

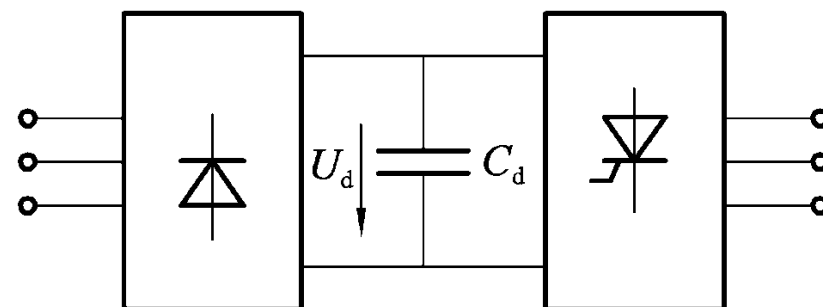


- 5.1 电压型逆变器
- 5.2 电流源型逆变器

5.1 电压型逆变器



- 电压型逆变电路，其直流侧电源为电压源，直流回路呈低阻抗。
- 交流侧输出电压波形为矩形波，输出电压波形与负载阻抗角无关。
- 交流侧输出电流波形则取决于负载的性质。为了给感性（滞后）的负载电流提供流通路径，逆变桥的各桥臂必须并联无功反馈二极管。



电压型逆变电路

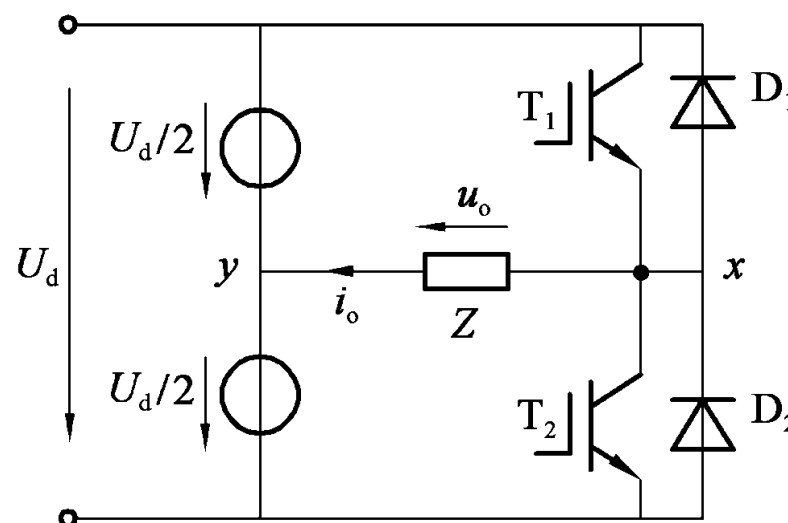
5.1 电压型逆变器



■ (1) 单相半桥型逆变器

● a) 工作原理

- ◆ 单相半桥逆变电路由一对桥臂和一个带有中点的直流电源构成
- ◆ 负载连接在直流电源中点y与两个桥臂连接点x之间
- ◆ 实际应用中常用一个直流电压源与两个容量足够大的电容器串联来代替带中点的直流电压源



单相半桥逆变电路

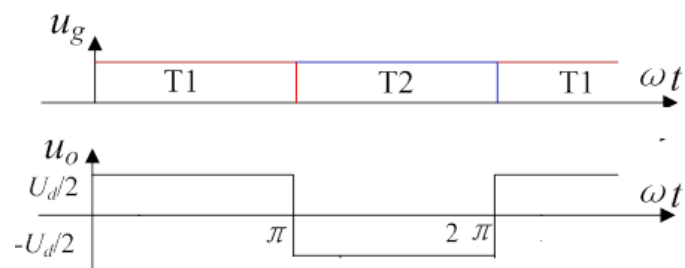
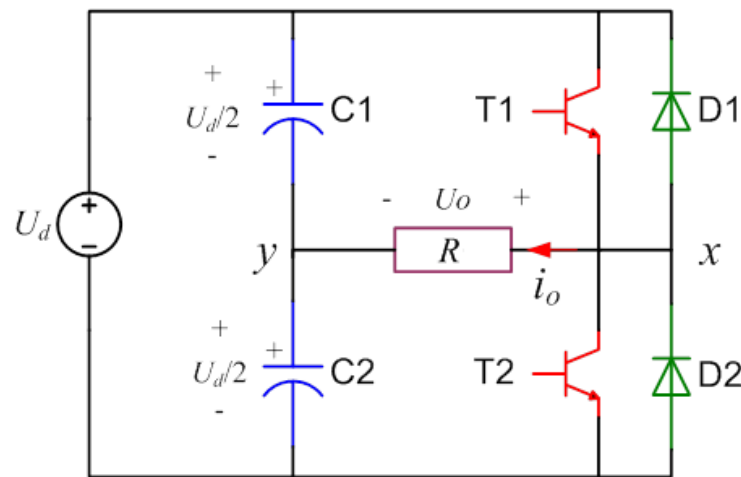
5.1 电压型逆变器



■ (1) 单相半桥型逆变器

● b) 带电阻性负载控制时序波形

- ◆ T1与T2两个开关在导通、关断控制上互补
- ◆ 在 $0 < \omega t < \pi$ 期间, T1通、T2断, i_o 经T1和直流电源(上)流动, 输出电压 u_o 为正, $u_o = +U_d/2$
- ◆ 在 $\pi < \omega t < 2\pi$ 期间, T2通、T1断, i_o 经T2和直流电源(下)流动, 输出电压 u_o 为负, $u_o = -U_d/2$
- ◆ 由于是电阻负载, 因此电流与电压同相位



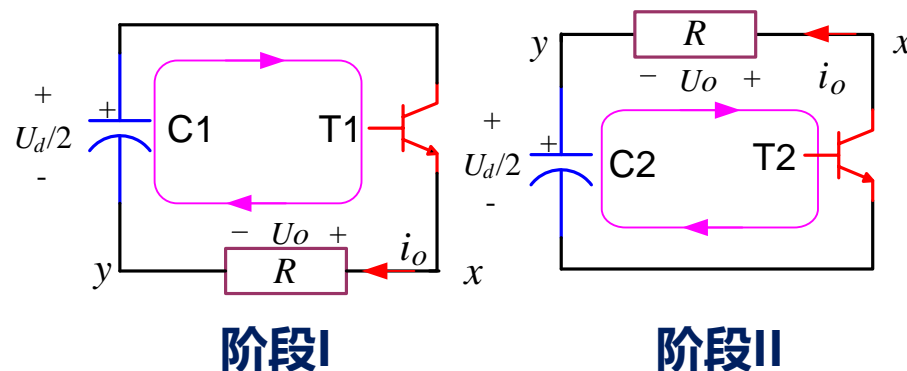
带电阻性负载单相半桥
逆变电路及其工作波形

5.1 电压型逆变器

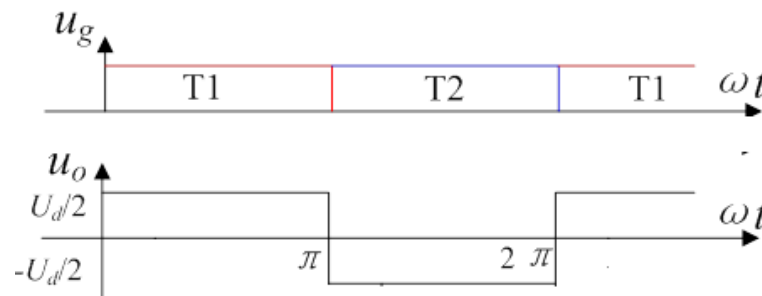


当负载为阻性，负载电流 i_o 为正弦波，电路分析过程可分为2个阶段。

阶段I： 在 $0 < \omega t < \pi$ 期间，T1通、T2断， i_o 经T1和直流电源（上）流动，输出电压 u_o 为正， $u_o = +U_d/2$ ，电流为正向。



阶段II： 在 $\pi < \omega t < 2\pi$ 时，关断T1并给T2导通信号， i_o 经T2和直流电源（下）流动，输出电压 u_o 为负， $u_o = -U_d/2$ ，电流为负向。



带电阻性负载单相半桥逆变电路工作波形

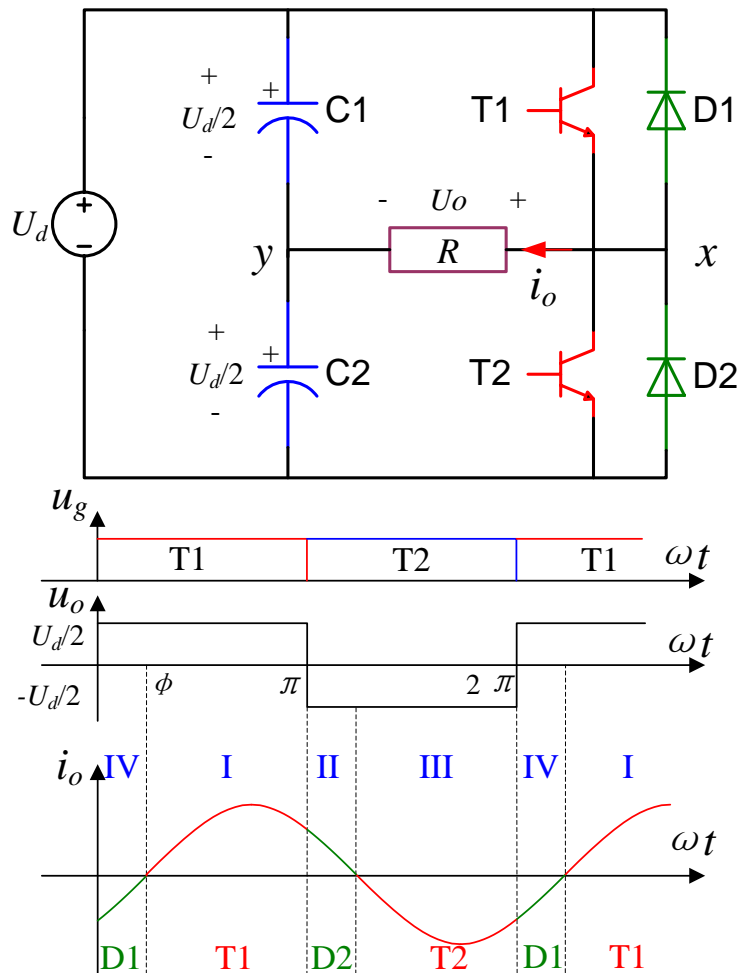
5.1 电压型逆变器



■ (1) 单相半桥型逆变器

● c) 带感性负载控制时序波形

- ◆ 负载电流 i_o 由流过开关T1与T2与二极管D1、D2的电流组成
- ◆ 当D1导通或D2导通时，负载向直流电源反馈能量
- ◆ 若触发信号是给桥臂上管T1的，则负载端输出电压为 $u_o = +U_d/2$
- ◆ 若触发信号是给桥臂上管T2的，则负载端输出电压为 $u_o = -U_d/2$

