



西南交通大学
Southwest Jiaotong University

电力电子技术 Power Electronics



主讲教师：杨平
电气工程学院

第三章 相控整流电路



- 3.1 概述
- 3.2 单相半波可控整流电路
- 3.3 单相桥式全控整流电路
- 3.4 单相桥式半控整流电路
- 3.5 三相半波可控整流电路
- 3.6 三相桥式全控整流电路
- 3.7 三相桥式半控整流电路
- 3.8 变压器漏感对整流电路的影响
- 3.9 整流电路的谐波和功率因数
- 本章小结

3.5 三相半波可控整流电路



引言

- 交流侧由三相电源供电。
- 负载容量较大，或要求直流电压脉动较小、容易滤波。
- 基本的是三相半波可控整流电路。
- 三相桥式全控整流电路应用最广。

3.5.1 带阻性负载三相半波可控整流电路

电路的特点：

- ✦ 变压器二次侧接成星形得到零线，而一次侧接成三角形避免3次谐波流入电网。
- ✦ 三个晶闸管分别接入a、b、c三相电源，其阴极连接在一起——共阴极接法。

● 自然换相点：

- ✦ 二极管换相时刻为**自然换相点**，是各相晶闸管能触发导通的最早时刻，将其作为计算各晶闸管触发角 α 的起点，即 $\alpha=0^\circ$ 。

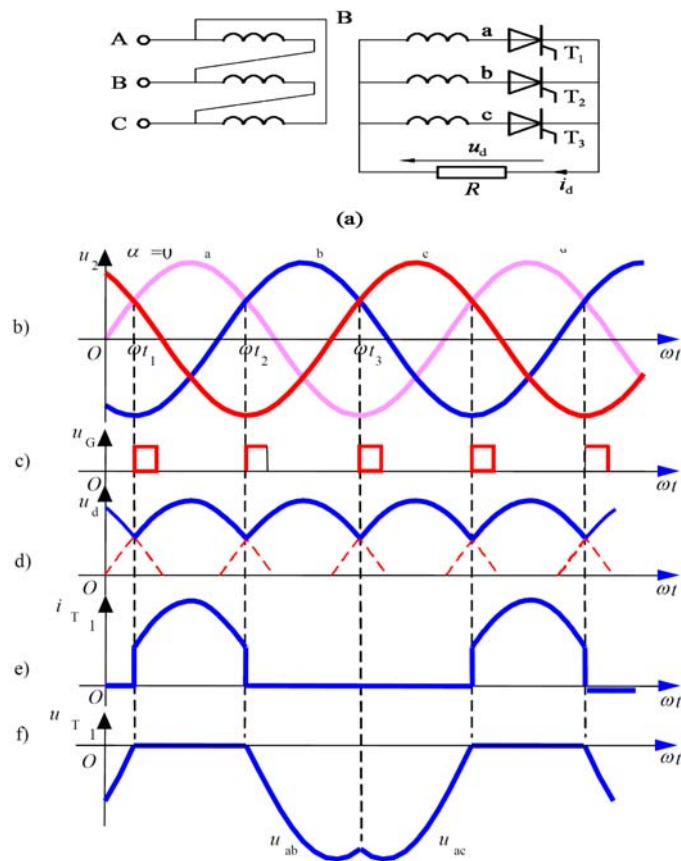


图3-14 三相半波可控整流电路共阴极接法电阻负载时的电路及 $\alpha=0^\circ$ 时的波形

3.5.1 带阻性负载三相半波可控整流电路

● $\alpha = 0^\circ$ 时的工作原理分析

- ⊕ 变压器二次侧a相绕组和晶闸管 T_1 的电流波形，变压器二次绕组电流有直流分量。
- ⊕ 晶闸管的电压波形，由3段组成。

● $\alpha = 30^\circ$ 的波形 (图3-15)

特点：负载电流处于连续和断续之间的临界状态。

● $\alpha > 30^\circ$ 的情况 (图3-16)

