

ZHILENG SHEBEI
W E I X I U G O N G

制冷设备维修工

孙见君 主编 魏龙 副主编

(高级)



化学工业出版社

ZHILENG SHEBEI
W E I X I U G O N G

制冷设备维修工

孙见君 主编 魏 龙 副主编 (高级)



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书分别介绍了基础知识、制冷原理与设备、食品冷藏库、小型电子控制式制冷设备、仪器仪表的使用与维修、制冷系统的故障排除与检修和小型电子控制式制冷设备的维修技能。本书深入浅出,图文并茂,具有浅理论、重实用的职业教育特点。

本书可用于从事制冷行业安装、使用、维修、管理等各类技术工人进行制冷设备维修工职业技能考评的培训,也可作为本行业工程技术人员和大专院校有关专业师生的工作和学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

制冷设备维修工(高级)/孙见君主编. —北京:化学工业出版社, 2009.5

ISBN 978-7-122-04946-9

I. 制… II. 孙… III. 制冷-设备-维修 IV. TB657

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 027133 号

责任编辑:辛 田

责任校对:宋 玮

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

720mm×1000mm 1/16 印张 21¼ 字数 369 千字 2009 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

前言

制冷设备——集设备、工艺和自动控制于一身的机电一体化产品，它的普及使用，需要大量的技术维修人员来维护。为此，国家相关部门制定了《制冷设备维修工》国家职业技能鉴定规范和鉴定要素细目表，以规范从业资质，保证维修人员、使用人员和设备使用的安全。

本书正是依据《制冷设备维修工》国家职业技能鉴定规范和鉴定要素细目表的相关要求而编写的。

全书共分7章，分别介绍了基础知识、制冷原理与设备、食品冷藏库、小型电子控制式制冷设备、仪器仪表的使用与维修、制冷系统的故障排除与检修和小型电子控制式制冷设备的维修技能。在阐明电工电子基础知识、吸收式制冷循环和蒸气压缩式制冷循环后，分别介绍了活塞式制冷压缩机、螺杆式制冷压缩机、离心式制冷压缩机工作原理，以及食品冷藏库、电脑控制型电冰箱、变频空调器、汽车空调的结构，讨论了大型制冷系统的故障排除与检修方法，以及小型制冷设备的维修方法和维修技能。内容深入浅出，图文并茂，具有浅理论、重实用的职业教育特点，对提高制冷设备维修工的理论水平和实际操作技能会有很大帮助。本书适用于企业高级制冷设备维修工的培训，也可供高等职业技术学院制冷与空调专业及相关工程技术人员参考。

本书是江苏省高等教育教学改革研究课题“高职制冷专业实践教学体系与实践教学基地建设的研究”成果之一，得到了江苏省教育厅的大力支持。

本书由孙见君、魏龙、冯飞和蒋李斌共同编写。冯飞编写第1章；魏龙编写第2章和第3章；蒋李斌编写第4章和第5章；孙见君编写第6章和第7章。全书由孙见君统稿。

在编写过程中，得到了黄建、全琴、李燕、杜垲等老师的大力帮助，在此一并表示感谢。

限于编者的水平，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 基础知识	1
1.1 电工与数字电路基础知识	1
1.1.1 正弦交流电	1
1.1.2 晶闸管及其应用	6
1.1.3 步进电动机的基本结构与工作原理	11
1.1.4 数字电路基础	13
1.2 微型计算机基础知识	25
1.2.1 微型计算机系统的组成	25
1.2.2 微型计算机的硬件结构	25
1.2.3 计算机软件	29
1.2.4 微型计算机的应用	29
1.3 流体热工基础知识	30
1.3.1 流体的静力学方程	30
1.3.2 流体在管内的流动	31
1.3.3 流体在管内流动的阻力	33
复习题	34
第 2 章 制冷原理与设备	35
2.1 单级压缩和双级压缩制冷循环的热力计算	35
2.1.1 单级蒸气压缩式制冷循环的热力计算	35
2.1.2 双级压缩制冷循环的热力分析与计算	38
2.2 吸收式制冷循环	43
2.2.1 吸收式制冷机的工质对	43