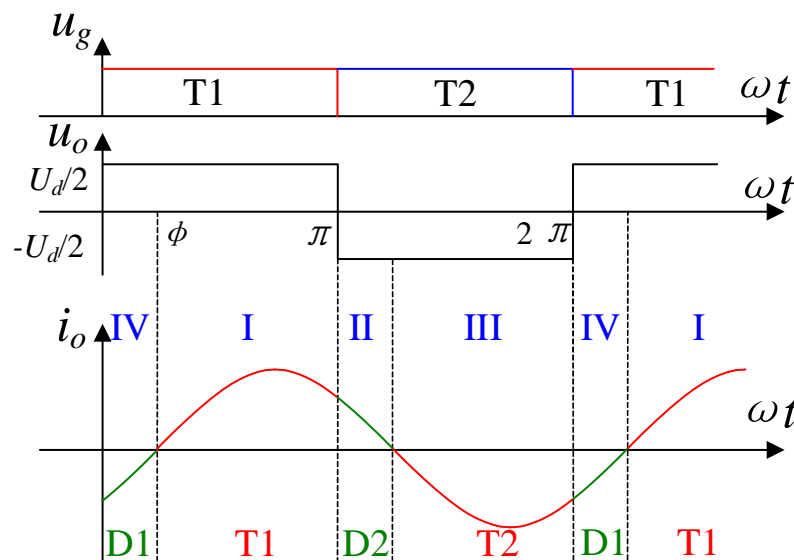
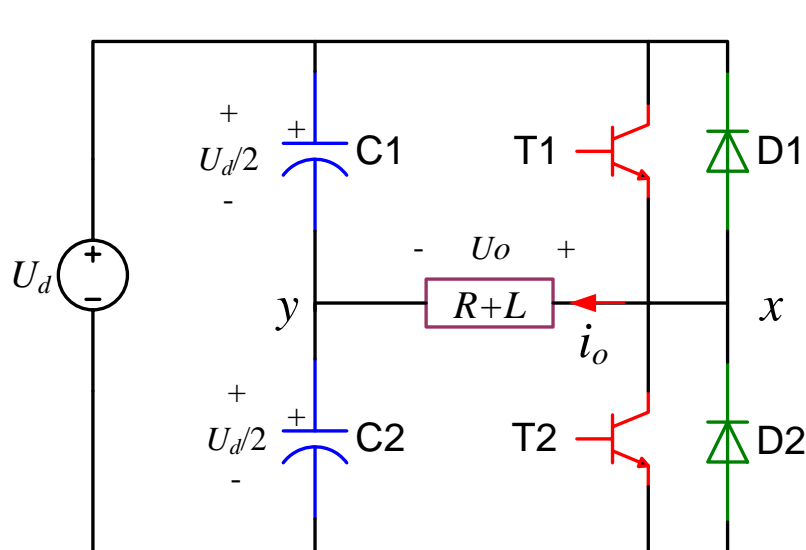


带感性负载单相半桥
逆变电路及其工作波形

■ (1) 单相半桥型逆变器

● c) 带感性负载控制时序波形

设负载为感性，负载电流 i_o 为正弦波，负载电流滞后电压 φ 角，电路分析过程可分为4个阶段。



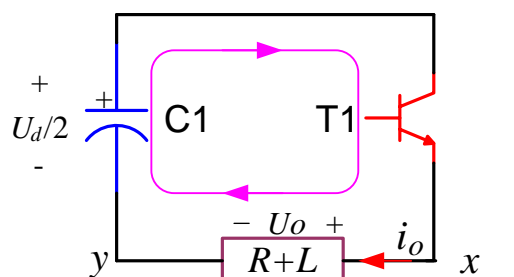
带感性负载单相半桥逆变电路及其工作波形

5.1 电压型逆变器

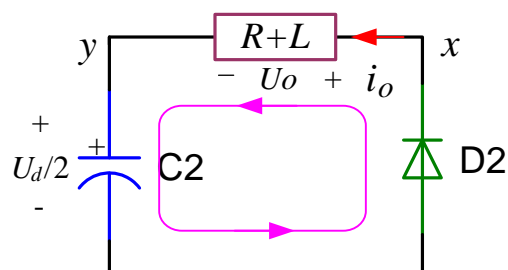


阶段I: 在 $\varphi < \omega t < \pi$ 期间, T1通、T2断, i_o 经T1和直流电源(上)流动, 输出电压 U_o 为正, $U_o = +U_d/2$, 电流为正向

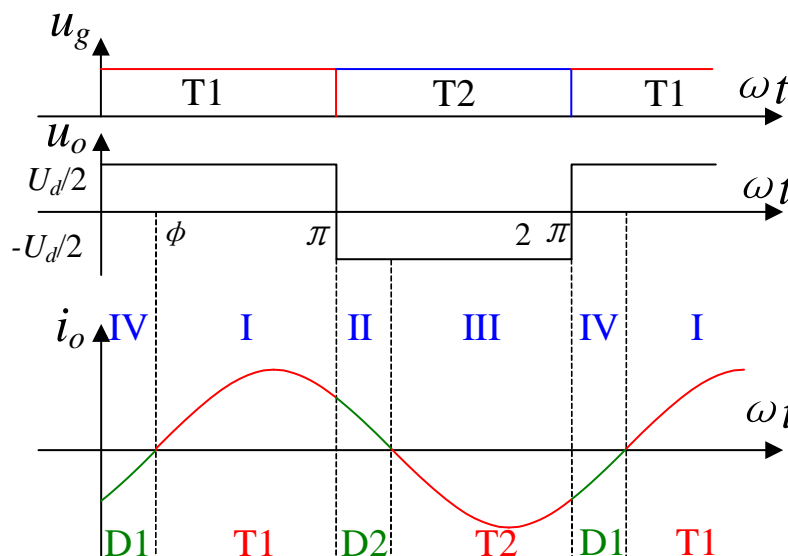
阶段II: 在 $\omega t = \pi$ 时, 关断T1并给T2导通信号, 由于感性负载电流不能立刻改变方向, 于是D2导通, i_o 经D2与直流电源(下)续流, 直到 i_o 衰减到零, T2才真正导通, i_o 开始反向, $U_o = -U_d/2$



阶段I



阶段II



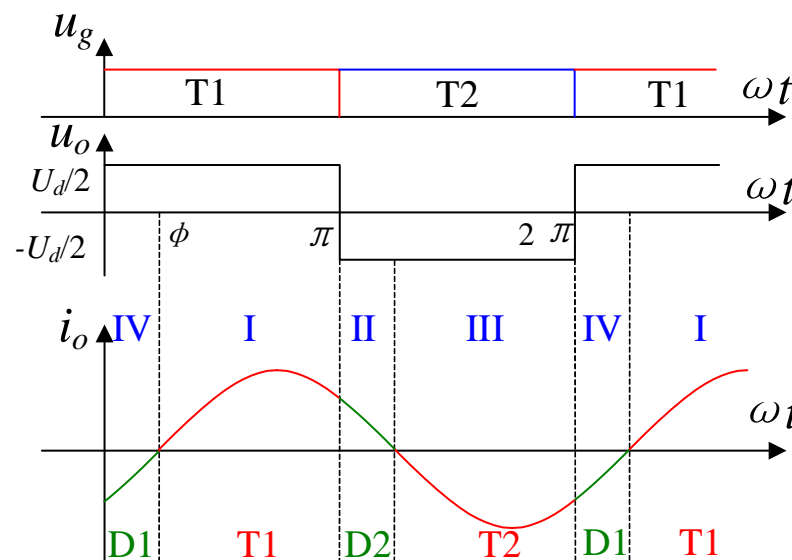
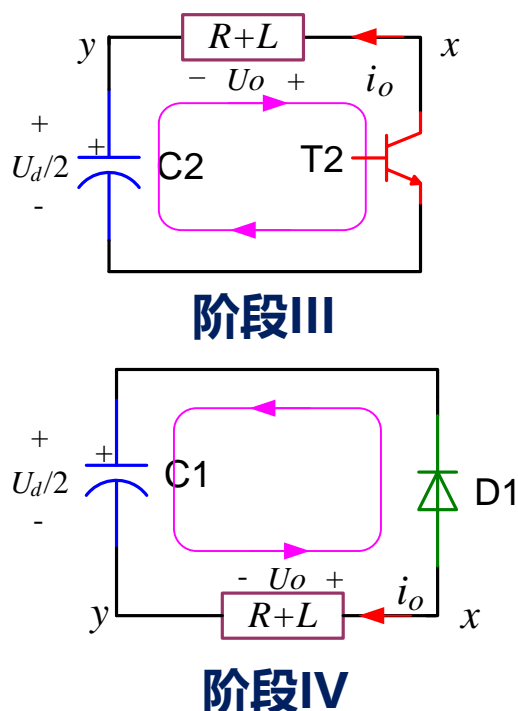
带感性负载单相半桥逆变电路工作波形

5.1 电压型逆变器



阶段III: 在 $\pi + \phi < \omega t < 2\pi$ 期间, T2通、T1断, i_o 经T2和直流电源(下)流动, 输出电压 U_o 为负, $U_o = -U_d/2$, 电流为反向

阶段IV: 在 $\omega t = 2\pi$ 时, 关断T2并给T1导通信号, 由于感性负载电流不能立刻改变方向, 于是D1导通, i_o 经D1与直流电源(上)续流, 直到 i_o 衰减到零, T1才真正导通, i_o 开始反向, $U_o = +U_d/2$



带感性负载单相半桥逆变电路工作波形

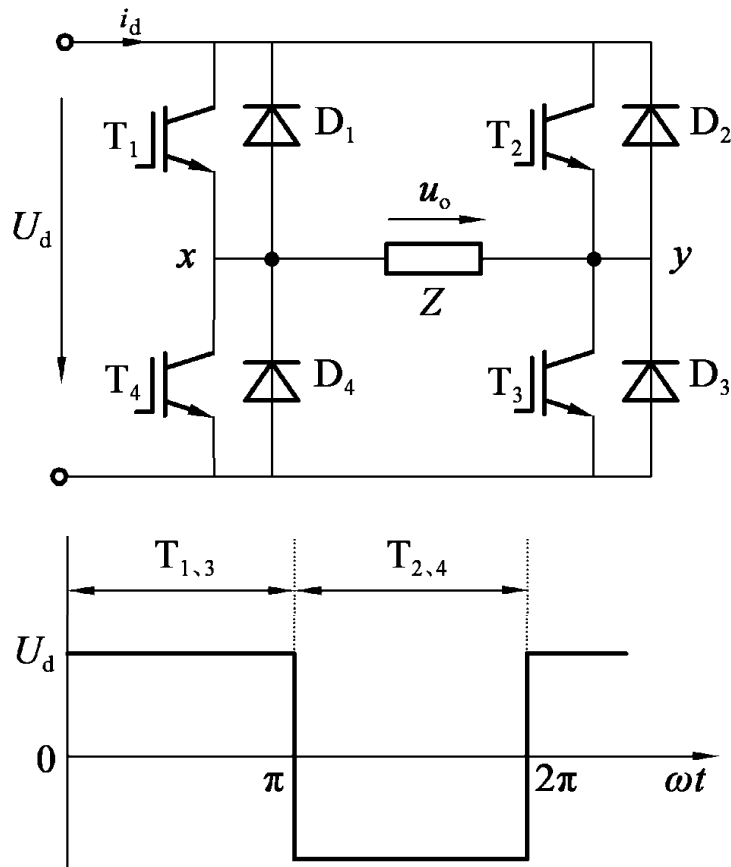
5.1 电压型逆变器



■ (2) 单相桥式逆变器

● a) 工作原理

- ◆ 电路由四个开关管 $T_1 \sim T_4$ 以及反并联的4个二极管 $D_1 \sim D_4$ 组成，负载接在两个桥臂的中点 x, y 处
- ◆ 电路中开关 T_1 与 T_3 、 T_2 与 T_4 的通、断控制信号相同并且互补，即 T_1 、 T_3 是导通信号时 T_2 、 T_4 为关断信号； T_2 、 T_4 是导通信号时 T_1 、 T_3 为关断信号
- ◆ 当 T_1 、 T_3 导通时， $u_o = +u_d$ ；当 T_2 、 T_4 导通时， $u_o = -u_d$



