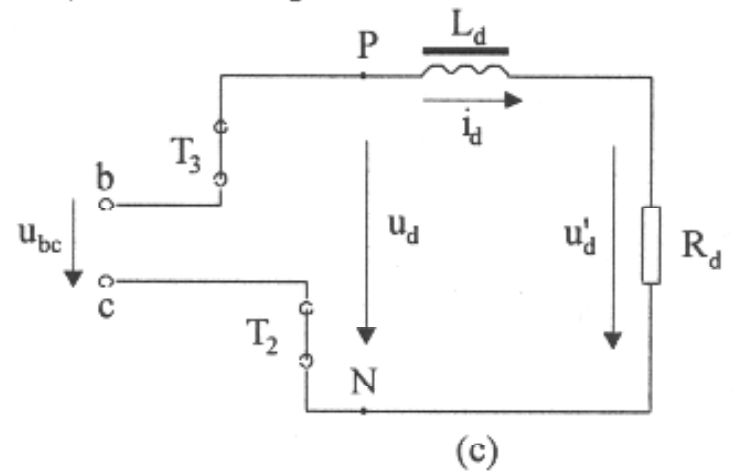
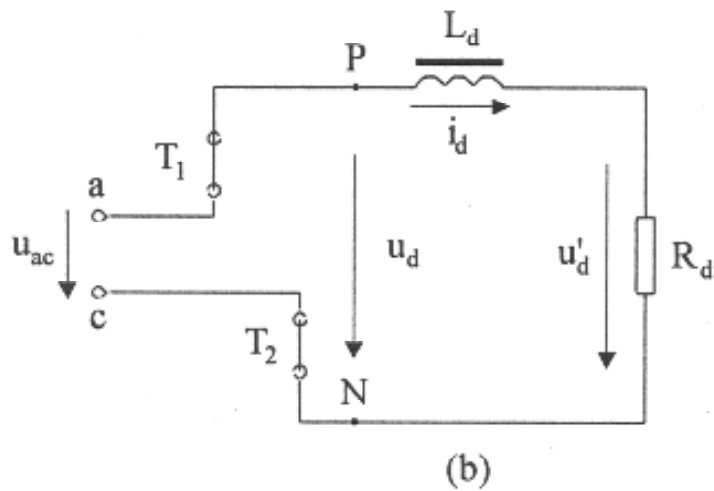
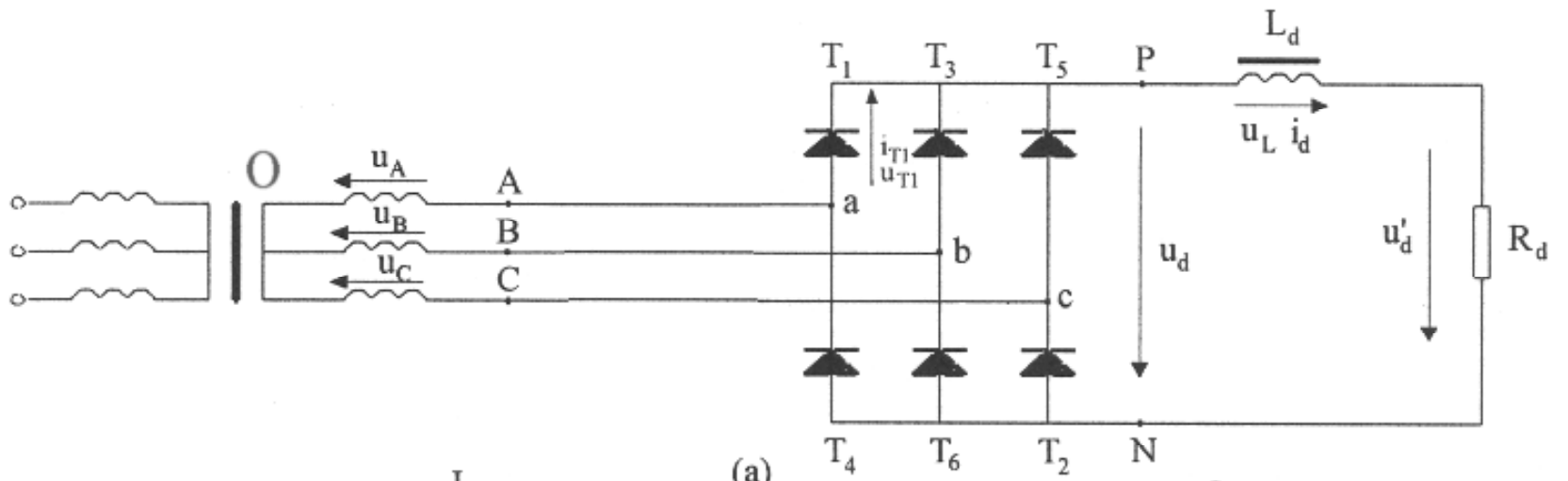