2.2.2 吸收式制冷基本原理	45
2.2.3 溴化锂吸收式制冷循环	47
2.3 活塞式制冷压缩机	53
2.3.1 活塞式制冷压缩机的总体结构	53
2.3.2 活塞式制冷压缩机的能量调节装置	55
2.4 螺杆式制冷压缩机	60
2.4.1 螺杆式制冷压缩机的型式及型号表示方法	60
2.4.2 螺杆式制冷压缩机的总体结构	61
2.4.3 螺杆式制冷压缩机的主要零部件	66
2.5 离心式制冷压缩机	73
2.5.1 离心式制冷压缩机的分类	73
2.5.2 离心式制冷压缩机的主要零部件	75
2.5.3 离心式制冷压缩机的能量调节	78
2.6 蒸发器与冷凝器的选择计算	80
2.6.1 冷凝器的选择计算	80
2.6.2 蒸发器的选择计算	86
复习题	90

第3章 食品冷藏库 92

3.1 食品冷藏与冷加工	92
3.1.1 冷藏链	92
3.1.2 食品低温冷藏保鲜原理	92
3.1.3 食品的冷加工	93
3.2 小型冷库制冷负荷计算和估算	97
3.2.1 冷库库容量的确定	97
3.2.2 室外计算参数及冷间设计温湿度的确定	99
3.2.3 冷藏库的热负荷计算	99
3.2.4 冷间冷却设备负荷的计算	103
3.2.5 机械设备负荷的计算	103
3.2.6 小型冷库制冷负荷的估算	104
3.3 冷库系统	104
3.3.1 冷藏库的建筑特点	104
3.3.2 冷库的冷却方式	106

3.3.3 冷库制冷系统	109
3.4 冷库的自动控制	112
3.4.1 小型多温食物冷库的自动控制系统	112
3.4.2 大中型冷库装置的自动控制	114
3.4.3 单机双级压缩机的控制电路原理与分析	118
3.5 冷库技术的发展	120
3.5.1 装配式冷库	120
3.5.2 夹套冷库	123
3.5.3 气调式冷藏库	123
复习题	131

第4章 小型电子控制式制冷设备

4.1 电子、电脑控制型电冰箱	132
4.1.1 电子温控型电冰箱	132
4.1.2 微电脑控制型电冰箱	139
4.1.3 模糊技术控制电冰箱	142
4.2 变频空调器	145
4.2.1 变频器原理	145
4.2.2 变频空调器的控制系统	145
4.2.3 变频空调器的特点	148
4.2.4 变频空调器控制电路分析	148
4.3 汽车空调	159
4.3.1 汽车空调的特点	159
4.3.2 汽车空调制冷系统及主要部件	160
4.3.3 汽车空调的空气处理和通风	171
4.3.4 汽车空调的控制系统	173
4.3.5 汽车空调的供暖和自动保护	189
复习题	195

第5章 仪器仪表的使用与维修

5.1 万用表常见故障维修	197
5.1.1 指针式万用表常见故障维修	197

5.1.2	数字式万用表常见故障维修	198
5.2	兆欧表、钳形电流表及电子检漏仪常见故障维修	202
5.2.1	兆欧表常见故障维修	202
5.2.2	钳形电流表常见故障维修	203
5.2.3	电子检漏仪常见故障维修	203
5.3	示波器的使用与维修	205
5.3.1	示波器的基本结构与工作原理	205
5.3.2	示波器的应用	208
5.3.3	示波器的使用与注意事项	210
5.3.4	示波器常见故障维修	210
5.4	旋片式真空泵的使用与维修	211
5.4.1	旋片式真空泵的特性和选用	211
5.4.2	旋片式真空泵使用注意事项	211
5.4.3	旋片式真空泵常见故障维修	211
	复习题	213

