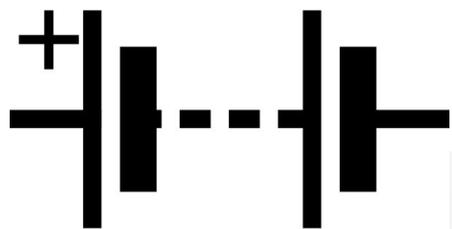
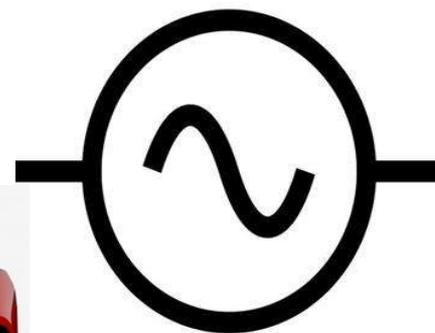




第4章 逆变电路



DC



AC



引言

□ 逆变的概念

- ◆ 与整流相对应，**直流电**变成**交流电**。
- ◆ 交流侧接电网，为**有源逆变**。
- ◆ 交流侧接负载，为**无源逆变**，本章主要讲述无源逆变。

□ 逆变与变频

- ◆ 变频电路：分为**交交变频**和**交直交变频**两种。
- ◆ 交直交变频由**交直变换（整流）**和**直交变换**两部分组成，后一部分就是**逆变**。

□ 逆变电路的主要应用

- ◆ 各种**直流电源**，如**蓄电池、干电池、太阳能电池**等。
- ◆ 交流电机**调速用变频器、不间断电源、感应加热电源**等电力电子装置的核心部分都是逆变电路。



第4章 逆变电路

4.1 换流方式

4.2 电压型逆变电路 (☆)

4.3 电流型逆变电路

4.4 多重逆变电路和多电平逆变电路

本章小结



第4章 逆变电路

4.1 换流方式

4.2 电压型逆变电路 (☆)

4.3 电流型逆变电路

4.4 多重逆变电路和多电平逆变电路

本章小结



4.1 换流方式

4.1.1 逆变电路的基本工作原理

4.1.2 换流方式分类



4.1 换流方式

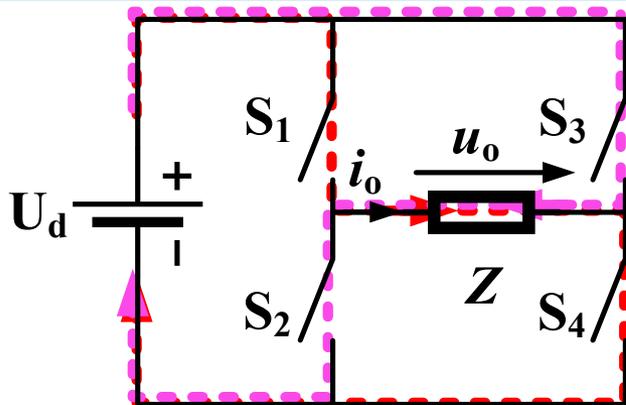
4.1.1 逆变电路的基本工作原理

4.1.2 换流方式分类

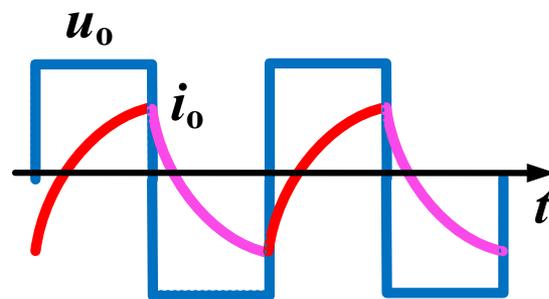
4.1.1 逆变电路的基本工作原理

□ 逆变电路基本的工作原理

◆ $S_1 \sim S_4$ 是桥式电路的4个开关，由电力电子器件及辅助电路组成。



a)



b)

逆变电路及其波形举例

- ◆ 当开关 S_1 、 S_4 闭合， S_2 、 S_3 断开时，负载电压 u_o 为正；当开关 S_1 、 S_4 断开， S_2 、 S_3 闭合时， u_o 为负。
- ◆ 改变两组开关的切换频率，即可改变输出交流电的频率。
- ◆ 电阻负载时，负载电流 i_o 和 u_o 的波形相同，相位也相同。
- ◆ 阻感负载时， i_o 相位滞后于 u_o ，波形也不同。