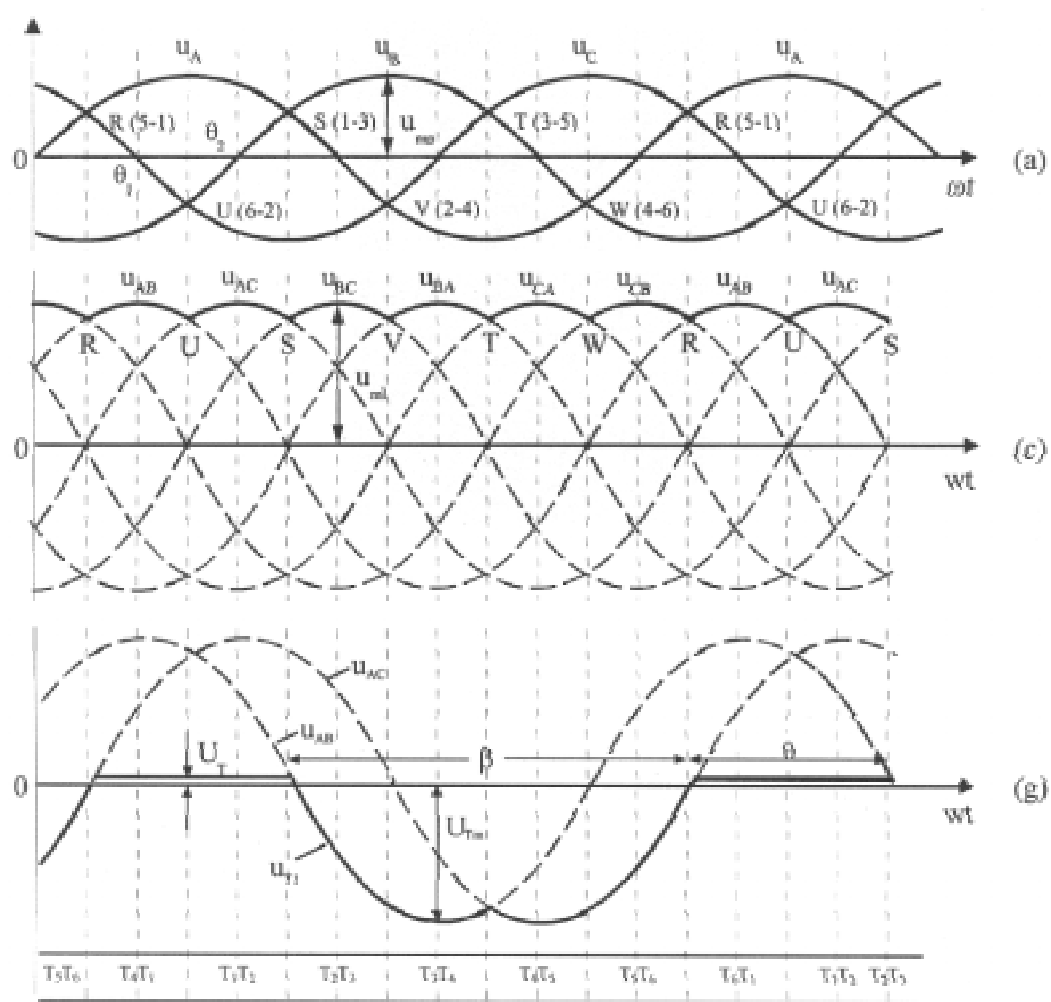
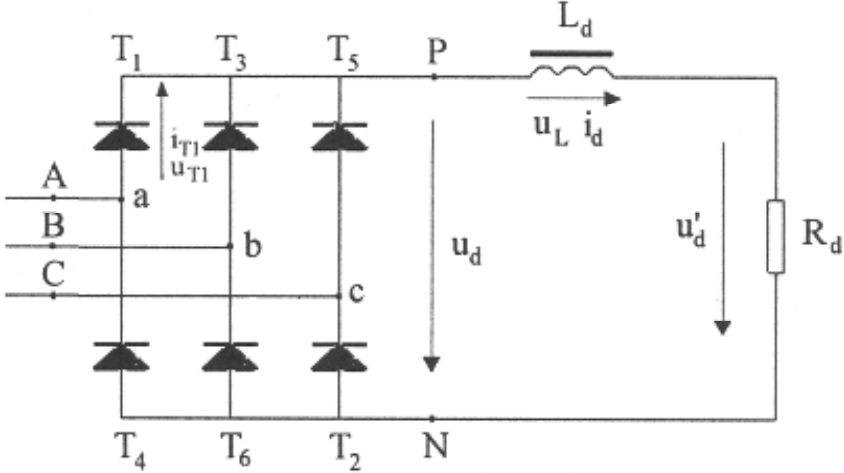
第二节

