

# 课程设计任务书

学生姓名: \_\_\_\_\_ 专业班级: \_\_\_\_\_

指导教师: 李向明 工作单位: 自动化学院

题目: 三相全控桥式晶闸管-电动机系统设计

## 初始条件:

1. 直流电动机额定参数:  $P=10\text{KW}$ ,  $U=220\text{V}$ ,  $I_n=50\text{A}$ ,  $n_x=1000\text{r/min}$ , 电枢电阻 $R_a=0.5\ \Omega$ , 电流过载倍数  $\lambda=1.5$ , 电枢电感 $L_o=7\text{mH}$ , 励磁电压 $U_L=220\text{V}$  励磁电流 $I=1.6\text{A}$ , 使用三相可控整流电路, 电动机负载, 工作于电动状态。
2. 进线交流电源: 三相380V
3. 性能指标: 直流输出电压0-220V, 最大输出电流75A, 保证电流连续的最小电流为5A。

## 要求完成的主要任务:

1. 三相全控桥式主电路设计(包括整流变压器参数计算, 整流元件定额的选择, 平波电抗器电感量的计算等), 讨论晶闸管电路对电网及系统功率因数的影响。
2. 触发电路设计。触发电路选型(可使用集成触发器), 同步信号的定相等。
3. 晶闸管的过电压保护与过电流保护电路设计。
4. 提供系统电路图纸不少于一张。

课程设计说明书应严格按统一格式打印, 资料齐全, 坚决杜绝抄袭, 雷同现象。应画出单元电路图和整体电路原理图, 给出系统参数计算过程, 图纸、元器件符号及文字符号符合国家标准。

## 时间安排:

2011.7.4~2011.7.5

2011.7.6~2011.7.8 收集资料

2011.7.9~2011.7.10 系统设计

撰写课程设计论文及答辩

指导教师签名: \_\_\_\_\_ 年 月 日

系主任(或责任教师)签名: \_\_\_\_\_ 年 月 日

## 摘要

整流电路由其是三相桥式可控整流电路是电力电子技术中最为重要，也是应用的最为广泛的电路，不仅应用于一般工业领域，也广泛应用于交通运输、电力系统、通信系统、能源系统以及其他领域。三相可控整流电路中应用最多的是三相桥式全控整流电路。这次设计主要对三相桥式整流电路进行研究。

本此设计主要就是针对直流调速装置，利用晶闸管三相全控桥式整流技术，结合集成触发器芯片，组成晶闸管三相全控桥式整流直流电动机调速系统，主要应用的芯片是TCA785 集成移相触发控制芯片，实现调速系统。同时设计出完整的电气原理图，将分别介绍各个模块的构成原理和使用方法。

**关键词：**整流电路；触发电路；TCA785;三相全控桥式

# 目 录

1 三相全控桥式主电路设计.....	1
1.1 整流变压器的设计 .....	1
1.1.1 整流变压器的设计原理 .....	1
1.1.2 整流变压器的参数设定 .....	1
1.1.3 变压器次级相电压的计算 .....	1
1.1.4 初、次级电流与变压器容量的计算 .....	3
1.1.5 变压器参数计算和选择 .....	4
1.2 整流电路.....	5
1.2.1 晶闸管简介 .....	5
1.2.2 整流器件的定额计算和选择 .....	6
1.2.3 三相全控桥式整流电路的特点 .....	6
1.3 平波电抗器的参数及选择 .....	7
1.3.1 电抗器的电感 .....	7
1.3.2 整流变压器漏电感的计算 .....	8
1.4 晶闸管对电网的影响.....	8
1.5 系统功率因数的讨论 .....	10
2 触发电路的设计 .....	11
2.1 TCA785集成移相触发器 .....	11
2.1.1 TCA785简介及特点 .....	11
2.1.2 TCA785的引脚排列级功能 .....	11
2.1.3 TCA785 工作原理和内部结构 .....	12
2.2 触发电路的设计 .....	13
3 晶闸管保护电路设计 .....	15
3.1 晶闸管过压保护电路设计 .....	15
3.1.1 交流侧过电压保护 .....	16
3.1.2 直流侧的过电压保护 .....	17
3.1.3 晶闸管换相过电压的保护.....	17
3.2 晶闸管过流保护电路设计 .....	18
3.3 电流上升率、电压上升率.....	19
4 设计心得 .....	21