特点：负载电流断续，晶闸管导通角小于 120° 。

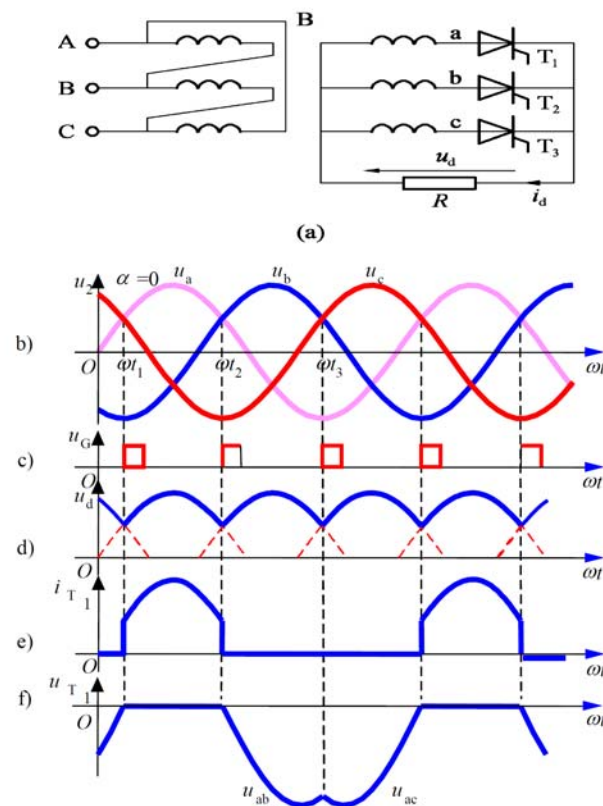


图3-14 三相半波可控整流电路共阴极接法电阻负载时的电路及 $\alpha = 0^\circ$ 时的波形

3.5.1 带阻性负载三相半波可控整流电路

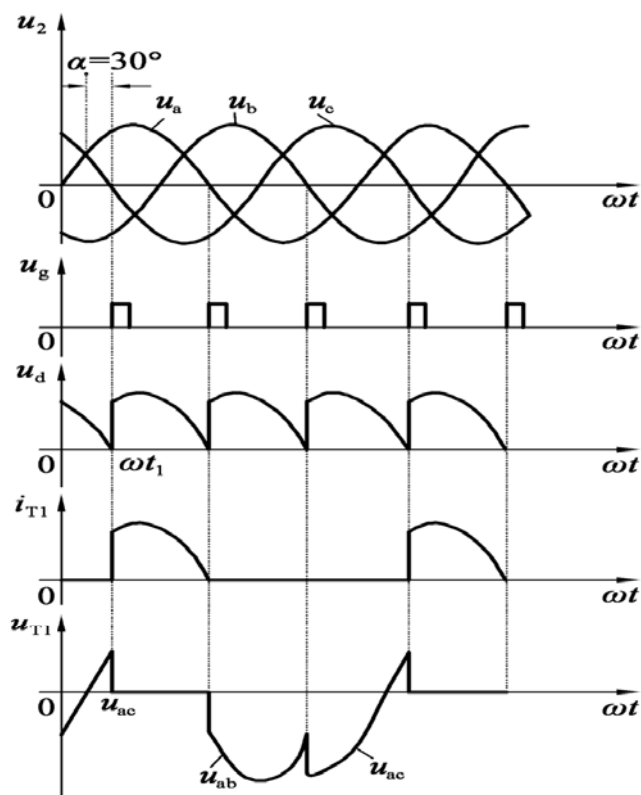


图3-15 三相半波可控整流电路共
阴极接法电阻负载时的电路及 α
 $=30^\circ$ 时的波形

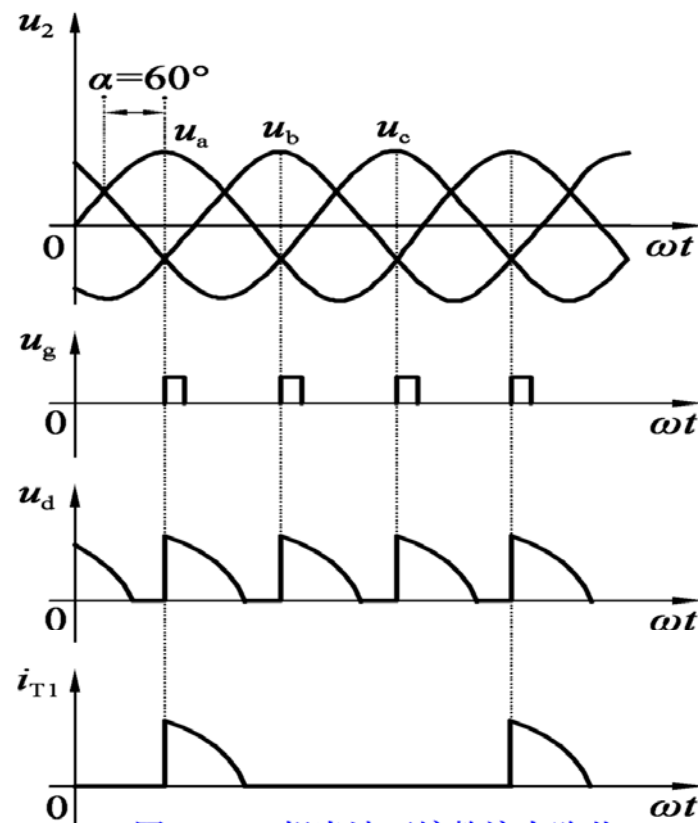


图3-16 三相半波可控整流电路共
阴极接法电阻负载时的电路及 α
 $=60^\circ$ 时的波形

3.5.1 带阻性负载三相半波可控整流电路

■ 整流电压平均值的计算

⊕ $\alpha \leq 30^\circ$ 时，负载电流连续，有：

$$U_d = \frac{1}{\frac{2\pi}{3}} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U_2 \cos \alpha = 1.17U_2 \cos \alpha \quad (3-32)$$

当 $\alpha=0$ 时， U_d 最大，为 $U_d = U_{d0} = 1.17U_2$ 。

⊕ $\alpha > 30^\circ$ 时，负载电流断续，晶闸管导通角减小，此时有：

$$U_d = \frac{1}{\frac{2\pi}{3}} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} U_2 \left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{6} + \alpha\right) \right] = 0.675 \left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{6} + \alpha\right) \right] \quad (3-33)$$

3.5.1 带阻性负载三相半波可控整流电路

- 负载电流平均值为

$$I_d = \frac{U_d}{R} \quad (3-34)$$

- 晶闸管承受的最大反向电压，为变压器二次线电压峰值，即

$$U_{RM} = \sqrt{2} \times \sqrt{3} U_2 = \sqrt{6} U_2 = 2.45 U_2$$

- 晶闸管阳极与阴极间的最大正向电压等于变压器二次相电压的峰值，即

$$U_{FM} = \sqrt{2} U_2$$

3.5.2 带感性负载三相半波可控整流电路

- 特点：阻感负载， L 值很大， i_d 波形基本平直。
- $\alpha \leq 30^\circ$ 时：整流电压波形与电阻负载时相同。
- $\alpha > 30^\circ$ 时（如 $\alpha = 60^\circ$ 时的波形如图3-17所示）。
 - ⊕ u_2 过零时， T_1 不关断，直到 T_2 的脉冲到来，才换流，—— u_d 波形中出现负的部分。
 - ⊕ i_d 波形有一定的脉动，但为简化分析及定量计算，可将 i_d 近似为一条水平线。
- 阻感负载时的移相范围为 90° 。

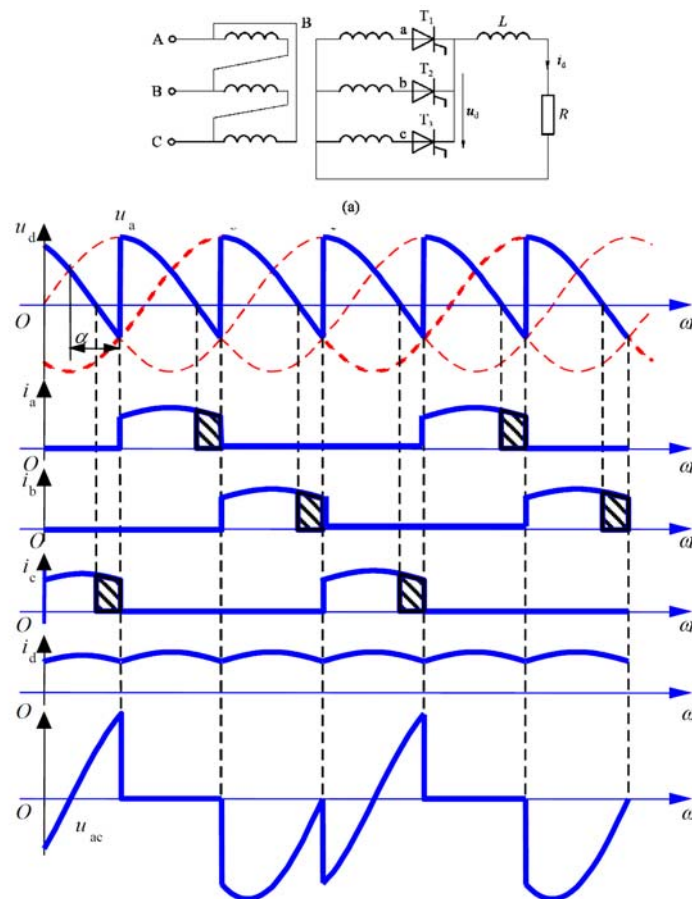


图3-17 三相半波可控整流电路，阻感负载时的电路及 $\alpha = 60^\circ$ 时的波形

3.5.2 带感性负载三相半波可控整流电路

数量关系

⊕ 由于负载电流连续， U_d 可求出，即

$$U_d = U_{d0} = 1.17U_2$$

⊕ U_d/U_2 与 α 成余弦关系，如图3-18中的曲线2所示。如果负载中的电感量不是很大， U_d/U_2 与 α 的关系将介于曲线1和2之间，曲线3给出了这种情况的一个例子。