理想条件下

三相桥式整流电路性能分析

三相不控全桥整流电路





自然转换点：
二极管开始导通
的点（时刻）

u_A 、 u_B 、 u_C 中哪个电位最高，上组中相应的二极管导通；

u_A 、 u_B 、 u_C 中哪个电位最低，下组中相应的二极管导通。

一、理想条件（目的：简化分析）

1、理想器件

* 晶闸管：无延时，无损耗

导通时 $U_T = 0$ ，关断时 $I_T = 0$

* 整流变压器：绕组漏抗和内阻均为零，无内耗，
变比 = 1。

2、理想电源

* 整流电路接入点的网压为无畸变正弦波

* 电源为恒频、恒压、对称（三相互差 120° ）的三相电网

* 线路寄生电感忽略，即 $L_a = L_b = L_c = 0$

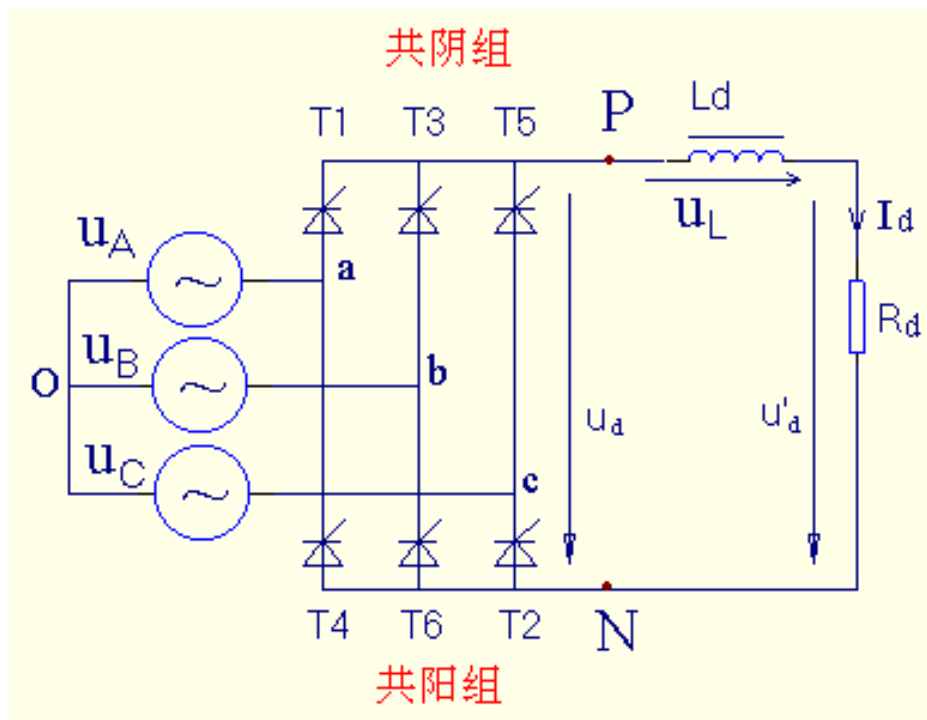
3、理想负载

- * 滤波电抗器的电感量 $L_d = \infty$ ，无直流内阻
 - ⇒ 负载电流为直流，近似恒流源，交流分量为零。
 - ⇒ 流过元件的电流为平顶方波
- * 整流电路具有纯阻负载

