

第二节 三相桥式全控整流电路

图 3-7 电路中共阴极组与共阳极组如负载完全相同且控制角 α 一致, 则此时负载电流 I_{d1} 、 I_{d2} 在数值上相同, 中性线中电流的平均值 $I_N = I_{d1} - I_{d2} = 0$ 。因此将中性线断开不影响工作, 再将两个负载合并为一, 就成为工业上广泛应用的三相桥式全控整流电路, 如图 3-8 所示。所以三相桥式全控整流电路实质上是一组共阴极组与一组共阳极组的三相半波可控整流电路的串联, 可用三相半波电路的基本原理来分析。

一、工作原理

图 3-9 为三相全控桥式整流电路在 $\alpha = 0^\circ$ 、带大电感负载时的电压电流波形。由三相半波电路分析可知, 共阴极组的自然换流点 ($\alpha = 0^\circ$) 在 ωt_1 、 ωt_2 、 ωt_3 时刻, 分别触发

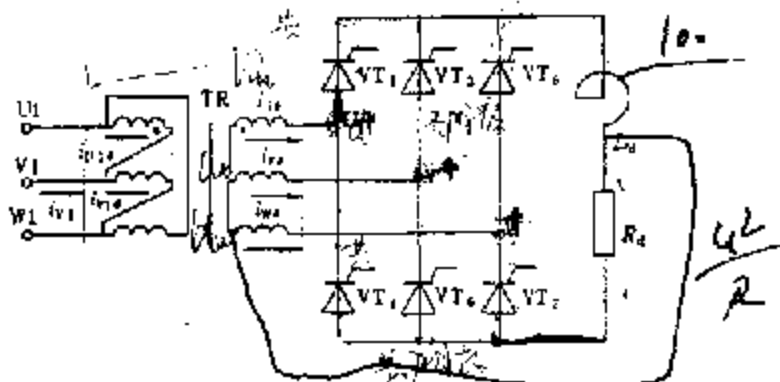


图 3-8 三相桥式全控整流电路

VT_1 、 VT_2 、 VT_3 晶闸管, 共阳极组的自然换流点 ($\alpha = 0^\circ$) 在 ωt_4 、 ωt_5 、 ωt_6 时刻, 分别触发 VT_4 、 VT_5 、 VT_6 晶闸管。两组的自然换流点对应相差 60° , 电路各自在本组内换流, 即 $VT_1 \rightarrow VT_2 \rightarrow VT_3 \rightarrow VT_1$, $VT_4 \rightarrow VT_5 \rightarrow VT_6 \rightarrow VT_4$, 每个管子轮流导通 120° , 如图 α 所示。由于中性线断开, 要使电流流通, 负载端有输出电压, 必须在共阴极和共阳极组中各有一个晶闸管同时导通。在 $\omega t_1 \sim \omega t_2$ 期间, U 相电压较正, V 相电压较负, 在触发脉冲作用下, VT_1 、 VT_4 管同时导通, 电流从 U 相流出, 经 $VT_1 \rightarrow$ 负载 $\rightarrow VT_4$ 流回 V 相, 负载上得到 U、V 相线电压。从 ωt_2 开始, U 相电压仍保持电位最高, 但 W 相电压开始比 V 相更负了, 此时脉冲 U_{g2} 触发 VT_2 导通, 迫使 VT_4 承受反压而关断, 负载电流从 VT_1 中换到 VT_2 。在 $\omega t_2 \sim \omega t_3$ 期间, 电流路径为 U 相 $\rightarrow VT_2 \rightarrow$ 负载 $\rightarrow VT_4 \rightarrow$ W 相, 负载上得到 U、W 相线电压。在 ωt_3 时刻, 由于 V 相电压比 U 相电位高, 故触发 VT_3 管导通后, 能迫使 VT_1 管关断, 电流从 VT_1 中换到 VT_3 。依此类推, $\omega t_3 \sim \omega t_4$ 期间是 V、W 相供电, VT_3 、 VT_6 管导通; $\omega t_4 \sim \omega t_5$ 期间是 V、U 相供电, VT_3 、 VT_4 管导通; $\omega t_5 \sim \omega t_6$ 期间为 W、U 相供电, VT_5 、 VT_4 管导通; $\omega t_6 \sim \omega t_1$ 期间为 W、V 相供电, VT_5 、 VT_6 管导通; $\omega t_1 \sim \omega t_2$ 重复 U、V 相供电, VT_1 、 VT_4 管导通, 如图 3-9 α 所示。这时, 对共阴极组而言, 其输出电压波形是三相相电压波形正半周的包络线; 对共阳极组而言, 是负半周的包络线。三相桥式全控整流的输出电压为两组输出电压之和, 是相电压波形正负包络线下的面积, 其平均直流电压 $U_d = 2 \times 1.17 U_{2\phi} = 2.34 U_{2\phi}$ 。在三相线电压波形上是正半部分的包络线, 如图 3-9 α 所示。

