

续表

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值
输出电阻/ Ω	R_o	闭环			1
负载电容/ μF	C_L	无振荡			100
工作温度/ $^{\circ}\text{C}$	T_A		-25		+85
电源电流/ mA	I_+			5.5	6.0
传递函数	V/F 变换 $f_0 = V_i / 7.5 R_T C_T$				
	F/V 变换 $V_o = 7.5 R_T C_T f_i$				

二、AD537V/F 变换器

AD537 为单片集成 V/F 变换器。其特点是：具有多功能输入放大器；满度频率高于 100kHz；正负电压输入方式、负电流输入方式；高输入阻抗；非线性误差小于 $\pm 0.05\%$ ；温度系数小于 $\pm 50 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；可作为 F/V 变换器应用；动态范围 100dB；具有 1.00V 电压基准输出；具有温度敏感输出端 (1mV/K)。

AD537 电原理图及外引线图见图 2.2.41 和图 2.2.42，典型接法见图 2.2.43，主要参数见表 2.2.23。

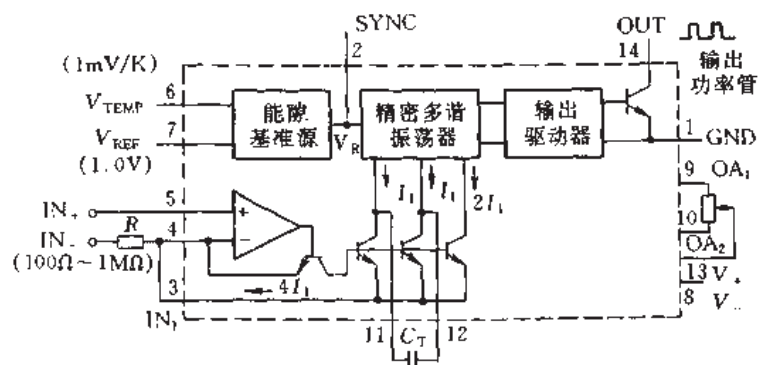


图 2.2.41 AD537 电原理图

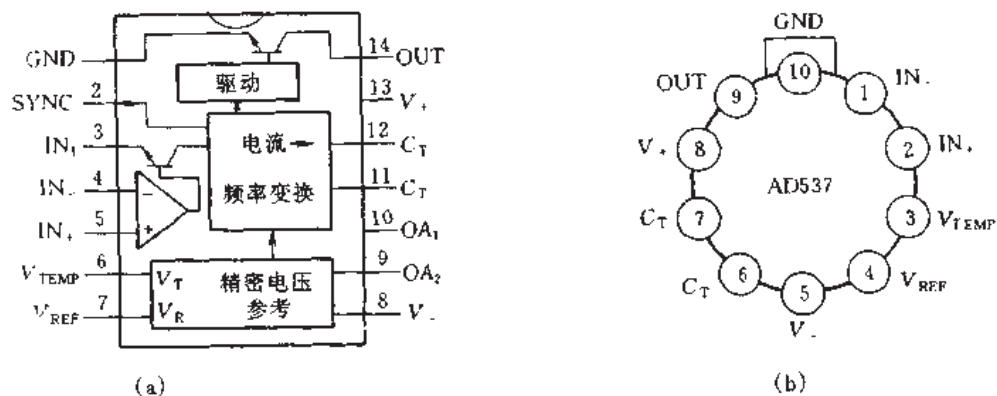
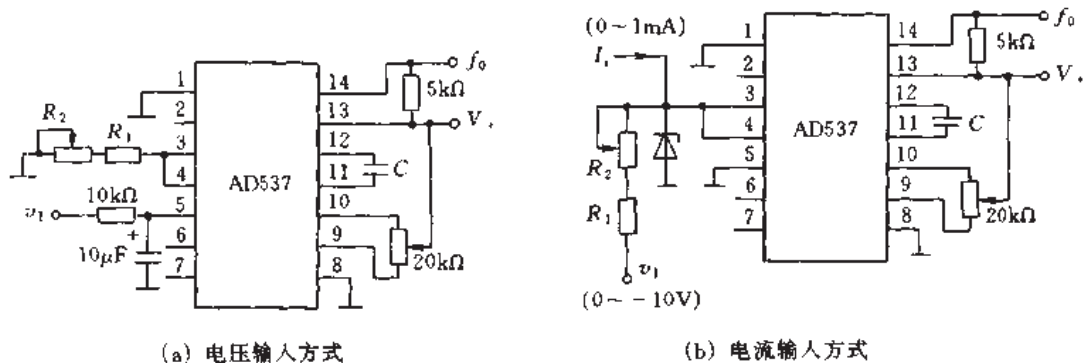
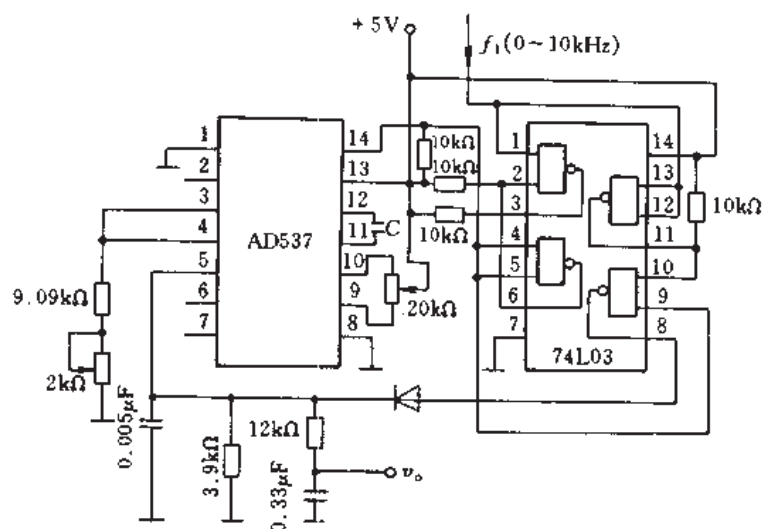


图 2.2.42 AD537 外引线图

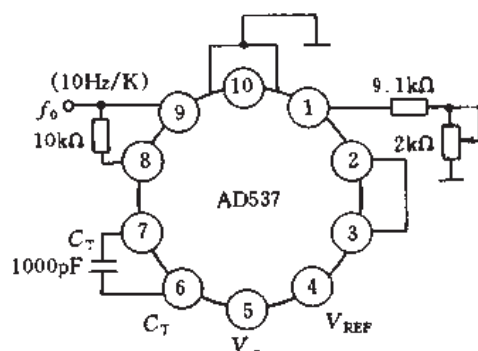


(a) 电压输入方式

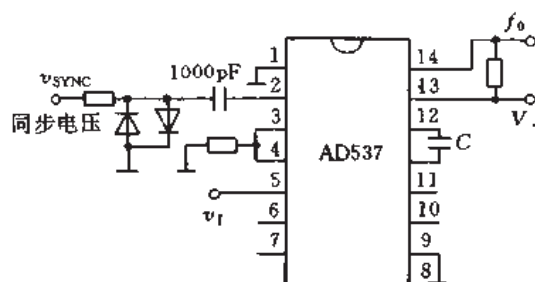
(b) 电流输入方式



(c) 10kHz/V 变换器



(d) 热力学温度-频率变换器



(e) 同步工作方式

图 2.2.43 AD537 典型接法图

表 2.2.23 AD537 主要参数

参 数 名 称	符 号	AD537JH	AD537K
L/F 变换器:			
频率范围/kHz	f_{FS}	0 ~ 150	0 ~ 150
非线性误差/%	E_{RL}		
$f_0 = 10\text{kHz}$		0.1	0.07
$f_0 = 100\text{kHz}$		0.15	0.1
标尺因子温度漂移/ $(\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$	$\Delta K/\Delta T$	± 50	± 30
输入放大器(V/F 变换):			
输入电压范围/V	V_{IN}	$0 \sim (V_+ - 4)$ $V_- \sim (V_+ - 4)$	$0 \sim (V_+ - 4)$ $V_- \sim (V_+ - 4)$
单电源			
双电源			
输入偏置电流/nA	I_{IB}	100	100
输入电阻(同相端)/MΩ	R_i	250	250
输入失调电压/mV	V_{IO}	5	2
失调电压温度漂移/ $(\mu\text{V}/^{\circ}\text{C})$	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	5	1
基准电压			
绝对值/V	V_{REF}	$(1 \pm 5)\%$	$(1 \pm 5)\%$
温度系数/ $(\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$		50	100

续表

参 数 名 称	符 号	AD537JH	AD537K
绝对温度传感灵敏度/(mV/K)		1	1
25℃起始标准/mV		298±5	298±5
单电源电压范围/V		4.5~36	4.5~36
双电源电压范围/V		±5~±18	±5~±18
工作温度/℃	T_A	0~70 AD537S -55~+125	0~70
传递函数	$f_0 = Kv_1 \quad K = 1/16V_R C_1 R$ (标尺因子)		

第十节 A/D、D/A 转换器及采样/保持电路

一、A/D、D/A 转换器及采样/保持电路一览表

由于 A/D 和 D/A 转换器是连接数字计算机和一次仪表或终端执行机构的桥梁,因之又称其为接口电路。近些年来,随着接口系统的集成化,出现了许多高速、高精度的集成 A/D、D/A 转换器,其性能一般都超过由分立元件所构成的同类电路。

A/D、D/A 转换器及采样/保持电路一览表见表 2.2.24。

表 2.2.24 A/D、D/A 转换器及采样/保持电路一览表

型 号	名 称	型 号	名 称
MC10315L	7 位 A/D 转换器	ADC0808	8 位 A/D 转换器
MSA8041AS	4 位 A/D 转换器	ADC0811	8 位 A/D 转换器
MSA8043AS	4 位 A/D 转换器	ADC0816	8 位 A/D 转换器
MSM6219AS	6 位 A/D 转换器	ADC0820	与微处理器兼容的 8 位高速 A/D 转换器
PNA7509	7 位 A/D 转换器	ADC0829	8 位 A/D 转换器
SP9756-6	6 位 A/D 转换器	ADC0831	8 位 A/D 转换器
TDC1014J	6 位 A/D 转换器	ADC0832	8 位 A/D 转换器
TDC1021J	4 位 A/D 转换器	ADC0833	8 位 A/D 转换器
TDC1029	6 位 A/D 转换器	ADC0834	8 位 A/D 转换器
TDC1114N7C1	6 位 A/D 转换器	ADC0838	8 位 A/D 转换器
TDC1121N9C	4 位 A/D 转换器	ADC0844	8 位 A/D 转换器
ZN440	6 位 A/D 转换器	ADC300	8 位 A/D 转换器
μAB1005	4 位 A/D 转换器	ADC5101	8 位 A/D 转换器
8~9 位 A/D 转换器		ADC815	超高速 8 位 A/D 转换器
AD570	8 位 A/D 转换器	ADC82	8 位 A/D 转换器
AD670	8 位 A/D 转换器	ADC830	8 位 A/D 转换器
AD673	8 位 A/D 转换器	ADC847	8 位 A/D 转换器
AD7574	8 位 A/D 转换器	ADC881	超线性 8 位 A/D 转换器
AD7575	8 位 A/D 转换器	Am6108	8 位 A/D 转换器
AD7576	8 位 A/D 转换器	Am6148	8 位 A/D 转换器
AD7581	8 位 A/D 转换器	BA9101	8 位 A/D 转换器
AD7824	8 位 A/D 转换器	CXA1016P	8 位 A/D 转换器
AD7828	8 位 A/D 转换器	CXA1056P	8 位 A/D 转换器
ADC-EH8B	快速 8 位 A/D 转换器	CXA1066K	8 位 A/D 转换器
ADC0800	8 位 A/D 转换器	CXA1096P	8 位 A/D 转换器
ADC0801	8 位 A/D 转换器	HA19209	8 位 A/D 转换器
ADC0802	8 位 A/D 转换器	HAS0802	8 位 A/D 转换器
ADC0803	8 位 A/D 转换器	IR3K03A	8 位 A/D 转换器
ADC0804	8 位 A/D 转换器	MB4052	8 位 A/D 转换器
ADC0805	8 位 A/D 转换器	MB4056	8 位 A/D 转换器

续表

型 号	名 称	型 号	名 称
8~9 位 A/D 转换器		AD5200	12 位逐次逼近高精度 A/D 转换器
MB40578	8 位 A/D 转换器	AD5210	12 位 A/D 转换器
MB4666	8 位 A/D 转换器	AD5240	12 位 A/D 转换器
MC10319	8 位 A/D 转换器	AD572	12 位逐次逼近 A/D 转换器
MN502	8 位 A/D 转换器	AD574	12 位 A/D 转换器
MN5100	8 位 A/D 转换器	AD578	12 位 A/D 转换器
MN5120	8 位 A/D 转换器	AD7552	12 位 A/D 转换器
MN5130	8 位 A/D 转换器	AD7572	高速 12 位 LC ² MOS A/D 转换器
MN5150	8 位 A/D 转换器	AD7578	12 位 CMOS 逐次逼近 A/D 转换器
MP7574	8 位 A/D 转换器	AD7582	12 位 A/D 转换器
MP7581	8 位 A/D 转换器	ADC-EH12B1	12 位 A/D 转换器
MP7683	8 位 A/D 转换器	ADC-EHB2	12 位 A/D 转换器
MP7684	8 位 A/D 转换器	ADC-EH12B3	超高速 12 位 A/D 转换器
NE5034	8 位 A/D 转换器	ADC-EK	12 位 A/D 转换器
SDA8010	8 位 A/D 转换器	ADC-ET	12 位 A/D 转换器
T3985	8 位 A/D 转换器	ADC-HC12B	12 位 A/D 转换器
TC35094P	8 位 A/D 转换器	ADC-HS12B	12 位 A/D 转换器
TC35095	8 位 A/D 转换器	ADC-HX(HZ)	12 位 A/D 转换器
TC5090AP	8 位 A/D 转换器	ADC10HT	12 位 A/D 转换器
TC5091AP	8 位 A/D 转换器	ADC1210	12 位 A/D 转换器
TDC1049	9 位 A/D 转换器	ADC1225	12 位 + SIGNA/D 转换器
TLC548	8 位 A/D 转换器	ADC574A	与微处理器兼容的 12 位 A/D 转换器
μ PD7001C	8 位 A/D 转换器	ADC600	超高速 12 位 A/D 转换器
μ PD7003C	高速 8 位 A/D 转换器	ADC674A	与微处理器兼容的 12 位 A/D 转换器
10~11 位 A/D 转换器		ADC7109	能与微处理器接口的 12 位 A/D 转换器
AD571	10 位 A/D 转换器	ADC80-12	12 位 A/D 转换器
AD573	10 位 A/D 转换器	ADC803	12 位 A/D 转换器
AD575	10 位 A/D 转换器	ADC804	12 位 A/D 转换器
AD579	10 位 A/D 转换器	ADC810	12 位高速 A/D 转换器
AD7571	10 位 A/D 转换器	ADC817	超高速 12 位 A/D 转换器
ADC-EH10B	10 位 A/D 转换器	ADC85-12	12 位 A/D 转换器
ADC1001	10 位 A/D 转换器	ADC87	12 位 A/D 转换器
ADC1005	10 位 A/D 转换器	ICL7104-12	12 位 A/D 转换器
ADC1021	10 位 A/D 转换器	ICL7109	12 位 A/D 转换器
ADC1025	10 位 A/D 转换器	MP32	与微处理器接口的 12 位数据采集系统
ADC80-10	10 位 A/D 转换器	μ PC650D	12 位 A/D 转换器
ADC816	10 位 A/D 转换器	13~14 位 A/D 转换器	
ADC85-10	10 位 A/D 转换器	AD7550	13 位 A/D 转换器
ADC856	10 位 A/D 转换器	ADC149	14 位 A/D 转换器
ADC85C10	10 位 A/D 转换器	ICL7104-14	14 位 A/D 转换器
CX20220AI	10 位 A/D 转换器	ICL7115	14 位 A/D 转换器
MB4051	10 位 A/D 转换器	MP7550	13 位 A/D 转换器
MP7685	11 位 A/D 转换器	TC5092AP	13 位 A/D 转换器
ZN501	10 位 A/D 转换器	16 位 A/D 转换器	
μ PD7002C	10 位 A/D 转换器	AD376	16 位 A/D 转换器
μ PD7004C	10 位 A/D 转换器	ADC71	高分辨率 16 位 A/D 转换器
12 位 A/D 转换器		ADC72	16 位混合式 A/D 转换器
AD369	增益可编程 12 位 A/D 转换器	ADC76	16 位 A/D 转换器
AD375	与微处理器兼容的 12 位 A/D 转换器	ICL7104-16	16 位 A/D 转换器

