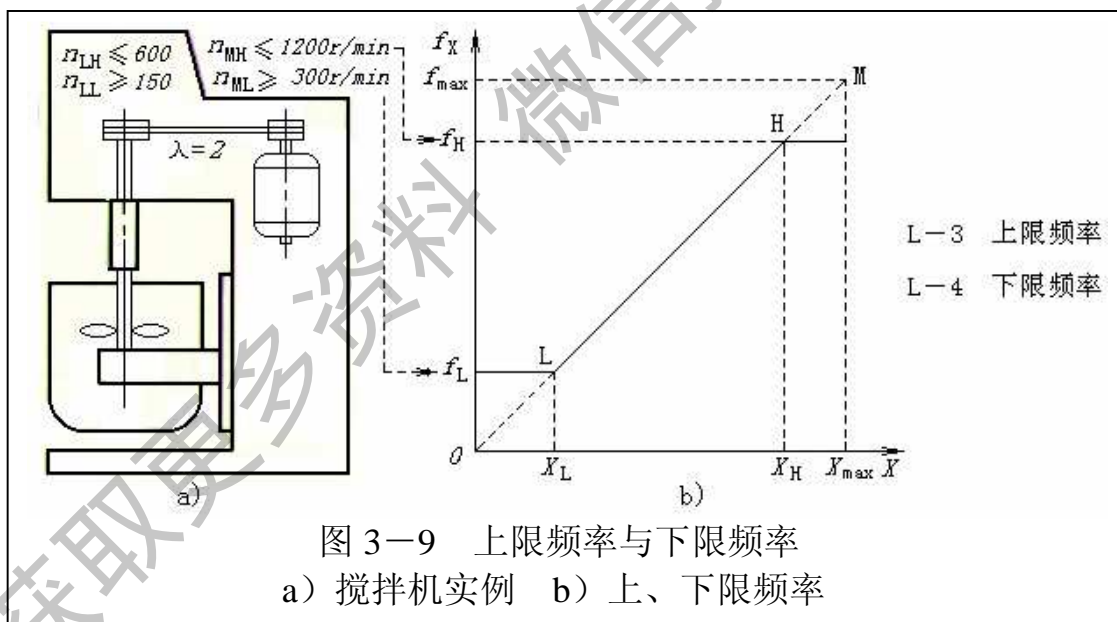


3. 2. 2 频率给定的限制功能

1. 最高频率

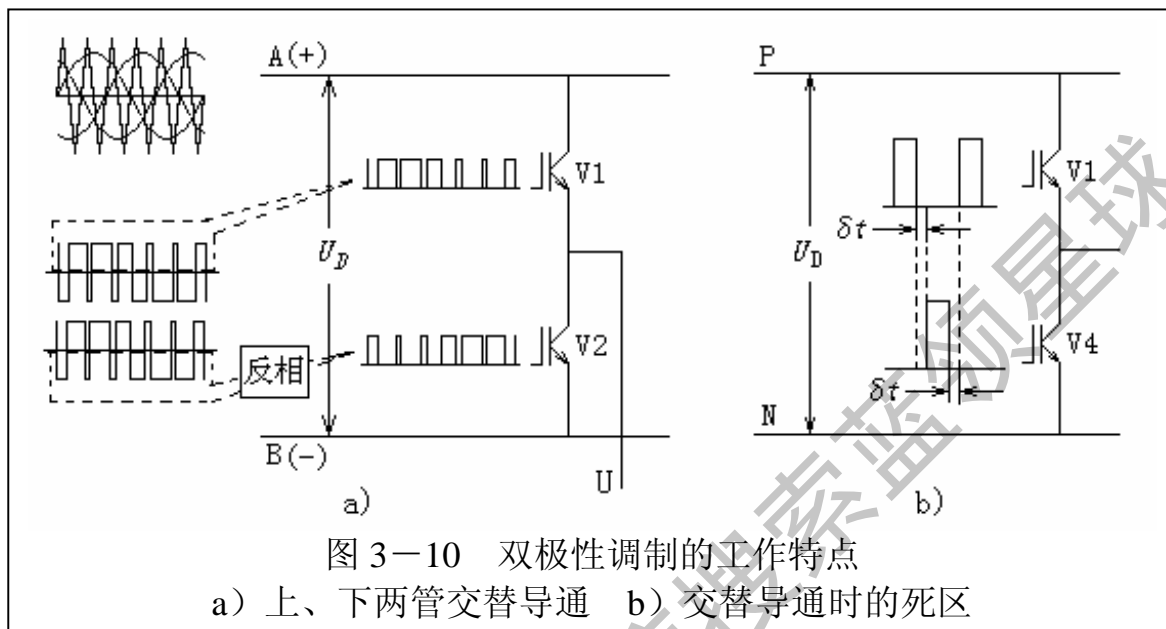


2. 上限频率和下限频率

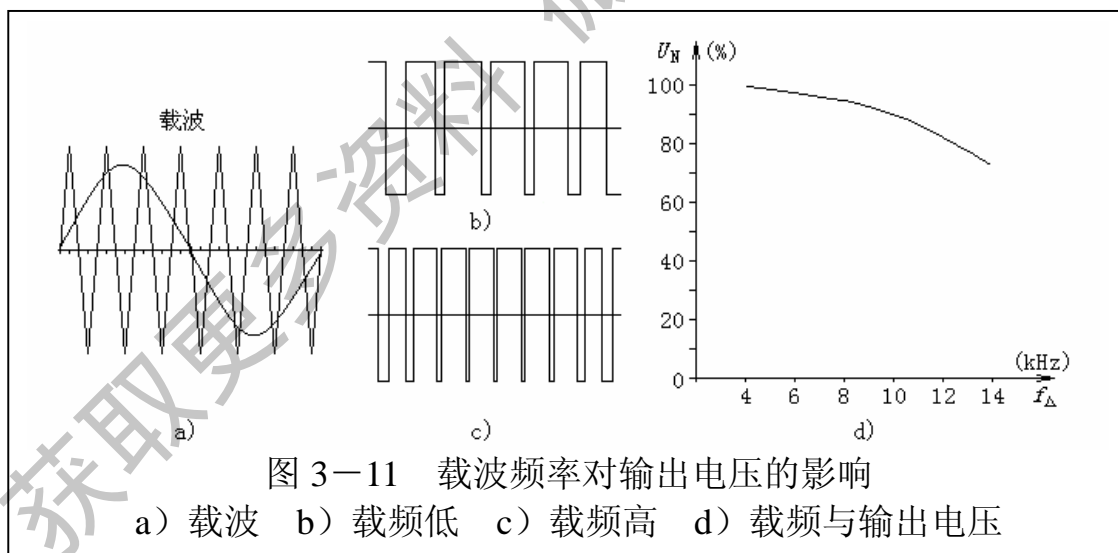


3. 2. 3 载波频率

1. 双极性调制的工作特点



2. 载波频率对输出电压的影响



3. 载波频率对输出电流的影响

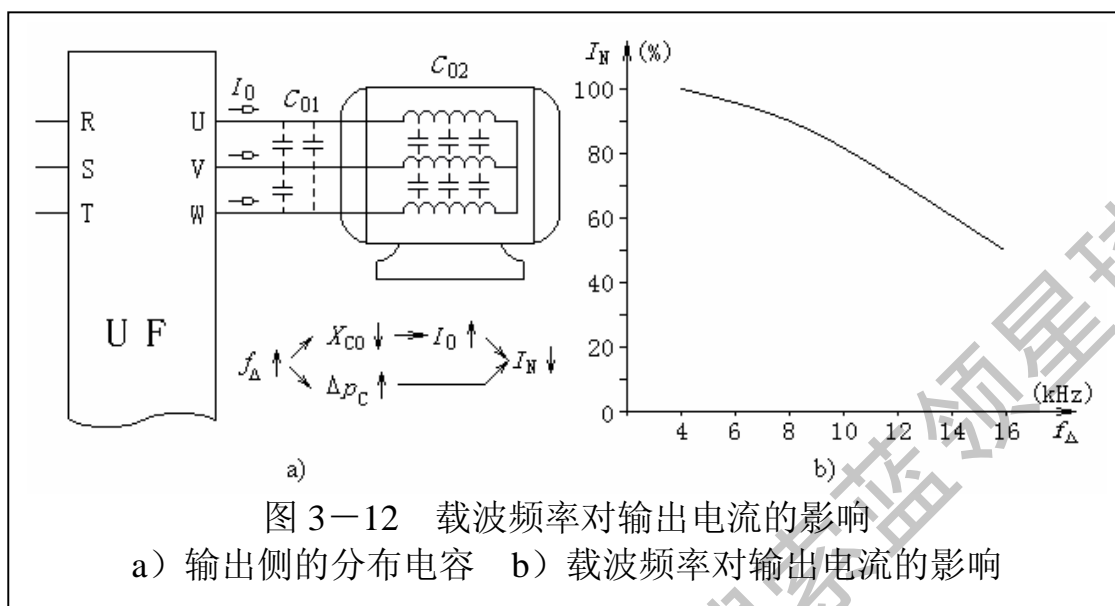


图 3-12 载波频率对输出电流的影响

a) 输出侧的分布电容 b) 载波频率对输出电流的影响

4. 载波频率与干扰

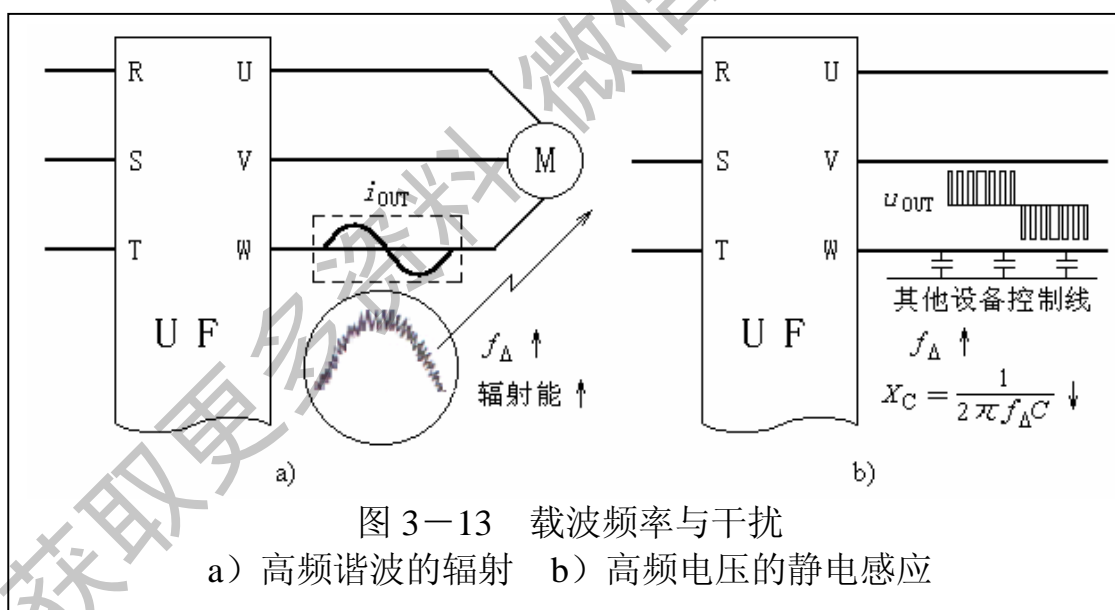


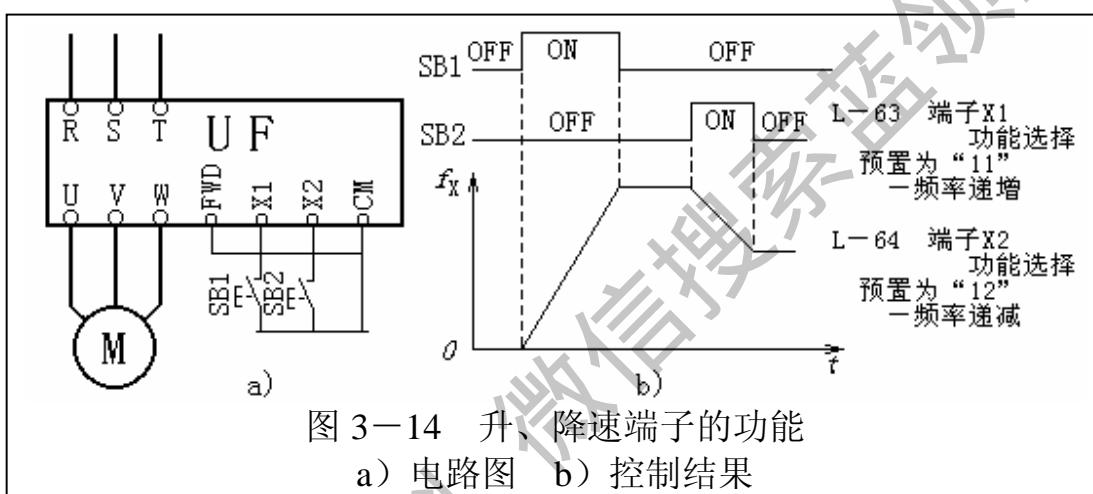
图 3-13 载波频率与干扰

a) 高频谐波的辐射 b) 高频电压的静电感应

3.3 频率的外接数字量给定

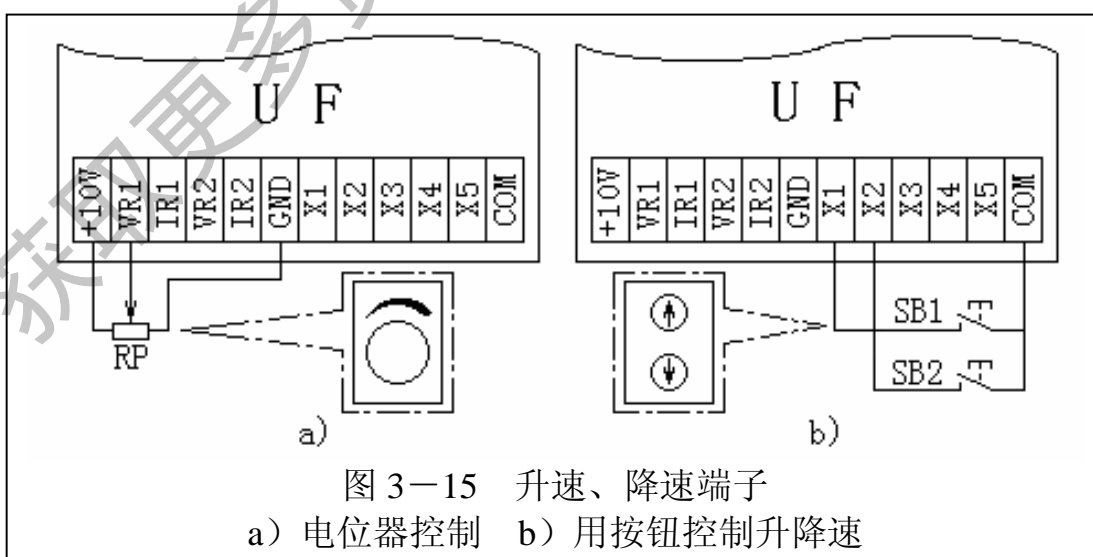
尽量少用
电位器！

3.3.1 升速、降速端子的功能 (UP / DOWN 功能)



3.3.2 用法举例

1. 代替电位器



2. 两地控制

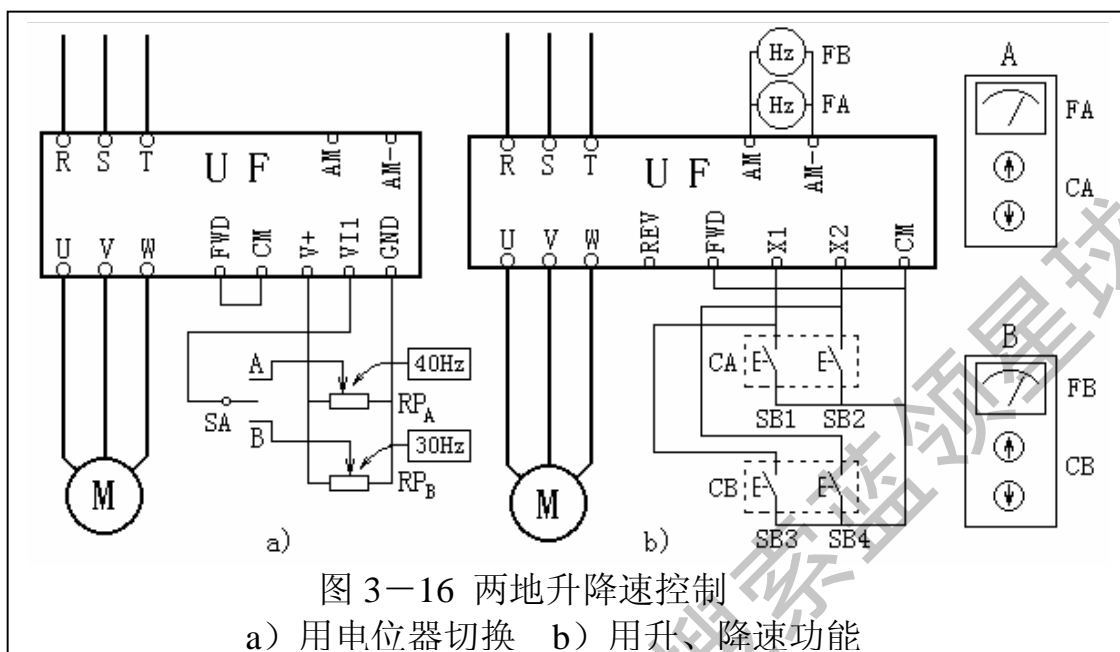


图 3-16 两地升降速控制

a) 用电位器切换 b) 用升、降速功能

3. 恒压控制

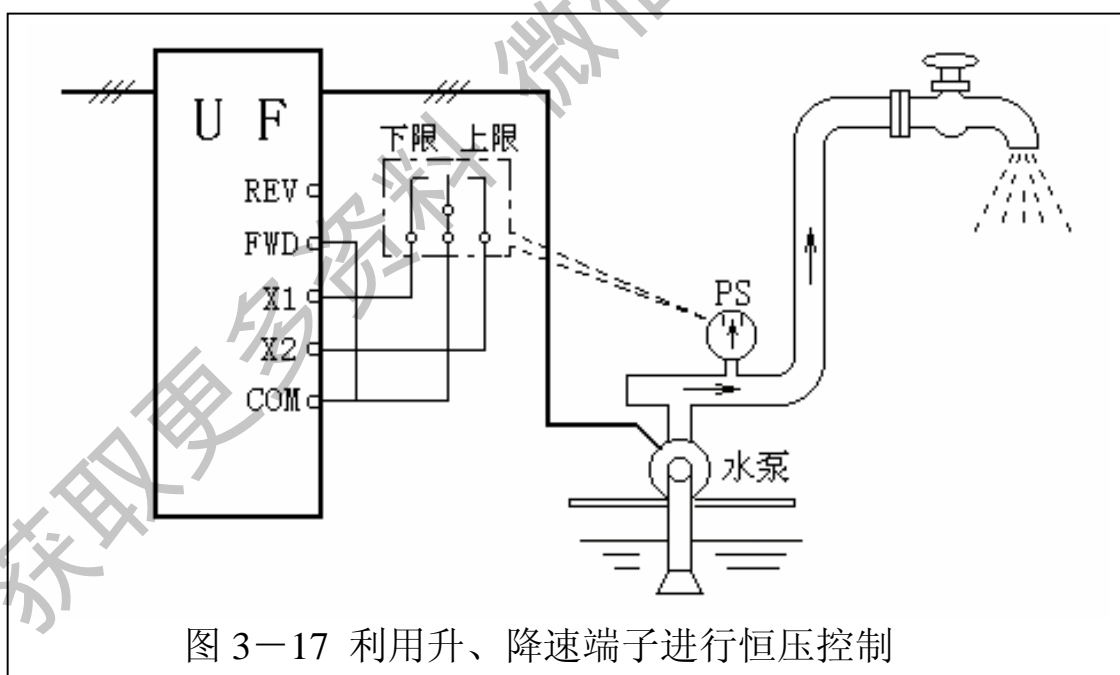


图 3-17 利用升、降速端子进行恒压控制

休 息 15 分 钟

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

3. 4 电动机的起动与加速

变频起动

顶呱呱！

3. 4. 1 异步电动机的起动

1. 工频起动

(1) 起动电流

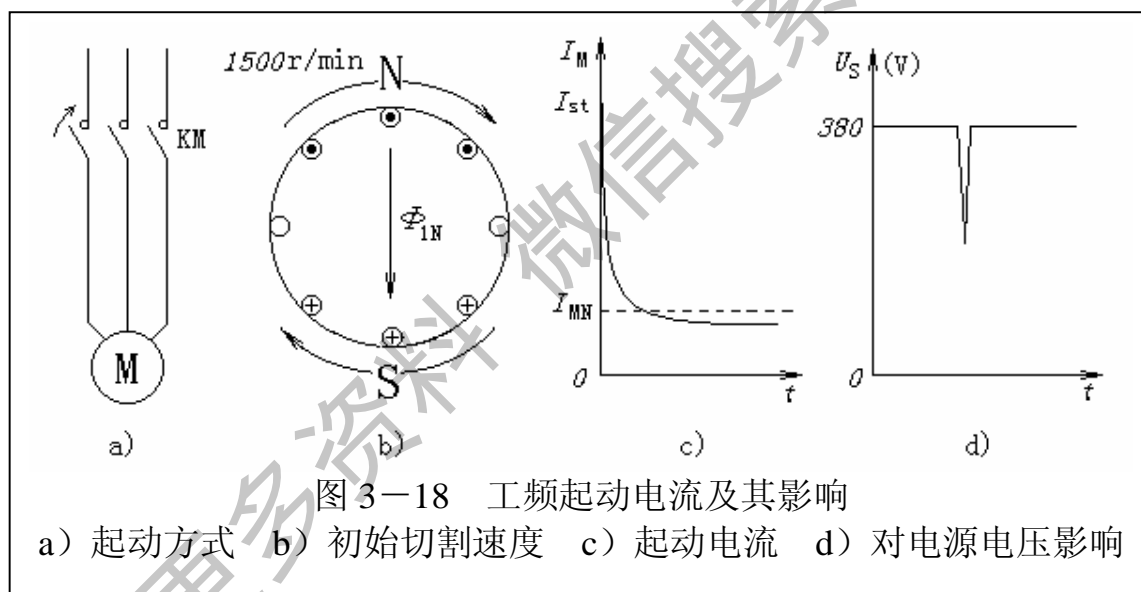
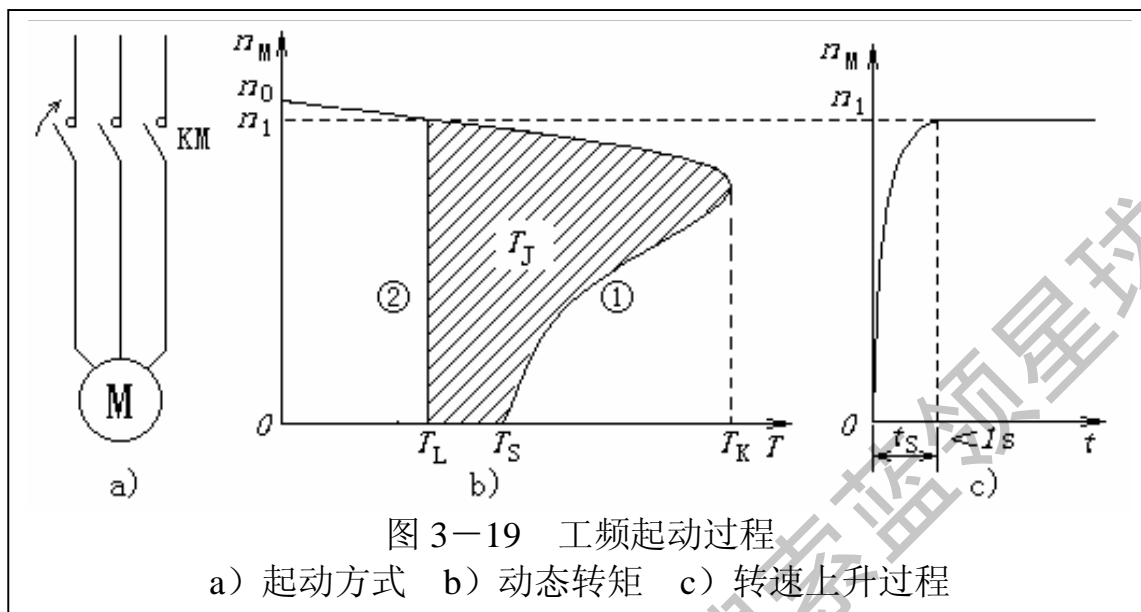


图 3-18 工频起动电流及其影响

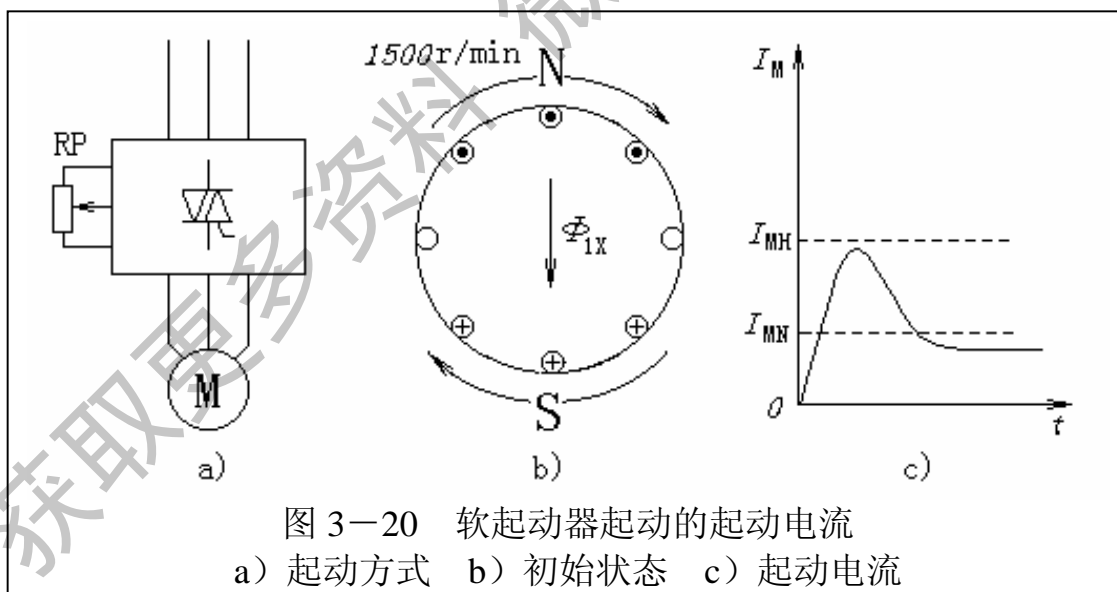
a) 起动方式 b) 初始切割速度 c) 起动电流 d) 对电源电压影响

(2) 起动过程

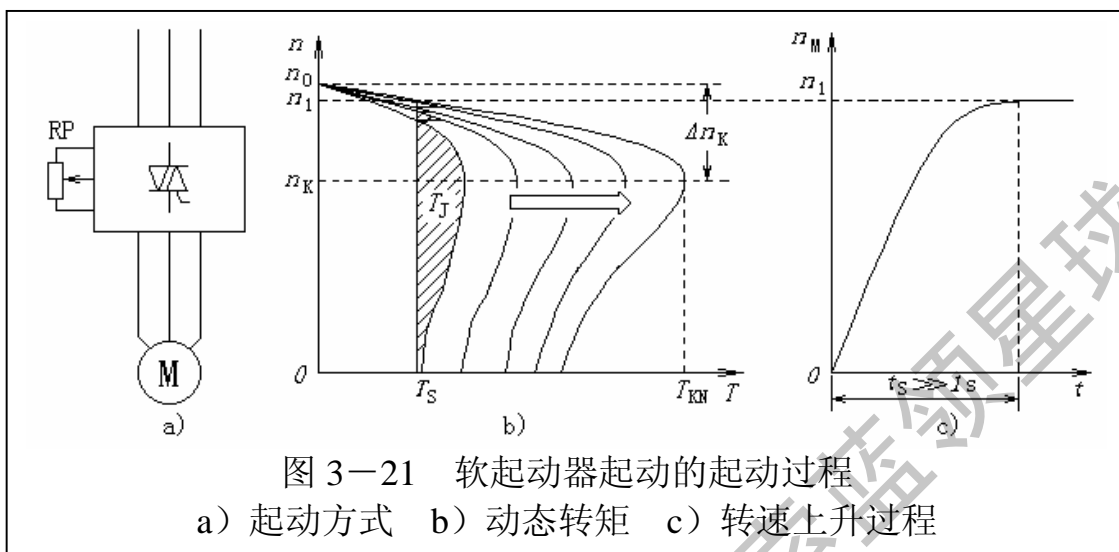


2. 软起动器起动

(1) 起动电流

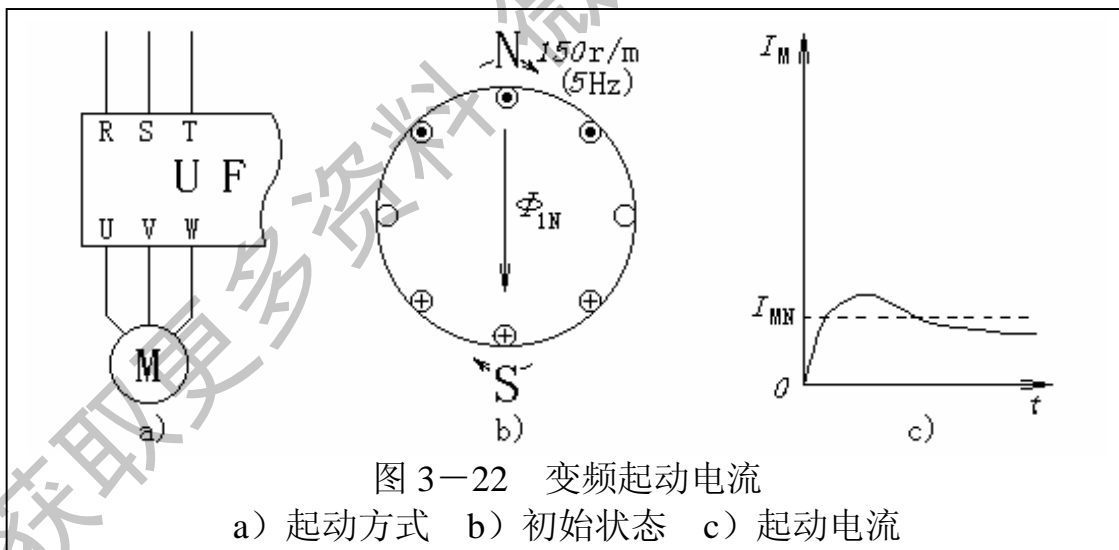


(2) 起动过程

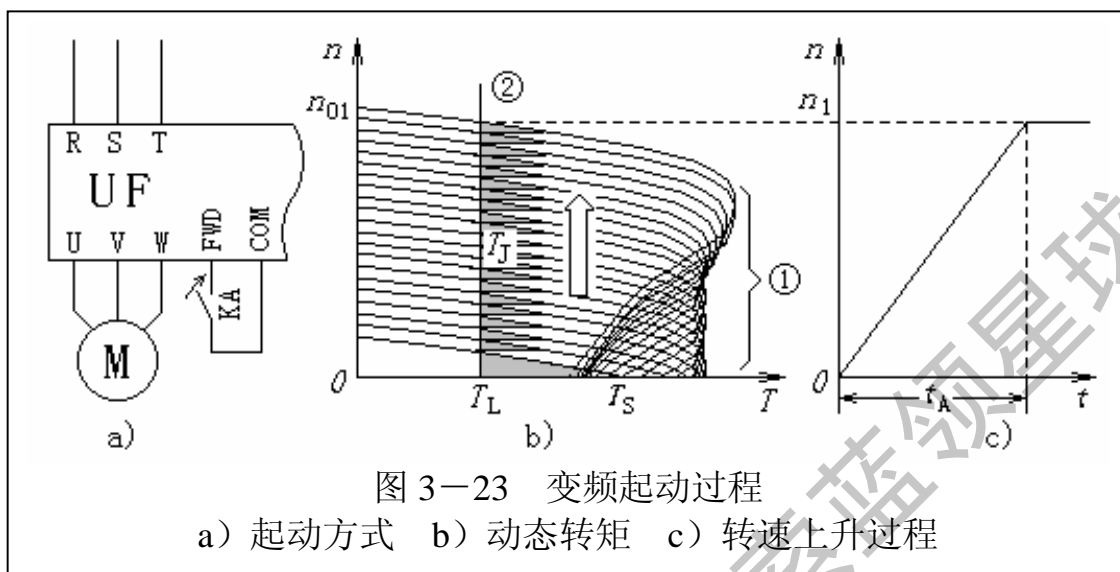


3. 变频起动

(1) 变频起动的电流



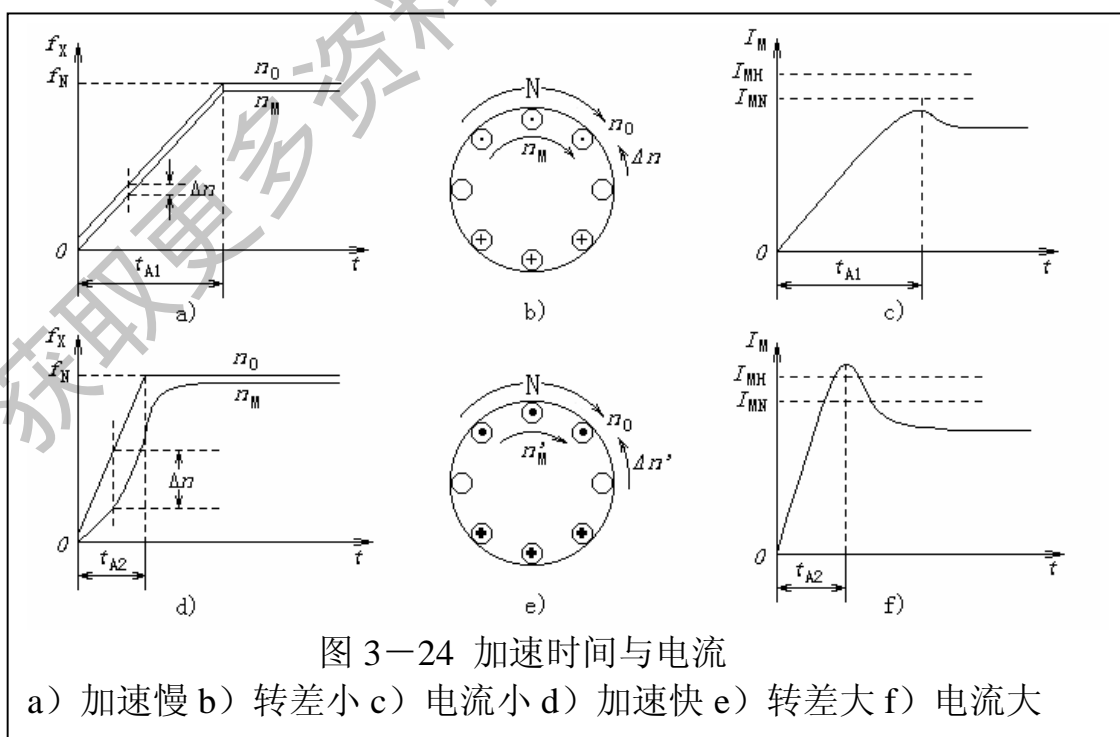
(2) 变频起动过程



3. 4. 2 加速时间与起动电流

加速太快电流大!

1. 电流与加速时间的关系



<http://www.plcworld.cn>

2. 加速过程中的防止跳闸（防失速）

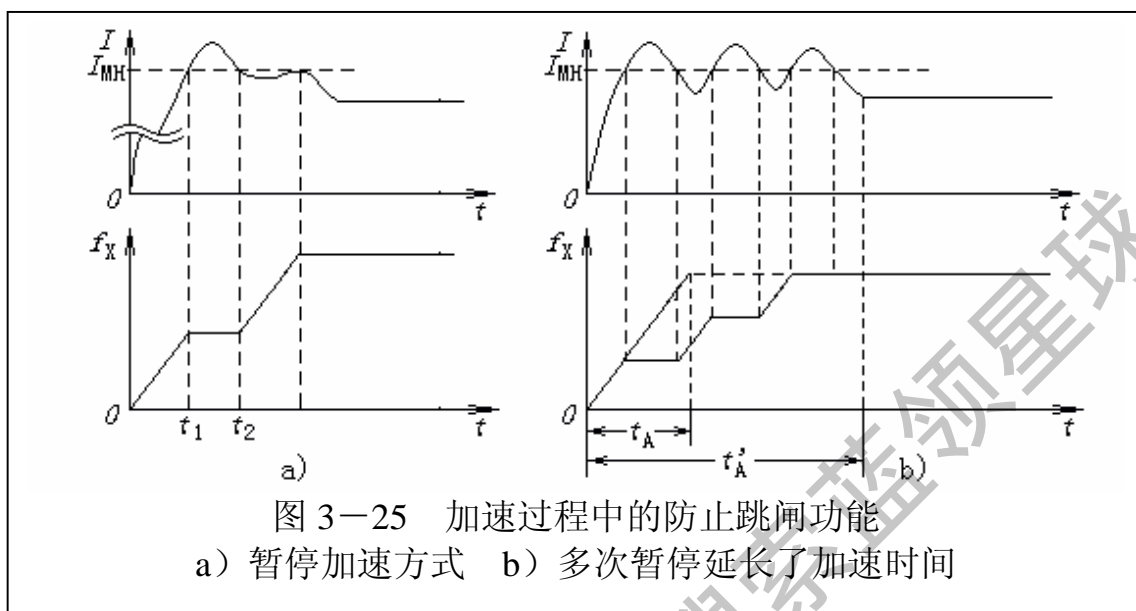


图 3-25 加速过程中的防止跳闸功能

a) 暂停加速方式 b) 多次暂停延长了加速时间

获取更多资料 微信搜索 领星球

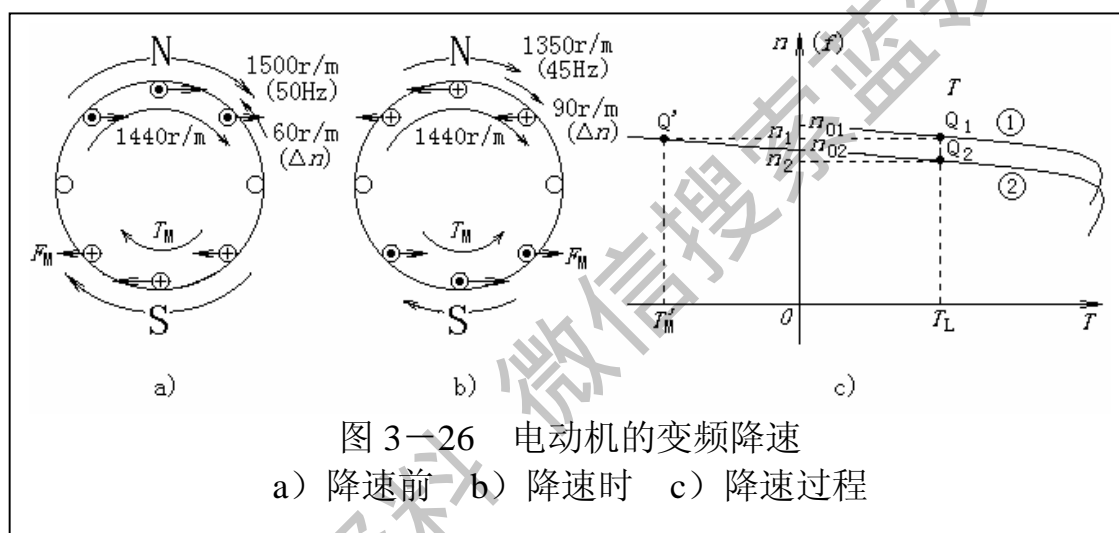
3. 5 变频电动机的停机与减速

多余能量

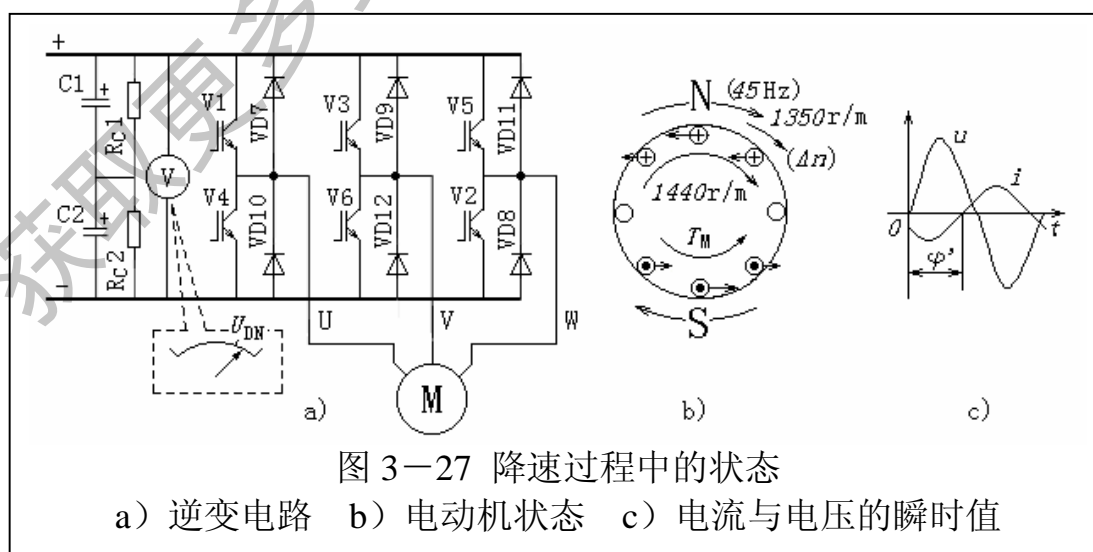
可发电

3. 5. 1 电动机的变频停机与减速

1. 变频减速时电动机的状态



2. 减速时变频器的泵升电压

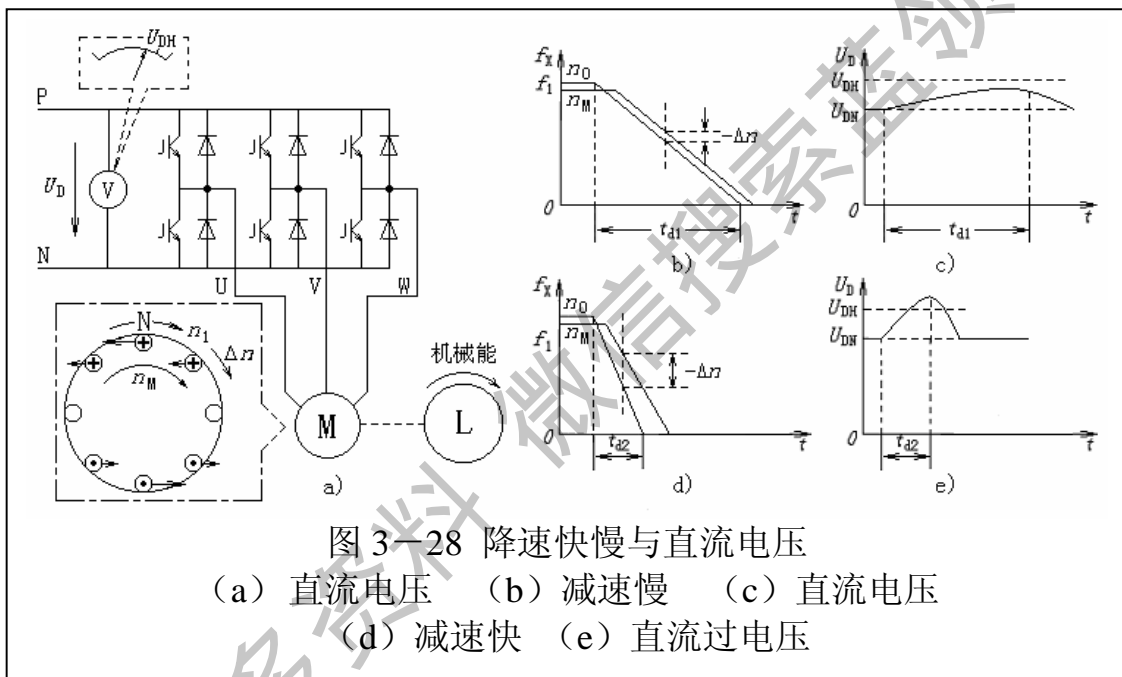


<http://www.plcworld.cn>

减速太快

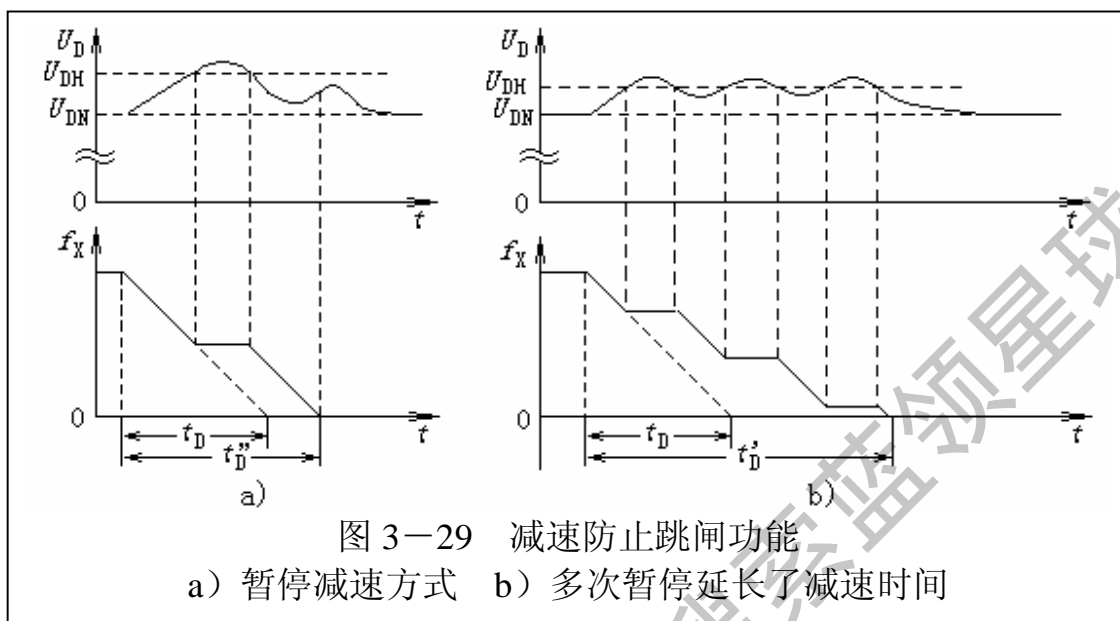
电压高!