整流变压器二次电流 i_u 、 i_v 及电源电流 $i_{v1} = i_{u1} - i_{v1}$ 的波形如图 3-9 β 所示, 其它两相电流波形相同, 只是相位上依次相差 120° , K 为变压器一、二次侧的匝数比。由于变压器采用 D/Y (Δ/Y) 联结使电源线电流有二个阶梯, 更接近正弦波, 谐波影响小, 故在整流装置中, 三相变压器大多采用 D/Y 或 Y/D 联结。

当控制角 $\alpha > 0^\circ$ 时, 输出电压波形发生变化, 图 3-10 即为 $\alpha = 30^\circ$ 、 60° 、 90° 以及 120°

时的波形。从图中可见, 当 $\alpha \leq 60^\circ$ 时, u_d 波形均为正值; 当 $60^\circ < \alpha < 90^\circ$ 时, 由于 L_d 电感电动势的作用, u_d 波形瞬时出现负值, 但正面积大于负面积, 平均电压 U_d 仍为正值。当 $\alpha = 90^\circ$ 时, 正负面积相等, $U_d = 0$ 。当 $\alpha > 90^\circ$ 时, u_d 波形断续, 由于 U_d 接近于零, i_d 太小, 晶闸管无法导通, 因此当 $\alpha = 120^\circ$ 时, 如图 3-10d 所示, 出现不规则的杂乱波形。

二、对触发脉冲的要求

为了符合人们通常的习惯, 希望三相全控桥式整流电路六个晶闸管触发导通的顺序为 $VT_1 \rightarrow VT_2 \rightarrow VT_3 \rightarrow VT_4 \rightarrow VT_5 \rightarrow VT_6$ 。在三相电源正序情况下, 编号为 VT_1 、 VT_4 管接 U 相 (U 相可任意指定, 但相序不能反), VT_3 、 VT_6 管接 V 相, VT_5 、 VT_2 管接 W 相。根据这样的排列, 触发脉冲顺序为 $U_{d1} \rightarrow U_{d2} \rightarrow U_{d3} \rightarrow U_{d4} \rightarrow U_{d5} \rightarrow U_{d6}$, 间隔为 60° , 如图 3-9b 所示。

为了保证整流装置能启动工作, 或在电流断续后能再次导通, 必须对两组中应导通的一对晶闸管同时加有触发脉冲, 为此可采取两种方法。一种是宽脉冲触发, 使每一个触发脉冲的宽度大于 50° (必须小于 120° , 通常取 90° 左右)。这样在换相时, 相隔 60° 的后一个脉冲出现, 前一个脉冲还未消失, 使电路在任何换相点均有相邻两个管子被触发。另一种方法是在触发某一号晶闸管时, 触发电路设法同时给前一号晶闸管补发一个脉冲称辅助脉冲, 例如触发 VT_1 管的同时, 对 VT_6 管补发辅助脉冲; 触发 VT_2 管的同时, 对 VT_1 管补发辅助脉冲; 触发 VT_3 管的同时, 对 VT_2 管补发辅助脉冲, 如图 3-9b 中的虚线脉冲。这样, 就能保证每个换流点同时有两个脉冲触发相邻的晶闸管, 作用与宽脉冲一样, 这种方式称为双窄脉冲。双窄脉冲虽然触发电路比较复杂, 但可减小触发电路功率与脉冲变压器体积, 故目前采用较多。