型 号	名 称	型 号	名 称
16 位 A/D 转换器		AD7524	8 位 D/A 转换器
ICL8052A	16 位 A/D 转换器	AD7526	8 位 D/A 转换器
ICL8068A	16 位 A/D 转换器	AD7528	8 位 D/A 转换器
MN5284	16 位 A/D 转换器	AD9700	8 位视频 D/A 转换器
BCD 码输出 A/D 转换器		AD9703	8 位 D/A 转换器
AD7555	5 $\frac{1}{2}$ 位量子系统 A/D 转换器	AD9768	8 位 D/A 转换器
ADD5501	3 $\frac{1}{2}$ 位 LED 用 A/D 转换器	DAC-HF8	8 位超高速 D/A 转换器
ICL7106	3 $\frac{1}{2}$ 位 LCD 用 A/D 转换器	DAC-IC8B	8 位 D/A 转换器
LCL7107	3 $\frac{1}{2}$ 位 LED 用 A/D 转换器	DAC-UP8B	8 位 D/A 转换器
ICL7116	3 $\frac{1}{2}$ 位 ICD 用 A/D 转换器	DAC08	8 位 D/A 转换器
ICL7117	3 $\frac{1}{2}$ 位 LED 用 A/D 转换器	DAC0801	8 位 D/A 转换器
ICL7126	3 $\frac{1}{2}$ 位 LCD 用 A/D 转换器	DAC0802	8 位 D/A 转换器
ICL7135	4 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	DAC0803	8 位 D/A 转换器
ICL7136	3 $\frac{1}{2}$ 位 LCD 用 A/D 转换器	DAC0804	8 位 D/A 转换器
MC14433	3 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	DAC0806	8 位 D/A 转换器
μ PC646D	积分式 4 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	DAC0830	8 位 D/A 转换器
压频及频-压 A/D 转换器		DAC608	与微处理器兼容的 8 位 D/A 转换器
AD537	压-频 A/D 转换器	DAC752	8 位乘法型 D/A 转换器
AD650	压-频及频-压 A/D 转换器	DAC82	8 位 D/A 转换器
AD654	压-频 A/D 转换器	DAC8308	超高速 8 位复合视频 D/A 转换器
ADVF32	压-频 A/D 转换器	DAC8318	超高速 8 位复合视频 D/A 转换器
4~6 位 D/A 转换器		DAC90	8 位 D/A 转换器
AD7110	6 位 CMOS LOGDACTM 数字控制音频衰减 D/A 转换器	IR3K02	8 位 D/A 转换器
AD7118	6 位 CMOS 对数 D/A 转换器	MB40778	8 位 D/A 转换器
AD9702	三通道 4 位 D/A 转换器	MC1408	8 位 D/A 转换器
DAC706	6 位 D/A 转换器	MP10	8 位 D/A 转换器
MB40776	6 位 D/A 转换器	MP11	8 位 D/A 转换器
μ PC603	6 位 D/A 转换器	SDA8005	8 位 D/A 转换器
μ PD6325C	6 位 D/A 转换器	μ PC624C	8 位高速 D/A 转换器
8 位 D/A 转换器		μ PD6900C	8 位 D/A 转换器
AD1408	8 位乘法型 D/A 转换器	μ PD7011C	8 位 D/A 转换器
AD558	8 位 D/A 转换器	10 位 D/A 转换器	
AD7111	8 位 COMS 对数 D/A 转换器	AD561	10 位 D/A 转换器
AD7224	8 位 D/A 转换器	AD7520	10 位 D/A 转换器
AD7225	四路 8 位 LC ² MOS D/A 转换器	AD7522	10 位 D/A 转换器
AD7226	四路 8 位 LC ² MOS D/A 转换器	AD7527	10 位 D/A 转换器
AD7501	8 位多路 D/A 转换器	AD7530	10 位乘法型 CMOS D/A 转换器
AD7502	8 位多路 D/A 转换器	AD7533	10 位乘法型 CMOS D/A 转换器
AD7503	8 位多路 D/A 转换器	DAC-HA10	10 位精密乘法型 CMOS D/A 转换器
AD7523	8 位 D/A 转换器	DAC-HF10	10 位超高速 D/A 转换器
		DAC-IC10B	10 位 D/A 转换器
		DAC-UP10B	10 位 D/A 转换器
		DAC100	10 位单片 D/A 转换器
		DAC1000	10 位 D/A 转换器
		DAC1006	10 位 D/A 转换器
		DAC1020	二进制乘法型 10 位 D/A 转换器
		DAC610	与微处理器兼容的 10 位 D/A 转换器
		DAC7533	10 位乘法型 D/A 转换器
		HDD1015	10 位 D/A 转换器
		MB40748	10 位 D/A 转换器

续表

型 号	名 称	型 号	名 称
10 位 D/A 转换器		HDD1206	12 位 D/A 转换器
MB40788	10 位 D/A 转换器	MN3850	12 位 D/A 转换器
μ PD610D	10 位 + 符号位 D/A 转换器	μ PC648C	高速 12 位 D/A 转换器
12 位 D/A 转换器		14 ~ 16 位 D/A 转换器	
AD3860	12 位缓冲电压输出 D/A 转换器	AD1147	与微处理器兼容的 16 位 D/A 转换器
AD394	与微处理器兼容的四路 12 位 D/A 转换器	AD569	16 位 D/A 转换器
AD562/BIN	12 位 D/A 转换器	AD7534	14 位 D/A 转换器
AD563/BIN	12 位 D/A 转换器	AD7535	14 位 D/A 转换器
AD565	12 位 D/A 转换器	AD7536	与微处理器兼容的 14 位 LC^2MOS D/A 转换器
AD565A	12 位 D/A 转换器	AD7546	16 位 D/A 转换器
AD566	12 位 D/A 转换器	ADDAC71	16 位 D/A 转换器
AD567	12 位 D/A 转换器	DAC-HA14	14 位精密乘法型 CMOS D/A 转换器
AD6012	12 位 D/A 转换器	DAC-HP16B	16 位 D/A 转换器
AD667	12 位 D/A 转换器	DAC1600	16 位 D/A 转换器
AD7240	12 位 D/A 转换器	DAC700	16 位 D/A 转换器
AD7245	12 位 LC^2MOS D/A 转换器	DAC701	15 位 D/A 转换器
AD7521	12 位 D/A 转换器	DAC707	16 位 D/A 转换器
AD7531	12 位乘法型 CMOS D/A 转换器	DAC708	16 位 D/A 转换器
AD7537	12 位 D/A 转换器	DAC709	16 位 D/A 转换器
AD7541	12 位乘法型 CMOS D/A 转换器	DAC70BH	16 位 D/A 转换器
AD7542	12 位 D/A 转换器	DAC71	混合型 16 位 D/A 转换器
AD7543	12 位 D/A 转换器	DAC71-CCD	16 位 D/A 转换器
AD7544	12 位 D/A 转换器	DAC710	16 位机器人用 D/A 转换器
AD7545	12 位 D/A 转换器	DAC711	16 位机器人用 D/A 转换器
AD7547	12 位 D/A 转换器	ICL7134	14 位 D/A 转换器
AD7548	12 位 D/A 转换器	ICL7145	16 位 D/A 转换器
AD7549	12 位 D/A 转换器	PCM52JG-V	16 位音频用 D/A 转换器
AD7845	12 位乘法型 LC^2MOS D/A 转换器	PCM53-1	16 位 D/A 转换器
DAC-DG12B	快速 12 位去毛刺 D/A 转换器	PCM53KP-1	16 位 D/A 转换器
DAC-HA12	12 位精密乘法型 CMOS D/A 转换器	PCM53KP-V	16 位 D/A 转换器
DAC-HF12	12 位超高速 D/A 转换器	PCM54	16 位音响用 D/A 转换器
DAC-HZ 系列	12 位混合 D/A 转换器	BCD 码输入 D/A 转换器	
DAC10HZ	12 位 D/A 转换器	AD711	$2\frac{1}{2}$ 位 CMOS 0.1dB 步长衰减 D/A 转换器
DAC1200	12 位 D/A 转换器	AD7525	$3\frac{1}{2}$ 位 D/A 转换器
DAC1208	12 位 D/A 转换器	取样保持电路与多路转换器	
DAC1220	二进制乘法型 12 位 D/A 转换器	AD585	取样保持电路
DAC1230	12 位 D/A 转换器	MPC4D	多路转换器
DAC1280	12 位 D/A 转换器	MPC800	多路转换器
DAC1280-1	12 位 D/A 转换器	MPC8C	多路转换器
DAC1285	12 位 D/A 转换器	SHC298AM	取样保持电路
DAC312	12 位 D/A 转换器	SHC5320	取样保持电路
DAC562	高性能 12 位 D/A 转换器	SHC600BH	取样保持电路
DAC612	与微处理器兼容的 12 位 D/A 转换器	SHC803	取样保持电路
DAC63	12 位 D/A 转换器	SHC804	取样保持电路
DAC800(1)	12 位 D/A 转换器	SHM20	取样保持电路
DAC800(V)	12 位 D/A 转换器	SHM360	取样保持电路
DAC811	12 位 D/A 转换器	SHM45	取样保持电路
DAC812	12 位 D/A 转换器	SHM91	取样保持电路
DAC85	12 位 D/A 转换器		
DAC850	12 位 D/A 转换器		

二、逐次比较式 A/D 转换器

ADC0808/0809 是单片 CMOS 8 位、8 通道多路逐次逼近转换器，可与微处理机兼容。电原理图见图 2.2.44。

图 2.2.45 给出了 ADC0808/0809 外引线图。

1. 部分引脚功能

ADDA ~ ADDC 为输入地址选择。

ALE 为地址锁存允许输入。正跳变时，锁存输入地址信号，选通相应的模拟信号通路，以便进行 A/D 转换。

START 为启动信号。启动脉冲上升沿将所有内部寄存器清零，下降沿开始转换。

EOC 为转换结束，高电平有效。在 START 信号上升沿之后 0~8 个时钟周期内，EOC 变为低电平，当转换结束时，EOC 变为高电平。

OE 为输出允许，高电平有效，它为有效时，将输出寄存器中的数据放到数据总线上。

2. 典型接法图 (见图 2.2.46)

3. 主要参数 (见表 2.2.25)

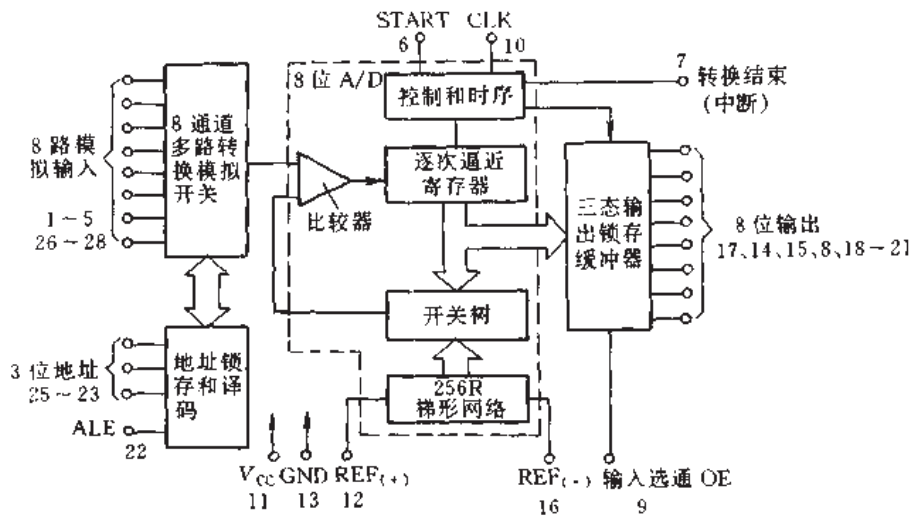


图 2.2.44 ADC0808/0809 电原理图

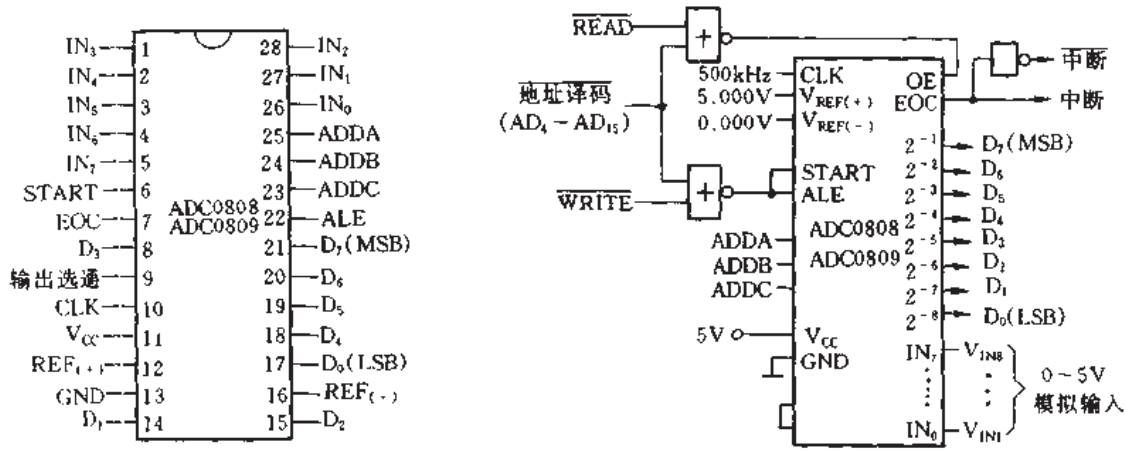


图 2.2.45 ADC0808/0809 外引线图

图 2.2.46 ADC0808/0809 典型接法图

表 2.2.25 ADC0808/0809 主要参数

电源电压 /V	分辨率 /bit	输入电压范围 /V	转换时间 /μs	功 耗 /mW	误 差 /LSB	工作温度 /℃
+5	8	+5	100	15	$\pm \frac{1}{2}$ (0808) ± 1 (0809)	-40 ~ +85

三、双积分 A/D 转换器

5G14433 是单片 CMO 3 $\frac{1}{2}$ 位 LSI A/D 转换器。采用双积分原理实现转换，具有自动调零、自动极性转换、精度高、功耗低、使用方便、并能与微机或其他数字电路兼容的优点，广泛用于数字面板表、数字万用表、数字温度计、数字量具和遥控遥测系统。