4、理想运行状态

- * 电路已达稳定工作阶段，每一工作循环中各暂态量的边值相等。

二、控制角 $\alpha = 0$ 时的工作情况分析



1. 电路结构

1) 共6臂，每臂由1只元件组成

共阴组：上组

共阳组：下组

中点：上下臂中点

2) 直流输出电压

$$u_d = u_P - u_N$$

例： $T_1^0 T_6^0$ ， T_2^1

上标0：通态；1：断态

$$u_d = u_A - u_B = u_{AB}$$

2. 电源状态

按图示坐标原点：

$$u_A = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t; \quad u_B = \sqrt{2}U_2 \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}); \quad u_C = \sqrt{2}U_2 \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$

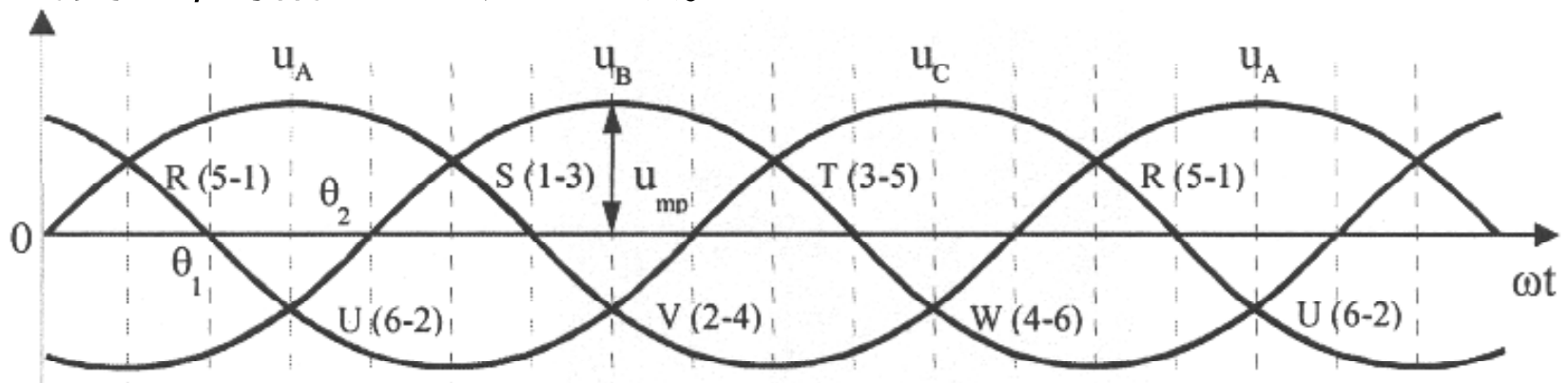
电源状态具有以下特点：

在RST和UVW各点上，相邻两相的电压瞬时值相等，如在U点有 $u_B = u_C$ ，即线电压 $u_{CB} = 0$ ；

上述各点的左右侧，电源状态转换，在R左侧，有 $u_C > u_A$ ；而在R右侧转为 $u_A > u_C$ ；