3. 减速快慢与直流电压

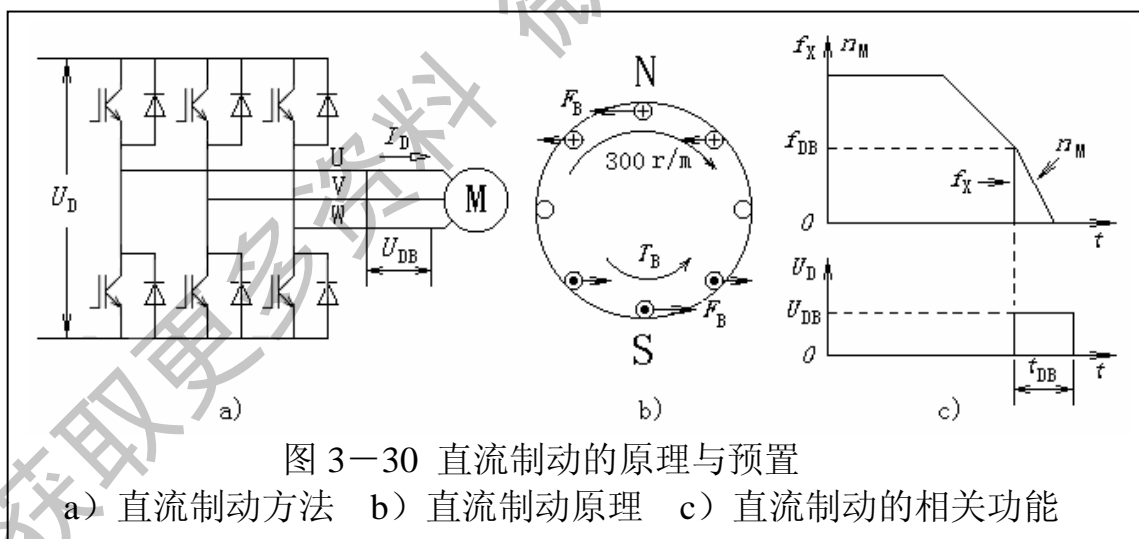


获取更多资料

4. 减速防止跳闸功能（防失速）

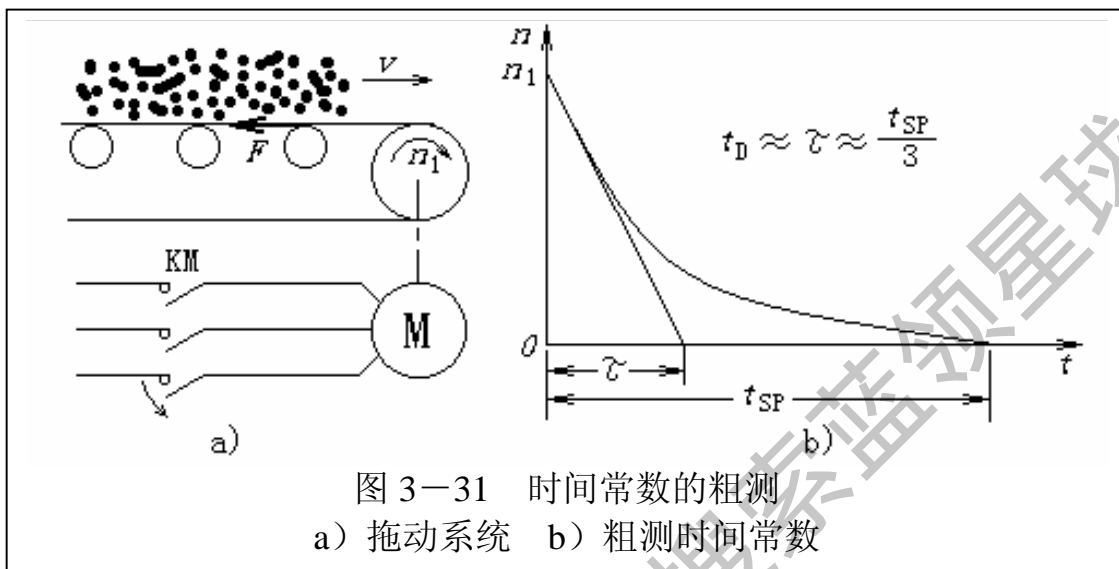


3. 5. 2 直流制动

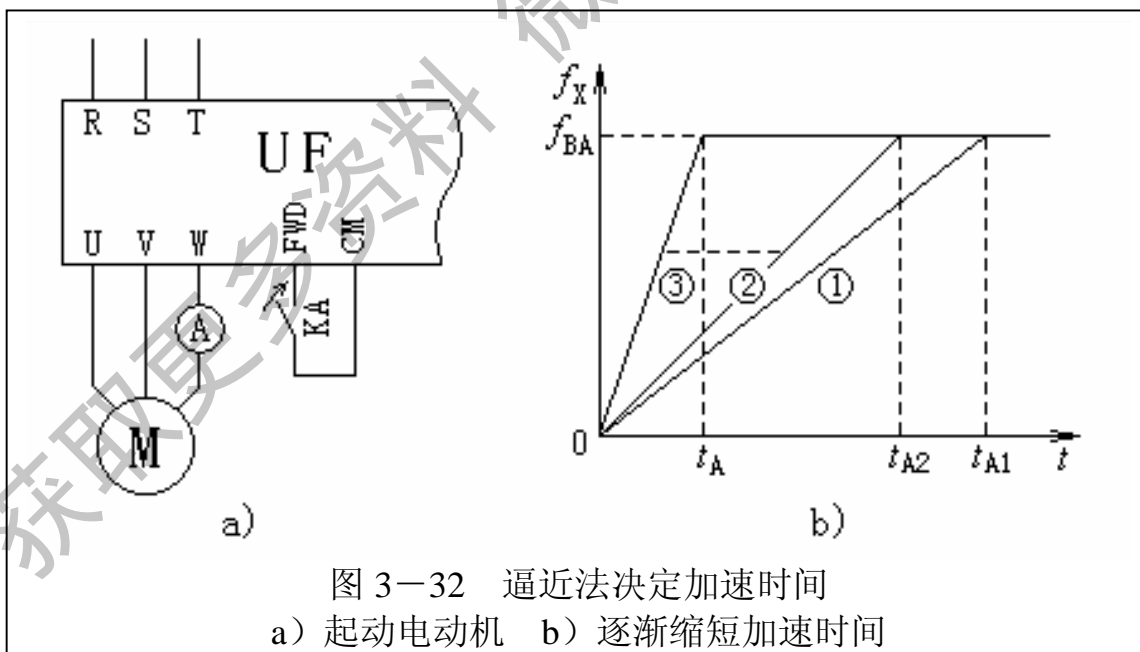


3. 5. 3 加、减速时间的预置

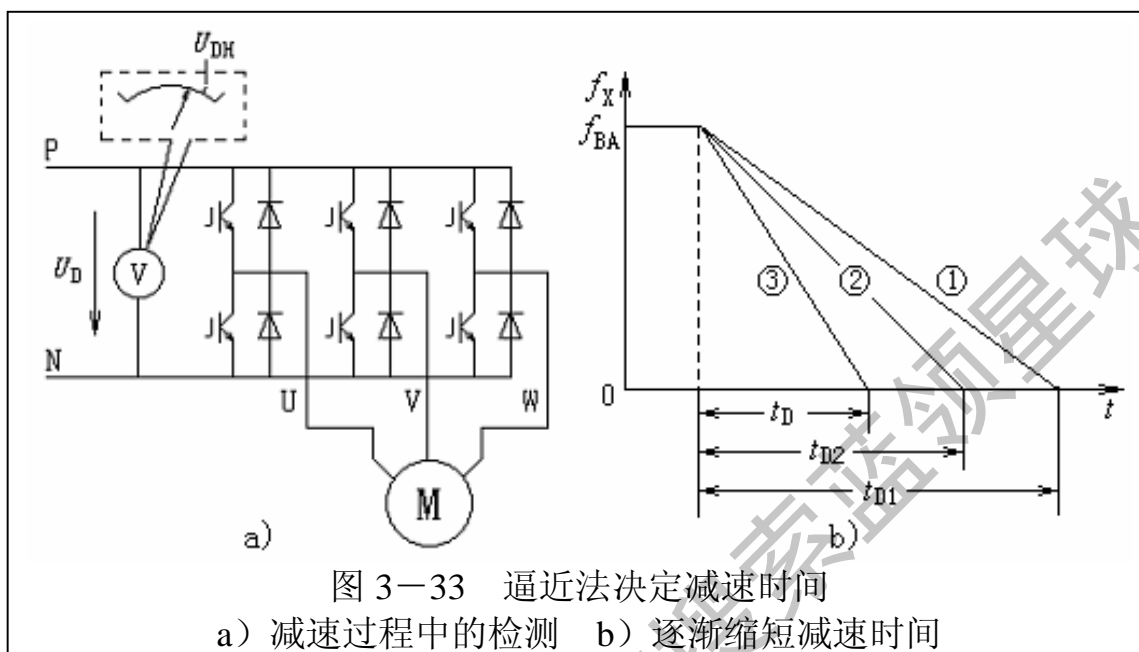
1. 负载的惯性大小（时间常数的粗测）



2. 逼近法决定加速时间

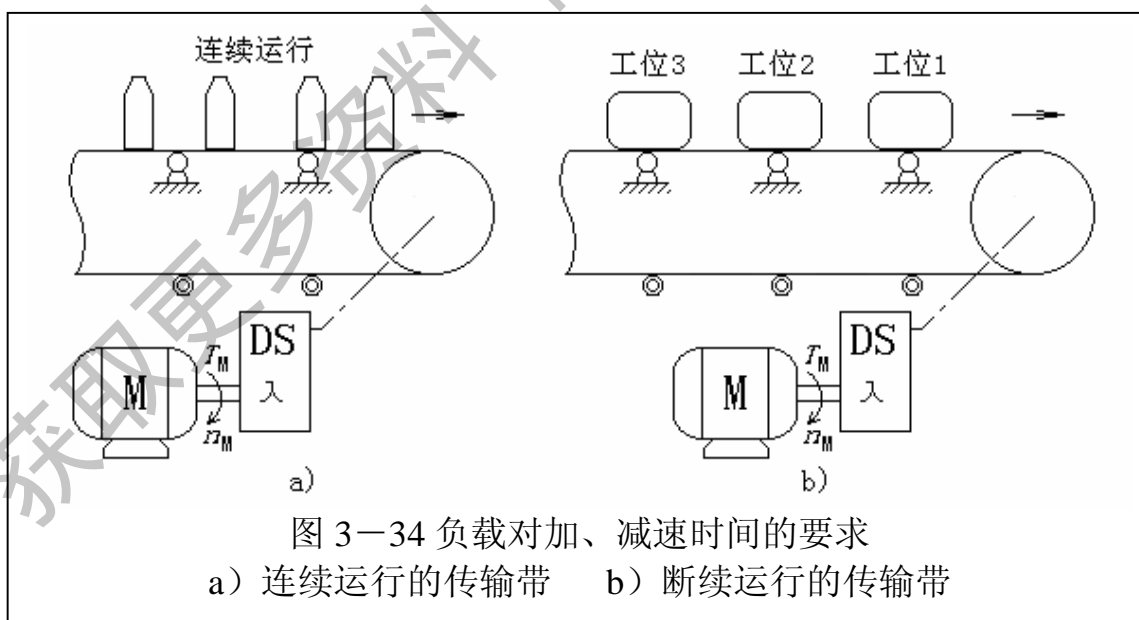


3. 逼近法决定减速时间



4. 加、减速时间的调整

负载对加、减速时间的要求



休 息 15 分 钟

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

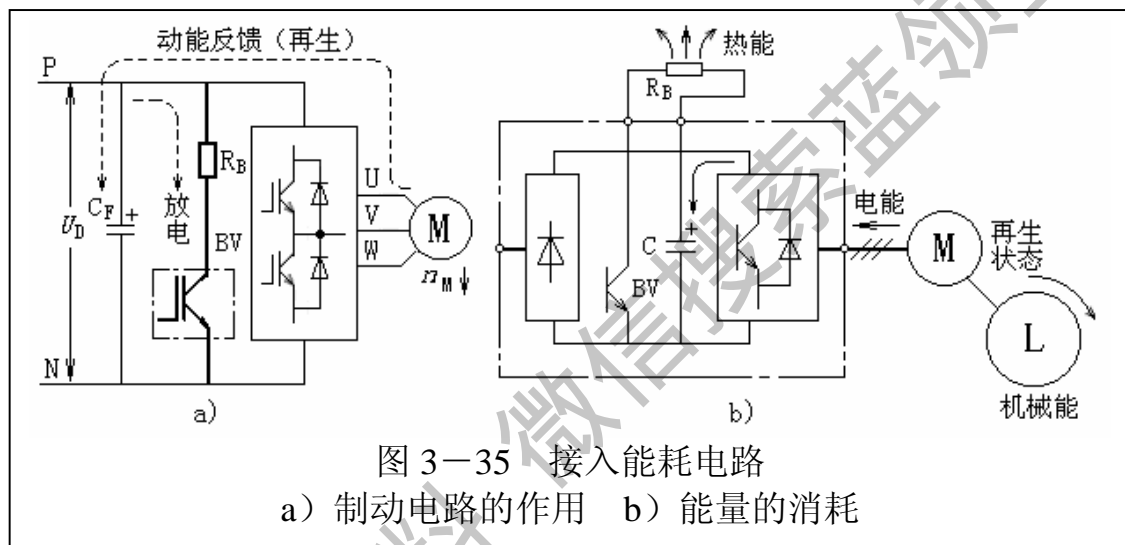
能耗电路

勿硬套！

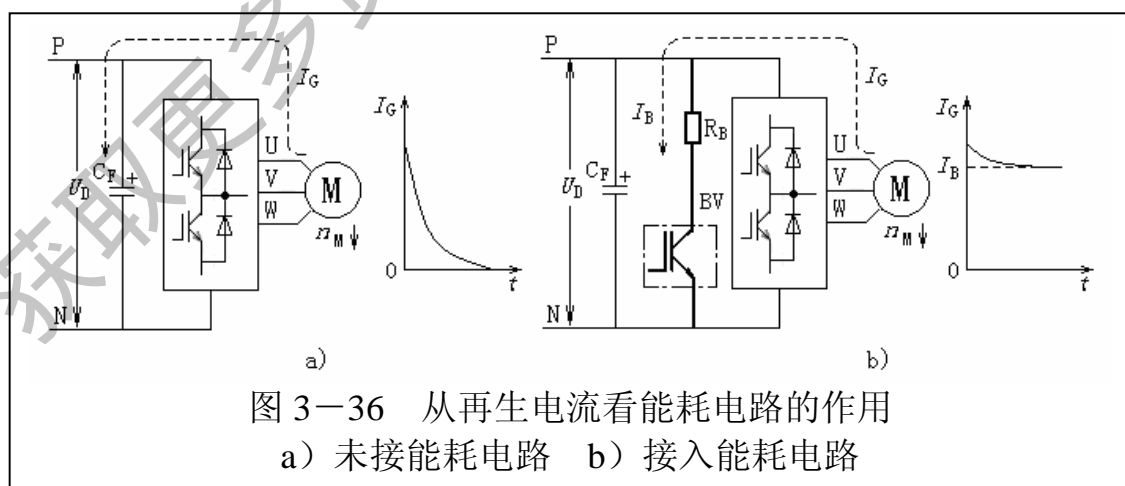
3.6 制动电阻和制动单元

3.6.1 能耗电路的作用

1. 多余机械能的消耗途径



2. 电动机的再生电流与制动转矩



3. 6. 2 制动电阻阻值的决定

1. 简易算法

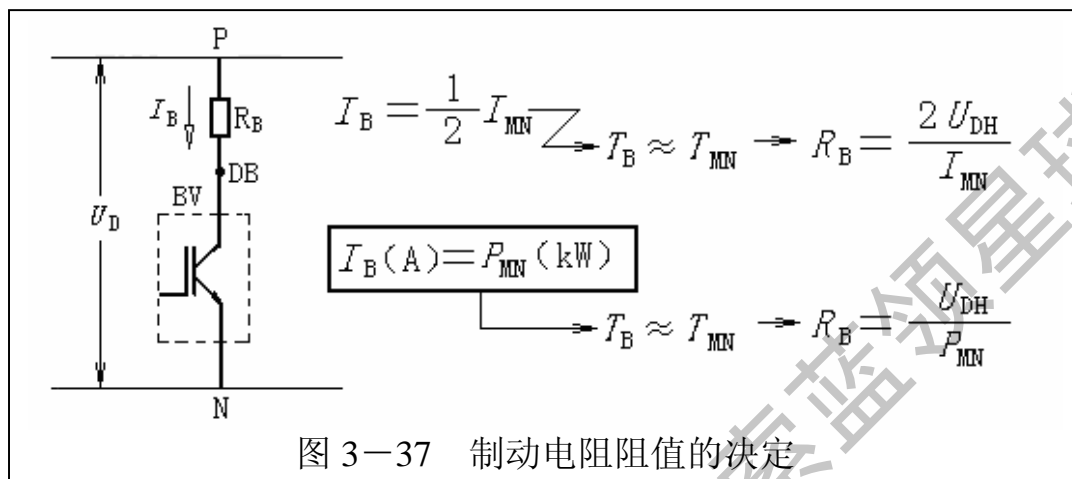


图 3—37 制动电阻阻值的决定

2. 用发热元件制作制动电阻

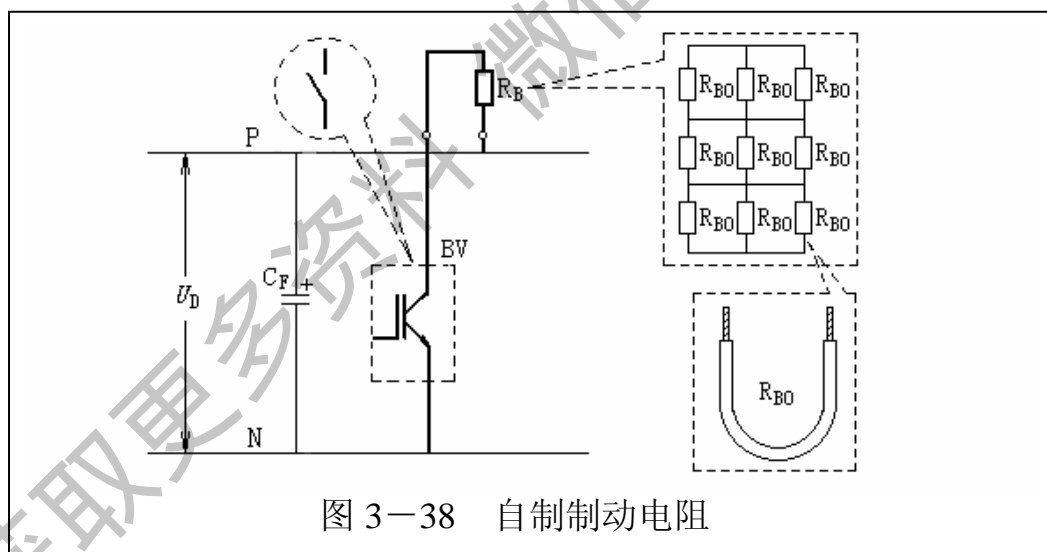


图 3—38 自制制动电阻

电炉丝电阻值的计算：

假设： $P_{BON} = 2kW$ ， $U_{BON} = 220V$

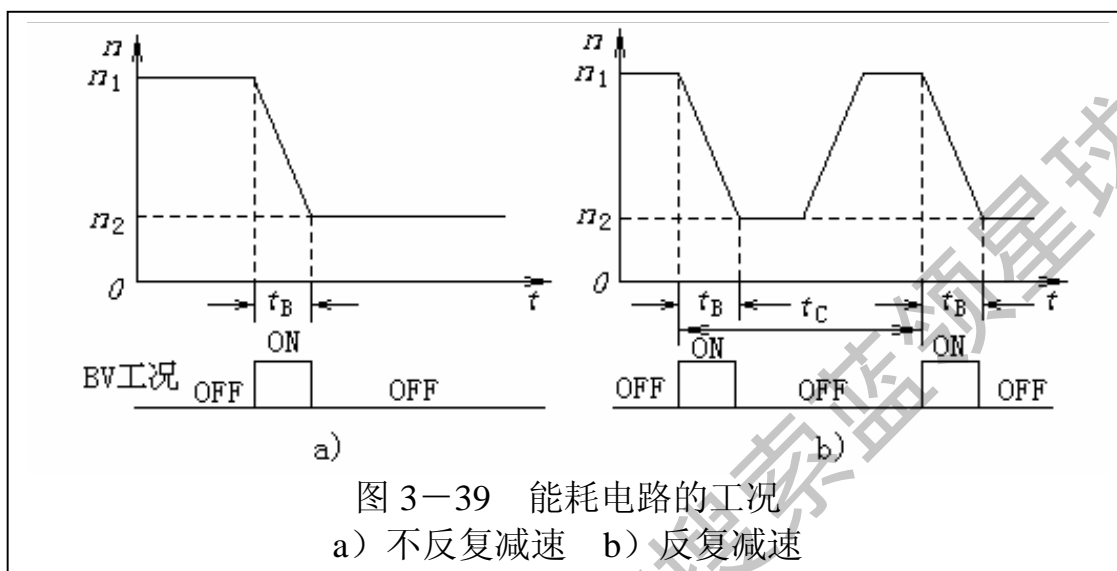
则： $R_{B0} = \frac{U_{BON}^2}{P_{BON}} = \frac{220^2}{2000} = 24.2\Omega$

注意：计算的电阻值是热态电阻，冷态时略小些。

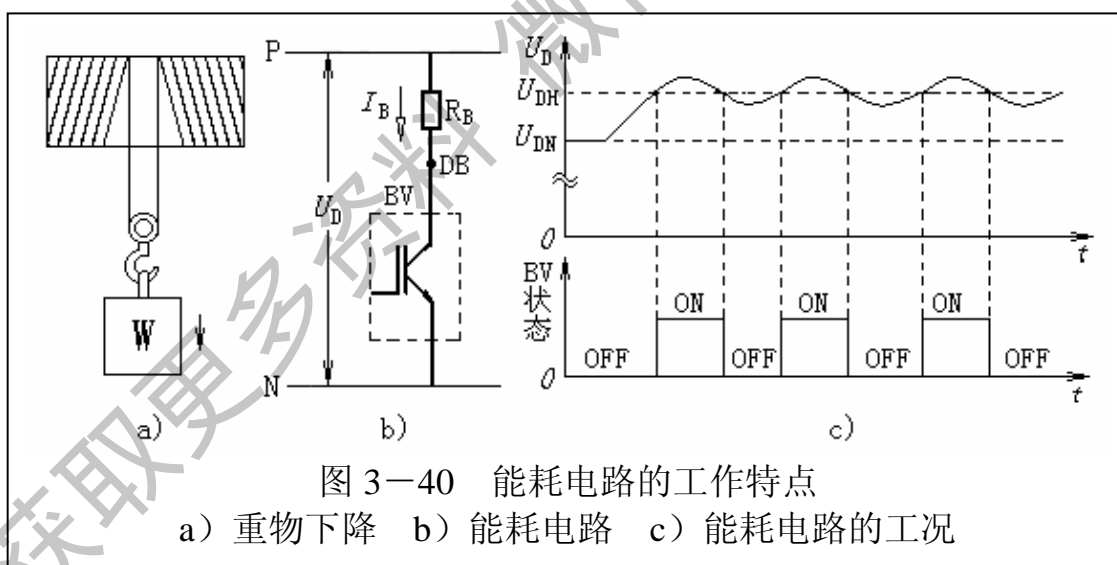
3. 6. 3 制动电阻容量的决定

1. 制动电阻的工况

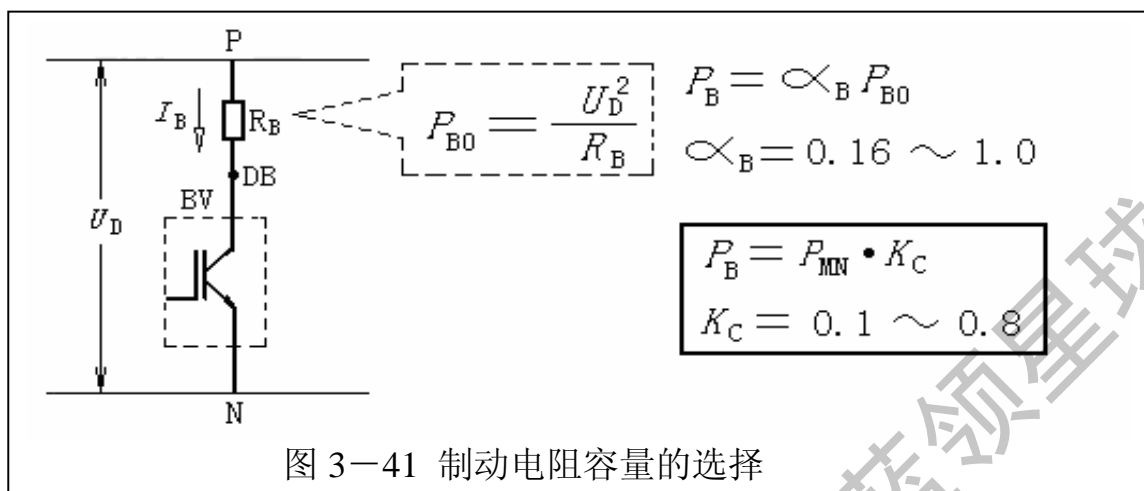
(1) 减速的工况



(2) 重力负载的工况

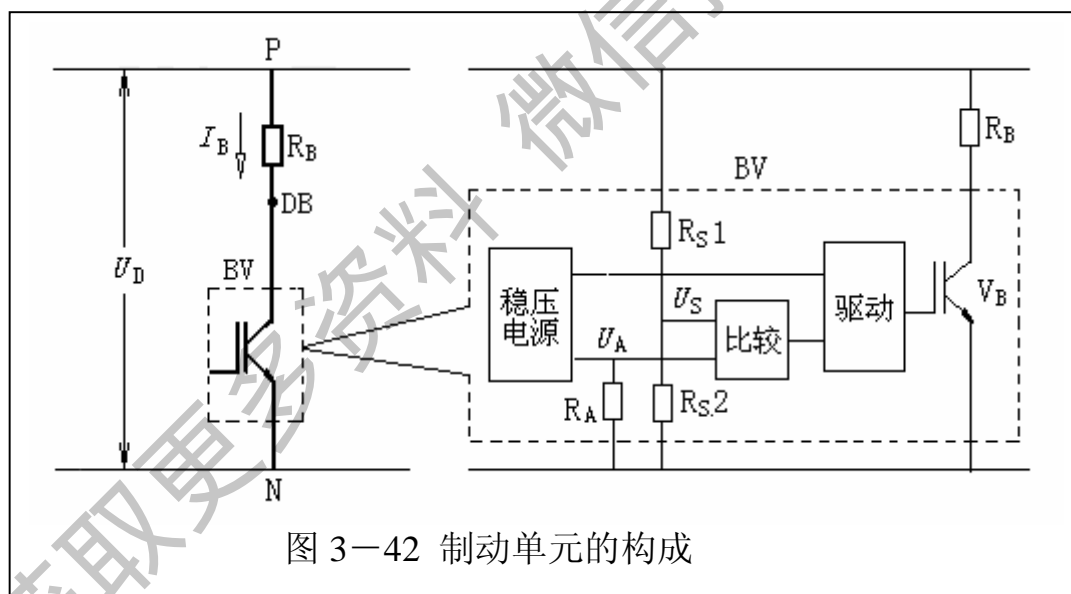


2. 容量的决定



3. 6. 3 制动单元的原理与代用

1. 制动单元的框图



2. 用交流接触器做制动单元

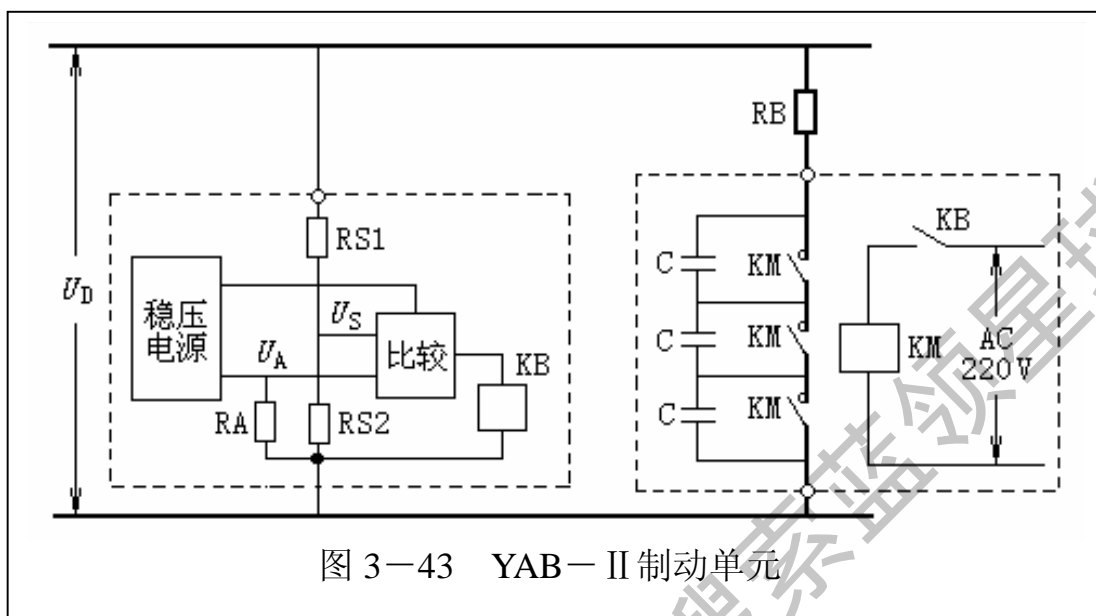


图 3-43 YAB-II 制动单元

3. 利用 IGBT 作开关器件

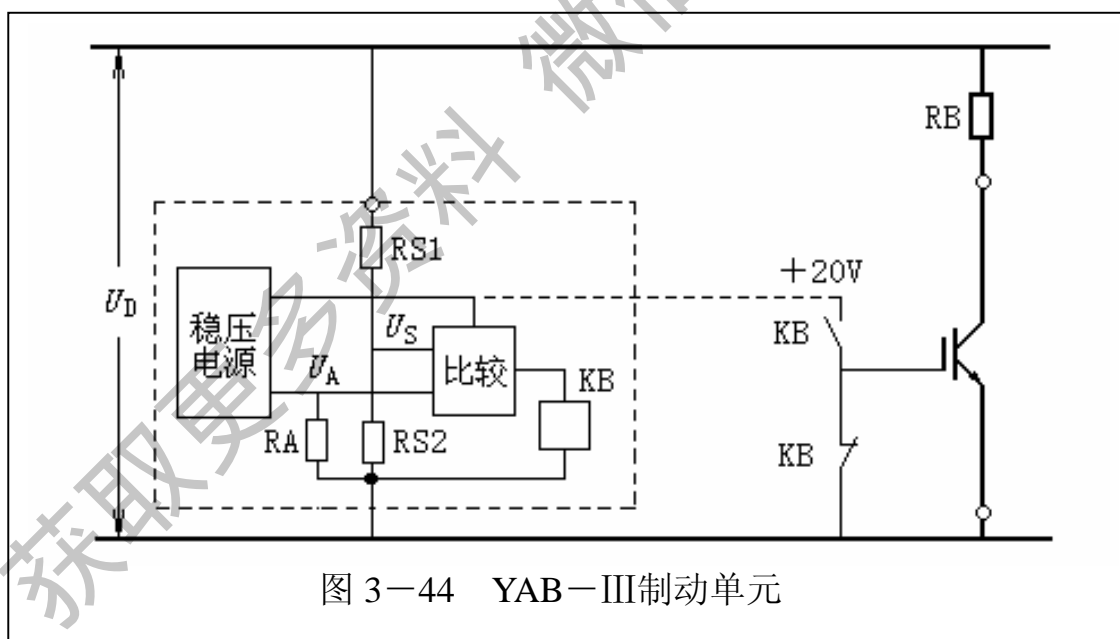


图 3-44 YAB-III 制动单元

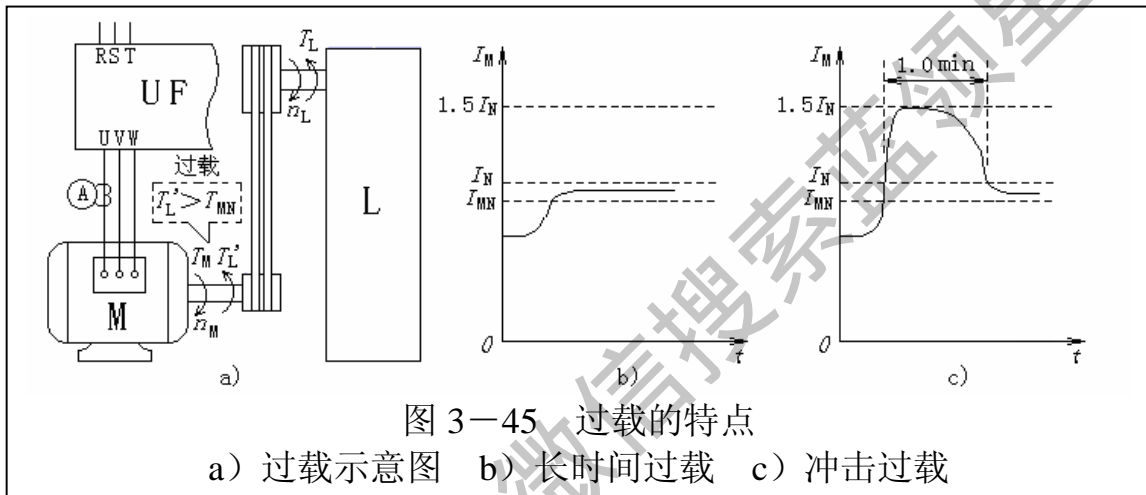
<http://www.plcworld.cn>

保护功能神通大！

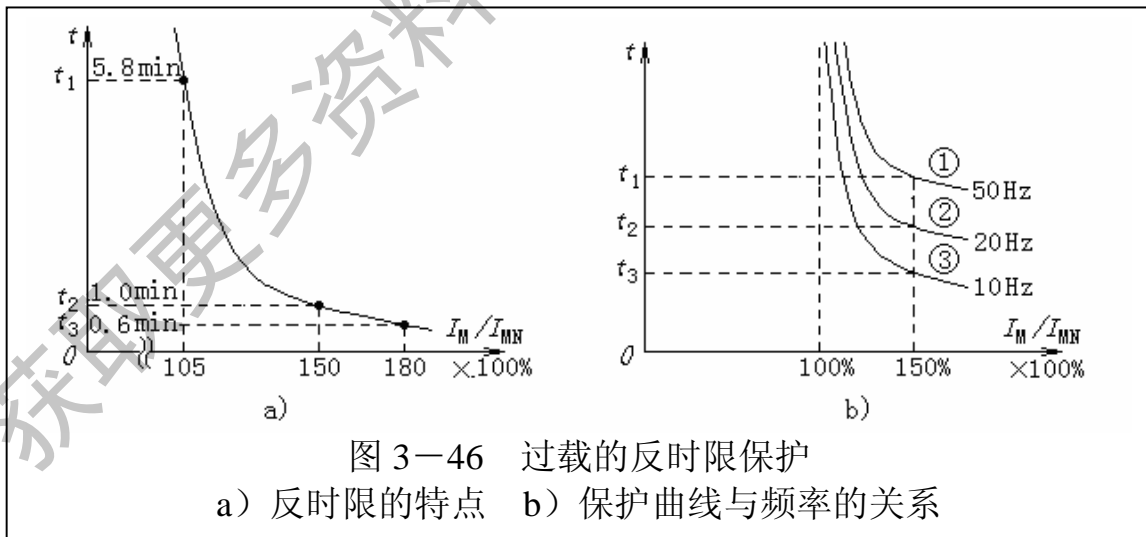
3.7 变频器的保护功能

3.7.1 过载保护的對象与特点

1. 过载特点



2. 过载保护的反时限特性



需要预置的内容：电流取用比

<http://www.plcworld.cn>

$$I_M\% = \left(\frac{I_{MN}}{I_N} \right) \times 100\%$$

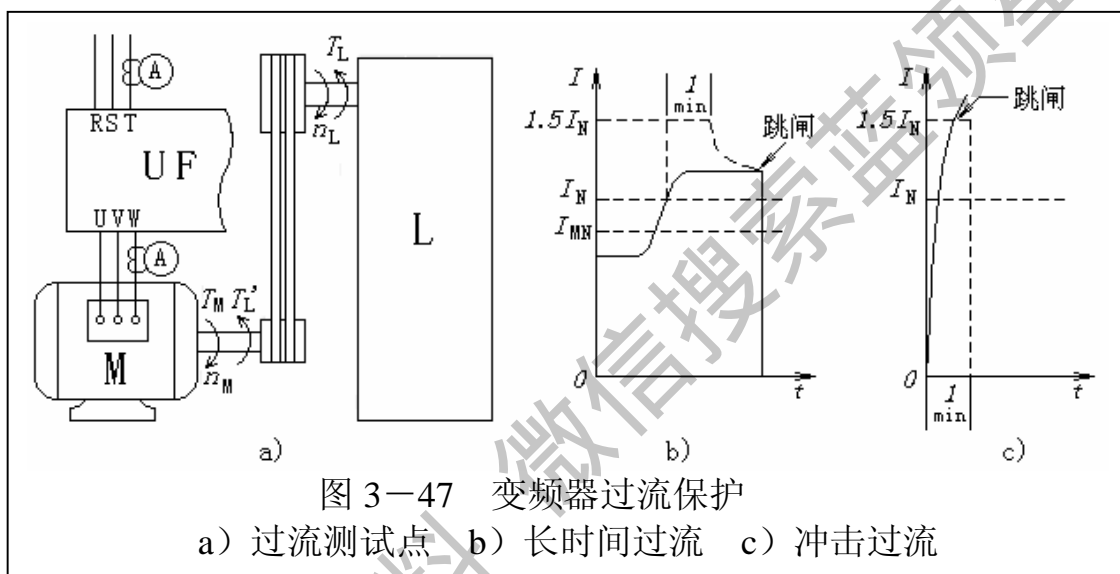
例：变频器额定电流： $I_N=150A$ （75kW）

(1) $I_{MN}=139.7A$ （75kW），则 $I_M\% = \left(\frac{139.7}{150} \right) \times 100\% = 93\%$

(2) $I_{MN}=102.5A$ （55kW），则 $I_M\% = \left(\frac{102.5}{150} \right) \times 100\% = 68\%$

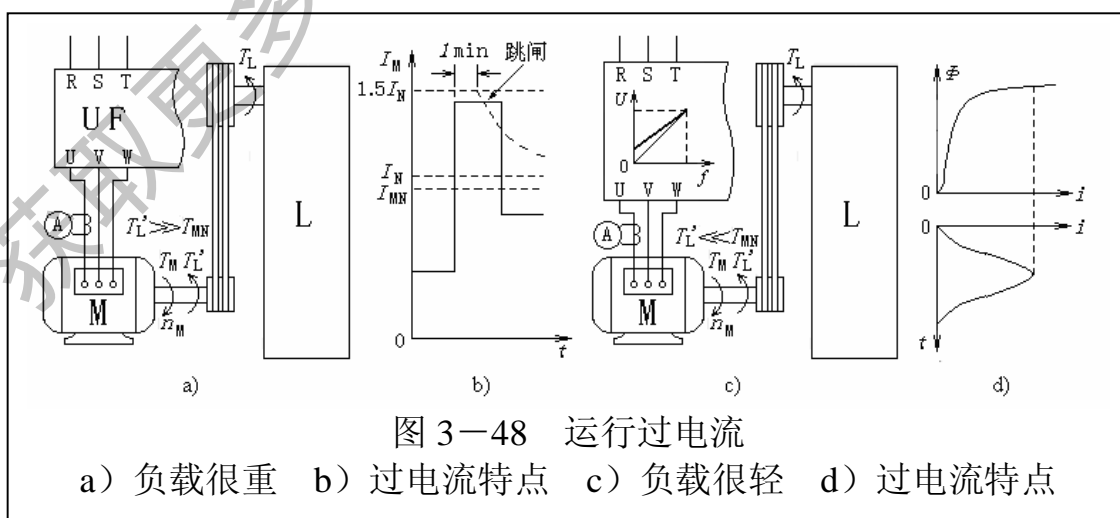
3. 7. 2 过电流保护的对象与原因分析

1. 过电流的保护对象与特点

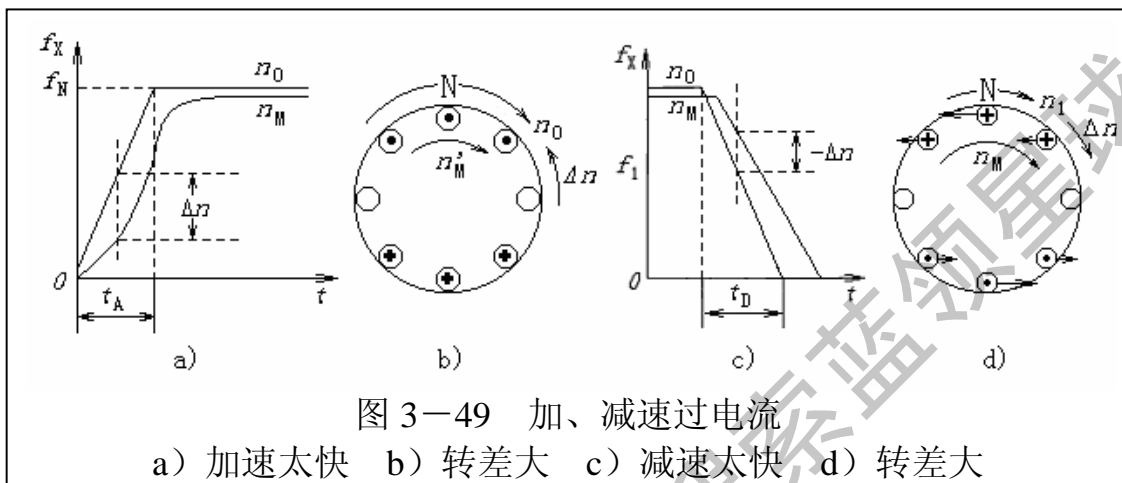


2. 过电流的原因分析

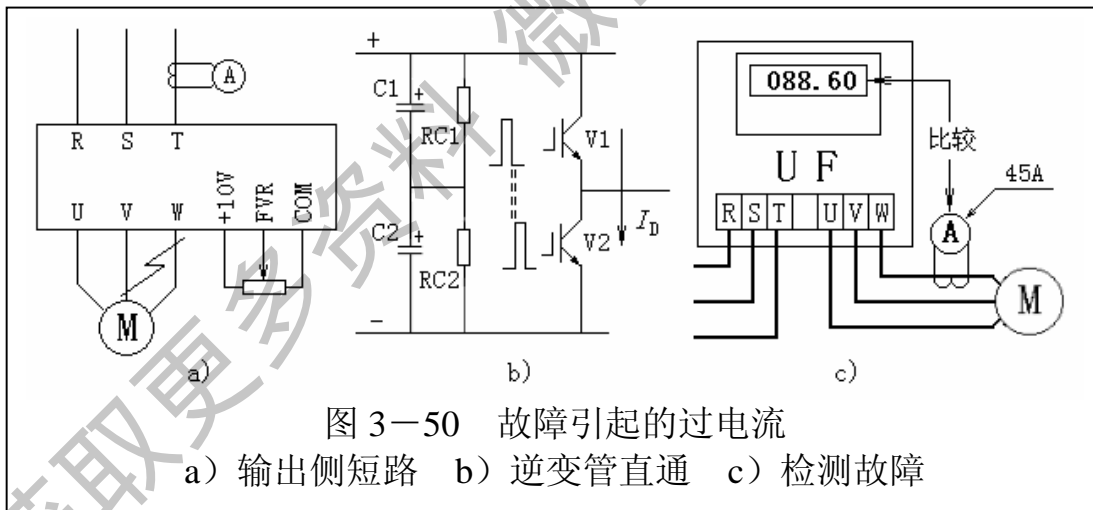
(1) 运行过电流



(2) 加、减速过电流

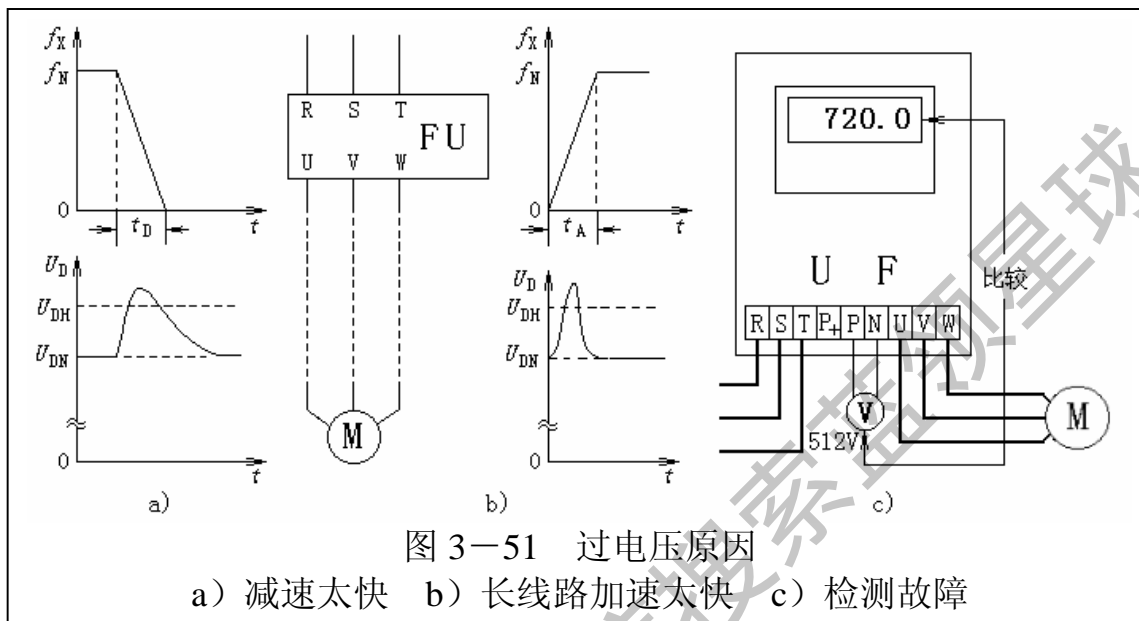


(3) 故障过电流

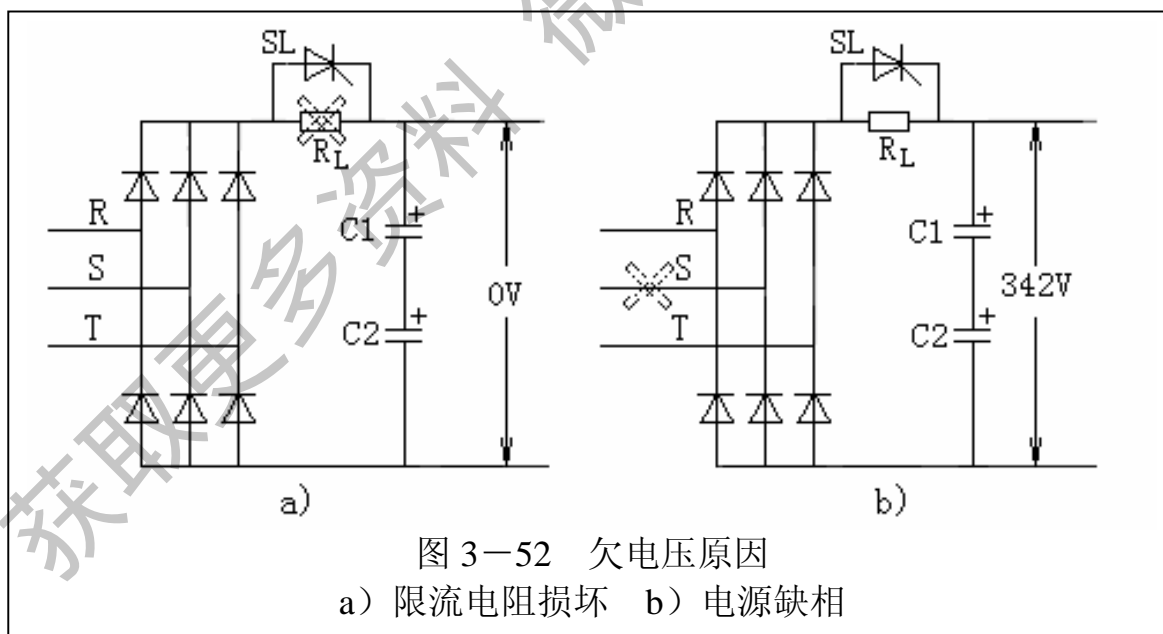


3. 7. 3 电压保护功能

1. 过电压原因

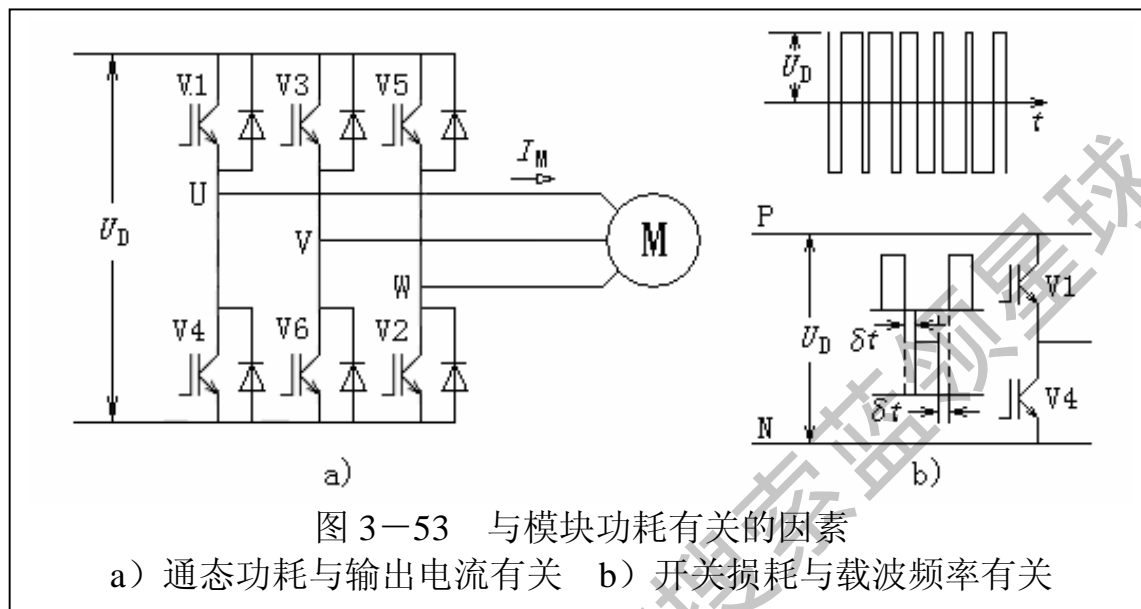


2. 欠电压原因

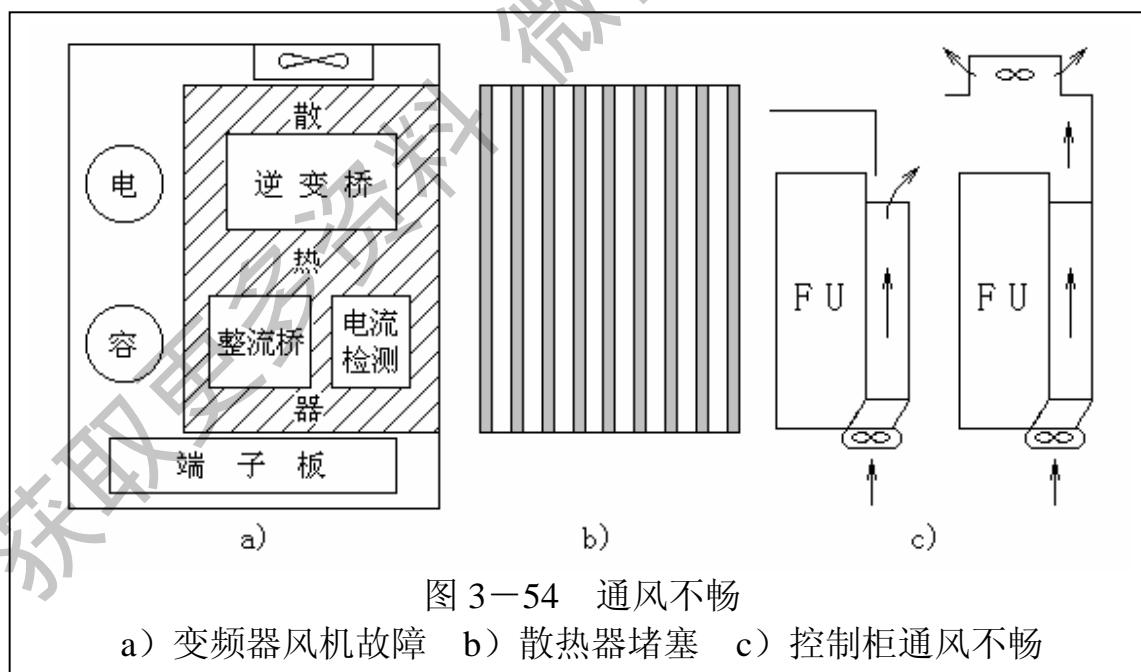


3. 7. 4 变频器的过热保护

1. 与模块功耗有关的因素

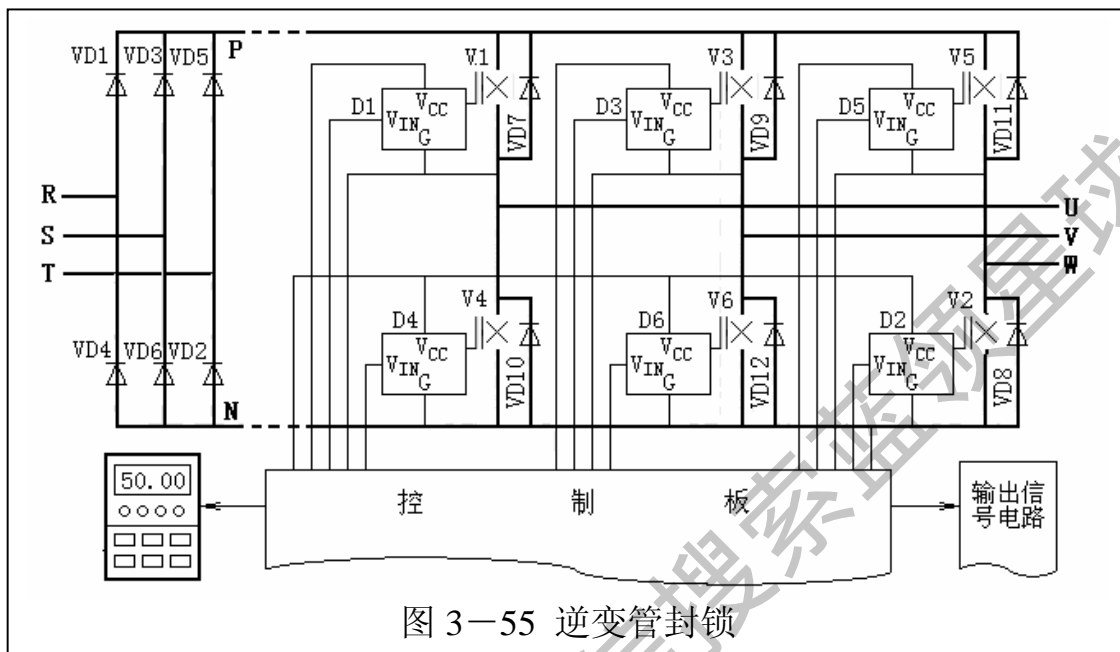


2. 通风不畅

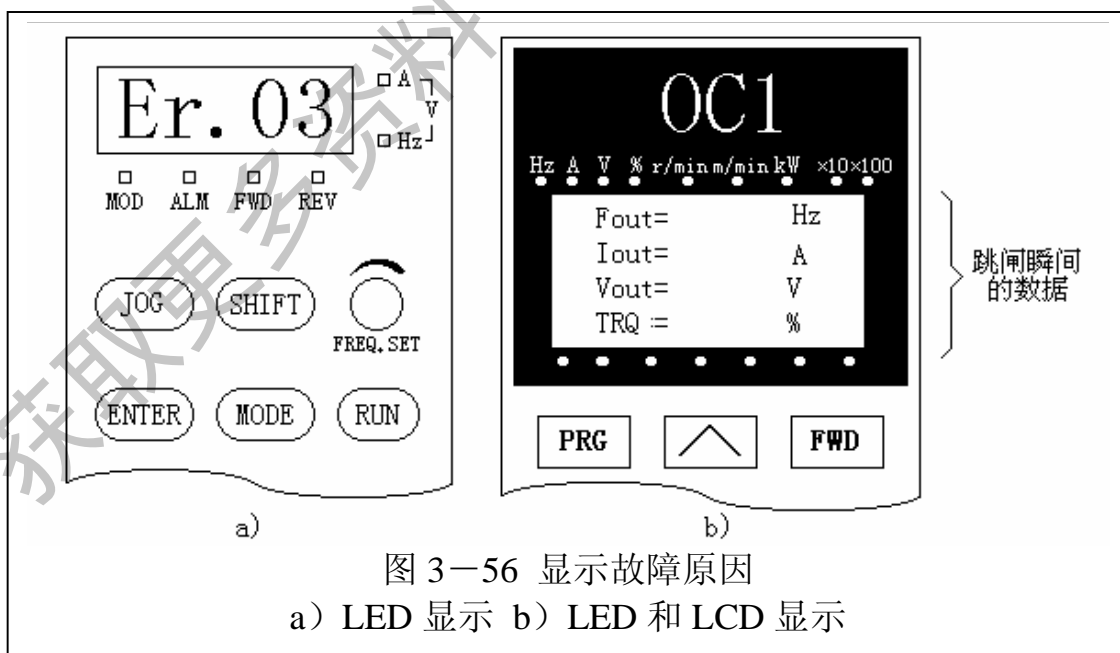


3. 7. 5 变频器跳闸后的处理

1. 内部电路处理



2. 显示故障原因



3. 跳闸后的复位

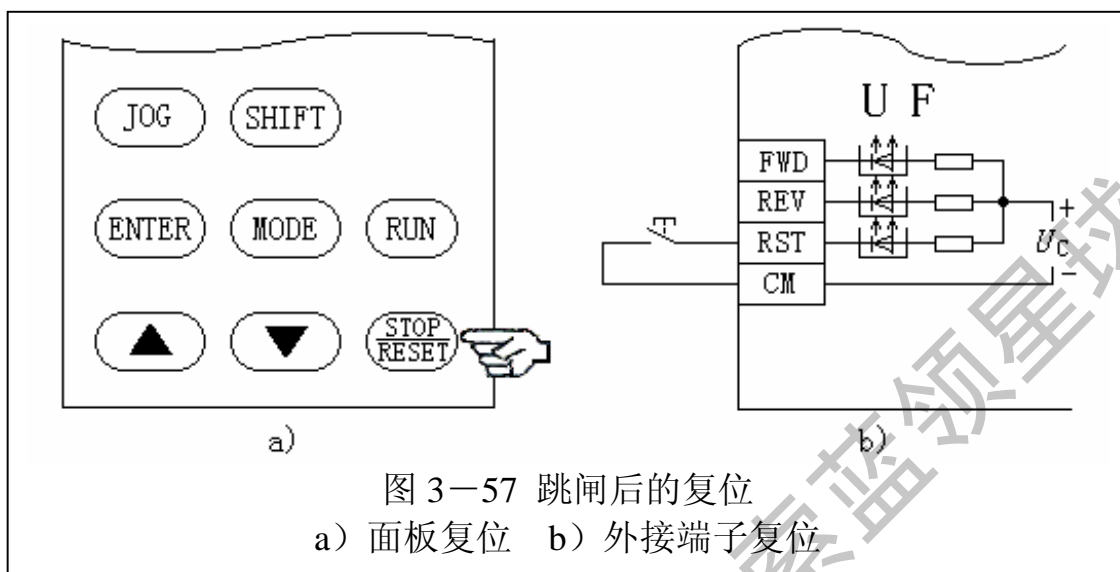


图 3-57 跳闸后的复位
a) 面板复位 b) 外接端子复位

3. 7. 6 自动重合闸功能

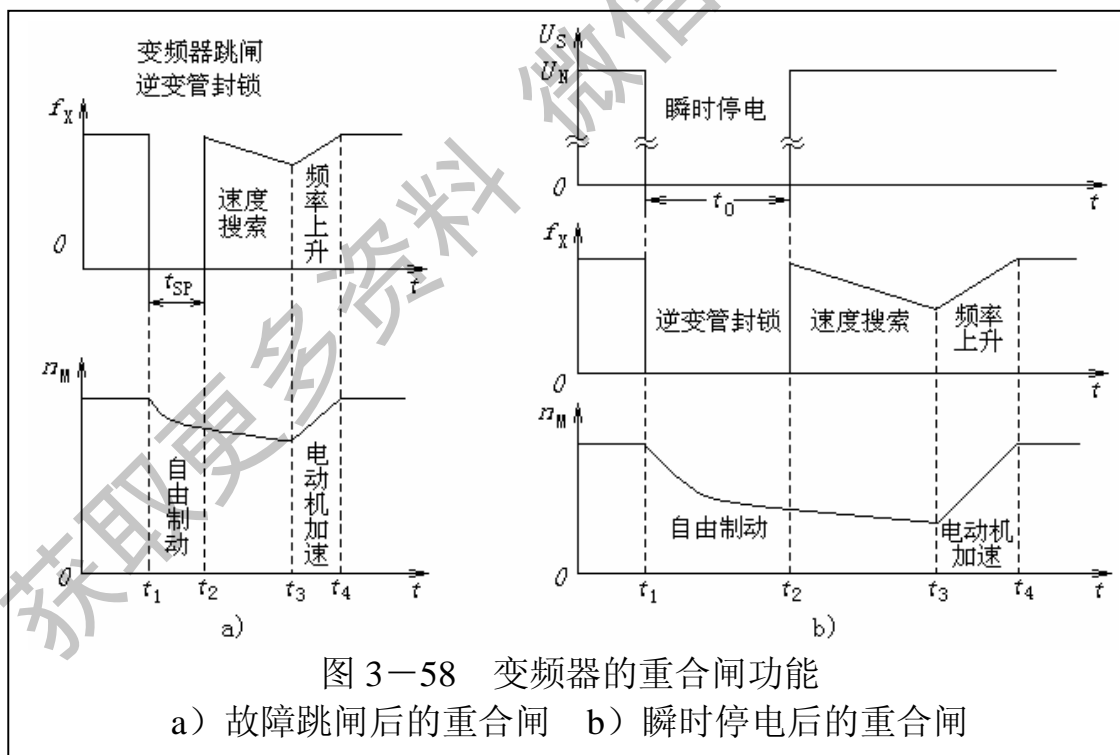


图 3-58 变频器的重合闸功能
a) 故障跳闸后的重合闸 b) 瞬时停电后的重合闸

第 4 章 变频调速系统的控制

4. 1 变频器的外接主电路

外配器件

要适当!