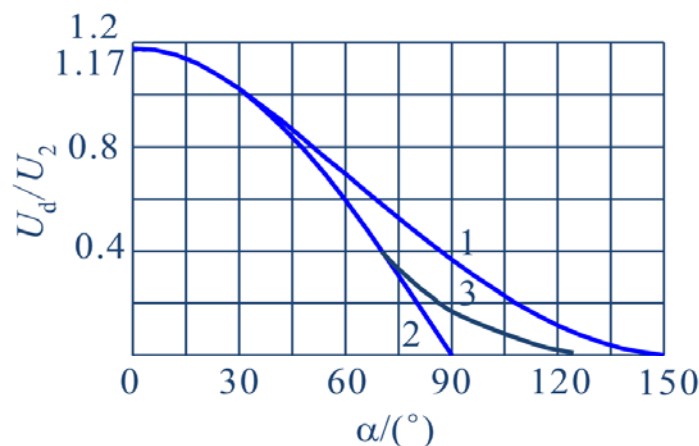


图3-18 三相半波可控整流电路

U_d/U_2 随 α 变化的关系

1—电阻负载

2—电感负载

3—电阻电感负载

3.5.2 带感性负载三相半波可控整流电路

- ✦ 变压器二次电流即晶闸管电流的有效值为

$$I_2 = I_T = \frac{1}{\sqrt{3}} I_d = 0.577 I_d \quad (3-41)$$

- ✦ 晶闸管的额定电流为

$$I_{T(AV)} = \frac{I_T}{1.57} = 0.368 I_d$$

- ✦ 晶闸管最大正、反向电压峰值均为变压器二次线电压峰值

$$U_{FM} = U_{RM} = 2.45 U_2 \quad (3-43)$$

- 三相半波的主要缺点在于其变压器二次电流中含有直流分量，为此其应用较少。

3.5.2 带感性负载三相半波可控整流电路

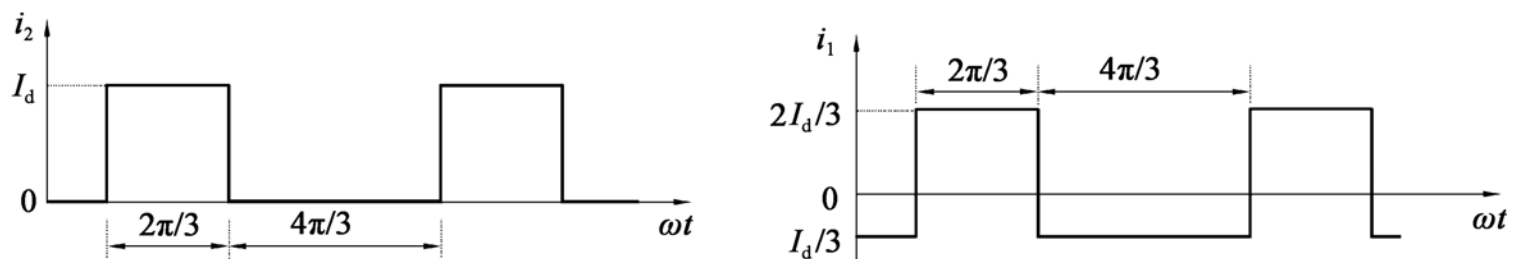


图 3.19 带感性负载时的三相半波可控整流电路变压器一、二次侧绕组中的电流波形

3.5.2 带感性负载三相半波可控整流电路

例 3.4 已知三相半波可控整流电路带大电感负载， $\alpha = 60^\circ$ ， $R = 2 \Omega$ ，整流变压器二次侧绕组电压 $U_2 = 200V$ ，求不接续流二极管和接续流二极管两种情况下的 I_d 值，并选择晶闸管元件。

解

① 不接续流二极管。大电感负载下，有

$$U_d = 1.17U_2 \cos \alpha = 1.17 \times 200 \times \cos 60^\circ = 117 \quad (V)$$

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{117}{2} = 58.5 \quad (A)$$

3.5.2 带感性负载三相半波可控整流电路

流过晶闸管的电流有效值为

$$I_T = \frac{1}{\sqrt{3}} I_d = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 58.5 = 33.75 \quad (\text{A})$$

考虑 2 倍裕量，晶闸管的额定电流为

$$I_{T(\text{av})} = 2 \times \frac{I_T}{1.57} = 2 \times \frac{33.75}{1.57} = 43 \quad (\text{A})$$

考虑 2 倍裕量，晶闸管的额定电压为

$$U_{\text{RM}} = 2 \times \sqrt{6} U_2 = 2 \times 2.45 \times 200 = 980 \quad (\text{V})$$

可选型号为 KP50-10 的晶闸管。

3.5.2 带感性负载三相半波可控整流电路

② 接续流二极管。按阻性负载电流断续公式计算，有

$$U_d = 0.675U_2 \left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{6} + \alpha\right) \right] = 0.675 \times 200 = 135$$