第 6 章 制冷系统的故障排除与检修 214

6.1	制冷机组运行中故障的早期发现与分析	214
6.1.1	故障判断方法	214
6.1.2	故障处理的基本程序	215
6.2	制冷压缩机的故障分析与排除	219
6.2.1	螺杆式制冷压缩机的故障分析与排除	219
6.2.2	离心式制冷压缩机的故障分析与排除	221
6.3	制冷系统的故障分析与排除	223
6.3.1	氨制冷系统的故障分析与排除方法	223
6.3.2	氟里昂制冷系统的故障分析与排除方法	228
6.3.3	溴化锂吸收式制冷机组的故障分析与排除方法	231
6.4	制冷压缩机的检修	236
6.4.1	零件损伤的原因及磨损规律	236
6.4.2	机器装卸基本工艺	239
6.4.3	大中型活塞式制冷压缩机的检修	246
6.4.4	螺杆式制冷压缩机的检修	251
6.4.5	离心式制冷压缩机的检修	254

6.5 溴化锂吸收式制冷系统的检修	263
6.5.1 制冷机组的检修	263
6.5.2 屏蔽泵的检修	267
6.5.3 辅助设备的检修	270
复习题	271
第7章 小型电子控制式制冷设备的维修技能	273
7.1 电子温控型电冰箱的维修技能	273
7.1.1 电子温控型电冰箱常见故障的判断与维修	273
7.1.2 电子温控器故障检修实例	274
7.2 变频空调器的维修技能	280
7.2.1 变频空调器的检查	280
7.2.2 变频空调器常见故障分析与排除	282
7.2.3 变频空调器故障维修实例	285
7.2.4 变频空调器维修注意事项	286
7.3 汽车空调的维修技能	287
7.3.1 汽车空调制冷系统维修、保养基本操作技能	287
7.3.2 部分主要部件的拆卸与维修	294
7.3.3 汽车空调常见故障的分析与排除	300
7.3.4 汽车空调系统维修后性能检测	311
复习题	313
模拟试题与参考答案	314
制冷设备维修工高级操作技能部分模拟试题	320
参考文献	326

第 1 章

基础知识

1.1 电工与数字电路基础知识

现代制冷设备的自动调节和控制是建立在电工电子的基础之上。要想全面提高和掌握制冷设备维修技术,必须掌握相关的电工电子技术。

1.1.1 正弦交流电

大小和方向都随时间做周期性变化的电动势、电压、电流统称为交流电;变化规律遵循正弦函数时,称作正弦交流电。生产和日常生活中所使用的交流电,一般都是正弦交流电,其波形如图 1-1 所示。图中横坐标表示时间 t ,纵坐标表示电流或电压。

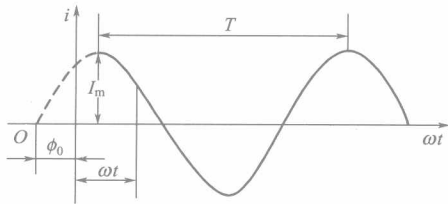


图 1-1 正弦交流电的波形

(1) 正弦交流电的基本概念

描述正弦交流电的性质,一般用正弦交流电的三要素:振幅值、频率和初相位等来表示。图 1-1 所示的正弦曲线瞬时值 i 的函数表达式为:

$$i = I_m \sin(\omega t + \phi_0)$$

① 振幅值 正弦交流电在变化一周中出现的最大瞬时值即为振幅值,电流最大值用 I_m 表示,电压最大值用 U_m 表示。

② 频率 频率 f 表示正弦波每秒钟变化次数,单位为赫兹 (Hz)。我国电力系统的标准频率为 50Hz。对于图 1-1 所示正弦曲线, $f = \omega / (2\pi)$ 。

③ 初相位 相位是相位角的简称,是交流电中一个非常重要的参数。不同的相位对应不同的瞬时值。 $t=0$ 时的相位角称为初相位,用 ϕ_0 表示。初相位可以是 0、正值或负值。