1. 电原理图及外引线图（见图 2.2.47 和图 2.2.48）

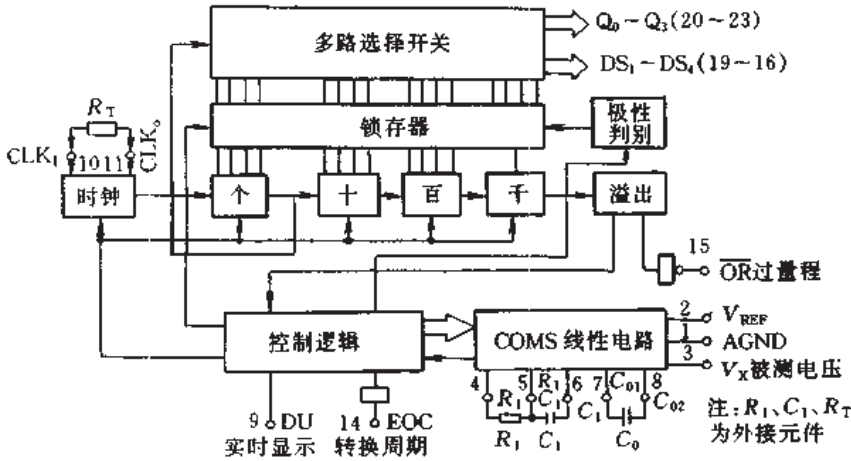


图 2.2.47 5G14433 电原理图

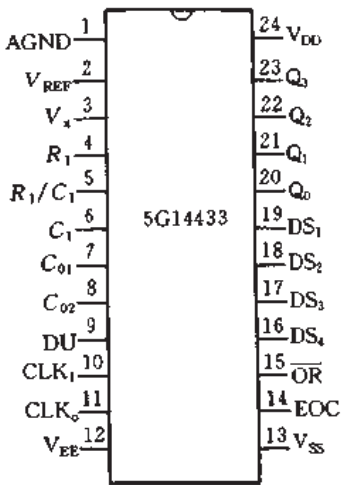


图 2.2.48 5G14433 外引线图

部分引脚功能如下：

R_1 、 C_1 、 R_1/C_1 为外接积分阻容元件端；

C_{01} 、 C_{02} 为外接失调补偿电容端；

DU 为更新显示控制输入端；

CLK_1 、 CLK_0 为时钟振荡器外接电阻端；

V_{EE} 为电源最负端，要求 $V_{AGND} - V_{EE} \geq 2.8V$ ；

V_{SS} 为除 CLK_0 外，所有输出端低电平基准， $V_{DD} - V_{SS} \geq 5V$ ；

EOC 为结束标志，转换结束后 EOC 输出一个宽度为 1/2 时钟周期的正脉冲；

OR 过量程标志，当 $|V_X| > |V_{REF}|$ 时，OR 变为低电平；

$DS_4 \sim DS_1$ 为多路选通脉冲输出端，依次为个、十、百、千位，脉宽为 18 个时钟周期；

$Q_0 \sim Q_3$ 为数据输出端， $DS_2 \sim DS_4$ 选通脉冲期间，输出 3 位十进制数， DS_1 期间输出，或 1 及过量程、欠量程、极性标志信号。

最高位（千位）编码条件见表 2.2.26。

表 2.2.26 最高位编码条件

MSD 编码条件	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	BCD-7 段译码
+0	1	1	1	0	不显示
-0	1	0	1	0	
+0	1	1	1	1	
-0	1	0	1	1	
+1UR	0	1	0	0	4→1
-1UR	0	0	0	0	0→1
+1OR	0	1	1	1	7→1
-1OR	0	0	1	1	3→1

注：表中 UR 为欠量程；OR 为过量程。

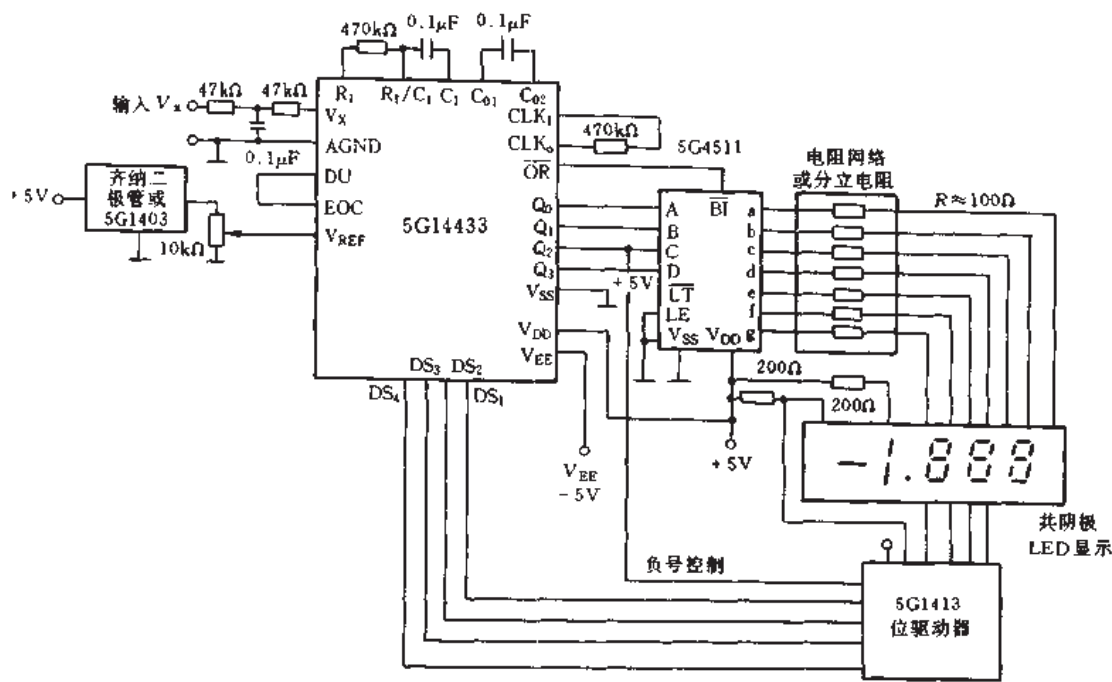


图 2.2.49 LED 数码管显示 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表

2. 典型接法 (见图 2.2.49)

四、DAC 0832 8 位 D/A 转换器

8 位 D/A 转换器可以直接与 Z80、8080、8085、8048、8051 等流行的微处理器直接接口。它主要由两个 8 位寄存器和一个 8 位 D/A 转换器组成。由于使用了两个寄存器 (输入寄存器和 DAC 寄存器), 所以可以进行两次缓冲操作, 使之操作灵活性大为增加。可使用双缓冲、单缓冲、直通输入三种操作方式。逻辑输入与 TTL 兼容。

DAC0832 外引线图见图 2.2.50, 典型接法见图 2.2.51, 主要参数见表 2.2.27。

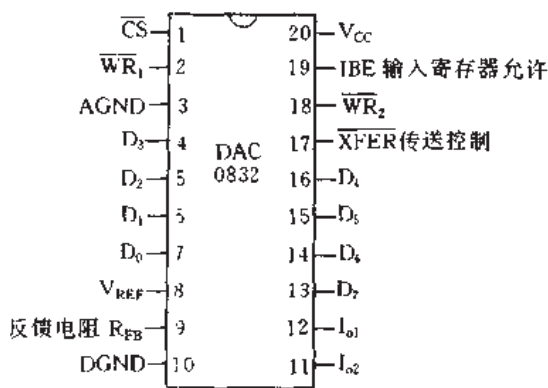


图 2.2.50 DAC0832 外引线图

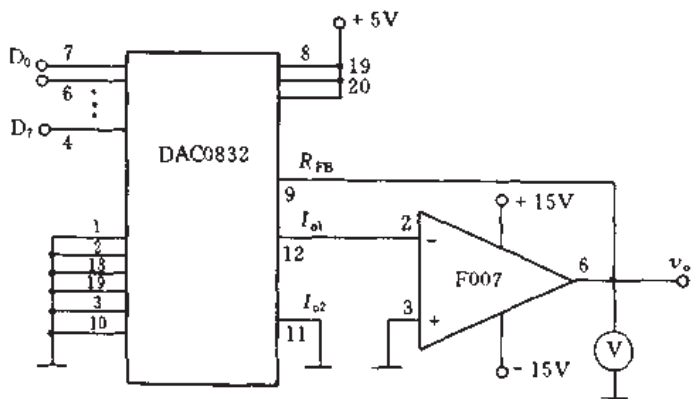


图 2.2.51 DAC0832 典型接法图

表 2.2.27 DAC 0832 主要参数

电源电压 /V	分辨率 /bit	建立时间 /μs	线性度	功 耗 /mW	工作温度 /℃
+5 ~ +15	8	1	<0.2	200	0 ~ +70 -25 ~ +85

五、LF198/298/398 采样/保持电路

LF198/298/398 采用 BI-FET 工艺实现了超高直流精度、快速信号捕捉及低的下降速率。结型场效应器件具有比 MOS 器件低得多的噪声，并且不存在高温不稳定问题。整个设计保证了在保持状态下，即使输入信号等于电源电压，在输入和输出之间也不会出现馈通。LF198 与 298 的差异是前者工作温度范围从 $-55 \sim +155^{\circ}\text{C}$ ，而后者仅从 $-25 \sim +85^{\circ}\text{C}$ ，LF398 工作温度范围最小，仅从 $0 \sim 70^{\circ}\text{C}$ 。另外，LF398 的输入偏置电流、增益误差都较 LF198/298 大，1kHz 馈通衰减比却比 LF198/298 小。

LF198/298/398 电原理图及外引线图见图 2.2.52 和图 2.2.53，典型接法见图 2.2.54。

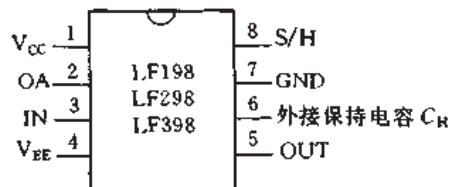


图 2.2.53 LF198/298/398 外引线图

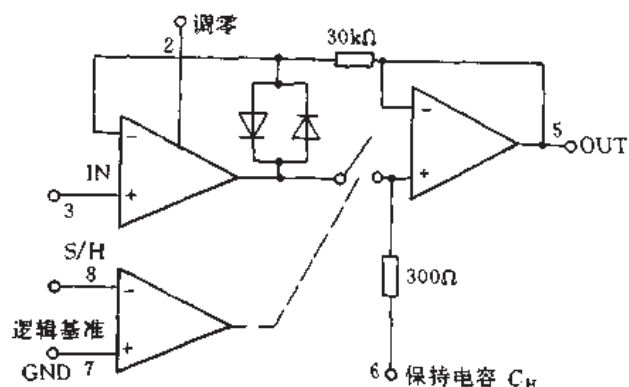


图 2.2.52 LF198/298/398 电原理图

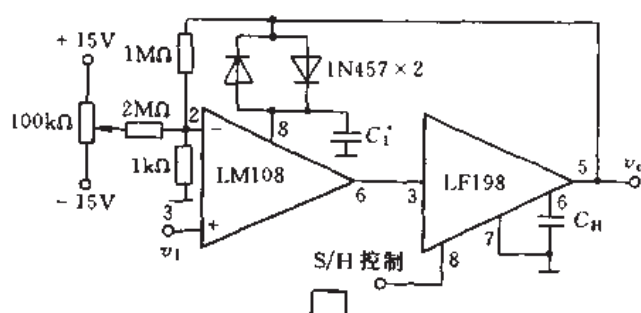


图 2.2.54 LF198 典型接法图

第三章 电力电子技术基础

第一节 晶闸管元件

晶闸管元件是一种以硅单晶为基本材料的 $P_1N_1P_2N_2$ 四层三端器件。由于它的效率高、无噪音、耐冲击、好安装、尺寸小等优点，很快就成为变流技术领域中的主体，取代了落后的发电机组和水银整流器。以后又发展了许多派生器件，常见的有双向晶闸管、逆导晶闸管和可关断晶闸管等。由于它们的特性类似于真空闸流管，所以国际电工委员会把它们统称为晶体闸流管，简称晶闸管 T。又由于晶闸管最初应用于可控整流方面，所以又称为硅可控整流元件，简称为可控硅 SCR。

在性能上，晶闸管不仅具有单向导电性，而且其通断电压和导通电流还受控制极控制。

晶闸管能以毫安级电流控制大功率的机电设备，是弱电控制强电的桥梁。在电力牵引、电机励磁、电气传动、可控整流、无触点开关、交流调压、逆变和变频电源等方面得到广泛应用。

普通的晶闸管用于交流频率为 400Hz 以下的控制设备。如果超过此频率，因元件开关损耗显著增加，允许通过的平均电流相应降低。此时，标称电流应降级使用。

晶闸管的弱点：静态及动态的过载能力较差；容易受干扰而误导通。

一、晶闸管元件的结构和型号

1. 结构

由于生产厂家不同，世界上各种晶闸管元件的外形多达数百种。但是，不管它们的外形如何，其管芯都是由 P 型硅和 N 型硅组成的四层 $P_1N_1P_2N_2$ 结构，见图 2.3.1。它有三个 PN 结 (J_1 、 J_2 、 J_3)，从 J_1 结的 P_1 层引出阳极 A，从 N_2 层引出阴极 K，从 P_2 层引出控制极 G，所以它是一种四层三端的半导体器件。

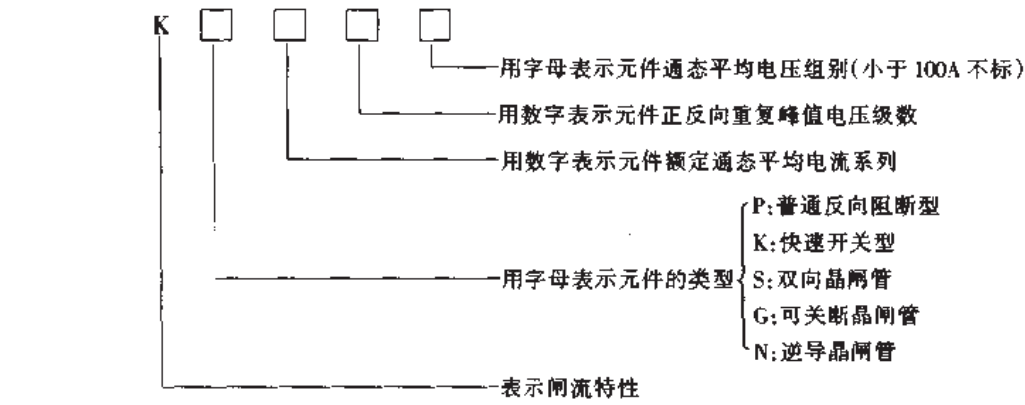
2. 型号

国产晶闸管的主要特性参数对照见表 2.3.1。新、

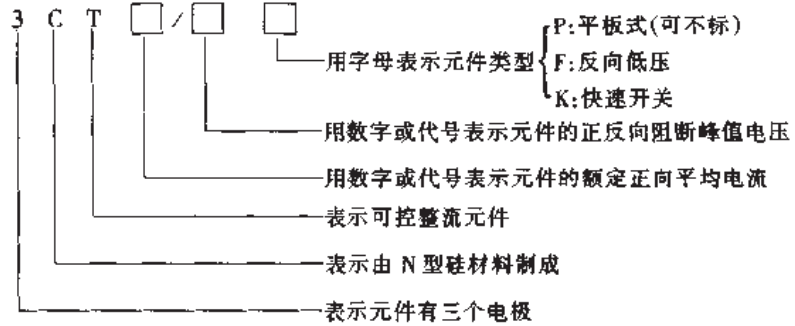
旧型号的格式含义分别如下：

表 2.3.1 KP 型晶闸管新旧标准主要特性参数对照表

序号	参数	部颁新标准 (JB 1144—75)	部颁旧标准 (JB 1144—71)
		KP 型晶闸管整流元件	3CT 系列晶闸管整流元件
1		额定通态平均电流 ($I_{T(AV)}$)	额定正向平均电流 (I_F)
2		断态重复峰值电压 (U_{DRM})	正向阻断峰值电压 (U_{rr})
3		反向重复峰值电压 (U_{RRM})	反向峰值电压 (V_{rr})
4		断态重复平均电流 ($I_{DR(AV)}$)	正向平均漏电流 (I_R)
5		反向重复平均电流 ($I_{RR(AV)}$)	反向平均漏电流 (I_{RL})
6		通态平均电压 ($U_{T(AV)}$)	最大正向平均电压降 (V_f)
7		门极触发电流 (I_{GT})	控制极触发电流 (I_g)
8		门极触发电压 (U_{GT})	控制极触发电压 (V_g)
9		断态电压临界上升率 (du/dt)	极限正压上升率 (dv/dt)
10		维持电流 (I_H)	维持电流 (I_R)
11		额定结温 (T_{JM})	额定工作结温 (T_j)