4. 1. 1 外接主电路的配置

1. 变频器的输入主电路

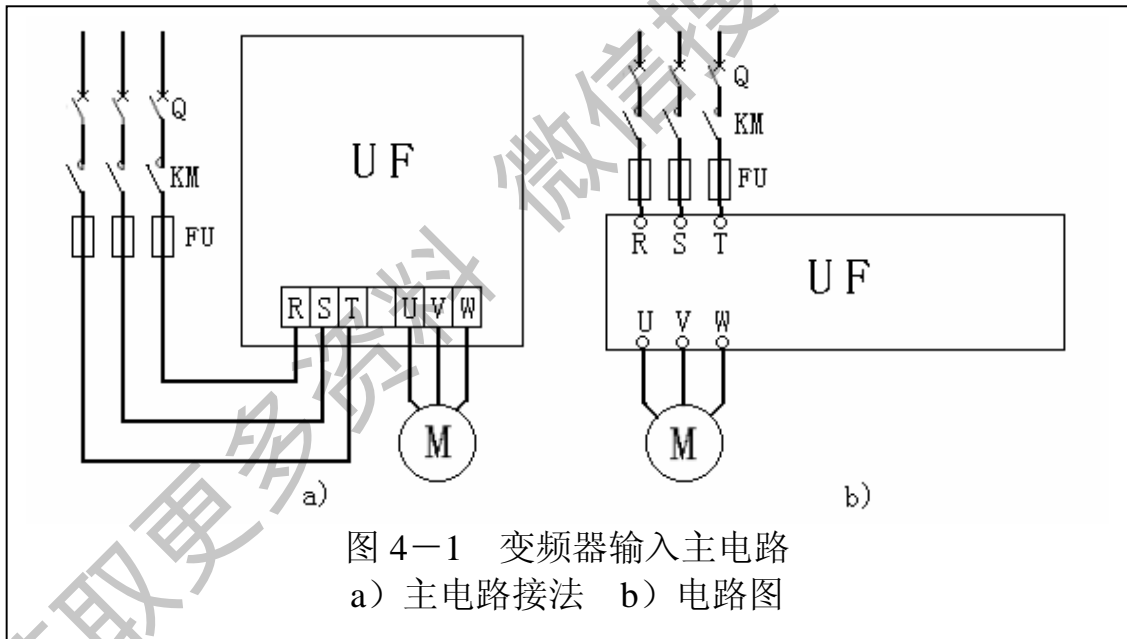
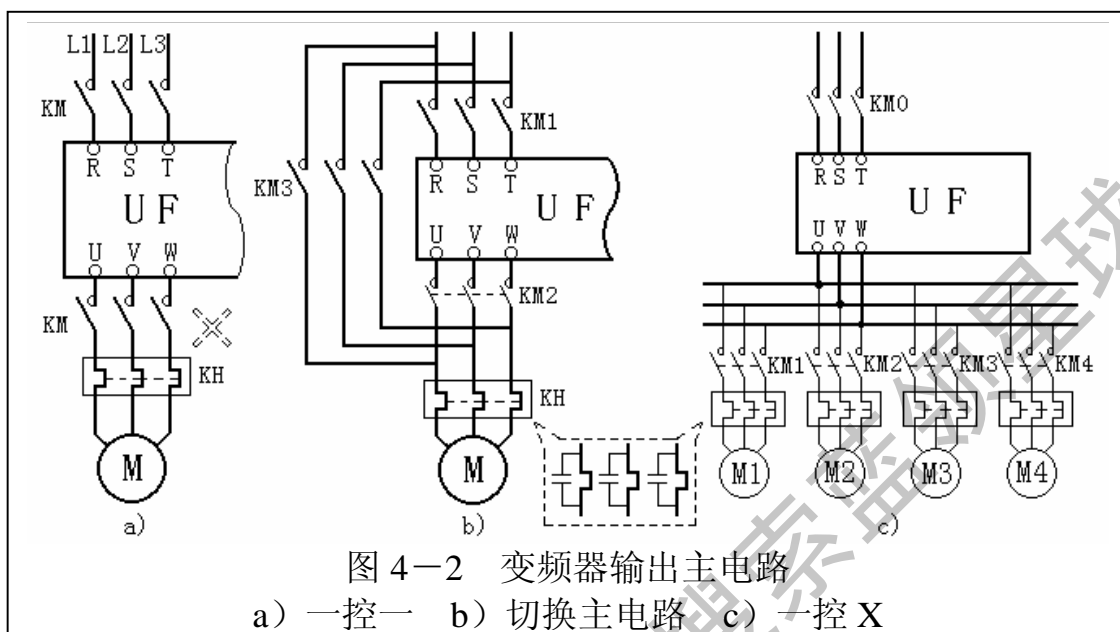


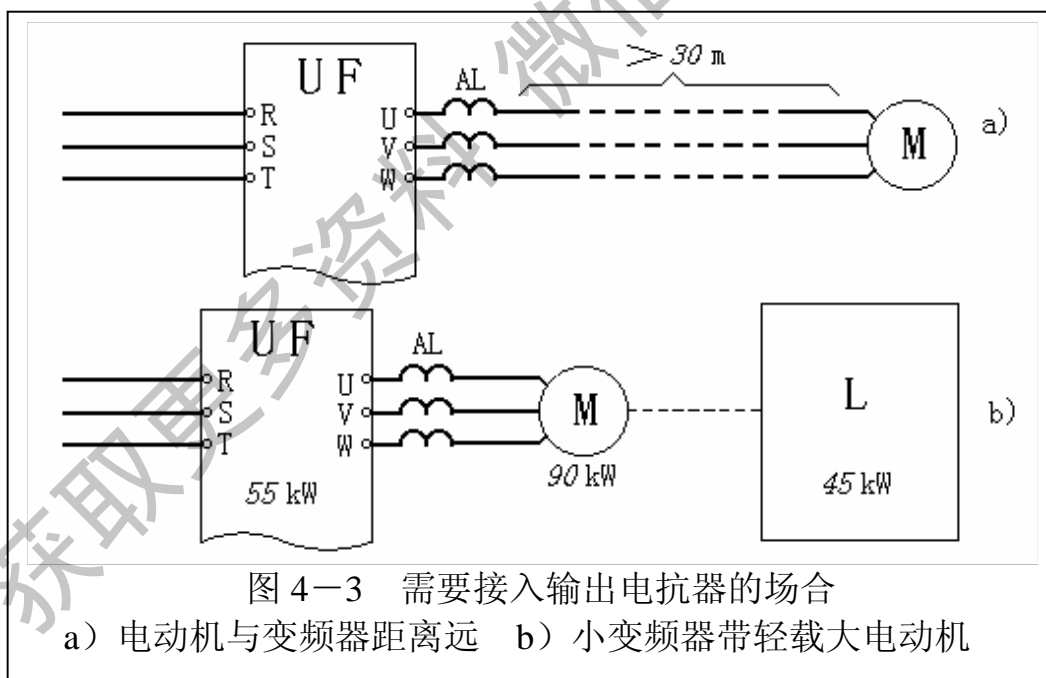
图 4-1 变频器输入主电路

a) 主电路接法 b) 电路图

2. 变频器的输出主电路

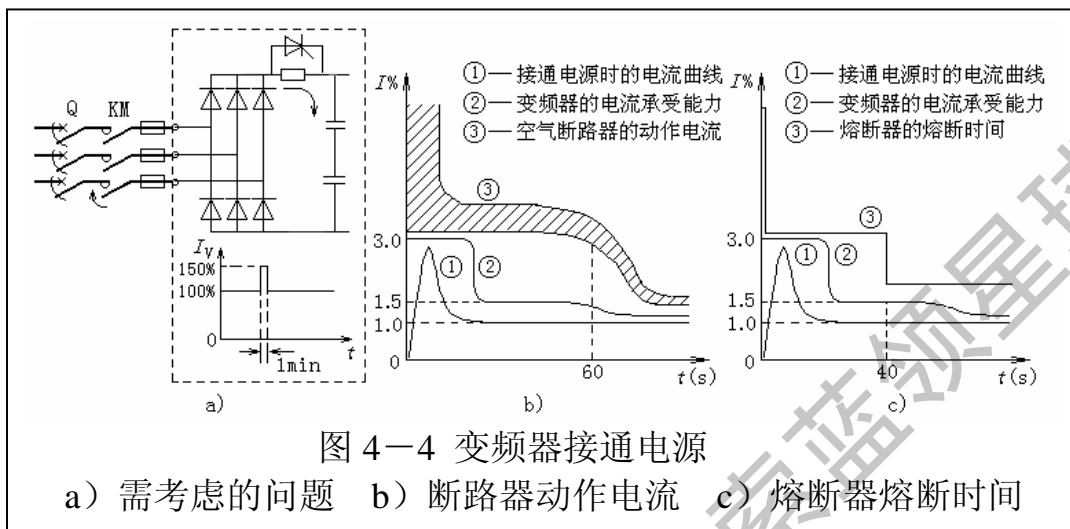


3. 变频器输出端需要接入电抗器的场合



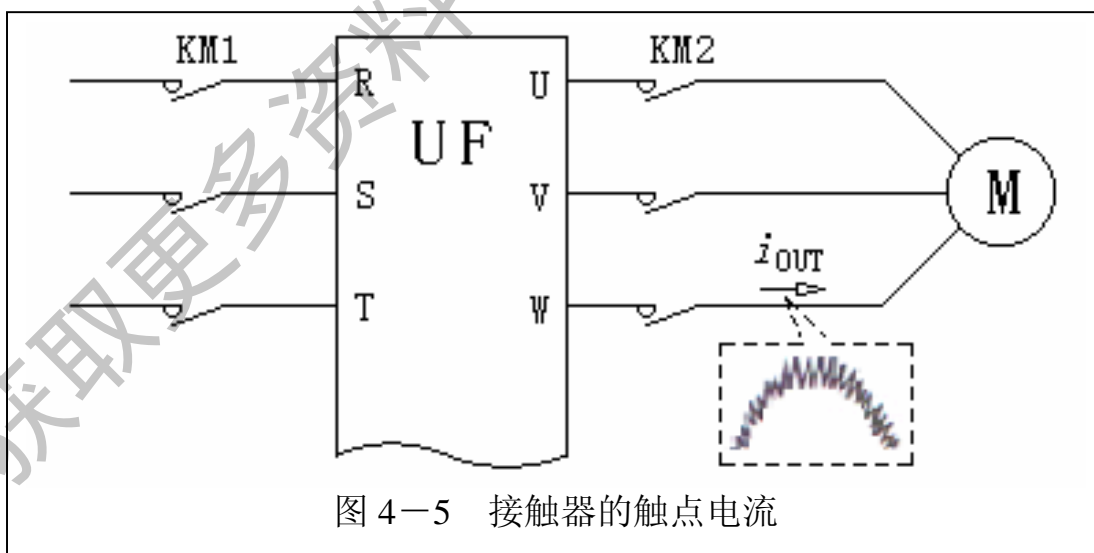
4. 1. 2 主要电器的选择

1. 空气断路器和熔断器



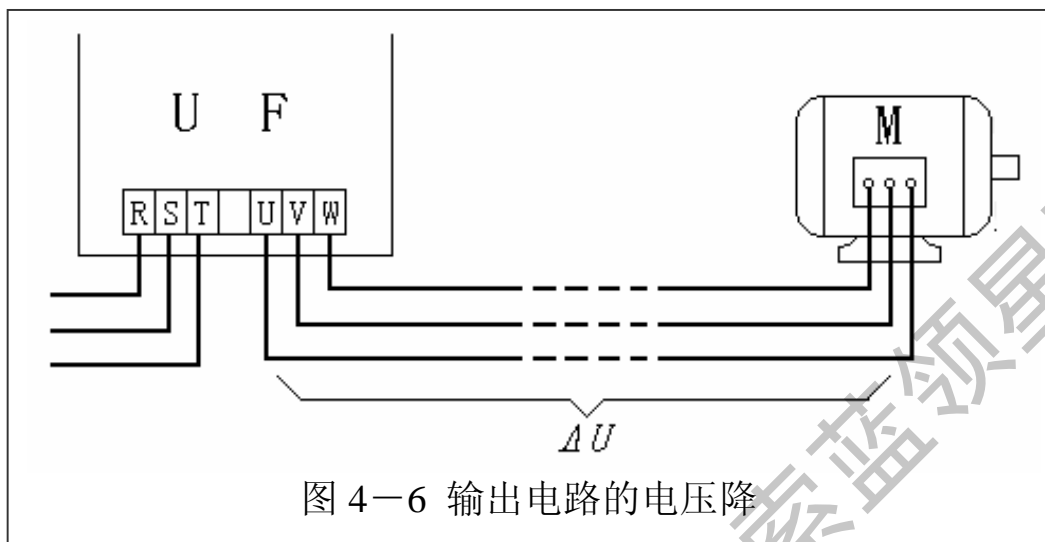
断路器: $I_{QN} \geq (1.3 \sim 1.4) I_N$
 熔断器: $I_{FN} \geq (1.5 \sim 1.6) I_N$

2. 接触器



KM1 选择: $I_{KM} \geq I_N$
 KM2 选择: $I_{KM} \geq 1.1 I_{MN}$

3. 变频器与电动机之间的导线



要求： $\Delta U \leq (2 \sim 3) \% U_N$

实例：某电动机的主要额定数据如下：

$P_{MN} = 37\text{kW}$, $U_{MN} = 380\text{V}$, $I_{MN} = 69.8\text{A}$ 。

输电距离为： $l = 100\text{m}$ ，导线截面为： 16mm^2

1. 工频运行

由电工手册查得：

选截面积为 16mm^2 的导线，允许长时间运行的电流为 73A 。

工频运行时，允许的电压降为：

$$\Delta U \leq 5\% \times 380 = 19\text{V}$$

2. 变频运行

允许的电压降为：

$$\Delta U \leq (2\% \sim 3\%) \times 380 = 7.6\text{V} \sim 11.4\text{V}$$

3. 线路电压降的计算

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} I_{MN} R_0 l}{1000}$$

式中， R_0 —单位长度导线的电阻， $\text{m}\Omega / \text{m}$ ；

查手册得： $R_0 = 1.10\text{m}\Omega / \text{m}$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \times 69.8 \times 1.10 \times 100}{1000} = 13.3\text{V} > 11.4\text{V}$$

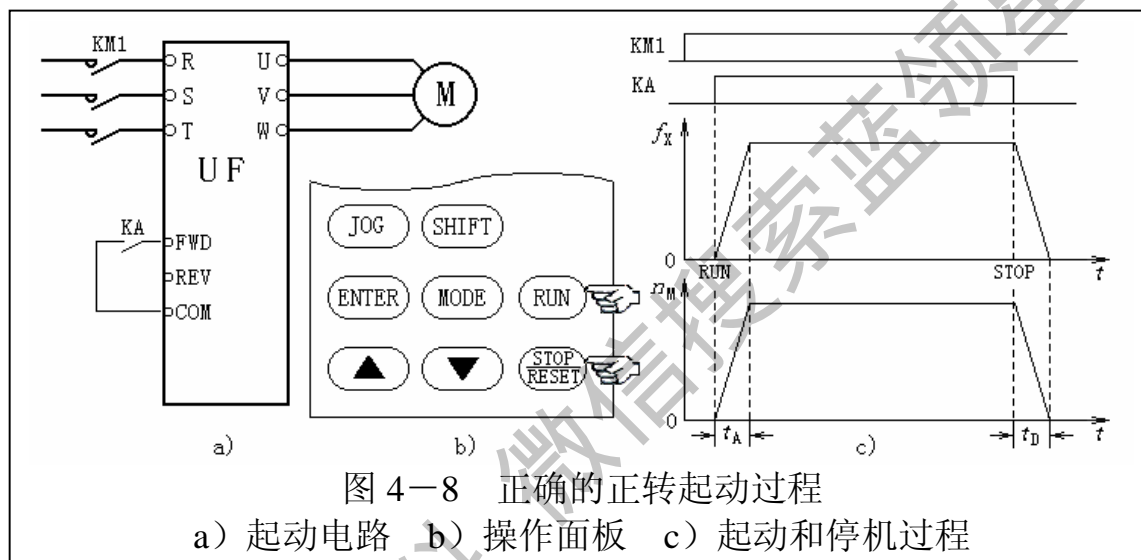
可见，变频运行时，导线应加粗。

4.2 电动机的正、反转控制电路

正转、反转有讲究！

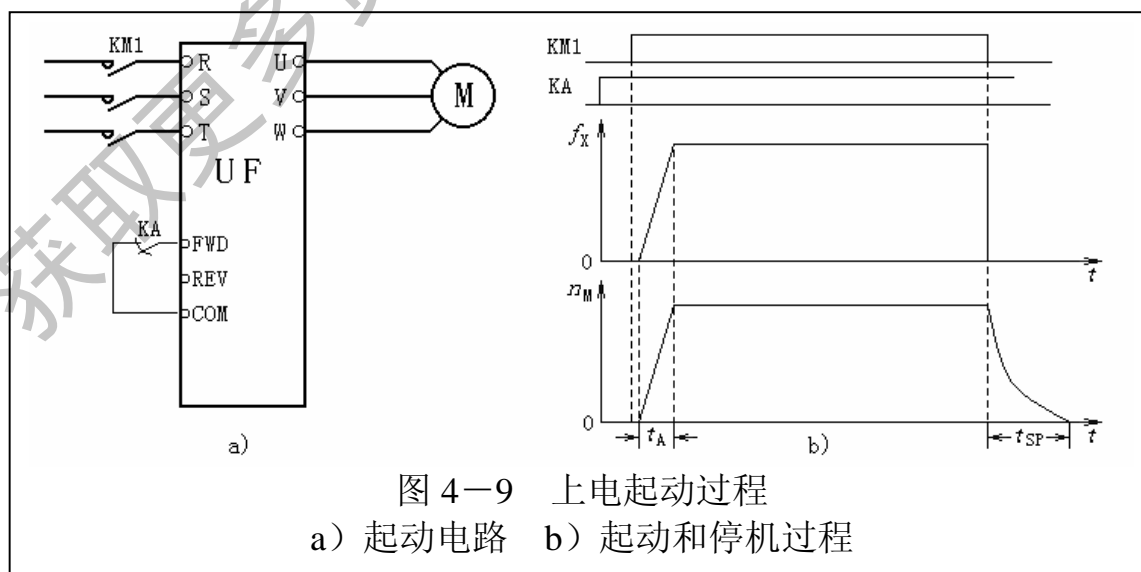
4.2.1 电动机的起动

1. 正确起动方式

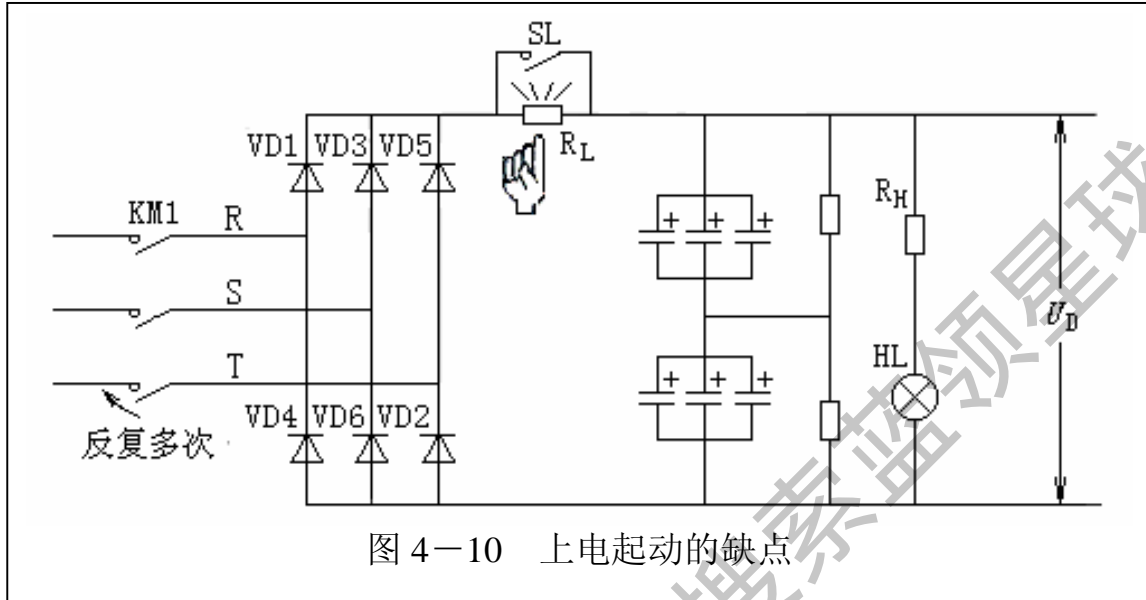


2. 上电起动及其缺点

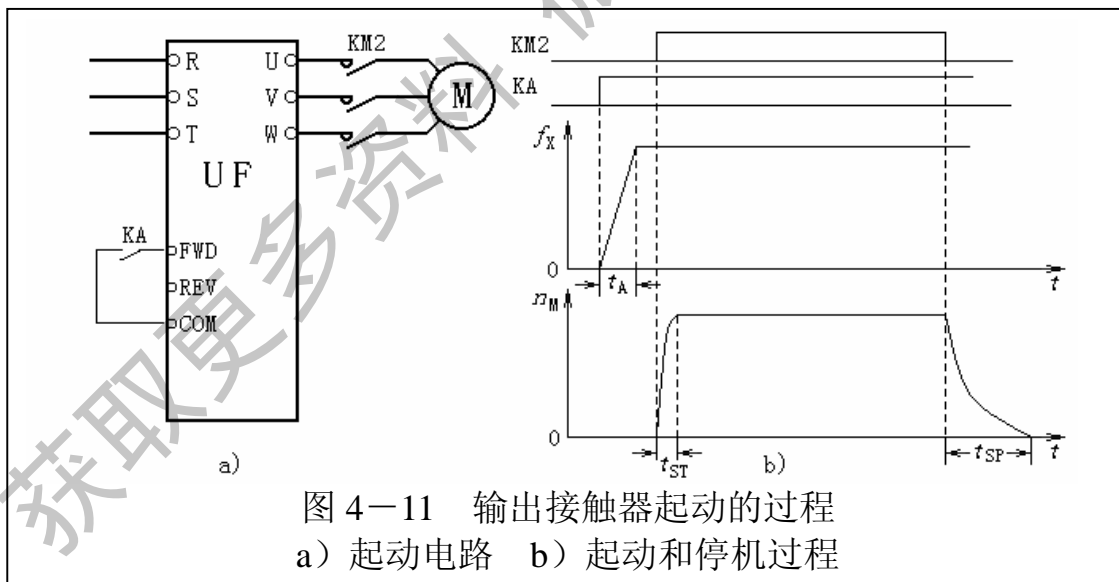
(1) 上电起动方式



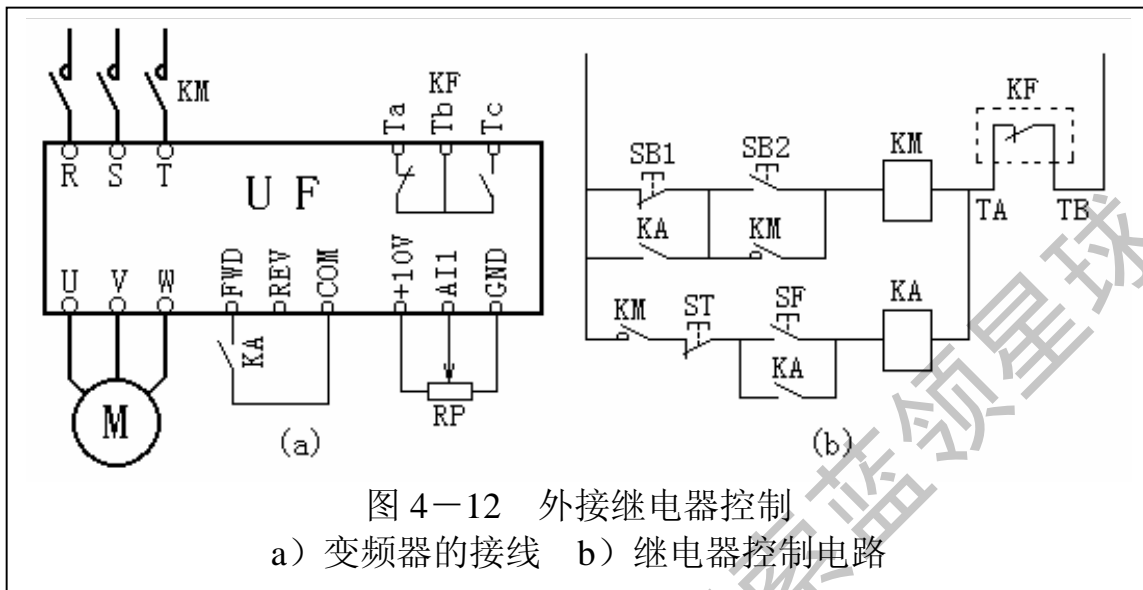
(2) 上电起动的缺点



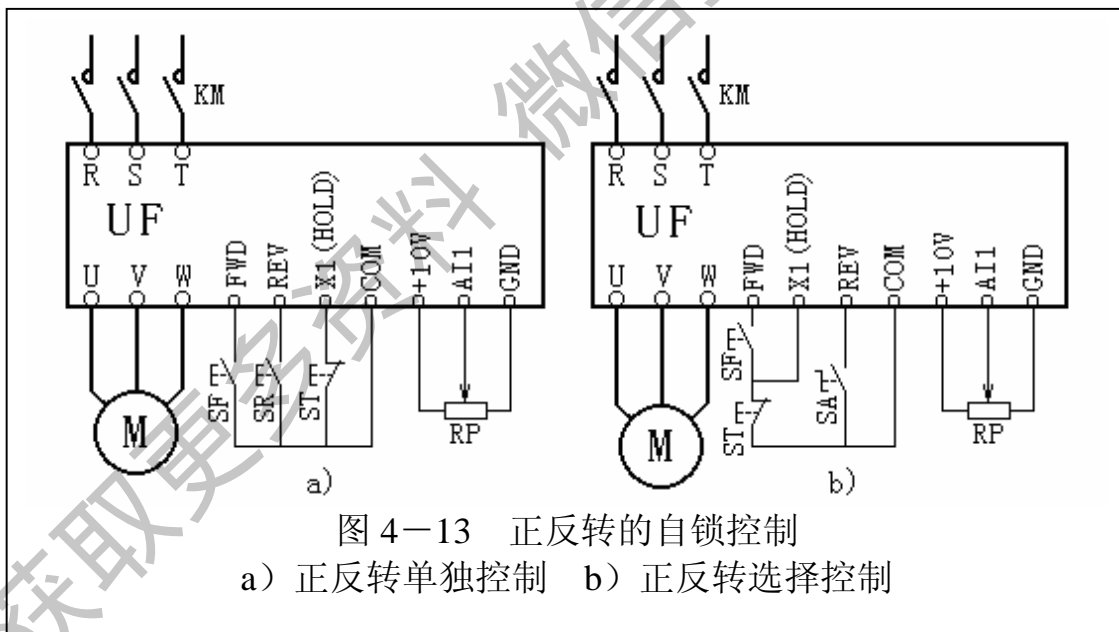
3. 输出接触器起动的过程



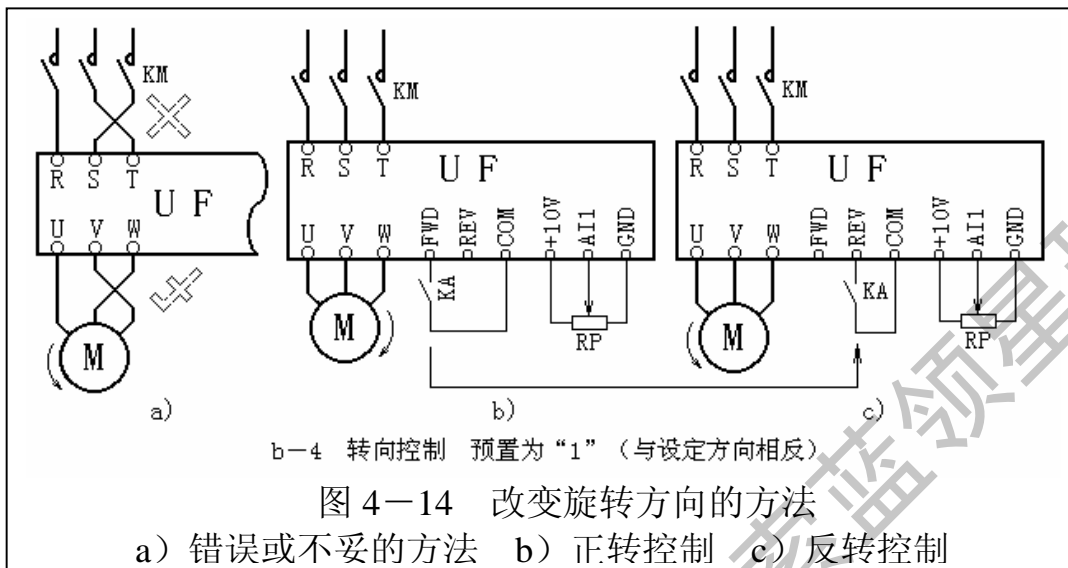
2. 继电器控制



3. 自锁控制（三线控制）控制



4. 2. 2 旋转方向的改变



获取更多资料 微信搜索 全球

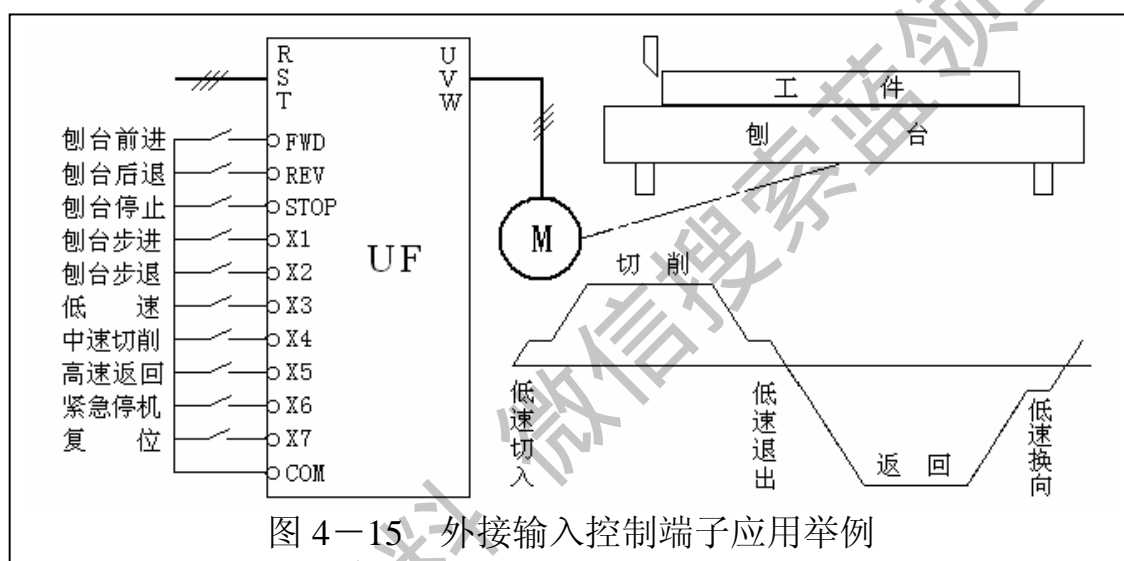
4.3 外接控制端子的应用

按需分配用端子!

4.3.1 输入控制端子举例

1. 外接输入端子应用举例

(1) 控制框图



(2) 功能预置

端子	用途	预置功能			
		功能码	功能名称	数据	数据码含义
X1	刨台步进	F5.01	X1 端子功能	9	正转点动控制
X2	刨台步退	F5.02	X2 端子功能	10	反转点动控制
X3	低速切削	F5.03	X3 端子功能	1	多段速度端子 1
X4	中速切削	F5.04	X4 端子功能	2	多段速度端子 2
X5	高速返回	F5.05	X5 端子功能	3	多段速度端子 3
X6	紧急停机	F5.06	X6 端子功能	6	外部故障常开输入
X7	故障复位	F5.07	X7 端子功能	8	外部复位输入
		F2.24	多段频率 1	20	低速时运行频率
		F2.25	多段频率 2	40	切削时运行频率
		F2.26	多段频率 3	60	返回时运行频率

2. 多挡转速控制

(1) 控制要点

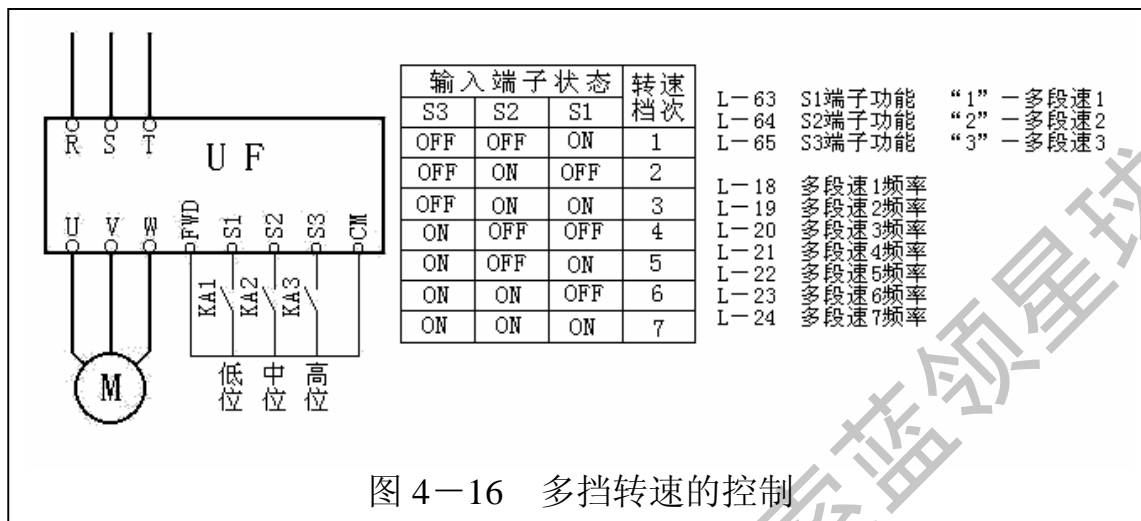


图 4-16 多挡转速的控制

(2) 控制电路

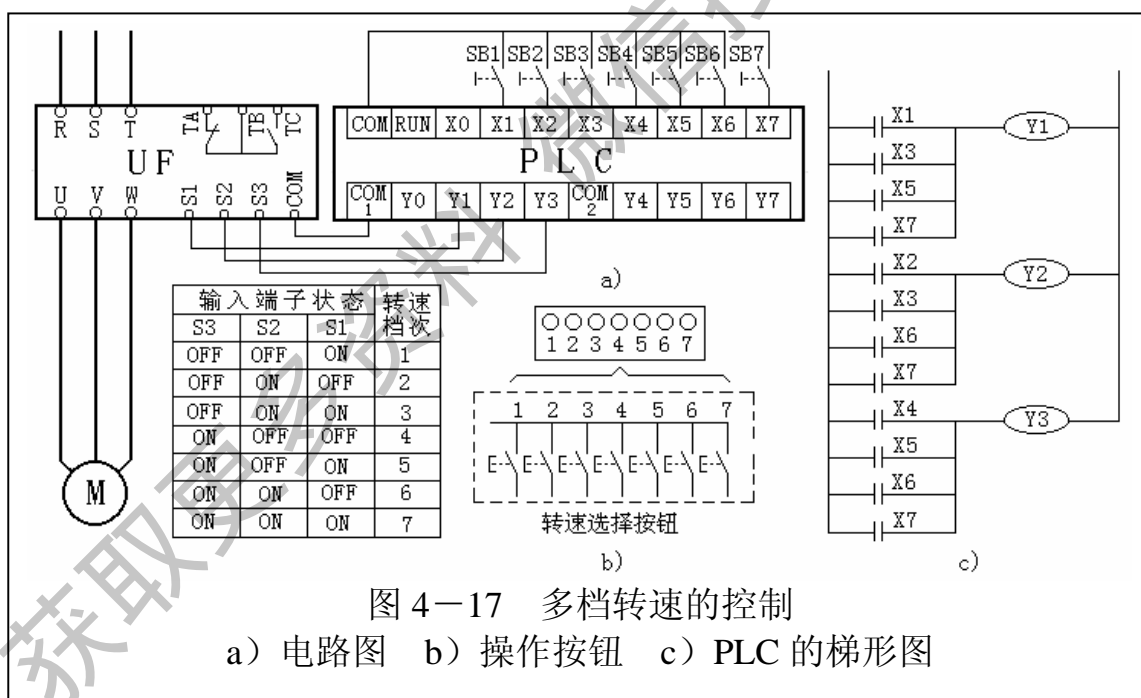


图 4-17 多挡转速的控制

a) 电路图 b) 操作按钮 c) PLC 的梯形图

休 息 15 分 钟

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

4. 3. 2 输出控制端子的应用举例

1. 报警输出端

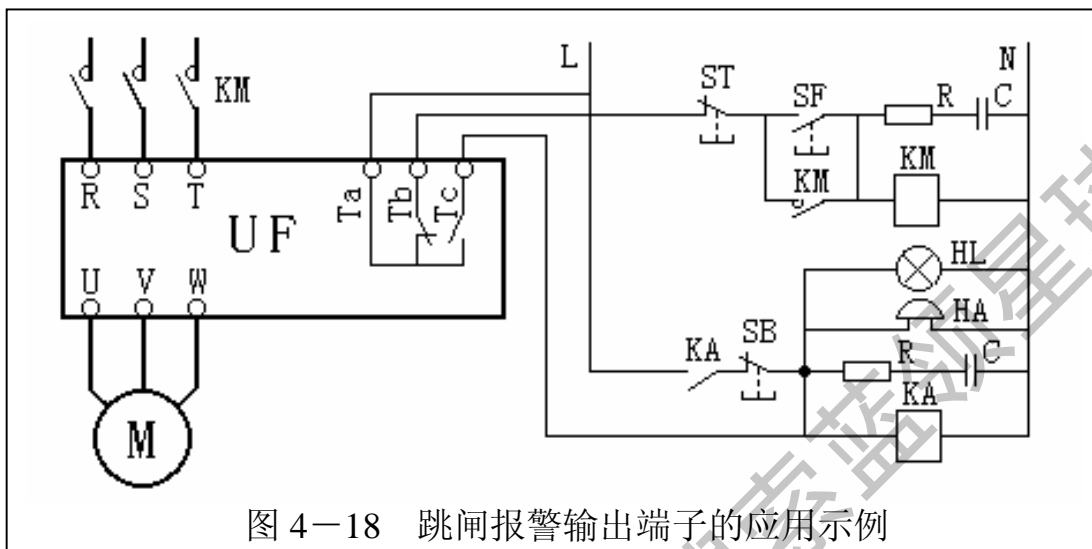


图 4-18 跳闸报警输出端子的应用示例

2. 状态显示输出端

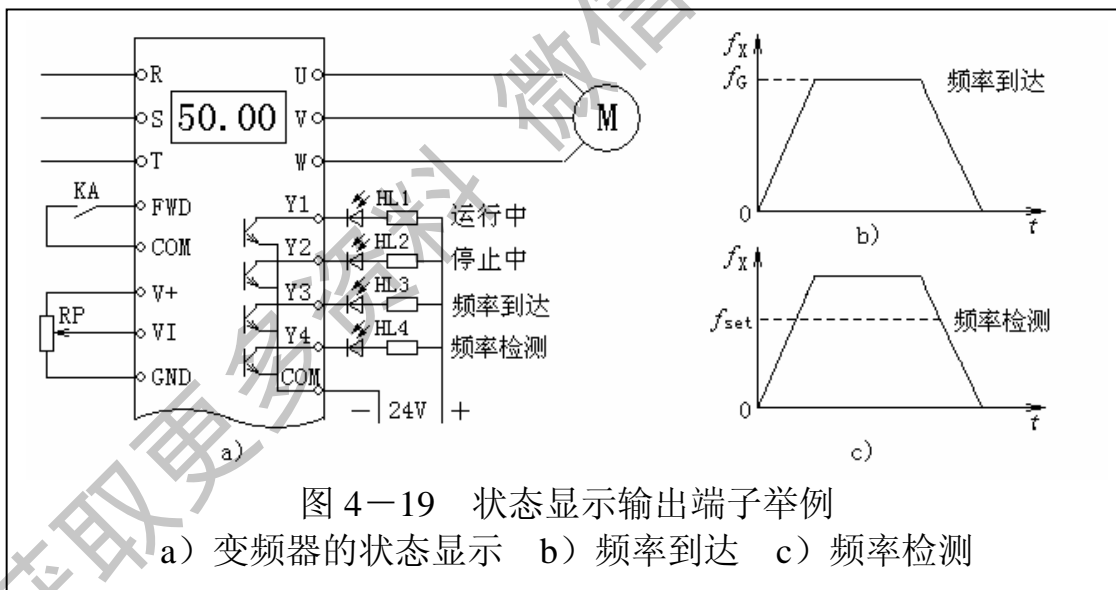


图 4-19 状态显示输出端子举例

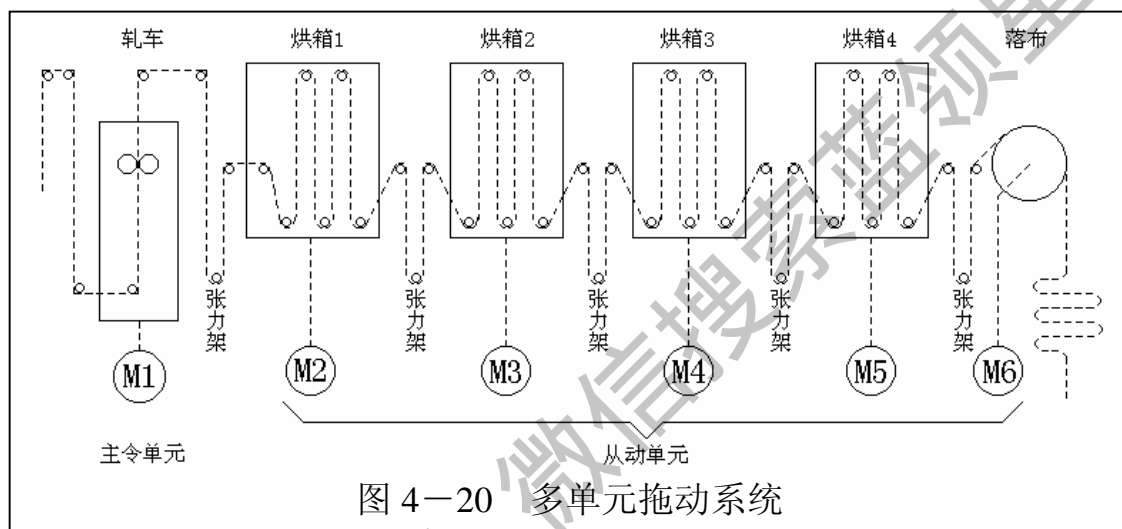
a) 变频器的状态显示 b) 频率到达 c) 频率检测

4.4 多单元拖动系统的同步控制

步调一致需微调!

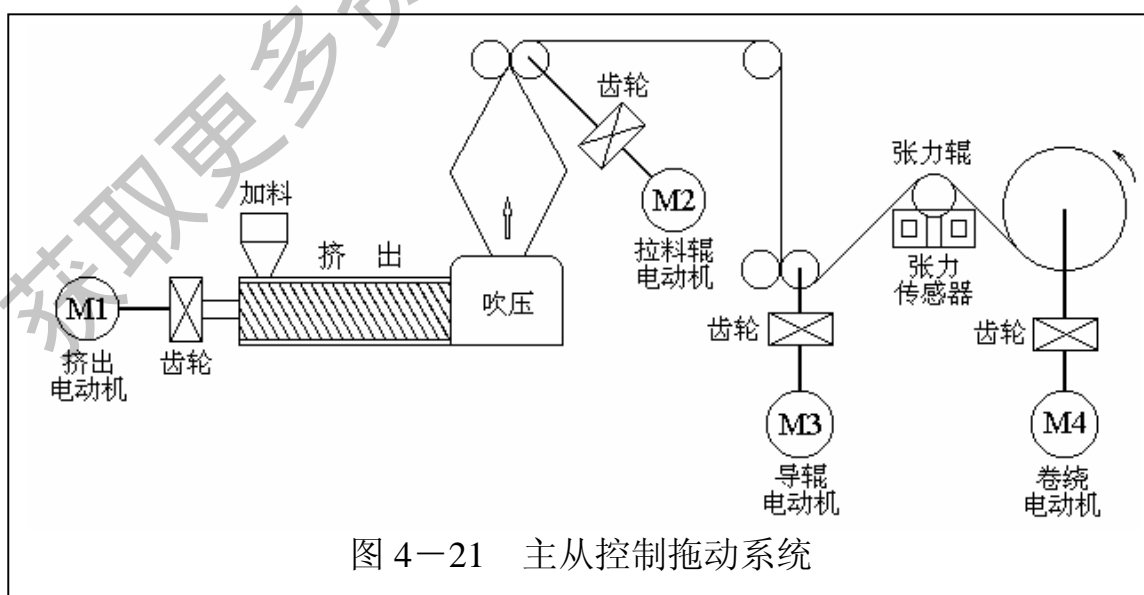
4.4.1 同步控制

1. 同步控制的概念



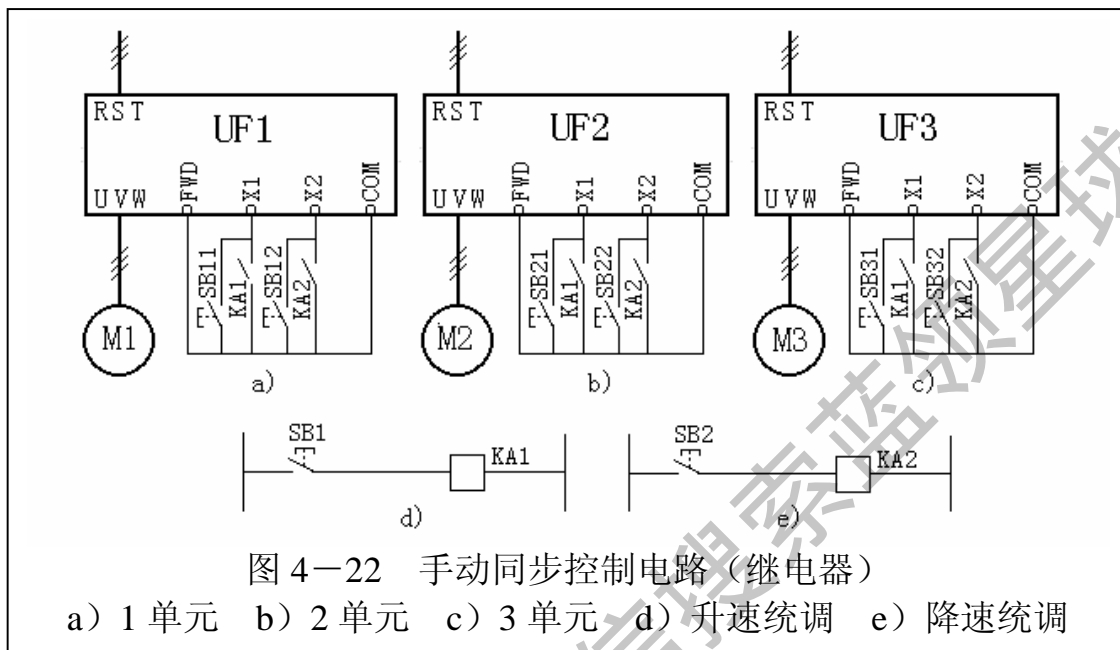
要求: $v_1 = v_2 = v_3 = v_4 = v_5 = \dots$

2. 主从控制

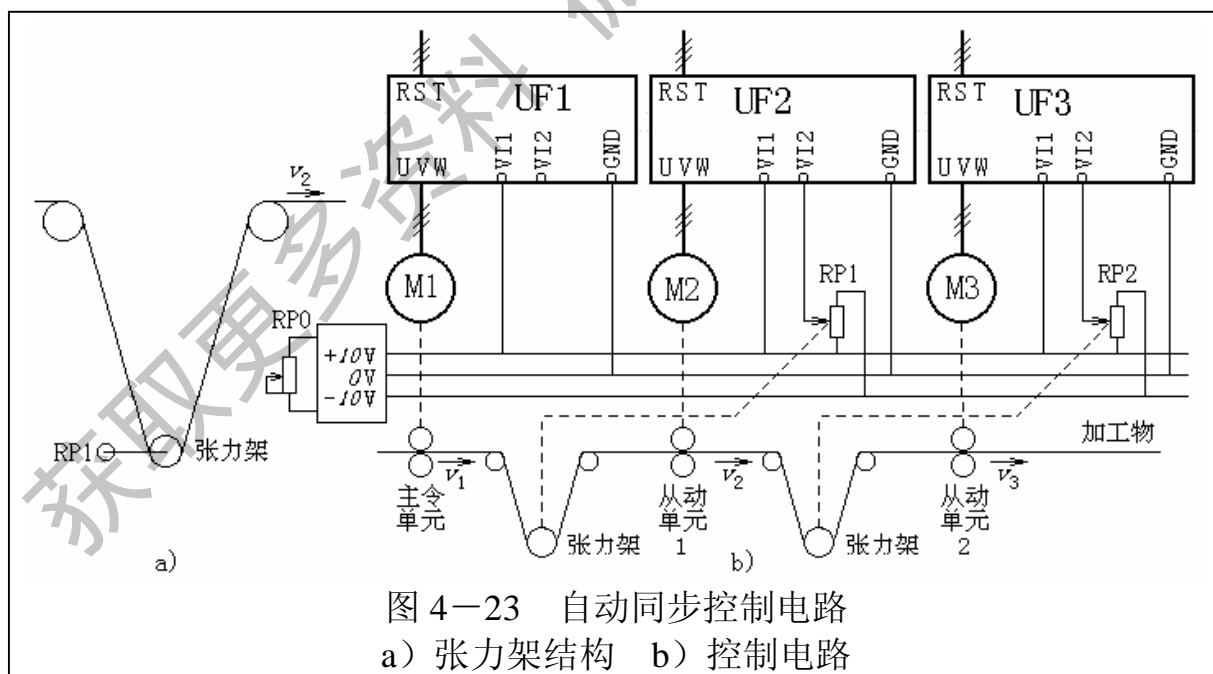


4. 4. 2 同步控制的实现

1. 手动微调的同步控制之一



2. 自动微调的同步控制



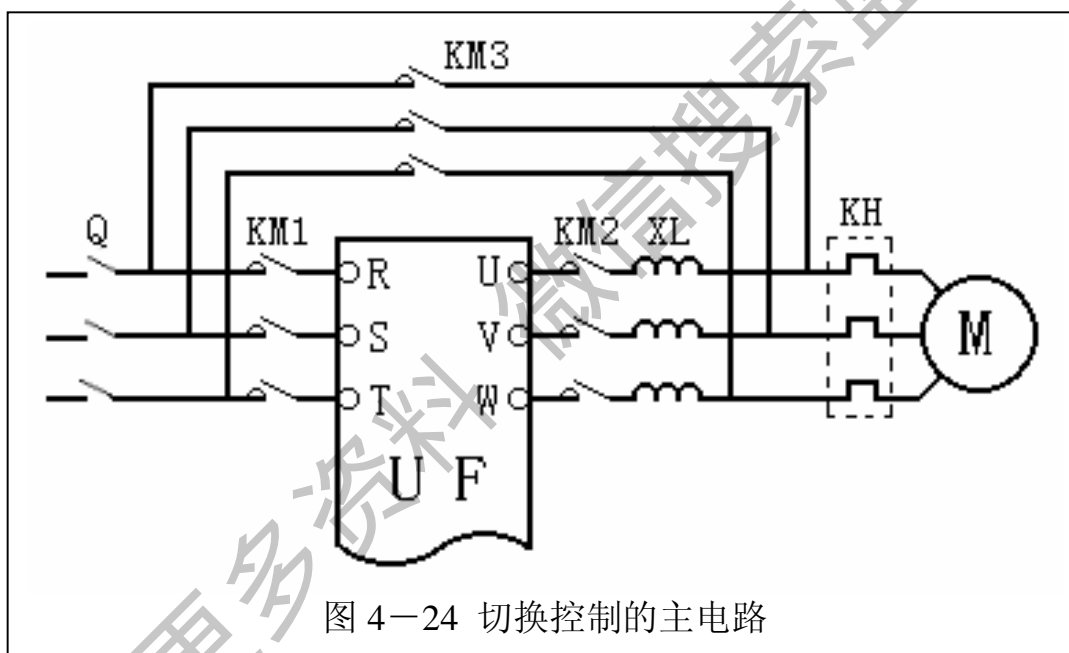
4.5 变频与工频的切换控制

切换跳闸

原因找

4.5.1 切换控制的要点

1. 切换控制的主电路

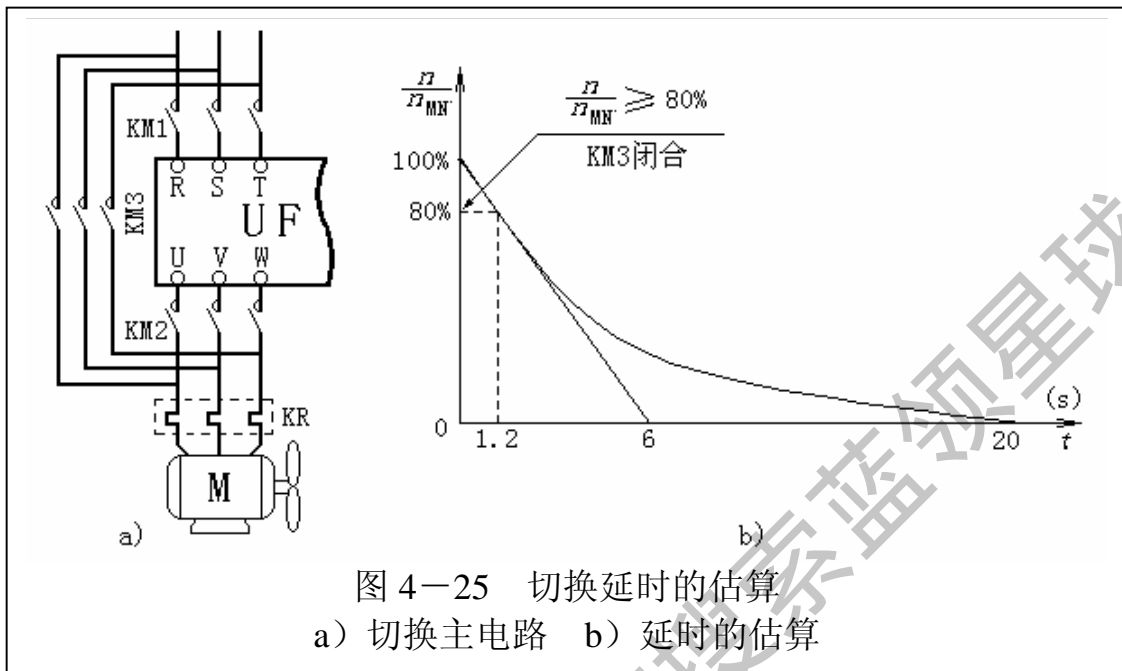


2. 切换控制要点

- (1) KM2 和 KM3 必须可靠互锁；
 - (2) 电动机切换到工频时，其转速应不低于额定转速的 80%。
- ∴ 必须正确决定切换延时（时间继电器 KT 的延时整定）。

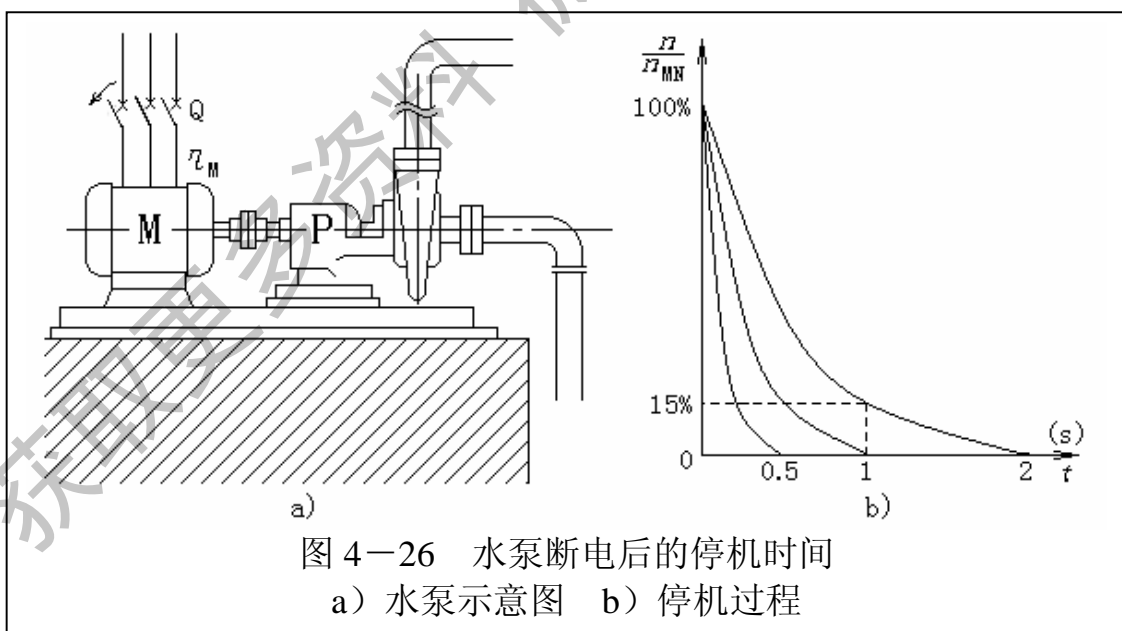
<http://www.plcworld.cn>

3. 风机的切换延时



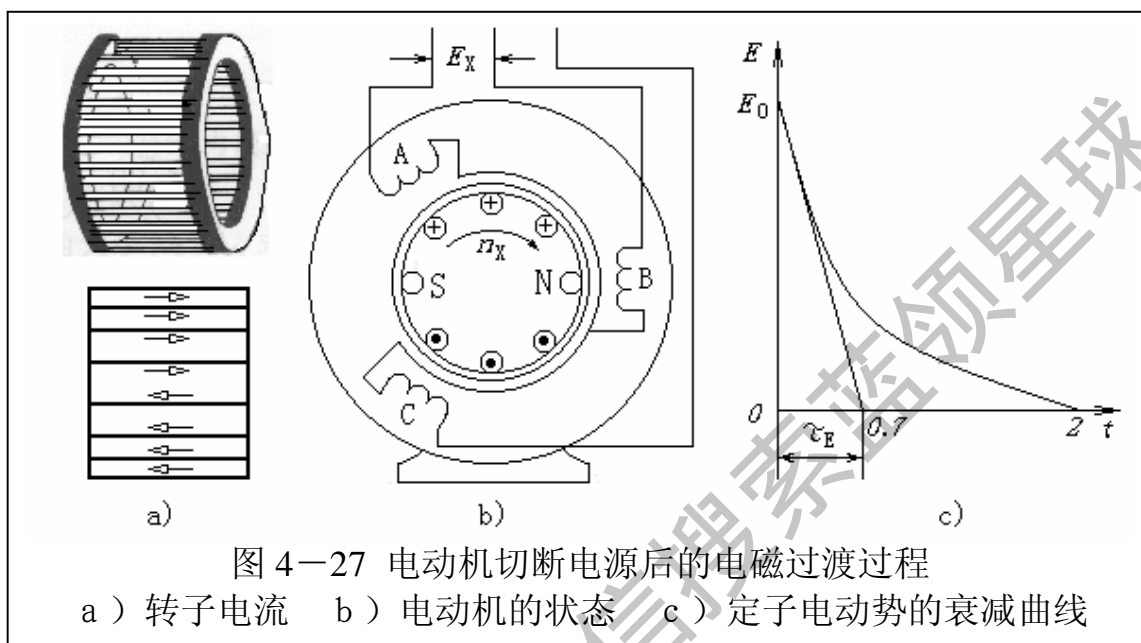
4. 5. 2 水泵的切换控制

1. 水泵断电后的时间常数

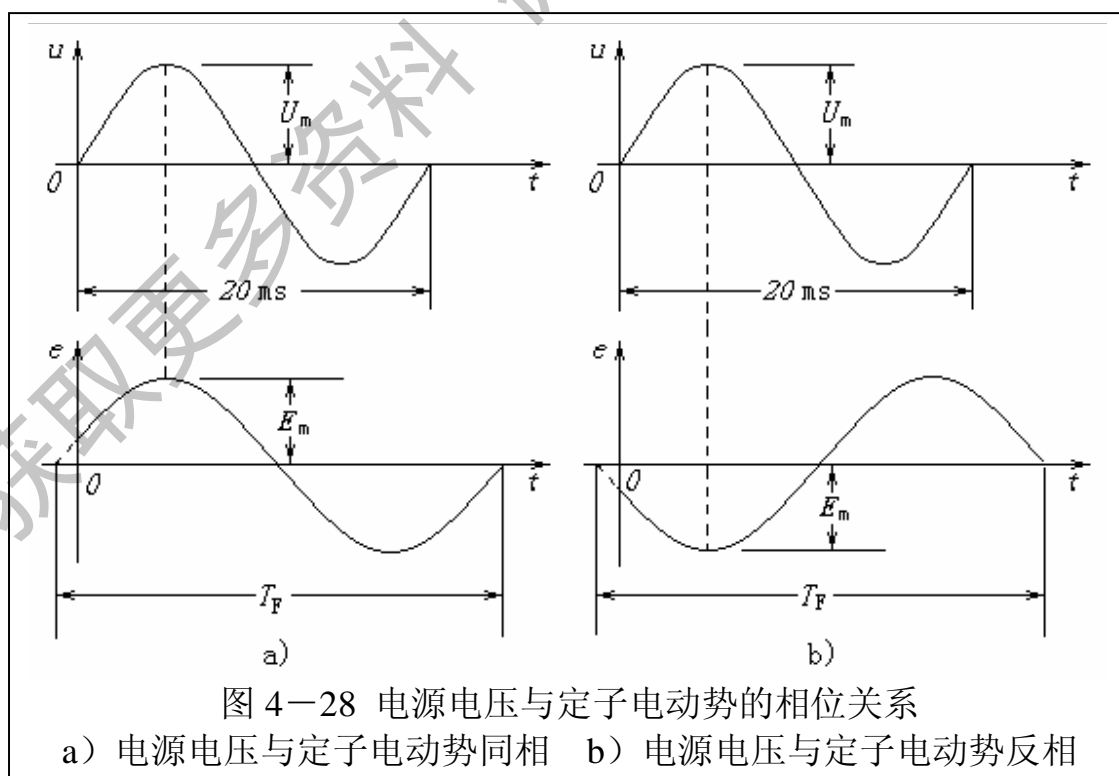


2. 存在问题

- (1) 延时过长 工频直接起动
- (2) 延时适宜 电动机切断电源后的电磁过渡过程尚未结束



3. 电源电压与定子电动势的相位关系



4. “差频同相”切换法

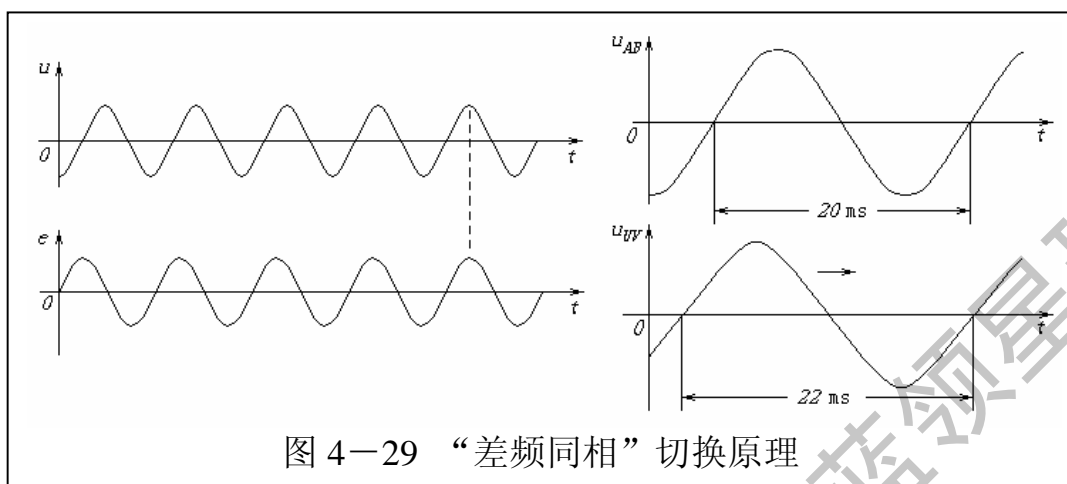


图 4-29 “差频同相”切换原理

4. 5. 3 工频→变频的切换时序

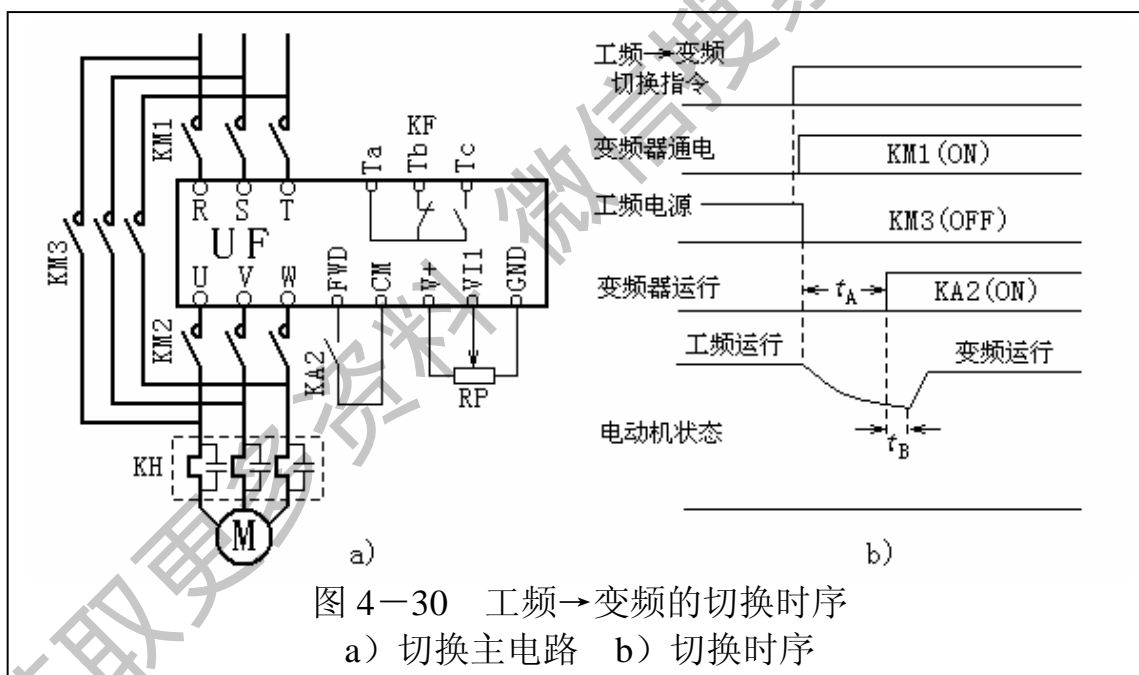


图 4-30 工频→变频的切换时序

a) 切换主电路 b) 切换时序

睦邻友好

抗干扰!