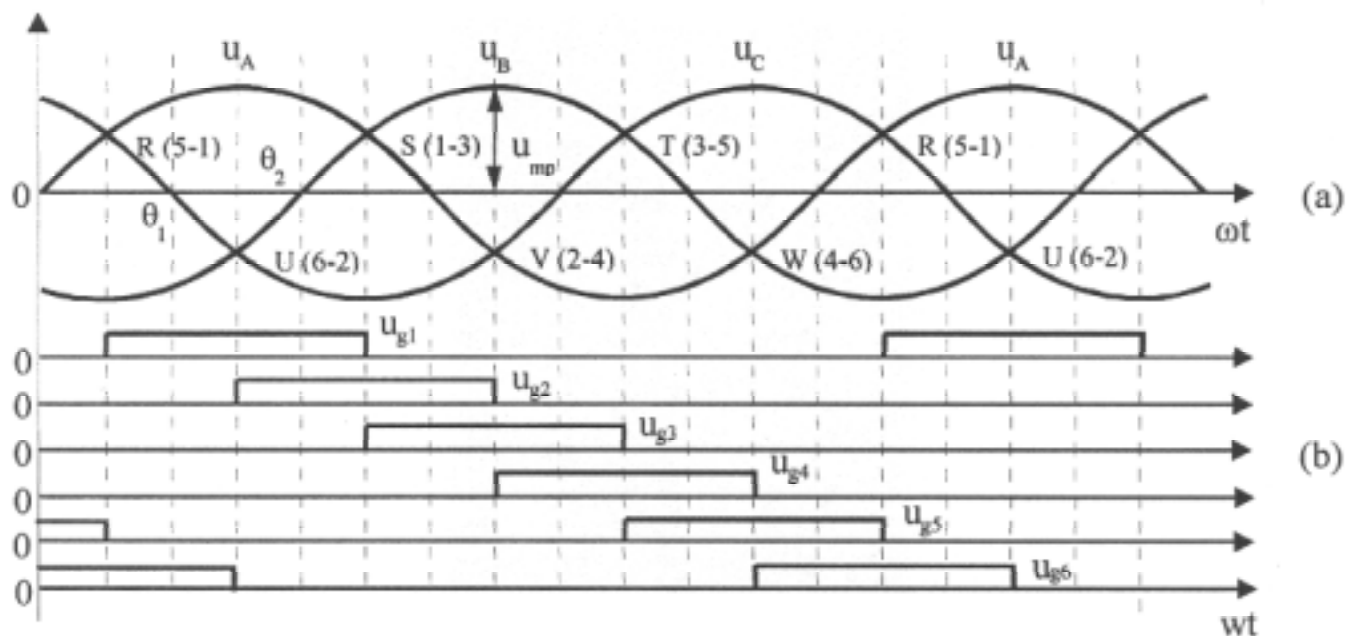
在各点间均有某相电压最正而某相电压最负，如在R---U间，有 u_A 最正而 u_B 最负，其余类推；

RST和UVW各点称自然转换点。一个工作循环共有六次电源状态的更迭，每隔 $\pi/3$ rad产生一次。



自然转换点与控制角

- 自然转换点：元件从负向阻断到正向阻断（或导通）的时间坐标上的点。（R、S、T、U、V、W）
- 或将晶闸管换为二极管，二极管开始导通的点。
- 控制角 α ，或触发角：元件门极触发脉冲从各自然转换点后移的相位角（电角度）。



3. 门极脉冲状态

- 与电网同步，重复频率 = 50Hz
- $\alpha = 0$ 时，各脉冲均在各自然转换点上出现
- 各门极脉冲互差 $\pi/3$
- 各脉冲宽度 $\theta_g = 2\pi/3$ rad



4. 电路工作情况

- 📄 根据 $u_{gk} > 0$ 和 $u_{ak} > 0$ 的条件，判断电路元件的开关时序
- 📄 在已导通或有 $u_{gk} > 0$ 的情况下，上组中相应的 u_A 、 u_B 、 u_C 最高的那个元件导通，下组中相应的 u_A 、 u_B 、 u_C 最低的那个元件导通。
- 📄 在 $\omega t = \theta_1$ ， $T_1^0 T_6^0$ ，
 $u_d = u_{AB}$ ；
- 📄 在 $\omega t = \theta_2$ ， $T_1^0 T_2^0$ ， T_6^1
 $u_d = u_{AC}$