单相桥式逆变电路及其工作波形

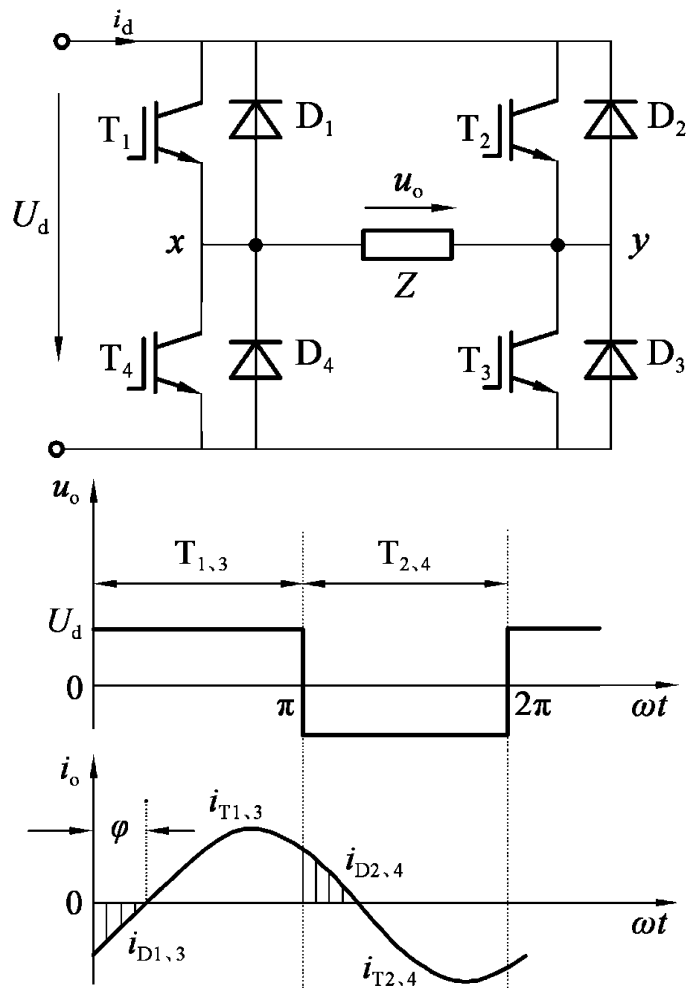
5.1 电压型逆变器



■ (2) 单相桥式逆变器

● b) 滞后负载控制时序波形

- ◆ 假设负载电流 i_o 为正弦波，在 $\omega t = \pi$ 时， T_1 、 T_3 关断并给出 T_2 、 T_4 的导通信号，此时， i_o 从 T_1 、 T_3 转移到 D_2 、 D_4 与直流电源构成的续流回路中去
- ◆ 在滞后角 φ 内， i_o 继续保持原方向流动直到该电流为零，然后 i_o 才经 T_2 、 T_4 反向流动
- ◆ 同理，当关断 T_2 、 T_4 ，给出 T_1 、 T_3 导通信号后，负载电流 i_o 改经 D_1 、 D_3 及直流电源 U_d 续流



带滞后负载单相桥式
逆变电路及其工作波形

5.1 电压型逆变器

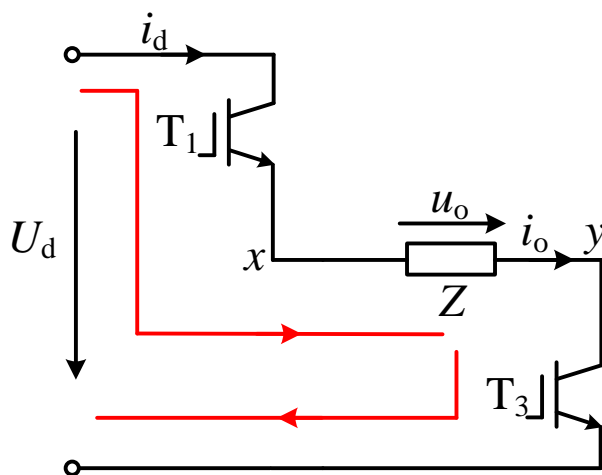


■ (2) 单相桥式逆变器

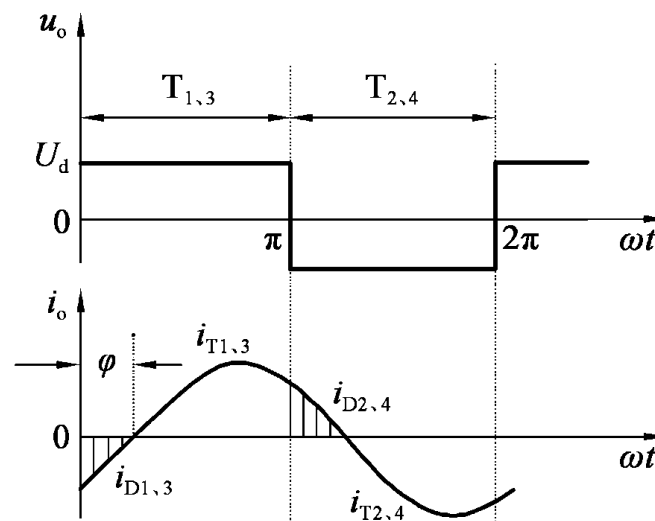
● b) 滞后负载控制时序波形

设负载为滞后负载，负载电流 i_o 为正弦波，负载电流滞后电压 φ 角，电路分析过程可分为4个阶段。

阶段I: 在 $\varphi < \omega t < \pi$ 期间， T_1 、 T_3 通、 T_2 、 T_4 断， i_o 经 T_1 、 T_3 和直流电源流动，输出电压 u_o 为正， $u_o = +u_d$ ，电流为正向



阶段I

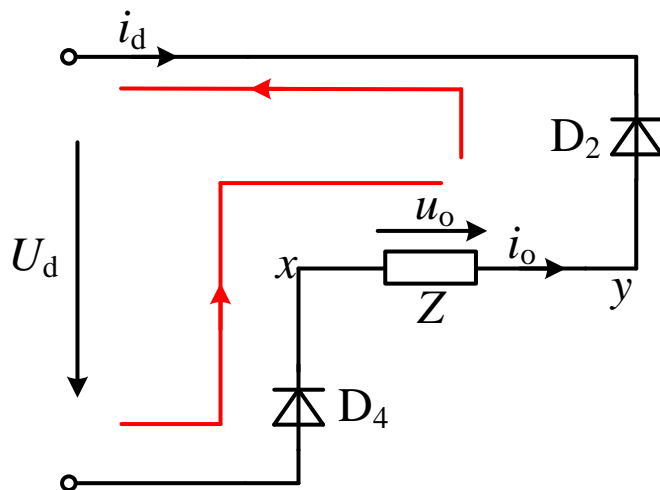


带滞后负载单相桥式逆变电路工作波形

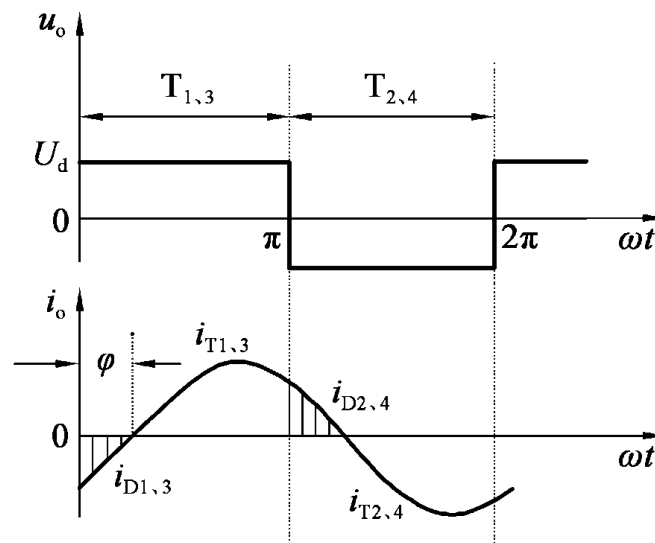
■ (2) 单相桥式逆变器

● b) 滞后负载控制时序波形

阶段II: 在 $\omega t = \pi$ 时, 关断 T_1 、 T_3 并给 T_2 、 T_4 导通信号, 由于感性负载电流不能立刻改变方向, 于是 D_2 、 D_4 导通, i_o 经 D_2 、 D_4 与直流电源续流, 直到 i_o 衰减到零, T_2 、 T_4 才真正导通, i_o 开始反向, $u_o = -u_d$



阶段II

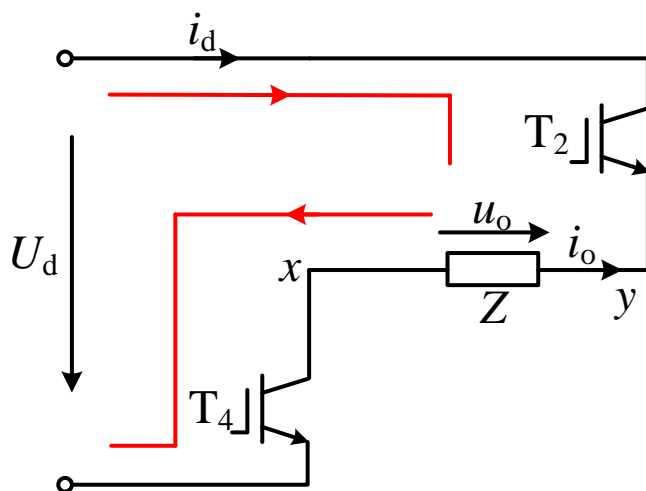


带滞后负载单相桥式逆变电路工作波形

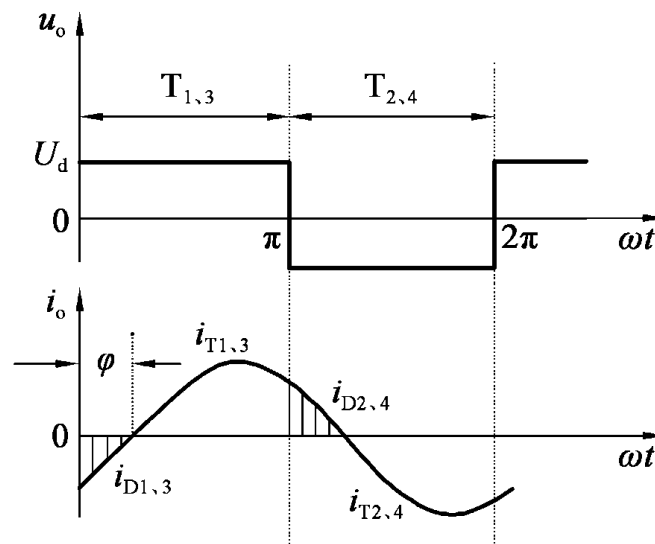
■ (2) 单相桥式逆变器

● b) 滞后负载控制时序波形

阶段III: 在 $\pi + \varphi < \omega t < 2\pi$ 期间, T_2 、 T_4 通、 T_1 、 T_3 断, i_o 经 T_2 、 T_4 和直流电源流动, 输出电压 u_o 为负, $u_o = -U_d$, 电流为反向



阶段III



带滞后负载单相桥式逆变电路工作波形

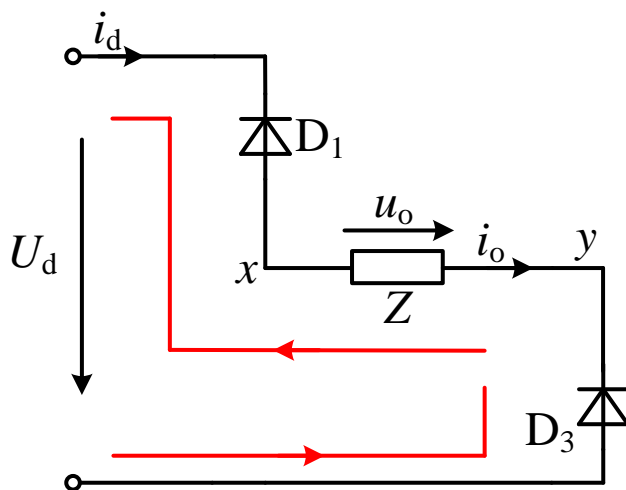
5.1 电压型逆变器



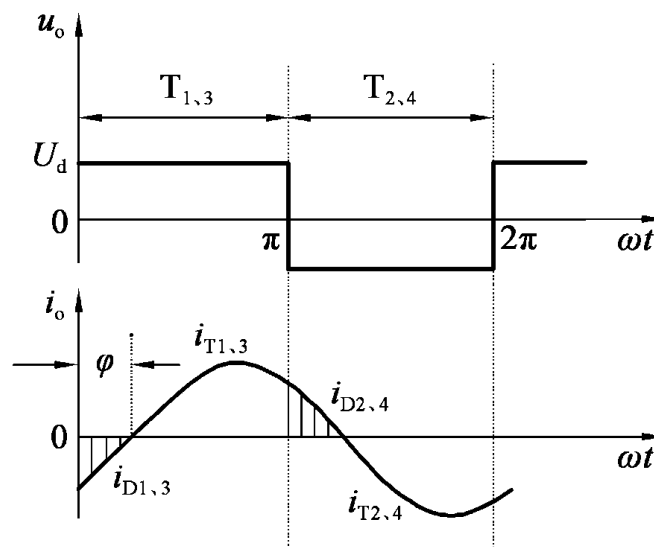
■ (2) 单相桥式逆变器

● b) 滞后负载控制时序波形

阶段IV： 在 $\omega t=2\pi$ 时，关断 T_2 、 T_4 并给 T_1 、 T_3 导通信号，由于感性负载电流不能立刻改变方向，于是 D_1 、 D_3 导通， i_o 经 D_1 、 D_3 与直流电源续流，直到 i_o 衰减到零， T_1 、 T_3 才真正导通， i_o 开始反向， $u_o=+u_d$