参考文献.....	22
附录.....	23

# 三相全控桥式晶闸管-电动机系统设计

## 1 三相全控桥式主电路设计

### 1.1 整流变压器的设计

#### 1.1.1 整流变压器的设计原理

整流变压器就是降压变压器。降到所需电压后再用半导体管整流。变压器和普通变压器的原理相同。变压器是根据电磁感应原理制成的一种变换交流电压的设备。变压器一般有初级和次级两个互相独立绕组，这两个绕组共用一个铁芯。变压器初级绕组接通交流电源，在绕组内流过交变电流产生磁动势，于是在闭合铁芯中就有交变磁通。初、次级绕组切割磁力线，在次级就能感应出相同频率的交流电。变压器的初、次级绕组的匝数比等于电压比。

在晶闸管整流装置中，很多情况下晶闸管整流装置所要求的交流电电压与电网电压往往不能一致，这就需要利用变压器来匹配；另外，为降低或减少晶闸管交流装置对电网和其它用电设备的干扰，也需要设置变压器把晶闸管装置和电网隔离。因此，在晶闸管整流装置中，一般都需要设置整流变压器，当且仅当晶闸管交流侧电压和电网电压一致时可以省去。

#### 1.1.2 整流变压器的参数设定

变压器的参数计算之前，应该确定负载要求的直流电压和电流，确定变流设备的主电路接线形式和电网电压。先选择二次电压有效值 $U_2$ ， $U_2$ 数值的选择不可过高和过低，如果过高会使得设备运行中为保证输出直流电压符合要求而导致控制角过大，使功率因素变

小；如果过低会得不到负载要求的直流电压的现象。

整流变压器额定参数的计算，主要根据主电路的形式，负载的大小，输出直流电压和负载电流，求出整流变压器的次级相电压、次级电流和容量，然后求出初级电流和容量。

#### 1.1.3 变压器次级相电压的计算

整流器主电路有多种接线形式，在理想情况下，输出直流电压 $U_a$ 与变压器次级相电压 $U_2$ 有以下关系

$$U_d = K_{uv} U_2 K_b$$

1

其中  $K_{ov}$  为主与主电路接线形式有关的常数； $K_p$  为以控制角为变量的函数，设整流器在控制角  $\alpha = 0$  和控制角不为 0 时的输出电压平均值分别为  $U_{o0}$  和  $U_{pa}$ ，则  $K_w = U_{o0}/U_2$ ， $K_3 = U_{pa}/U_{o0}$ 。

在实际运行中，整流器输出的平均电压还受其它因素影响，主要有：

(1) 电网电压的波动。一般电网电压的波动允许范围在  $+5\% \sim -10\%$ ，考虑电网电压最低的情况，设计中通常取电压波动系数  $e = 0.9 \sim 0.95$ 。

(2) 整流元件的正向压降。实际上整流元件要降掉一部分输出电压，设其为  $U_r$ 。由于整流元件和负载是串联的，导通回路中串联元件越多，所以降掉的电压也就越多，设回路原件串联个数为  $N_s$ ，这样降掉的电压为  $N_s U_r$ 。