④ 相位差 设两个正弦量的初相角分别为 ϕ_1 和 ϕ_2 ,那么两个同频率正弦量的相位之差称为它们的相位差,记做 ϕ_{12} ,刚好等于这两个正弦量的初相角之差,即 $\phi_{12} = \phi_1 - \phi_2$ 。相位差的取值范围通常是 $-\pi < \phi \leq \pi$ 。

⑤ 有效值 交流电的有效值就是以电流的热效应来规定的,即无论是周期性变化的电流,还是恒定不变的直流电,只要它们在单位时间内的热效应相等,就可以把二者的电流值看作相等,而该直流电流值就称为交流电流

值的有效值 I 。取 $i = I_m \sin(\omega t + \phi_0)$, 那么,

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$$

若电压、电动势均为正弦量时, 同理可得:

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707 E_m \text{ 和 } U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m$$

(2) 正弦交流电路分析

① 电阻和电感的串联电路 几乎所有电器都同时含有电阻和电感, 所以分析电阻与电感的串联电路具有广泛的代表性。图 1-2(a) 为一含有电阻和电感的串联电路。假设图中所标电压和电流均为正方向, 则电路总的瞬时电压为:

$$u = u_R + u_L$$

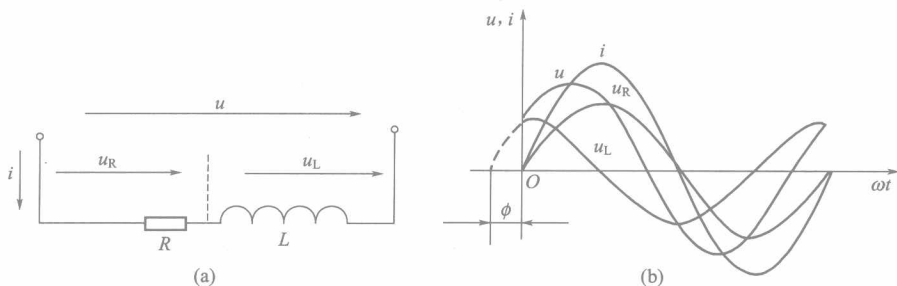


图 1-2 R 、 L 串联电路及其电压、电流曲线

设电路中通过的正弦电流 $i = I_m \sin \omega t$, 那么加在电阻和电感两端的瞬时电压值分别为

$$u_R = U_{Rm} \sin \omega t \text{ 和 } u_L = X_L I_m \sin(\omega t + 90^\circ) = U_{Lm} \sin(\omega t + 90^\circ)$$

于是总的瞬时电压值为:

$$u = u_R + u_L = U_{Rm} \sin \omega t + U_{Lm} \sin(\omega t + 90^\circ) = U_m \sin(\omega t + \phi)$$

由此可见, 总电压也按正弦规律变化, 且超前于电流, 如图 1-2(b) 所示。

总电压的有效值 U 可通过旋转矢量法求取。即:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{(RI)^2 + (X_L I)^2} = I \sqrt{R^2 + X_L^2} = I |Z|$$

式中 $|Z| = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ 称为电路的阻抗, 单位也是欧姆。

总电压和电流之间的相位差为:

$$\phi = \arccos U_R / U = \arccos R / |Z|$$

$$\text{或} \quad \phi = \arctan U_L / U_R = \arctan X_L / R$$

因为在交流电路中, 只有电阻要消耗功率, 所以电阻和电感串联电路中的有功功率为:

$$P = I^2 R = U_R I$$

又 $U_R = U \cos \phi$, 故有功功率的一般公式为:

$$P = UI \cos \phi$$

式中, $\cos \phi$ 为总电压与电流之间相位差的余弦, 叫做电路的功率因数。它是表征交流电路状况的重要数据之一, 其大小取决于所接负载的性质。

② 电阻、电感和电容串联电路 将交流电路中的三种基本元件 R 、 L 、 C 串联起来就组成了一种具有普遍意义的电路。例如, 一个实际线圈相当于 R 和 L 的串联, 把它与一个电容器 C 串联就组成了 RLC 串联电路, 如图1-3所示。