通过上述分析, 可归纳以下几点:

1) 三相桥式全控整流电路在任何时刻必须保证有两个晶闸管同时导通才能构成电流回路。象三相半波电路一样, 晶闸管换流只在本组内进行, 每隔 120° 换流一次。由于电路中共阴极与共阳极组换流点相隔 60° , 所以每隔 60° 有一次换流, 管子导通情况见图 3-9c。

2) 三相桥式全控整流电路的负载电压 u_d 波形是六个不同线电压的组合, 当 $\alpha = 0^\circ$ 时, 为三相线电压的正向包络线, 每周期脉动 6 次, 基波频率为 50Hz , 其脉动系数 $S_9 \approx 0.05$, 基本上是一个平稳的直流。带大电感负载时, 其平均值为

$$U_d = 2.34 U_{2L} \cos \alpha = 1.35 U_{2L} \cos \alpha \quad (0 \leq \alpha \leq 90^\circ) \quad (3-9)$$

3) 三相全控桥式整流电路控制角 α 的起算点 (自然换流点) 与三相半波时相同, 为相

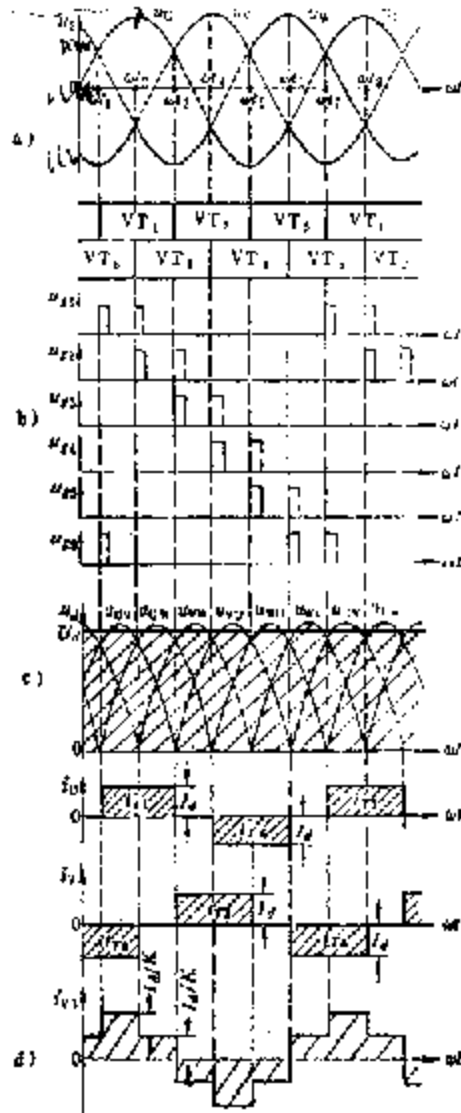


图 3-9 三相桥式全控整流电路的电流电压波形

邻相电压的交点（包括正向与负向），距波形原点 30° ，但是在线电压波形上，是相邻正向线电压的交点。由于线电压超前对应的相电压 30° ，因此在对应线电压波形上 $\alpha = 0^\circ$ 的点距波形原点为 60° 。如 $\alpha = 30^\circ$ ，在相电压波形上脉冲距波形原点 60° ，在对应的线电压上，脉冲距波形原点 90° 。

4) 晶闸管两端电压波形完全与三相半波时一样，

最大电压为 $\sqrt{6}U_{2\phi}$ 。由于桥式电路输出电压比三相半波增大一倍，所以在同样的 U_d 值时，三相桥式电路对管子电压要求降低一半。流过晶闸管的电流 I_T 与三相半波时完全相同为 $I_T = \frac{1}{3}I_d$ ， $I_T = \sqrt{\frac{1}{3}}I_d = 0.577I_d$ 。