4. 6 主电路的干扰问题

4. 6. 1 变频器的干扰源

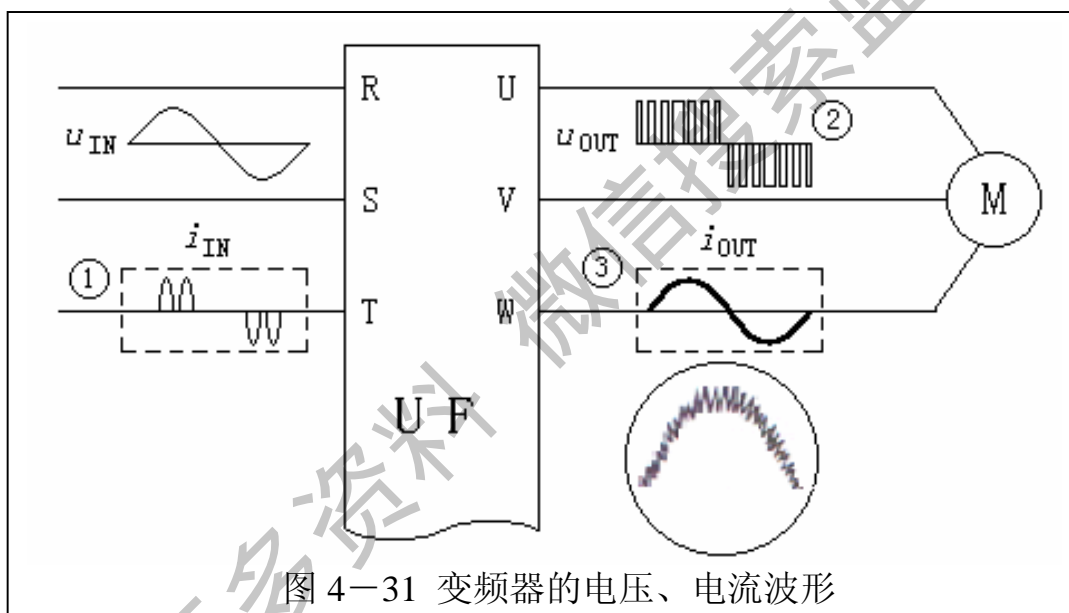
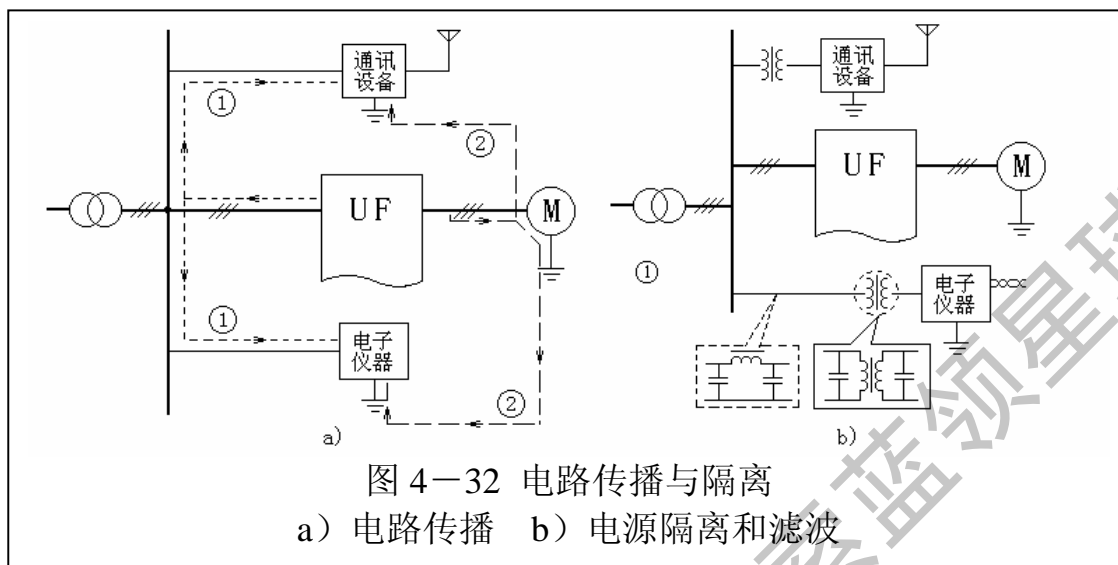


图 4-31 变频器的电压、电流波形

获取更多资料 微信订阅号 蓝领星球

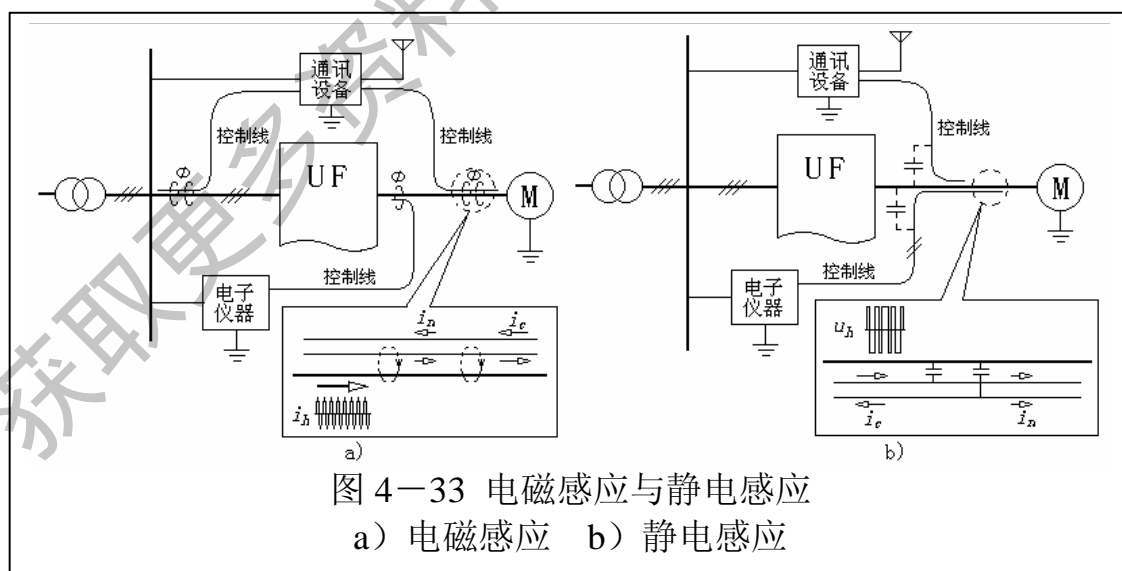
4. 6. 2 电路耦合引起的干扰



4. 6. 3 感应耦合引起的干扰

1. 干扰方式

- (1) 电磁感应方式 这是电流干扰信号的主要传播方式；
- (2) 静电感应方式 这是电压干扰信号的主要传播方式。



2. 削弱方法

远离、相绞、屏蔽、不平行

(1) 控制线的屏蔽

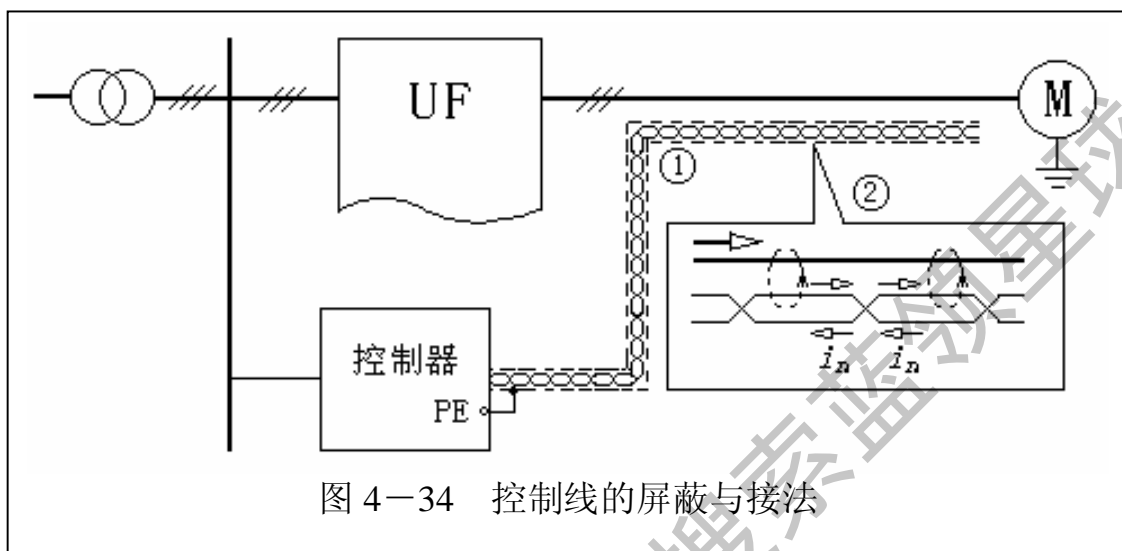


图 4-34 控制线的屏蔽与接法

(2) 主电路的屏蔽

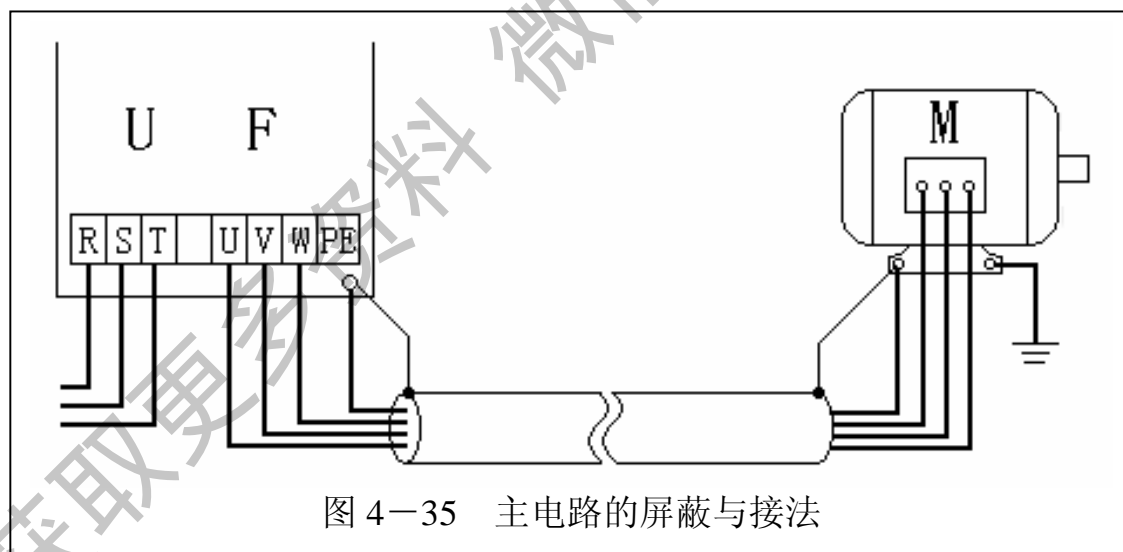
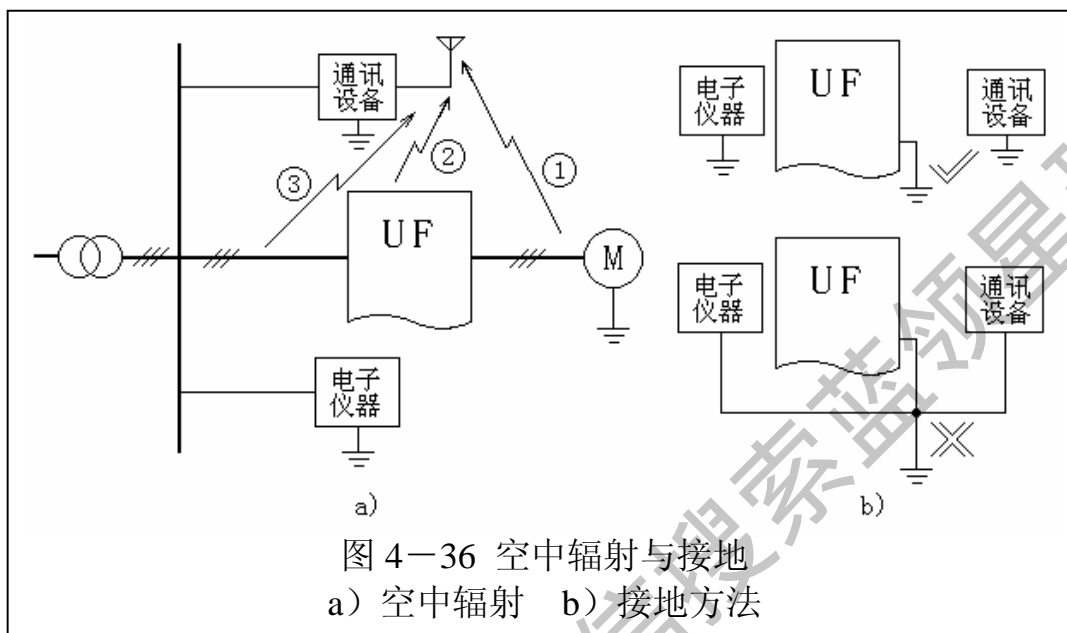


图 4-35 主电路的屏蔽与接法

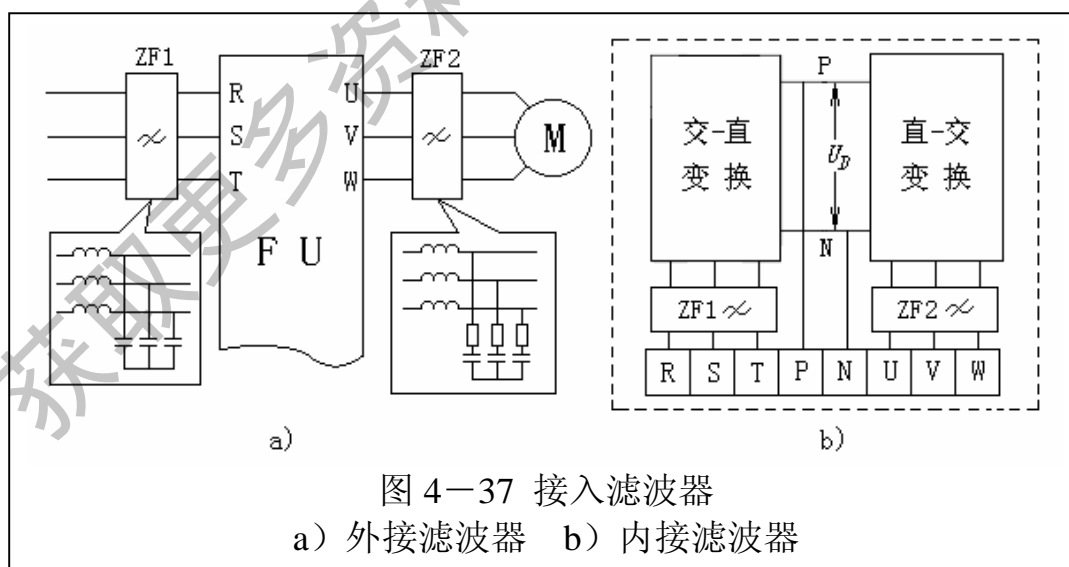
4. 6. 4 电磁辐射引起的干扰

1. 干扰方式



2. 削弱方法

- (1) 准确接地
- (2) 接入滤波器



休 息 15 分 钟

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

加强监督

用闭环!

4.7 变频器的闭环控制

4.7.1 闭环控制的目的

1. 空气压缩机的恒压要求

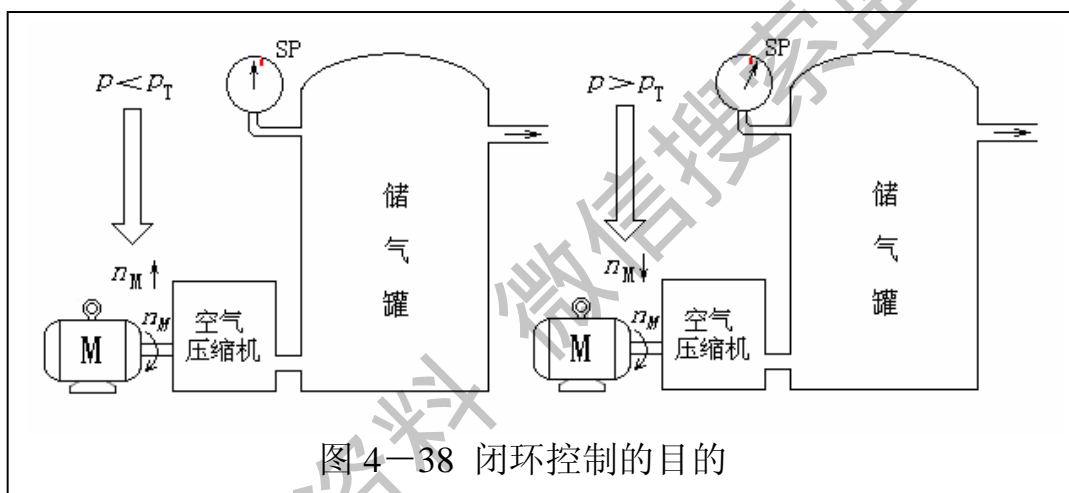
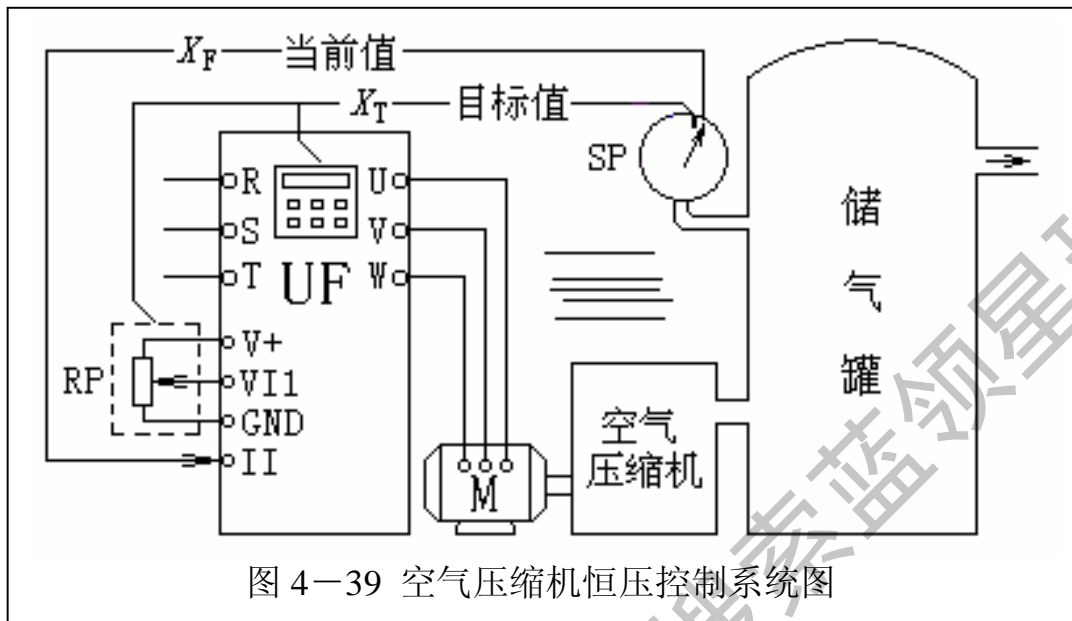


图 4—38 闭环控制的目的

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

2. 空气压缩机恒压控制系统图



3. 系统的工作

设： X_T —目标信号，其大小与所要求的储气罐压力相对应，也称目标值；

X_F —压力变送器的反馈信号（被控信号），其大小与储气罐的实际压力相对应，也称实际值。

则：变频器输出频率 f_X 的大小由合成信号 $(X_T - X_F)$ 决定。

如 $p > p_T$ ：

则 $X_F > X_T \rightarrow (X_T - X_F) < 0$
 $\rightarrow f_X \downarrow \rightarrow n_M \downarrow$
 $\rightarrow p \downarrow \rightarrow X_F \downarrow$
 \rightarrow 直至 $(X_F \approx X_T)$ 为止。

反之，如 $p < p_T$ ：

则 $X_F < X_T \rightarrow (X_T - X_F) > 0$
 $\rightarrow f_X \uparrow \rightarrow n_M \uparrow$
 $\rightarrow p \uparrow \rightarrow X_F \uparrow$
 \rightarrow 直至 $(X_F \approx X_T)$ 为止。

4. 7. 2 P I D调节的概念

1. 问题的提出

控制的依据： $(X_T - X_F)$

控制的目标： $(X_F \approx X_T) \rightarrow (X_T - X_F) \approx 0$

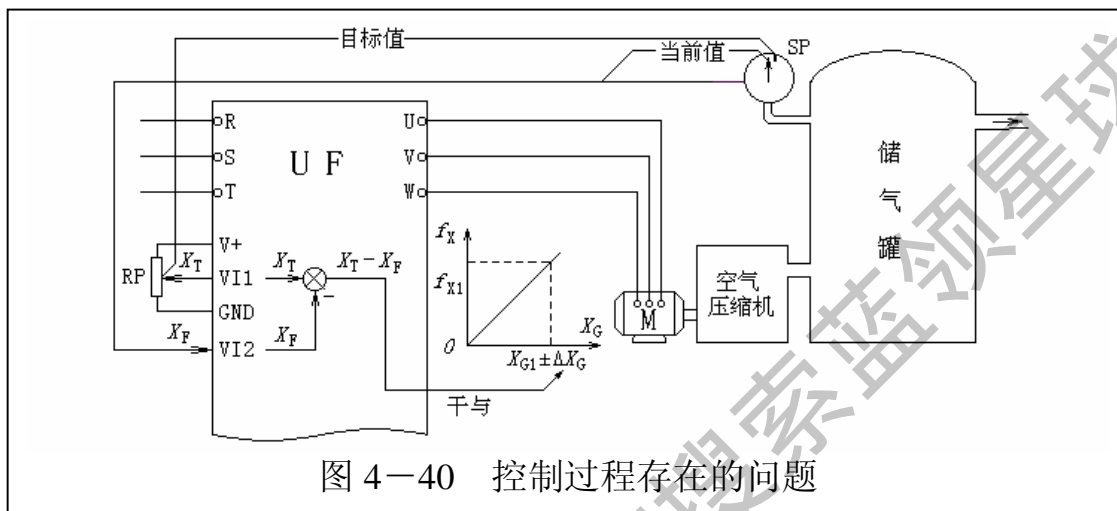


图 4-40 控制过程存在的问题

2. 比例增益环节 (P)

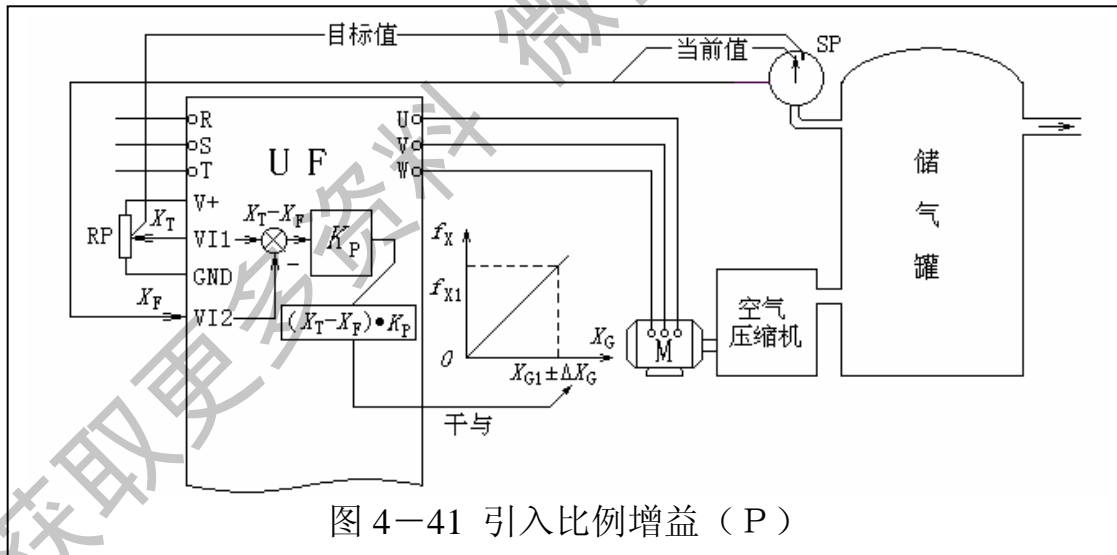
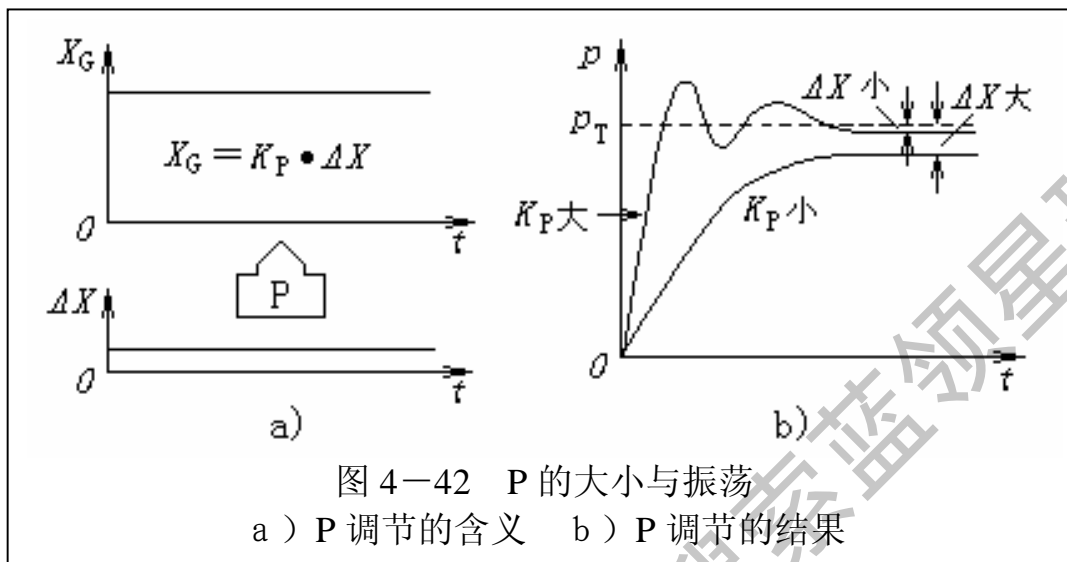


图 4-41 引入比例增益 (P)

表 3-2 比例增益与静差的关系

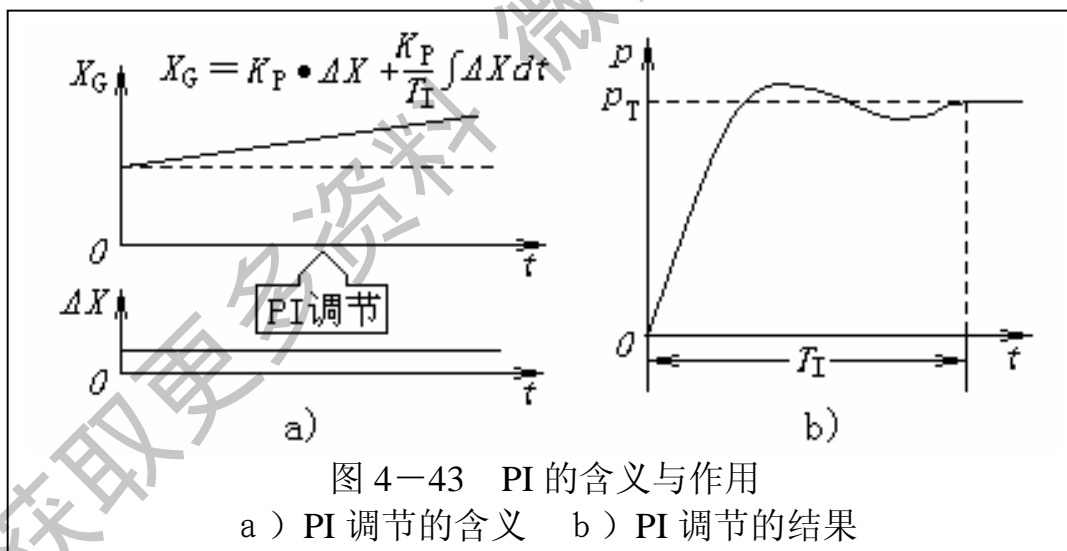
ΔX (操作量)	1V				
K_P (比例增益)	10	100	1000	10000	100000
$\epsilon = X_T - X_F$ (静差)	0.1	0.01	0.001	0.0001	0.00001

3. P 调节出现的问题



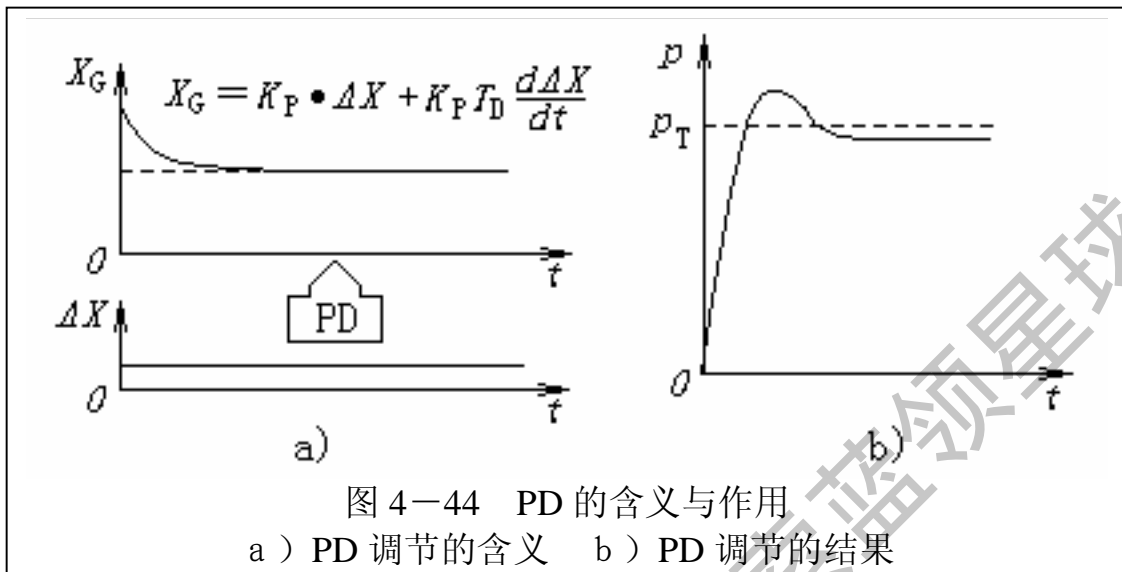
4. PI 调节

(1) 基本含义

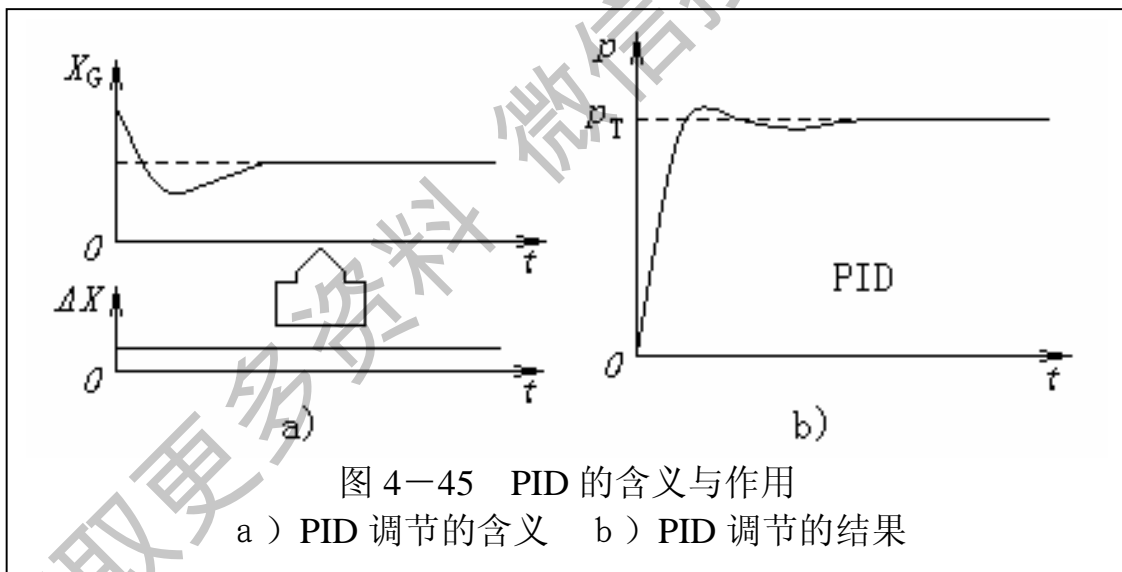


<http://www.plcworld.cn>

5. PD 调节

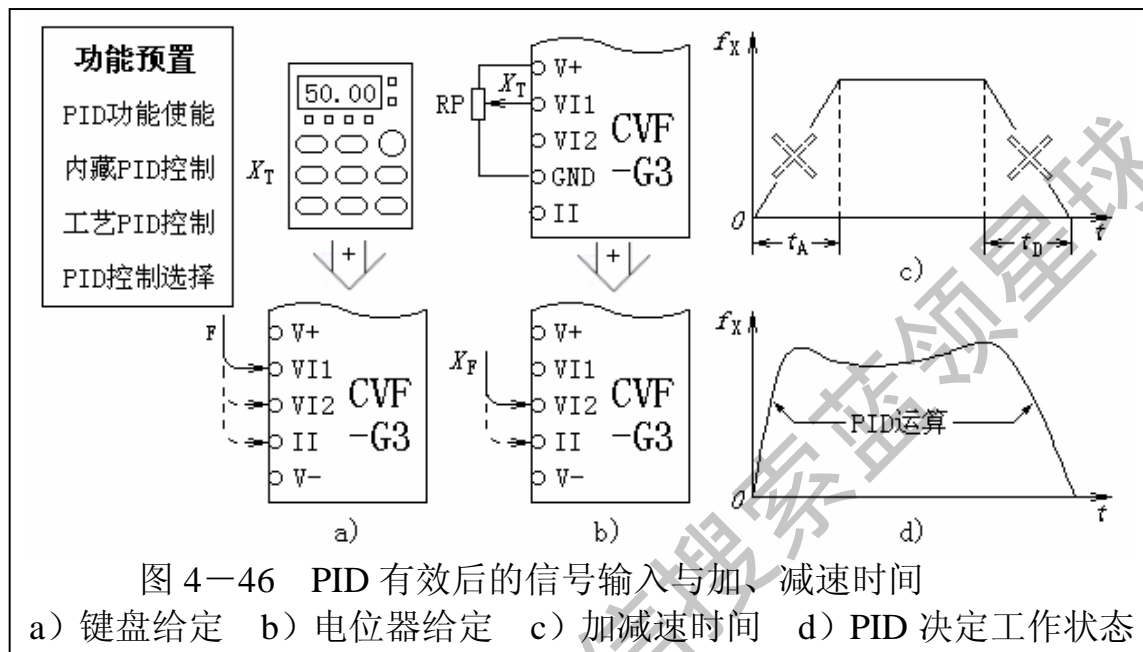


6. PID 调节



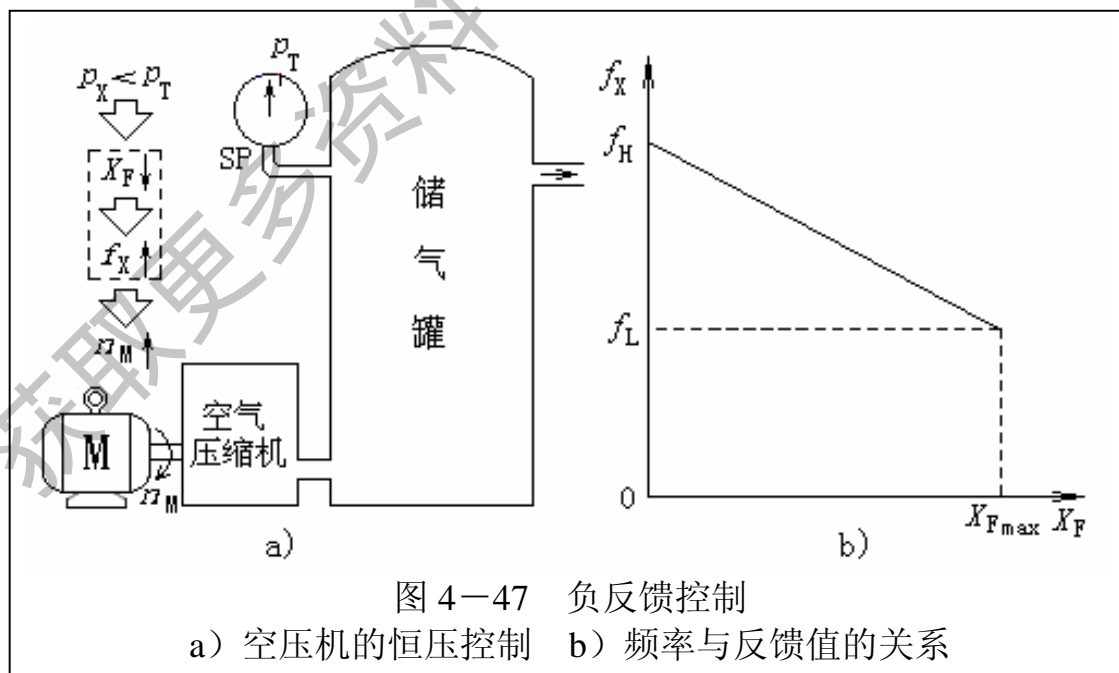
4. 7. 3 变频器的PID功能

1. 目标信号与反馈信号的接入

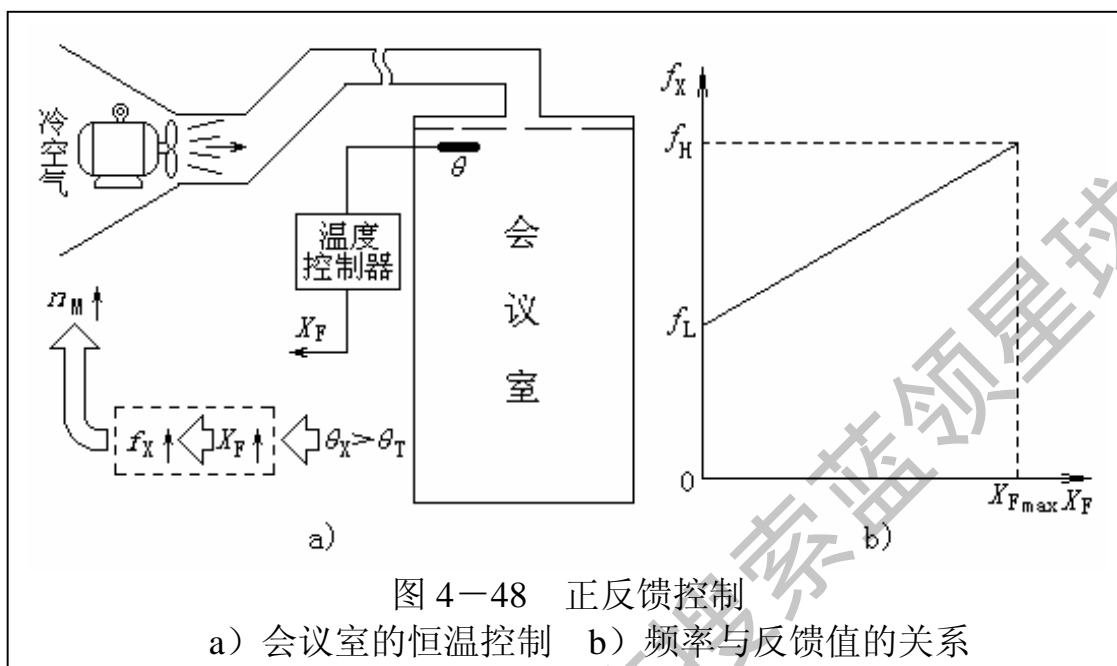


2. PID 的控制逻辑

(1) 负反馈



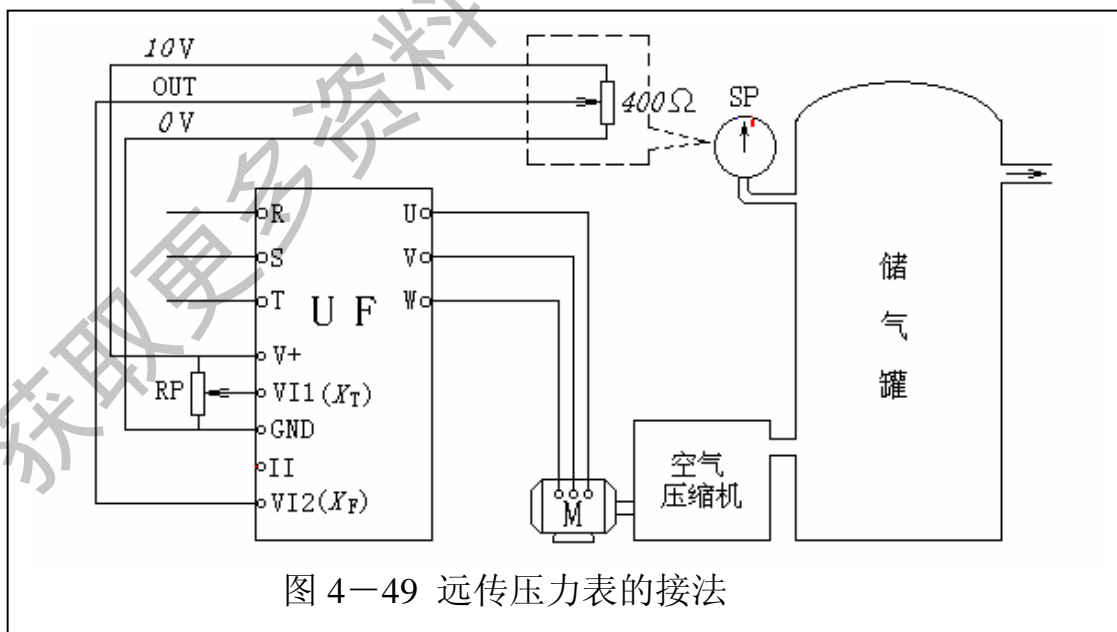
(2) 正反馈



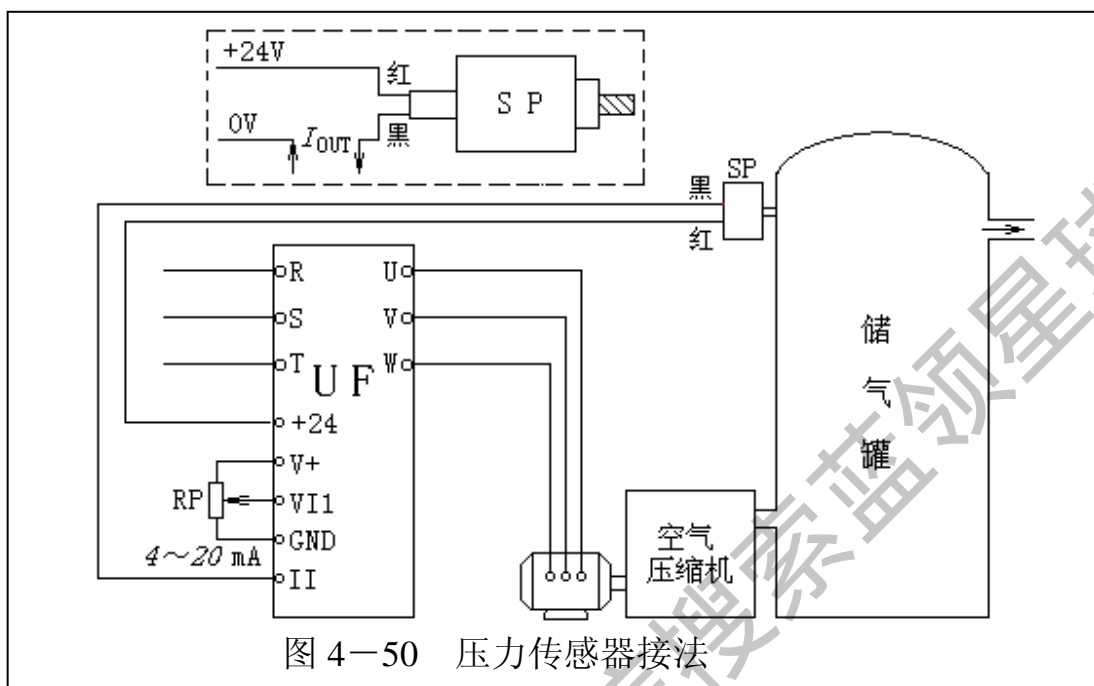
4. 6. 4 闭环控制的实施

1. 传感器的接线

(1) 使用远传压力表

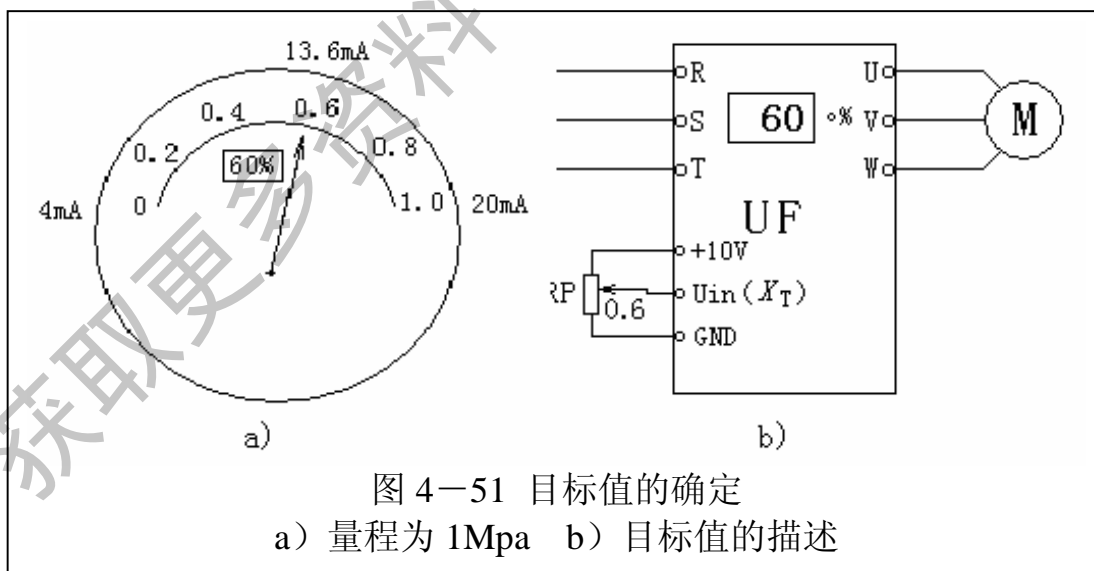


(2) 使用压力传感器



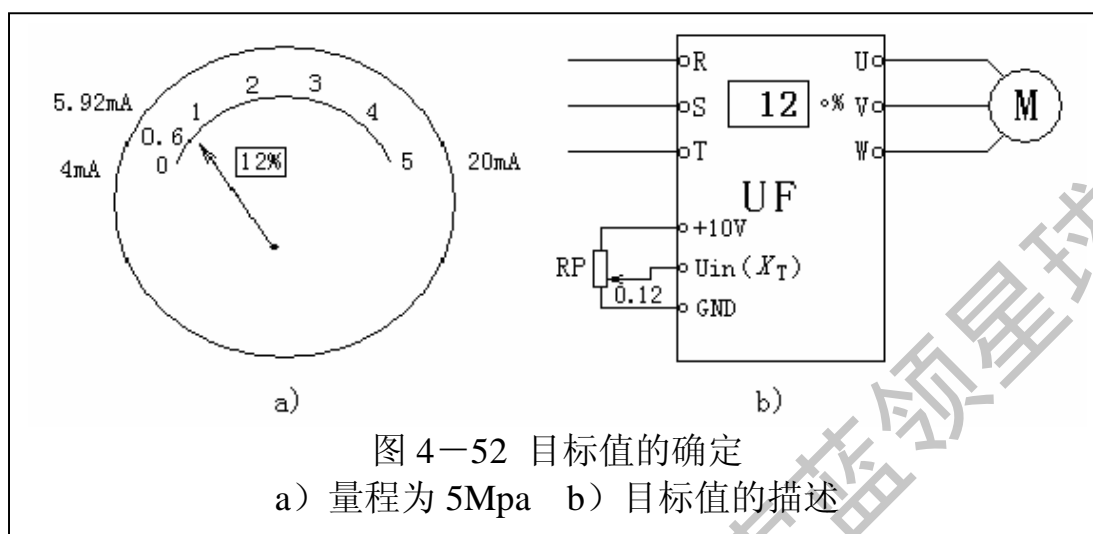
2. 目标值的描述与确定

例 1 目标压力为 0.6MPa, 传感器量程为 1 MPa



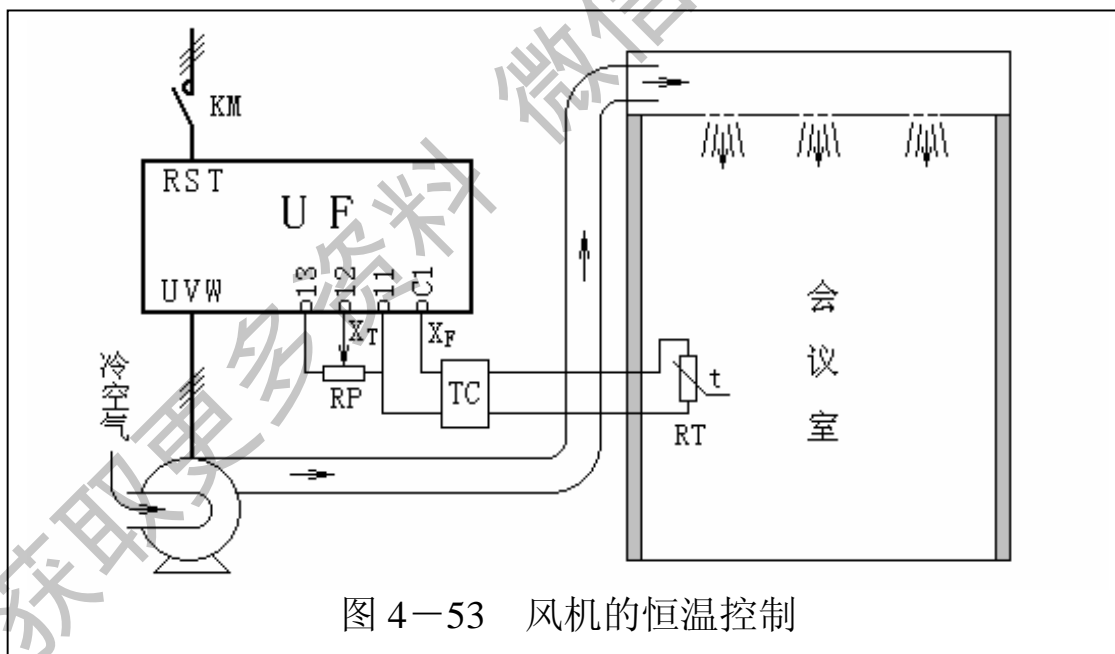
<http://www.plcworld.cn>

例 2 目标压力为 0.6MPa，传感器量程为 5 MPa



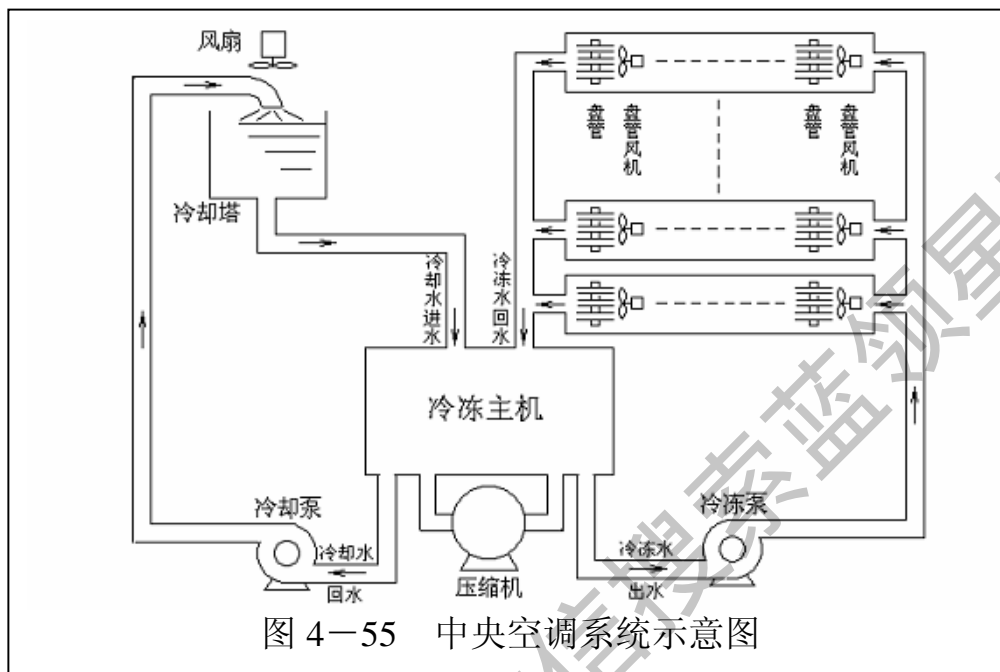
4. 7. 5 闭环控制的起动问题（积分饱和）

1. 起动存在的问题

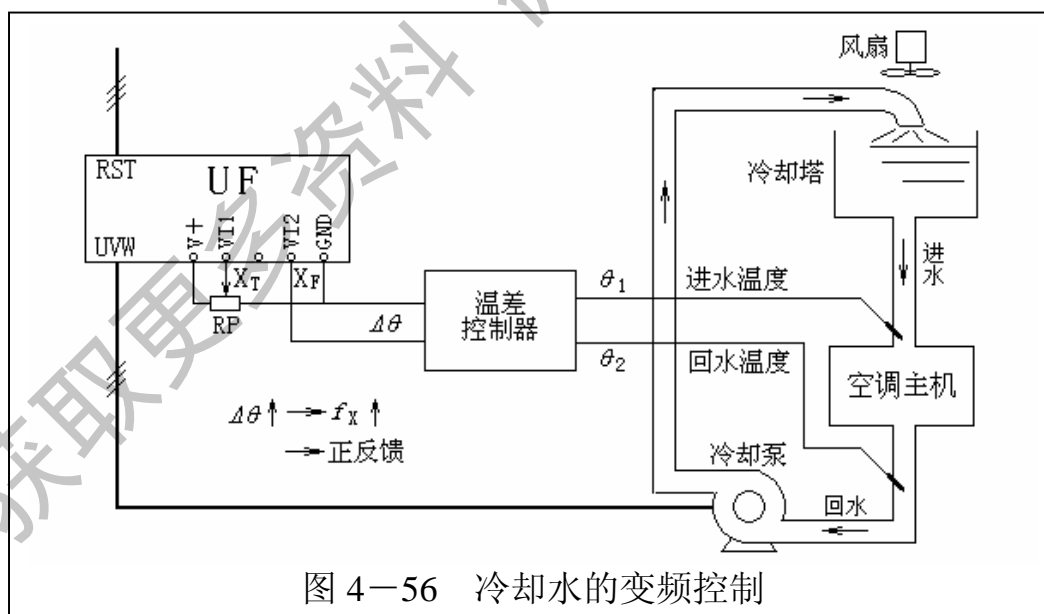


4.7 PID 控制的应用举例

4.7.1 中央空调及其冷却水系统



4.7.2 冷却水的 PID 控制



第5章 变频器在各类负载中的应用

恒转矩关键在低频!