(3) 直流回路的杂散电阻。设备工作时会产生附加电压降，一般  $\Sigma U$  占额定电压的  $0.2\% \sim 0.25\%$ 。

(4) 换相重叠角引起的电压损失。换相重叠角引起的电压降  $\Delta U_a$  由交流回路的电抗引起，可由整流变压器漏抗  $X_s$  表示。变压器漏抗主要和短路电压百分比  $U_k\%$  有关。不同容量的变压器其短路电压百分比也不一样。 $\Delta U_d$  可由以下公式计算，对于  $n$  相桥式电路，

$$\Delta U_d = K_g \frac{n}{2\pi} \frac{u_k\%}{100} U_2 \sqrt{\frac{n}{2}}$$

在三相桥式里，也为  $\Delta U_d = \frac{3X_B}{\pi} I_d$

(5) 整流变压器电阻的影响。假定功率因素为 1，则交流电压的损失  $\Delta U_a$  为

$$\Delta U_a = K_g \frac{P_{cu}}{S_2} U_2$$

由其引起的整流输出电压的压降为

$$\Delta U_{ad} = K_{uv} K_g \frac{P_{cu}}{S_2} U_2 K_B$$

考虑以上所有因素，整流电压的直流输出电压为

$$U_a = E_{min} K_{uv} U_2 K_p - n_g U_2 - \Delta U_d - \Sigma U - \Delta U$$

次级相电压有效值的计算公式为

$$U_2 = \frac{U_d + n_s U_T + \sum U}{\varepsilon_{\min} K_{UV} K_B - K_g K_x \frac{u_k \%}{100} - K_{UV} K_g K_B \frac{p_{cu}}{S_2}}$$

$K_x$ 叫做换相电压降系数，对换相压降有影响，它与电路的接线形式有关，当电路为n相桥



式整流时， $K_x$ 为

$$K_x = \frac{n}{\pi} \sqrt{\frac{n}{2}}$$

表1-1整流变压器计算系数

电路形式	$K_x$	$K_{uv}$	$K_b$	$K_2$	$K_n$	$K_\pi$	KB
单相双半波	0.450	0.9	0.45	0.707	1	1	$\cos a$
单相半控桥	0.637	0.9	0.45	1	1	1	$0.5(1+\cos a)$
单相全控桥	0.637	0.9	0.45	1	1	1	$\cos a$
三相半波	0.827	1.17	0.386	0.577	0.471	1.732	$\cos a$
三相半控桥	1.170	2.34	0.386	0.816	0.816	1.22	$0.5(1+\cos a)$
三相全控桥	1.170	2.34	0.386	0.816	0.816	1.22	$\cos a$

#### 1.1.4初、次级电流与变压器容量的计算

以三相桥式整流电路为例进行分析。

大电感负载时，负载电流基本上是直流，因而晶闸管电流为方波，变压器次级电流也为方波，其有效值与负载电流成正比关系。

变压器次级电流 $i_2$ 的波形为正负对称的矩形波，可分解成基波与各次谐波。由于没有直流分量，因此它们都可以通过变压器的磁耦合反映到一次绕组中去。所以， $i_1$ 和 $i_2$ 电流波形相似，其有效值为

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[ I_d^2 \frac{2\pi}{3} + (-I_d)^2 \frac{2\pi}{3} \right]} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d = 0.816 I_d$$

次级电压以理想情况计算为 $U_2 = \frac{U_d}{2.34}$ ，所以，变压器次级容量为

$$S_2 = 3U_2 I_2 = 3 \times \frac{U_d}{2.34} \times 0.816 I_d = 1.05 P_d$$

变压器初级电流为

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2 = \frac{U_2}{U_1} \times 0.816 I_d$$

变压器初级容量为

$$S_1 = 3U_1 I_1 = 3U_1 \times \frac{U_2}{U_1} \times 0.816 I_d = 3 \times \frac{0.816}{2.34} U_d I_d = 1.05 P_d$$

可见，当变压器次级电流无直流分量时，次级容量等于初级容量。对于三相全控桥式整流电路来说， $S_1=S_2=1.05P$

变压器的等效电容为初、次级电容的平均值

$$S = \frac{S_1 + S_2}{2} = 1.05 P_d$$

表1-2各种整流电路变压器容量计算系数

整流电路变压器	负载性质	Ud/U <sub>2</sub>	I <sub>a</sub> /I <sub>2</sub>	S <sub>1</sub> /P	S <sub>2</sub> /P	S/P
三相全控桥	电阻性负载	2.34	1.22	1.05	1.05	1.05
	电感性负载	2.34	1.22	1.05	1.05	1.05