新标准:



KP 型晶闸管的电流电压级别见表 2.3.2。示例如下。

表 2.3.2 KP 型晶闸管电流电压级别

额定通态平均电流 $I_{T(AV)}/A$	1, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 1000								
正反重复峰值电压 $U_{DRM}, U_{RRM}(\times 100)$ /V	1~10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30								
通态平均电压 $U_{T(AV)}/V$	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	≤0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~1.0	1.0~1.1	1.1~1.2

① KP5-10 表示通态平均电流 5A，正反向重复峰值电压 1000V 的普通反向阻断型晶闸管元件。

② KP500-12D 表示通态平均电流 500A，正、反向重复峰值电压 1200V，通态平均电压 0.7V 的普通反向阻断型晶闸管元件。

③ 3CT5/600 表示通态平均电流 5A，正、反向重复峰值电压 600V 的旧型号普通晶闸管元件。

二、晶闸管元件的工作原理及基本特性

1. 晶闸管开关条件

由于晶闸管只有导通和关断两种工作状态，所以它具有开关特性。这种特性需要一定的条件才能转化，这些条件见表 2.3.3。

表 2.3.3 晶闸管导通和关断条件

状 态	条 件	说 明
从关断到导通	①阳极电位高于阴极电位 ②控制极有足够的正向电压和电流	两者缺一不可
维持导通	①阳极电位高于阴极电位 ②阳极电流大于维持电流	两者缺一不可
从导通到关断	①阳极电位低于阴极电位 ②阴极电流小于维持电流	任一条件即可

2. 基本伏安特性

晶闸管的基本伏安特性见图 2.3.2。

(1) 正向特性 晶闸管阳-阴极间加上正向电压，控制极不加电压， J_1 、 J_2 结处于正向偏置， J_2 结反向偏

置,所以晶闸管只流过很小的正向漏电流 I_l ,即特性曲线的 A 段。此时晶闸管阳极-阴极间呈现很大的电阻,处于“正向阻断状态”。当正向电压上升到转折电压(又称正向不重复峰值电压) U_{BO} 时, J_2 结被击穿,漏电流突然增加,晶闸管由阻断状态突然转变为导通状态。在图 2.3.2 中由 A 段迅速跨过 B 段而转到 C 段。导通后的正向特性与二极管的特性相似,即通过晶闸管的电流较大而其本身的管压降很小,如图 2.3.2 中 C 段所示。

(2) 反向特性 晶闸管加反向电压时, J_1 、 J_3 结于反向偏置, J_2 结处于正偏置。晶闸管只流过很小的反向漏电流 I_T ,如图 2.3.2 中的 D 段。此段特性与一般二极管的反向特性相似,晶闸管处于反向阻断状态。当反向电压增加到反向转折电压 U_{BR} 时,反向电流急剧增加,使晶闸管反向导通,并造成永久性损坏。

必须指出,在很大的正向或反向电压作用下使晶闸管击穿导通,实际上是绝对不允许的。通常应使晶闸管在正向阻断状态下,将正向触发电压(电流)加到控制极而使其导通。由图 2.3.2 可见,触发电流越大,正向转换电压 U_{BO} 越小。

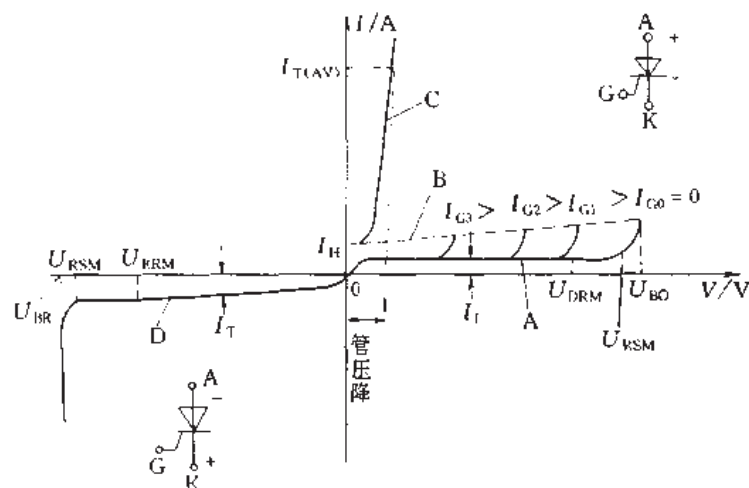


图 2.3.2 晶闸管基本伏安特性

由晶闸管的伏安特性可以看出,晶闸管在正向电压作用下,从阻断到导通的转化条件就是加入正向触发电压(电流)。

三、部分晶闸管元件的主要特性参数

KP 型普通晶闸管参数见表 2.3.4。部分塑封普通晶闸管参数见表 2.3.5。

表 2.3.4 部分普通晶闸管特性参数

参数 系列	额定通 态平均 电流 $I_{T(AV)}$ /A	断态重复峰值 电压 U_{DRM} 反向重复峰值 电压 U_{RRM} /V	断态重复平均 电流 $I_{DR(AV)}$ 反向重复平均 电流 $I_{RR(AV)}$ /mA	通态平 均电压 $U_{T(AV)}$ /V	维持 电流 I_H /mA	门极触 发电流 I_{GT} /mA	门极触 发电压 U_{GT} /V	门极 不触发 电流 I_{GB} /mA	门极 不触发 电压 U_{GB} /V	门极 正向 峰值电 流 I_{GFM} /A	门极 正向 峰值电 压 U_{GFM} /V
KP1	1	100 ~ 3000	≤ 1	上限值由各制造厂根据 合格的型式试验自行给出	实测值(由各制造厂给出)	3 ~ 30	≤ 2.5	≥ 0.4	≥ 0.3	—	10
KP5	5	100 ~ 3000	≤ 1			5 ~ 70	≤ 3.5	≥ 0.4	≥ 0.3	—	10
KP10	10	100 ~ 3000	≤ 1			5 ~ 100	≤ 3.5	≥ 1	≥ 0.25	—	10
KP20	20	100 ~ 3000	≤ 1			5 ~ 100	≤ 3.5	≥ 1	≥ 0.25	—	10
KP30	10	100 ~ 3000	≤ 2			8 ~ 150	≤ 3.5	≥ 1	≥ 0.15	—	10
KP50	50	100 ~ 3000	≤ 2			8 ~ 150	≤ 3.5	≥ 1	≥ 0.15	—	10
KP100	100	100 ~ 3000	≤ 4			10 ~ 250	≤ 4	≥ 1	≥ 0.15	—	10
KP200	200	100 ~ 3000	≤ 4			10 ~ 250	≤ 4	≥ 1	≥ 0.15	—	10
KP300	300	100 ~ 3000	≤ 8			20 ~ 300	≤ 5	≥ 1	≥ 0.15	4	10
KP400	400	100 ~ 3000	≤ 8			20 ~ 300	≤ 5	≥ 1	≥ 0.15	4	10
KP500	500	100 ~ 3000	≤ 8			20 ~ 300	≤ 5	≥ 1	≥ 0.15	4	10
KP600	600	100 ~ 3000	≤ 9			30 ~ 350	≤ 5	—	—	4	10
KP800	800	100 ~ 3000	≤ 9			30 ~ 350	≤ 5	—	—	4	10
KP1000	1000	100 ~ 3000	≤ 10			40 ~ 400	≤ 5	—	—	4	10

续表

参数 系列	门极 反向 峰值 电压 U_{GRM} /V	门极 平均 功率 $P_{G(AV)}$ /W	门极 峰值 功率 P_{GM} /W	门极 控制 开通 时间 t_{on} /μs	电路 换向 关断 时间 t_{off} /μs	断态 电流 临界 上升 率 du/dt /(V/μs)	通态 电流 临界 上升 率 di/dt /(A/μs)	浪涌 电流 I_{TSM} /A	额定 结温 T_{JM} /℃	外形尺寸（螺栓形） /mm				
										d	l	L	ϕ	阴极、门极 引线方法
KP1	5	0.5	—	典型值 （由各制造 厂给出）	典型值 （由各制造 厂给出）	30	—	20	100	—	—	—	—	—
KP5	5	0.5	—			30	—	90	100	M6	11 ^{-0.5}	—	—	硬引线
KP10	5	1	—			30	—	190	100	M10	13 ^{-0.5}	—	—	硬引线
KP20	5	1	—			30	—	380	100	M10	13 ^{-0.5}	≥130	6	硬或软引线
KP30	5	1	—			30	—	560	100	M12	15 ^{-0.5}	≥160	7	软引线
KP50	5	1	—			30	30	940	100	M20	20 ⁻¹	≥210	9	软引线
KP100	5	2	—			100	50	1880	115	M20	20 ⁻¹	≥210	9	软引线
KP200	5	2	—			100	80	3770	115	d : 螺栓尺寸 l : 螺栓长 L : 阴极引线到底座的长度 ϕ : 阴极引线孔直径尺寸				
KP300	5	4	15			100	80	5650	115					
KP400	5	4	15			100	80	7540	115					
KP500	5	4	15			100	80	9420	115					
KP600	5	4	15			100	100	11160	115					
KP800	5	4	15			100	100	14920	115					
KP1000	5	4	15			100	100	18600	115					

注: 1. $U_{DRM} = 80\% U_{DSM}$, $U_{RRM} = 80\% U_{RSM}$, $I_{DS(AV)} = I_{DR(AV)}$, $I_{RS(AV)} = I_{RR(AV)}$ 。

2. 平板形结构限于 200A 和 200A 以上各系列。

3. 20A 元件采用硬引线时, 尺寸 L 应适当缩短。

表 2.3.5 部分塑封普通晶闸管特性参数

国外型号	极 限 值						性 能 参 数						可代用 型号
	$V_{RRM} V_{DRM}$ /V	$I_{T(AV)}$ /A	I_{TSM} /A	P_{GM} /W	V_{FGM} /V	I_{FGM} /A	$I_{RRM} I_{DRM}$ /mA	V_{TM} /V	V_{GT} /V	I_{GT} /mA	I_R /mA		
SFOR1	100 ~ 400	0.1	4	0.1	5	0.125	0.1	2.5	0.8	0.2	3	3CT021	
CW12	100 ~ 200	0.2	8	0.1	6	0.1	0.01	1.4	0.8	1	5	3CT031	
M21C	200 ~ 400	0.2	8	0.1		0.1	0.05	1.6	0.8	1	3		
SFOR3	100 ~ 600	0.3	9	0.1	5	0.125	0.1	2	0.8	0.2	4	3CT041	
CRO2AM	50 ~ 500	0.3	10	0.1	6	0.1	0.1	1.6	0.8	0.1	3		
CRO3AM	50 ~ 600	0.3	20	0.5	6	0.3	0.1	1.8	0.8	0.1	3		
2N6564	300	0.5	6	1	6	1	0.1	1.7	0.8	0.2	5	3CT051	
2N6565	400												
MCR100	100 ~ 600	0.5	10	0.1	5	1	0.1	1.7	0.8	0.2	5		
CR2AM	50 ~ 600	2	20	0.5	6	0.3	0.1	1.8	0.8	0.1		3CT102	
M23C	200 ~ 400	2	20	0.5		0.2	0.1	2.2	0.8	1	2		
SF2	100 ~ 600	2	20	0.1	5	0.1	0.2	2	0.8	0.2	3		
CSM2B	200 ~ 400	2	20	0.5	6	2	0.01	1.8	0.8	1	1.5		
SF3	100 ~ 600	3	60	5	5	3	0.5	1.6	1.5	40	60		
CSM3B	200 ~ 400	3	60	0.5	6	0.2	0.02	2	0.8	1	1.5		
CR3CM	50 ~ 600	3	90	0.5	6	0.3	1	1.6	0.2	0.2			
3R3EM	50 ~ 600	3	70	2	6	1	2	1.6	1.5	30	45		
SF5	100 ~ 600	5	80	5	5	2	2	1.6	1.5	40	60	3CT103	
CSM5B	200 ~ 400	5	85	5	6	2	0.1	1.3	1.5	30	25		

四、晶闸管元件的使用测试

1. 万用表检查法

(1) 检查 A-K 之间、A-G 之间的正、反向电阻 用万用表 $\times 1k$ 或 $\times 10k$ 欧姆档进行测量, 若正、反电阻相当大 (通常有几百千欧), 则说明 A-K 之间、A-G 之间正常; 如果发现短路或电阻很小, 则说明管子已经损坏。

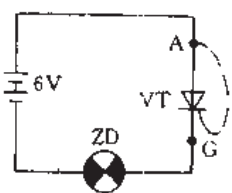


图 2.3.3 直流亮灯法

(2) 检查 G-K 之间的正、反向电阻 用万用表 $\times 1$ 或 $\times 10$ 欧姆档进行测量, 如果正向电阻很小 (几欧姆至几百欧姆), 反向电阻较大 (几千欧至几十千欧), 则说明管子正常。否则, 不正常。

2. 亮灯检查法

(1) 直流亮灯法 如图 2.3.3 所示, 将 G 极碰触一下 A 极, 随即放开, 如果灯亮一下即行熄灭, 则说明元件不正常。图中 ZD 为 6.3V 小电珠。

(2) 交流亮灯法 对于耐压大于 400V 的晶闸管元件; 可用图 2.3.4 接线检查。当开关 K 合上, 灯亮; K 断开, 灯熄, 说明元件完好。在 K 断开瞬间, 由于交流电压自然过零致使晶闸管自行关断, 所以灯熄。

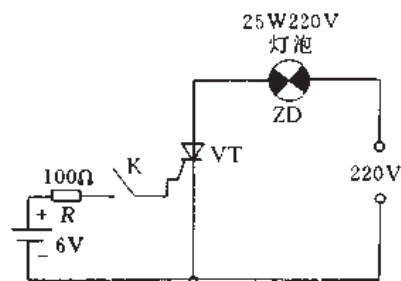


图 2.3.4 交流亮灯法

(3) 正、反向重复峰值电压的测试 当需要测试晶闸管的正、反向重复峰值电压时, 可采用图 2.3.5 的测试线路。图中 u_{AB} 的电压波形如图 2.3.6 (a) 所示, 该电压通过二极管 D_3 隔离、电容 C 滤波, 使 u_{FB} 的电压波形如图 2.3.6 (b) 所示。一般电压表内阻较大, 选取合适的电容 C, 可使电表的读数反映出电压峰值。电压 u_{AB} 通过电阻分压, 从 HB 取出, 作为示波器横轴扫描电压。示波器的纵轴信号为从 1k 电阻上取得的反应电流大小的电压信号, 所以从示波器上可以观察到晶闸管的伏安特性。当开关 K 置于“正”位置时, 由于晶闸管阳极电压为正, 在示波器上可以观察到正向伏安特性; 当 K 置于“反”位置时, 在示波器上可以观察到反向伏安特性。当正、反向伏安特性曲线急剧转弯时, 所对应的电压读数分别为断态不重复峰值电压和反向不重复峰值电压。把它们的数字分别乘以 0.8, 即得到断态重复峰值电压和反向重复峰值电压。如需读取断态重复平均电流及反向重复平均电流, 只需调节调压器使用电压表读数对应于断态和反向重复峰值电压, 按下按钮 AN, 从毫安表即可以读取。