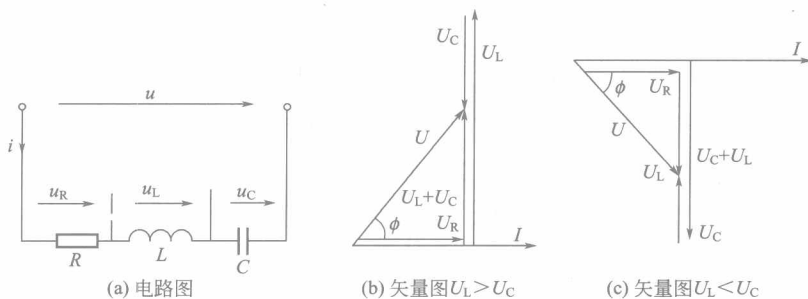


图 1-3 R 、 L 、 C 串联电路

设电路中的电流有效值为 I , 则加在电阻两端的电压有效值为 $U_R = RI$, 且电压与电流同相位; 加在电感两端的电压有效值为 $U_L = X_L I$, 且电压超前于电流 90° ; 加在电容两端的电压有效值为 $U_C = X_C I$, 且电压滞后于电流。根据串联电路的特点, 总电压的有效值矢量等于各部分电压有效值的矢量和。即:

$$U = U_R + U_L + U_C$$

根据旋转矢量法, 可求得总电压为:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = I |Z|$$

式中 $|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ 是 RLC 串联电路的阻抗。

电流与电压之间的相位差可由下式求得:

$$\phi = \arctan (U_L - U_C) / U_R = \arctan (X_L - X_C) / R$$

当 $X_L > X_C$ 时, $\phi > 0$, 电流滞后于总电压 ϕ 角, 这时负载是电感性的。

当 $X_L < X_C$ 时, $\phi < 0$, 电流超前于总电压 ϕ 角, 这时负载是电容性的。

当 $X_L = X_C$ 时, $\phi = 0$, 电流与总电压同相位, 这时负载是电阻性的, 且串联电路中的电流有效值最大。这种现象称为串联谐振。

③ 电感性负载与电容器的并联电路 大多数负载都属于电感性的。电感性负载与电容器并联, 在实际中有很广泛的应用。图 1-4(a) 给出了一个电感性负载与电容器并联电路。

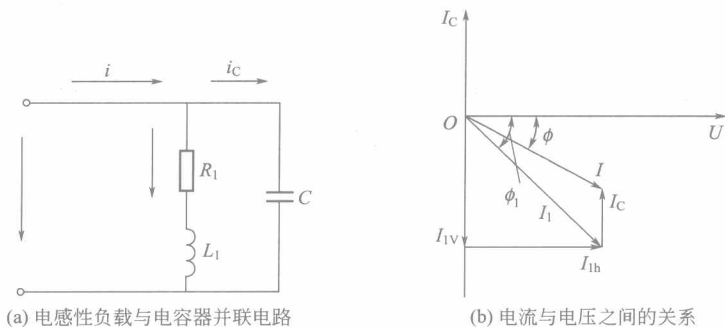


图 1-4 电感性负载与电容器并联电路及其电流、电压矢量图

在此类电路中, 由于各支路的阻抗不仅要影响电流的数值, 而且还影响电流的相位, 所以用矢量法计算交流并联电路时, 要分别求出多支路的电流, 再用矢量合成法计算总电流, 具体计算方法如下。

$$R_1、L_1 \text{ 支路的电流: } I_1 = U/Z_1 = U/\sqrt{R_1^2 + X_L^2}$$

$$\text{与电源电压的相位差: } \phi_1 = \arccos R_1/|Z_1|$$

$$\text{电容支路的电流: } I_C = U/X_C$$

I_C 的相位超前电源电压 90° 。

以电源电压为参考矢量, 则各电流与电压之间的关系如图 1-4(b) 所示。

为便于计算, 把 I_1 分解为两个分量: 一个是 I_1 的水平分量 I_{1h} ; 另一个是 I_1 的垂直分量 I_{1v} , 它与电源电压 U 有 90° 的相位差, 称为 I_1 的无功分量。作了上述分解之后, 可求得:

$$I = \sqrt{I_{1h}^2 + (I_{1v} - I_C)^2} = \sqrt{(I_1 \cos \phi_1)^2 + (I_1 \sin \phi_1 - I_C)^2}$$