阶段IV



带滞后负载单相桥式逆变电路工作波形

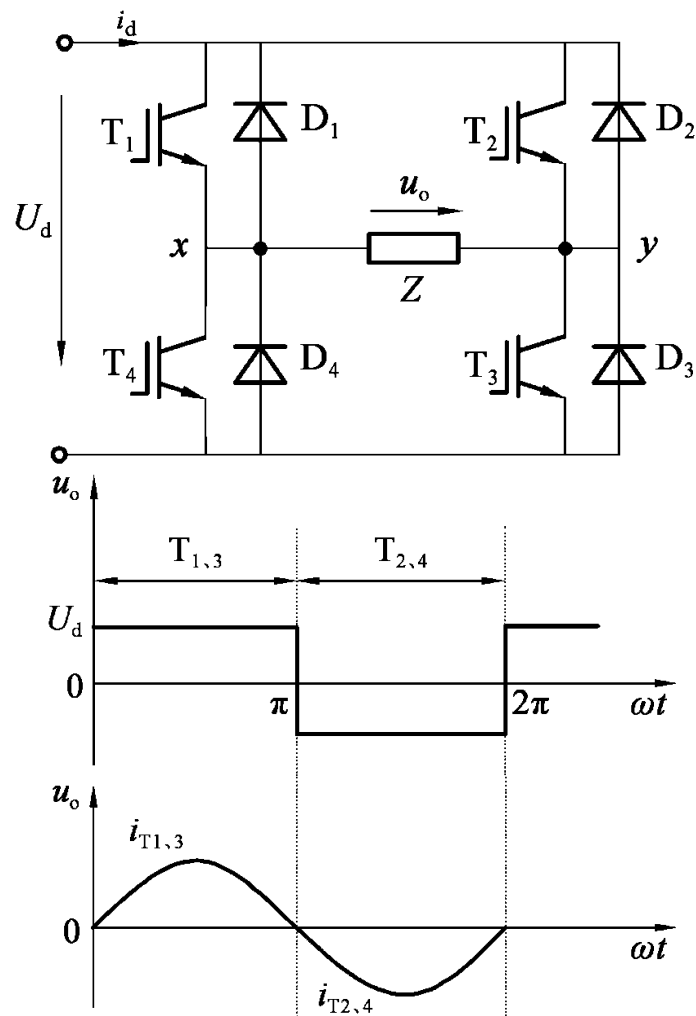
5.1 电压型逆变器



■ (2) 单相桥式逆变器

● c) 同相位负载控制时序波形

- ◆ 设负载电流是正弦波，且负载电压与电流同相（例如串联谐振时）
- ◆ 由于负载电压与负载电流的零点一致，开关 T_1 、 T_3 与 T_2 、 T_4 将分别流过正弦半波电流，而二极管 $D_1 \sim D_4$ 则完全没有电流流过
- ◆ 开关 $T_1 \sim T_4$ 的导通与关断均发生在负载电流过零处，所以开关的开通与关断损耗为零



带同相位负载单相桥式
逆变电路及其工作波形

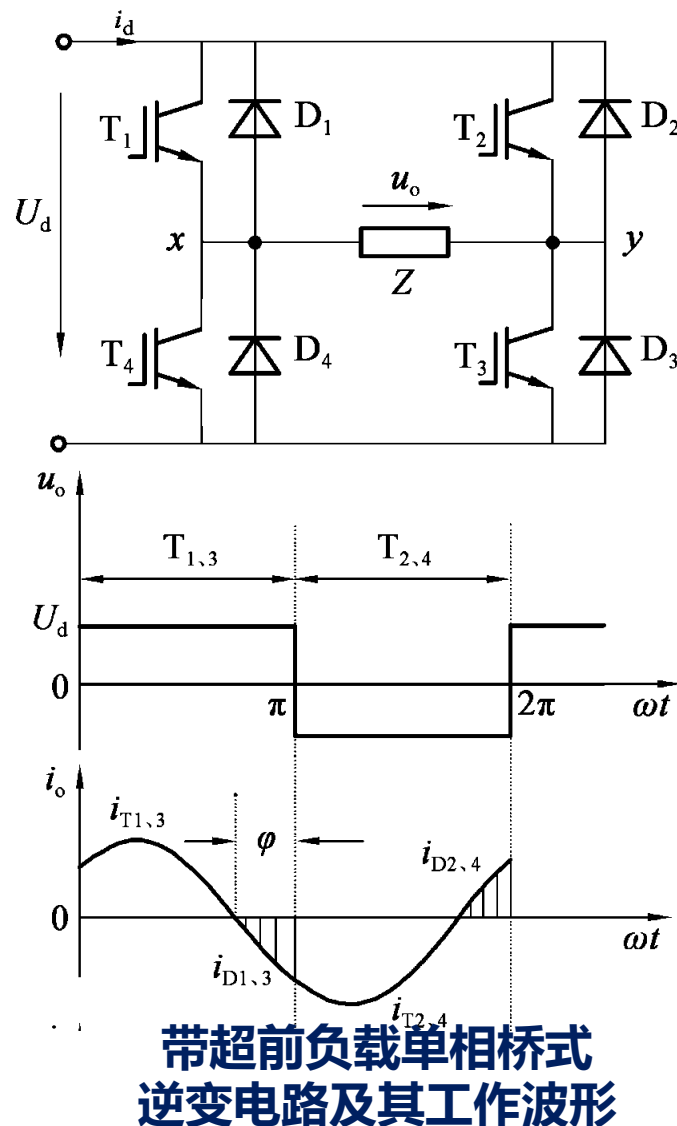
5.1 电压型逆变器



■ (2) 单相桥式逆变器

● d) 超前负载控制时序波形

- ◆ 设负载电流 i_o 为正弦波且超前负载电压 u_o 一个相角 φ
- ◆ 开关（例如 T_1 、 T_3 ）在导通 $\pi - \varphi$ 后，其中的电流会自然下降到零，在这个半周的其余部分它们承受与之并联的二极管（即 D_1 、 D_3 ）导通产生的反压
- ◆ 所以，开关 $T_1 \sim T_4$ 可以使用诸如晶闸管一类的半控开关而不必采用强迫换流措施



5.1 电压型逆变器

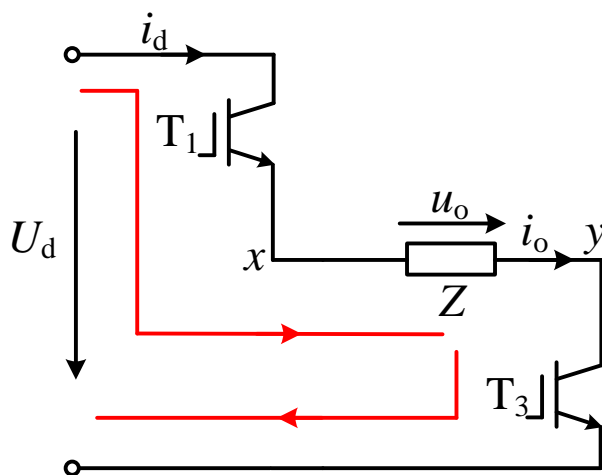


■ (2) 单相桥式逆变器

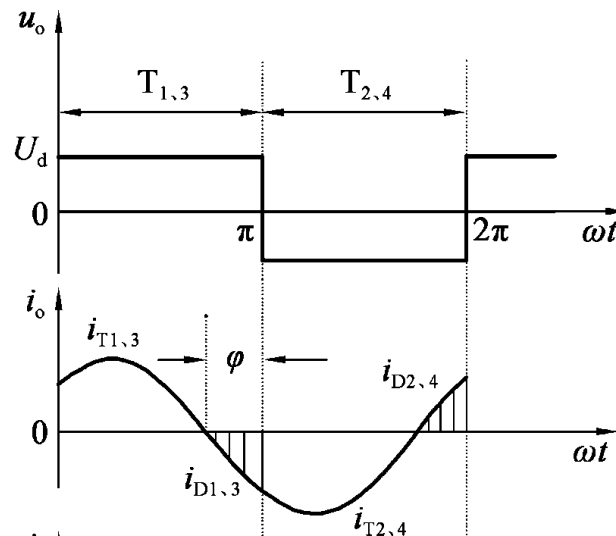
● b) 超前负载控制时序波形

设负载为超前负载，负载电流 i_o 为正弦波，负载电流超前电压 φ 角，电路分析过程可分为4个阶段。

阶段I: 在 $0 < \omega t < \pi - \varphi$ 期间， T_1 、 T_3 通、 T_2 、 T_4 断， i_o 经 T_1 、 T_3 和直流电源流动，输出电压 u_o 为正， $u_o = +U_d$ ，电流为正向



阶段I



带滞后负载单相桥式逆变电路工作波形

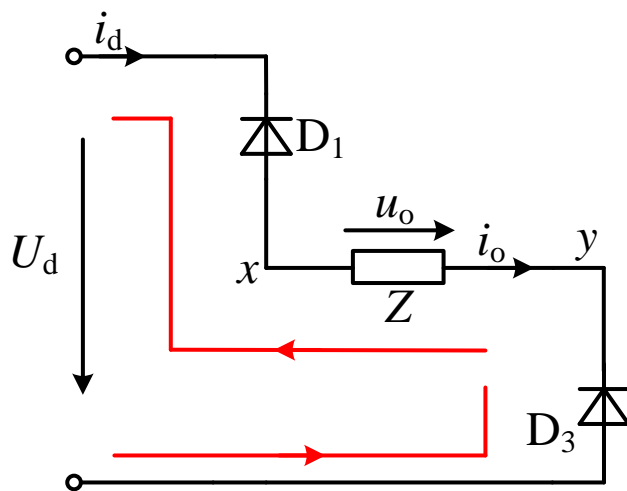
5.1 电压型逆变器



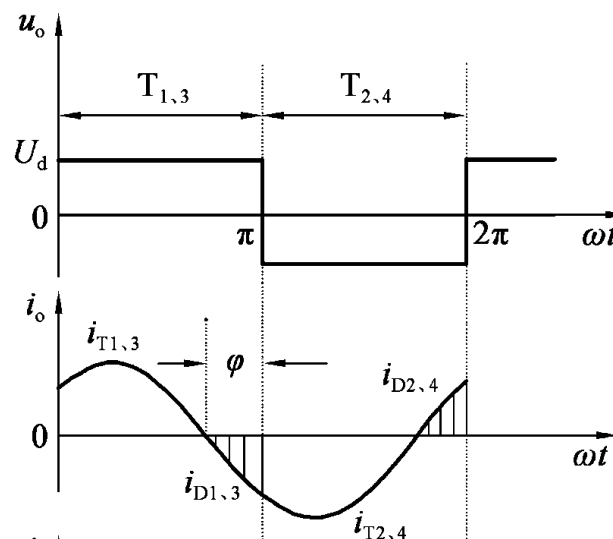
■ (2) 单相桥式逆变器

● b) 超前负载控制时序波形

阶段II: 在 $\pi - \varphi < \omega t < \pi$ 期间, 电流自然下降到0, T_1 、 T_3 承受与之并联的二极管 D_1 、 D_3 导通产生的反压, 输出电压 u_o 为正, $u_o = +u_d$, 电流为负向