由表可知，整流变压器的平均容量都大于整流功率 $P_d$ ，二者之比越接近于1，则该种线路变压器的利用率越高。

### 1.1.5 变压器参数计算和选择

(1)  $U_0$ 的选择：直流电动机的额定电压为220V，即可知道要使电动机工作在电动状态所需要的额定电压为220V，即  $U_p=220V$ 。根据给定的直流电动机的参数 $R_a=0.50$  可求得 $\gamma$  和 $\gamma_0$  的值为

$$\gamma_D \approx \gamma_P = \frac{50 \times 0.5}{220} = 0.125$$

$$\gamma_D = \frac{I_D R_D}{U_D} \text{为电动机电枢电路总电阻} R_D \text{的标么值，} \gamma_P = \frac{I_D R_P}{U_D} \text{为对于电动机额定电流和}$$

电压的电阻 $R_P$ 的标么值。

根据所给参数，得  $\lambda=1.5$ 。由于是三相全控桥整流电路， $N_s=2$ ，整流元件降压 $U_r=1$ ， $K_{uv}=2.34, K_p=\cos\alpha, \epsilon=0.95, u\% = 5$ 。  $\alpha$ 为 $0^\circ \sim 30^\circ$  度范围，取 $\alpha=20^\circ$ 。为计算方便，电枢回路铜损耗忽略。

将以上所得的参数带入到公式得,

$$U_{d0} = \frac{[1 + (0.125 + 0.125) \times 1.5 - 0.125] + 2 \times 1 + 0.2\% \times 220}{0.95 \times 2.34 \times 0.94 - 0.64 \times 1.17 \times 0.05} = 135V$$

因为进线交流电源是三相380V。故本设计可以选择380V/220V,此电压可以在  $\alpha$  为  $0^\circ \sim 30^\circ$  度范围内使整流电路输出的直流电压,使电动机达到额定工作状态。

(2) 容量S的计算：根据三相全控桥变压器二次侧电流的有效值 $I_2$ 的计算公式

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} (I_d^2 \times \frac{2}{3} \pi + (-I_d)^2 \times \frac{2}{3} \pi)} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d = 0.816 I_d$$

计算得， $I_2 = 0.816 \times 50 = 40.8(A)$ 。

由于变压器采用 $\Delta/Y$ 型连接，则

$$k = \frac{380\sqrt{3}}{220} = 3$$

即

$$I_1 = I_2 \times \frac{1}{k} = 40.8 \times \frac{1}{3} = 13.6(A)$$

即可求得， $S_1 = 3U_1 \times I_1 = 3 \times 380 \times 13.6 = 15.5KVA$

$$S_2 = 3U_2 \times I = 3 \times 220 \times 40.8 = 15.5KVA$$

即

$$S = \frac{1}{2} (S_1 + S_2) = 15.5KVA$$

综上所述，选择型号为SBK20KW SG20KVA, 380V/220V的变压器。

## 1.2 整流电路

### 1.2.1 晶闸管简介

晶闸管是晶体闸流管的简称，又可称做可控硅整流器，以前被简称为可控硅；晶闸管是PNPN 四层半导体结构，它有三个极：阳极，阴极和门极；晶闸管具有硅整流器件的特性，能在高电压、大电流条件下工作，且其工作过程可以控制、被广泛应用于可控整流、交流调压、无触点电子开关、逆变及变频等电子电路中。

晶闸管的开通和关闭和三极管有很大的差别，可以视为一个双稳态器件，只具有两个工作状态即开通和关闭。晶闸管的开通受2个条件约束，阴阳极的正偏压和门极与阴极的正偏压，关断则只需要流过管子的电流小于一定的值，并且维持一定的时间就自然关断。不受门极控制。工作原理相当于两个三极管的等效电路。