总电流与电压之间的相位差为:

$$\phi = \arctan(I_{1v} - I_C)/I_{1h}$$

当 $I_C < I_{1v}$ 时, $\phi > 0$, 总电流滞后于电压, 整个并联电路相当于一个电感性负载。

当 $I_C > I_{1V}$ 时, $\phi < 0$, 总电流超前于电压, 整个并联电路相当于一个电容性负载。

当 $I_C = I_{1V}$ 时, $\phi = 0$, 总电流与电压同相, 整个电路相当于一个纯电阻负载, 此时总电流的有效值最小。这种现象称为并联谐振。

最后, 需要强调的是: 电路的功率因数等于电压与电流之间相位差的余弦, 其大小取决于所接负载的性质。

提高功率因数有着以下 2 个重要的意义。

① 充分发挥电源设备的潜在能力。

② 在功率、电压一定的情况下, 功率因数越高, 则线路上的电流越小, 供电线上的功率损耗也随之减少。

(3) 正弦交流电路中的谐振

由电阻、电感、电容组成的电路中, 若电路中的总电压与总电流同相位, 电路呈电阻性, 通常把此时电路的工作状态称为谐振。谐振现象分为串联谐振和并联谐振。

① 串联谐振 图 1-5(a) 是一个由 R 、 L 、 C 组成的串联谐振电路。由图 1-5(b) 可以看出, 只有当 $U_L = U_C$ 时, 即 $X_L = X_C$ 时, 电压和电流才能达到同相, 电路才能发生谐振, 即:

$$2\pi fL = 1/(2\pi fC)$$

那么谐振频率为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

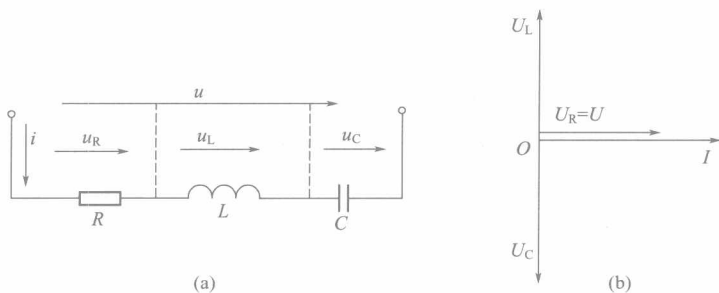


图 1-5 R 、 L 、 C 串联谐振时的电路及其矢量图

谐振频率只与电路的 L 、 C 参数有关, 与 R 无关。

串联谐振电路的特点主要有: 首先, 电路阻抗最小, 当电源电压一定时, 电路中的电流最大; 其次, 谐振时阻抗角 $\phi = 0$, 电流、电压同相位, 整个电路呈电阻性, 电源提供的能量全部被电阻消耗, 电源和负载之间不进

行能量交换,能量仅在 L 和 C 之间进行,功率因数 $\cos\phi=1$;最后,串联谐振时,虽然 U_L 与 U_C 的相量和为零,但它们各自的值可能远远超过电源电压,过高的电压可能会击穿线圈和电容的绝缘。因此,在电力工程中一般避免发生串联谐振,而在无线电技术中,又常常应用串联谐振以在线圈两端获得高于信号源几十倍甚至几百倍的信号电压。

② 并联谐振 由 R 、 L 、 C 组成的并联谐振电路及矢量图如图1-6所示。从图1-6中可以看出,若线圈支路电流的无功分量 I_{1V} 和电容支路的电流 I_H 大小相等方向相反,则电路的电压和总电流便达到同相位,这时电路产生谐振现象。即并联谐振的条件是: $I_{1V}+I_H=0$,也就是电路中总电流的无功分量等于零。