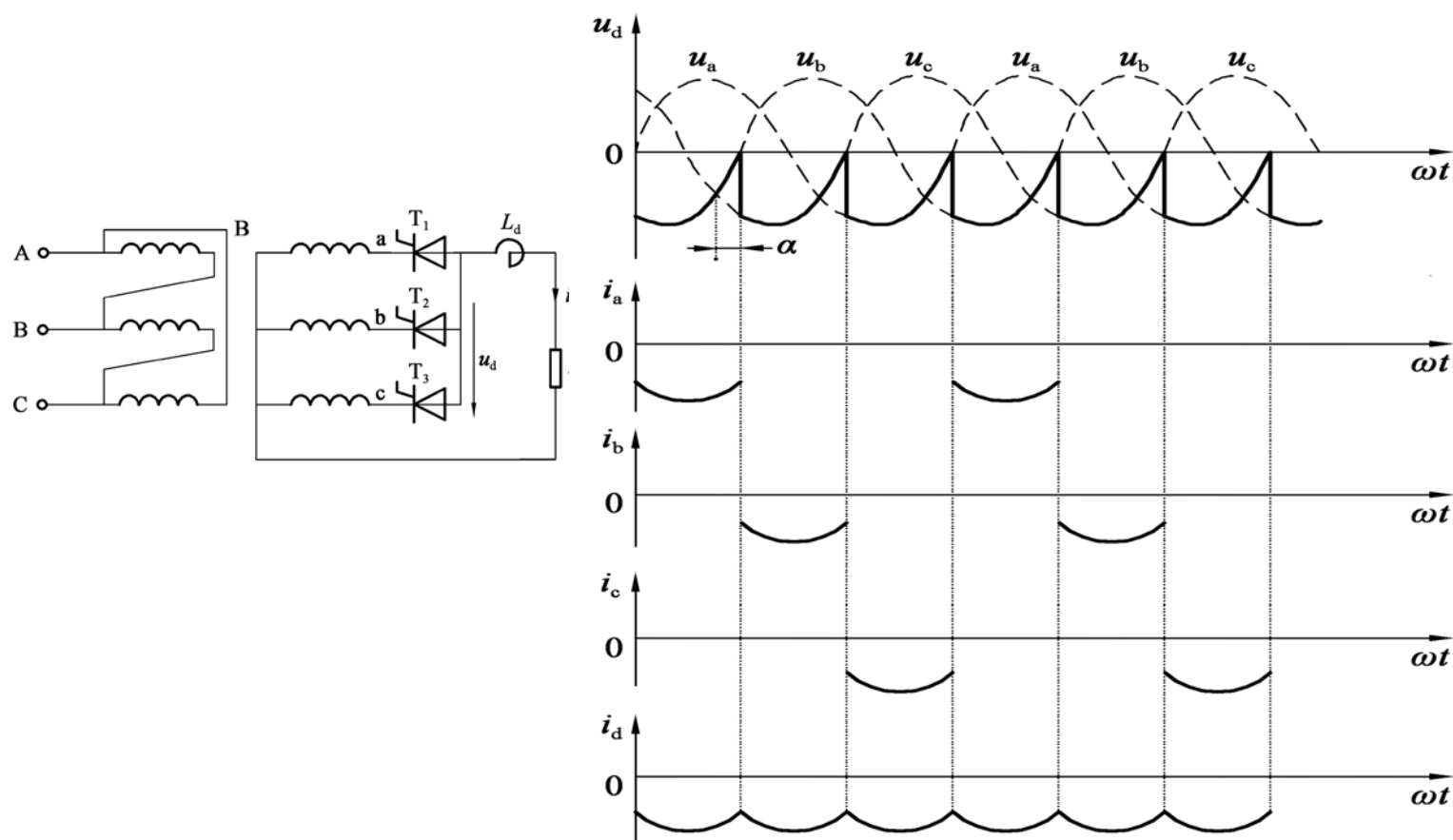
$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{135}{2} = 67.5$$

$$I_T = \sqrt{\frac{150^\circ - \alpha}{360^\circ}} \cdot I_d = 33.75$$

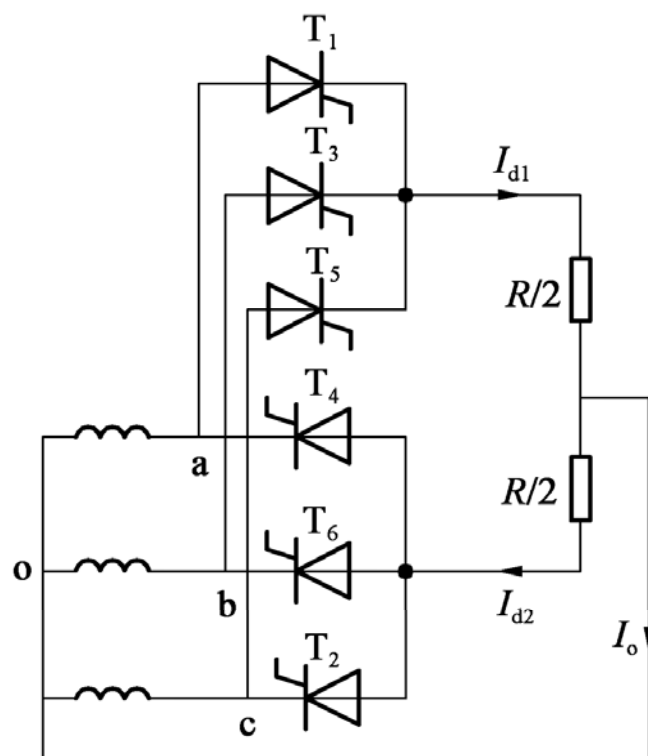
$$I_{T(av)} = 43 \qquad U_{RM} = 980$$

可选择型号为 KP50-10 的晶闸管。

3.5.3 共阳极的三相半波可控整流电路



3.6 三相桥式全控整流电路

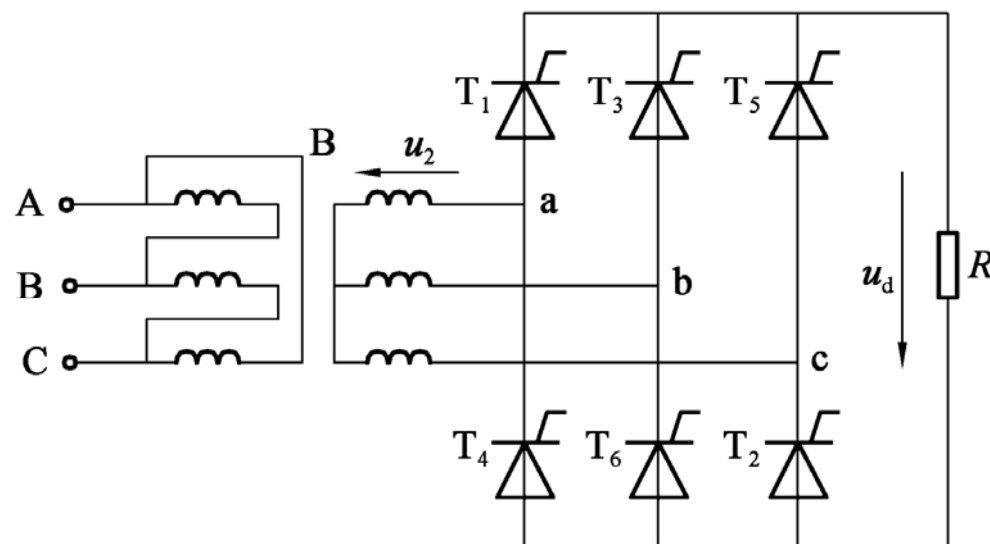


采用 1 台变压器同时对一组共阴极的晶闸管和一组共阳极的晶闸管供电，则可利用两组晶闸管输出的整流电流对于变压器二次侧方向是相反的特点，来克服变压器只对一组晶闸管供电时的缺点。

若两组负载完全相同且触发角 α 一致，则两组负载电流相等，即 $I_{d1} = I_{d2}$ ，零线电流 $I_o = 0$ ，电路零线中无电流流过，因此将零线断开不会影响电路工作