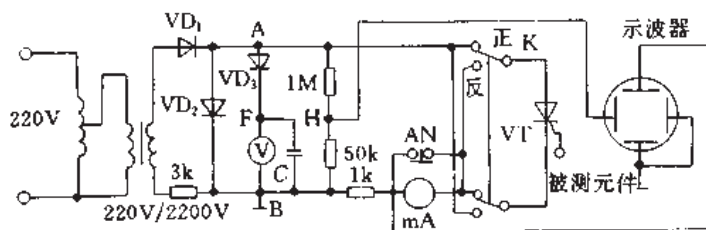


图 2.3.5 晶闸管正、反向重复峰值电压测试线路

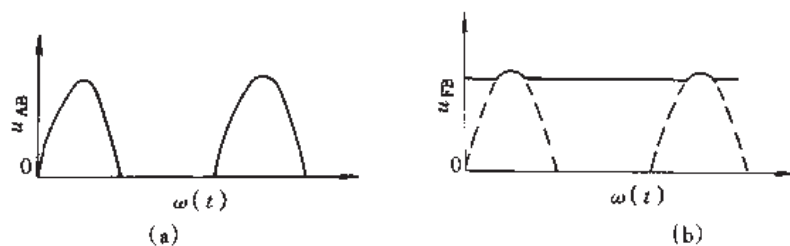


图 2.3.6 电压波形

(4) 门极触发电压和触发电流测试 测试电路见图 2.3.7。为了避免电表内阻的影响, 特别设置了开关 K,

和 K_2 。先将 K_1 断开, K_2 闭合, 调节 E_C 从零开始慢慢增加, 直到电压表 V_1 的读数突然下降 (灯 ZD 同时点亮) 为止。这种现象表示晶闸管已由阻断转向导通状态。然后将 K_1 闭合 (此时 K_2 仍闭合), 此时电压表 V_2 的读数即为触发电压 U_{GT} 。再就是将 K_1 、 K_2 同时断开, 此时, 电流表 mA 的读数即为触发电流 I_{GT} 。

由于额定通态平均电流 $I_{T(AV)}$ 是通过对结温的定量考核验证的, 作为用户可以不必测量。

五、使用晶闸管注意事项

1. 合理选择晶闸管元件参数

参数中最主要的是晶闸管的额定通态平均电流 $I_{T(AV)}$ 和正、反向重复峰值电压 U_{DRM} 和 U_{RRM} 。通常, 这两个电压值是相等的, 就是产品中标明的额定电压。若这两个电压值不相等, 则以小值为准。晶闸管容量选择时要考虑 (1.5 ~ 2) 的安全系数。

如果回路中存在电抗元件时, 必须考虑电路突然接通或断开时, 电感元件的感应电动势和电容元件的充、放电电流对晶闸管的冲击。

2. 不允许过载

晶闸管元件可以控制很大的功率, 但它的过载能力较差。因此, 工作时必须保证元件不要过载, 实用时应采取过压保护和过流保护。

3. 限制电流上升率

晶闸管导通时, 必须限制元件的电流上升率。如果电流上升率很大, 则将因最初导通面积很小, 电流集中在该面积上, 容易引起局部损坏导电结, 导致元件烧毁。必要时, 可在晶闸管回路中串入饱和电抗器进行限流。

4. 散热必须良好

散热器是晶闸管元件不可分割的组成部分。元件和散热器的安装表面可以涂上适量的硅脂, 以降低接触热阻和防止电腐蚀, 保证接触良好。50A 以上的元件必须采用风冷, 风速不小于 5m/s。

5. 必须注意环境温度的影响

元件的额定通态平均电流 $I_{T(AV)}$, 是指环境温度为 40℃ 时的数值。如果超过 40℃, $I_{T(AV)}$ 值要降级使用, KP20 额定电流与环境温度的关系见图 2.3.8。

6. 注意导通角对元件的影响

对于电阻性负载, 如果元件的导通角变小, 则元件输出的平均电流比全导通时要相应减小。

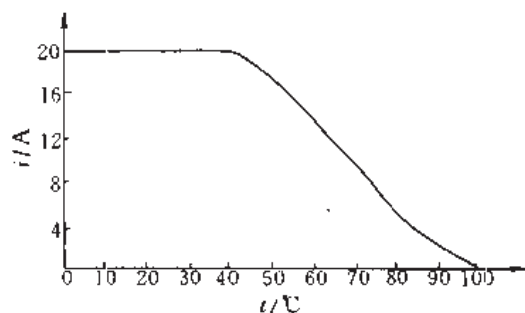


图 2.3.8 KP20 额定电流与环境温度关系

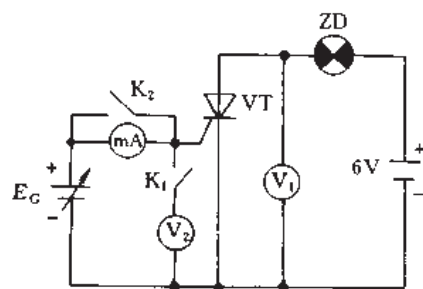


图 2.3.7 门极触发电压和触发电流测试电路

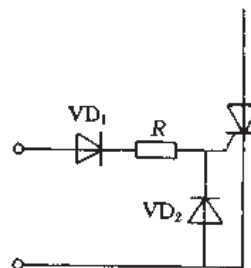


图 2.3.9 控制极接保护二极管

7. 防止控制极正向过载和反向击穿

控制极不能加过大的电压和电流。通常, 正向电压不超过 10V, 反向电压更小。为此, 要使用隔离二极管 D_1 和短路二极管 D_2 , 见图 2.3.9。

8. 严禁用兆欧表 (摇表) 检查晶闸管的绝缘情况

第二节 晶闸管派生元件

随着生产技术对晶闸管提出的新要求和制造工艺水平的提高, 现已制成了一些有特殊功能的晶闸管, 统称

为晶闸管派生元件，见表 2.3.6。

表 2.3.6 普通晶闸管及其派生元件

名 称	特 征	型 号	符 号	用 途
普通晶闸管	反向阻断，门极信号开通	KP		整流器、逆变器、变频器
可关断晶闸管	门极正信号开通，负信号关断	KG		彩色电视机扫描电路，步进电机电源，汽车点火系统，直流开关、单稳、双稳、多谐振荡器，环形计数器
双向晶闸管	双方向均可由门极信号开通	KS		电子开关、调光器、调温器、直流调速、变频逆变等
快速晶闸管	反向阻断，门极信号开通。关断时间短，开通速度快	KK		雷达调制器、超声波、电源、中频电源、直流电车调速等
逆导晶闸管	反向导通，门极信号开通	KN		地下铁道电动客车，无轨电车供电等
光控晶闸管	反向阻断，门极光信号或电信号开通			计算机穿孔卡片读出、符号识别、逻辑控制、相位控制、监控、高压直流电源、光电控制系统等

一、可关断晶闸管

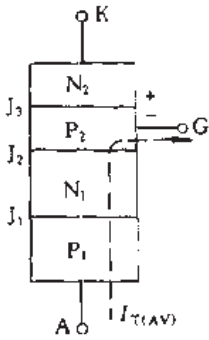


图 2.3.10 阳极电流被拉向门极

可关断晶闸管是一种在门极上加正向脉冲电流就能导通，加负向脉冲电流就能关断的元件。它的基本结构和伏安特性与 KP 型晶闸管相似，但它的阴极是由多个小单元分离并联组成，在结构上保证了 GTO 导通时处于临近饱和状态，为用门极负信号关断阳极电流创造有利条件。但它很难用门极负信号使它关断。

关断原理：元件导通后，在门极加入足够大的负脉冲电流，阳极电流会全部被引到门极 G 流出（见图 2.3.10），J₃ 结反偏，整个晶闸管犹如一个基极电流消失后的饱和晶体管 P₁N₁P₂，它将迅速恢复到截止状态，元件即行关断。

可关断晶闸管是功率晶体管和普通晶闸管之间的一种很好的过渡元件。它与普通晶闸管相比，具有下列优点：

- ① 用门极负脉冲电流关断方式代替主电路换流，关断所需能量小。
- ② 只需提供足够幅度和宽度的门极关断信号，就能保证可靠地关断。
- ③ 有较高的开关速度，小容量可关断晶闸管的工作频率达 100kHz。

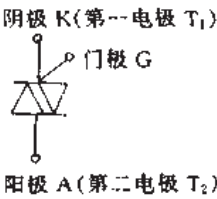
常见可关断晶闸管元件参数见表 2.3.7。

表 2.3.7 可关断晶闸管元件参数

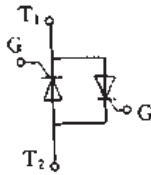
参 数	额定正向峰值电流	正向阻断峰值电压	反向峰值电压	正向峰值电压	反向平均漏电流	最大正向压降	控制极触发电压	控制极触发电流	维持电流	控制极可关断电压	控制极可关断电流	控制极最大正向电压	控制极反向击穿电压	开通时间	关断时间	电压上升率	工作频率	关断增益
系 列	/A	/V	/V	/mA	/mA	/V	/V	/mA	/mA	/V	/A	/V	/V	/μs	/μs	/(V/μs)	/kHz	
KG3	3	30 ~ 1400	30 ~ 1400	≤ 5	≤ 10	≤ 3	≤ 3.3	≤ 200	≤ 200	≤ 20	≤ 1.5	≤ 10	≤ 6 ~ 20	≥ 5	2 ~ 20	≥ 50	≤ 30	2 ~ 20
KG5	5										≤ 2.5							
KG8	8										≤ 4							
KG10	10										≤ 5							

二、双向晶闸管

双向晶闸管元件是 NPNPN 五层三端半导体器件。它相当于两只晶闸管反并联，而且只有一个控制极。双向晶闸管的符号和等效电路见图 2.3.11。其伏安特性见图 2.3.12。由图可见，第Ⅰ和第Ⅲ象限的特性以原点为对称。



(a) 符号



(b) 等效电路

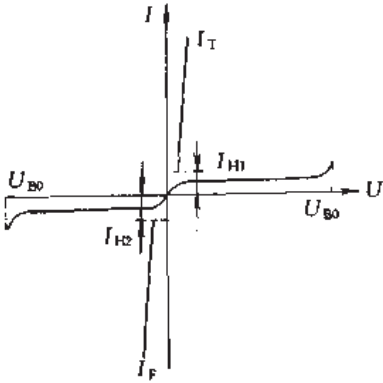
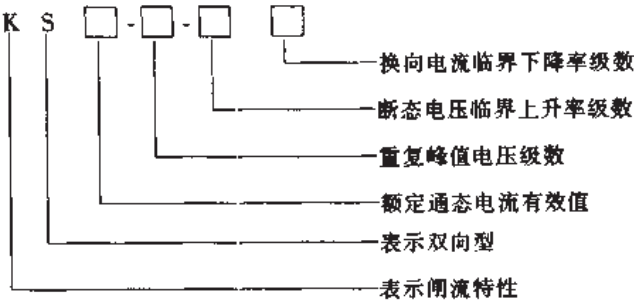


图 2.3.12 双向晶闸管的伏安特性

图 2.3.11 双向晶闸管的符号和等效电路

额定通态电流（有效值）在 1A 及 1A 以上的 KS 型双向晶闸管元件，其型号及含义如下：



型号命名中各“级数”及“系列”分档情况见表 2.3.8。

表 2.3.8 双向晶闸管型号命名中各“级数”及“系列”分档表

系列	KSI		KS10		KS20		KS50		KS100		KS200		KS400		KS500	
通态电流/A	1		10		20		50		100		200		400		500	
级数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	
断态重复峰值电压 U_{DRM}/V	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000	
级数						0.2		0.5		2		5				
断态电压临界上升率 $du/dt/(\text{V}/\mu\text{s})$						≥ 20		≥ 50		≥ 200		≥ 500				
级数						0.2		0.5		1						
换向电流临界下降率 $di/dt/(\text{A}/\mu\text{s})$						$\geq 0.2\% I_{\text{T}}$		$\geq 0.5\% I_{\text{T}}$		$\geq 1\% I_{\text{T}}$						

示例：KS500-10-21 表示额定通态电流 500A，断态重复峰值电压 1000V，断态电压临界上升率不小于 200V/ μs ，换向电流临界下降率不小于 5A/ μs 的双向晶闸管。

需要指出，双向晶闸管通常用在交流电路中，因而它的额定电流是指有效值，而普通晶闸管的额定电流指的是平均值。当用一个双向晶闸管来等效替代二个反向并联的普通晶闸管使用时，其电流应按下式进行折算：

$$I_{\text{TS}} = \frac{I_{\text{m}}}{\sqrt{2}} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} I_{\text{T}} = 2.22 I_{\text{T}}$$

或

$$I_{\text{T}} = 0.45 I_{\text{TS}}$$

式中 I_{TS} ——双向晶闸管额定电流，A；

I_{T} ——普通晶闸管额定电流，A；

I_{m} ——通过晶闸管电流的峰值，A。

双向晶闸管有四种触发方式，其触发信号的极性与主回路电位对应的关系如下：

触发方式	阳极 A 对阴极 K 电位	控制极 G 对阴极触发信号极性
I ₊	A 正，K 负	正信号
I ₋	A 正，K 负	负信号
III ₊	A 负，K 正	正信号
III ₋	A 负，K 正	负信号

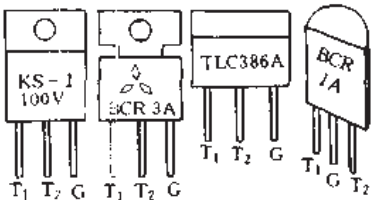


图 2.3.13 常见的几种双向晶闸管的外形及电极引脚排列

这四种触发方式的灵敏度和可靠性是不相同的，用负信号触发比较可靠，因此在实际应用中一般采用 I₋ 和 III₋ 两种触发方式。

双向晶闸管的规格、型号、外形，以及电极引脚排列，依生产厂家不同而有所不同，但其电极引脚多数是按 T₁、T₂、G 的顺序从左至右排列（观察时，电极引脚向下，面对标有字符的一面）的。目前最常见的几种双向晶闸管的外形及电极引脚排列如图 2.3.13 所示。部分塑封双向晶闸管特性参数见表 2.3.9。部分国产双向晶闸管特性参数见表 2.3.10。

表 2.3.9 部分塑封双向晶闸管特性参数

国外型号	极 限 值									性 能 参 数									可代用 型号
	V_{DRM} /V	$I_{T(RMS)}$ /A	I_{TSM} /A	I^2t /(A ² ·s)	P_{GM} /W	V_{GM} /V	I_{GM} /A	I_{DRM} /mA	V_{TM} /V	V_{GT} /V				I_{GT} /mA				I_H /mA	
										I	II	III	IV	I	II	III	IV		
SMOR5	100 ~ 500	0.5	6	0.18	1	6	0.5	0.1	2	2.3	2.3	2.3	2.3	15	30	15	15	25	3CTS05
BCR1AM	200 ~ 600	1	10	0.4	1	6	1	1	1.6	2	2	2	2	5	10	5	5		3CTS1
AC03	200 ~ 600	3	30	4	3		0.5	1	1.8	1.5	2	1.5	1.5	15	45	15	15	10	3CTS3
SM3	100 ~ 600	3	30	3.6	3	10	2	1	1.5	2		2	2	30		30	30	25	
FSM3B	200 ~ 400	3	30	3.6	1	6	1	0.01	1.85	2		2	2	30		30	40	20	
BCR3AM	200 ~ 600	3	30	3.7	3	6	0.5	1	1.5	1.5		1.5	1.5	30		30	30		
BCR6AM	200 ~ 600	6	60	15	5	10	2	2	1.7	1.5		1.5	1.5	30		30	30		3CTS10
FSM6B	200 ~ 400	6	74	12	5	10	2	0.1	1.7	1.5		1.5	1.5	30		30	30	20	
BTA06	200 ~ 700	6	85	36				0.5	1.5					25	25	25	50	25	
BTA08	200 ~ 700	8	85	36				0.5	1.6					25	25	25	50	25	
SM8	200 ~ 600	8	70	24	5	10	2	2	1.7	3		3	3	50		50	50	50	
AC08	200 ~ 600	8	80	28	5		3	2	1.6	1.5	2	1.5	1.5	30	80	30	30	30	
AC10	200 ~ 600	10	80	28	5		3	2	1.4	1.5	2	1.5	1.5	30	80	30	30	30	
FSM10	400	10	95	23	5	10	2	0.1	1.7	1.5		1.5	1.5	30		30	30	20	
BTA10	200 ~ 700	10	115	66				0.5	1.45					25	25	25	50	25	
BTA12	200 ~ 700	12	115	66				0.5	1.5					25	25	25	50	25	
BCR12AM	200 ~ 600	12	150	93.7	5	10	2	2	1.7	1.5		1.5	1.5	30		30	30		