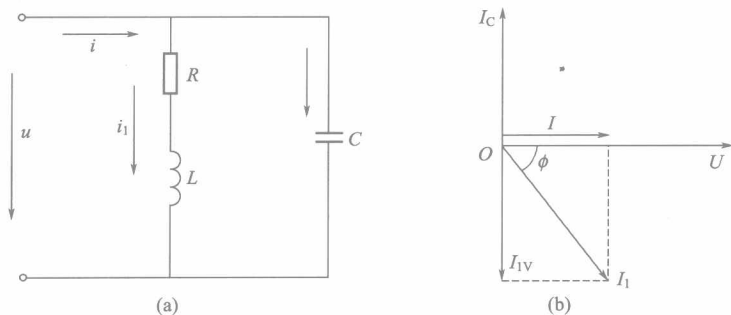


图 1-6 并联谐振电路及其矢量图

当电路处于并联谐振时,如果电感支路的电阻远远小于感抗,那么 $\phi_1 \approx 90^\circ$, $I_{1V} \approx U/X_L$ 。根据并联谐振条件,可得谐振的频率为:

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

并联谐振电路的特点主要有:首先,并联谐振电路的阻抗最大,在电源电压一定时,电路的总电流最小,而线圈支路、电容支路中的电流可以比总电流大很多倍;其次,谐振时阻抗角 $\phi=1$,电流电压同相位,整个电路呈电阻性,功率因数 $\cos\phi=1$;最后,线圈电流和电容电流几乎大小相等,相位相反。

从以上分析中可以看出,串联谐振在电感和电容上能得到很高的电压,并联谐振电路能得到很大的谐振电流。并联谐振电路要求串联的电阻要小,即 $R \leq X_L$,所以,它仅适应于电源内阻较小的场合,若在电源内阻较大的场合或高电阻值电路中,则宜采用并联谐振电路。

1.1.2 晶闸管及其应用

晶闸管是晶体闸流管的简称,是一种大功率半导体可控整流器件,也称

为可控硅。由于晶闸管具有体积小、重量轻、容量大、效率高、控制灵敏、使用维护简便等优点，它已成为整流电路中的重要器件。

(1) 晶闸管的形式、结构及表示符号

晶闸管的形式有两种：二极管和三极管，其中三极管晶闸管应用最多。晶闸管是一个具有四层、三结、三电极的大功率半导体器件。它的结构示意图和代表符号如图 1-7 所示。所谓四层指的是 P、N、P、N，共四层；三结指的是三个 J_1 、 J_2 、 J_3 ；三电极指的是引出的阳极 A、阴极 K、控制极 G。