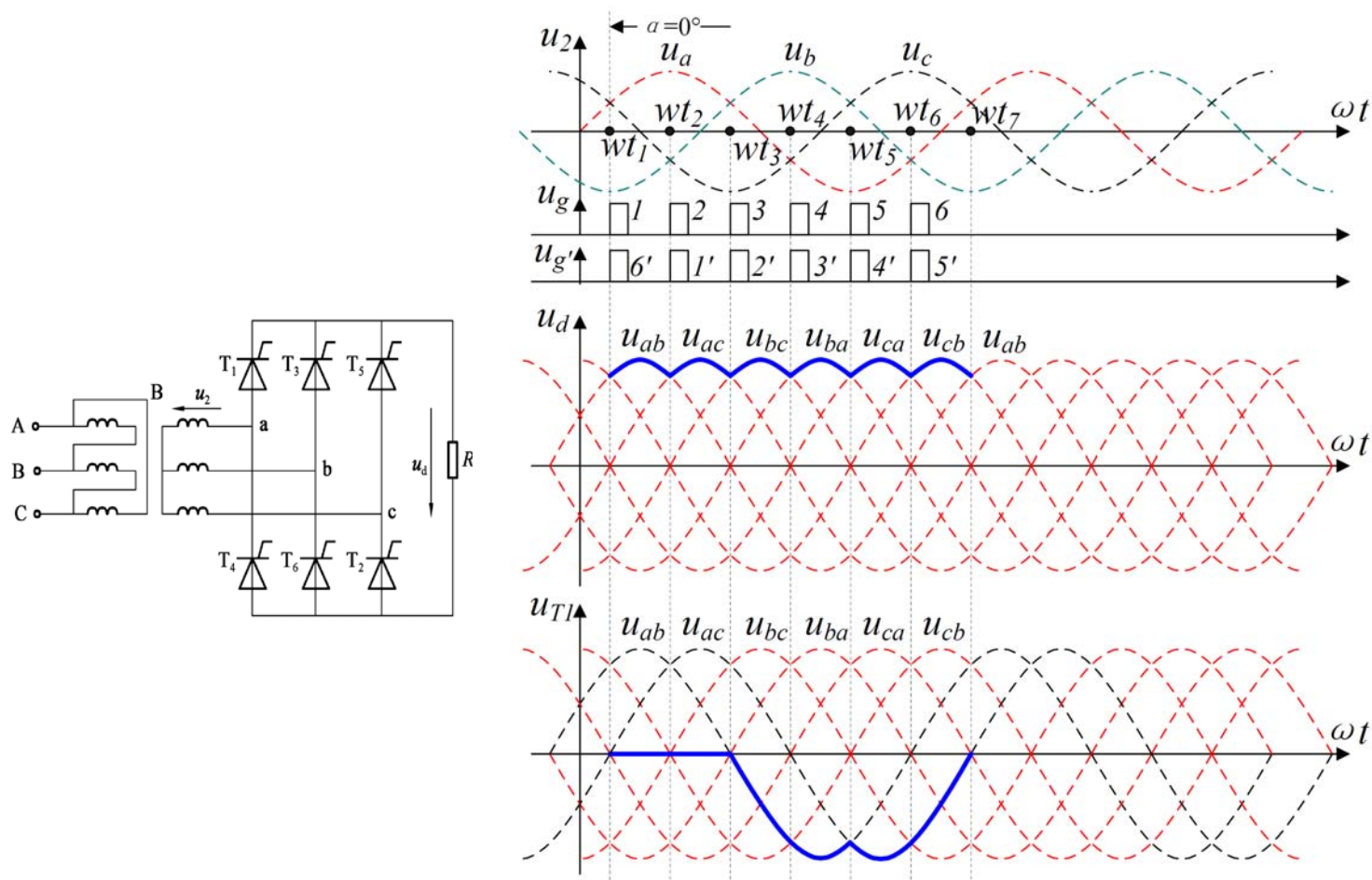
❖ 图 3.21 三相半波共阴极组和共阳极组串联的整流电路

3.6.1 带电阻负载三相桥式全控整流电路



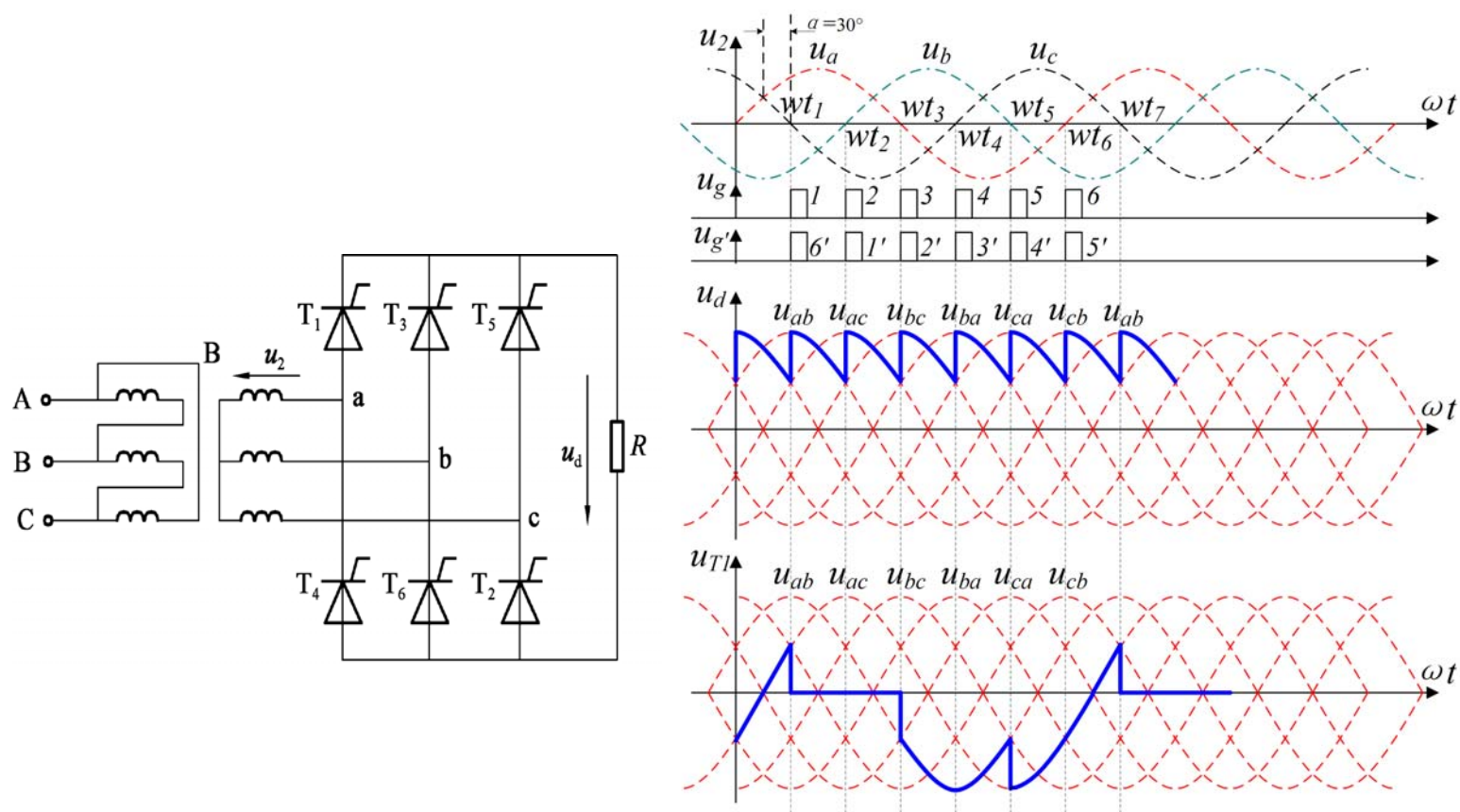
- ❖ 它实质上是共阴极组三相半波可控整流电路和共阳极组三相半波可控整流电路的串联，因此整流电压为三相半波可控整流电路的两倍。
- ❖ 输入相同的电压 U_2 ，则输出电压 U_d 比三相半波高一倍。
- ❖ 一个周期内变压器每相绕组的正、负半周都有电流流过。