5.1 带式输煤机的变频调速

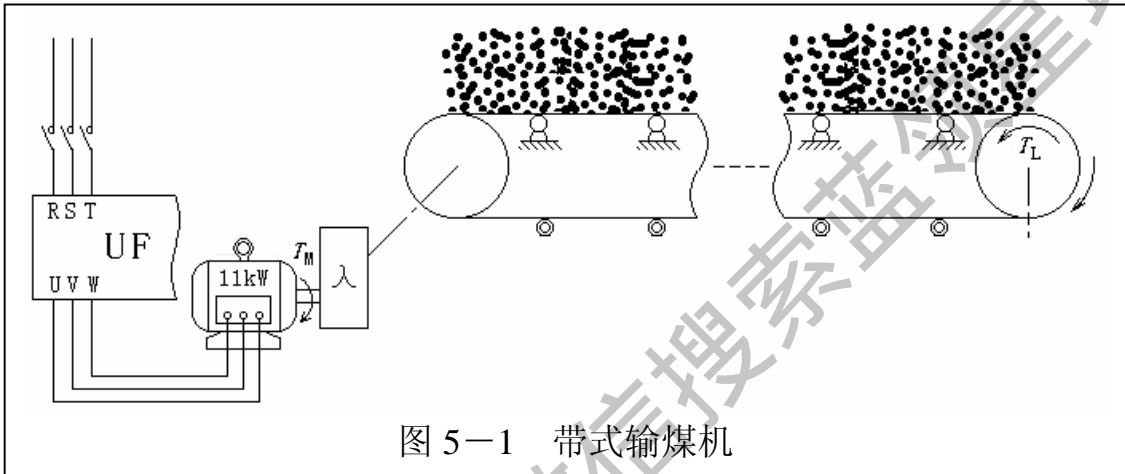


图 5-1 带式输煤机

5.1.1 负载的特点

1. 机械特性与负荷图

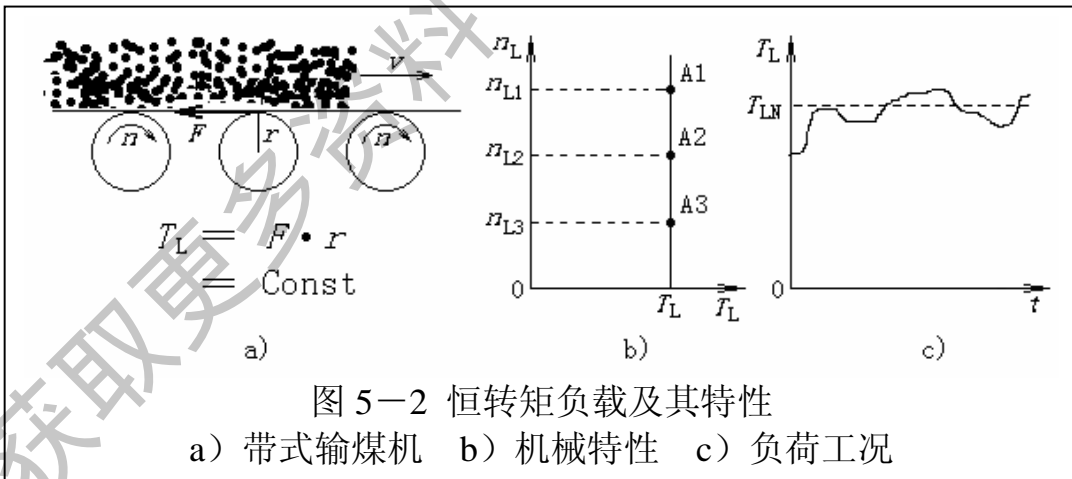


图 5-2 恒转矩负载及其特性

a) 带式输煤机 b) 机械特性 c) 负荷工况

2. 负荷工况

属于连续变动负载，平均负荷率 $\sigma_A=0.9$

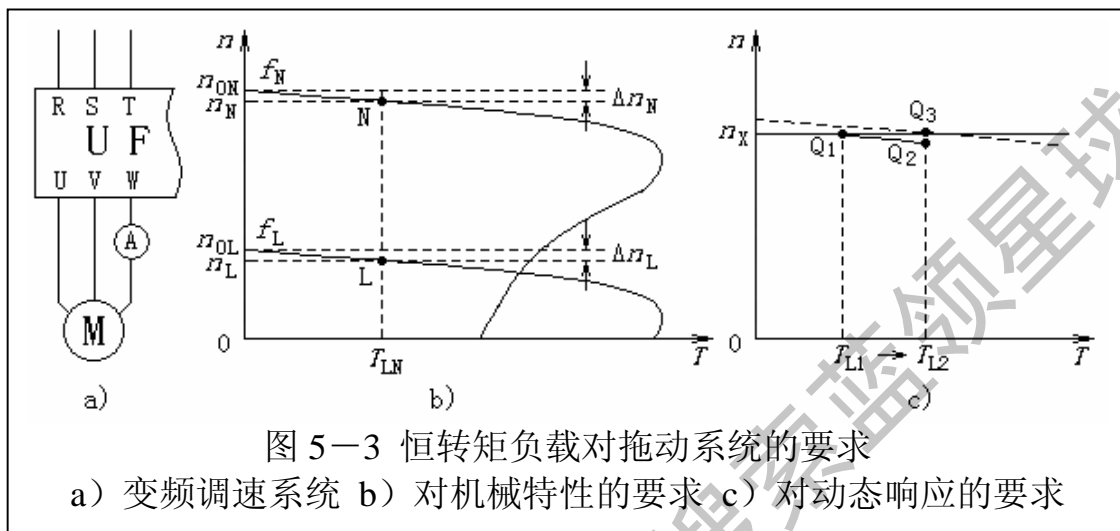
3. 转速范围

$$n_{L\max}=365\text{r/min}; \quad n_{L\min}=73\text{r/min} \quad (\alpha_n=5); \quad \lambda=4$$

5. 1. 2 变频器选型

1. 变频器型号

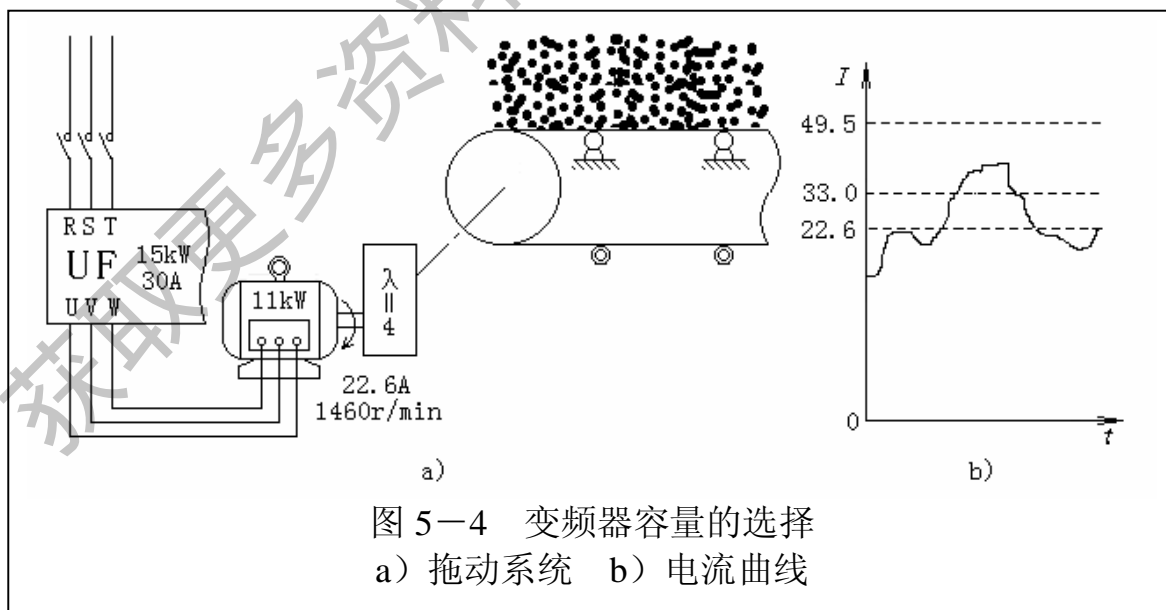
负载对拖动系统的要求



可选富士 G11 系列变频器。

2. 变频器容量

- ∴ 电动机可能短时间过载运行。
- ∴ 变频器容量加大一档。



5. 1. 3 主要功能的预置

1. 频率给定的相关功能

(1) 频率调节电路

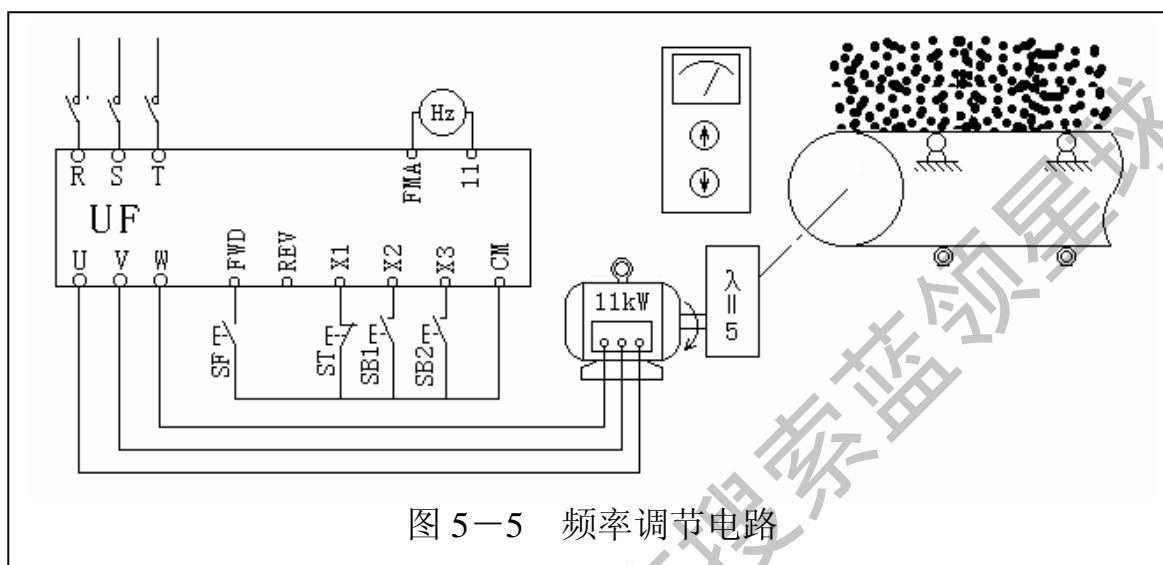
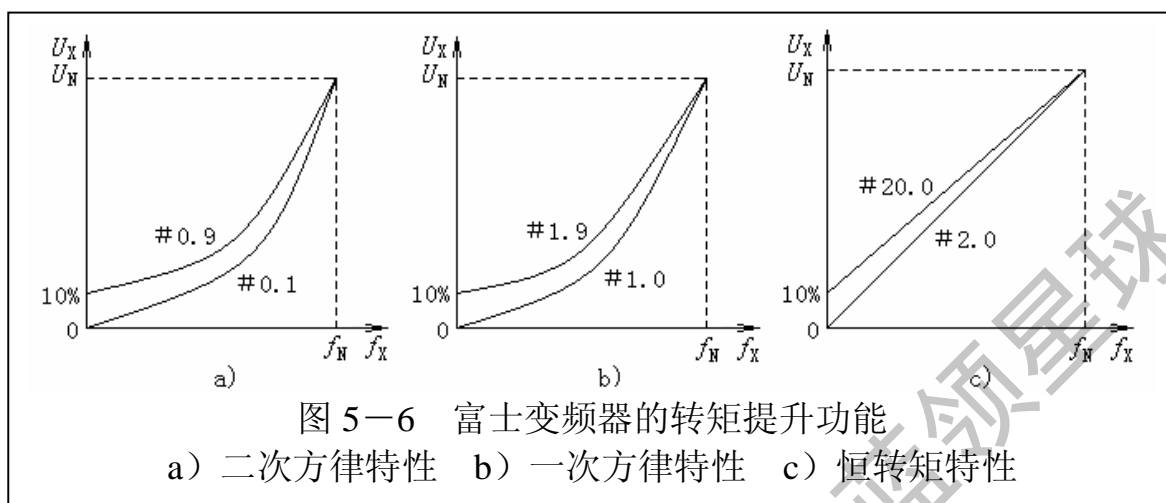


图 5—5 频率调节电路

(2) 相关功能的预置

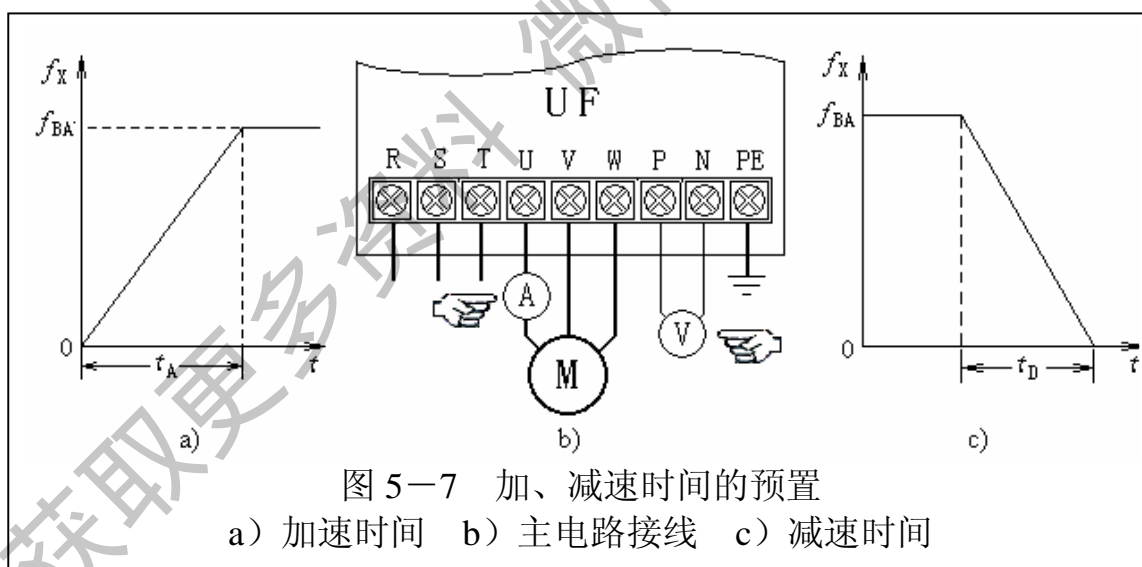
功能码	功能含义	数据码	数据码含义
F01	频率设定	9	增 / 减控制 2, 初始值=上次设定值
F02	运行操作	1	由外部端子输入运行指令
F03	最高输出频率	50Hz	
F04	基本频率	50Hz	
F05	最高输出电压	380V	
F15	上限频率	50 Hz	根据负载的运行需要而定
F16	下限频率	10 Hz	
F23	起动频率	6 Hz	因为是重载起动
F24	起动频率保持时间	1. 0 s	
F30	FMA 端子电压调整	100%	输出电压范围是 0~+10V
F31	FMA 端子功能选择	0	测量输出频率
E01	X1 端子功能选择	6	自保持控制 (三线式控制)
E02	X2 端子功能选择	17	增命令 (UP)
E03	X3 端子功能选择	18	减命令 (DOWN)

2. 转矩提升功能



功能码	功能含义	数据码	数据码含义
F09	转矩提升 1	16.0	恒转矩特性，提升量是 8%

3. 加、减速时间



功能码	功能含义	数据码	数据码含义
F07	加速时间 1	20	加速时间为 20 秒
F08	减速时间 1	20	减速时间为 20 秒

4. 保护功能的预置

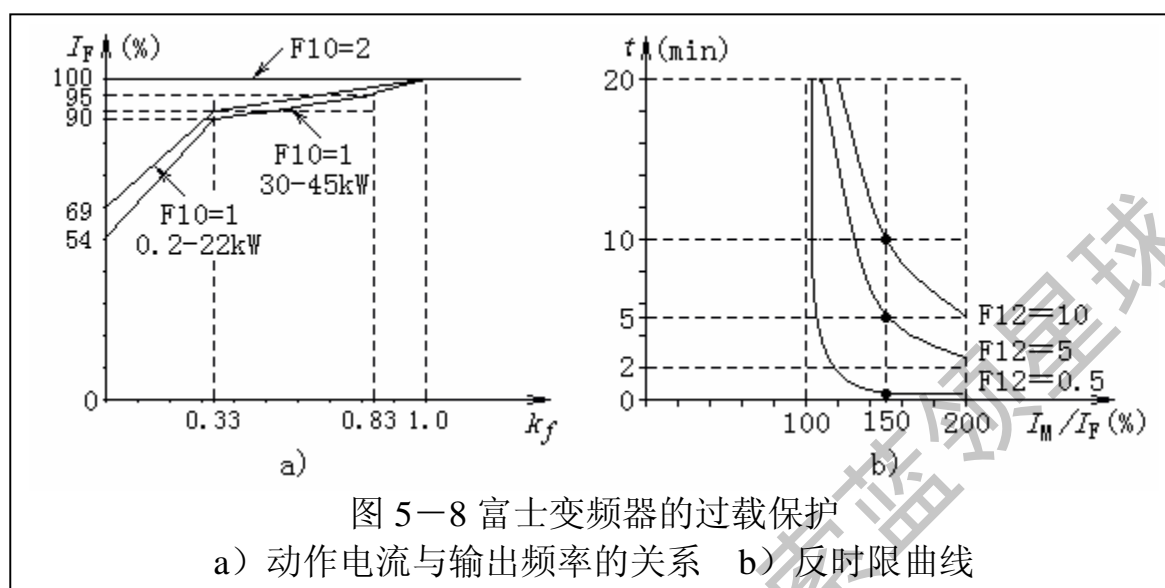


图 5-8 富士变频器的过载保护

a) 动作电流与输出频率的关系 b) 反时限曲线

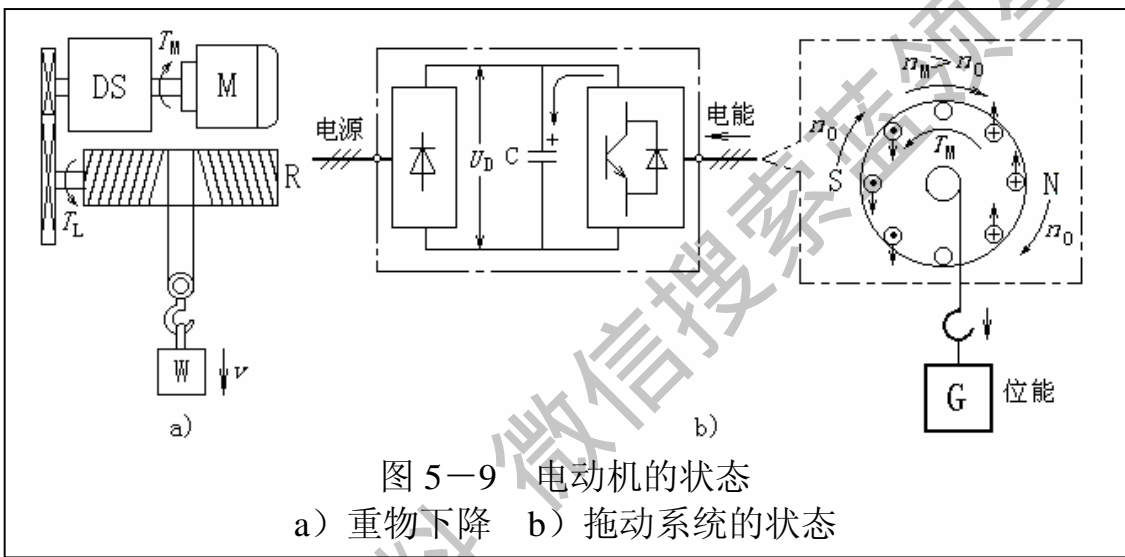
功能码	功能含义	数据码	数据码含义
F10	电子热继电器 1	1	适用于通用电动机
		2	适用于变频专用电动机
F11	动作电流设定值	70%	电动机的电流取用比
F12	发热时间常数	5min	$I_M / I_F = 150\%$ 时的动作时间
F14	瞬时停电再起启动选择	4	从停电时的频率开始搜索
H13	瞬时停电等待时间	10s	
H14	瞬时停电后频率下降率	5Hz / s	下降率太快容易再生过电压
H15	瞬时停电直流电压下限	400V	低于 400V 不能再启动
H16	停电后运行指令保持时间	20s	超过保持时间, 不能再启动
H04	自动复位次数	2	跳闸后可自动复位 2 次
H05	自动复位间隔时间	2 s	

起重核心在吊钩！

5. 2 提升机的变频调速

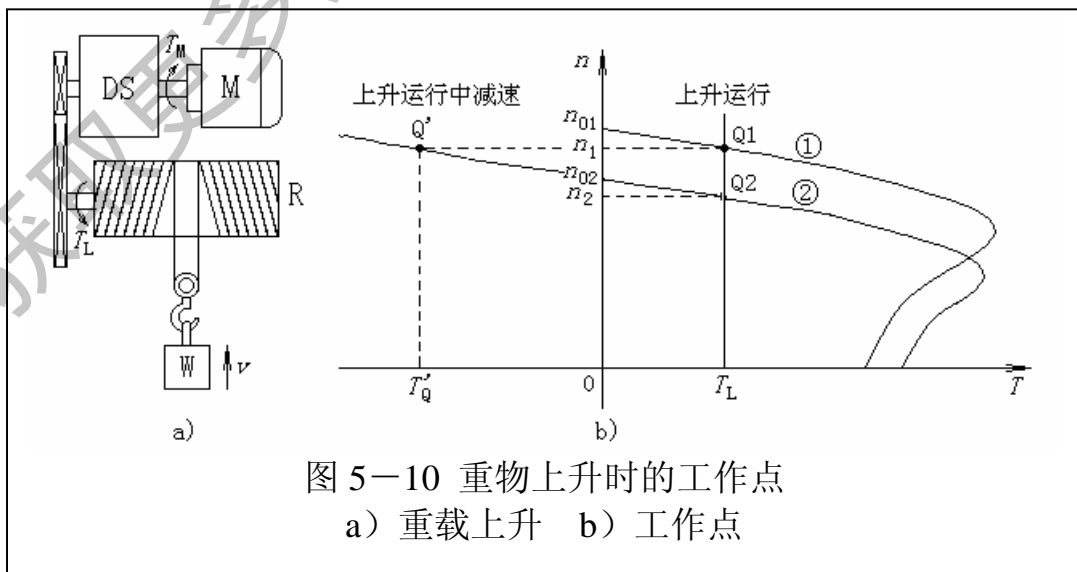
5. 2. 1 重力负载及其特点

1. 重力负载的特点



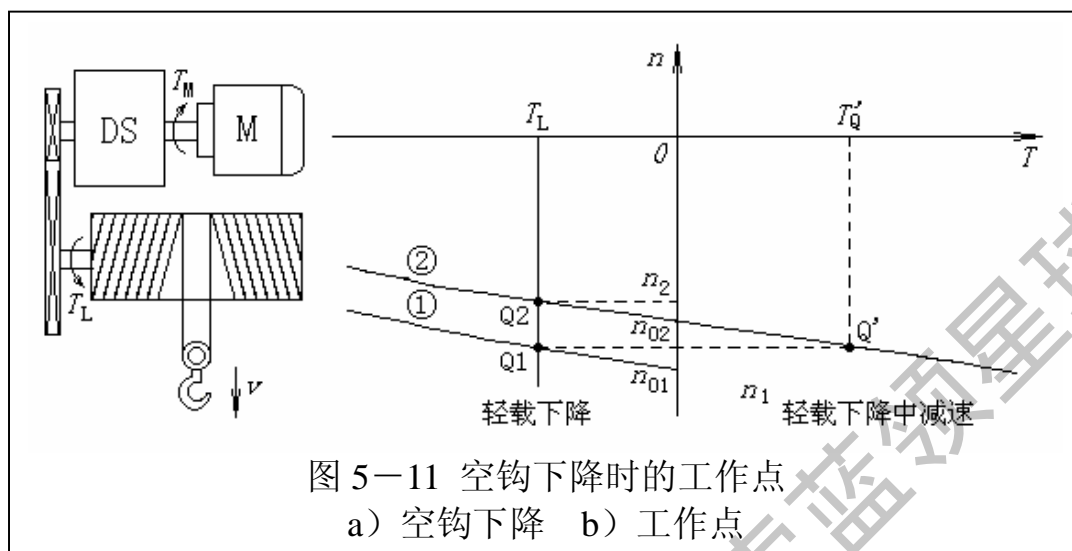
2. 重力负载的四象限运行

(1) 重物上升

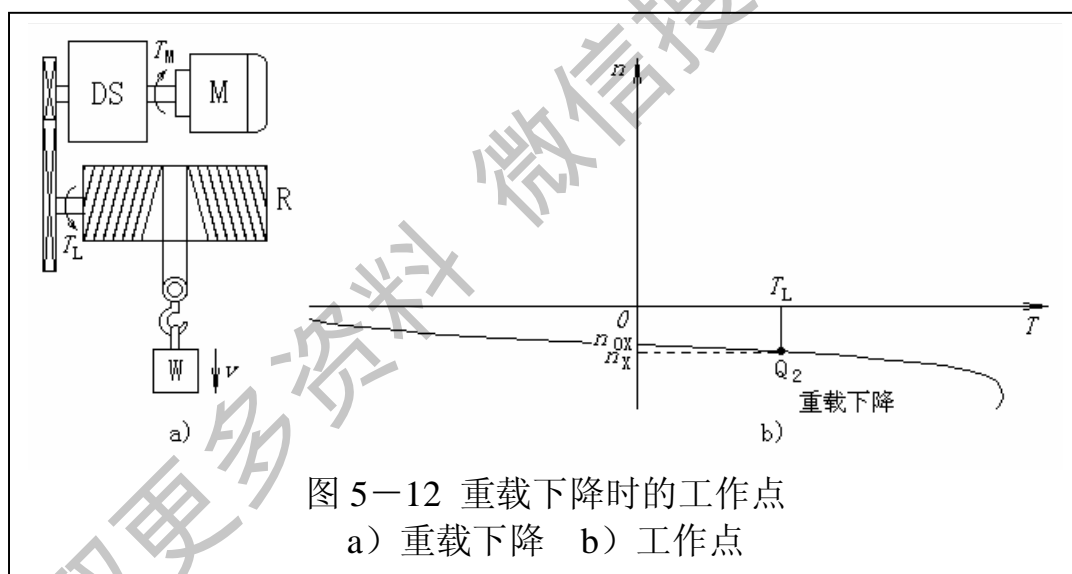


<http://www.plcworld.cn>

(2) 空钩（包括轻载）下降



(3) 重载下降



2. 变频器选型

(1) 型号

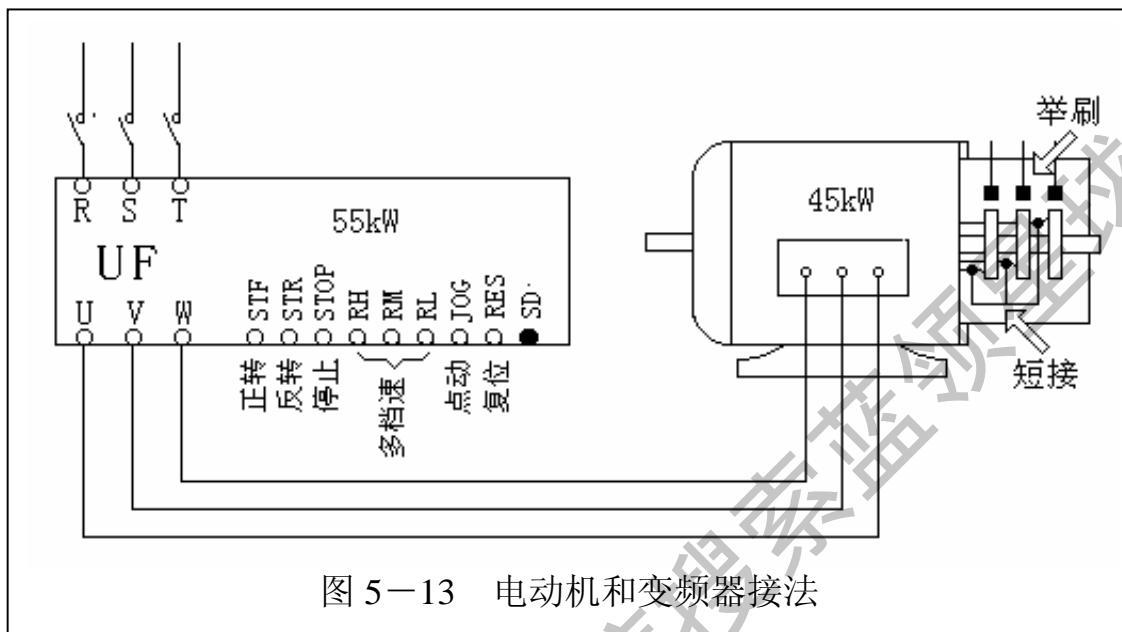
- ∴ 具有四象限运行特点。
- ∴ 采用无反馈矢量控制方式，选用三菱 FR-540A 系列变频器。

(2) 容量

- ∴ $P_{MN}=11 \text{ kW}$; $I_{MN}=24.6 \text{ A}$
- ∴ 选 $S_N=23.6 \text{ kVA}$ (15 kW); $I_N=31 \text{ A}$

5. 2. 2 变频调速特点

1. 电动机和变频器接法



2. 功能预置

功能码	功能名称	数据码	数据码含义
Pr. 1	上限频率	50Hz	
Pr. 2	下限频率	0Hz	
Pr. 3	基底频率	50Hz	即基本频率
Pr. 7	加速时间	5s	
Pr. 8	减速时间	5s	
Pr. 19	基底频率电压	380V	
Pr. 65	再试选择	3	仅在过流或过压跳闸时允许重合闸
Pr. 67	再试次数	2	允许再试 2 次，即自动重合闸 2 次
Pr. 68	再试等待时间	1s	

3. 电动机参数的自测定

(1) 预置相关功能

功能码	功能名称	数据码	数据码含义
Pr. 80	电动机容量	11kW	预置了这两个功能，就选择了 矢量控制方式
Pr. 81	电动机的磁极数	6	
Pr. 71	适用电动机	3	非三菱标准电动机
Pr. 9	电子过电流保护	28A	
Pr. 83	电动机额定电压	380V	
Pr. 84	电动机额定频率	50Hz	
Pr. 95	自动调整设定/状态	1	

(2) 变频器通电

变频器通电时，电磁制动器不通电，保持对电动机轴的抱紧状态。

(3) 变换模式

变频器从编程模式切换到运行模式。

(4) “起动”电动机

如为面板操作，按 FWD 键或 REV 键；如为外接端子操作，则接通 STF 端子或 STR 端子。

(5) 自动测量完成

上述运行状态维持约 25s，至显示屏显示“3”或“103”时，自动测量结束。如为面板操作，接 STOP 键；如为外接端子操作，则断开 STF 端子或 STR 端子即可。

5. 2. 3 起升装置的防溜钩

1. 电磁制动器的接法

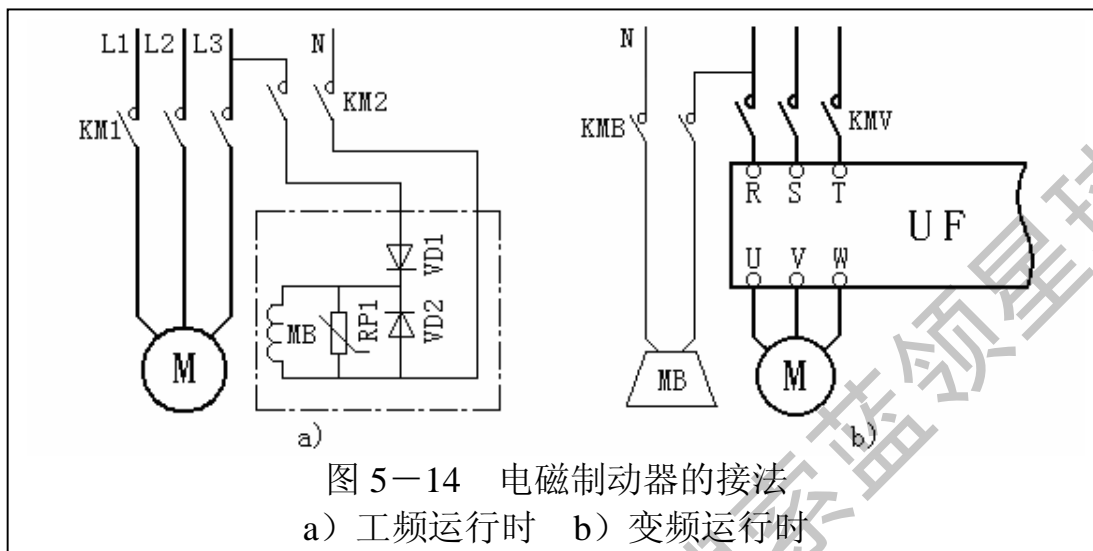


图 5-14 电磁制动器的接法
a) 工频运行时 b) 变频运行时

2. 提升机变频控制电路

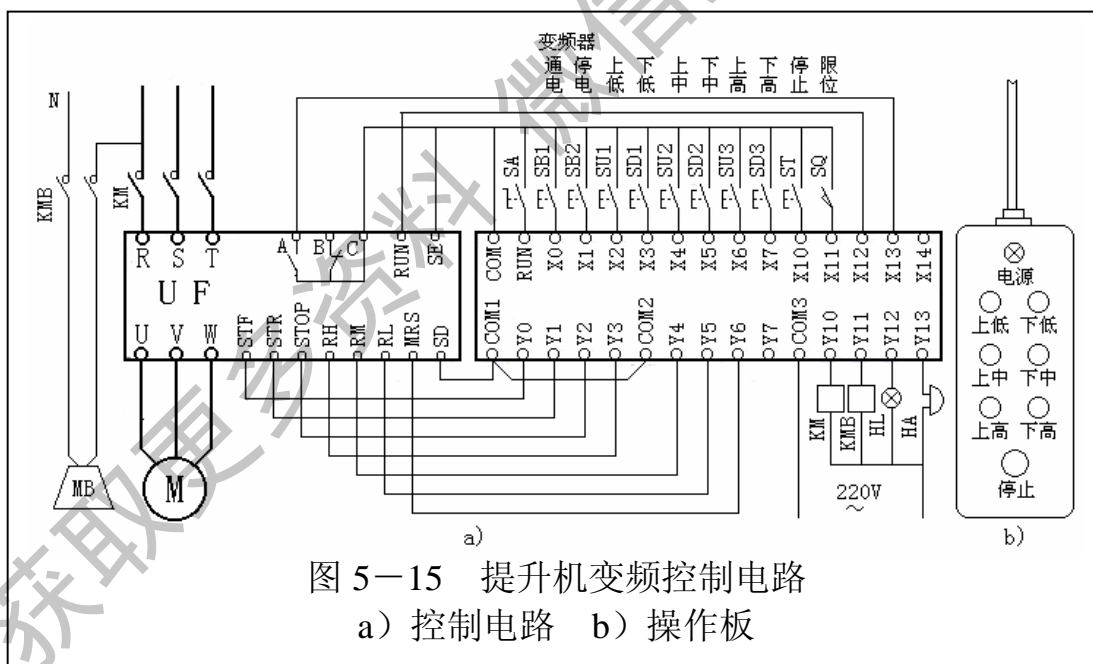
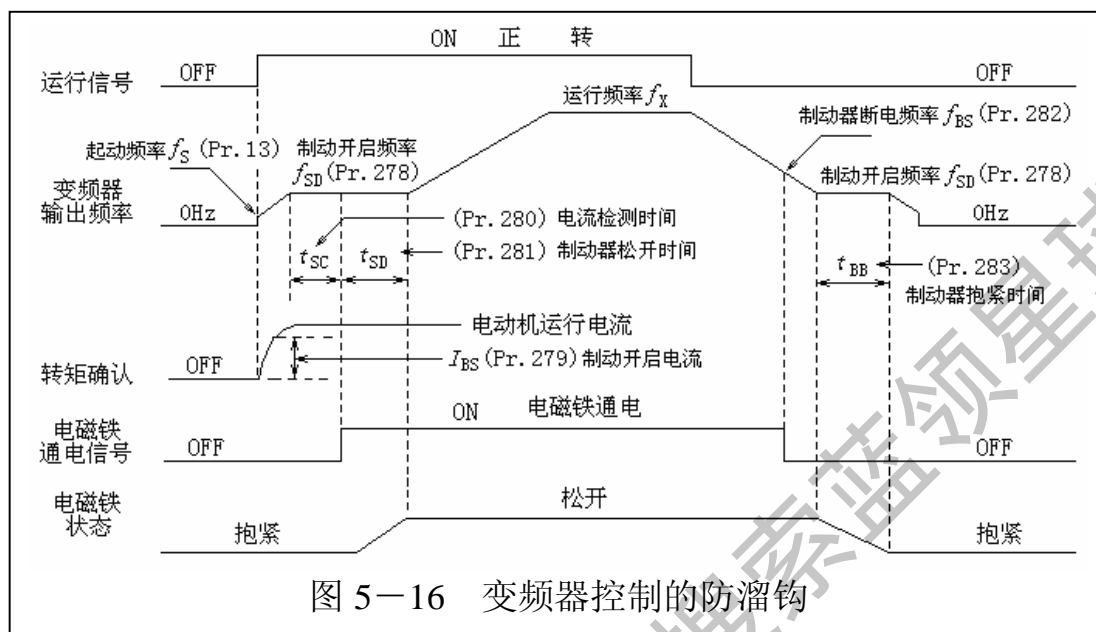


图 5-15 提升机变频控制电路
a) 控制电路 b) 操作板

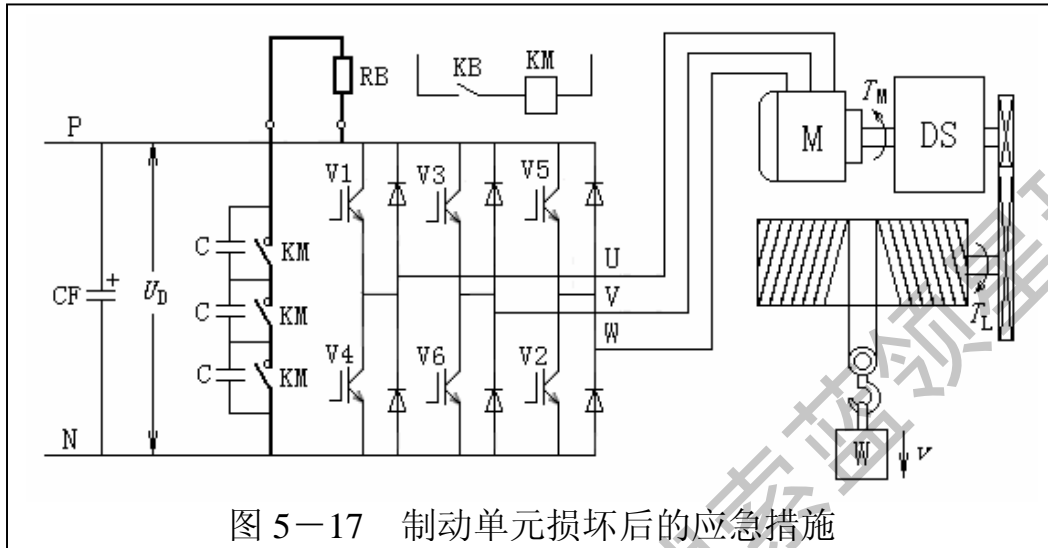
3. 变频运行时防溜钩的方法



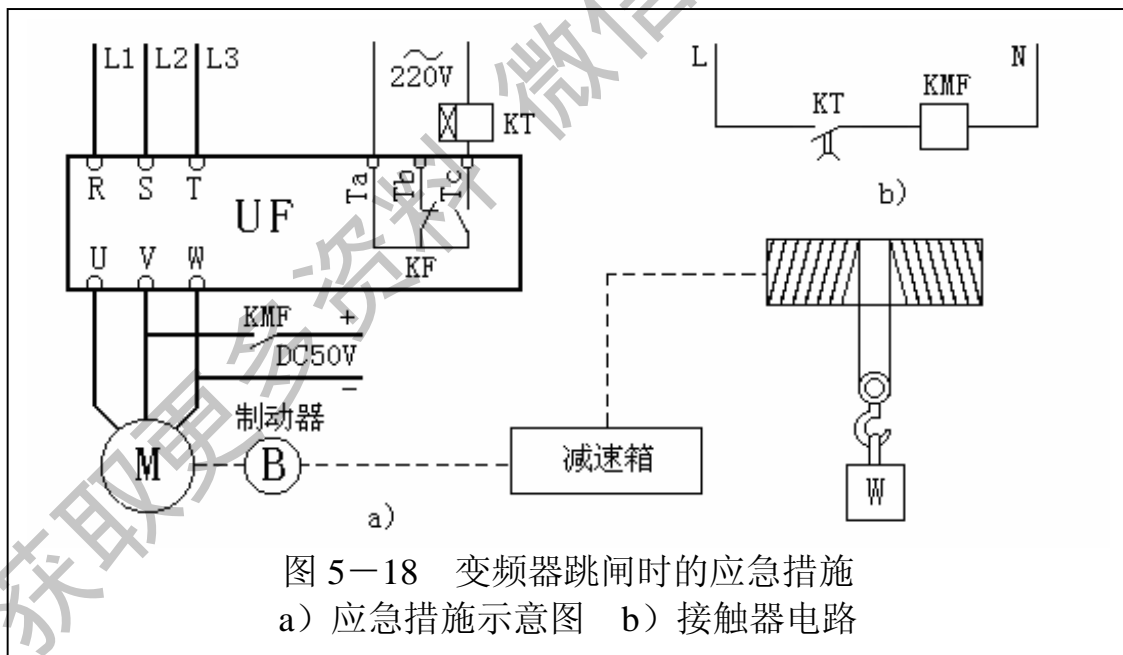
功能码	功能名称	数据码	数据码含义
Pr. 60	程序制动模式	8	程序制动模式有效， 制动器无动作完成信号
Pr. 13	启动频率	1 Hz	图中之 f_s
Pr. 190	RUN 端子功能	20	电磁制动器通电指令
Pr. 278	制动开启频率	3 Hz	图中之 f_{SD}
Pr. 279	制动开启电流	110%	图中之 I_{BS} (110% 电动机额定电流)
Pr. 280	开启电流检测时间	0.3 s	图中之 t_{SC} (发出制动器通电信号)
Pr. 281	制动器松开完成时间	0.3 s	图中之 t_{SD} (输出频率开始上升)
Pr. 282	制动操作频率	6 Hz	图中之 f_{BS} (电磁制动器断电)
Pr. 283	制动器抱紧完成时间	0.3 s	图中之 t_{BB} (输出频率下降至 0 Hz)

3. 应急措施举例

(1) 制动单元损坏后的应急措施



(2) 变频器跳闸时的防溜钩



休 息 15 分 钟

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

恒功率酌情用高频!

5.3 卷绕机械的变频调速

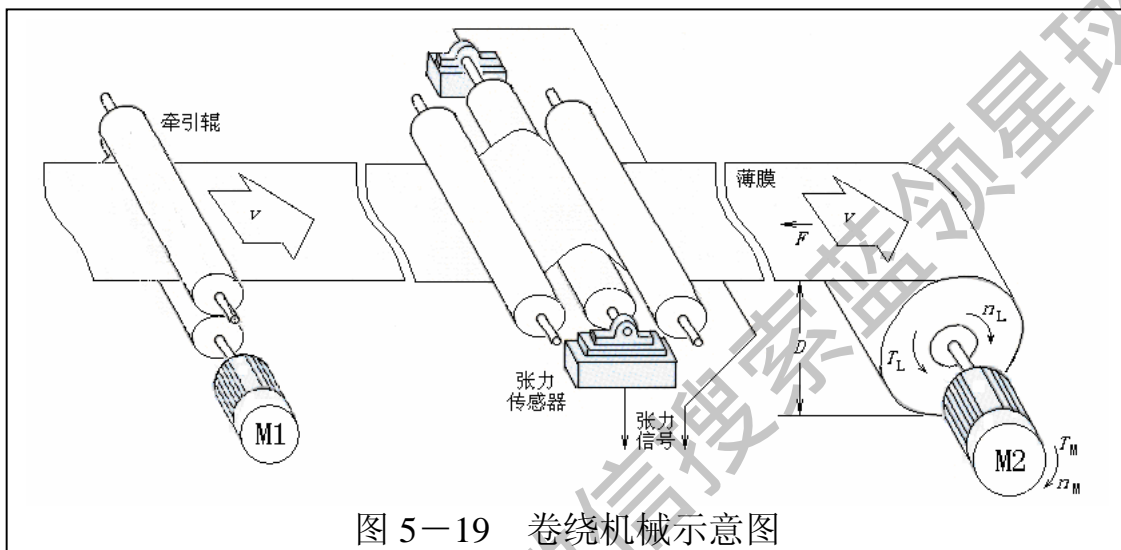


图 5-19 卷绕机械示意图

5.3.1 卷绕机械的特点

1. 机械特性

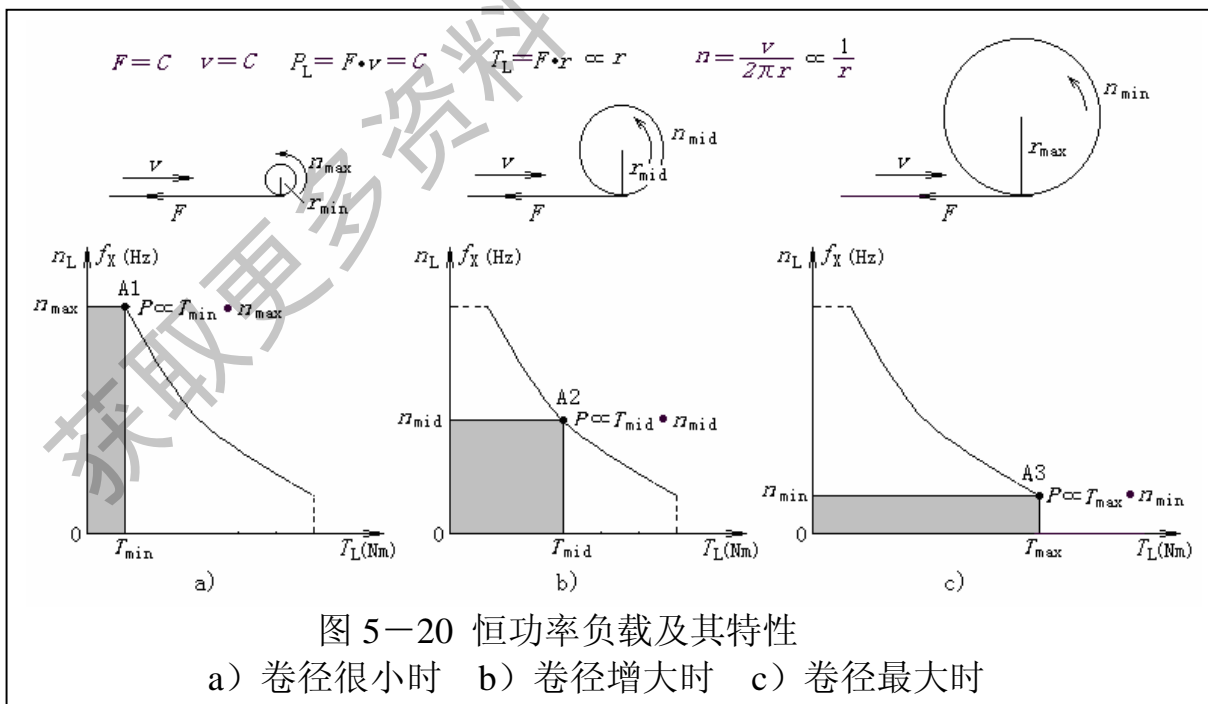
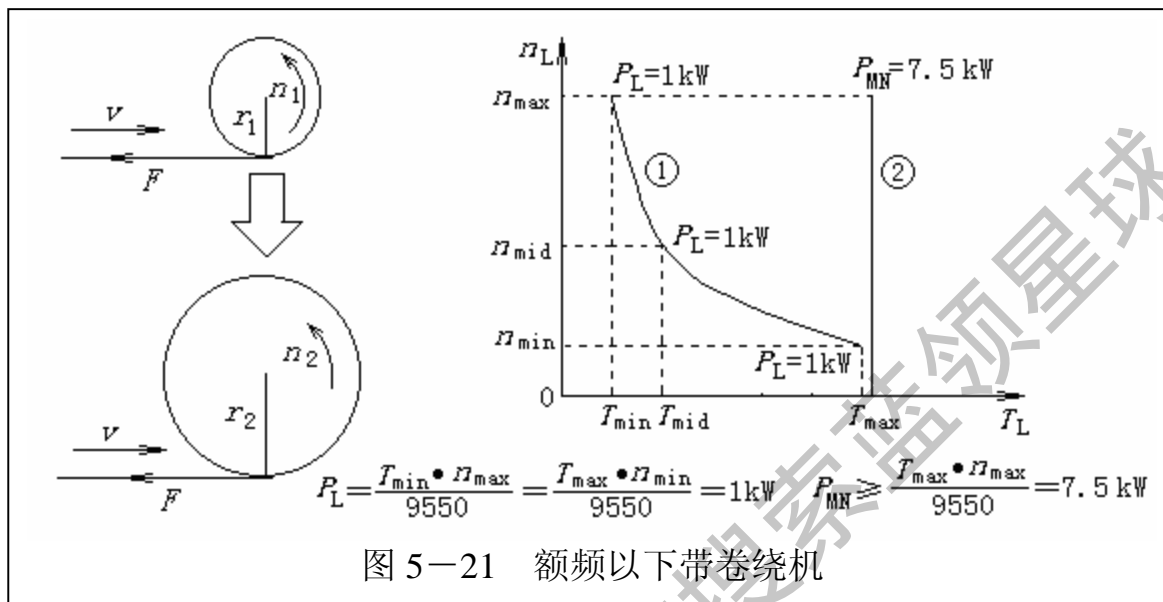


图 5-20 恒功率负载及其特性

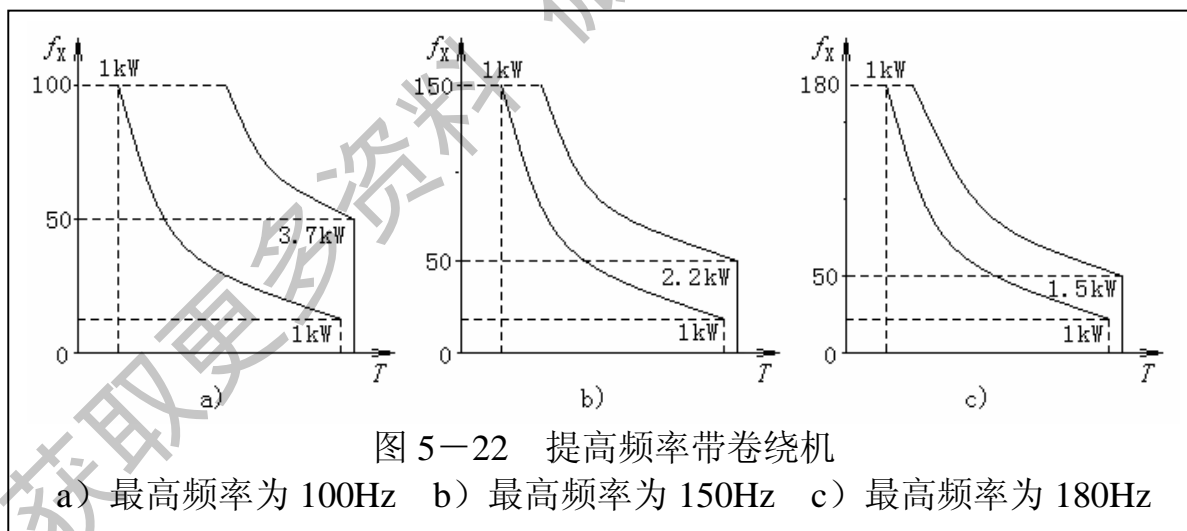
a) 卷径很小时 b) 卷径增大时 c) 卷径最大时

5.3.2 卷绕机械变频调速的要害

1. 主要矛盾



2. 解决方法



<http://www.plcworld.cn>

5.3.3 卷绕机械变频调速要点

1. 实例

某塑料薄膜卷绕机

薄膜数据: $D_{\min}=0.1\text{ m}$; $D_{\max}=1\text{ m}$

最大张力: $F_{\max}=200\text{ N}\cdot\text{m}$

电动机数据: 3.0 kW , 960 r/min , 7.2 A

传动比: $\lambda=10$

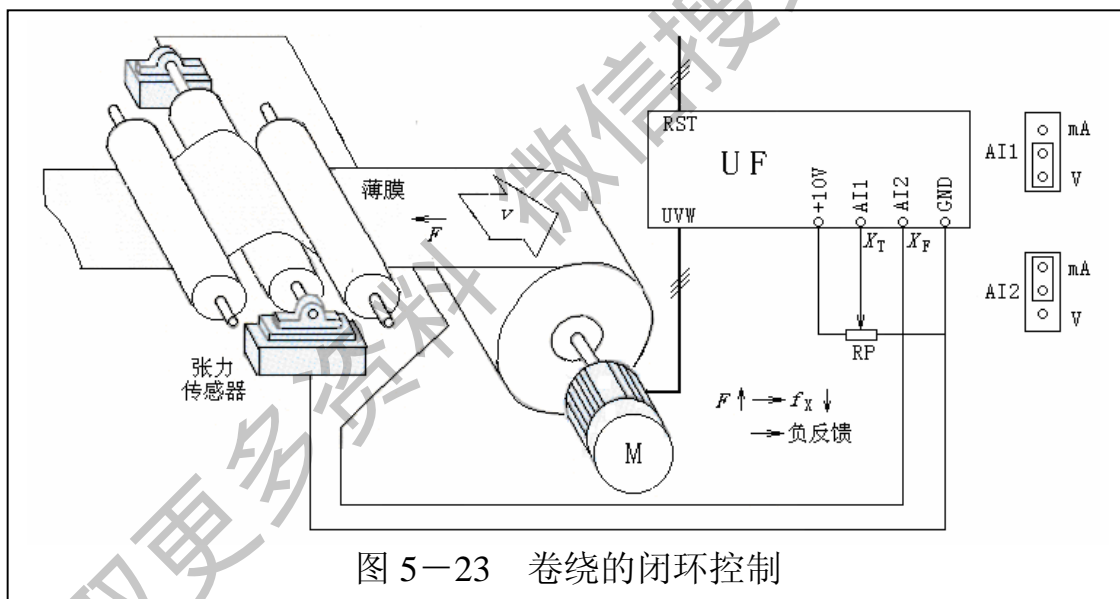
电动机额定转矩:

$$T_{MN} = \frac{9550 P_{MN}}{n_{MN}} = \frac{9550 \times 3}{960} = 29.8 \text{ N}\cdot\text{m}$$

变频器选型

森兰 SB70 系列: 6.4 kVA , 9.7 A , 配用 4 kW 电动机

2. 变频调速控制电路（闭环控制）



3. 功能预置

功能码	功能名称	数据码	数据码含义
F0-02	运行命令通道	1	外接端子控制
F0-06	最大频率	150Hz	
F0-07	上限频率	150Hz	
F0-08	下限频率	0Hz	
F0-09	方向锁定	1	锁定正向
F0-12	控制模式	0	无 PG V/F 控制方式
F1-00	加速时间 1	3s	
F1-01	减速时间 1	3s	
F2-00	V/F 曲线选择	1	线性
F2-01	转矩提升选择	3	手动提升+自动提升
F2-02	手动提升幅值	10%	
F2-03	手动提升截止点	30Hz	
F2-10	AVR 功能	2	减速时无效
F2-12	基本频率	50Hz	
F2-13	最大输出电压	380V	
F7-00	PID 功能选择	1	选择过程 PID 控制
F7-01	给定通道选择	1	给定信号从 AI1 输入
F7-02	反馈通道选择	1	反馈信号从 AI2 输入
F7-05	比例增益 1	10	
F7-06	积分时间 1	20 s	
F7-17	PID 调节特性	0	正作用（负反馈）
FA-00	电动机参数自整定	22	空载旋转自整定
FA-01	电动机额定功率	3kW	
FA-02	电动机极数	6	
FA-03	电动机额定电流	7.2A	
FA-04	电动机额定频率	50Hz	
FA-05	电动机额定转速	960r/min	
FA-06	电动机额定电压	380V	

电动机参数自整定方法：

电动机和负载脱开，在运行模式下，按运行键。

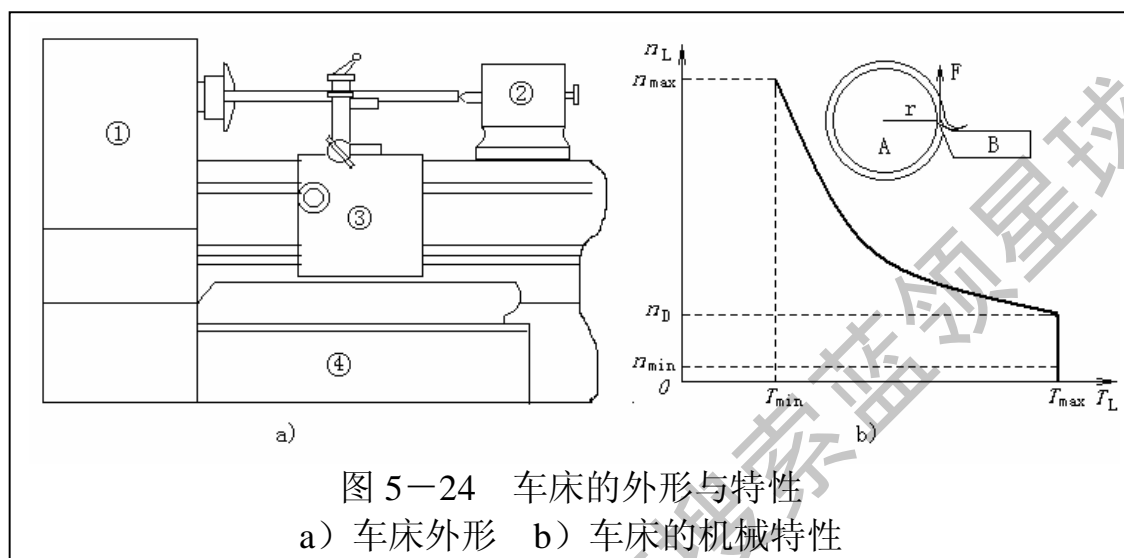
测量完成后自动停机。

<http://www.plcworld.cn>

5.4 车床的变频调速

5.4.1 车床的外形与特性

1. 主要特点



2. 实例

某意大利产 SAG 型精密车床，基本数据如下：

(1) 主轴转速共分八档：75、120、200、300、500、800、1200、2000r/min；

(2) 电动机额定数据：2.2kW，5A，1420 r/min。

(3) 车床的计算转速：根据机械工程师提供的数据，计算转速为：

$$n_D = 300 \text{ r/min}$$

即： $n_L \leq 300 \text{ r/min}$ 为恒转矩区； $n_L \geq 500 \text{ r/min}$ 为恒功率区。

(4) 各档转速下的负载转矩

负载的实际功率按 2kW 计算，则各档转速下负载转矩的计算结果如表 6-21 所示。

表 6-21 各档转速下的负载转矩

档次	1	2	3	4	5	6	7	8
转速(r/min)	75	120	200	300	500	800	1200	2000
转矩(N·m)	64	64	64	64	38	24	16	9.5

(5) 电动机额定转矩

$$n_{MN} = \frac{9550 P_{MN}}{n_{MN}} = \frac{9550 \times 2.2}{1420} = 14.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

3. 拖动系统的折算

为了便于在电动机的有效转矩和负载的机械特性之间进行比较，把电动机轴上的转矩和转速都折算到负载轴上。折算公式如下：

(1) 转速的折算

$$n_M' = \frac{n_M}{\lambda} = n_L$$

(2) 转矩的折算

$$T_M' = T_M \cdot \lambda$$

5. 4. 2 两挡传动比方案

1. 低速挡的传动比

(1) 决定传动比

∴ 50Hz (1420 r/min) 与 300 r/min 对应

$$\therefore \lambda_L \geq \frac{n_{MN}}{n_{300}} = \frac{1420}{300} = 4.73$$

取 $\lambda_L = 5$

(2) 低速挡的转速范围

恒转矩转速范围： $n_L = 0 \sim 300$ r/min，对应 $f_X = 0 \sim 50$ Hz；

恒功率转速范围： $n_L = 300 \sim 600$ r/min，对应 $f_X = 50 \sim 100$ Hz。

(3) 转矩审核

50Hz 以下

$$\begin{aligned} T_{MN}' &= T_{MN} \cdot \lambda = 14.6 \times 5 \\ &= 73 \text{ N} \cdot \text{m} > 64 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