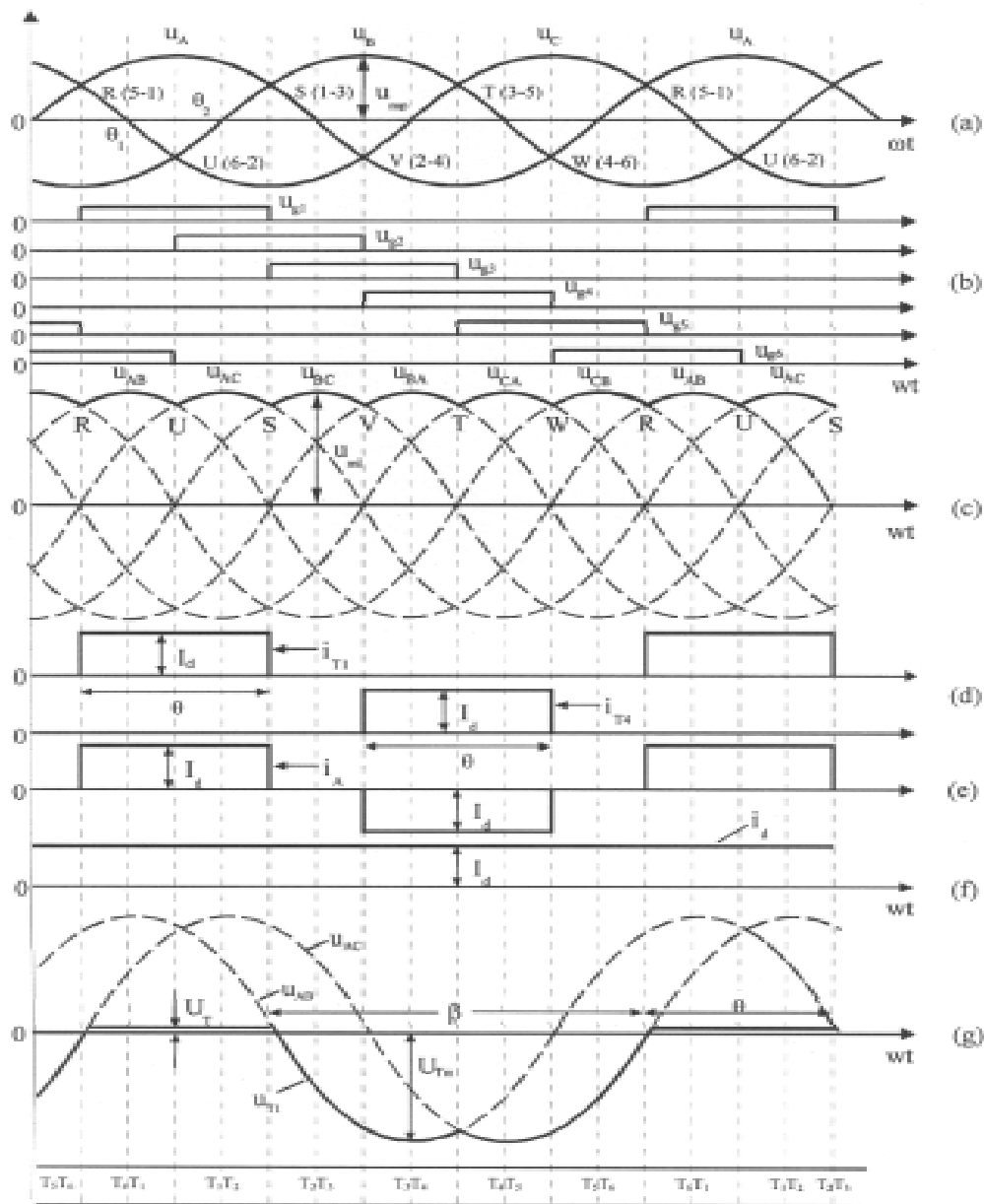


图 2-5 控制角 $\alpha = 0$ 时三相桥式整流电路各点波形

在各自然转换点上，由于电源和门极脉冲状态的变化，引起各元件的开关状态改变，由于桥内并无惯性元件，这种转换是瞬时完成的。

根据 $\omega = 0$ 的工况，转换次序为 R (T_5-T_1)、U (T_6-T_2)、S (T_1-T_3)、V (T_2-T_4)、T (T_3-T_5) 和 W (T_4-T_6)。

转换每隔 $\pi/3$ 产生一次，上组元件的转换次序为 RST (每隔 $2\pi/3$ rad)；下组元件为 UVW (也互隔 $2\pi/3$ rad)。

任何瞬间，电路中只有两只元件导通，上下组各一只；

每一元件的导电角度 $\theta = 2\pi/3$ rad；

由于滤波的电感量为无限大，负载电流为连续且非常平滑

。

5. 主电量计算

输出电压平均值：

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int u_d' d\omega t$$

由图2-1可见， $u_d' = u_d - u_L$ ；所以

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (u_d - u_L) d\omega t = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_d d\omega t - \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_L d\omega t$$

根据理想条件 式(2-29)中第二项积分值为零(即 $U_L=0$)，
所以

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_d d\omega t = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6}^{\pi/2} u_{AB} d\omega t = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6}^{\pi/2} \sqrt{6}U_2 \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}) d\omega t = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_2$$