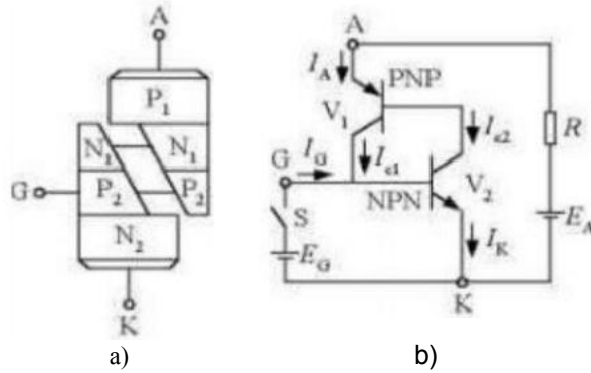


图1-1 晶闸管的结构与工作原理

a)晶闸管双晶体模型 b)工作原理

### 1. 2. 2 整流器件的定额计算和选择

本设计采用晶闸管三相全控桥整流电路，根据设计要求可得

$$I_{dmax}=\lambda I=1.5\times 50=75A$$

由此可以得出，

$$I_1=(1/\sqrt{3})I=(1/\sqrt{3})\times 75=43.30(A)$$

$$I(v)=(1.5\sim 2)I_1/1.57=(1.5\sim 2)\times 43.30/1.57=41.37\sim 55.16(A)$$

经分析知，

$$U_m=\sqrt{6}U_2=\sqrt{6}\times 135=330(V)$$

$$U_m=(2\sim 3)U=(2\sim 3)\times 330=660\sim 990(V)$$

综上所述，选定额为  $I_T(AV)=50A$ ,  $U_{TN}=800V$  的晶闸管作为整流器件，可采用 KP50 系列的晶闸管，其  $I_T(AV)=50A$ ，通态平均电压上限值由各制造厂根据合格的形式试验给出。

### 1. 2. 3 三相全控桥式整流电路的特点

(1) 2管同时通形成供电回路，其中共阴极组和共阳极组各1, 且不能为同一相器件。

(2) 对触发脉冲的要求：

按 VT1-VT2-VT3-VT4-VT5-VT6的顺序，相位依次差 $60^\circ$ 。共阴极组VT1、VT3、VT5的脉冲依次差 $120^\circ$ ，共阳极组VT4、VT6、VT2也依次差 $120^\circ$ 。同一相的上下两个桥臂，即VT1与VT4,VT3与VT6,VT5与VT2，脉冲相差 $180^\circ$ 。

表1-3三相桥式全控整流电路电阻负载  $\alpha=0^\circ$  时晶闸管工作情况

时 段	I	II	III	IV	V	VI
共阴极组中导通的晶闸管	VT1	VT1	VT3	VT3	VT5	VT5
共阳极组中导通的晶闸管	VT6	VT2	VT2	VT4	VT4	VT6
整流输出电压 $U_d$	$U_a-U_b=U_{ab}$	$U_a-U_c=U_{ac}$	$U_b-U_c=U_{bc}$	$U_b-U_a=U_{ba}$	$U_c-U_a=U_{ca}$	$U_c-U_b=U_{cb}$