50Hz 以上

当 $n_L = 500$ r/min 时， $f_X = 83$ Hz 时，电动机的有效转矩为：

$$T_{ME} = T_{MN} \frac{f_{MN}}{f_{\max}} = 14.6 \times \frac{50}{83} = 8.8 \text{ N} \cdot \text{m}$$

折算到负载轴上的转矩是：

$$\begin{aligned} T_{ME}' &= T_{ME} \cdot \lambda = 8.8 \times 5 \\ &= 44 \text{ N} \cdot \text{m} > 38 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

2. 高速挡的传动比

(1) 决定传动比

∴ 50Hz (1420 r/min) 与 1000 r/min 对应

$$\therefore \lambda_H \geq \frac{n_{MN}}{n_{1000}} = \frac{1420}{1000} = 1.42$$

取 $\lambda_H = 1.5$

(2) 高速挡的转速范围

恒转矩转速范围: $n_L = 0 \sim 1000$ r/min, 对应 $f_X = 0 \sim 50$ Hz;

恒功率转速范围: $n_L = 1000 \sim 2000$ r/min, 对应 $f_X = 50 \sim 100$ Hz。

(3) 转矩审核

50Hz 以下

电动机的有效转矩: $T_{ME} = \lambda_H T_{MN} = 1.5 \times 14.6 = 21.9$ N·m

略小于 800 r/min 时的负载转矩 (24 N·m)

50Hz 以上

当 $n_L = 1200$ r/min 时, $f_X = 60$ Hz 时, 电动机的有效转矩为:

$$T_{ME} = T_{MN} \frac{f_{MN}}{f_X} = 14.6 \times \frac{50}{60} = 12.1$$
 N·m

折算到负载轴上的转矩是:

$$\begin{aligned} T_{ME}' &= T_{ME} \cdot \lambda = 12.1 \times 1.5 \\ &= 18.15$$
 N·m > 16 N·m

当 $n_L = 2000$ r/min 时, $f_{max} = 100$ Hz 时, 电动机的有效转矩为:

$$T_{ME} = T_{MN} \frac{f_{MN}}{f_{max}} = 14.6 \times \frac{50}{100} = 7.3$$
 N·m

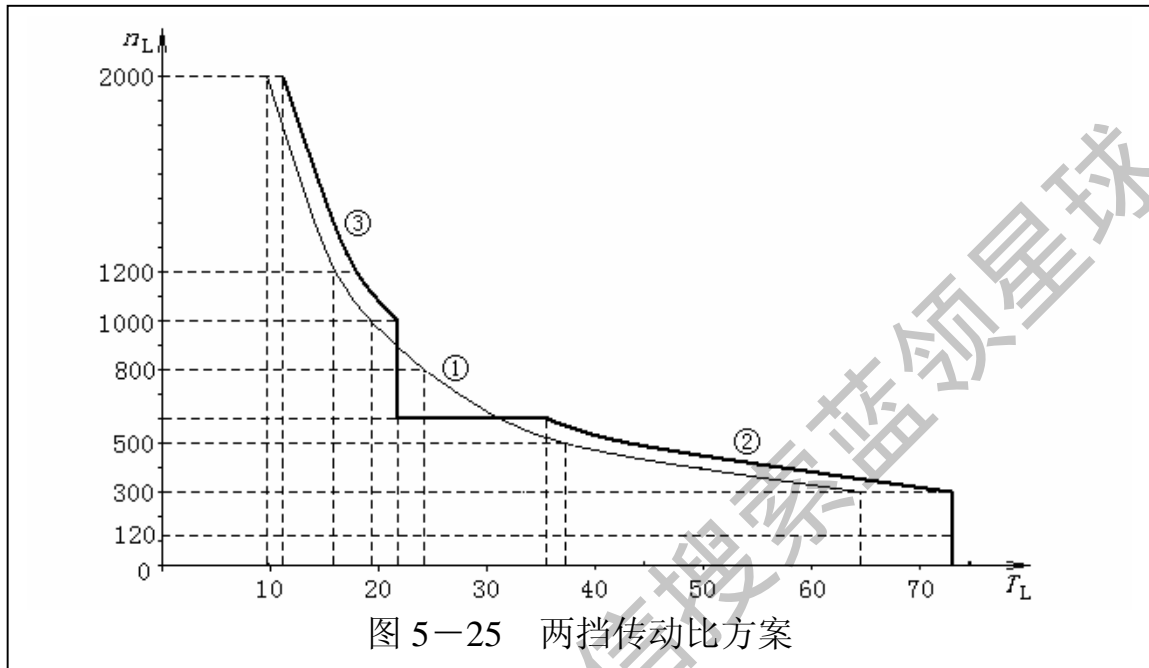
折算到负载轴上的转矩是:

$$\begin{aligned} T_{ME}' &= T_{ME} \cdot \lambda = 7.3 \times 1.5 \\ &= 11$$
 N·m > 9.5 N·m

3. 各挡的转速和工作频率

档次	1	2	3	4	5	6	7	8
负载转速 (r/min)	75	120	200	300	500	800	1200	2000
传动比 (λ)	5					1.5		
电动机转速 (r/min)	375	600	1000	1500	2500	1200	1800	3000
工作频率 (Hz)	12.5	20	33	50	83	40	60	100

3. 有效转矩线



5. 4. 3 变频调速的实施

1. 变频器型号的选择

金属切削机床在切削过程中要求切削得十分均匀，故要求拖动系统具有很硬的机械特性，故以选用高性能变频器为宜。

小型车床在车削螺纹时，通常由机械离合器从正转迅速地切换到反转，在切换过程中负荷在重载—空载—重载之间变化，因此，对拖动系统的动态响应能力要求较高。

针对这一特点，选用具有直接转矩控制的 ABB 公司的 ACS-800 系列变频器是比较有利的。

由于最低工作频率并不很低，故可以采用无反馈方式。

2. 变频器的容量

车床在车削毛坯时，有可能发生过载，所以，变频器的容量应略大于电动机的容量。今选 ACS800-01-0006-3 型变频器，其额定电流是 7.5A，与 3 kW 电动机适配。

3. 变频调速控制电路

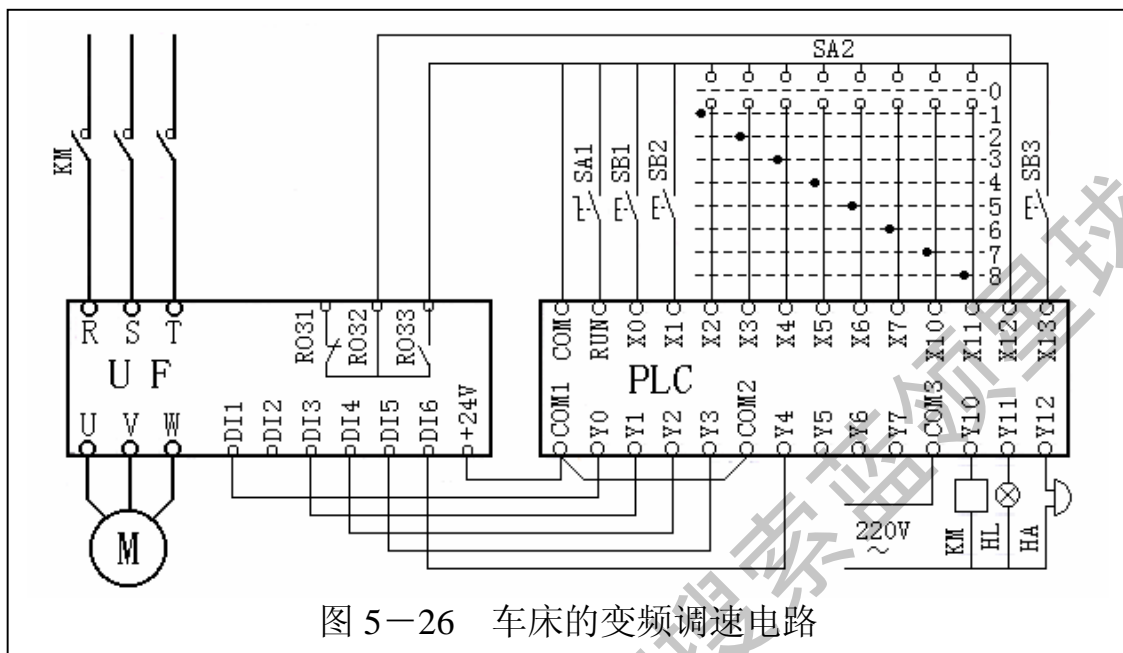


图 5-26 车床的变频调速电路

4. 变频器的功能预置

功能码	功能名称	功能含义	数据码	说明
10.01	EXT1 STRT/STP/DIR	外接端子控制选择	DI1	由端子 DI1 控制起、停
10.03	DIRECTION	旋转方向	RORWARD	固定为正转
20.02	MAXIMUN SPEED	最高转速	3000	与 100Hz 对应
20.03	MAXIMUN CURRENT	最大允许电流	150%	变频器额定电流的 150%
21.01	START FUNCTION	电动机起动方式	AUTO	最优自起动
21.03	STOP FUNCTION	电动机停机方式	RAMP	按预置的减速时间停机
22.01	ACC/DEC SEL	加、减速选择	ACC/DEC 1	加、减速时间 1
22.02	ACCEL TIME 1	加速时间 1	5s	
22.03	DECEL TIME 1	减速时间 1	5s	
31.01	NUMBER OF TRIALS	自动重合闸次数	2	

<http://www.plcworld.cn>

31.02	TRIAL TIME	等待时间	30s	不能超过 30s
31.02	DELAY TIME	间隔时间	1s	重合闸间隔时间
99.02	APPLICATION MACRO	选择应用宏	FACTORY	选择工厂宏
99.04	MOTOR CTRL MODE	选择控制模 式	DTC	直接转矩控制
99.05	MOTOR NOM VOLTAGE	电动机额定 电压	380V	
99.06	MOTOR NOM CURRENT	电动机额定 电压	5A	
99.07	MOTOR NOM FREQ	电动机额定 频率	50Hz	
99.08	MOTOR NOM SPEED	电动机额定 转速	1420r/min	
99.09	MOTOR NOM POWER	电动机额定 功率	2.2kW	
99.10	MOTOR RUN MODE	自动测量方 式选择	STANDARD	标准运行方式
12.01	DI13,4,5,6	DI13 ~ DI16 功能选择	1	多挡转速端子有 效
12.02	CONST SPEED 1	第 1 挡转速	375 r/min	
12.03	CONST SPEED 2	第 2 挡转速	600 r/min	
12.04	CONST SPEED 3	第 3 挡转速	1000 r/min	
12.05	CONST SPEED 4	第 4 挡转速	1500 r/min	
12.06	CONST SPEED 5	第 5 挡转速	2500 r/min	
12.07	CONST SPEED 6	第 6 挡转速	1200 r/min	
12.08	CONST SPEED 7	第 7 挡转速	1800 r/min	
12.09	CONST SPEED 8	第 8 挡转速	3000 r/min	

5. 电动机参数的自动测量

- (1) 电动机和负载脱开
- (2) 电动机应为正方向旋转
- (3) 电动机的转速约为额定转速的 50%~80%
- (4) 时间约 1min

休 息 15 分 钟

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

<http://www.plcworld.cn>

二次方两眼盯节能!

5.5 风机的变频调速

5.5.1 风机的机械特性

1. 转矩特点

$$T_L = K_T \cdot n_L^2$$

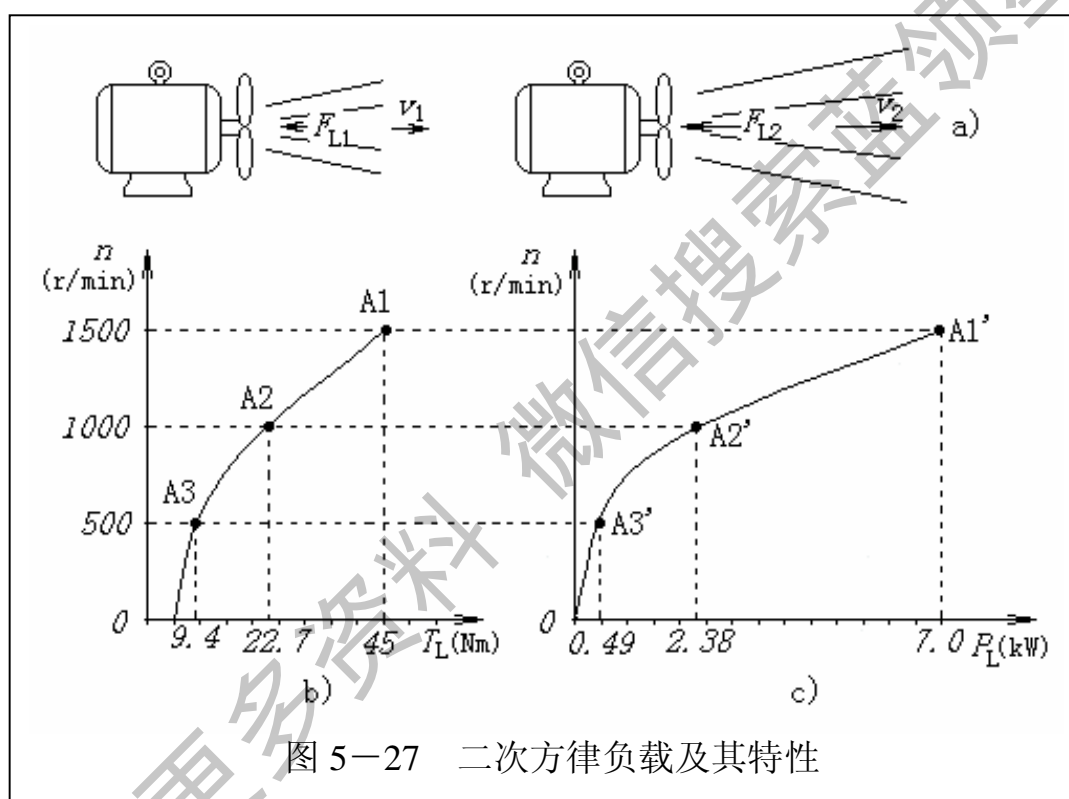


图 5-27 二次方律负载及其特性

2. 功率特点

$$P_L = \frac{K_T n_L^2 \cdot n_L}{9550} = K_P \cdot n_L^3$$

严格地讲，转矩表达式应为：

$$T_L = T_0 + K_T \cdot n_L^2$$

功率表达式为：

$$P_L = P_0 + K_P \cdot n_L^3$$

5.5.2 实例

1. 鼓风机实例

某加热炉鼓风机：55kW、1480r/min、102.5A。

工频运行时的实际工作电流是 96A。

2. 变频器选型

(1) 变频器的型号

对于风机和水泵用变频器，应优先考虑价格。

今选康沃 CVF-P3 系列变频器。

(2) 变频器的容量

鼓风机一般不会过载，故变频器的容量与电动机相同即可。今选：

康沃 CVF-P3-4T0550 型变频器，其额定数据是：73.7kVA、112A、
 配用 55kW 电动机。

3. 变频调速方案

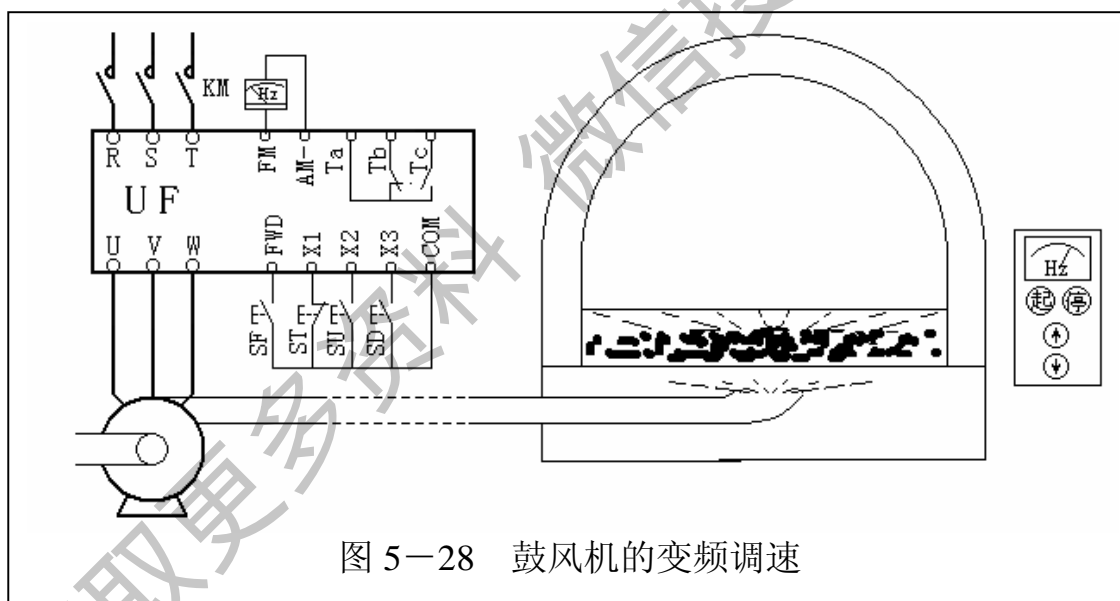
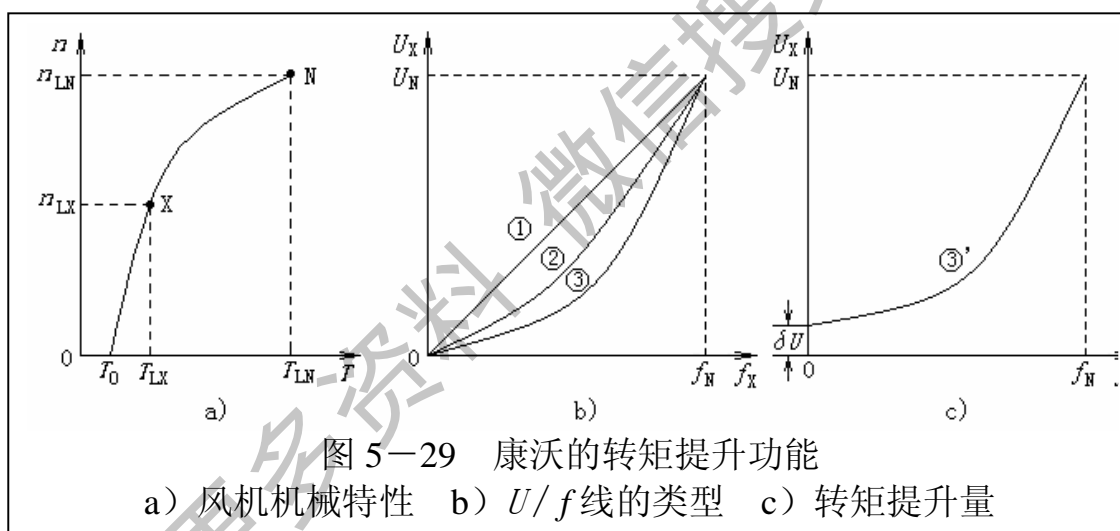


图 5-28 鼓风机的变频调速

4. 基本功能预置

功能码	功能含义	数据码	数据码含义
b-1	频率输入通道选择	5	频率递增递减端子控制
b-3	运行指令通道选择	1	外部端子控制, STOP 键无效
b-5	电动机额定电压	380	额定电压为 380V
b-6	电动机额定频率	50	额定频率为 50Hz
b-10	AM 端子输出设定	0	AM 端子测量输出频率
b-12	AM 端子输出增益	1.00	满刻度对应额定频率
L-3	上限频率	45	上限频率为 45Hz
L-63	X1 端子功能选择	17	三线式控制
L-64	X2 端子功能选择	11	频率递增 (UP)
L-65	X3 端子功能选择	12	频率递减 (DOWN)

5. 转矩提升功能的预置



功能码	功能名称	数据码	数据码含义
L-0	U/f 线类型选择	2	选图 5-30 a) 中的曲线②
L-1	转矩提升	5%	提升量为额定电压的 5%
L-2	转矩提升方式	0	手动提升

<http://www.plcworld.cn>

6. 加、减速功能的预置

功能码	功能名称	数据码	数据码含义
b-7	加速时间 1	40	加速时间为 40s
b-8	减速时间 1	80	减速时间为 80s
b-9	加、减速方式	0	直线方式
L-6	起动方式	1	先制动再起动，保证零速起动
L-9	起动时直流制动电压	8%	为额定电压的 8%
L-10	起动时直流制动时间	0.5	直流制动时间为 0.5s

7. 保护功能的预置

电流取用比 $I_M\% = \frac{102.5}{112} \times 100\% = 91.5\%$

功能码	功能名称	数据码	数据码含义
H-1	过载、过热保护方式	1	自动降低输出频率，限流运行
H-2	过载保护系数	91.5%	电流取用比
H-4	停电再起启动设置	1	瞬时停电后可自行再起启动
H-5	再起启动等待时间	10s	允许停电的最长时间
H-6	故障自恢复次数	2	最多 2 次
H-7	自恢复间隔时间	2 s	跳闸 2 s 后开始自动重合闸

获取更多资料

5.6 水泵的变频调速

5.6.1 大楼的恒压供水

1. 实例

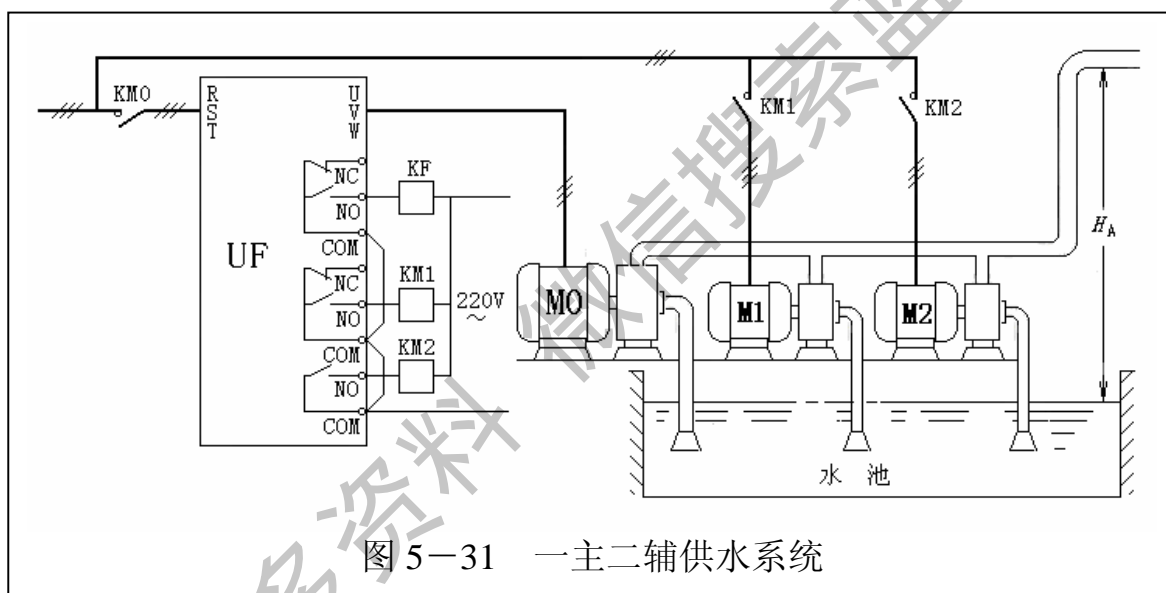
某大楼的供水系统：实际扬程 $H_A=30\text{m}$ ，要求供水压力保持在 0.5MPa ，压力变送器的量程是 $0\sim 1\text{MPa}$ 。采用一主二辅供水系统。

主泵电动机： 22kW 、 42.5A 、 1470r/min ，由变频器控制。

配用变频器：配用西门子 MM430 系列变频器， 29kVA （适配电动机为 22kW ）， 45A 。

辅泵电动机： 5.5kW 、 11.6A 、 1440r/min ，直接接到工频电源上。

2. 供水系统的构成



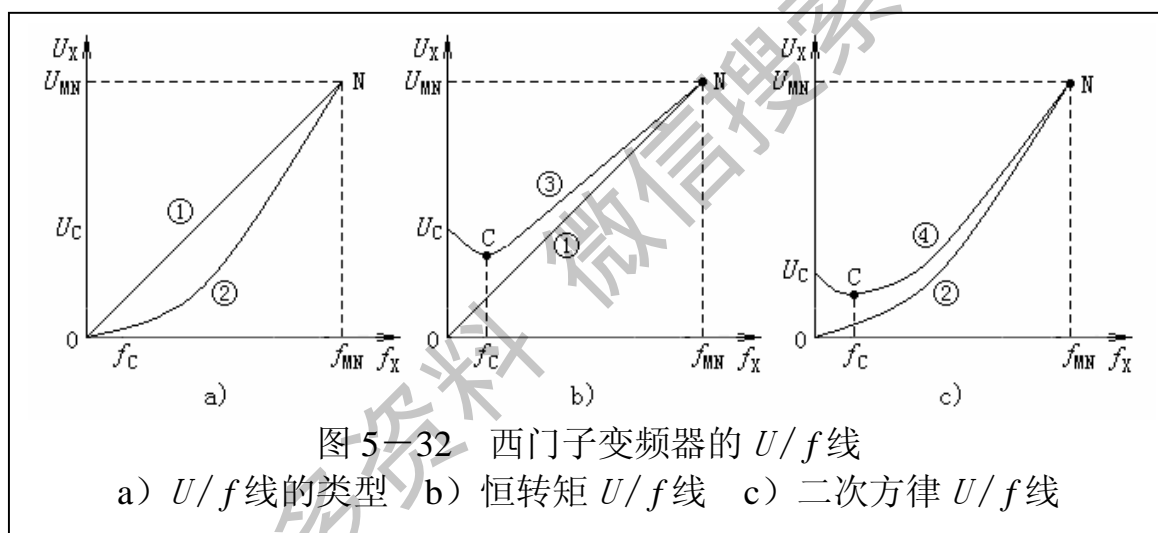
5. 6. 2 功能预置

1. 基本功能的预置

功能码	功能名称	数据码	数据码含义
P0210	供电电压	380V	
P0290	变频器过载时的措施	0	降低频率，防止跳闸
P1080	最低频率	30	根据静扬程进行预置
P1082	最高频率	50	上限频率为 50Hz
P1120	斜坡上升时间	20s	
P1121	斜坡下降时间	20s	

2. 转矩提升功能的预置

(1) 西门子变频器的 U/f 线设置

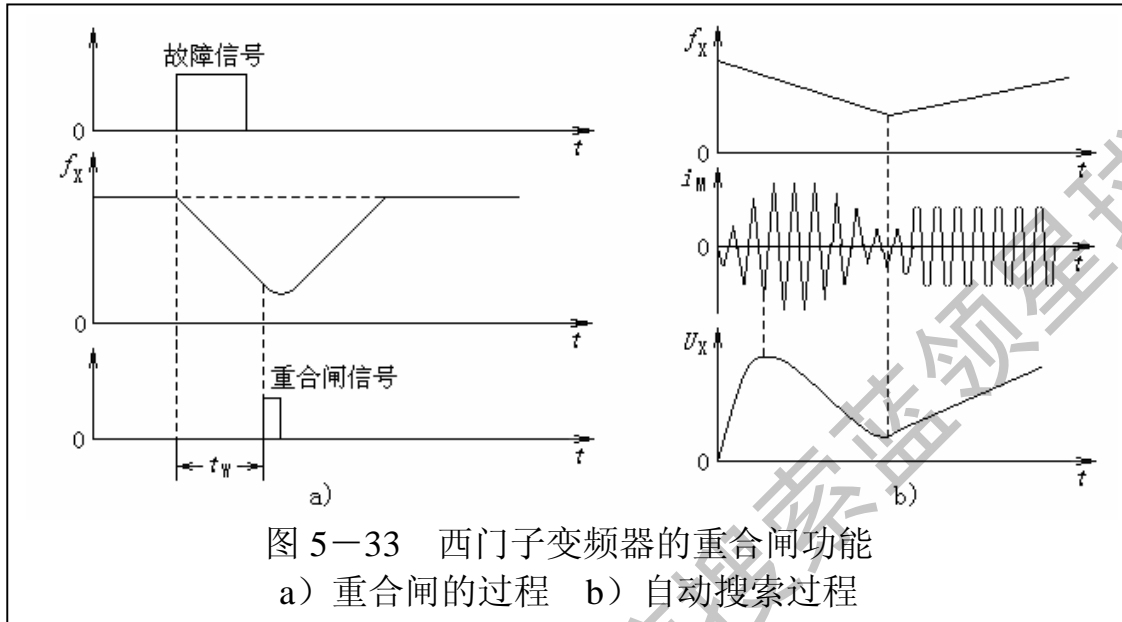


(2) 相关功能预置

功能码	功能名称	数据码	数据码含义
P1300	变频器的控制方式	2	二次方律转矩提升方式
P1312	起始提升	10%	提升量为额定电流的 10%

3. 保护功能的预置

(1) 重合闸功能



(2) 相关功能预置

功能码	功能名称	数据码	数据码含义
P0640	电动机过载因子	95%	即电流取用比
P1200	捕捉再启动	1	从给定频率开始搜索
P1202	捕捉再启动电流	110%	小于 110% I_{MN} 即捕捉成功
P1203	捕捉再启动搜索速率	100%	每 ms 改变转差频率的 2%
P1210	自动再启动	5	故障后重合闸
P1211	再启动重试的次数	3	允许重合闸 3 次
P1212	第一次启动的时间	10 s	第一次重合闸的等待时间

转差频率 f_s 的计算:

$$f_s = \frac{p \cdot \Delta n}{60}$$

5. 6. 3 恒压供水的过程控制

1. 通道选择与信号范围

(1) 接线图

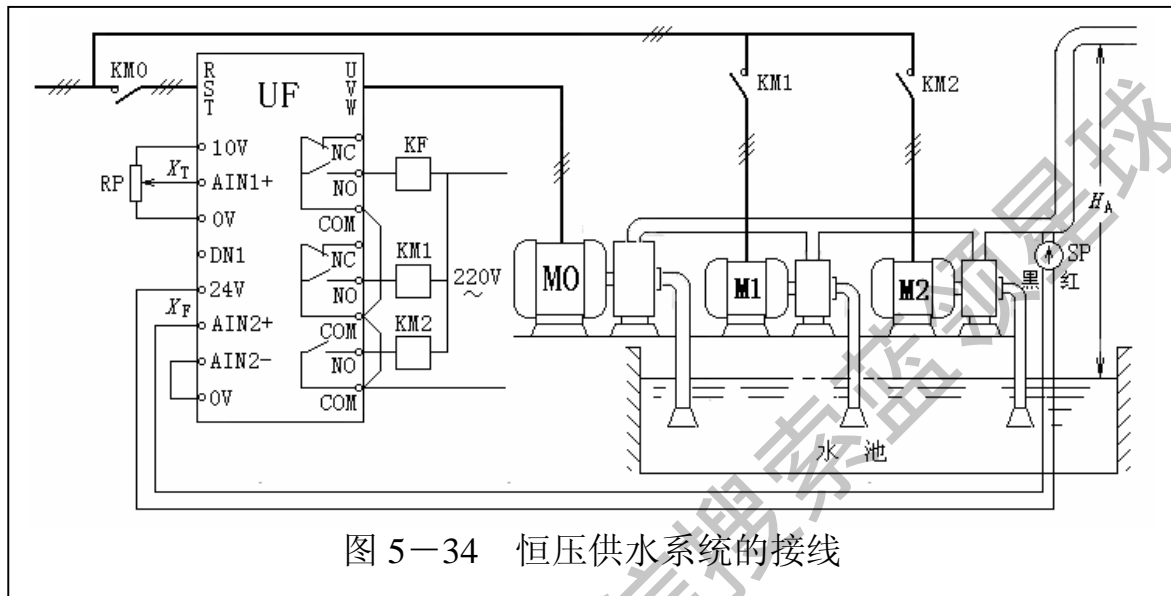


图 5-34 恒压供水系统的接线

(2) 目标信号的确定

- ∴ 压力变送器的量程为 0~1 MPa，而要求的供水压力是 0.5MPa
- ∴ 目标信号应为 50%。

(3) 相关功能

功能码	功能名称	数据码	数据码含义
P2200	允许 PID 控制投入	1	PID 功能有效
P2253	PID 设定值信号源	755	目标信号从 AIN1+ 端输入
P2264	PID 反馈信号	755	反馈信号从 AIN2+ 端输入
P2266	反馈信号的上限值	60%	与上限压力对应 (0.6MPa)
P2268	反馈信号的下限值	40%	与下限压力对应 (0.4MPa)
P2271	传感器的反馈形式	0	负反馈

反馈形式的判断

在 PID 无效的情况下：

如增大频率，反馈信号也随之增大，则为负反馈；

如增大频率，反馈信号反而减小，则为正反馈。

2. PID 的预置与工况

(1) 工况示意图

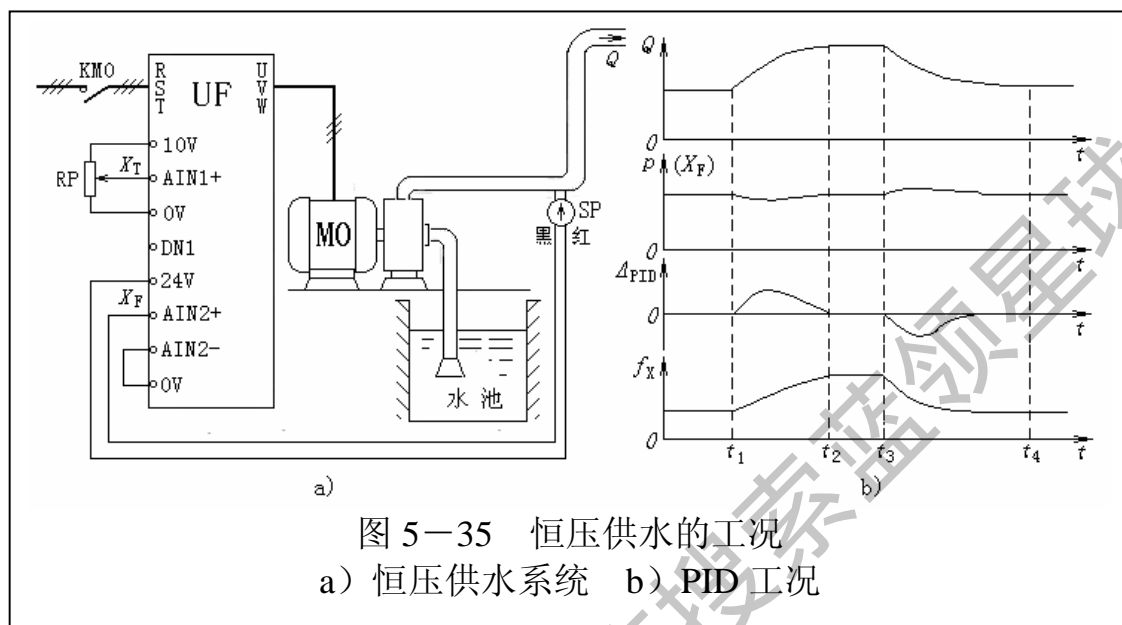


图 5-35 恒压供水的工作

a) 恒压供水系统 b) PID 工况

(2) 相关功能

功能码	功能名称	数据码	数据码含义
P2280	PID 增益系数	5	比例增益为 5
P2285	PID 积分时间	10s	积分时间为 10s
P2291	PID 输出上限	10%	上、下限预置得越小，则加、减泵的切换越频繁
P2292	PID 输出下限	-10%	
P2293	PID 上升时间	20s	起动时防止因加速太快而跳闸

(3) 调试

在流量比较稳定的情况下，如反馈信号时而大于目标信号，时而小于目标信号。说明系统发生了振荡，应：

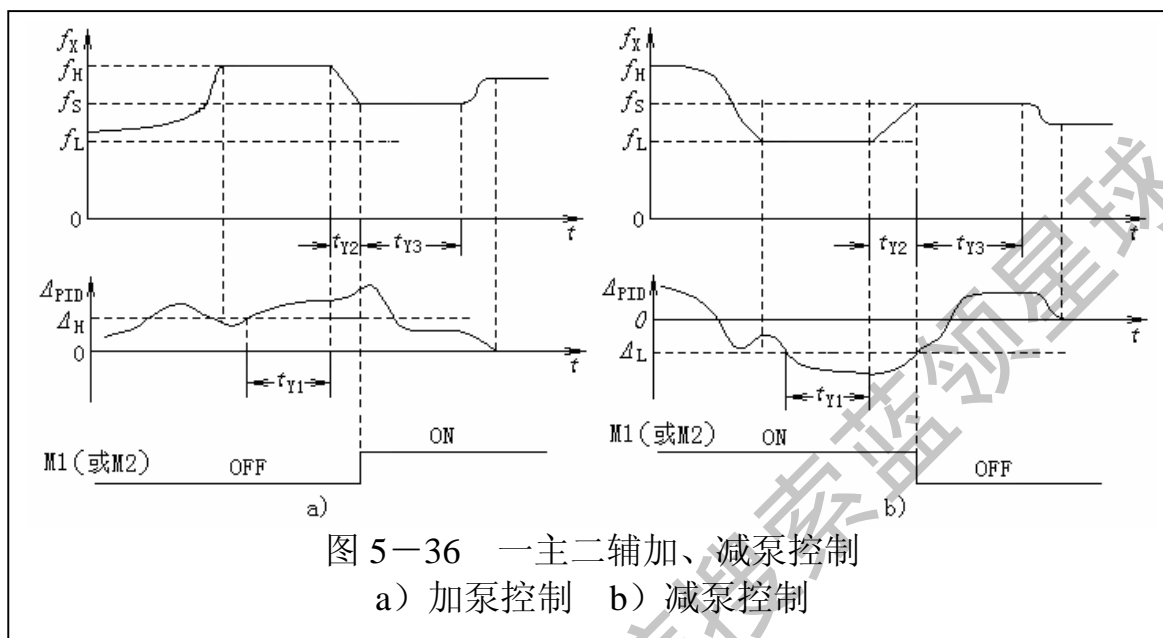
减小 P，或增大 I。

当流量发生变化（增大或减小）后，反馈信号难以迅速地回复到等于目标信号时，说明系统反应迟缓，应：

增大 P，或减小 I。

5. 6. 4 切换控制

1. 加、减泵控制要点



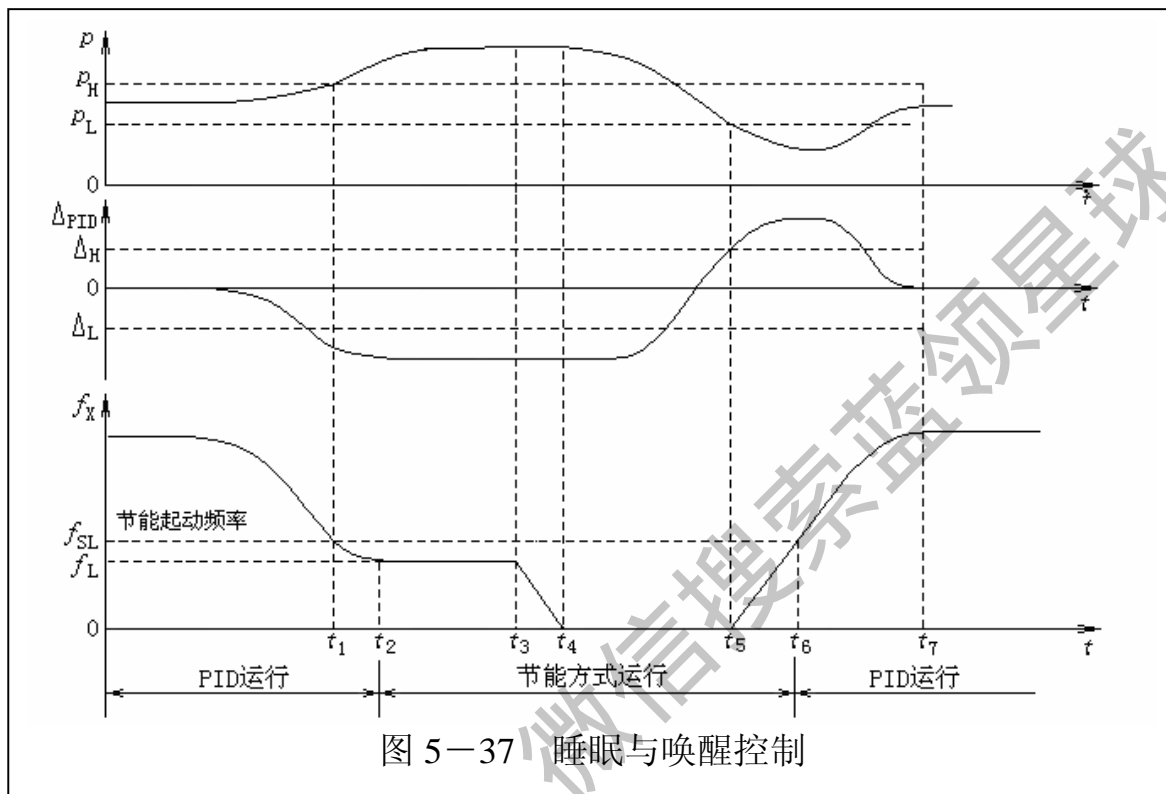
2. 功能预置

功能码	功能名称	数据码	数据码含义	说明
P2371	辅助泵分级控制	2	M1+M2	有 2 台辅助泵参与控制
P2372	辅助泵分级循环	1	分级循环	运行时间短者先加后减
P2373	PID 回线宽度	20%	上下限宽度	即 Δ_H 和 Δ_L 之间的宽度
P2374	加泵延时	300s	加泵确认时间	图中之 t_{Y1}
P2375	减泵延时	300s	减泵确认时间	图中之 t_{Y1}
P2376	PID 调节量极限	40%	Δ_{PID} 超过极限时	立即加、减泵
P2377	禁止加、减泵时间	400s	Δ_{PID} 未回到正常范围时	不能加、减泵 (图中之 t_{Y3})
P2378	加、减泵控制频率	85%	切换过渡频率	即图中之 f_S (42.5Hz)

<http://www.plcworld.cn>

5. 6. 5 睡眠与唤醒控制

1. 控制特点



2. 功能预置

功能码	功能名称	数据码	数据码含义
P2390	节能设定值	35Hz	节能启动频率，即图中之 f_{SL}
P2391	节能定时器	240s	定时器计时时间 ($t_1 - t_3$) 即确认时间
P2392	节能再启动设定	40%	PID 调节量的唤醒值 即图之 Δ_H

第 6 章 变频器的节能和故障分析

风水这边独好！

6.1 节能的几个方面

6.1.1 调速可以节能

1. 恒转矩负载

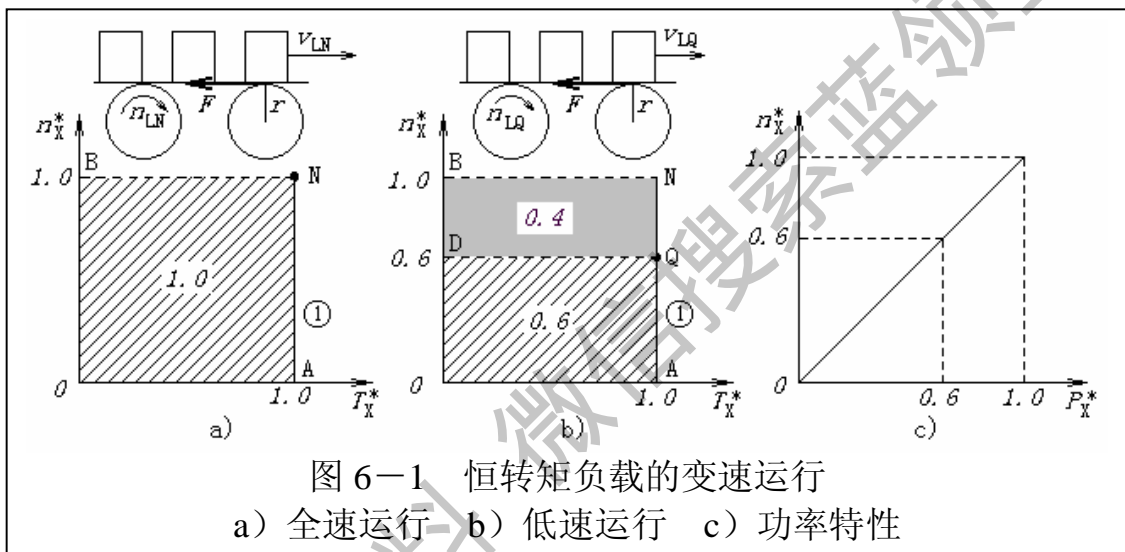


图 6-1 恒转矩负载的变速运行

a) 全速运行 b) 低速运行 c) 功率特性

2. 二次方律负载

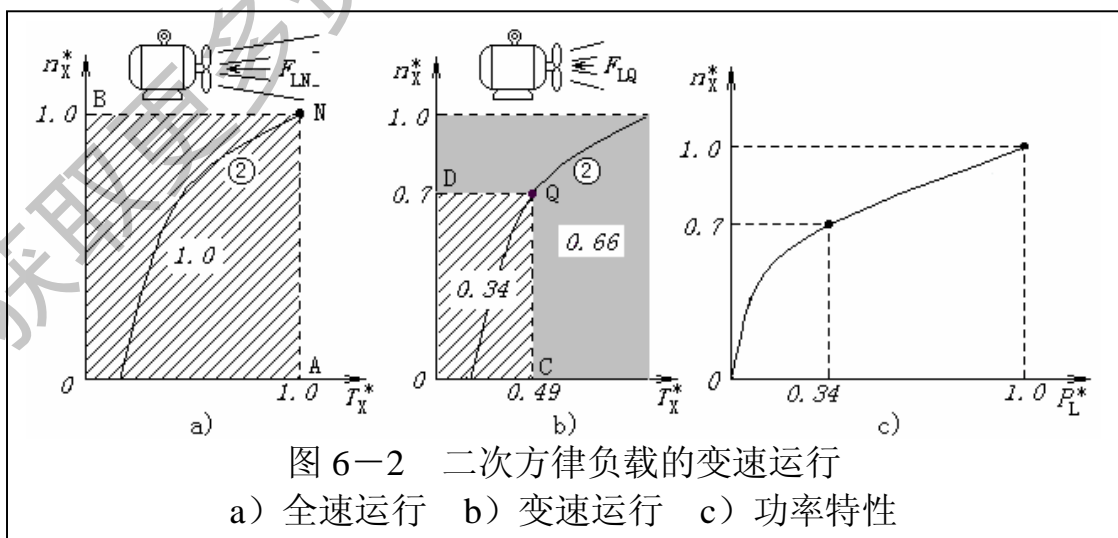
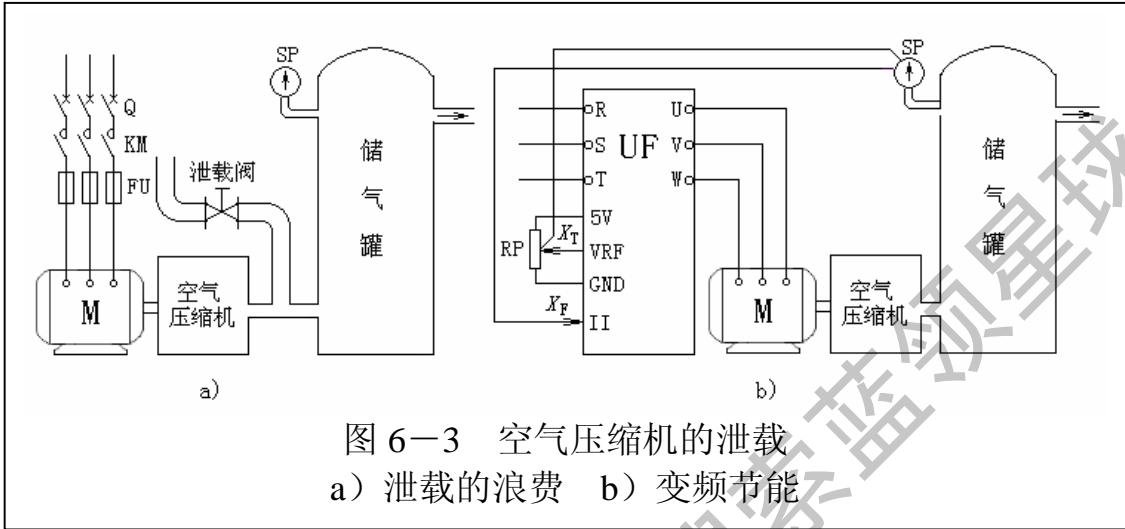


图 6-2 二次方律负载的变速运行

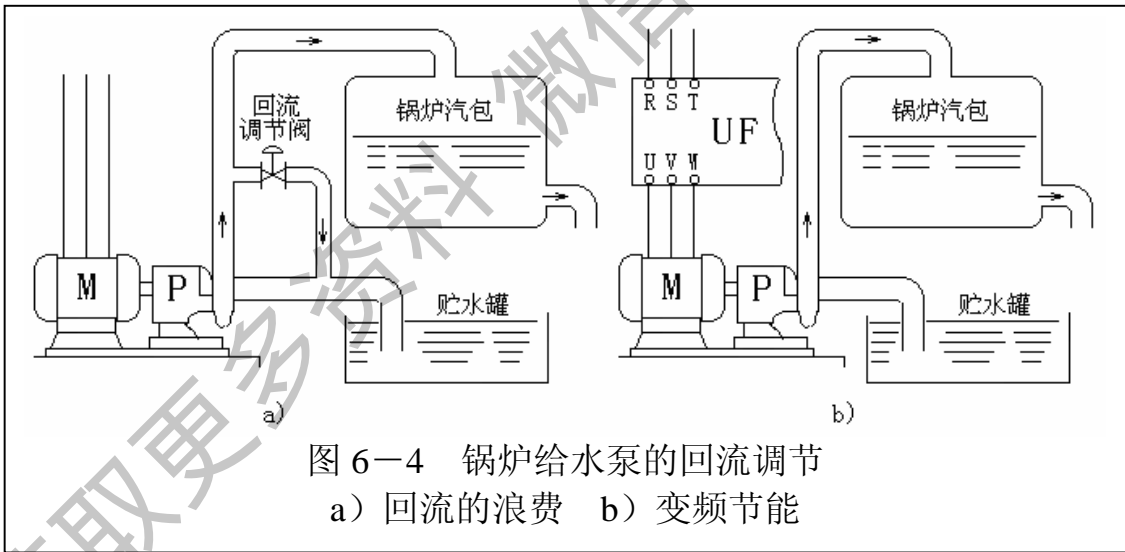
a) 全速运行 b) 变速运行 c) 功率特性

6. 1. 2 消除浪费

1. 空气压缩机泄载



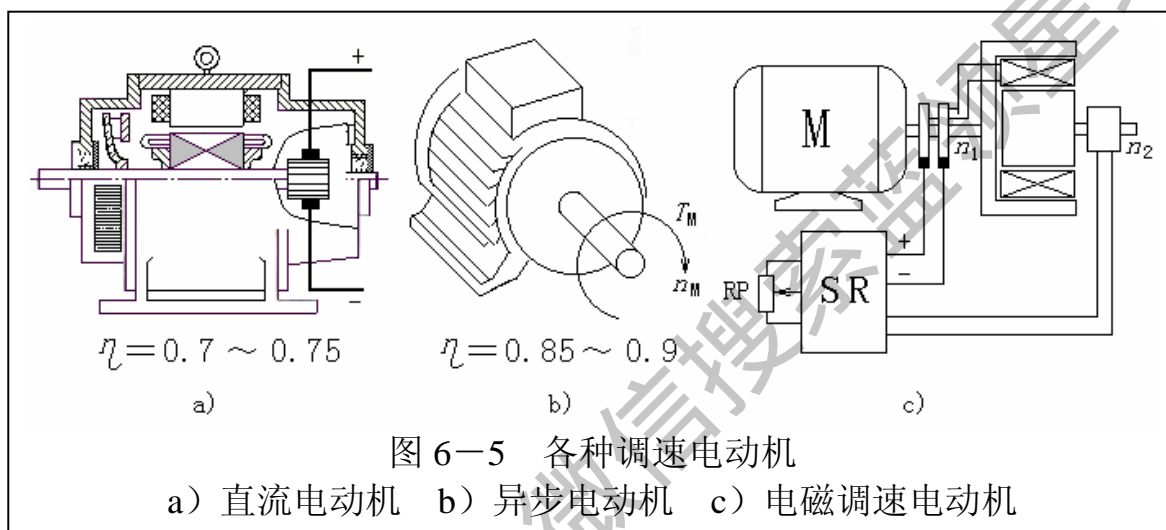
2. 锅炉给水泵回流



变频节能最高!