表 2.3.10 部分国产双向晶闸管特性参数

参数	通态电流 (有效值)	断态重复 峰值电压	断态重复 峰值电流	通态平均 电压	维持 电流	门极触发 电流	门极触 发电压	门极不触 发电压	门极峰 值电流	门极峰 值电压
系列	$I_{T(RMS)}$ /A	U_{DRM} /V	I_{DRM} /mA	$U_{T(AV)}$ /V	I_H /mA	I_{GT} /mA	U_{GT} /V	U_{GD} /V	I_{GM} /A	U_{GM} /V
KS1	1	100 ~ 2000	< 1	上限值 由各制造 厂根据合 格的型式 试验自订 给出	实测值(由各制造厂给出)	3 ~ 100	≤ 2	≥ 0.2	0.3	10
KS10	10	100 ~ 2000	< 10			5 ~ 100	≤ 3	≥ 0.2	2	10
KS20	20	100 ~ 2000	< 10			5 ~ 200	≤ 3	≥ 0.2	2	10
KS50	50	100 ~ 2000	< 15			8 ~ 200	≤ 4	≥ 0.3	3	10
KS100	100	100 ~ 2000	< 20			10 ~ 300	≤ 4	≥ 0.3	4	12
KS200	200	100 ~ 2000	< 20			10 ~ 400	≤ 4	≥ 0.3	4	12
KS400	400	100 ~ 2000	< 25			20 ~ 400	≤ 4	≥ 0.3	4	12
KS500	500	100 ~ 2000	< 25			20 ~ 400	≤ 4	≥ 0.3	4	12

参数	门极平 均功率	门极峰 值功率	断态电 压临界 上升率	通态电 流临界 上升率	换向电流 临界下降率	浪涌 电流	额定 结温	外形尺寸(螺栓型)				
								/mm				
系列	$P_{G(RMS)}$ /W	P_{GM} /W	du/dt /(V/ μs)	di/dt /(A/ μs)	$(di/dt)_c$ /(A/ μs)	I_{TSM} /A	T_{JM} /°C	d	l	L	ϕ	阴极、门极 引线方式
KS1	0.3	3	≥ 20	—	$\geq 0.2\%$ $I_{T(RMS)}$	8.4	115	M5	11 ^{-0.5}	—	—	硬引线
KS10	0.5	5	≥ 20	—		84	115	M10	13 ^{-0.5}	—	—	硬引线
KS20	0.5	5	≥ 20	—		170	115	M10	13 ^{-0.5}	≥ 130	6	硬或软引线
KS50	3	15	≥ 20	10		420	115	M12	15 ^{-0.5}	≥ 160	7	软引线
KS100	3	15	≥ 50	10		840	115	M20	20 ⁻¹	≥ 210	9	软引线
KS200	3	16	≥ 50	15		1700	115	M20	20 ⁻¹	≥ 210	9	软引线
KS400	4	20	≥ 50	30		3400	115	—	—	—	—	—
KS500	4	20	≥ 50	30		4200	115	—	—	—	—	—

注: 1. $U_{DRM} = 80\% U_{DSM}$, $I_{DSM} = I_{DRM}$ 。

2. 平板形结构限于 200A 和 200A 以上各系列。

3. 20A 元件采用硬引线时, 尺寸 L 应适当缩短。

三、快速晶闸管

快速晶闸管是一个总称,它包括所有专为快速应用而设计的晶闸管,如可关断晶闸管、逆导型晶闸管等。这里的快速晶闸管,是指在结构上和伏安特性上,都与普通晶闸管基本相同的 KK 型快速晶闸管。只是由于采用特殊制作工艺,使其开通时间减小到小于 $8\mu\text{s}$,关断时间小于 $60\mu\text{s}$ 。工作频率可达几千赫。

电路换向关断时间不大于 60ms ,并对门极控制开通时间等瞬态参数有特殊要求的 KK 型快速晶闸管元件,其型号格式含义如下:

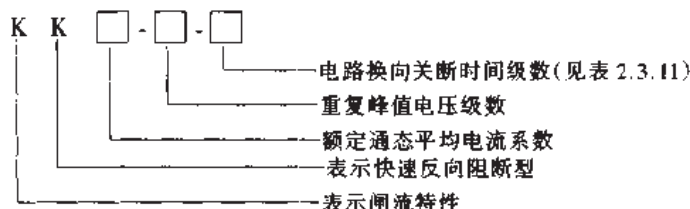


表 2.3.11 电路换向关断时间 (t_g) 分级

级数	0.5	1	2	3	4	5	6
$t_g/\mu\text{s}$	≤ 5	≤ 10	≤ 20	≤ 30	≤ 40	≤ 50	≤ 60

快速晶闸管的参数及外形尺寸见表 2.3.12。

表 2.3.12 快速晶闸管的参数及外形尺寸

参数	通态平均电流 $I_{T(AV)}$ /A	断态重复峰值电压 U_{DRM} 反向重复峰值电压 U_{RRM} /V	断态重复平均电流 $I_{DR(AV)}$ 反向重复平均电流 $I_{RR(AV)}$ /mA	通态平均电压 $U_{T(AV)}$ /V	维持电流 I_H /mA	门极触发电流 I_{GT} /mA	门极触发电压 U_{GT} /V	门极不触发电压 U_{GD} /V	门极正向峰值电流 I_{GFM} /A	门极正向峰值电压 U_{GFM} /V	门极反向峰值电压 U_{GRM} /V
系列											
KK1	1	100~3000	<1			3~30	≤ 2.5	0.3	0.3	10	5
KK5	5	100~2000	<1			5~70	≤ 3.5	0.3	1	10	5
KK10	10	100~3000	<1			5~100	≤ 3.5	0.3	2	10	5
KK20	20	100~2000	<1			5~100	≤ 3.5	0.3	2	10	5
KK50	50	100~2000	<3			8~150	≤ 4	0.3	4	10	5
KK100	100	100~2000	<5			10~250	≤ 4	0.3	4	10	5
KK200	200	100~2000	<5			10~250	≤ 4	0.3	4	12	5
KK300	300	100~2000	<8			20~300	≤ 5	0.3	4	12	5
KK400	400	100~2000	<10			20~300	≤ 5	0.4	4	12	5
KK500	500	100~2000	<10			20~300	≤ 5	0.4	4	12	5

参数	门极平均功率 $P_{G(AV)}$ /W	门极峰值功率 P_{GM} /W	门极控制开通时间 t_s /μs	电路换向关断时间 t_g /μs	断态电压临界上升率 du/dt /(V/μs)	通态电流临界上升率 di/dt /(V/μs)	浪涌电流 I_{TSM} /A	额定结温 T_{JM} /℃	外形尺寸 (螺栓型) /mm				
系列									d	l	L	φ	阴极、门极 引线方式
KK1	0.1	0.5	≤ 3	≤ 5	≥ 100	—	20		M5	11 ^{-0.5}	—	—	硬引线
KK5	0.5	5	≤ 3	≤ 10	≥ 100	—	90		M6	13 ^{-0.5}	—	—	硬引线
KK10	0.5	5	≤ 4	≤ 10	≥ 100	≥ 50	190		M10	13 ^{-0.5}	—	—	硬引线
KK20	0.5	5	≤ 4	≤ 20	≥ 100	≥ 50	380	风冷:	M10	13 ^{-0.5}	≥ 130	6	硬或软引线
KK50	0.5	5	≤ 5	≤ 20	≥ 100	≥ 50	940		M12	15 ^{-0.5}	≥ 160	7	软引线
KK100	3	16	≤ 6	≤ 30	≥ 100	≥ 100	1900		M20	20 ⁻¹	≥ 160	7	软引线
KK200	3	16	≤ 6	≤ 40	≥ 100	≥ 100	3800	水冷:	M20	10 ⁻¹	≥ 210	9	软引线
KK300	4	20	≤ 8	≤ 60	≥ 100	≥ 100	5600		—	—	—	—	—
KK400	4	20	≤ 8	≤ 60	≥ 100	≥ 100	6300		—	—	—	—	—
KK500	4	20	≤ 8	≤ 60	≥ 100	≥ 100	7900		—	—	—	—	—

注: 1. $U_{DRM} = 80\% U_{DSM}$, $U_{RRM} = 80\% U_{RSM}$, $I_{DS(AV)} = I_{DR(AV)}$, $I_{DR(AV)} = I_{RR(AV)}$ 。

2. 平板形结构限于 200A 和 200A 安以上各系列。

3. 20A 元件采用硬引线时, 尺寸 L 应适当缩短。

四、逆导晶闸管

根据在逆变电路和斩波电路中晶闸管需反并联二极管的特殊要求,把晶闸管和反并联二极管制作在同一块硅片上,就构成了反向导通大电流的逆导晶闸管元件。其符号、等效电路和伏安特性如图2.3.14所示。

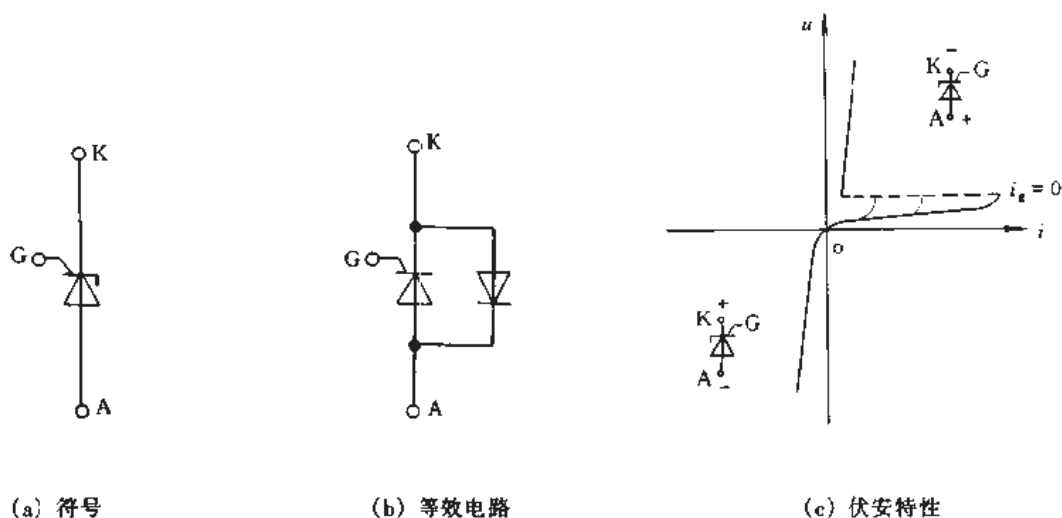


图 2.3.14 逆导晶闸管

从图 2.3.14 (c) 可见,其反向特性如同硅二极管正向特性,所以反向没有阻断能力而自然导通——逆导。它可以做到比普通晶闸管容量大、电压高、快速性好。

五、光控晶闸管

光控晶闸管也是一种 PNPN 四层元件,利用光来激发使之导通。元件有两端和三端之分。其基本结构、符号和伏安特性如图 2.3.15 所示。

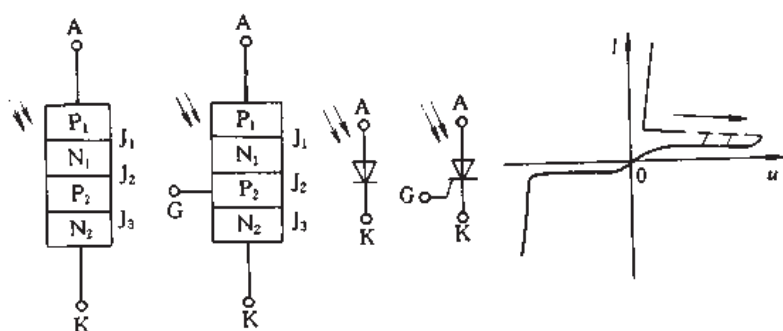


图 2.3.15 光控晶闸管的基本结构、符号和伏安特性

当 AK 加上小于转折电压的正向电压时,它处于正向阻断状态。当有光照射到硅片上,使硅片内 J_2 结附近激发产生电子-空穴对。当电子-空穴对的数目超过某一限度时,其中一部分复合掉,另一部分则形成电流,使通过 J_3 结的电流增加,导致元件由正向阻断状态转为正向导通状态——晶闸管导通。光照强度增大,伏安特性左移。

光控晶闸管对红外线的灵敏度较高,开通时间的长短与光的强度有关,一般为几个微秒。光源有钨丝灯泡、发光二极管(特别是砷化镓发光二极管使用较多,其发光波长为 $0.9\mu\text{m}$)。光的传输可以通过透镜、棱镜和光导纤维等。

近年来,将光源和光控晶闸管结合组成光电耦合器,广泛用作光开关。

三端元件的 G 极还可以用信号来触发使其导通。光控时,由于主电路与控制电路在电气上完全绝缘,所以在高压直流输电电路中,应用光控晶闸管使得触发电路与主电路的电气绝缘问题变得简单。

在晶闸管派生元件中, 还有开关晶闸管、光控开关晶闸管、光控双向晶闸管、温控晶闸管、场控晶闸管等。

第三节 晶闸管的保护和串并联

一、晶闸管的保护

晶闸管是半导体器件, 承受过电压、过电流的能力较低, 为了使整流装置和元件可靠地长期运行, 必须采取适当的保护措施。

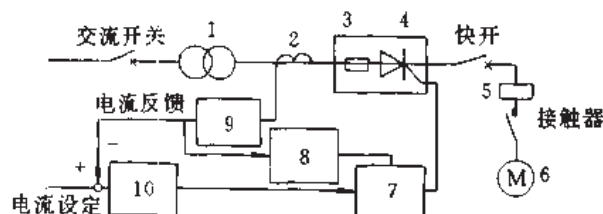


图 2.3.16 过电流保护系统原理图

- 1—整流变压器; 2—交流互感器; 3—快速熔断器; 4—交流器;
5—过流继电器; 6—电动机; 7—触发电器; 8—电流闭锁;
9—电流检测; 10—电流调节器

以上两种方法只适用于过载或短路电流不大的情况。

(3) 直流回路接入瞬时动作的过电流继电器 当电流超过整定值时瞬时动作, 断开主回路, 主要用来保护整流装置和电动机。

(4) 设置直流快速开关 多用在中大容量的整流装置中, 当晶闸管误导通或逆变失败或直流侧短路, 引起装置内部短路时, 可在 10~20ms 内切断直流侧故障电流, 保护硅元件和熔断器。

由于继电器和快速开关动作需要一定时间, 用以上这两种方法来保护硅元件不是很有效的, 但为了整个装置的安全仍有必要。

(5) 采用快速熔断器作短路保护 当装置出现短路电流时, 快速熔断器能在 10ms 内切断故障支路, 是保护晶闸管的有效方法。根据快速熔断器在整流电路中安装的位置 (见图 2.3.17), 选择快速熔断器熔体额定电流的方法将有所不同。

快速熔断器与晶闸管匹配时应注意以下问题。

① 线路工作电压大于快熔额定电压 U_{RD} 时, 快熔熔断时的电弧维持时间将增长, I^2t 迅速增加, 有可能大于晶闸管的 $(I^2t)_T$; 因此工作电压大于 U_{RD} 时, 相配快熔应相应减小。