变压器利用率提高，其二次侧每周期内有 240° 流过电流且电流波形正负面积相等，无直流分量。二次电流有效值为

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}}I_d = 0.816I_d$$

5) 三相桥式可控整流电路必须用双脉冲或宽脉冲触发，脉冲的移相范围在大电感负载时为 $0^\circ \sim 90^\circ$ ，电阻负载时， $\alpha > 60^\circ$ ，波形断续，由于晶闸管的导通要维持到线电压过零反向时才关断，所以移相范围为 $0^\circ \sim 120^\circ$ 。

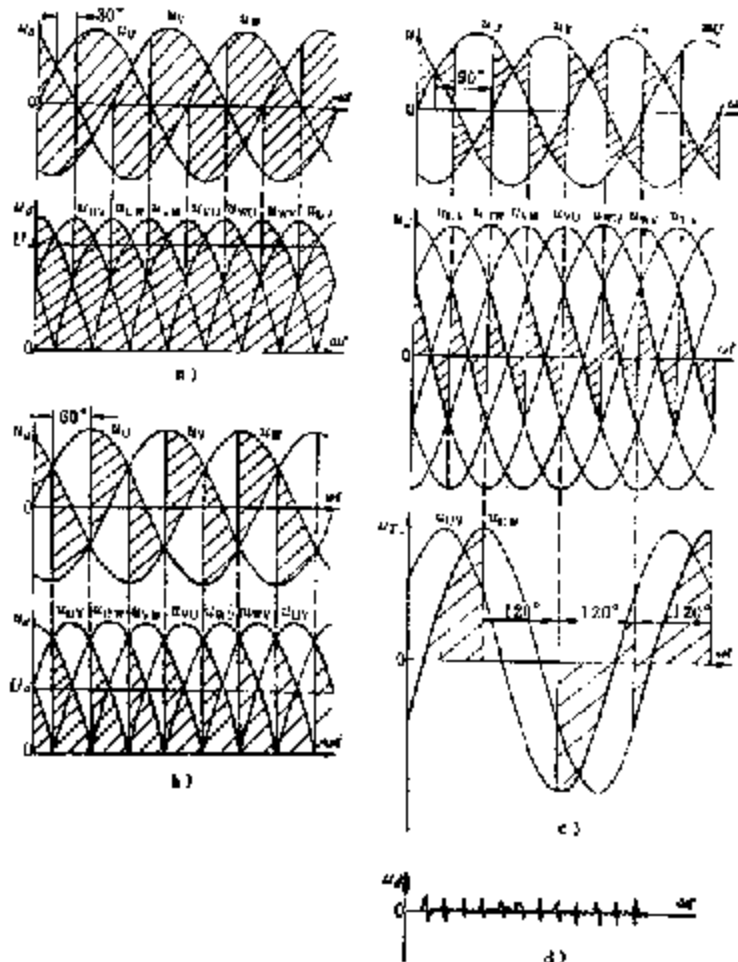


图3-10 三相桥式全控整流电路波形

第三节 三相桥式半控整流电路

在中等容量的整流装置或不要求可逆的电力拖动中，可采用比三相全控桥式整流电路更简单、经济的三相桥式半控整流电路，如图3-11 a所示，它由共阴极接法的三相半波可控整流电路与共阳极接法的三相半波不可控整流电路串联而成，因此这种电路兼有可控与不可控两者的特性。共阳极组三个整流二极管总是在自然换流点换流，使电流换到比阴极电位更低的一相中去；而共阴极组三个晶闸管则要在触发后才能换到阳极电位高的一相中去。输出整流电压 u_d 的波形是二组整流电压波形之和，改变共阴极组晶闸管的控制角 α ，可获得 $0 \sim 2.34$