阶段II

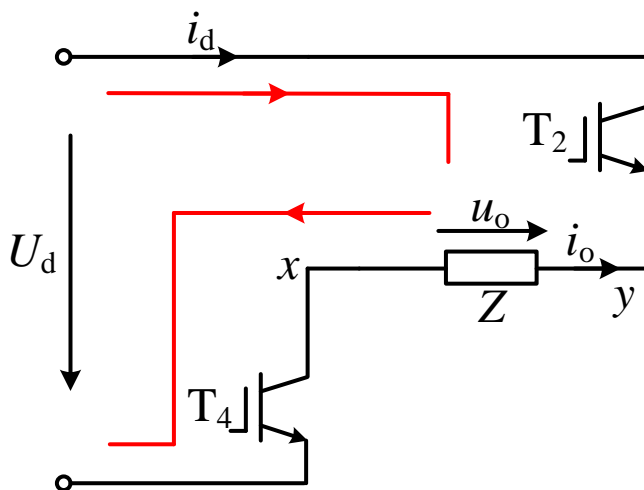


带滞后负载单相桥式逆变电路工作波形

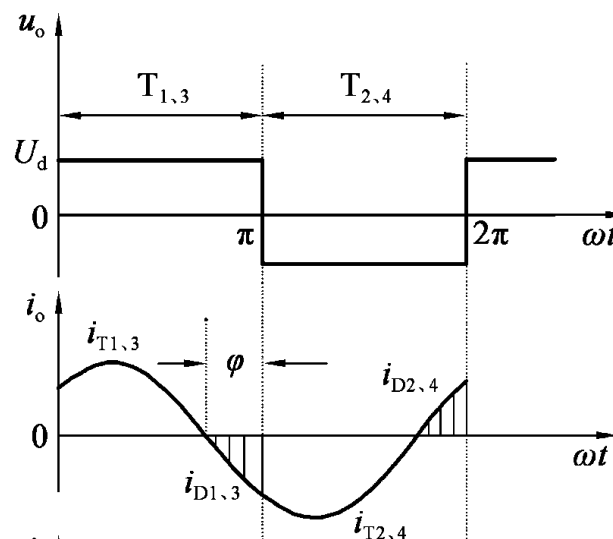
■ (2) 单相桥式逆变器

● b) 超前负载控制时序波形

阶段III: 在 $\pi < \omega t < 2\pi - \varphi$ 期间, T_2 、 T_4 通、 T_1 、 T_3 断, i_o 经 T_2 、 T_4 和直流电源流动, 输出电压 u_o 为负, $u_o = -u_d$, 电流为反向



阶段III

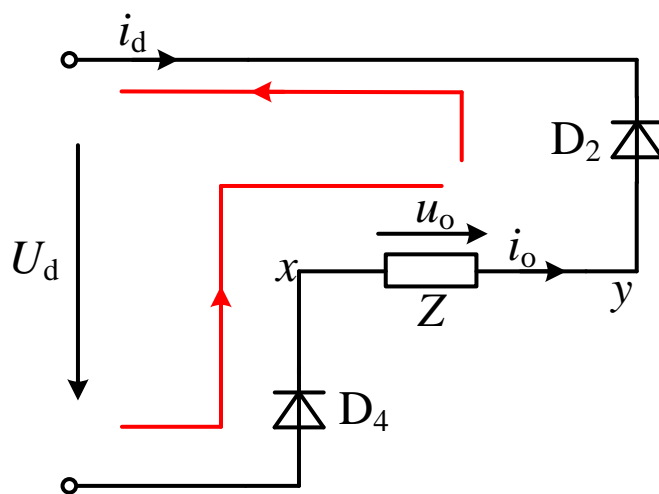


带滞后负载单相桥式逆变电路工作波形

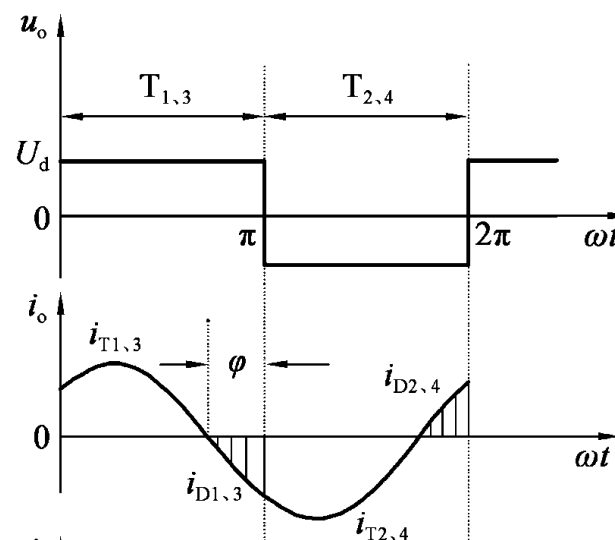
■ (2) 单相桥式逆变器

● b) 超前负载控制时序波形

阶段IV： 在 $2\pi - \varphi < \omega t < 2\pi$ 时，电流自然下降到0， T_2 、 T_4 承受与之并联的二极管 D_2 、 D_4 导通产生的反压， $u_o = -u_d$ ，电流正向



阶段IV

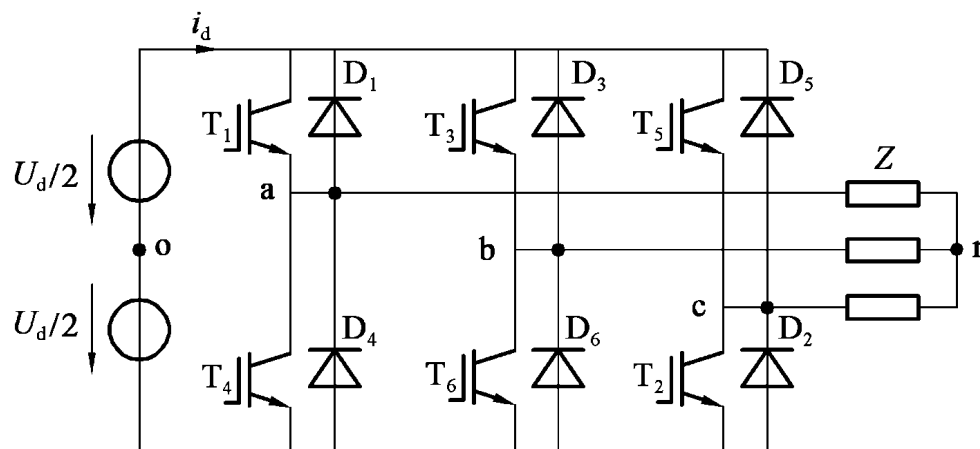


带滞后负载单相桥式逆变电路工作波形

■ (3) 三相电压型逆变器

● a) 工作原理

- ◆ 三相逆变电路由 6 个带无功反馈二极管的全控开关构成
- ◆ 三相负载接在三个半桥的输出端，负载中点为 “n”
- ◆ 虽然实际上只需要一个直流电压源，但为分析方便，可将该电源看成是两个电源的串联，并有一个假想的中点 “o”。



三相180°导通电压型逆变电路

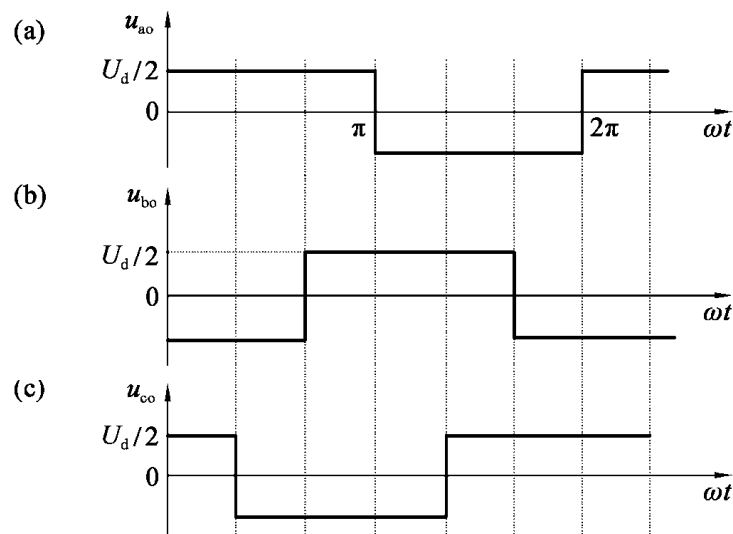
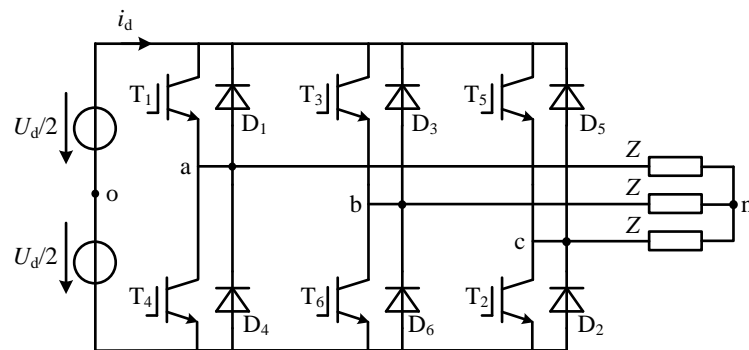
5.1 电压型逆变器



■ (3) 三相电压型逆变器

● b) 方波控制时序波形

- ◆ 电路工作时开关 $T_1 \sim T_6$ 均导通 180°
- ◆ 导通控制顺序为： T_1 、 T_2 、 $T_3 \rightarrow T_2$ 、 T_3 、 $T_4 \rightarrow T_3$ 、 T_4 、 $T_5 \rightarrow T_4$ 、 T_5 、 $T_6 \rightarrow T_5$ 、 T_6 、 $T_1 \rightarrow T_6$ 、 T_1 、 T_2 ，每个状态持续 60°
- ◆ 根据半桥逆变器工作原理，可由开关状态直接得到桥臂中点对电源中点o的电位波形。它们是 180° 的方波交流电压，其幅值为 $U_d/2$ ，每个半桥工作 180° ，三个半桥相位相差 120° 。



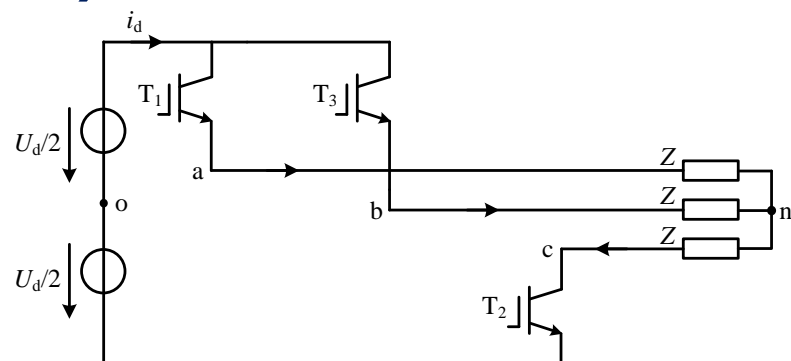
三相电压型逆变电路及其工作波形

5.1 电压型逆变器

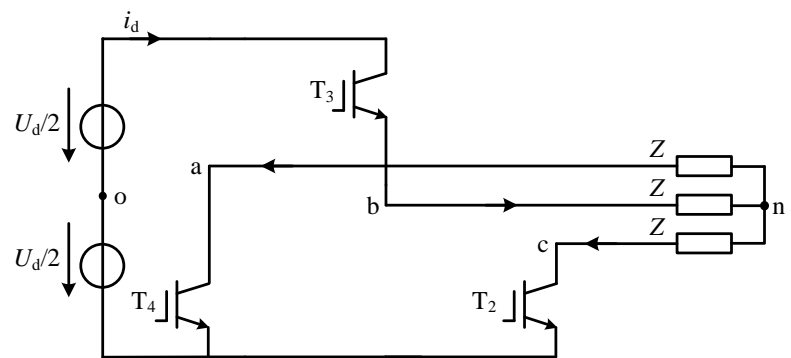


■ (3) 三相电压型逆变器

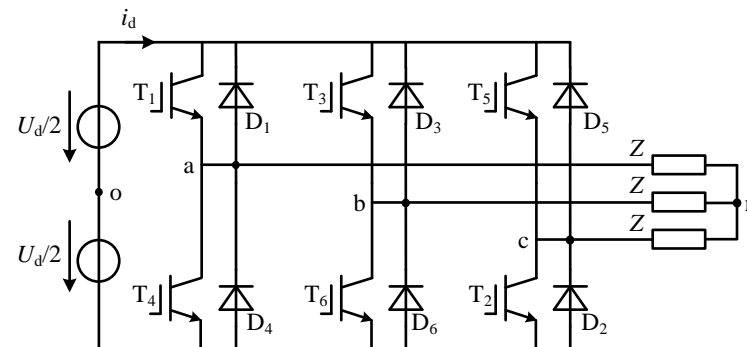
● b) 方波控制时序波形



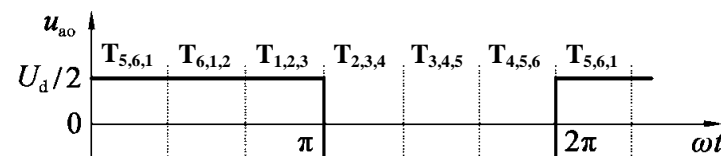
T₁、T₂、T₃导通



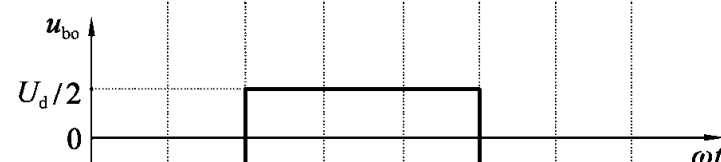
T₂、T₃、T₄导通



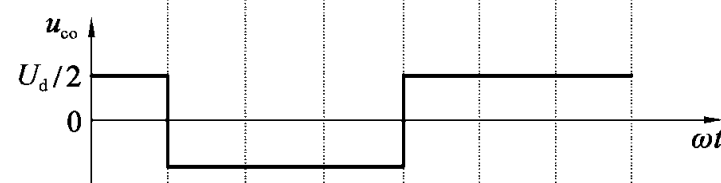
(a)