② 大容量的晶闸管整流装置, 因短路电流很大, 所配快熔应小一些。对于无整流变压器, 即使是中小容量的装置, 因回路电抗较小, 短路电流较大, 所配快熔也应小一些。

③ 当晶闸管长期运行在深控状态时, 允许通过晶闸管的正向平均电流要相应减小。为了充分发挥晶闸管的作用, 所配快熔可适当大些。

(6) 设置交流开关作整流装置的最后保护 当整流装置出现短路电流时, 交流开关可在 0.1~0.2s 内动作, 切除交流电源, 保护整个装置。

2. 过电压保护

晶闸管整流装置产生过电压的原因主要有操作过电压、换相过电压和事故过电压。对于不同原因的过电压可采用不同的保护方法。

(1) 操作过电压保护 可在整流变压器二次侧或直流输出端接入阻容保护或压敏电阻等保护, 见图 2.3.18。有关参数的计算可查表 2.3.13 至表 2.3.15。

1. 过电流保护

晶闸管整流装置发生过电流的主要原因: 过负载、直流输出短路或晶闸管本身短路。过电流保护系统见图 2.3.16。现以直流传动系统为例, 说明各级过电流保护的方法。

(1) 控制回路设置电流截止环节 当整流电流达到某一值时, 由于电流负反馈的作用, 将电流截止在允许值之内。

(2) 控制回路设置电流闭锁环节 当整流电流超过允许值时, 将触发脉冲迅速推到 β_{min} 位置或将脉冲封锁, 使整流电流下降到零。

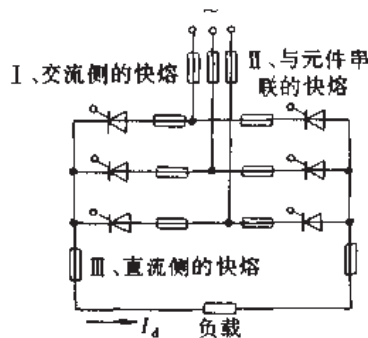


图 2.3.17 快速熔断器在整流电路中的位置

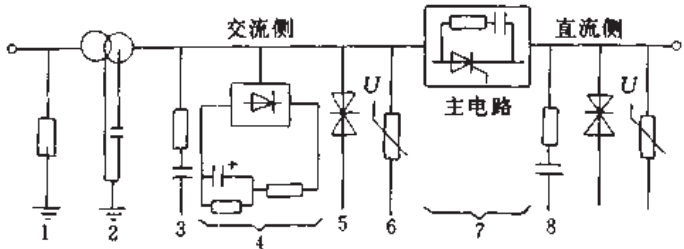


图 2.3.18 晶闸管装置可能采用的过电压保护

1—避雷器；2—接地电容；3—阻容吸收；4—整流式阻容；5—硒堆；
6—压敏电阻；7—晶闸管泄能；8—元件侧阻容

表 2.3.13 小容量整流器交流侧阻容保护参数估算公式

整流变压器容量	电容 $C_2/\mu\text{F}$	电阻 R_2/Ω	变压器连接形式	电容三角形连接时 K 值	电容星形连接时 K 值
单相 200VA 以下	$C_2 = 700 \frac{S_T}{U_{\text{ARM}}^2}$	$R_2 = \sqrt{\frac{U_2}{I_2 C_2 f}}$	Y, J 一次侧中点不接地	150	450
单相 200VA 以上	$C_2 = 400 \frac{S_T}{U_{\text{ARM}}^2}$		Y, d 一次侧中点不接地	300	900
三相 5000VA 以下	$C_2 = K \frac{S_T}{U_{\text{ARM}}^2}$		其他接法	900	2700

注： S_T —变压器等值容量，VA； U_{ARM} —臂的反向工作峰值电压，V； U_2 —整流输出电压，V； I_2 —整流输出电流，A； f —电源频率，Hz； K —系数，查本表右边的值。

表 2.3.14 大容量整流器交流侧阻容保护参数估算公式

电路连接形式	电容 $C_2/\mu\text{F}$	电阻 R_2/Ω	电阻容量 P_R/W	符号说明
单相桥式	$C_2 = 2.9 \times 10^4 \frac{\xi I_U}{f U_{U0}}$	$R_2 = 0.3 \frac{U_{U0}}{\xi I_U}$	$P_R = (0.25 \xi I_U)^2 R_2$	U_{U0} 、 U_{U0} ——变压器二次侧相电压，V； I_U ——变压器二次侧电流，A； ξ ——变压器励磁电流对额定电流的标么值，一般为 0.02 ~ 0.05
三相桥式	$C_2 = 10^4 \frac{\xi I_U}{f U_{U0}}$	$R_2 = 0.3 \frac{U_{U0}}{\xi I_U}$		
三相带中线	$C_2 = 8000 \frac{\xi I_U}{f U_{U0}}$	$R_2 = 0.36 \frac{U_{U0}}{\xi I_U}$		
双星形带平衡电抗器	$C_2 = 7000 \frac{\xi I_U}{f U_{U0}}$	$R_2 = 0.42 \frac{U_{U0}}{\xi I_U}$	$P_R = (0.2 \xi I_U)^2 R_2$	

注：本表公式是以 RC 作星形连接为依据，当 RC 作三角形连接时，电容 C_2 应取星形连接时计算值的 1/3，而电阻 R_2 取 3 倍。

表 2.3.15 直流侧阻容保护参数估算公式

电路连接形式	电容 $C_3/\mu\text{F}$	电阻 R_3/Ω	符号说明
单相桥	$C_3 = 12 \times 10^4 \frac{\xi I_U}{f U_{U0}}$	$R_3 = 0.25 \frac{U_{U0}}{\xi I_U}$	符号意义同表 2.3.14
三相桥、三相带中线双星形带平衡电抗器	$C_3 = 7 \times 10^4 \frac{\xi I_U}{f U_{U0}}$	$R_3 = 0.1 \frac{U_{U0}}{\xi I_U}$	

表 2.3.16 换相过电压阻容保护参数估算公式

元 件 类 型	计 算 公 式	符 号 说 明
硅整流管 普通型晶闸管	$C_4 = (2 \sim 4) I_{T(AU)} \times 10^{-2} (\mu F)$ 一般取 $R_4 = 10 \sim 30 (\Omega)$	$I_{T(AU)}$ ——晶闸管额定正向平均电流(或 $I_{F(AU)}$)

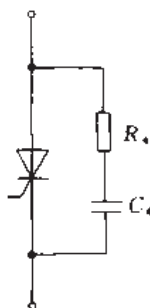


图 2.3.19 晶闸管换相过电压阻容保护电路

(2) 换相过电压保护 在晶闸管侧并联 RC 阻容电路，见图 2.3.19，不仅可以抑制换相过电压，而且还有动态均压和抑制 du/dt 的作用，因此是保护晶闸管不可少的方法之一。参数计算见表 2.3.16。

表 2.3.13 ~ 表 2.3.16 中的电阻元件的功率可按下式估算：

$$P_k > \frac{RU^2}{R^2 + X_C^2} \quad (W)$$

式中 U ——阻容保护电路两端的电压（有效值），若接在直流侧，应为整流电压中交流分量的有效值，V；

R ——阻容保护的电阻， Ω ；

X_C ——阻容保护的电容容抗 $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ ， Ω ；

f ——阻容保护两端电压的频率，Hz。

(3) 事故过电压保护 可以用硒堆作电压保护元件。但近年来出现了一种新型的过电压保护元件——金属氧化物压敏电阻（简称压敏电阻），它抑制过电压能力强，能承受大的浪涌电流冲击，但在正常工作时只有很小的漏电流通过，损耗很小，体积也小，可用在大、中、小容量的变流装置中，能有效地抑制各种情况的过电压。

① 压敏电阻的特性 压敏电阻的伏安特性见图 2.3.20。由图可见它的特性类似两个反向对接的硒堆特性，但比硒堆特性更陡直，因此它比硒堆作过电压保护具有更多的优越性。

② 压敏电阻的主要参数

a. 标称电压 U_{1mA} 漏电流为 1mA 时元件两端的电压值。

b. 通流容量 在规定的波形下允许通过的浪涌峰值电流。

c. 残压比 放电电流达到允许值 I 时的电压 U_1 与 U_{1mA} 的比值。

③ 压敏电阻的选择 U_{1mA} 下限值决定于施加在压敏电阻两端工作电压的最高值。但要考虑下列因素影响：电网电压的升高；元件制造上的误差；经浪涌电流冲击后 U_{1mA} 允许下降的范围。综合上面的因素后，再稍留一定的电压裕度。 U_{1mA} 下限值可按下式选择：

$$U_{1mA} \geq 1.6 \sim 1.8 U_{DC}$$

$$U_{1mA} \geq 2.2 \sim 2.5 U_{AC}$$

式中 U_{DC} ——压敏电阻两端承受直流电压的最大值；

U_{AC} ——压敏电阻两端承受交流电压的有效值。

U_{1mA} 上限值取决于被保护设备的耐压值，应使压敏电阻在吸收过电压时，残压（即 U_{1mA} 上限值）抑制在设备的耐压值以下。

④ 通流容量的选择 通流容量选择的原则是按实际产生的过电压能量来确定的，但实际计算很困难，一般按过电压类型去估算：操作过电压保护可选 3~5kA，大容量设备的保护应选 10kA；抑制火花可选 3kA 以下；防雷保护可选 10~20kA。

⑤ 压敏电阻使用注意事项

a. 压敏电阻应安装在被保护设备的附近，距被保护设备越近，接线越短，效果越好。

b. 压敏电阻平均功率较小（仅数瓦），若工作电压超过 U_{1mA} 值，数秒之内就可能发热而损坏，甚至会解体爆炸。为了安全可采取相应的保护措施，如与压敏电阻串联熔断器（熔体电流 5~20A）。但这要经常巡检，检查熔断器是否损坏。

⑥ 压敏电阻部分型号及主要参数 见表 2.3.17。

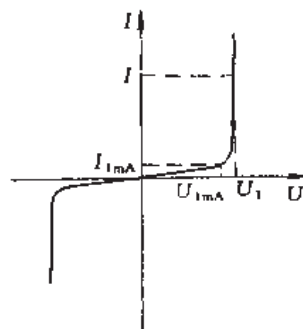


图 2.3.20 压敏电阻的伏安特性

表 2.3.17 压敏电阻部分型号及主要参数

型 号 规 格	标称电压/V	容许偏差/%	通流容量/kA	残 压 比	
				$\frac{U_{100\Delta}}{U_{1mA}}$	$\frac{U_{3kA}}{U_{1mA}}$
MY31-33/0.5 MY31-33/1	33	± 10	0.5 1	≈ 3.5	
MY31-47/0.5 MY31-47/1	47	± 10	0.5 1	≈ 3.5	
MY31-68/1 MY31-68/3	68	± 10	1 3	≈ 3	≈ 3.5
MY31-100/1 MY31-100/3	100	± 10	1 3	≈ 2.2	≈ 3
MY31-150/1 MY31-150/3	150	± 10	1 3	≈ 2.2	≈ 3
MY31-220/1 MY31-220/3	220	± 5	1 3	≈ 2	≈ 2.5
MY31-300/1 MY31-300/3	300	± 5	1 3	≈ 2	≈ 2.5
MY31-470/1 MY31-470/3 MY31-470/5 MY31-470/10	470	± 5	1 3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2
MY31-560/1 MY31-560/3 MY31-560/5 MY31-560/10	560	± 5	1 3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2
MY31-680/1 MY31-680/3 MY31-680/5 MY31-680/10	680	± 5	1 3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2
MY31-750/1 MY31-750/3 MY31-750/5 MY31-750/10	750	± 5	1 3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2
MY31-910/3 MY31-910/5 MY31-910/10	910	± 5	3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2
MY31-1100/3 MY31-1100/5 MY31-1100/10	1100	± 5	3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2
MY31-1300/3 MY31-1300/5 MY31-1300/10	1300	± 5	3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2
MY31-1600/3 MY31-1600/5 MY31-1600/10	1600	± 5	3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2

二、晶闸管的串并联

在大容量的整流电路中，晶闸管往往要串、并联使用。由于晶闸管特性的差异，在串联使用时，有可能使某一元件承受较多的外加电压而击穿；在并联使用时，有可能使某一晶闸管先导通，结果流过全部桥臂电流而损坏。因此晶闸管在串、并联使用时，除尽量选用特性相近的同一规格晶闸管外，还要采取均压和均流措施。

1. 串联均压措施

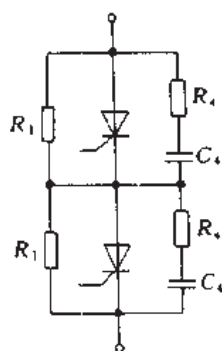


图 2.3.21 晶闸管
串联均压措施

晶闸管串联均压措施见图 2.3.21。

参数可按式估算：

$$\text{均压电阻 } R_1 = 0.2 \times \frac{U_{RRM}}{I_{RRM}} \quad (\Omega)$$

$$\text{均压电阻功率 } P_{R1} \geq 1.5 \times \frac{K_P (U_{RRM})^2}{R_1} \quad (W)$$

式中 U_{RRM} ——晶闸管的反向重复峰值电压，V；

I_{RRM} ——反向重复峰值电流，mA；

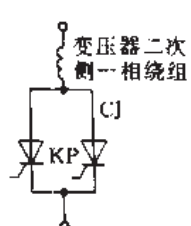
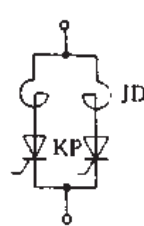

K_P ——系数，单相 0.25；三相 0.4；直流 1。

阻容 R_4 、 C_4 的计算参看表 2.3.16。

2. 并联均流措施

可采用长线均流法、串联均流电抗器和串联平衡电抗器等方法。上述几种均流措施的比较和设计原则见表 2.3.18。

表 2.3.18 常用的均流措施的比较和设计原则

措 施	优 缺 点	适 用 范 围	设 计 原 则
长线均流法 	①方法简单，不需附加器件。每条并联支路要一根长线，敷线较多 ②稳态均流效果好 ③同一臂并联支路的长线匀称排列旋转 3~4 圈，动态均流效果较好	适用于大、中容量的装置，特别适用于并联支路较多的场合，是一种简单、易行、应用广、效果好的均流方法	从整流变压器二次侧端子到整流装置的导线长度大于 30m 效果显著
串联均流电抗器 	①电抗器体积、重量都较大，装置结构复杂 ②兼起抑制 di/dt 与 du/dt 作用 ③晶闸管不需特殊选配	适用于整流装置批量生产，晶闸管选配有困难的情况，特别适用于 di/dt 很大，需要抑制的设备	对于三相电路，并联支路中各个均流电抗器的电感值 L_s 为： $L_s = \frac{3.34 \Delta U_T (n_p - 1)}{I_{A(AU)}} \times 10^4 \quad (mH)$
串联平衡电抗器 	①体积、重量都比均流电抗器小 ②支路数大于 2 时结构复杂 ③抑制 di/dt 作用比均流电抗器差	主要用于每臂并联支路数较少的设备	对于三相电路，平衡电抗器的铁芯截面 S 和绕组匝数 W 乘积由下式计算： $WS \geq \frac{6.67 \Delta U_T}{\Delta B} \times 10^5$ 通常绕组匝数取 1~5 匝

注： ΔU_T ——并联的各支路中晶闸管正向压降的差，V； n_p ——并联支路数； $I_{A(AU)}$ ——臂的平均电流，A； ΔB ——铁芯磁感应强度增量， $\Delta B = B_m - B_T$ ，一般热轧硅钢片取 0.6~0.7T。

第四节 晶闸管触发电路

一、晶闸管对触发电路的要求

晶闸管由阻断转化到导通，必须具备一定的条件，这就是除了在阳极与阴极之间加上正向电压外，还必须在控制极与阴极之间加上正向触发电压（电流）。提供正向触发电压（电流）的电路称为触发电路。根据晶闸