网侧线电流有效值：

$$I_A = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_A^2 d\omega t}$$

$$i_A = i_{T1} - i_{T4} = \begin{cases} I_d; & (\pi/6 < \omega t < 5\pi/6) \\ 0; & (5\pi/6 < \omega t < 7\pi/6, 11\pi/6 < \omega t < 13\pi/6) \\ -I_d; & (7\pi/6 < \omega t < 11\pi/6) \end{cases}$$

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


网侧线电流基波有效值：

利用傅里叶级数展开 i_A 可得

$$\begin{aligned} i_A &= \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left(\sin \omega t - \frac{1}{5} \sin 5\omega t - \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \cdots + \frac{1}{n} \sin n\omega t \right) \\ &= I_{A1m} \sin \omega t - I_{A5m} \sin 5\omega t - I_{A7m} \sin 7\omega t + \cdots + I_{Ann} \sin n\omega t \end{aligned}$$

式中

$$I_{A1m} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d ; I_{A1} = \frac{I_{A1m}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d = 0.78 I_d$$

 由于三相对称，线电流中3次及3的倍数次谐波分量均为0。



晶闸管电流平均值（以元件T1为例）：

$$I_{T0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_{T1} d\omega t$$

$$i_{T1} = \begin{cases} I_d; & (\pi/6 < \omega t < 5\pi/6) \\ 0; & (5\pi/6 < \omega t < 13\pi/6) \end{cases}$$

$$I_{T0} = \frac{1}{2\pi} I_d \times \frac{2\pi}{3} = \frac{I_d}{3}$$

晶闸管端压（以元件T1为例）：

$$u_{T1} = \begin{cases} U_{T0} & (T_1)^0 \\ u_{AB} & (T_3)^0 \\ u_{AC} & (T_5)^0 \end{cases}$$

 u_{T1} 与上组中哪个元件导通有关。

$$U_{Tm} = U_{Rm} = \sqrt{6}U_2$$

三、控制角 $\alpha > 0$ 时的工作情况分析

在R ~ R'之间，虽有 $u_A > u_C$ ， T_1 承受正向电压，但 $u_{g1} = 0$ ， T_1 不能导通，处于正向阻断状态， T_5 继续导通。

实际转换点后移。

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_d' d\omega t = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} \sqrt{6}U_2 \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}) d\omega t = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_2 \cos \alpha = U_{d0} \cos \alpha$$