(b)



(c)



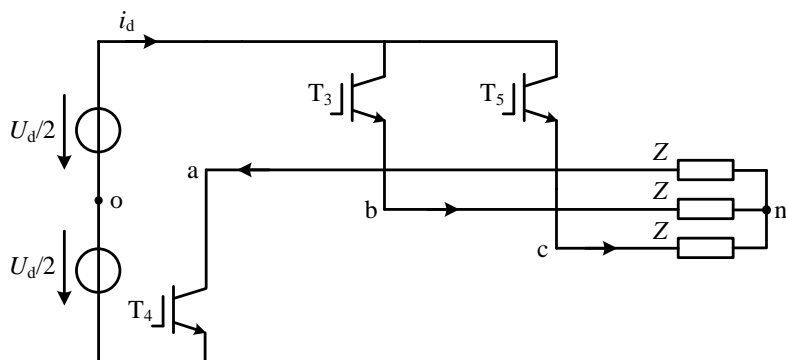
三相电压型逆变电路及其工作波形

5.1 电压型逆变器

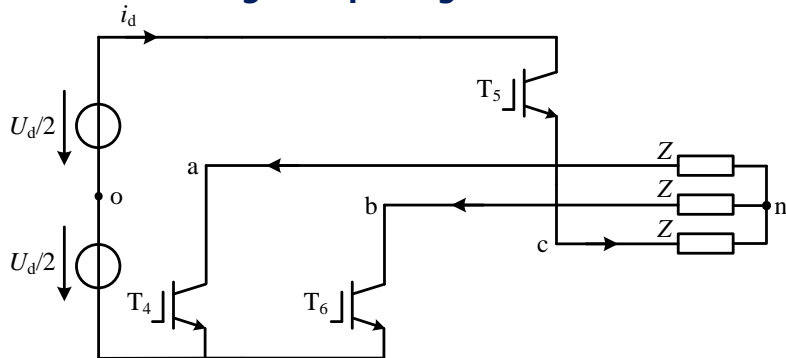


■ (3) 三相电压型逆变器

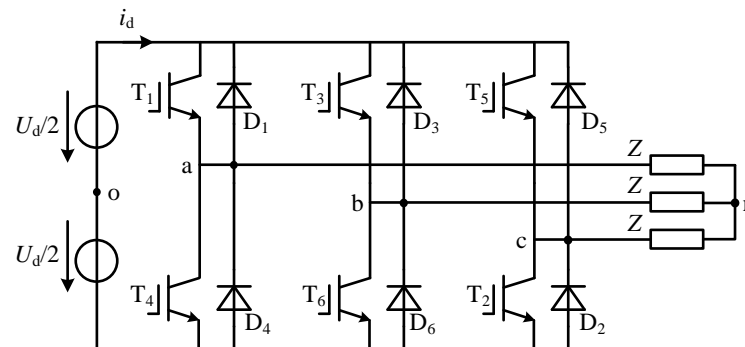
● b) 方波控制时序波形



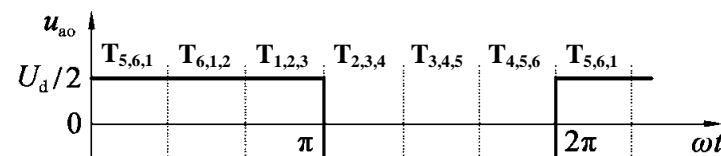
T₃、T₄、T₅导通



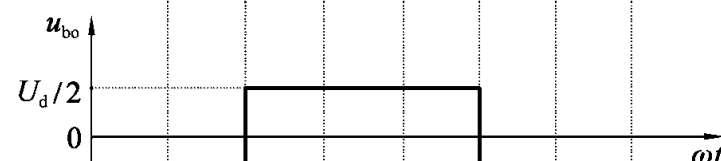
T₄、T₅、T₆导通



(a)



(b)



(c)



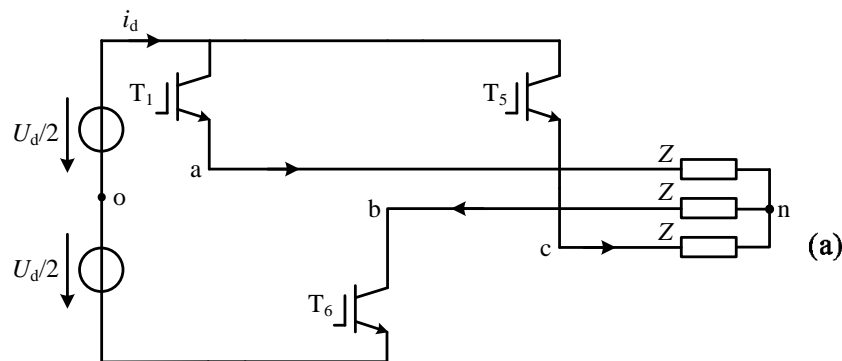
三相电压型逆变电路及其工作波形

5.1 电压型逆变器

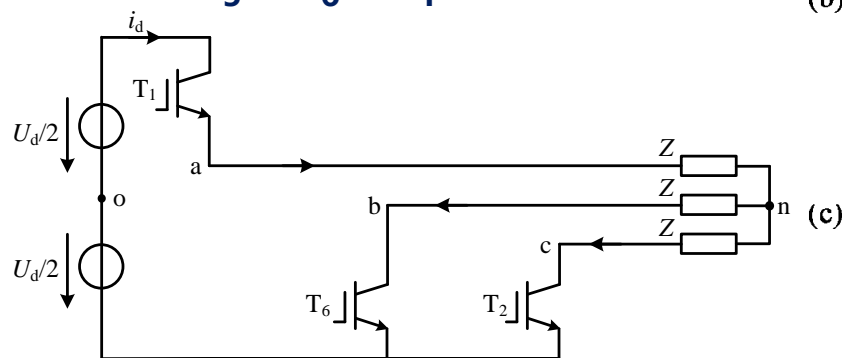


(3) 三相电压型逆变器

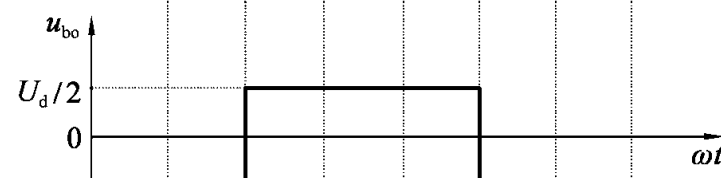
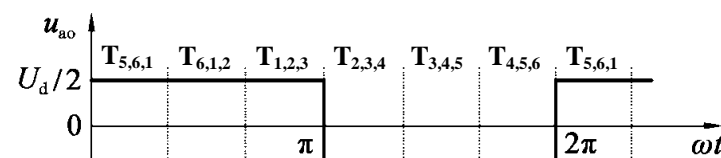
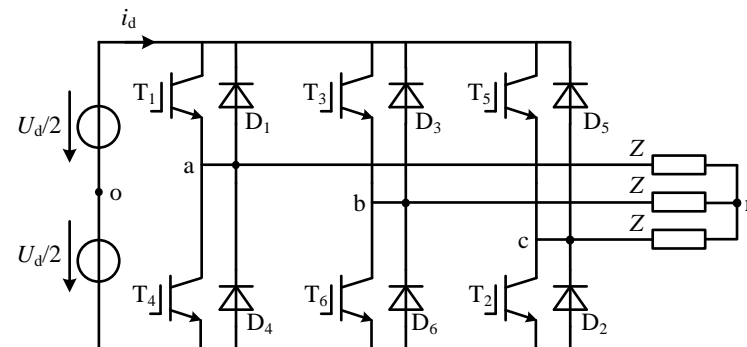
b) 方波控制时序波形



T_5 、 T_6 、 T_1 导通



T_6 、 T_1 、 T_2 导通



三相电压型逆变电路及其工作波形

5.1 电压型逆变器



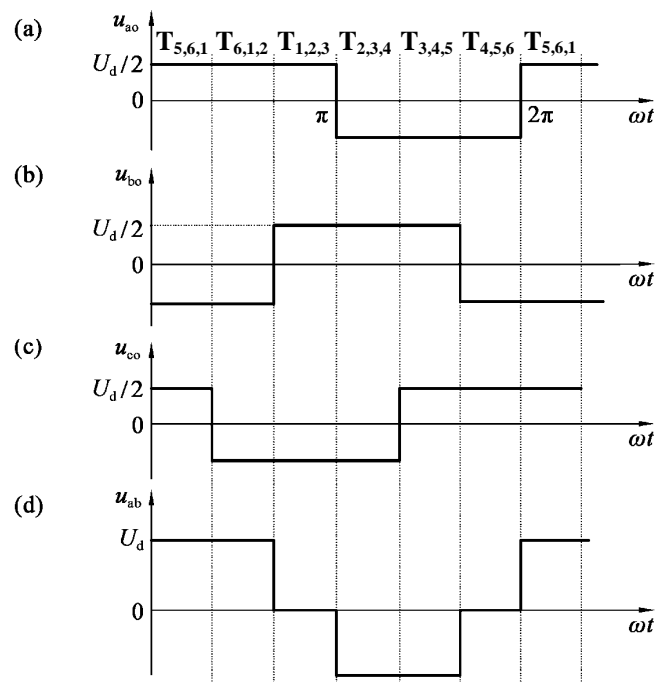
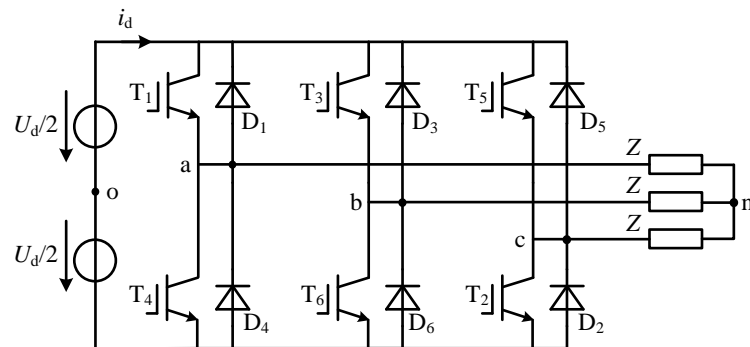
■ (3) 三相电压型逆变器