3.6.1 带电阻负载三相桥式全控整流电路



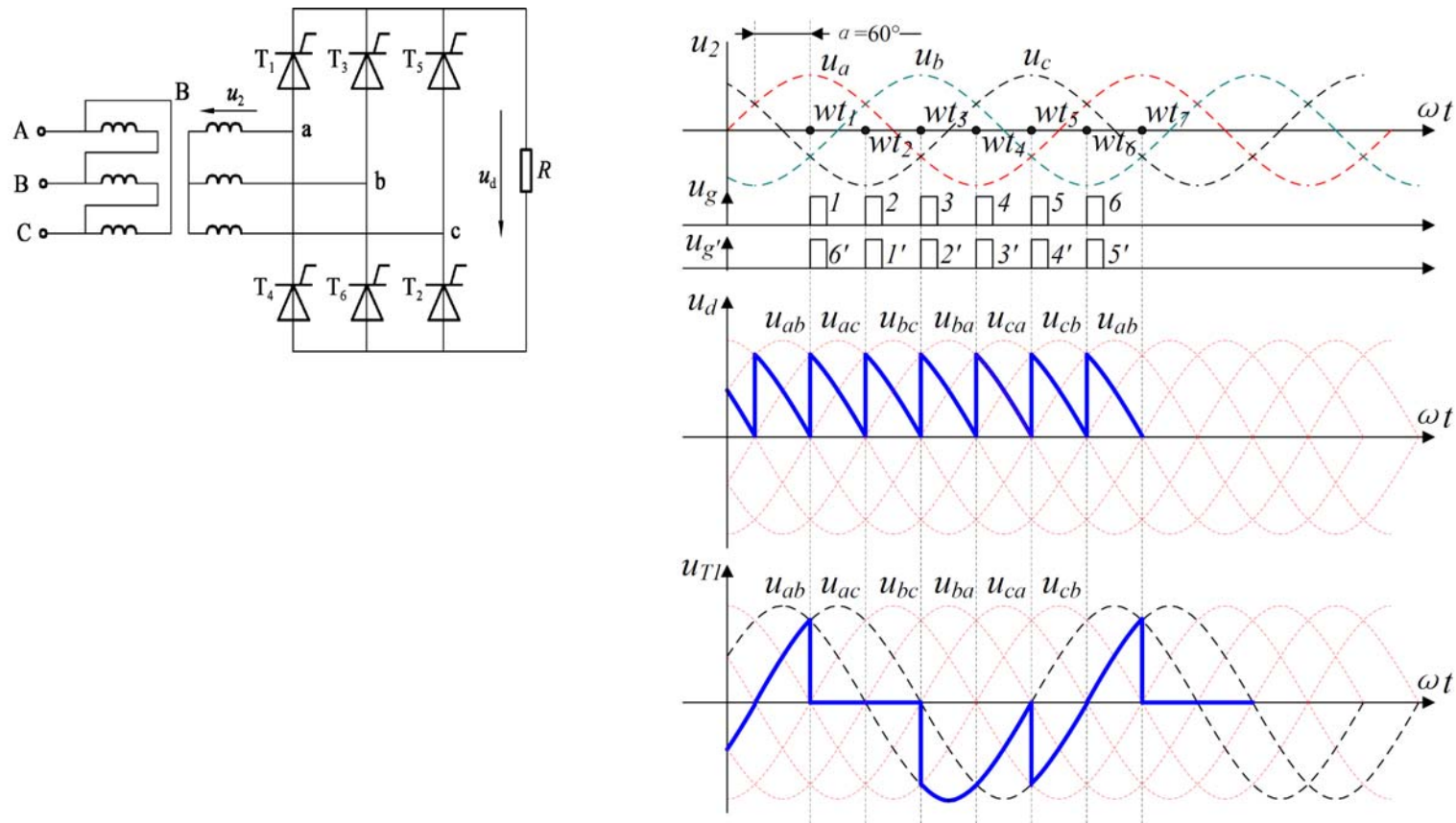
❖ 图 3.23 带阻性负载的三相桥式全控整流电路在 $\alpha=0^\circ$ 时的工作波形

3.6.1 带电阻负载三相桥式全控整流电路



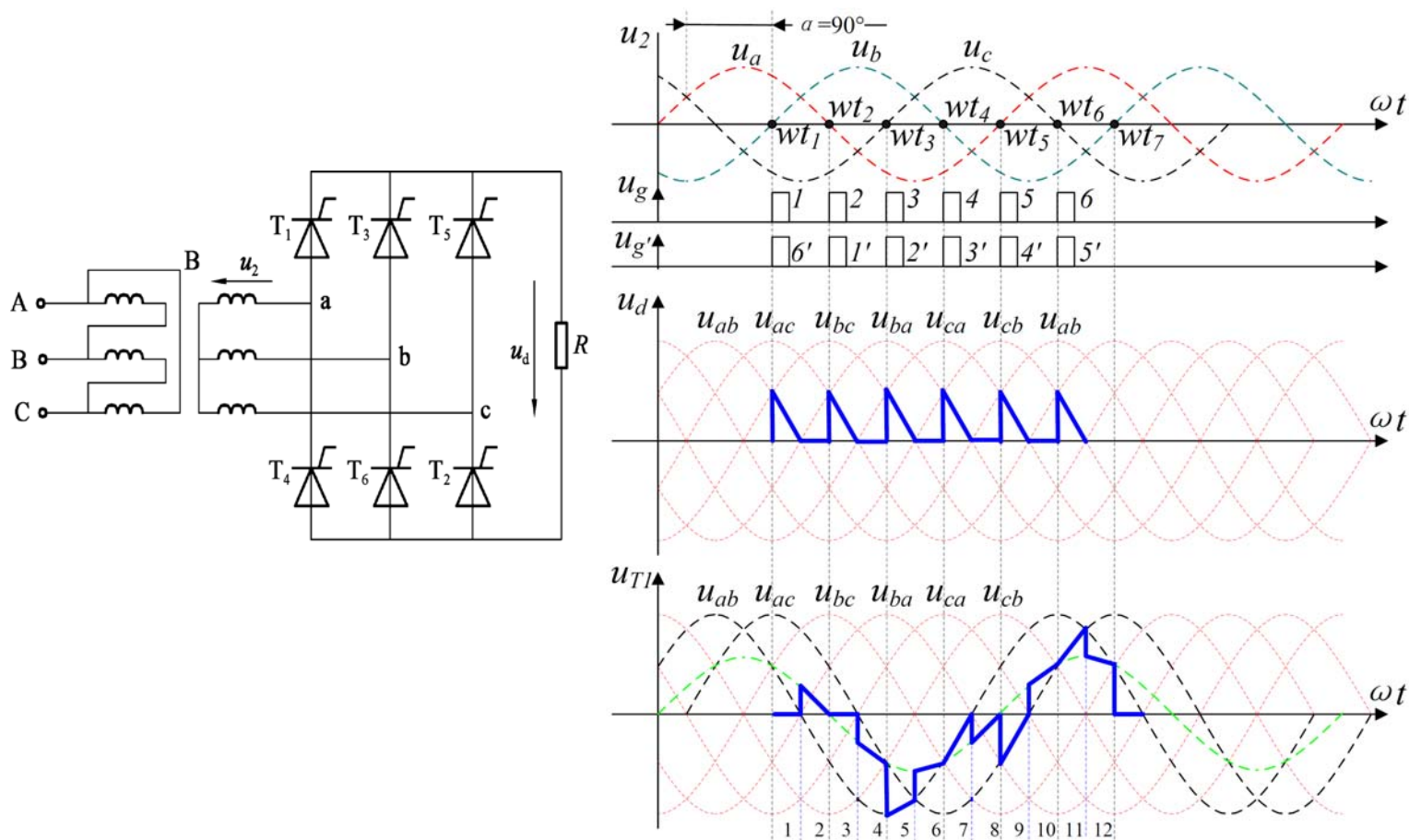
❖ 图 3.24 带阻性负载的三相桥式全控整流电路在 $\alpha=30^\circ$ 时的工作波形