式中

$$U_{d0} = (3\sqrt{6} / \pi) U_2$$

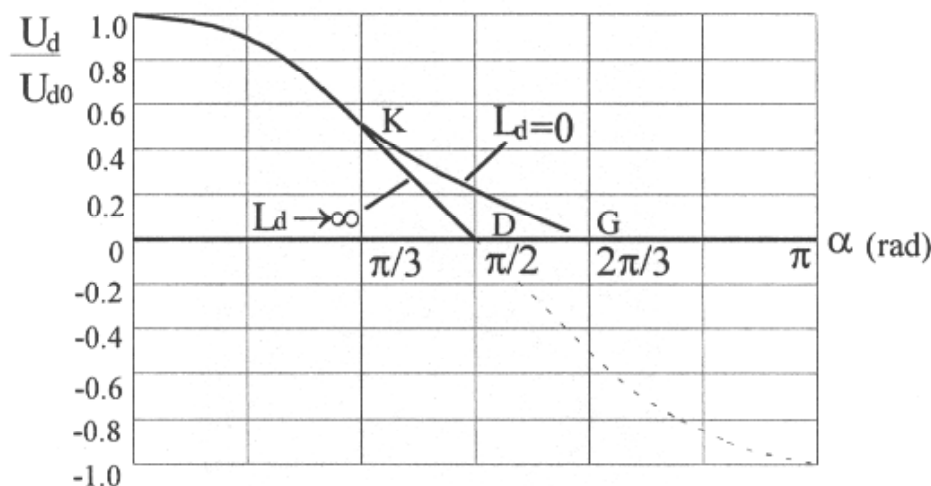


图 2—7 大电感负载条件下三相桥式整流电路的控制特性

动态图形

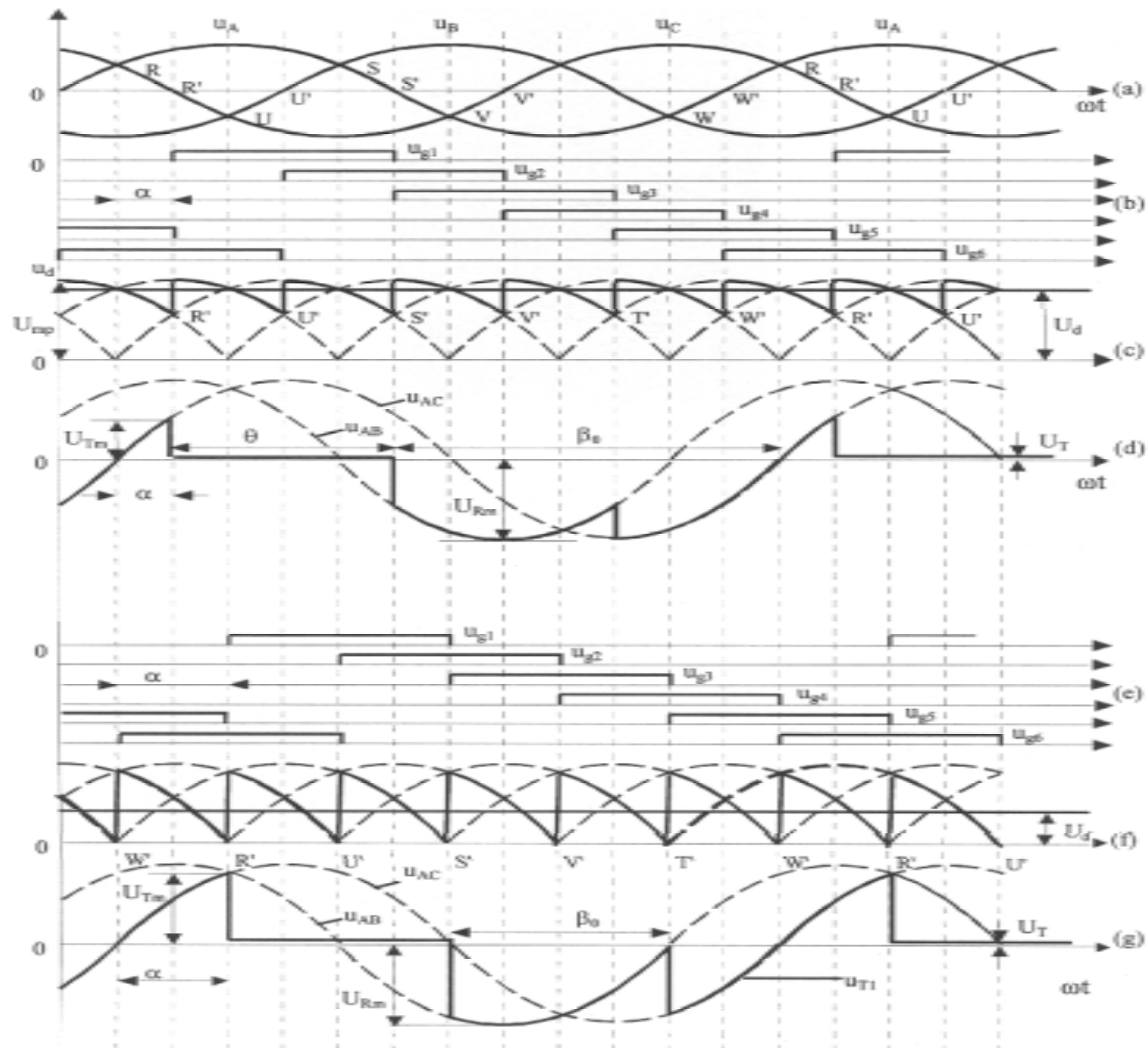


图 2—6 $\alpha > 0$ 时的电路波形



综述：

- ❖ 在三相桥式电路中，若门极脉冲移相范围为 $\pi/2$ rad，则输出电压平均值在 $0 \sim U_{d0}$ 连续可调，
- ❖ 而且由于滤波电感 L_d 为无限大，在任一控制角下，元件导通角 $\theta \equiv 2\pi/3$ 。

📄 方法：

- 📄 门极脉冲出现时，判 u_{AK} 电压的大小，看是否是正向阻断，若是则导通，另一元件关断。
- 📄 上组管的电压与上组中哪个管子导通有关，而与下组中哪个导通无关。