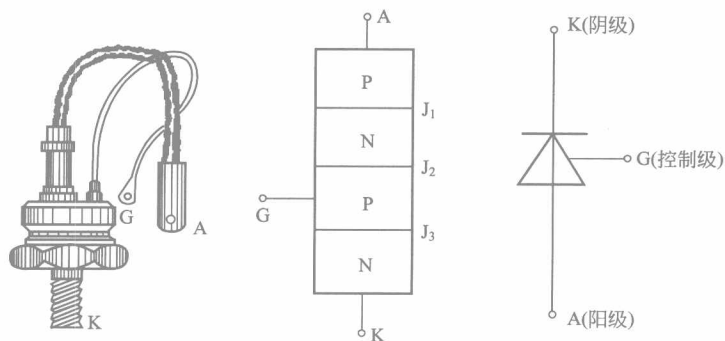


图 1-7 晶闸管的结构和符号

(2) 晶闸管的工作性能及主要参数

晶闸管的工作性能主要表现在如下 4 个方面。

① 当给晶闸管加上正向电压（A 接电源正极，K 接电源负极），控制极上不加控制电压时，晶闸管正向阻断。

② 当晶闸管加上反向电压（A 接电源负极，K 接电源正极）时，控制极无论有无控制电压，晶闸管均反向阻断。

③ 只有当晶闸管加正向电压，控制极加控制电压（或触发电压）时，晶闸管才触发导通。

④ 晶闸管一经导通，消除控制电压后，晶闸管仍导通。

晶闸管主要参数包括以下 4 个。

① 正向阻断峰值电压 U_{FRM} 在控制极开路 and 正向阻断的条件下，允许重复加在晶闸管两端的正向峰值电压。一般规定允许正向电压为最大值的 80%。

② 反向阻断峰值电压 U_{RRM} 在控制极开路时，允许重复加在晶闸管上的峰值电压。一般规定允许反向电压为最大值的 80%。

③ 额定通态平均电流 I_F 在环境温度不超过 40°C 和规定的散热条件

下,晶闸管允许正向导通的工频正弦波电流的平均值。选用晶闸管时,额定通态平均电流至少大于正常平均电流的1.5~2倍,以留有一定的余地。

④ 触发电压 U_G 当晶闸管阳、阴极之间加6V正向电压时能使晶闸管导通的最小触发电压。

(3) 晶闸管的整流电路

① 单相半波可控整流 图1-8给出了单相半波可控整流电路及其波形图,其中VT为晶闸管。在 u_2 为正半周开始后的 t_1 (或者说在相位角 $\alpha = \omega t_1$) 后,控制极加上脉冲电压 U_G , 晶体管会立即导通。在 u_2 为负半周时,晶闸管截止。到第二个周期再次重复上述过程时,则在负载 R_L 上得到一连串不完整的半波电压,如图1-8中右图所示。图中 α 叫控制角, θ ($\theta = \pi - \alpha$) 叫导通角。改变控制角 α , 可改变整流波形,也就改变了负载 R_L 的有效电压。显然,控制角 α 越小,导通角 θ 越大,整流效率就越高。

通过计算,可控半波整流平均电压 U_D 为:

$$U_D = 0.45U_2(1 + \cos\alpha)/2$$

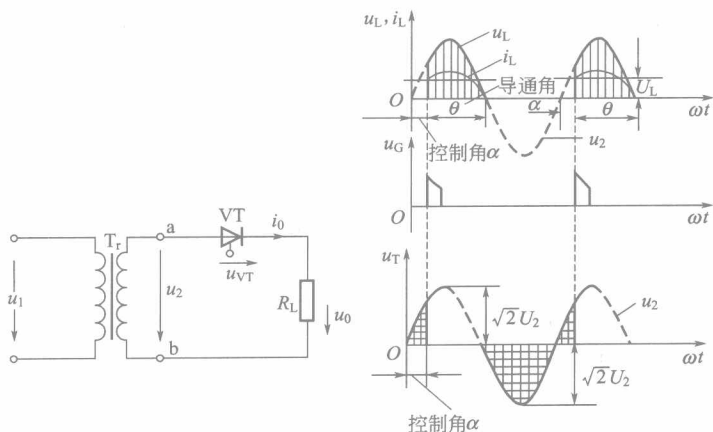


图 1-8 单相半波可控整流电路及其波形

② 单相桥式可控整流 图1-9是电阻性负载桥式可控整流电路,组成桥式的四个管子中至少有两个(VT₁、VT₂或VT₃、VT₄)是晶闸管。在 u_2 的正半周,VT₁、VT₄ 承受正向电压,VT₂、VT₃ 承受反向电压。若某一时刻 ($\alpha = \omega t$) 加一触发电压,VT₁、VT₃ 导通,电流经 VT₁、R_L、VT₄ 形成回路;当 u_2 为负半周,VT₂、VT₃ 承受正向压降,若在负半周开始的相同控制角 α 时刻对 VT₂ 进行触发,使 VT₂ 导通,电流经 VT₂、R_L、VT₃ 形成回路。整个周期的负载波形如图1-10所示,负载电压是不完整的全波