● c) 输出电压计算

逆变电路的输出线电压可由两个半桥间的电压差得到，即：

$$\left. \begin{aligned} u_{ab} &= u_{ao} - u_{bo} \\ u_{bc} &= u_{bo} - u_{co} \\ u_{ca} &= u_{co} - u_{ao} \end{aligned} \right\}$$

u_{bc} 、 u_{ca} 波形与 u_{ab} 相同，只是各相差 120°



三相电压型逆变电路及其工作波形

5.1 电压型逆变器



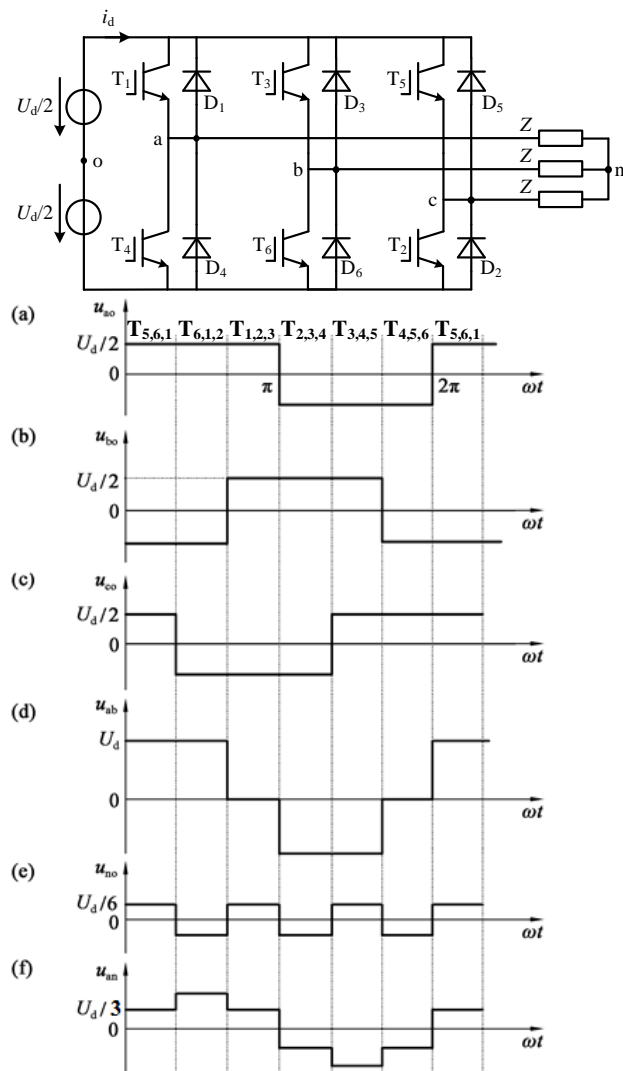
若三相负载对称、星形连接，可得到负载相电压(u_{an} 、 u_{bn} 、 u_{cn})、桥臂输出电压(u_{ao} 、 u_{bo} 、 u_{co})、三相负载中点n与假想的直流电源中点o间的电压 u_{no} 三者间的电压平衡方程，即：

$$\left. \begin{aligned} u_{an} &= u_{ao} - u_{no} \\ u_{bn} &= u_{bo} - u_{no} \\ u_{cn} &= u_{co} - u_{no} \end{aligned} \right\}$$



$$u_{an} + u_{bn} + u_{cn} = 0$$

$$u_{no} = \frac{1}{3} (u_{ao} + u_{bo} + u_{co})$$



三相电压型逆变电路及其工作波形

5.1 电压型逆变器



将输出线电压展开成傅里叶级数，得：

$$u_{ab} = \frac{2\sqrt{3}U_d}{\pi} \left(\sin \omega t - \frac{1}{5} \sin 5\omega t - \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t - \dots \right)$$

输出线电压的有效值为：

$$U_{ab} = \sqrt{\frac{2}{3}} U_d = 0.816 U_d$$

输出线电压的基波幅值为：

$$U_{ab(1)M} = \frac{2\sqrt{3}U_d}{\pi} = 1.1 U_d$$

输出线电压的基波有效值为：

$$U_{ab(1)} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi\sqrt{2}} U_d = 0.78 U_d$$

5.1 电压型逆变器



将负载相电压展开成傅里叶级数，得：

$$u_{an} = \frac{2U_d}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t + \dots \right)$$

输出相电压的有效值为：

$$U_{an} = \frac{\sqrt{2}}{3} U_d = 0.471 U_d$$

输出相电压的基波幅值为：

$$U_{an(1)M} = \frac{2U_d}{\pi} = 0.637 U_d$$

输出相电压的基波有效值为：

$$U_{an(1)} = \frac{2U_d}{\pi\sqrt{2}} = 0.45 U_d$$

■ (4) 电压型逆变器优缺点

● a) 优点

- ◆ 抑制浪涌电压能力强
- ◆ 频率可向上、向下调节
- ◆ 电压利用率高，适用于负载比较稳定的运行方式

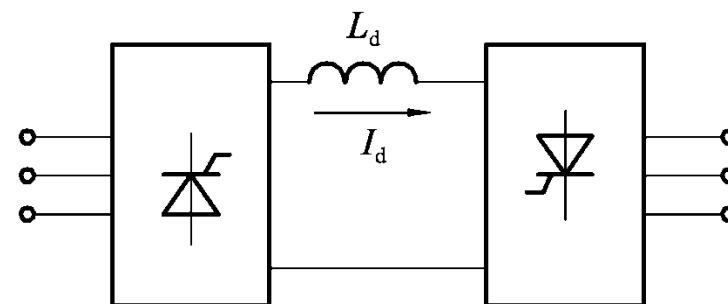
● b) 缺点

- ◆ 只能单向传递功率
- ◆ 故障电流较难克制
- ◆ 不能调压，谐波含量大

5.2 电流源型逆变器



- 电流型逆变电路的直流侧电源为电流源。直流电流无脉动，直流回路呈高阻抗。
- 交流侧输出电流的波形为矩形波，并且与负载阻抗角无关。
- 交流侧输出电压波形则取决于负载的性质。由于电流源电流的单向性，逆变桥的各桥臂不必并联无功反馈二极管。



电流型逆变电路

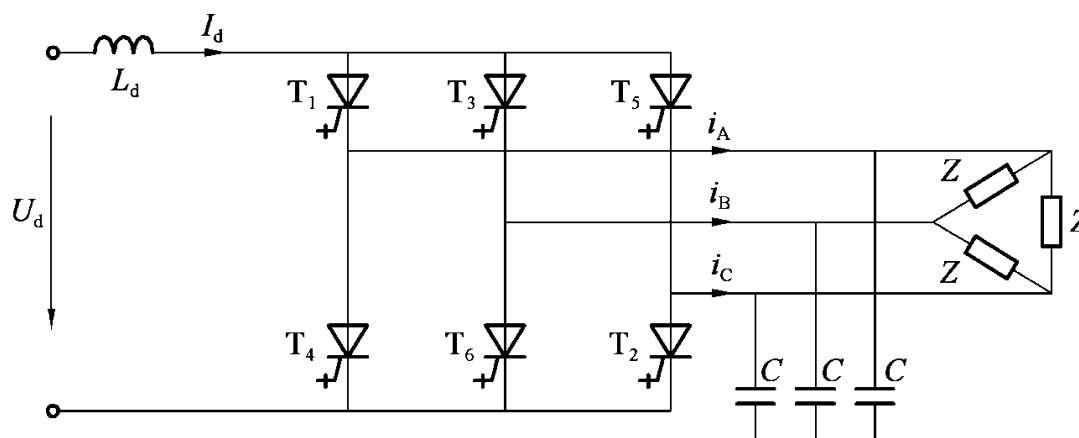
5.2 电流源型逆变器



■ 三相电流源型逆变器

● a) 工作原理

- ◆ 电路中开关 $T_1 \sim T_6$ 为GTO
- ◆ 在一个周期内, 各管均导通 120° , 导通顺序是 T_1 、 $T_2 \rightarrow T_2$ 、 $T_3 \rightarrow T_3$ 、 $T_4 \rightarrow T_4$ 、 $T_5 \rightarrow T_5$ 、 $T_6 \rightarrow T_6$ 、 T_1 , 每个状态持续 60°
- ◆ 电路工作时, 任何瞬时都只有两个开关导通, 一个在共阴极组, 另一个在共阳极组
- ◆ 为使每相绕组在任何时刻都有电流, 一般负载多采用三角形连接



三相电流源型逆变电路

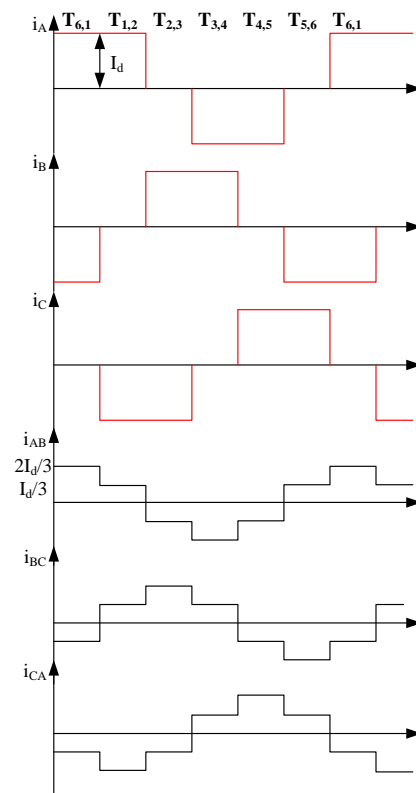
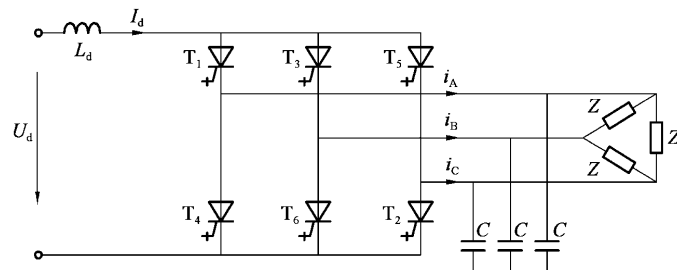
5.2 电流源型逆变器



■ 三相电流源型逆变器

● b) 方波控制时序波形

- ◆ 忽略换流过程，假定 $T_1 \sim T_6$ 为理想开关，一个周期内，各管均导通 120°
- ◆ 导通控制顺序为： $T_1、T_2 \rightarrow T_2、T_3 \rightarrow T_3、T_4 \rightarrow T_4、T_5 \rightarrow T_5、T_6 \rightarrow T_6、T_1$ ，每个状态持续 60°
- ◆ 为确定逆变电路的输出线电流及负载的相电流波形，可以首先分别作出在不同工作状态时的等值电路，再利用电路的分流公式，求出各个线电流与负载相电流