(3)  $u_d$  一周期脉动6次，每次脉动的波形都一样，故该电路为6脉波整流电路。

(4) 需保证同时导通的2个晶闸管均有脉冲可采用两种方法：一种是宽脉冲触发另一种方法是双脉冲触发(常用)。

此设计电路需要六个晶闸管，三相桥式晶闸管主电路图如图1-2所示。

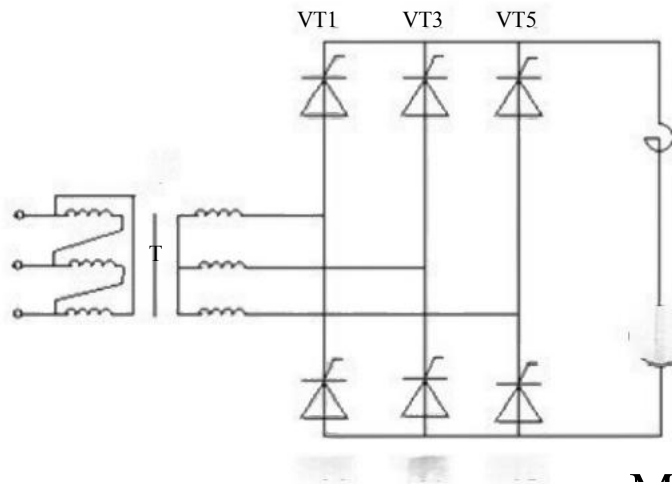


图1-2三相桥式晶闸管主电路图

### 1.3 平波电抗器的参数及选择

平波电抗器用于整流以后的直流回路中。整流电路的脉波数总是有限的，在输出的整流电压中总是有纹波的。这种纹波往往是有害的，需要由平波电抗器加以抑制。直流输电的换流站都装有平波电抗器，使输出的直流接近于理想直流。直流供电的晶闸管电气传动中，平波电抗器也是不可少的。

#### 1.3.1 电抗器的电感



若要求变流器在某一最小输出电流 $I_{dmin}$ 时仍能维持电流连续，则电抗器的电感可按下列式计算：

$$L_1 = K_1 \frac{U_{d0}}{I_{dmin}} \text{ (mH)}$$

式中  $U_{d0}$ —交流测电源相电压有效值(V)。

$I_{dmin}$ —要求连续的最小负载电流平均值(A)。

$K_1$ —与整流主电路形式有关的计算系数,  $K_1=0.693$ 。

对于不同控制角  $\alpha$ , 所需的电感量  $L_1$  为

$$L_1 = K_1 \frac{U_{d0}}{I_{dmin}} \sin \alpha (\text{mH})$$

本设计中的参数为:  $U_{d0}=135\text{V}$ ,  $I_{dmin}=(5\% \sim 10\%) I_a=2.75\text{A} \sim 5.5\text{A}$ ,  $K_1=0.693$ , 临界值  $\alpha=0^\circ$ 。将以上所述参数代入, 可计算出本设计所需的临界电感参数值, 即:

$$L_1 = 0.693 \times \frac{135}{2.75} = 34(\text{mH})$$

### 1.3.2 整流变压器漏电感的计算

整流变压器漏电感折算到次级绕组每相的漏电感  $L$  按下式计算:

$$L_T = k_{LT} \frac{u_k \%}{100} \times \frac{U_{d0}}{I_d} (\text{mH})$$

式中  $U_d$ —变压器次级相电压有效值(V)。

$I_d$ —晶闸管装置直流侧的额定负载电流(平均值)(A)。

$u_k\%$ —变压器的短路比。100KVA以下的变压器取  $u_k\%=5$ ; 100~1000KVA的变压器取  $u_k\%=5 \sim 10$ ;

$k_{LT}$ —与整流主电路形式有关的系数,  $k_{LT}=3.9$ 。

本设计  $U_d=127\text{V}$ ,  $I_d=50\text{A}$ ,  $u_k\%=5$ ,  $k_{LT}=3.9$ 。

将以上所需参数代入式中可计算出漏电感  $L$  的值, 即

出漏电感  $L$  的值, 即

$$L_T = 3.9 \times \frac{5}{100} \times \frac{135}{50} = 0.5265(\text{mH})$$

综上所述, 根据直流电动机的电枢电感为  $L_m=7\text{mH}$ , 可得使输出电流连续的临界电感量

$$L_a = L_1 - L_m - L_T = 26.5(\text{mH})$$

电抗器要选的值应比 $L_0$ 大，故选30mH的电感作为平波电抗器。

#### 1.4 晶闸管对电网的影响

晶闸管变流设备一般都是通过变压器与电网连接的，因此其工作频率为工频初级电压

即为交流电网电压。经过变压器的耦合，晶闸管主电路可以得到一个合适的输入电压，是晶闸管在较大的功率因数下运行。变流主电路和电网之间用变压器隔离，还可以抑制由变流器进入电网的谐波成分，减小电网污染。在变流电路所需的电压与电网电压相差不多时，有时会采用自耦变压器；当变流电路所需的电压与电网电压一致时，也可以不经变压器而直接与电网连接，不过要在输入端串联“进线电抗器”以减少对电网的污染。