管的性能和主电路的实际需要,对触发电路的基本要求如下:

① 触发电路应供给足够的触发功率(电压和电流),一般触发电压为 $4\sim 10\text{V}$,控制极的平均功率损耗要小于允许值(对于 5A 的晶闸管应小于 0.5W , $10\sim 50\text{A}$ 的小于 1W , $100\sim 200\text{A}$ 的小于 2W);

② 为了使触发时间准确,要求触发脉冲上升沿要陡,最好在 $10\mu\text{s}$ 以下;

③ 触发脉冲要有足够的宽度,因为晶闸管的开通时间为 $6\mu\text{s}$ 左右,故触发脉冲的宽度不能小于 $6\mu\text{s}$,最好是 $20\sim 50\mu\text{s}$,对于电感性负载,脉冲宽度还应加大,否则脉冲消失时,主回路电流还上升不到擎住电流,元件就不能导通;

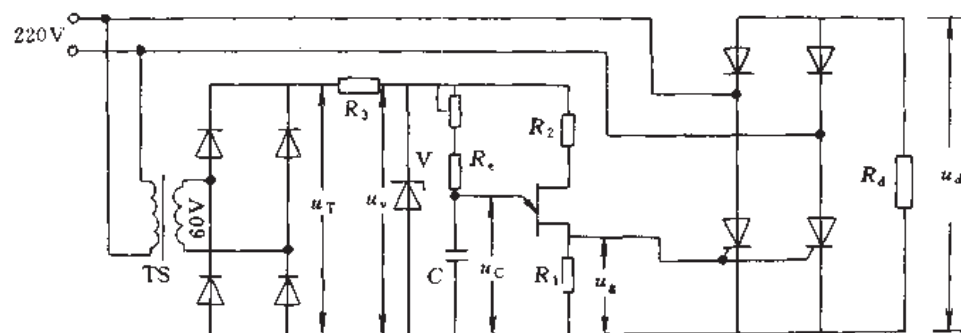
④ 不触发时,触发电路的输出电压应小于 $0.15\sim 0.2\text{V}$,为了提高抗干扰能力,避免误触发,必要时可在控制极上加上 $1\sim 2\text{V}$ 的负电压;

⑤ 触发脉冲必须与主电路的交流电源同步,以保证主电路中的晶闸管在每个周期的导通角相等,而且要求触发脉冲发出的时刻能平稳地前后移动(即移相),同时还要求移相范围足够宽。

除了这些基本要求外,还要求触发电路工作可靠、简单、经济、体积小、重量轻等。

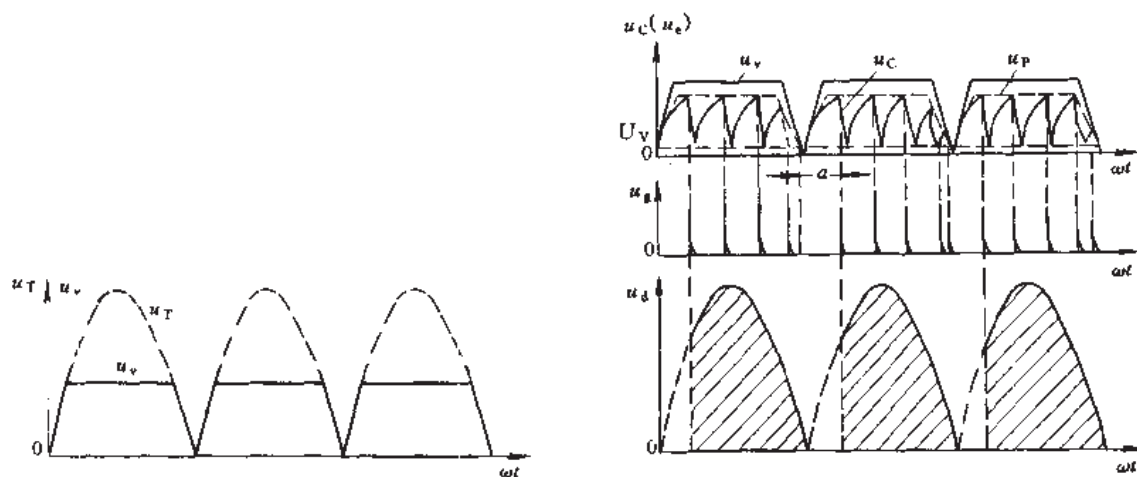
二、单结晶体管同步触发电路

触发电路送出的触发脉冲必须与晶闸管阳极电压同步,保证在管子阳极电压每个正半周内以相同的控制角 α 时刻被触发,才能得到稳定的直流电压。图2.3.22为单相半控桥式单结晶体管触发电路及其波形。



(a)

$$R_1 = 50\Omega, R_2 = 500\Omega, R_3 = 1\text{k}\Omega/5\text{W}, R_s = 50\text{k}\Omega, V \text{ 为 } 2\text{CW}21\text{K}, C = 0.47\mu\text{F}$$



(b)

(c)

图 2.3.22 单相半控桥式单结晶体管触发电路波形

三、锯齿波同步触发电路

锯齿波同步触发电路,目前在大容量的变流装置中得到了广泛的应用。典型的常用锯齿波同步触发电路见图2.3.23。

锯齿波移相原理和同步相原理分别见图2.3.24和图2.3.25。锯齿波触发电路各点电压波形见图2.3.26。

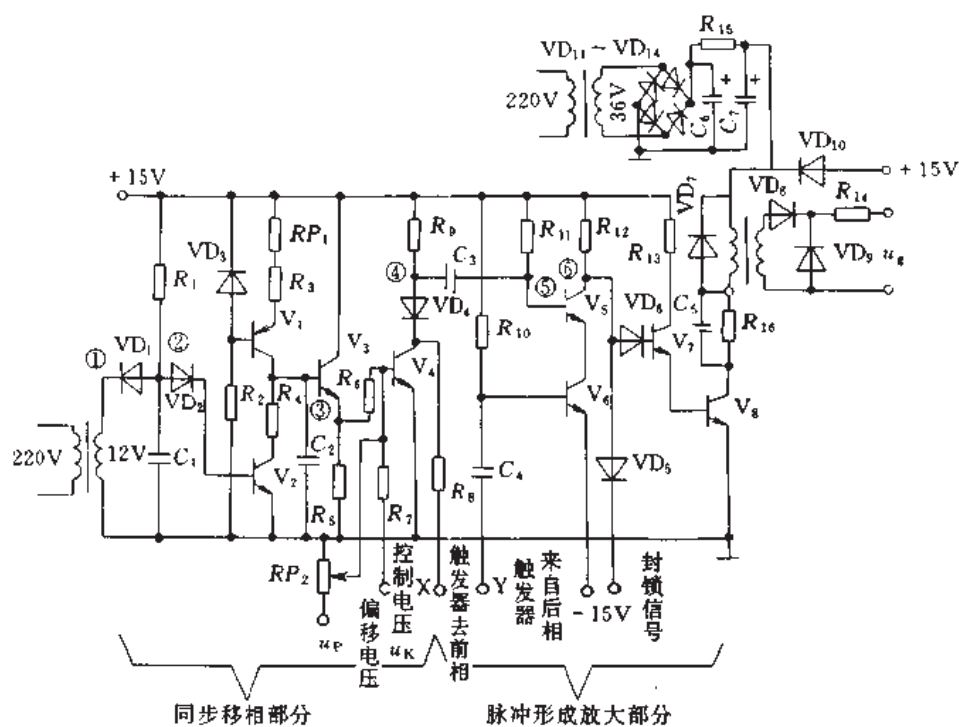


图 2.3.23 锯齿波同步触发电路

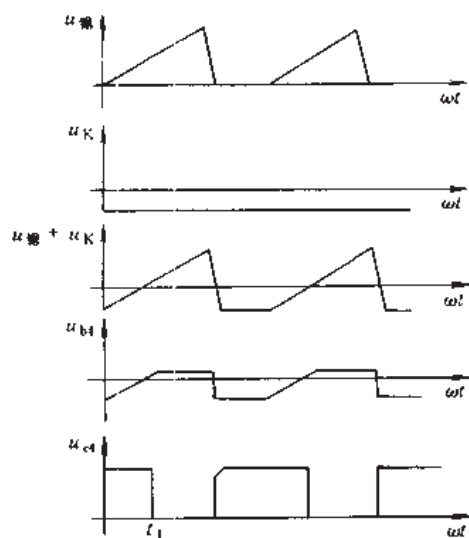


图 2.3.24 锯齿波移相原理

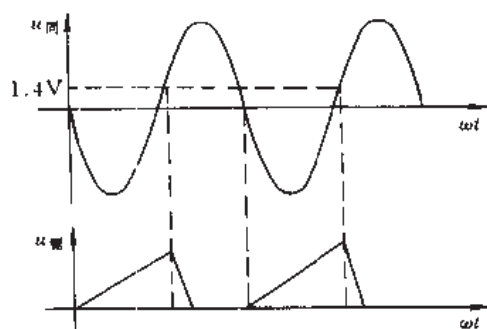


图 2.3.25 锯齿波同步相原理

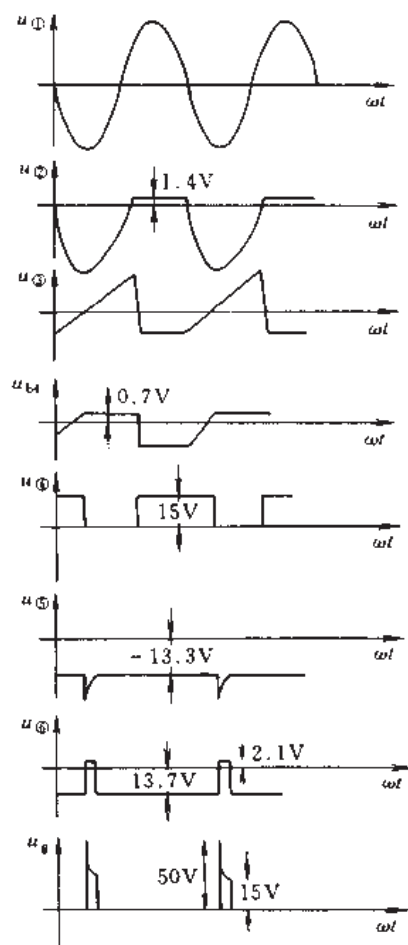


图 2.3.26 锯齿波触发电路各点电压波形

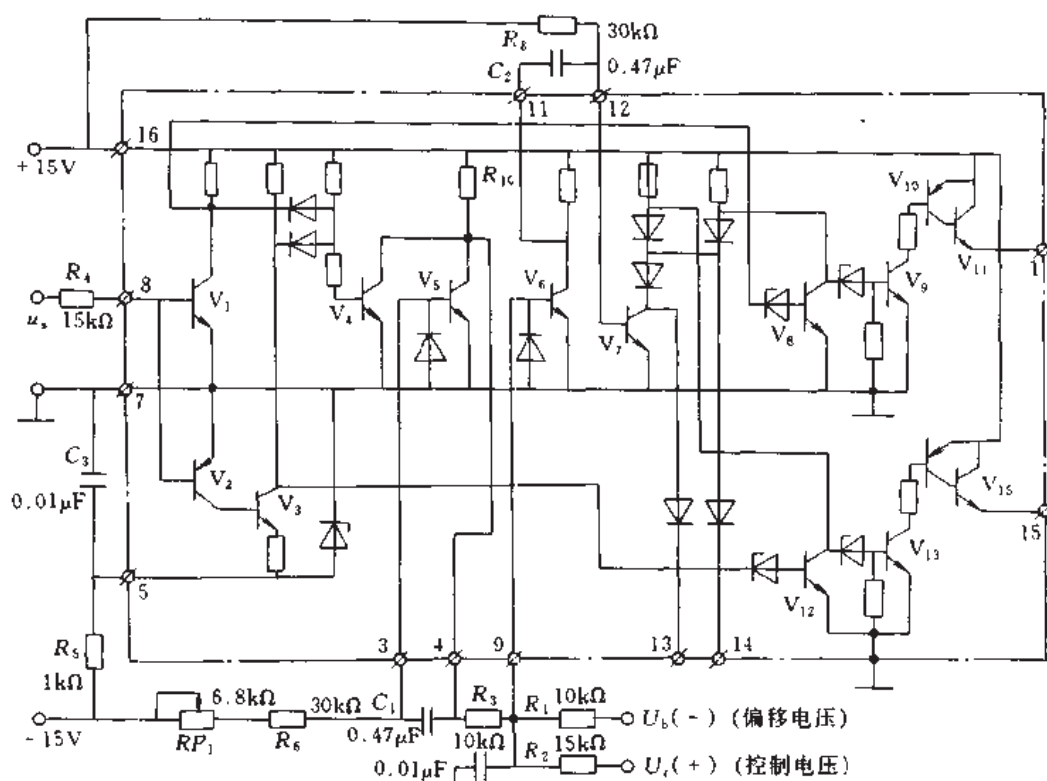


图 2.3.27 KC04 移相集成触发器原理图

四、集成触发电路

集成触发电路体积小, 使用方便, 电路的稳定性大幅度提高。

目前 KC (KJ) 系列已发展到 11 个品种, 用于各种移相触发、过零触发、双脉冲形成, 以及脉冲列调制等场合。

1. KC04 移相集成触发器

图 2.3.27 为触发器的内部原理图。KC04 引出脚各点波形如图 2.3.28 所示。

KC04 移相触发器主要用于单相或三相全控桥式装置。其主要技术数据如下:

电源电压 $\pm 15\text{VDC}$ 允许波动 $\pm 5\%$

电源电流 正电流 $\leq 15\text{mA}$, 负电流 $\leq 8\text{mA}$

移相范围 $\cong 170^\circ$ (同步电压 30V、 R_4 15k Ω)

脉冲宽度 $400\mu\text{s} \sim 2\text{ms}$

脉冲幅值 $\geq 13V$

最大输出能力 100mA

正负半周脉冲相位不均衡 $\leq \pm 3^\circ$

环境温度 $-10 \sim 70^{\circ}\text{C}$

KC09 是 KC04 的改进型,二者可互换使用。KC09 由于采用四极晶闸管作脉冲记忆,提高了抗干扰能力和触发脉冲的前沿陡度,脉冲调节范围增大。

2. KC41C 六路双脉冲形成器

KC41C 与三块 KC04 (KC09) 可组成三相全控桥双脉冲触发电路, 其内部电路与外部接线如图 2.3.29 所示。其 1*~6*脚接三块 KC04 的 6 个脉冲输出 (A_1 、 $-C_1$ 、 B_1 、 $-A_1$ 、 C_1 、 $-B_1$), 每个脉冲由输入二极管送到本相与前相形成双脉冲, 再由 6 个三极管放大,

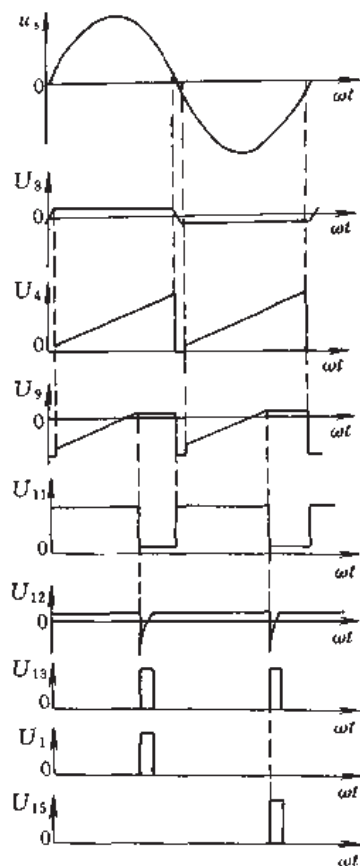


图 2.3.28 K004 电路各点电压波形