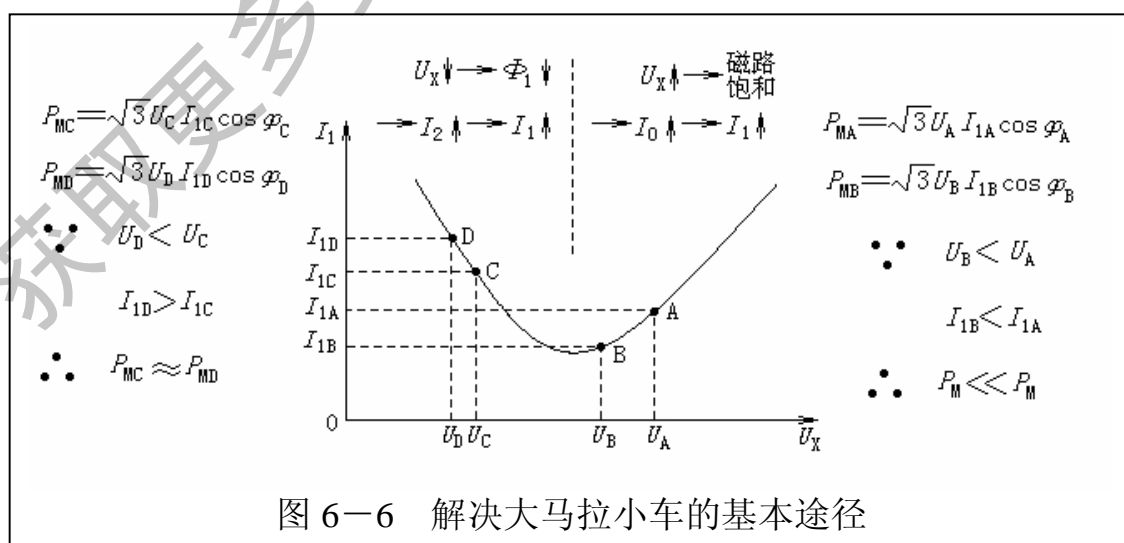
6.2 变频调速的节能

6.2.1 与其他调速电机相比



6.2.2 变频调速的节能措施

1. 降低电压可以节能



2. 变频器的降压措施

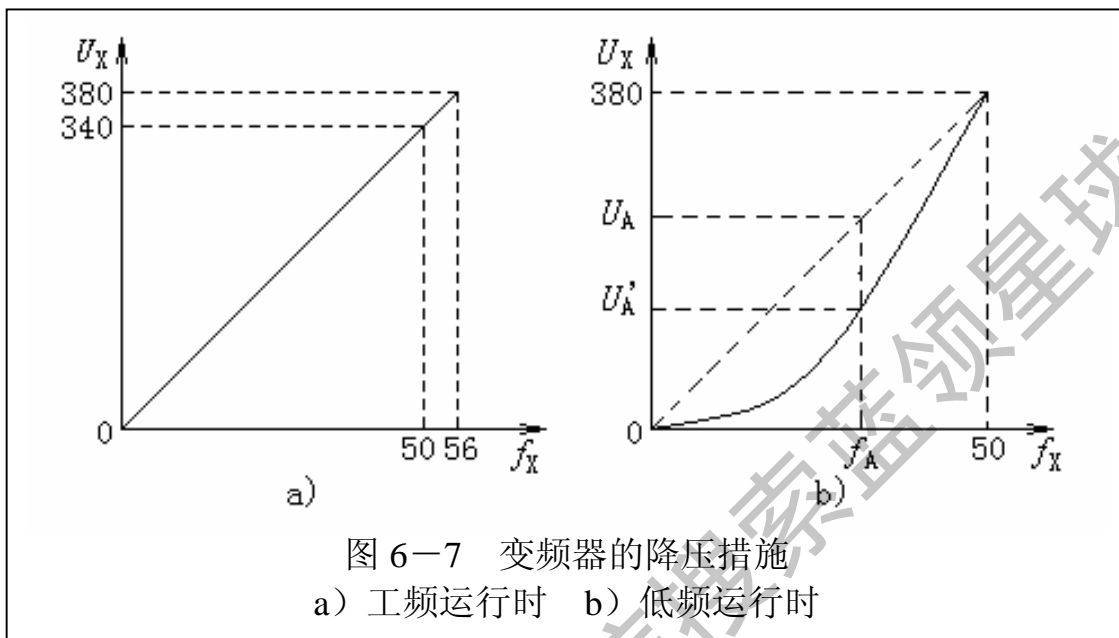


图 6—7 变频器的降压措施
a) 工频运行时 b) 低频运行时

3. 多台变频器共母线

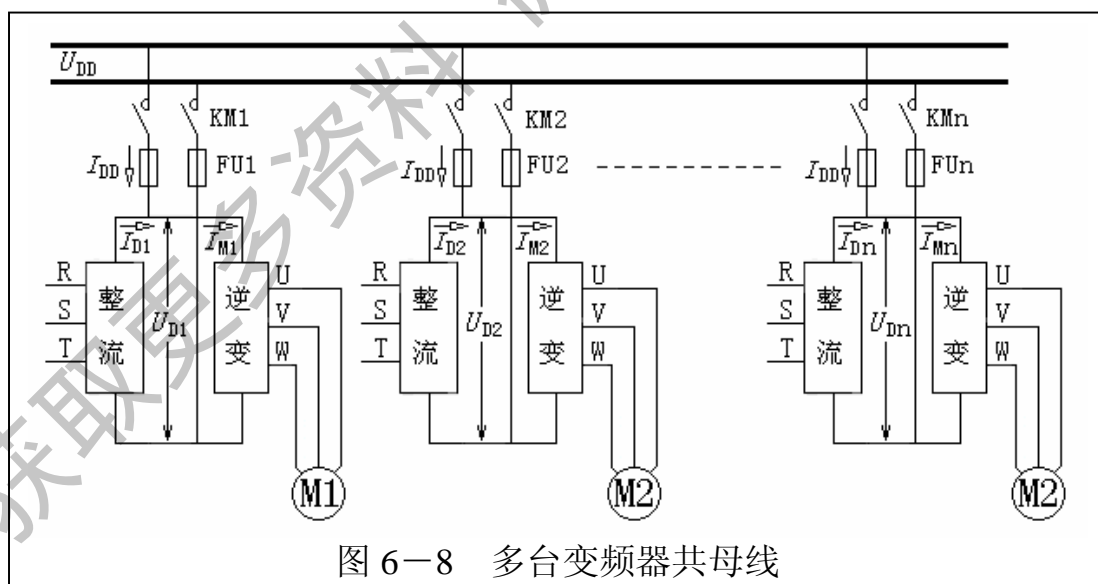


图 6—8 多台变频器共母线

4. 回馈单元

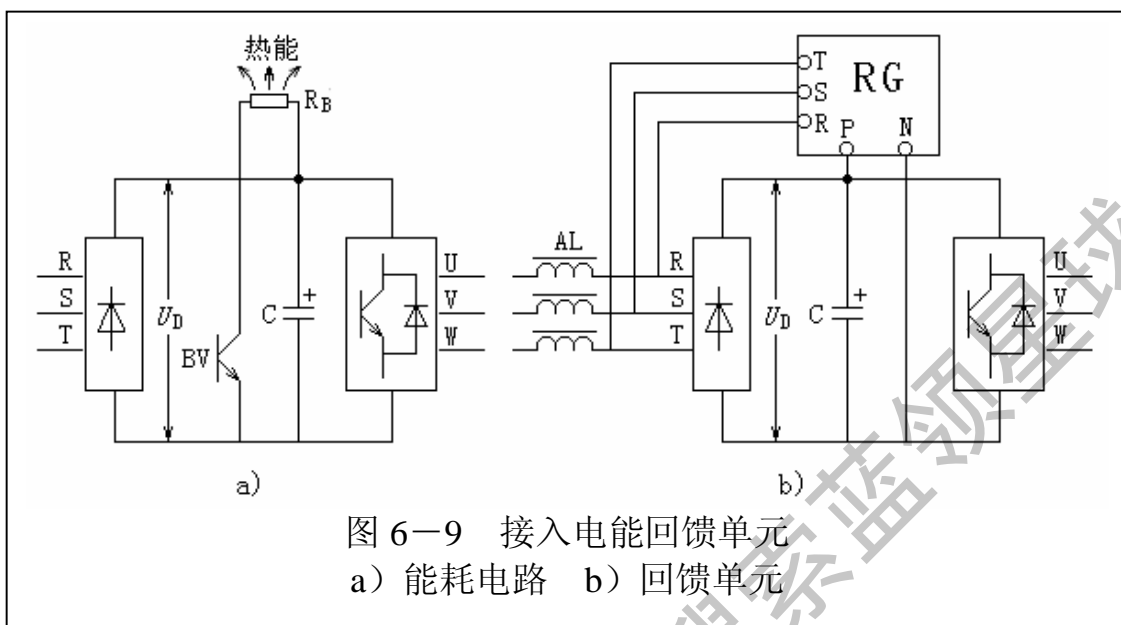


图 6-9 接入电能回馈单元
a) 能耗电路 b) 回馈单元

获取更多资料 微信搜索 蓝领技术

节能分析要到位！

6.2 供水系统的节能分析

6.2.1 水泵管路的基本模型

1. 水泵管路的基本模型和节能的考察部位

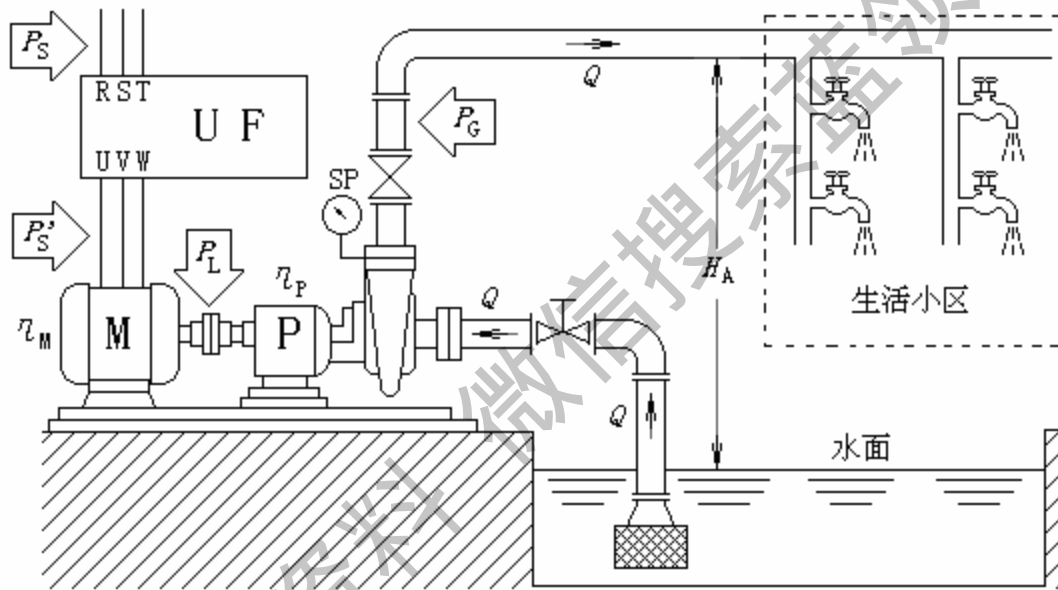


图 6-10 水泵装置的基本模型

2. 变频水泵管路的能量传递

(1) 变频器的输入功率

$$P_{SX} = \sqrt{3} U_L I_{V1} \lambda$$

(2) 变频器的输出功率

$$P_{SX}' = \sqrt{3} U_X I_{V0} \cos \varphi_1$$

$$P_{SX}' \approx P_{SX}$$

(3) 电动机的轴功率

$$P_{MX} = \frac{T_{MX} n_{MX}}{9550} = P_{LX}$$

(4) 管路的流体功率

<http://www.plcworld.cn>

$$P_{GX}=0.163H_XQ_X$$

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

6. 2. 2 流体功率的节能分析

1. 管路的基本特性与工作点

(1) 扬程特性

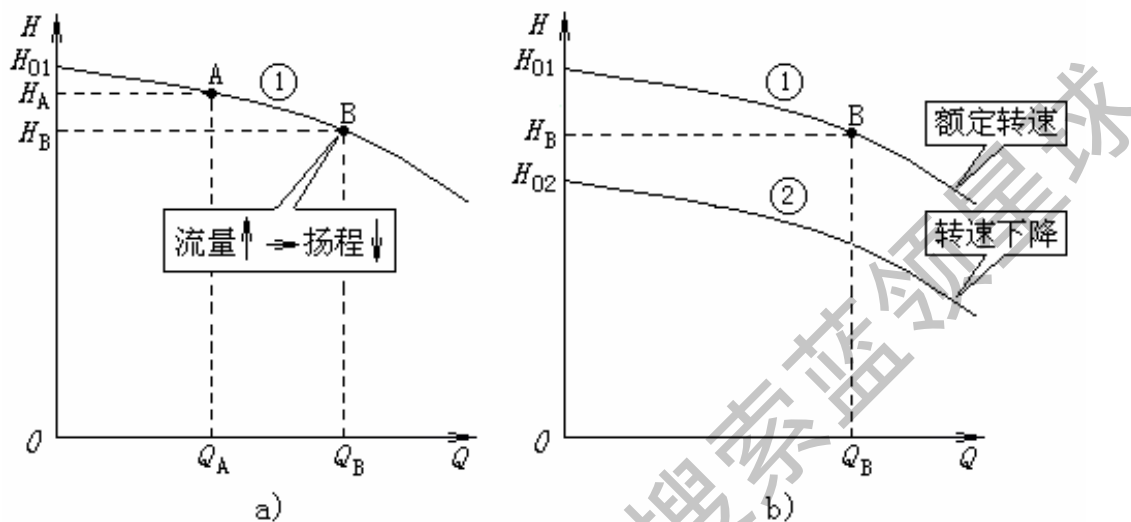


图 6-11 供水系统的扬程特性

a) 全速时的扬程特性 b) 不同转速时的扬程特性

(2) 管阻特性

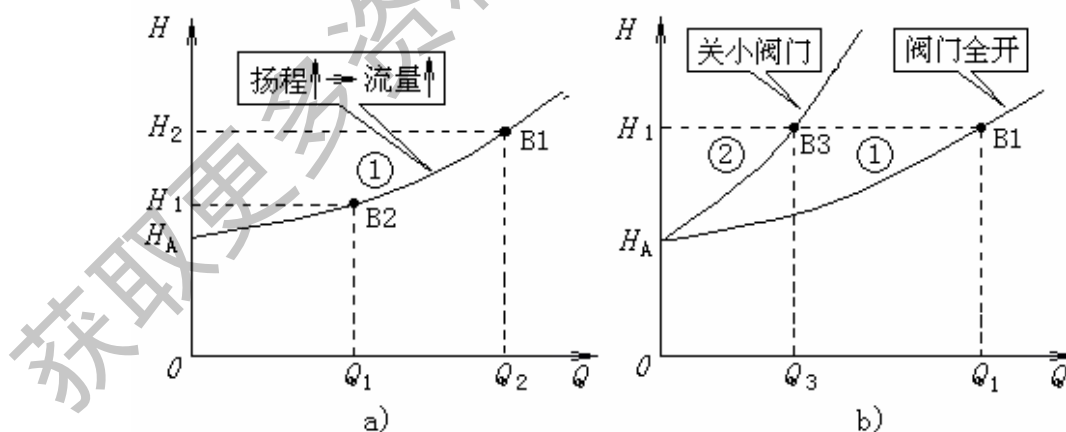


图 6-12 供水系统的管阻特性

a) 阀门全开时的管阻特性 b) 不同开度时的管阻特性

(3) 供水系统的工作点与基本功耗

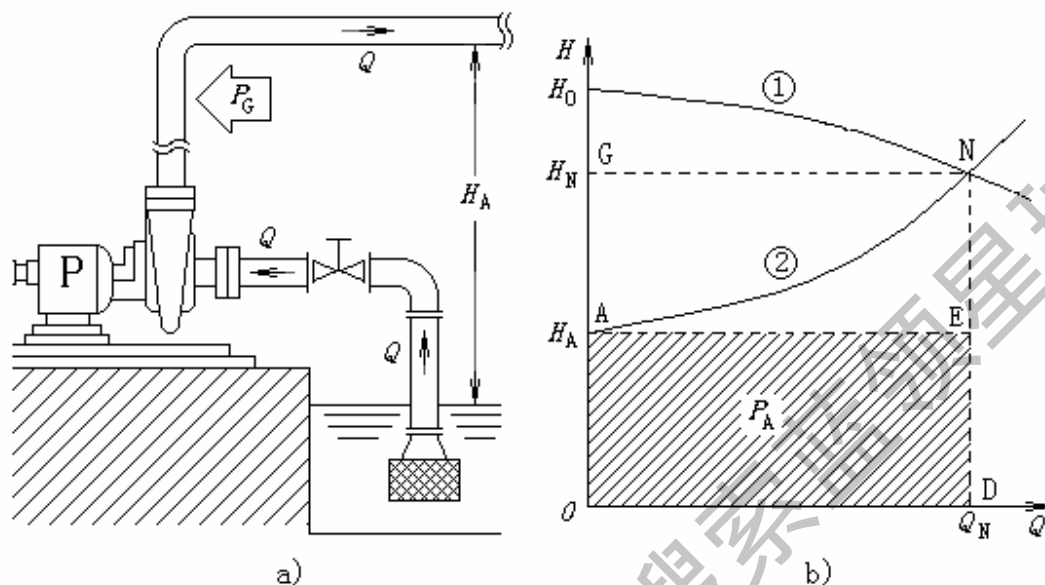


图 6-13 供水系统的工作点

a) 供水系统的静扬程 b) 工作点与基本功耗

消耗功率: $P = 0.163H \cdot Q$

基本功耗: $P_A = 0.163H_A \cdot Q$

2. 流体功率的节能分析

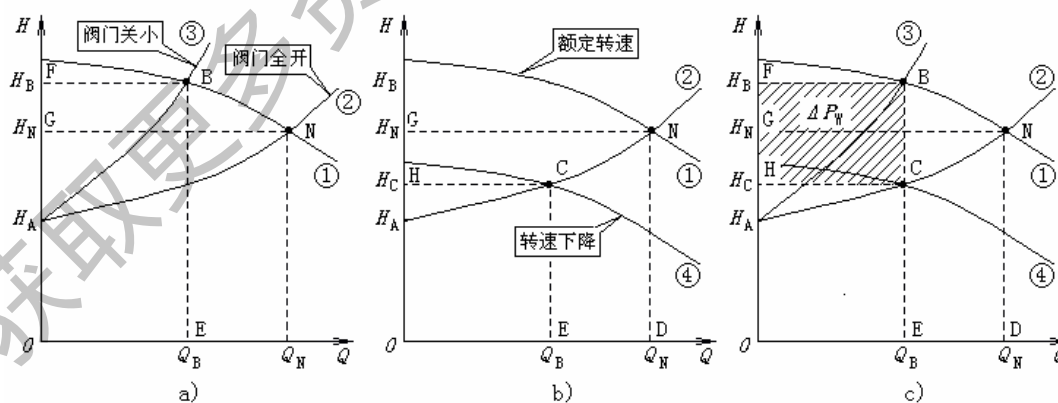


图 6-14 不同控制方式的节能效果

a) 关小阀门调节流量 b) 降低转速调节流量 c) 两种方法的比较

3. 节约功率并非单调函数

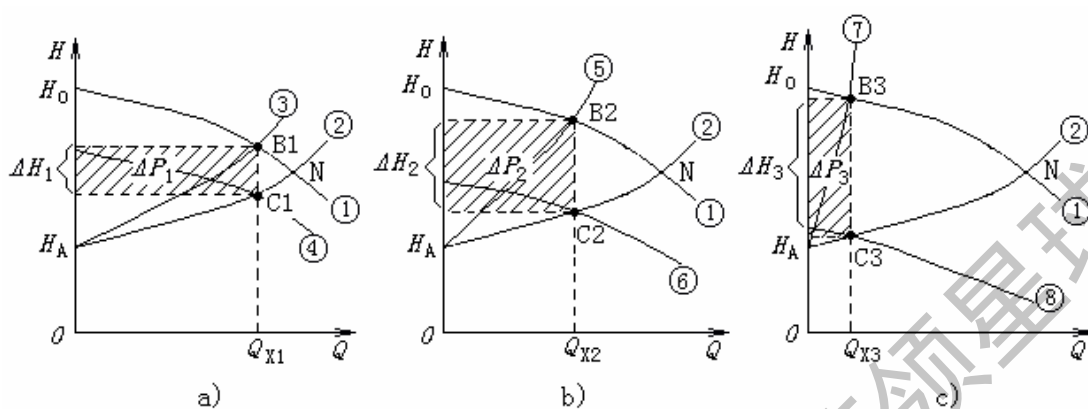


图 6-15 节能效果与流量的关系
a) 流量大 b) 流量减小 c) 流量更小

6. 2. 3 轴功率的节能分析

1. 水泵的机械特性

$$T_L = T_0 + K_T \cdot n_L^2$$

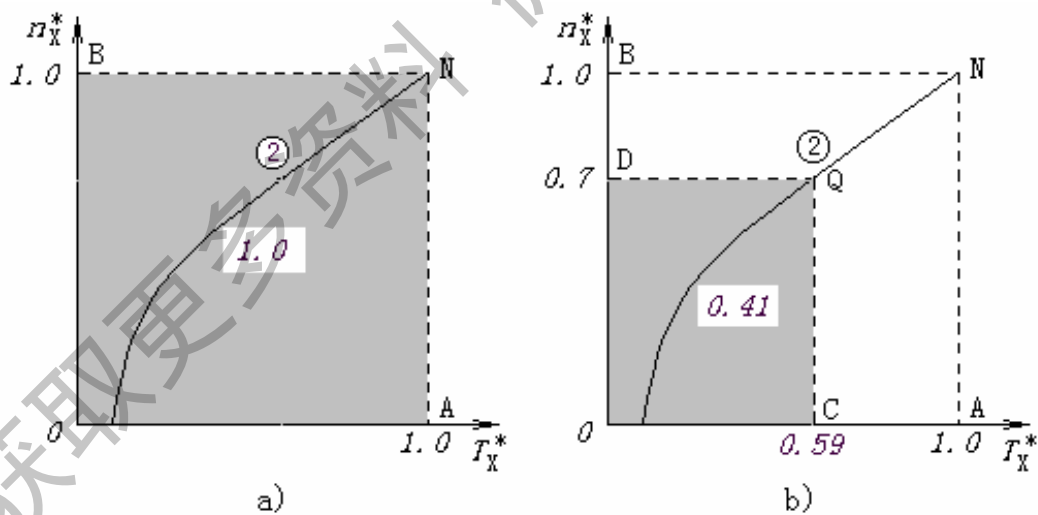


图 6-16 离心式水泵的机械特性
a) 全速运行 b) 低速运行

2. 轴功率节能效果与流体功率的差别

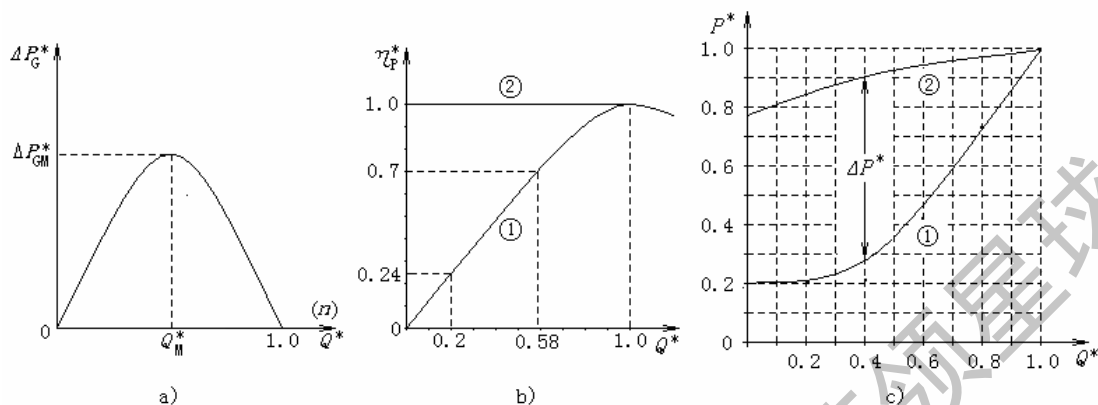


图 6—17 轴功率与流量的关系

a) 流体功率节能特点 b) 水泵的效率 c) 轴功率与流量的关系

6. 2. 4 电功率的节能分析

1. 电动机的输入功率

$$P_M = \sqrt{3} U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

当 $f_X < f_N$ 时

(1) U_X 的大小取决于 U/f 比 (由预置转矩提升决定)

(2) 电流 I_{1X} 的变化规律见电流—电压曲线 [$I_{1X} = f(U_X)$]

2. 节能效果与 U/f 比

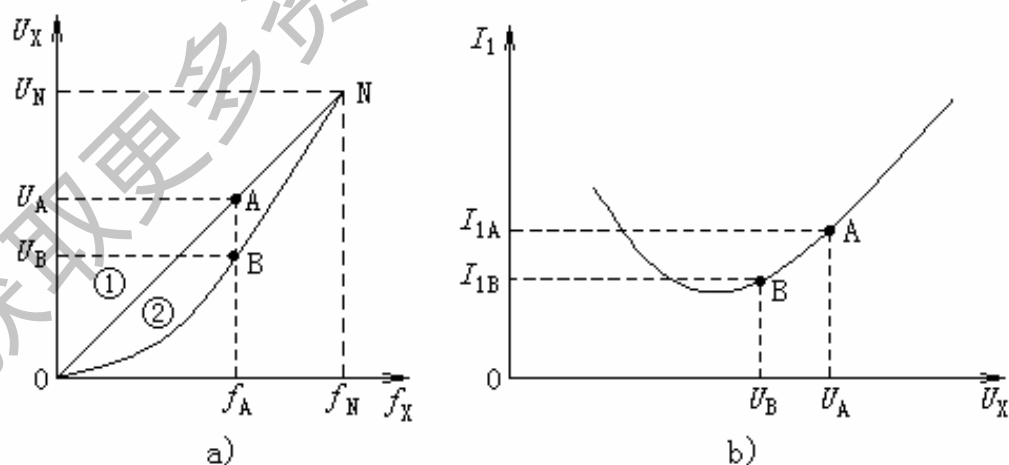


图 6—18 转矩提升与节能

a) U/f 线 b) 低频时的工况

3. 小结

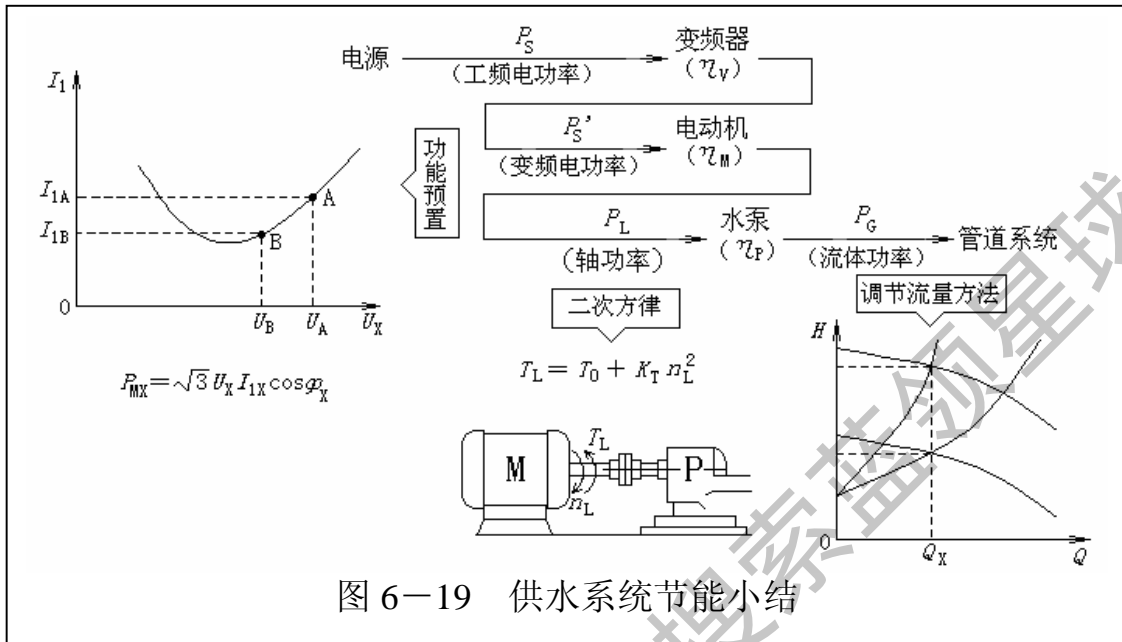


图 6-19 供水系统节能小结

获取更多资料 微信搜索 全球工控网

<http://www.plcworld.cn>

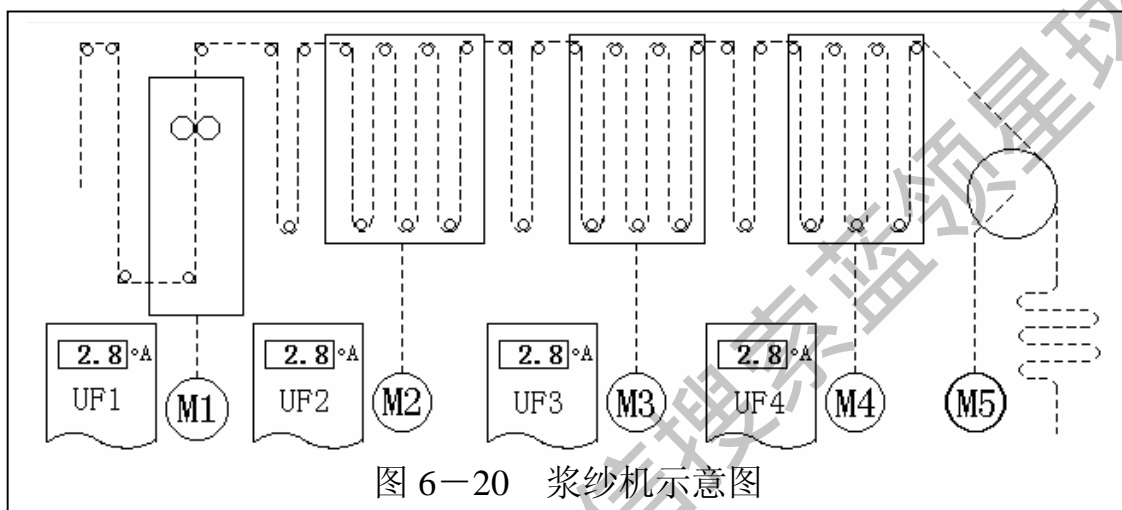
6.3 全面评价经济效益

6.3.1 故障减少的效益

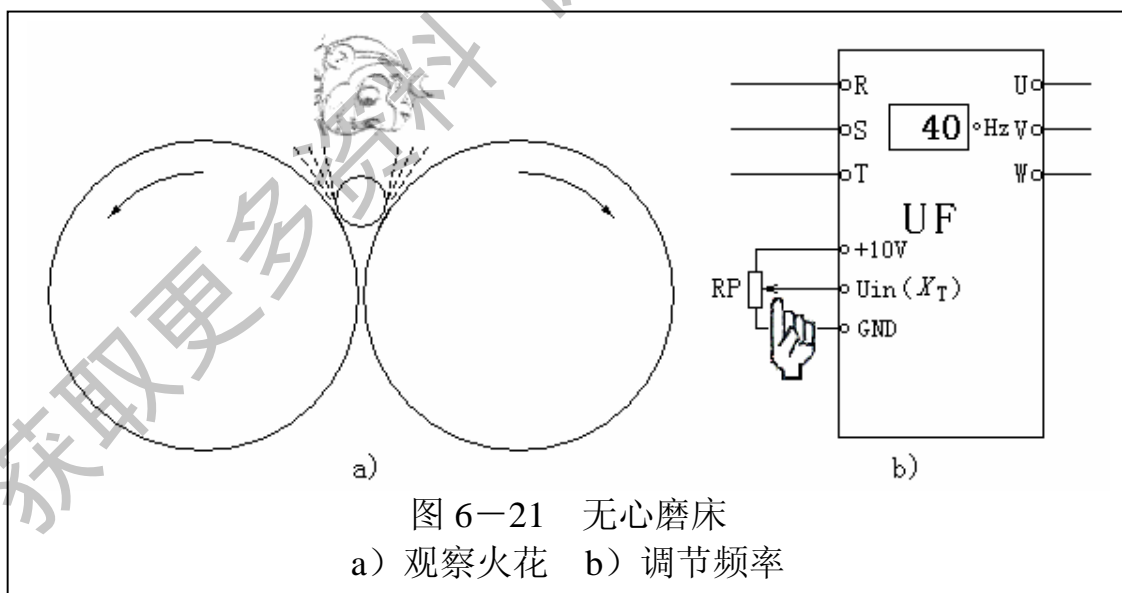
6.3.2 设备寿命延长的效益

6.3.3 产品质量提高的效益

(1) 浆纱机 变频调速可使各单元张力一致。



(2) 无心磨床 一面观察火花，一面调节频率，可提高光洁度。



6.3.4 意外惊喜带来的效益

休 息 15 分 钟

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

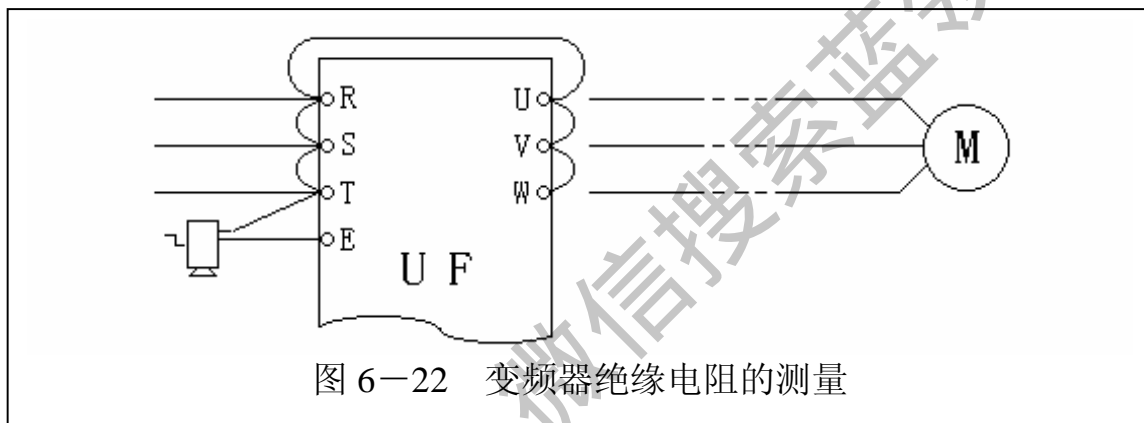
灵不灵

当场试验!

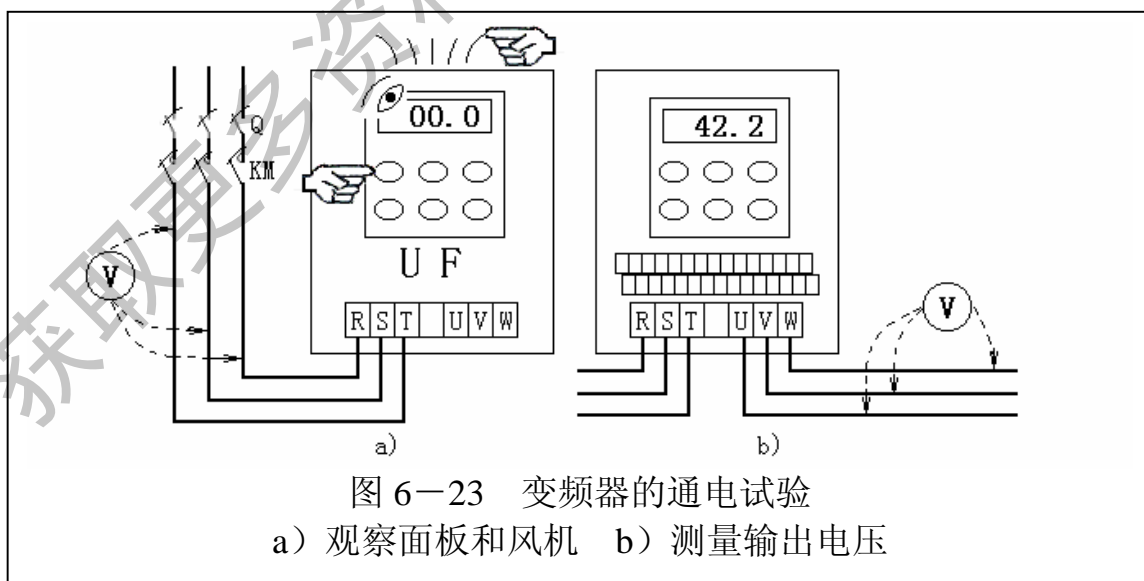
6.4 新购变频器的试验

6.4.1 通电试验

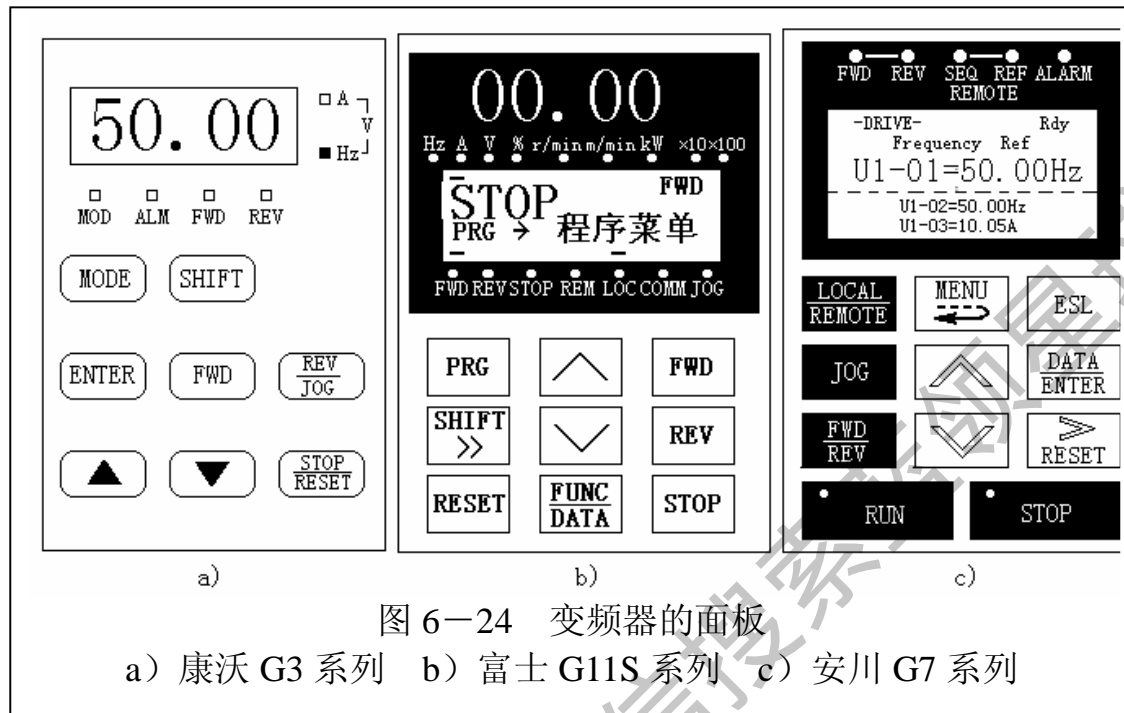
1. 通电前的准备



2. 通电后的观察



3. 熟悉变频器的面板



模式转换

康沃之 MODE 键、富士之 PRG 键、安川之 MENU 键。

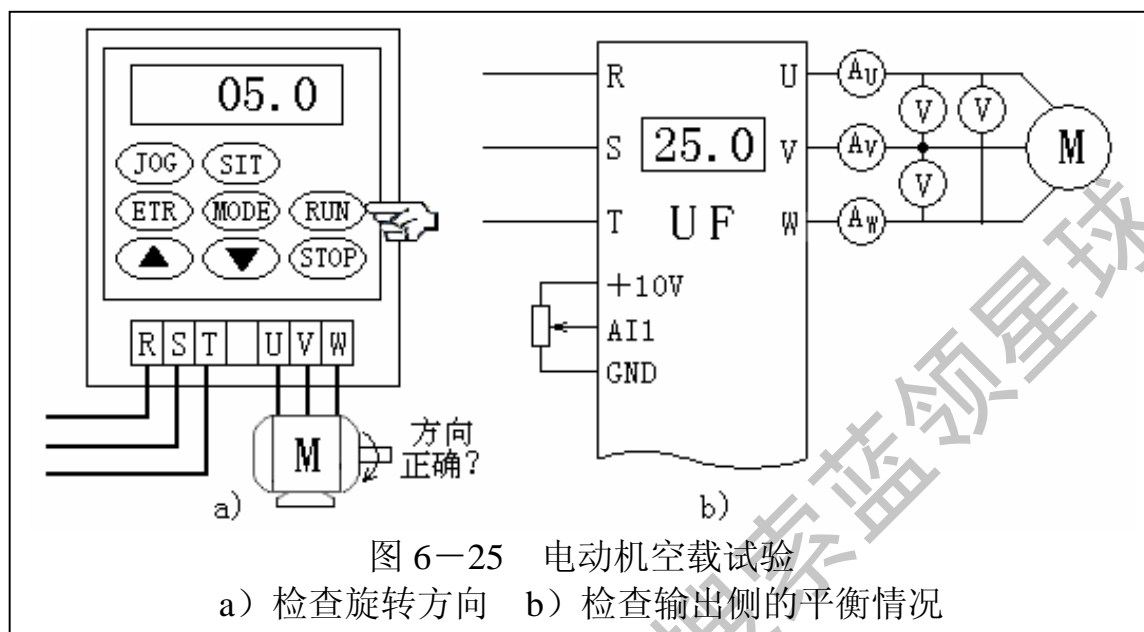
读出与写入

康沃之 ENTER 键、富士之 FUNC / DATA 键、安川之 DATA / ENTER 键。

运行

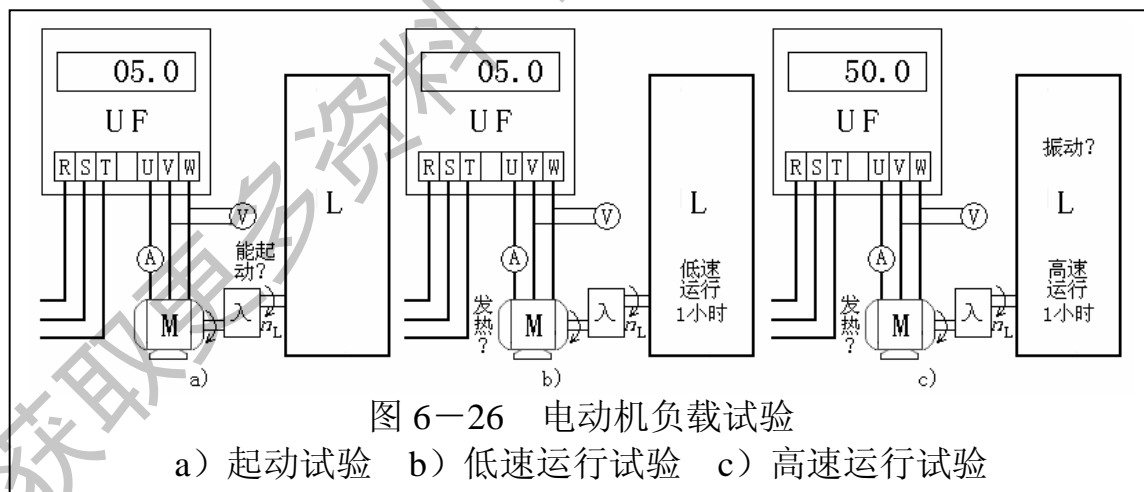
康沃之 FWD、REV / JOG 键、富士之 FWD、REV 键、安川之 RUN、FWD / REV 键。

6. 4. 2 电动机的空载试验



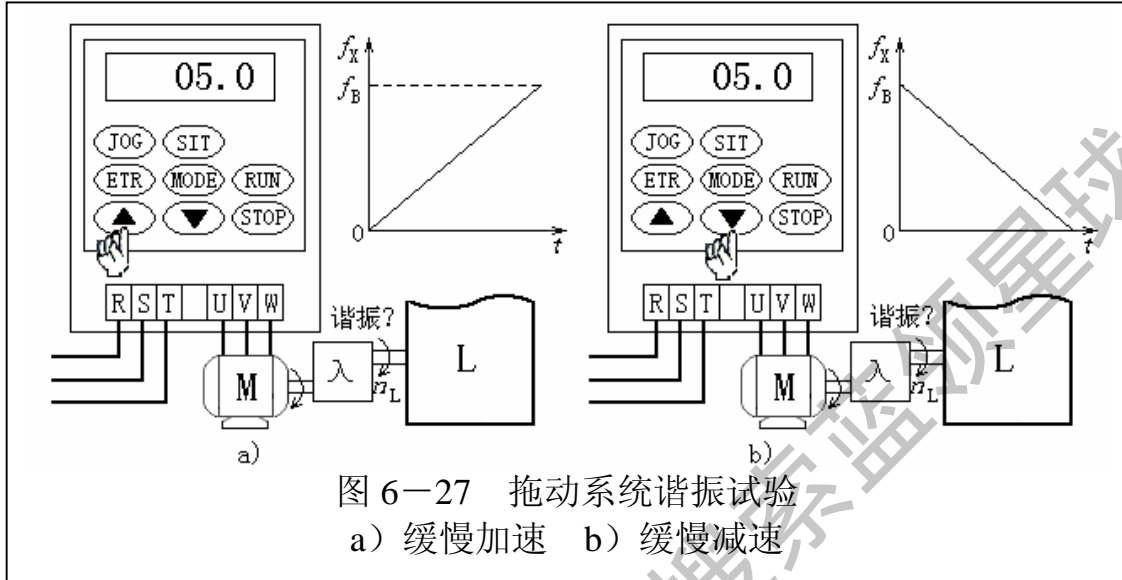
6. 4. 3 电动机的负载试验

1. 负载试验内容

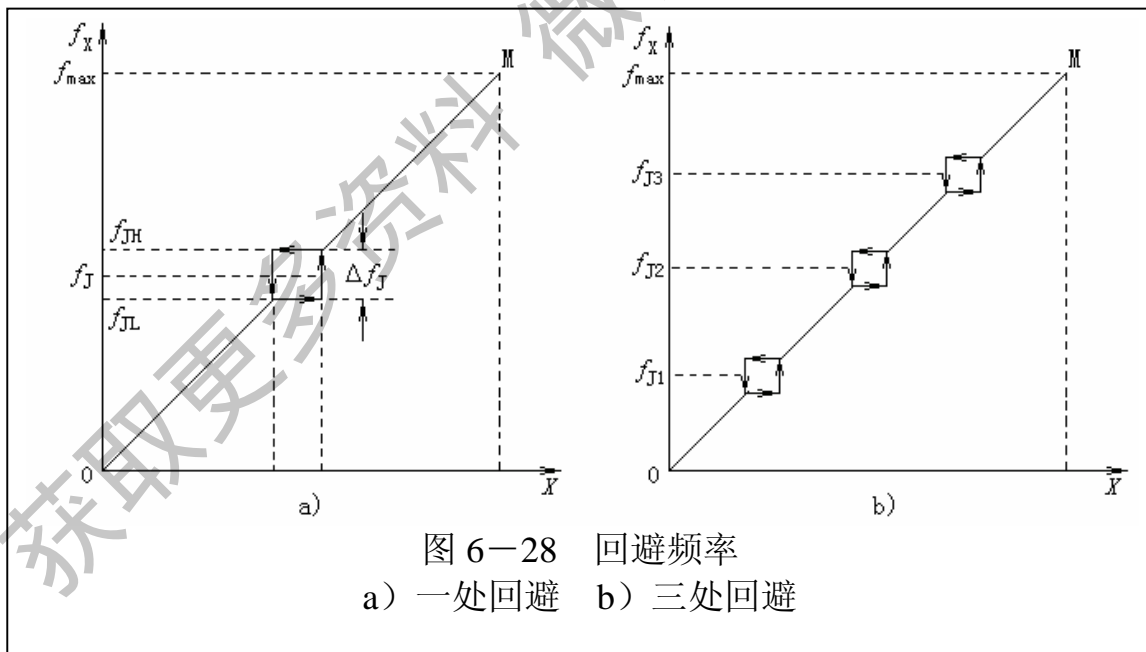


2. 谐振试验

(1) 试验方法

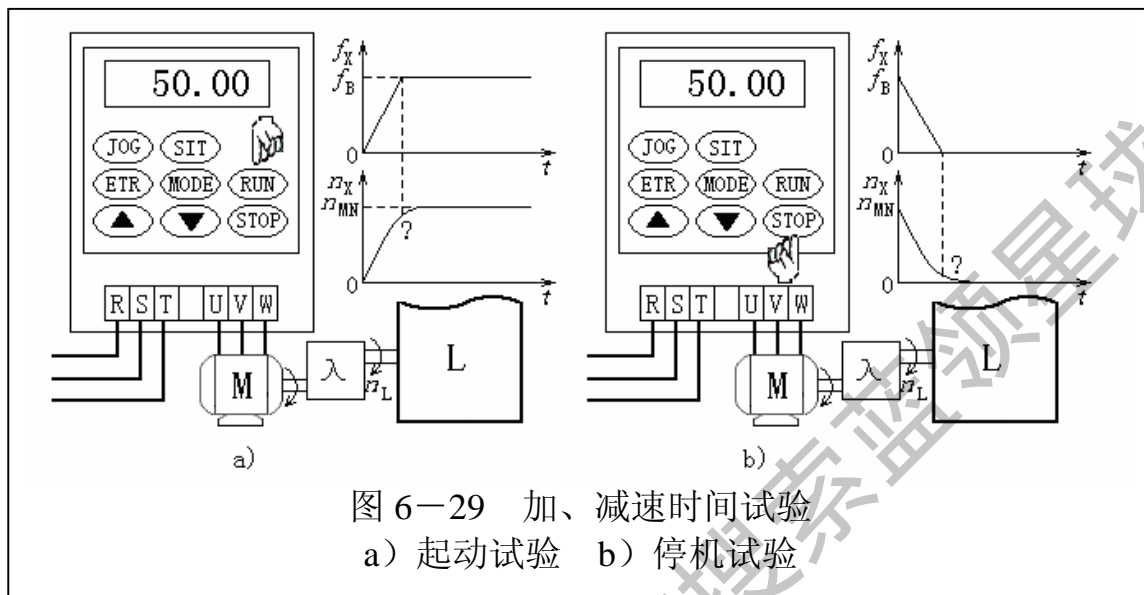


(2) 谐振的消除



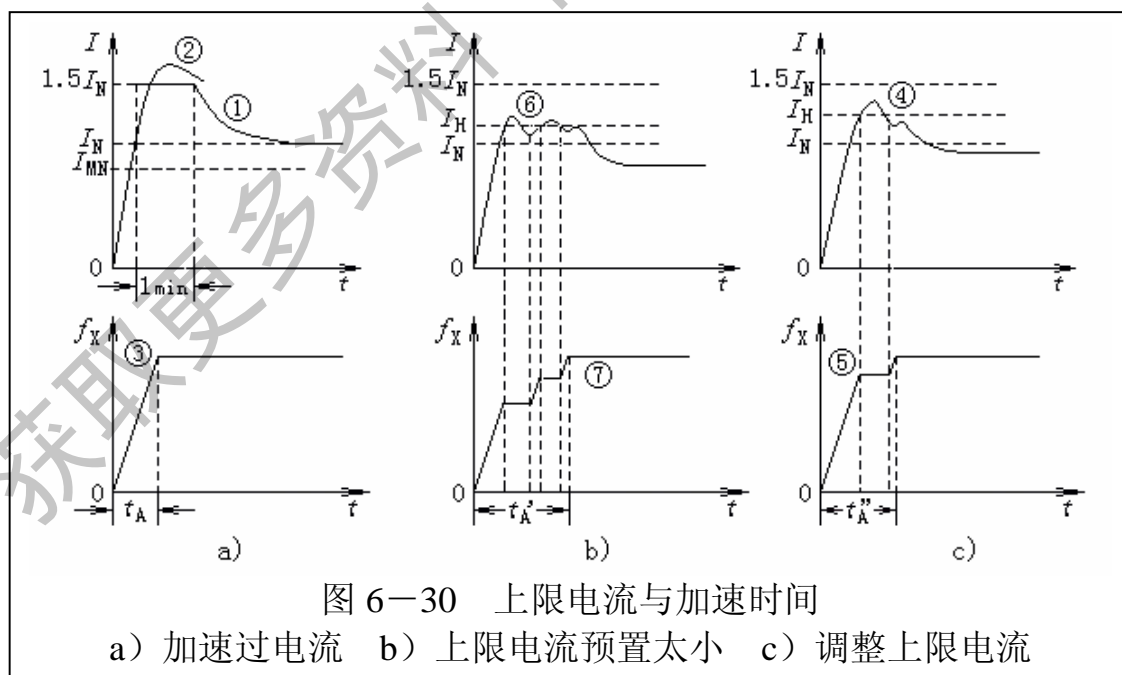
6.4.4 加、减速试验

1. 加、减速时间校验



2. 电动机实际加速时间太长的对策

(1) 调整上限电流



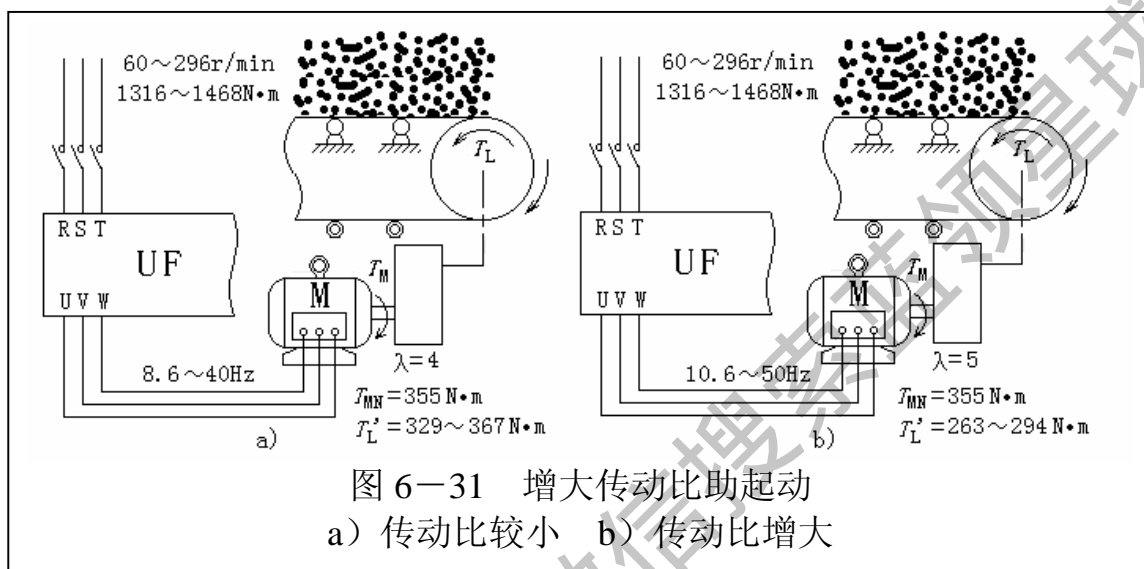
<http://www.plcworld.cn>

(2) 加大传动比

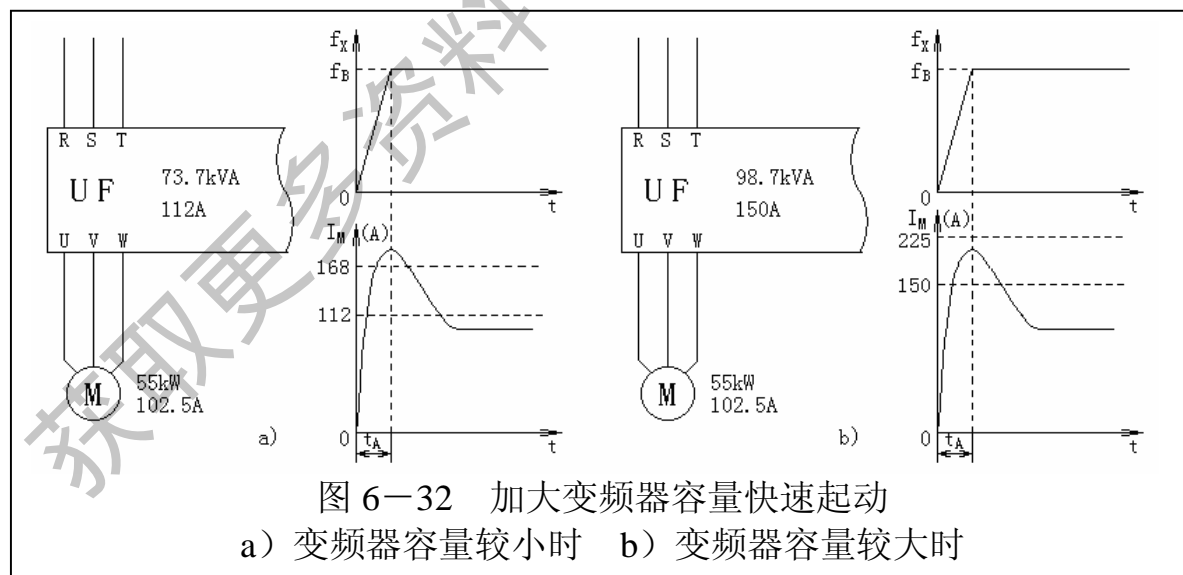
某输煤机，电动机数据：55kW、1480r/min、102.5A。实际工作电流：
95~106A。

负载转速：60~300 r/min； 传动比： $\lambda=4$

存在问题：(1) 起动困难；(2) 电动机发热。

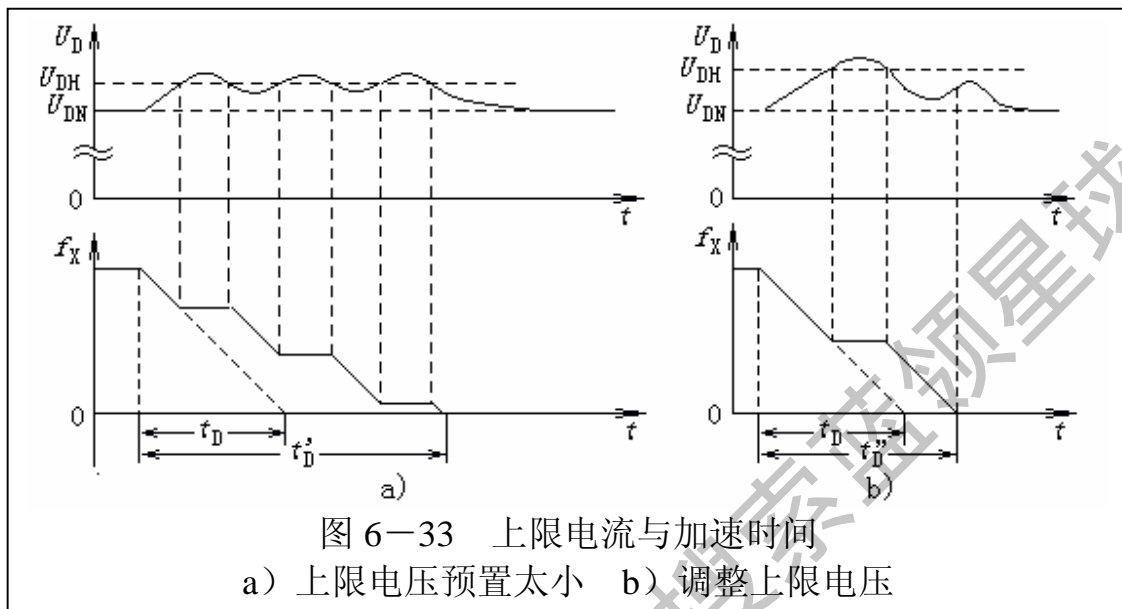


(3) 加大变频器容量

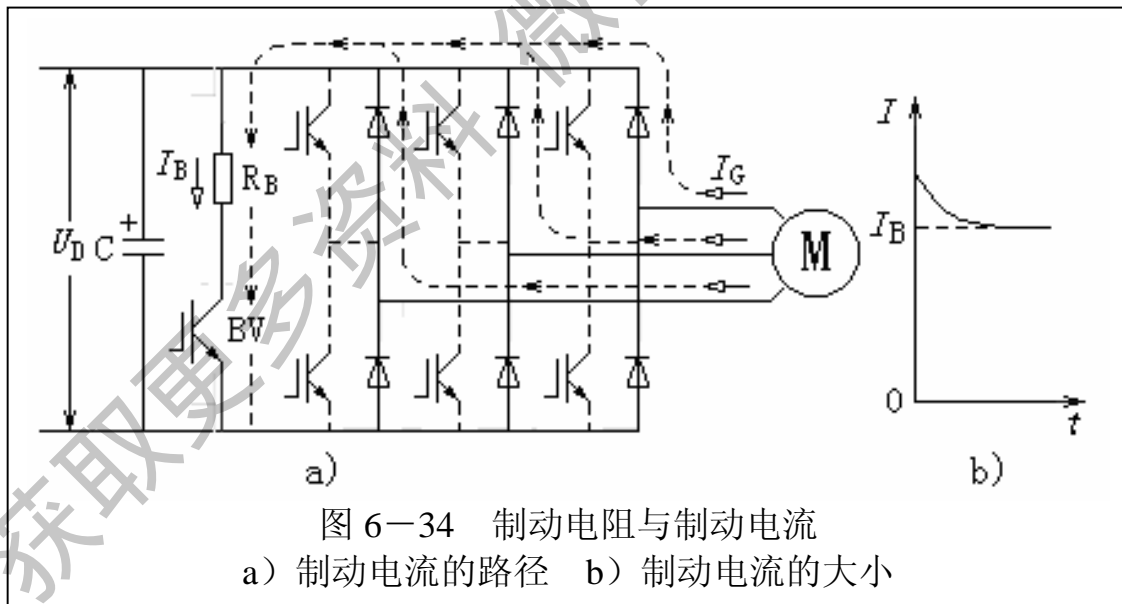


3. 电动机实际加速时间太长的对策

(1) 调整上限电压

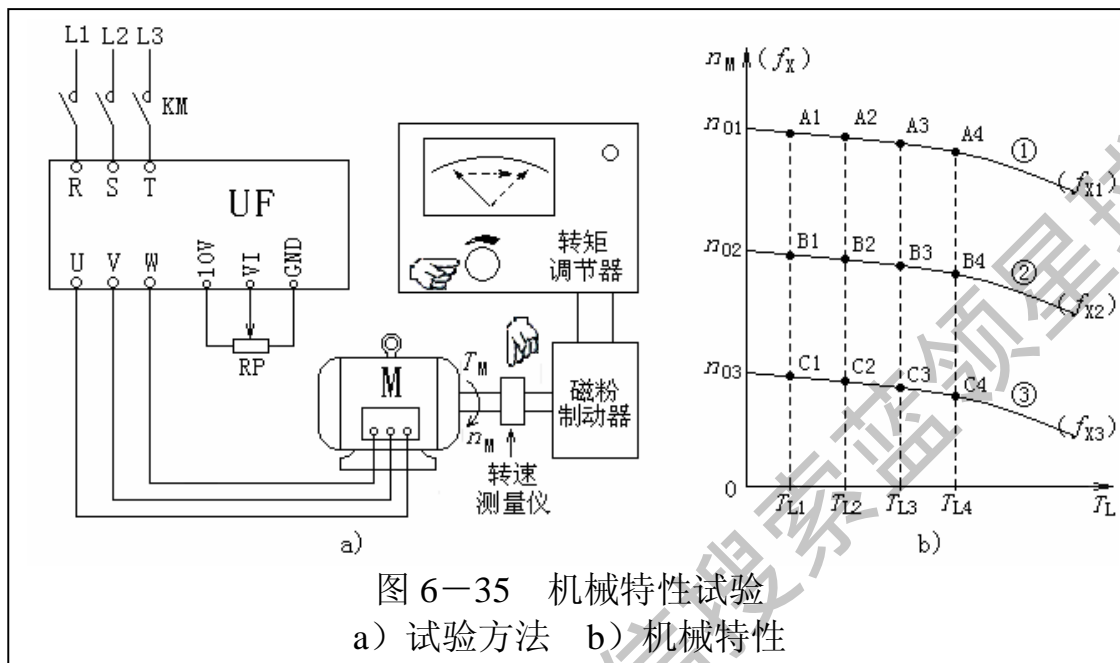


(2) 调整制动电阻

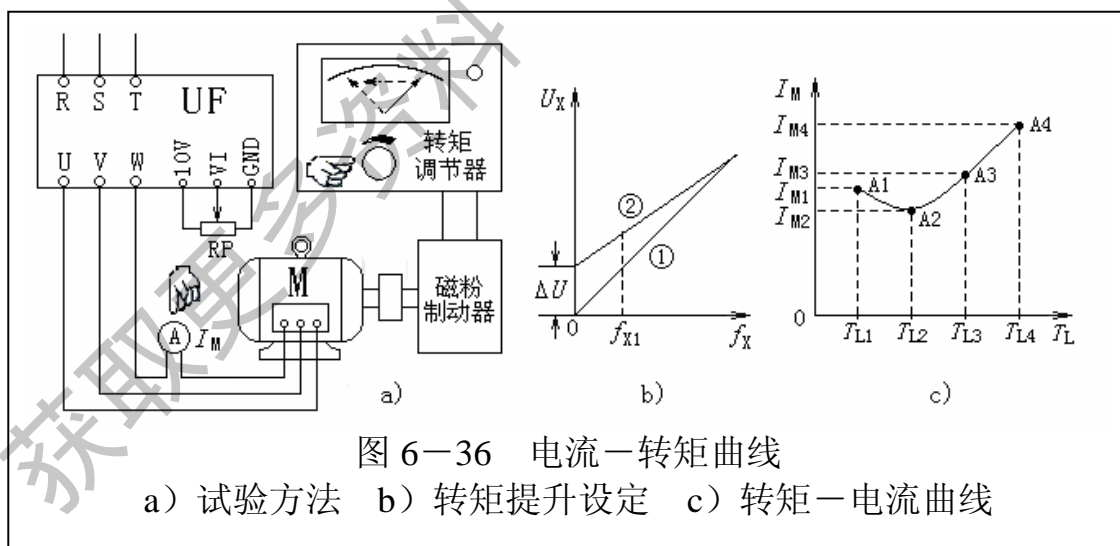


6. 4. 5 电力拖动的基础试验

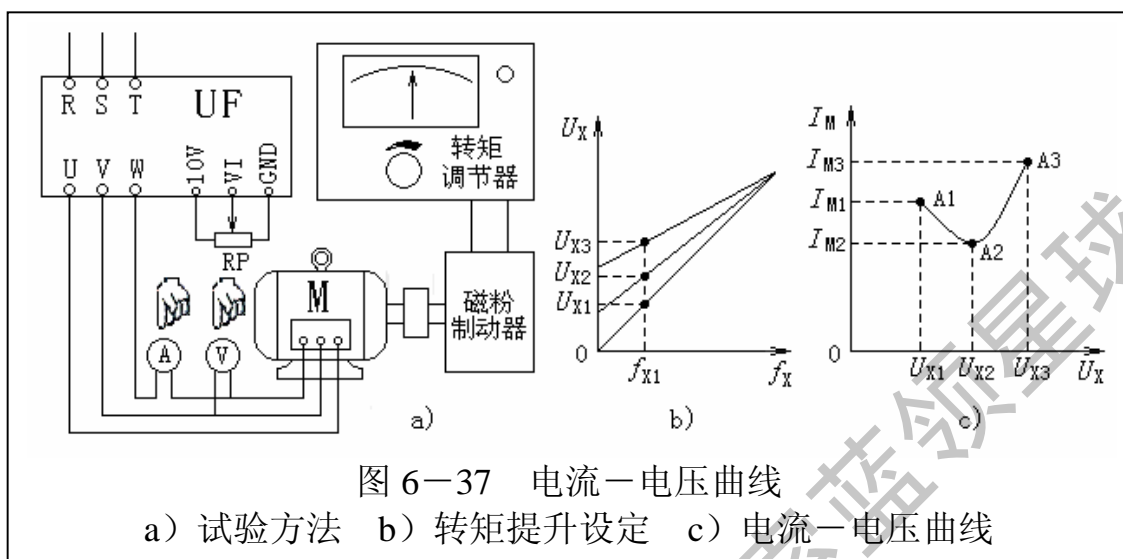
1. 机械特性试验



2. 电流—转矩曲线



3. 电流—电压曲线



获取更多资料 微信搜索 蓝领工程师

休 息 15 分 钟

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

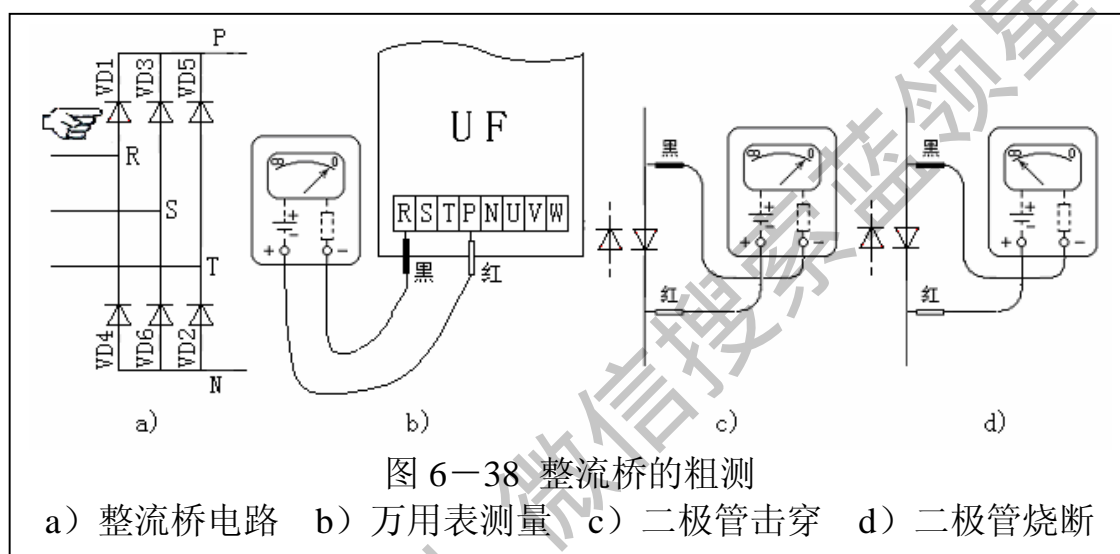
修理全靠电路熟!