在分析整流电路工作原理时，我们曾经假设晶闸管是理想的开关元件，导通时认为其电阻为零，而关断时，认为其电阻无穷大。但事实上，晶闸管并非是理想的可控开关元件，导通时有一定的管压降。

晶闸管装置中的无功功率，会对公用电网带来不利影响：

- 1) 无功功率会导致电流增大和视在功率增加，导致设备容量增加。
- 2) 无功功率增加，会使总电流增加，从而使设备和线路的损耗增加。
- 3) 使线路压降增大，冲击性无功功率负载还会使电压剧烈波动。

晶闸管装置还会产生谐波，对公用电网产生危害，包括：

1) 谐波使电网中的元件产生附加的谐波损耗，降低发电、输电及用电设备的效率，大量的3次谐波流过中性线会使线路过热甚至发生火灾。

2) 谐波影响各种电气设备的正常工作，使电机发生机械振动、噪声和过热，使变压器局部严重过热，使电容器、电缆等设备过热、使绝缘老化、寿命缩短以至损坏。

3) 谐波会引起电网中局部的并联谐振和串联谐振，从而使谐波放大，会使上述1)和2)两项的危害大大增加，甚至引起严重事故。

4) 谐波会导致继电保护和自动装置的误动作，并使电气测量仪表不准确。

5) 谐波会对临近的通信系统产生干扰，轻者产生噪声，降低通信质量，重者导致信息丢失，使通信系统无法正常工作。

由于公用电网中的谐波电压和谐波电流对用电设备和电网本身都会造成很大的危害，世界许多国家都发布了限制电网谐波的国家标准，或由权威机构制定限制谐波的规定。制定这些标准和规定的基本原则是限制谐波源注入电网的谐波电流，把电网谐波电压控制在允许的范围内，使接在电网中的电气设备能免受谐波干扰而正常工作。世界各国所指定的谐波标准大都比较接近。我国由技术监督局与1993年发布了国家标准(GB/T14549-93)《电

能质量公用电网谐波》，并从1994年3月1日起开始实施。

## 1.5 系统功率因数的讨论

三相桥式全控整流电路接反电动势负载时，由于设计时接了平波电抗器，所以负载电感足以使电流连续，则电路的工作情况与感性负载时相似，即可以根据感性负载来讨论功率因数。设交流电抗为零，假设直流电感  $L$  为足够大， $\alpha = 30^\circ$ 。此时，电流为正负半周各  $120^\circ$  的方波，三相电流波形相同，且依次相差  $120^\circ$ ，其有效值与直流电流的关系为

$$I = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d \quad (2.3.3)$$

同样可将电流波形分解为傅里叶级数。以 a 相电流为例，将电流负、正两半波的中点作为时间零点，则有

$$i_a = \sqrt{2} I_1 \sin \omega t + \sum_{\substack{n=6k\pm 1 \\ k=1,2,3L}} (-1)^k \sqrt{2} I_n \sin n\omega t$$

由式(2.3.4)可得电流基波和各次谐波有效值分别为

$$I_1 = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d$$
$$I_n = \frac{\sqrt{6}}{n\pi} I_d, \quad n=6k\pm 1, k=1,2,3L$$

由此可得以下结论：电流中仅含  $6k\pm 1$  ( $k$  为正整数) 次谐波，各次谐波有效值与谐波次数成反比，且与基波有效值的比值为谐波次数的倒数。

可得基波因数为

$$\nu = \frac{I_1}{I} = \frac{3}{\pi} \approx 0.955$$

电流基波与电压的相位差仍为  $\alpha$  , 故位移因数仍为

以上内容仅为本文档的试下载部分, 为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文, 请访问: <https://d.book118.com/938063111126006103>