3.6.1 带电阻负载三相桥式全控整流电路



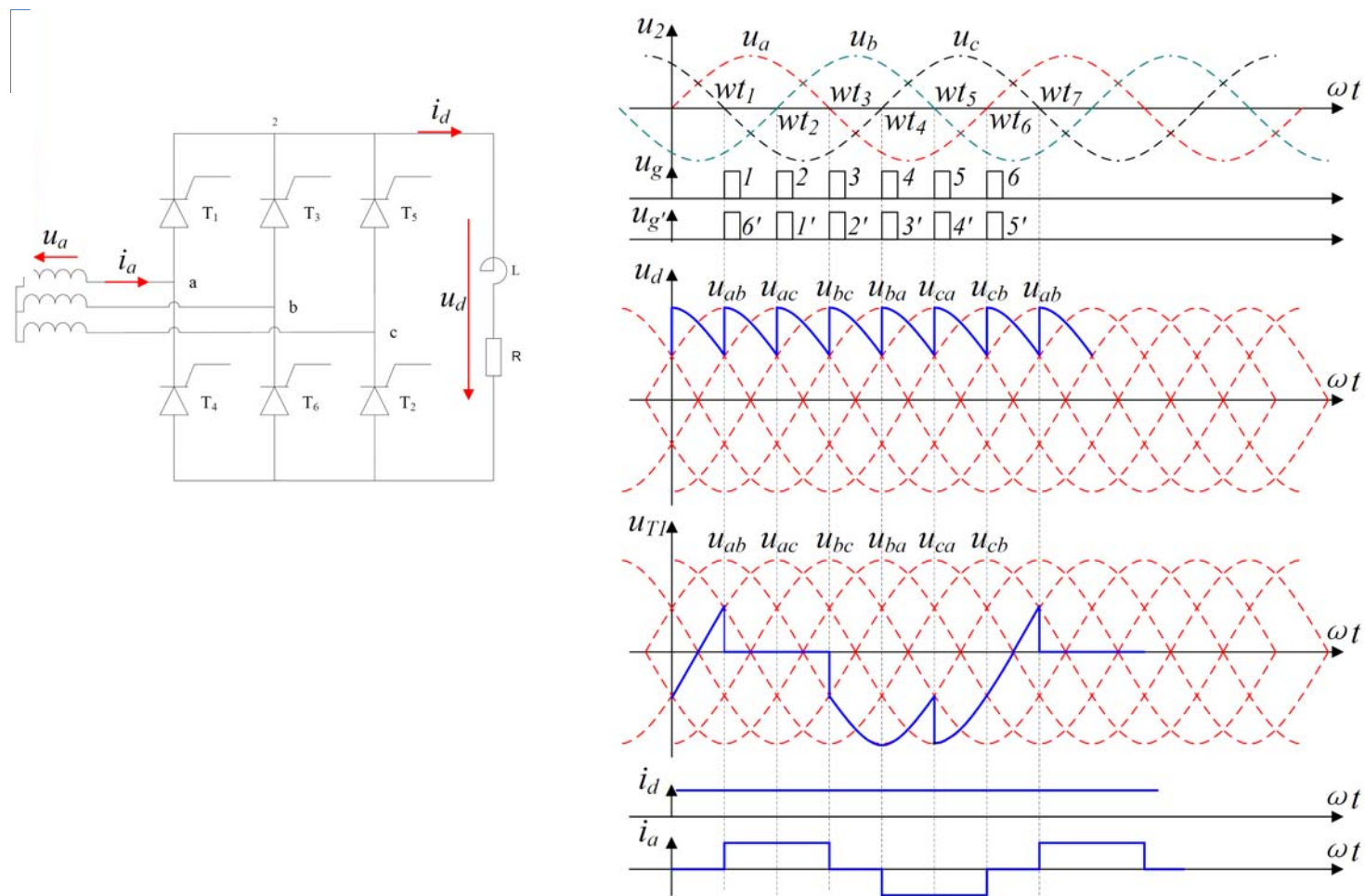
❖ 图 3.25 带阻性负载的三相桥式全控整流电路在 $\alpha=60^\circ$ 时的工作波形