6.5 变频器电路的故障与检测

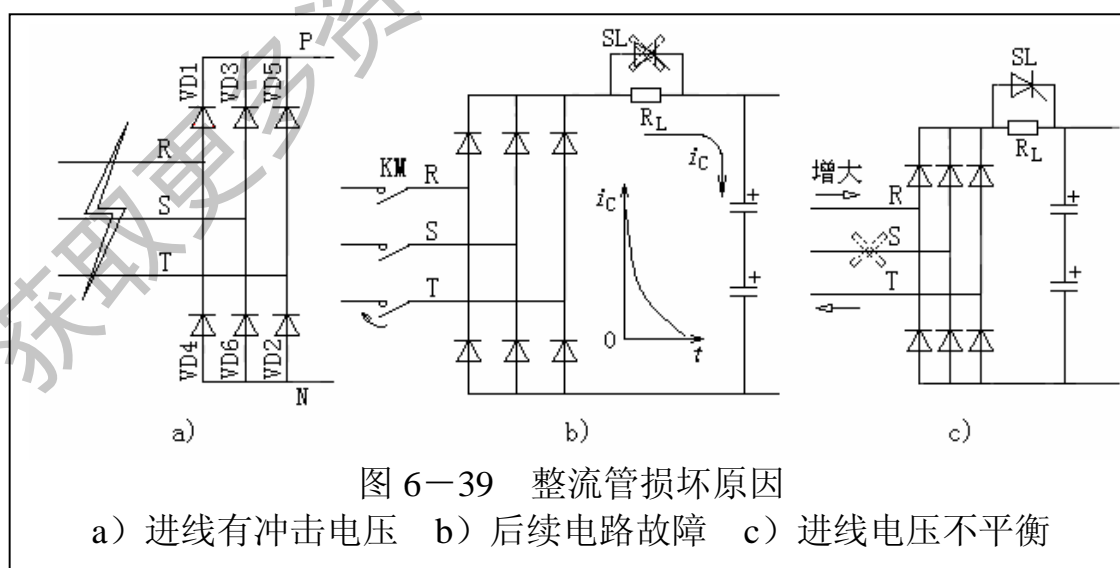
6.5.1 整流与滤波电路

1. 整流桥的粗测

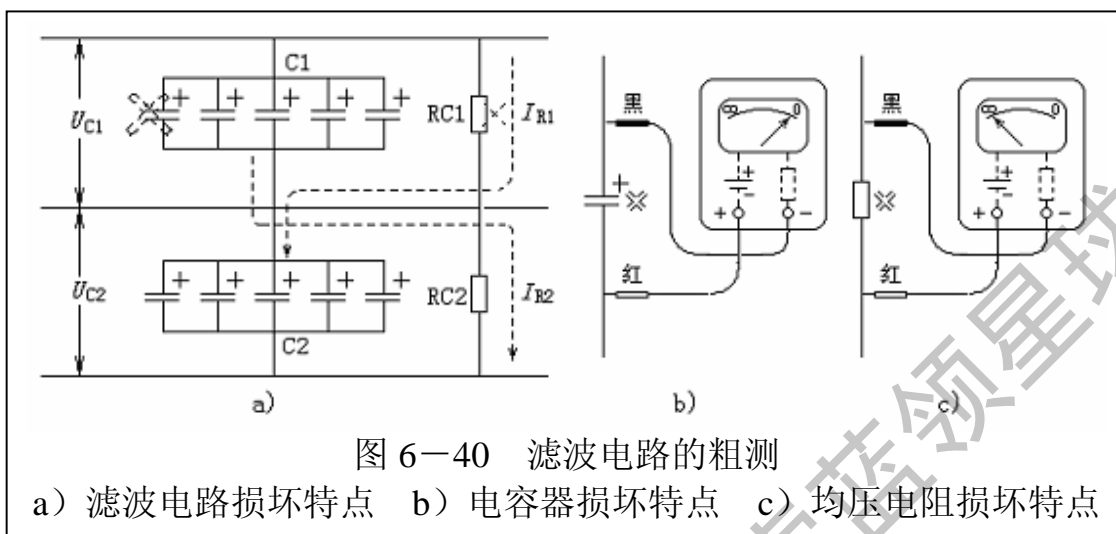
(1) 粗测与判断



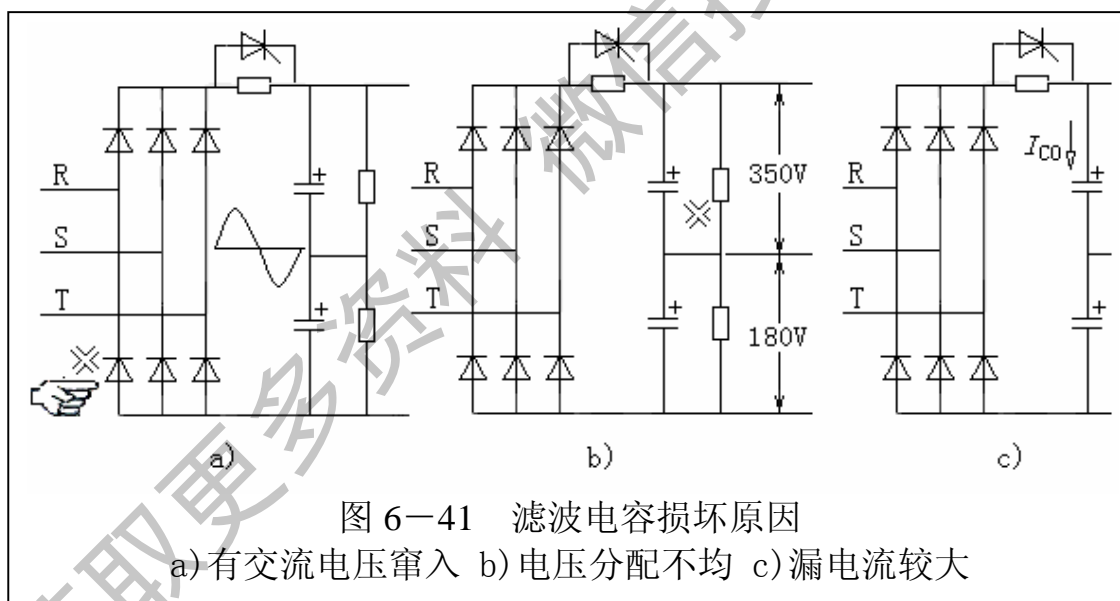
(2) 损坏原因



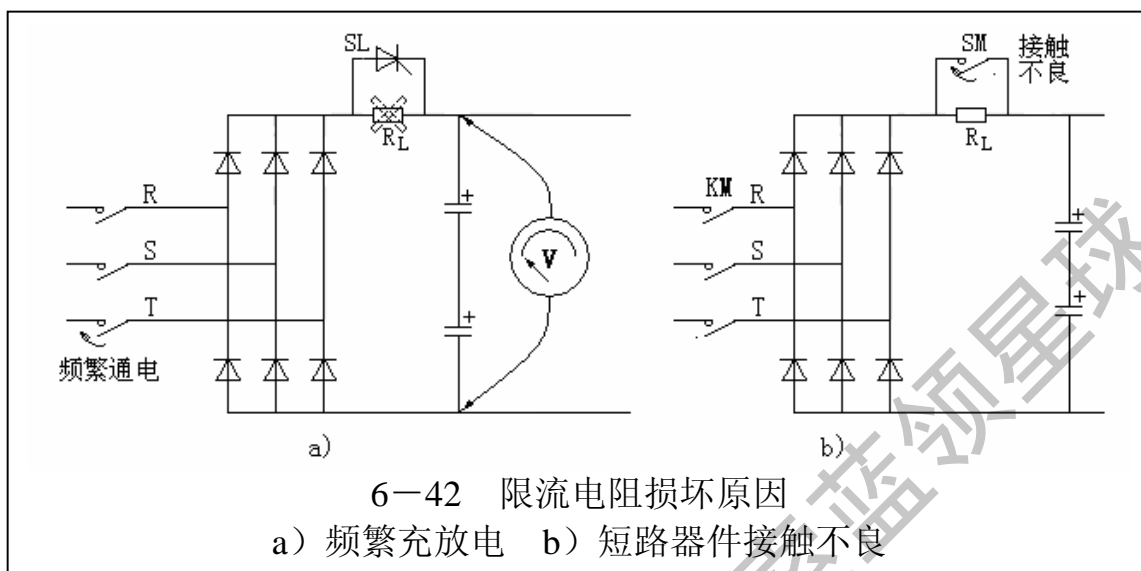
2. 滤波电路的粗测



3. 滤波电容的损坏原因

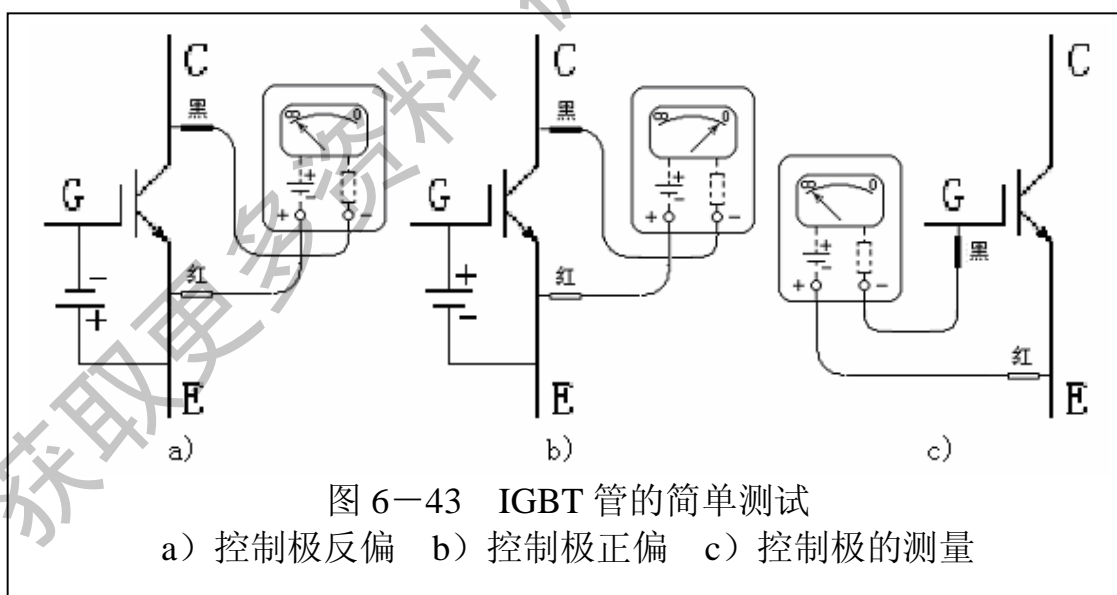


3. 限流电阻损坏原因



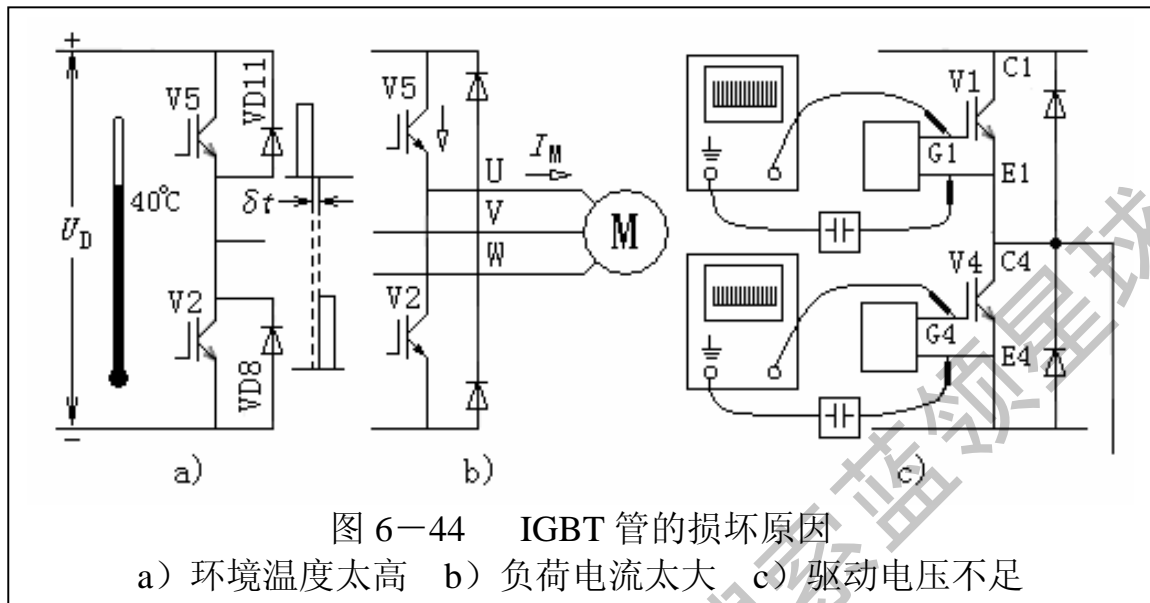
6. 5. 2 逆变电路

1. IGBT 管的简单测试



<http://www.plcworld.cn>

2. IGBT 管的损坏原因



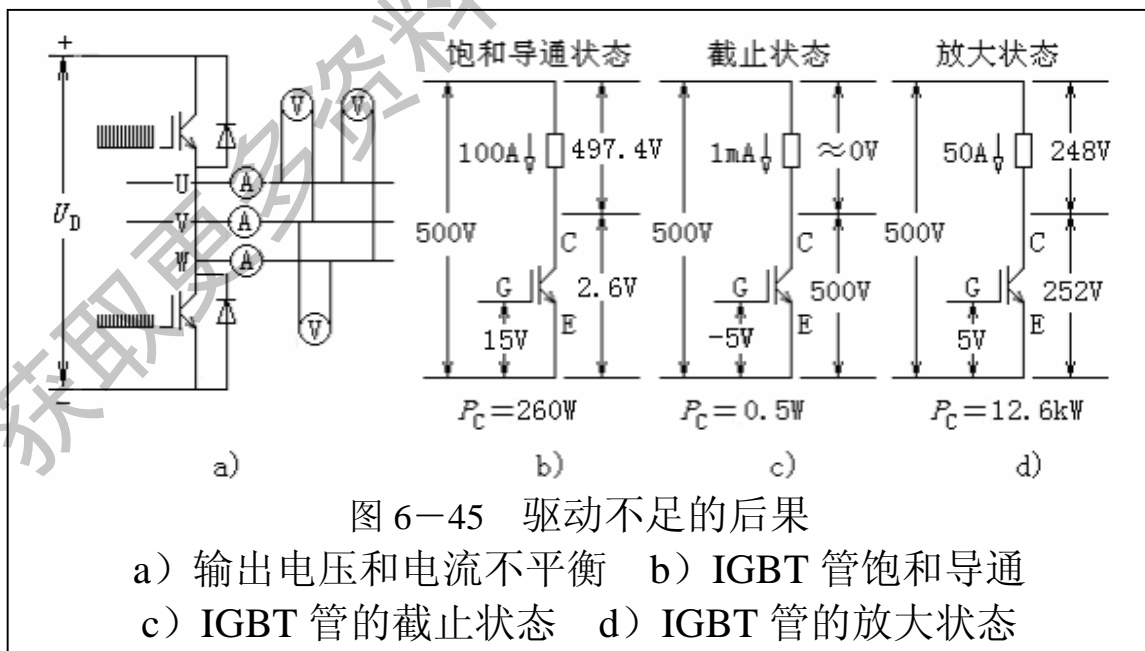
3. 驱动不足的后果

某 IGBT 管

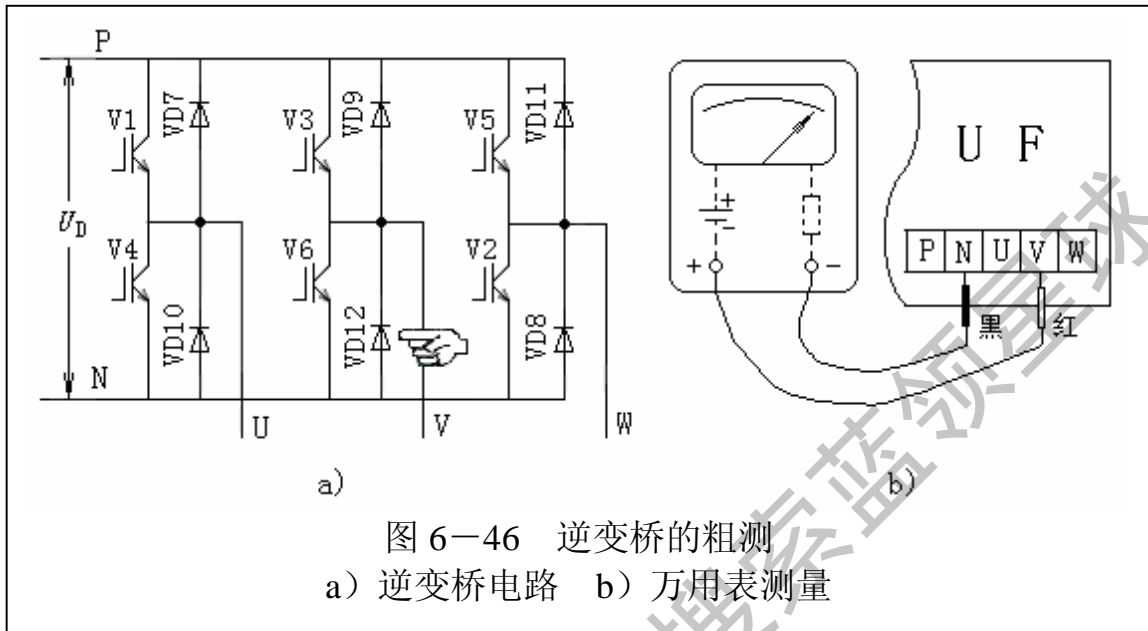
击穿电压: $U_{CEX}=1200V$; 漏电流: $I_{CEX}=1.0mA$;

集电极最大电流: $I_{CM}=100A$; 饱和压降: $U_{CES}=2.6V$;

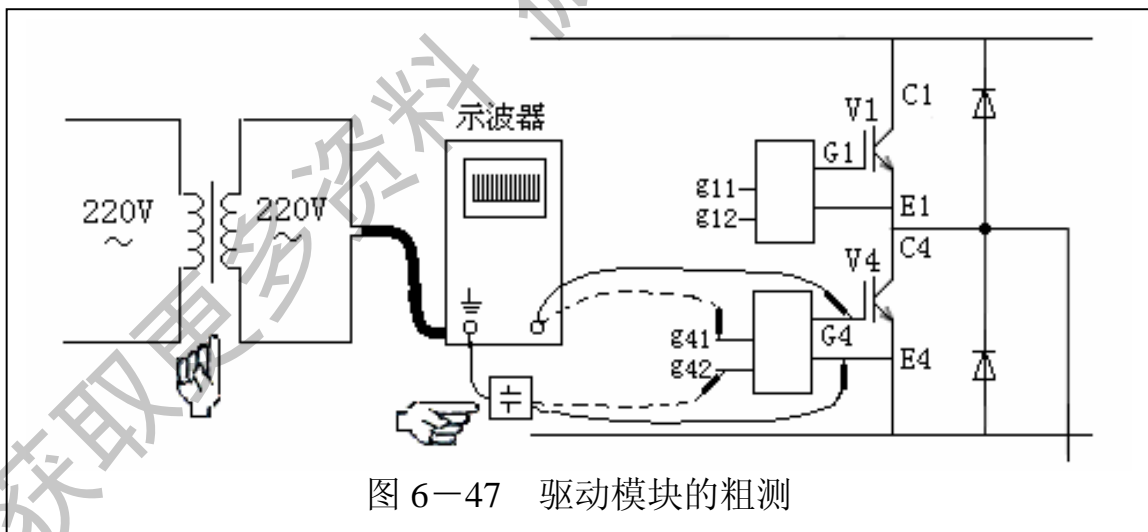
额定功耗: $P_C=600W$ 。



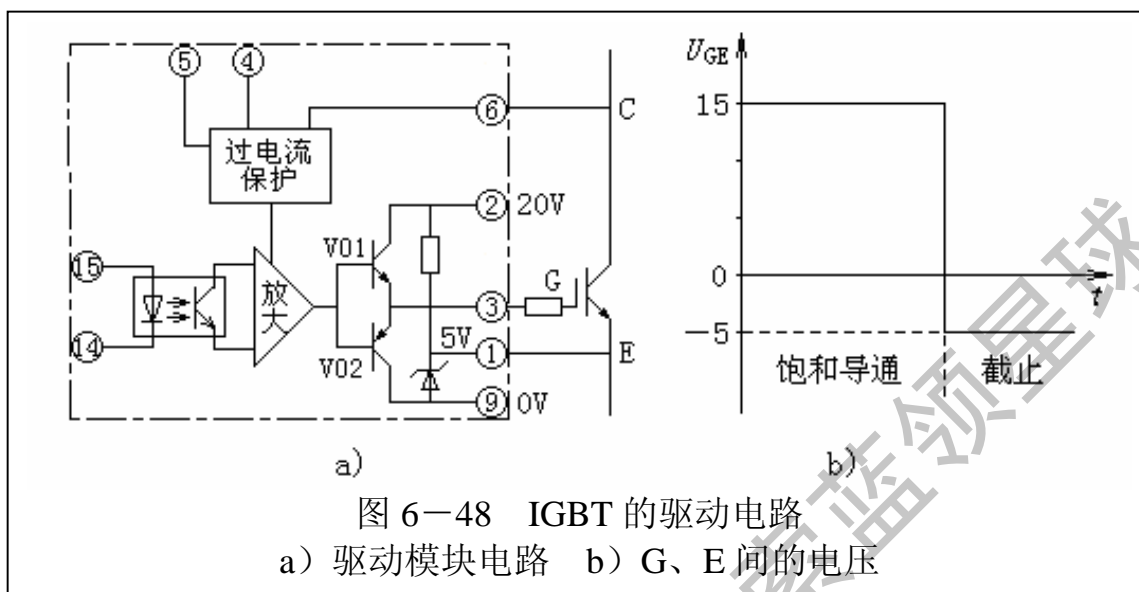
4. 反向二极管的粗测



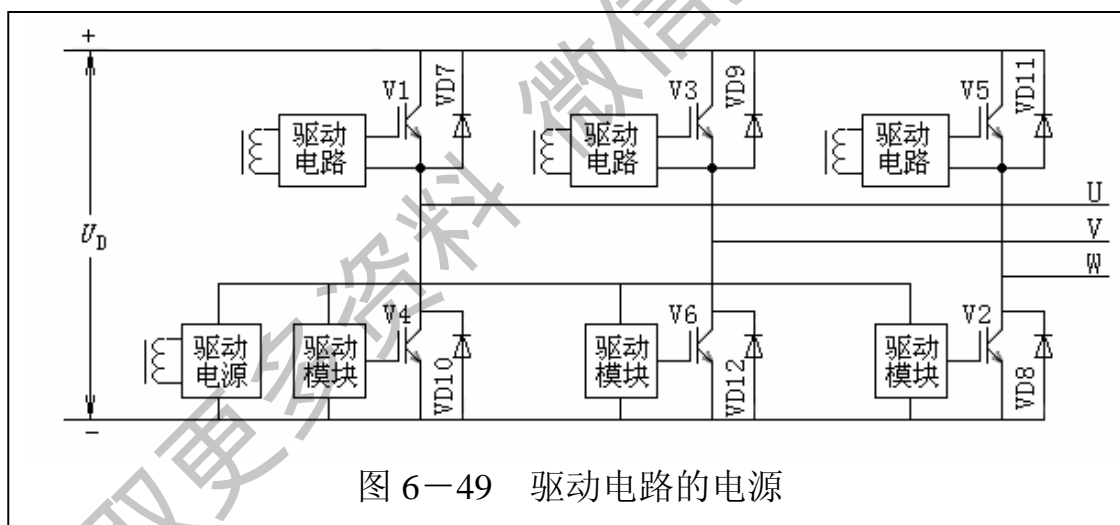
5. 驱动模块的粗测



6. 驱动模块电路

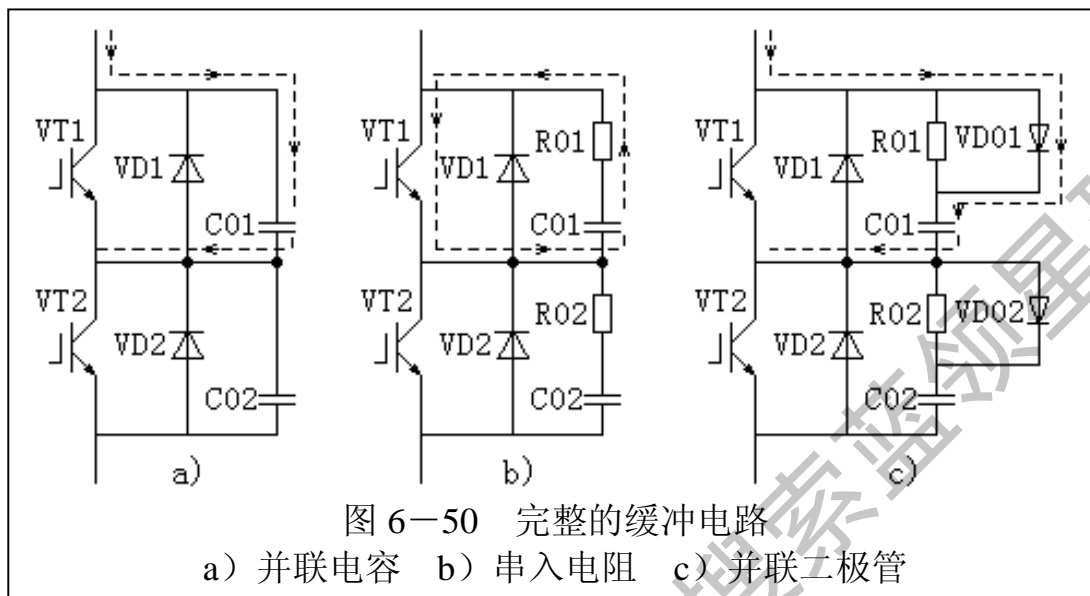


7. 驱动电路的电源

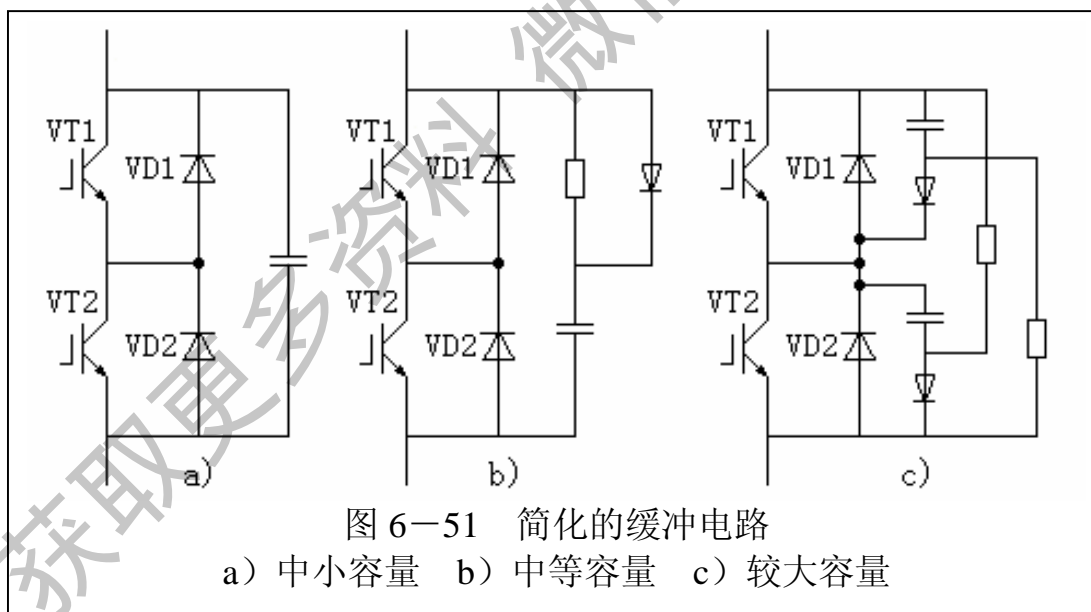


8. IGBT 管的缓冲电路

(1) 完整的缓冲电路



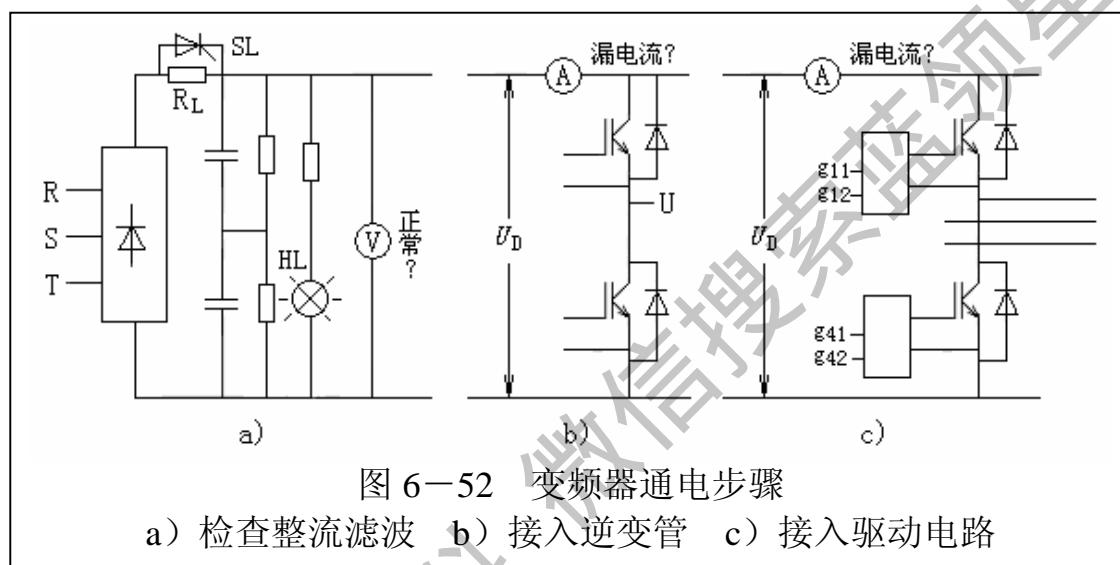
(2) 简化的缓冲电路



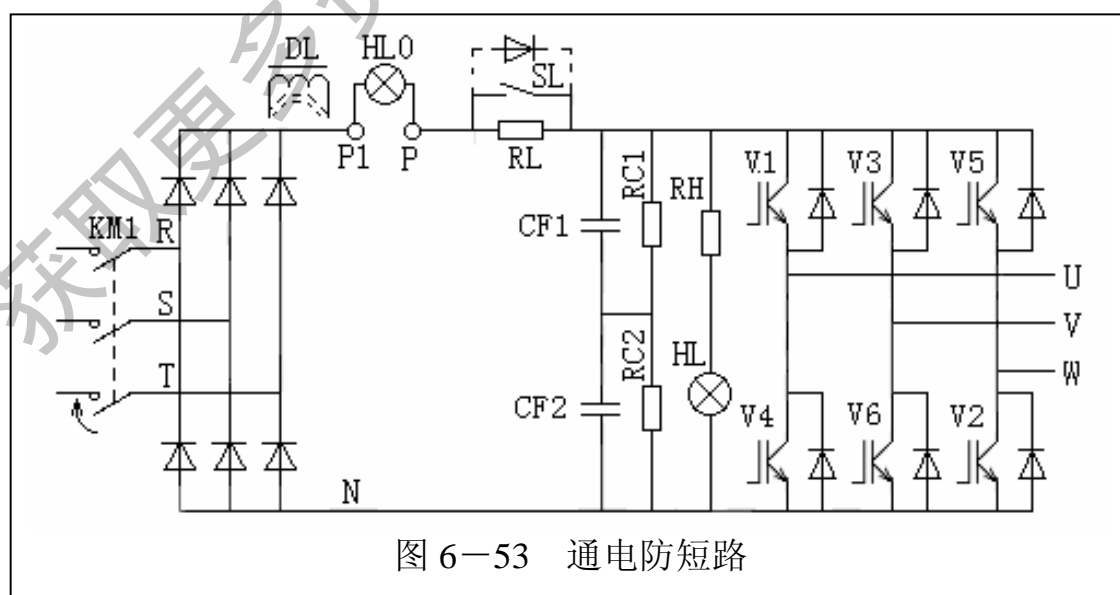
通电最怕“鞭炮”响！

6.6 修理后的通电

6.6.1 通电的步骤



6.6.2 通电防短路



6. 6. 3 电容器放电

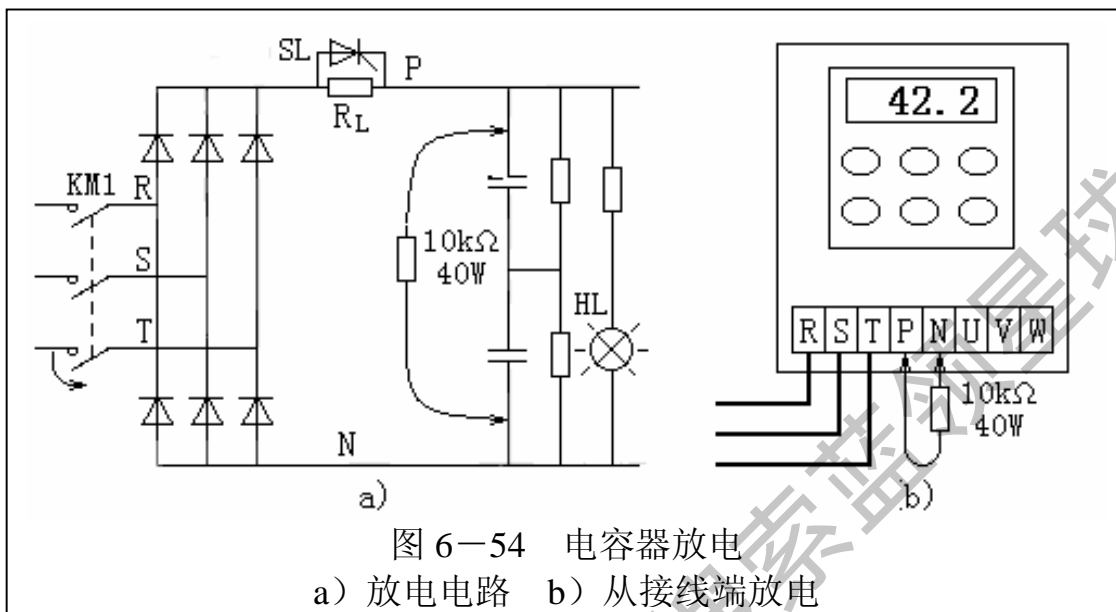


图 6-54 电容器放电

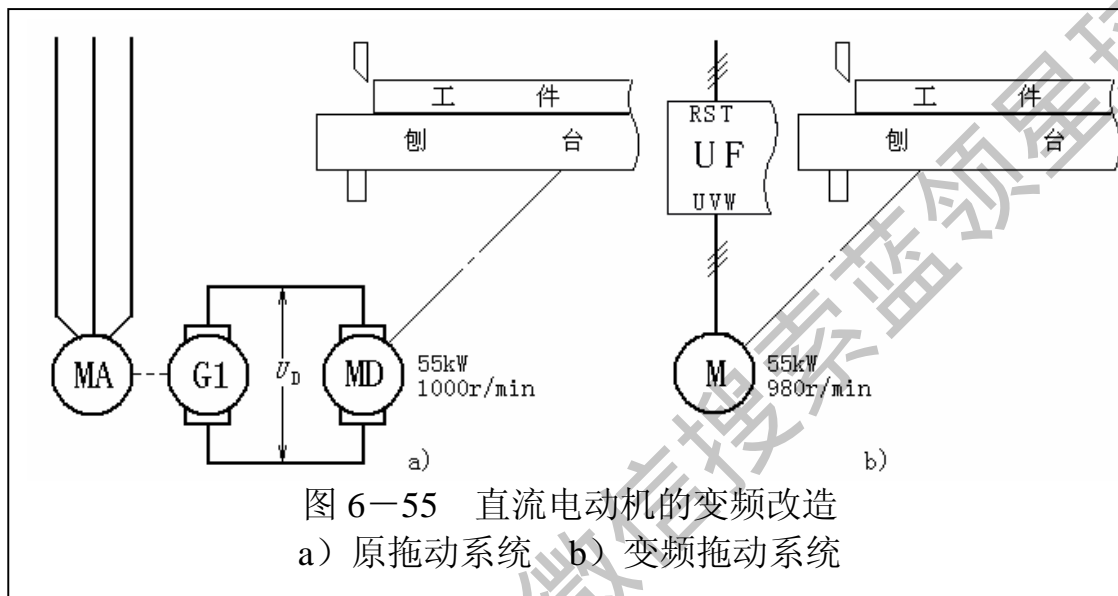
a) 放电电路 b) 从接线端放电

获取更多资料 微信投技资料全球

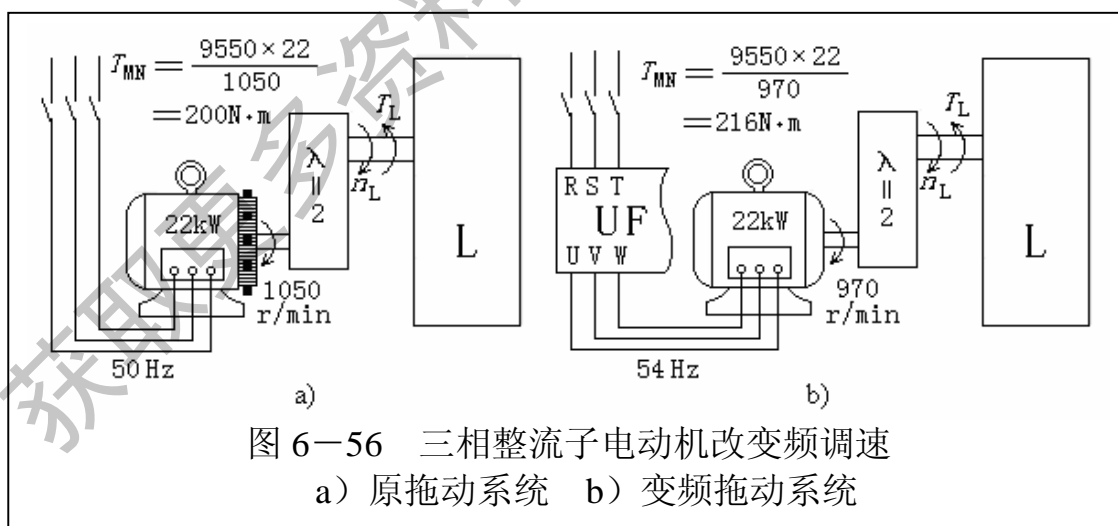
优胜劣汰上变频!

6.7 其他调速电动机的变频改造

6.7.1 直流电动机改变频调速

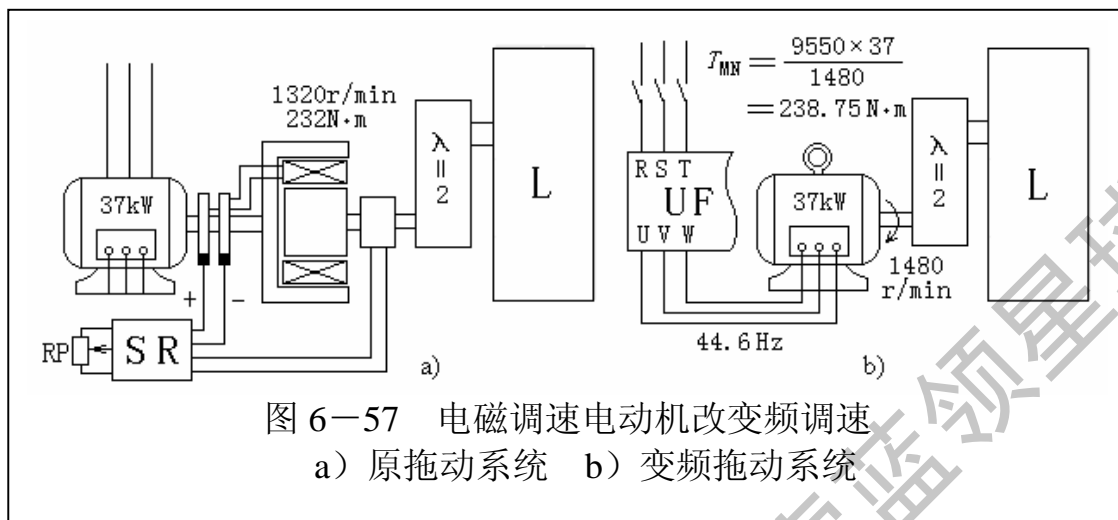


6.7.2 三相整流子电动机改变频调速



<http://www.plcworld.cn>

6. 7. 3 电磁调速电动机改变频调速



获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

家电变频也时髦!

6.9 家电的变频调速

6.9.1 改用了三相电动机

1. 单相电动机的磁通与转矩

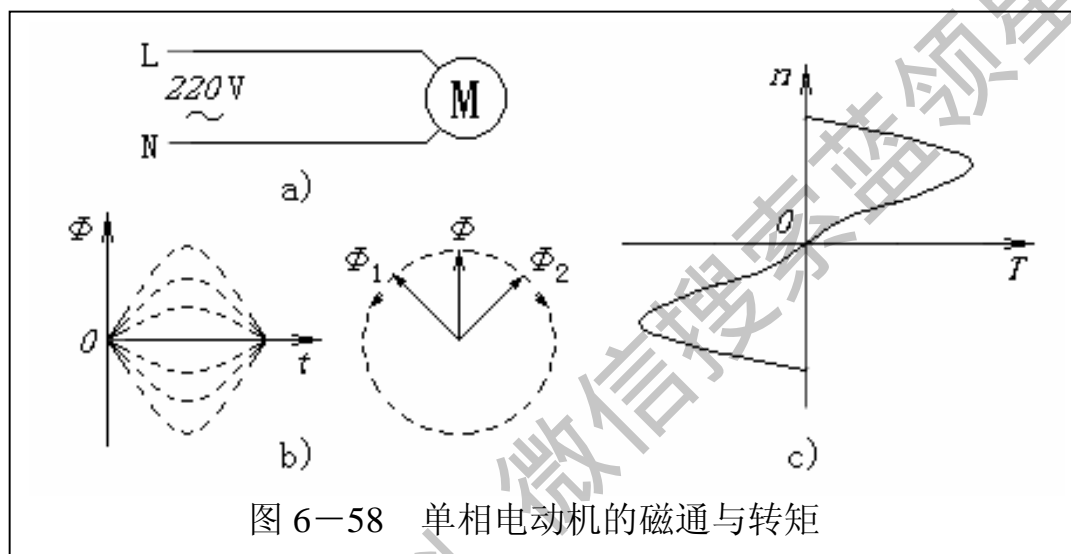


图 6-58 单相电动机的磁通与转矩

2. 单进三出变频器

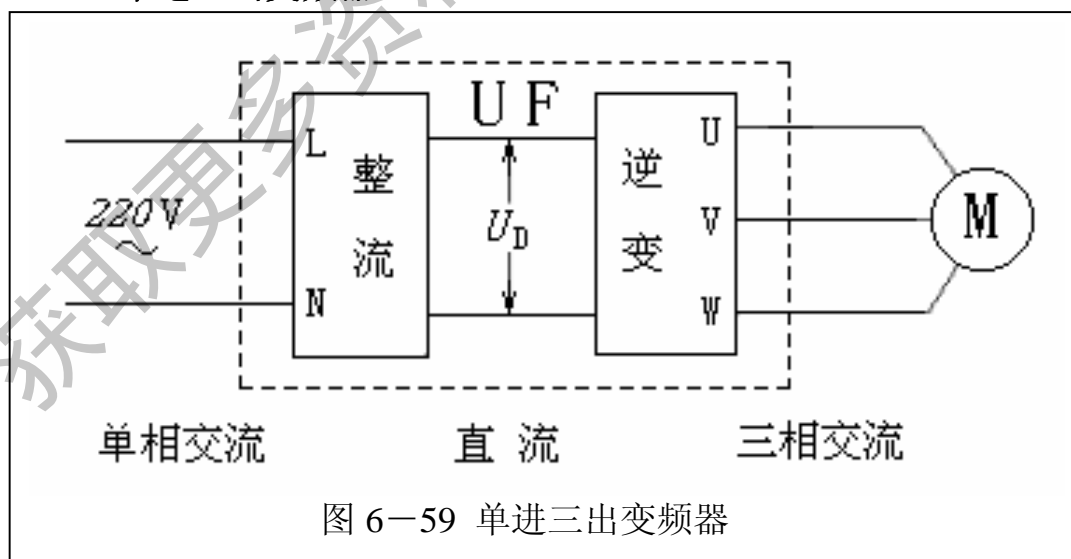
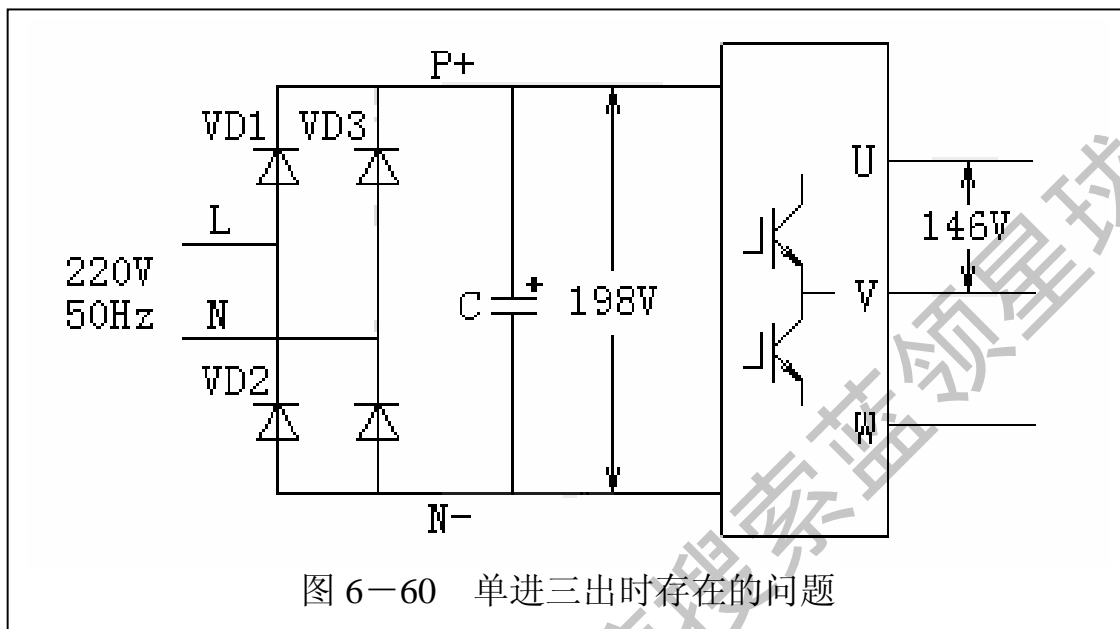


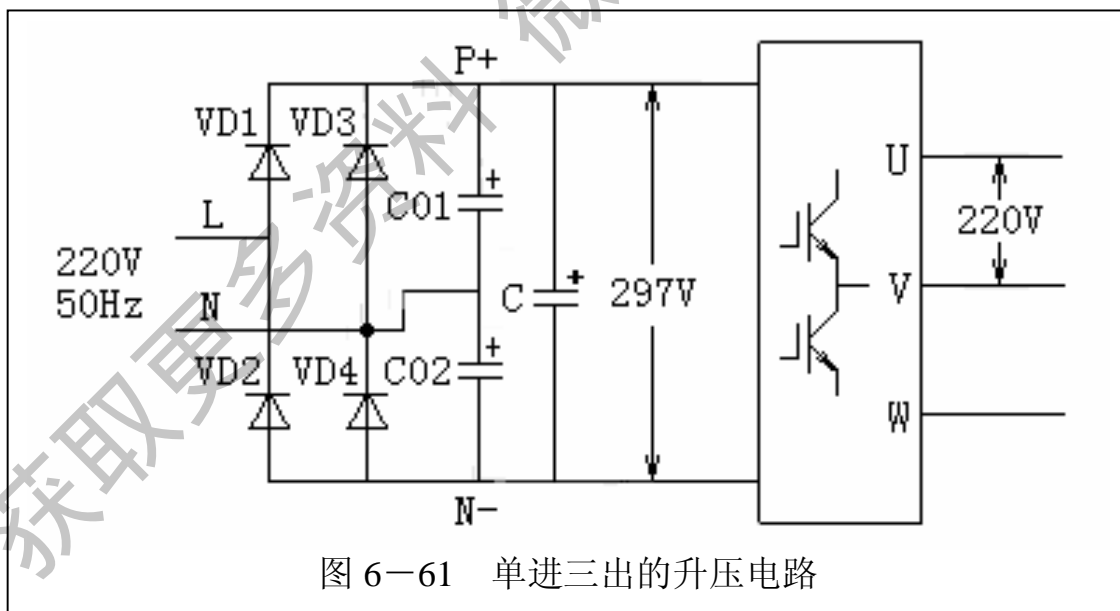
图 6-59 单进三出变频器

3. 单相整流电路

(1) 存在问题

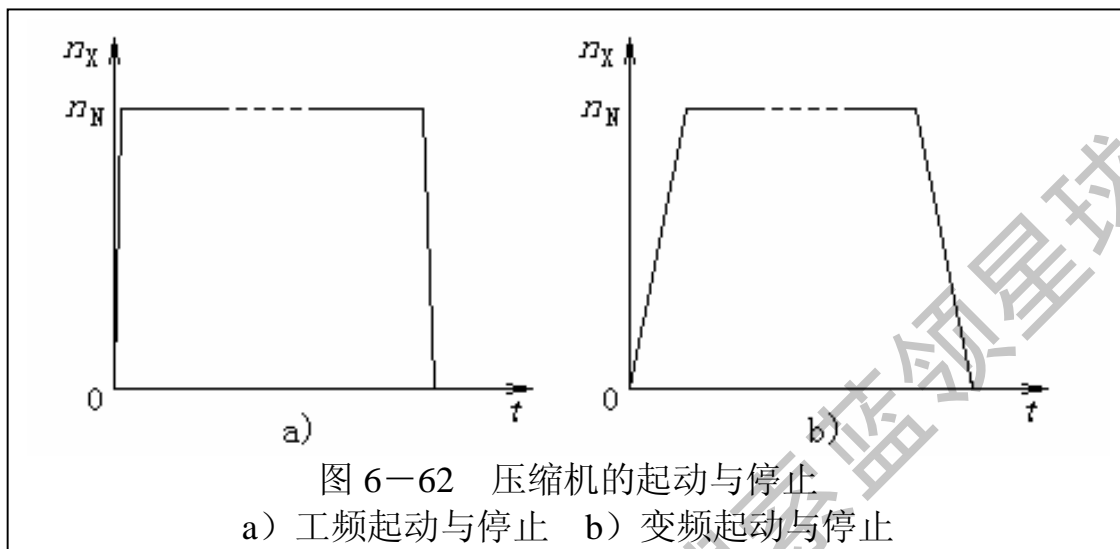


(2) 解决方法



6. 9. 2 其他好处

1. 压缩机的起动与停止平稳了



2. 空调温度稳定了
3. 冰箱能够速冻了

获取更多资料 微信搜 领星球

<http://www.plcworld.cn>

附录 1: 宜昌市自动化研究所产品介绍

产品名称	主要用途与特点
EDB 强力制动器	1. 大惯性负载突然停电时迅速停住 2. 变频器跳闸后迅速停住 3. 按下停止按钮时迅速停住
Y A B 制动单元	开关器件由交流接触器的三个触点串联而成, 便于用户自行配置和维护
制动电阻	由电热元件构成, 可靠性好, 便于用户自行维护
Y A F 滤波器	用于防止变频器的谐波电流对其他设备的干扰, 分输入滤波器和输出滤波器两种。
电源缺相保护器	用于电源缺相保护, 保护方法可靠。
PWM 电压表	用于测量变频器的输出电压
通用显示控制器	由发光二极管阵列显示各种物理量
温差控制器	用于把中央空调冷却水和冷冻水的进水温度和出水温度之差转换成 4~20mA 的电流信号。

联系电话: 0717—6731644, 6770386 (可传真)

联系人: 周从信、何文成

附录 2: 图 书 信 息

- | | |
|------------------|------------------|
| 1. SPWM 变频调速应用技术 | 机械工业出版社 |
| 联系人: 孙流芳 | 电话: 010—88379762 |
| 2. 常用变频器功能手册 | 机械工业出版社 |
| 联系人: 李振标 | 电话: 010—88379765 |
| | 手机: 13520987116 |
| 3. 变频调速 460 问 | 机械工业出版社 |
| 联系人: 李振标 | 电话: 010—88379765 |
| | 手机: 13520987116 |
| 4. 电动机变频调速图解 | 中国电力出版社 |
| 联系人: 李建强 | 电话: 010—63416251 |
| | 手机: 13701084004 |