三相电流源型逆变电路工作波形

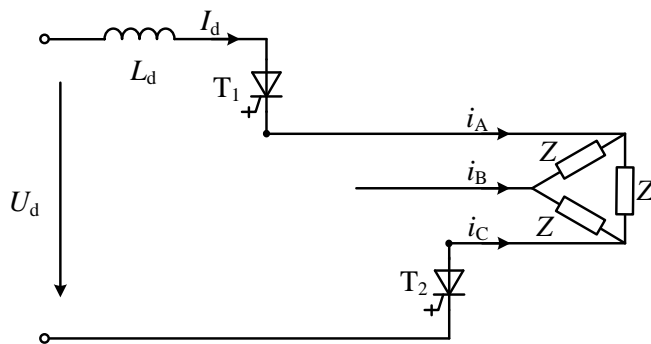
5.2 电流源型逆变器



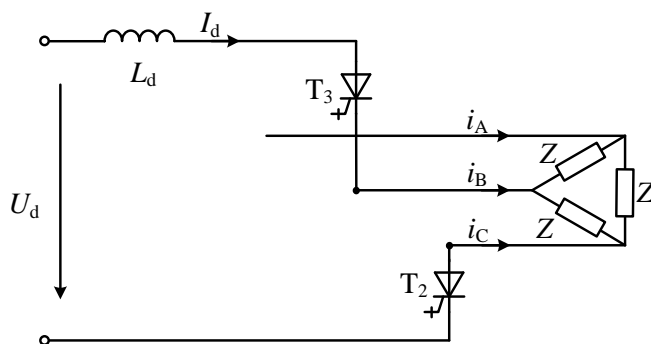
西南交通大学
Southwest Jiaotong University

■ 三相电流源型逆变器

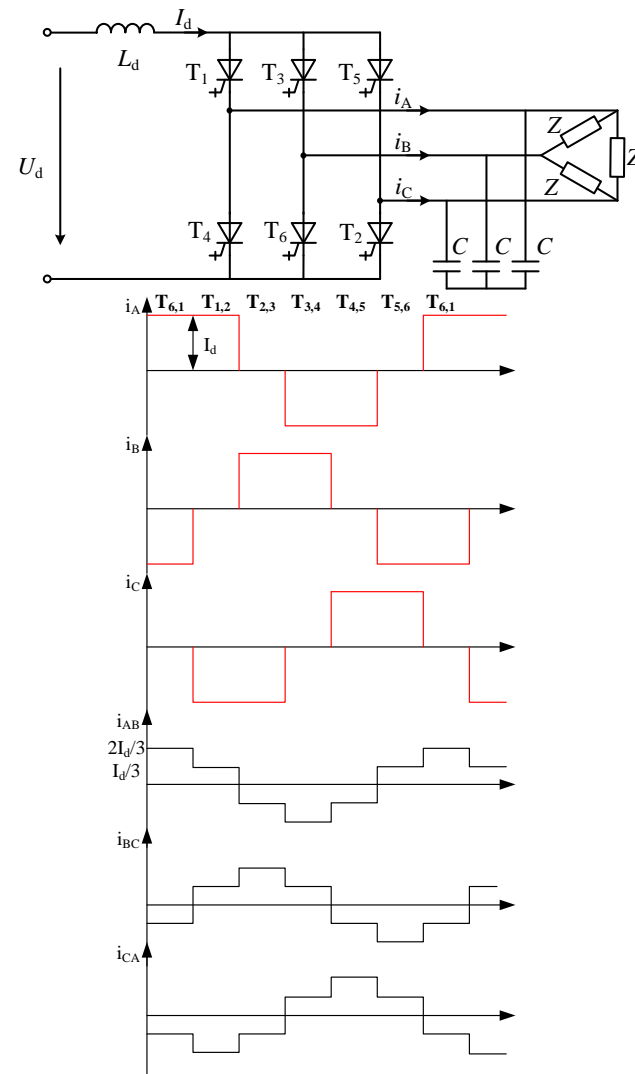
● b) 方波控制时序波形



T₁、T₂导通



T₂、T₃导通



三相电流源型逆变电路工作波形

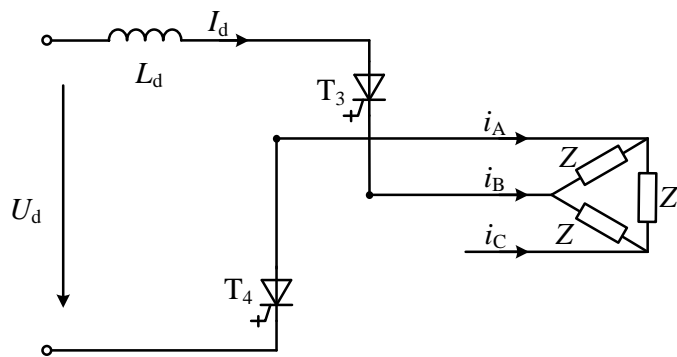
5.2 电流源型逆变器



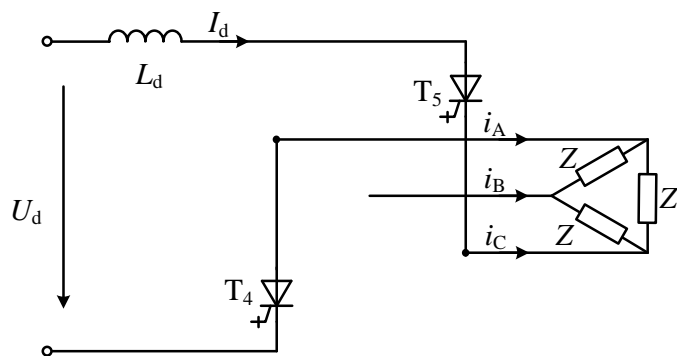
西南交通大学
Southwest Jiaotong University

■ 三相电流源型逆变器

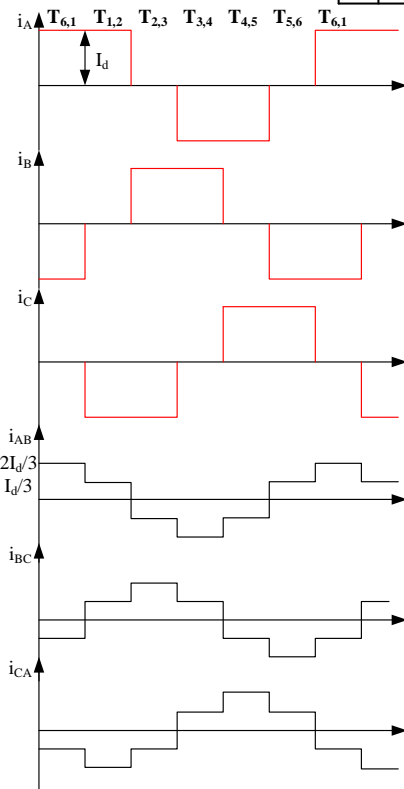
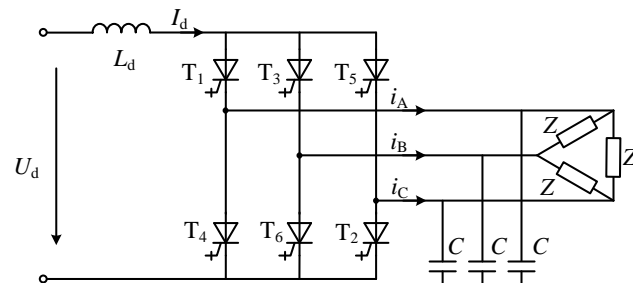
● b) 方波控制时序波形



T₃、T₄导通



T₄、T₅导通



三相电流源型逆变电路工作波形

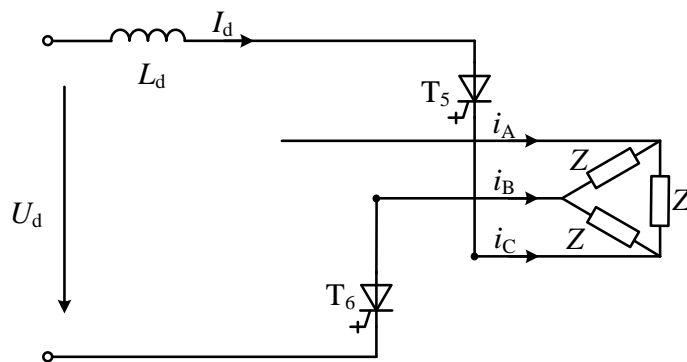
5.2 电流源型逆变器



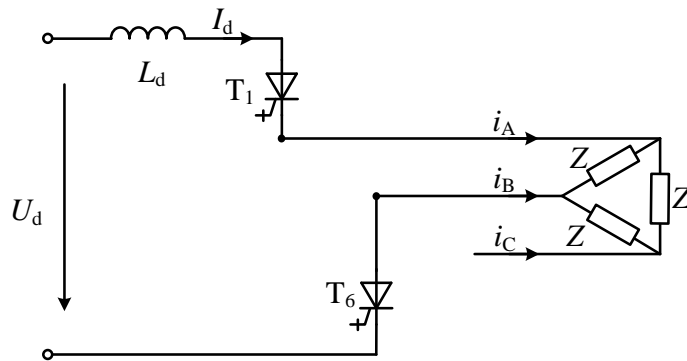
西南交通大学
Southwest Jiaotong University

■ 三相电流源型逆变器

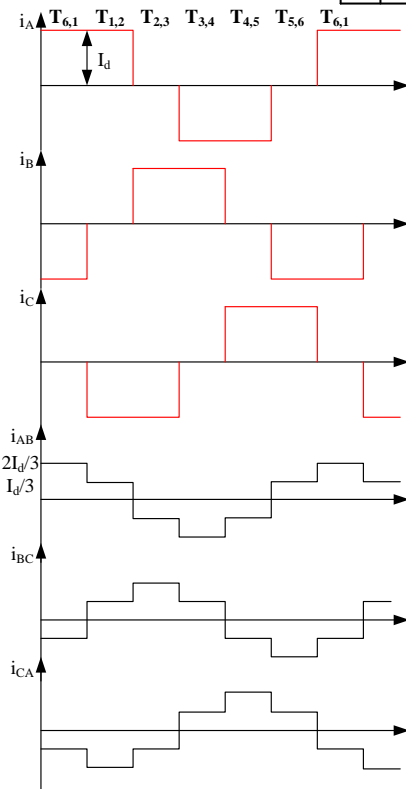
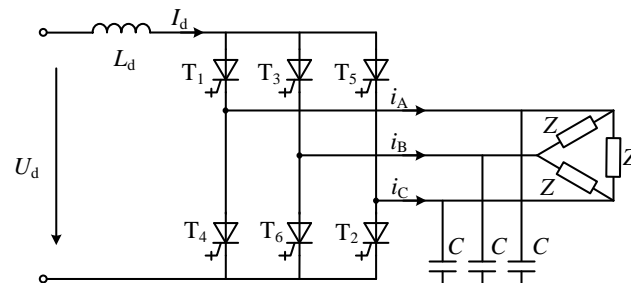
● b) 方波控制时序波形



T₅、T₆导通



T₆、T₁导通



三相电流源型逆变电路工作波形

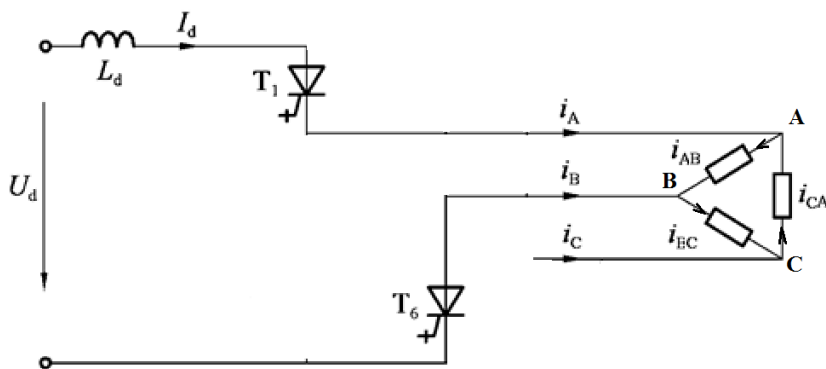
5.2 电流源型逆变器



■ 三相电流源型逆变器

● c) 输出电压计算

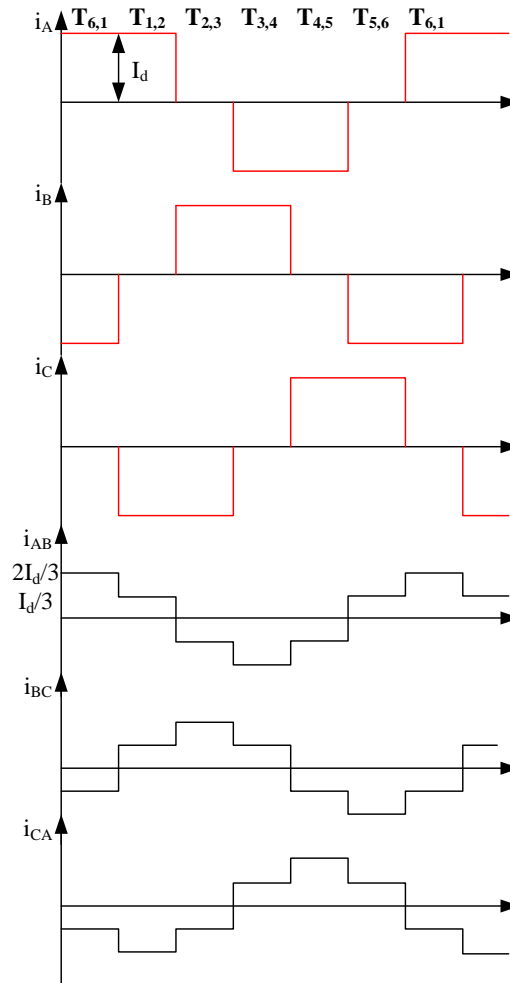
例： T_6 、 T_1 导通，其等效电路为



$$\text{则： } i_A = I_d \quad i_B = -I_d \quad i_C = 0$$

$$i_{AB} = 2I_d/3$$

$$i_{CA} = i_{BC} - I_d/3$$



三相电流源型逆变电路工作波形

5.2 电流源型逆变器



将线电流 i_A 和相电流 i_{AB} 展开成傅里叶级数，得：

$$i_A = \frac{2\sqrt{3}I_d}{\pi} \left(\sin \omega t - \frac{1}{5} \sin 5\omega t - \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t - \dots \right)$$

$$i_{AB} = \frac{2I_d}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t + \dots \right)$$

线电流的有效值为：

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

线电流的基波幅值为：

$$I_{A(1)M} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d = 1.1 I_d$$

线电流的基波有效值为：

$$I_{A(1)} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d = 0.78 I_d$$



■作业: XXXXXXXXXXXX