3.6.1 带电阻负载三相桥式全控整流电路



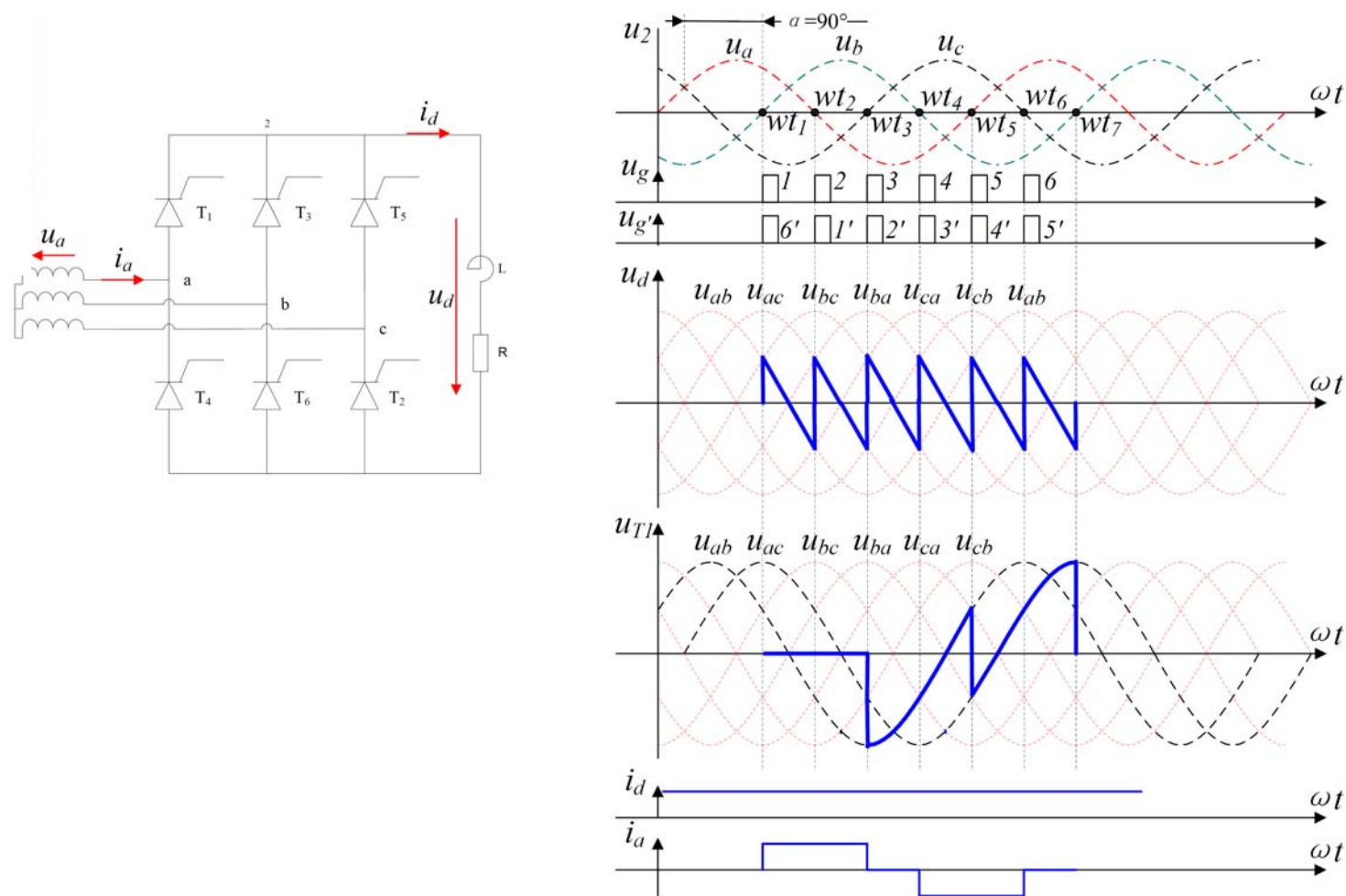
❖ 图 3.26 带阻性负载的三相桥式全控整流电路在 $\alpha=90^\circ$ 时的工作波形

3.6.2 带感性负载三相桥式全控整流电路



❖ 图 3.27 带感性负载的三相桥式全控整流电路在 $\alpha=30^\circ$ 时的工作波形

3.6.2 带感性负载三相桥式全控整流电路



❖ 图 3.28 带感性负载的三相桥式全控整流电路在 $\alpha=90^\circ$ 时的工作波形

3.6.2 带感性负载三相桥式全控整流电路



小结：三相桥式全控整流电路的特点

1. 三相桥式全控整流电路在任何时刻必须保证共阴极组和共阳极组各有一个晶闸管导通，才能构成导电回路。
2. 器件换流只在本组内进行，每隔 120° 换流一次，所以共阴极组晶闸管T1、T3、T5触发脉冲相位相差 120° ，共阳极组晶闸管 T4、T6、T2 的触发脉冲也相差 120° 。

由于共阴极组和共阳极组换流点相隔 60° ，所以每隔 60° 有一个器件换流。

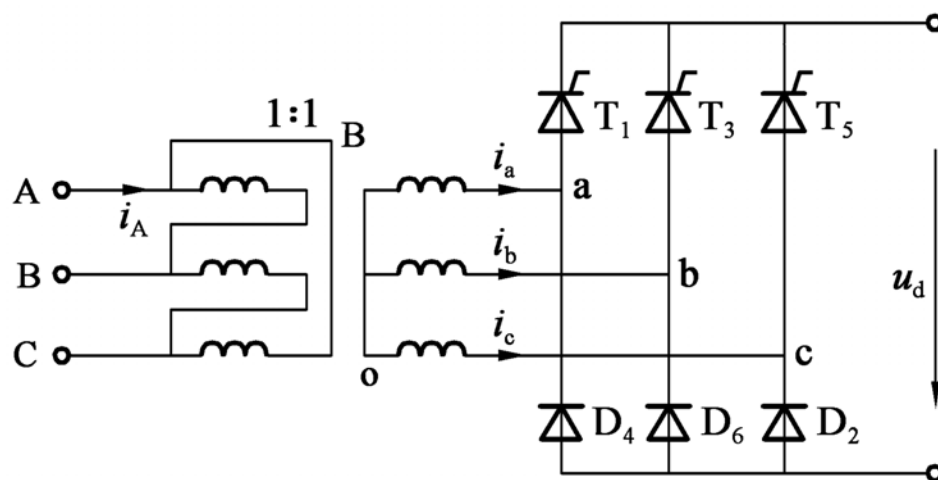
3.6.2 带感性负载三相桥式全控整流电路

3. 为了保证任何时刻共阴极组和共阳极组中各有一个晶闸管导通，或者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触发脉冲。

因而可以采用宽脉冲（脉冲宽度大于 60° ，一般取 $80^\circ \sim 100^\circ$ ）或双窄脉冲（即一个周期内对一个晶闸管连续触发两次，两次脉冲间隔 60° ）实现。

4. 三相桥式全控整流电路的输出电压是线电压的一部分，一个周期内脉动**6**次，脉动频率为**300 Hz**。

3.7 三相桥式半控整流电路



- ❖ 将三相桥式全控整流电路中的一组晶闸管用三只二极管代替，就构成了三相桥式半控整流电路。
- ❖ 电路工作特点是共阴极组晶闸管必须触发才能换流，而共阳极组二极管总是在自然换相点换流，所以，一个周期内仍然换流**6**次，**3**次为自然换流，**3**次为触发换流。

3.7.1 带阻性负载三相桥式半控整流电路



3.7.1 带阻性负载三相桥式半控整流电路



3.7.1 带阻性负载三相桥式半控整流电路



3.7.1 带阻性负载三相桥式半控整流电路



3.7.2 带电感负载三相桥式半控整流电路

3.7.2 带电感负载三相桥式半控整流电路



3.7.2 带电感负载三相桥式半控整流电路

3.7.2 带电感负载三相桥式半控整流电路

3.7.2 带电感负载三相桥式半控整流电路

❖ 作业:

3.11 3.13

3.14(设触发角度为30度)