4.1 换流方式

4.1.1 逆变电路的基本工作原理

4.1.2 换流方式分类



4.1.2 换流方式分类

□ 换流

- ◆ 电流从一个支路向另一个支路转移的过程，也称为换相。
- ◆ 研究换流方式主要是研究如何使器件关断。

□ 换流方式分为以下几种

- ◆ 器件换流：利用全控型器件的自关断能力进行换流。
- ◆ 电网换流：电网提供换流电压的换流方式。将负的电网电压施加在欲关断的晶闸管上即可使其关断。不需要器件具有门极可关断能力，但不适用于没有交流电网的无源逆变电路。

4.1.2 换流方式分类 ◆ 负载换流

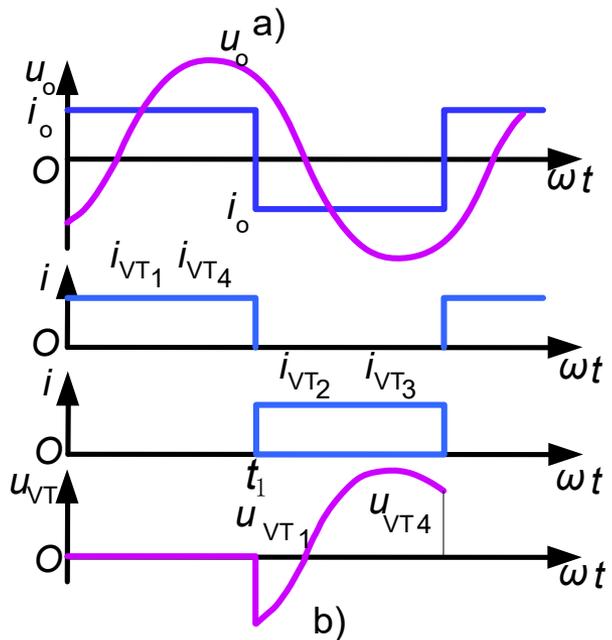
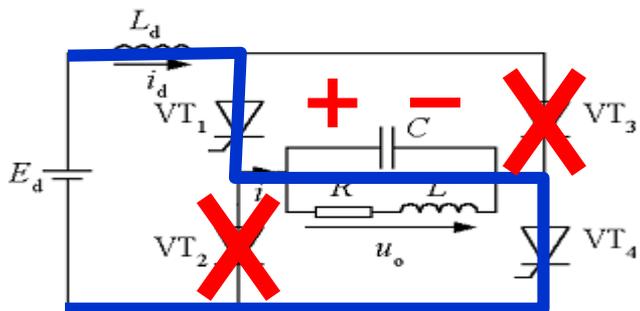


图4-2 负载换流电路及其工作波形

10/21/2020

- 由**负载**提供**换流电压**的换流方式。
- 负载**电流**的**相位超前**于负载**电压**的场合，都可实现负载换流，如**电容性负载**和**同步电动机**。
- 图4-2a是基本的负载换流逆变电路，整个负载工作在接近**并联谐振状态**而略呈**容性**，直流侧串大电感，工作过程可认为 i_d 基本没有脉动。
- ✓ 负载对基波的阻抗大而对谐波的阻抗小，所以 u_o 接近**正弦波**。
- ✓ 注意触发 VT_2 、 VT_3 的时刻 t_1 必须在 u_o **过零前**并留有足够的裕量，才能使换流顺利完成。

4.1.2 换流方式分类

◆ 强迫换流

- 设置**附加的换流电路**，给欲关断的晶闸管**强迫施加反压**或**反电流**的换流方式称为**强迫换流**。
- 通常利用附加电容上所储存的能量来实现，因此也称为**电容换流**。

分类

- ✓ **直接耦合式强迫换流**：由换流电路内电容直接提供换流电压。
- ✓ **电感耦合式强迫换流**：通过换流电路内的电容和电感的耦合来提供换流电压或换流电流。

● 直接耦合式强迫换流

- ✓ 如图4-3，当晶闸管VT处于通态时，预先给电容充电。当S合上，就可使VT被施加反压而关断。

- ✓ 也叫**电压换流**。

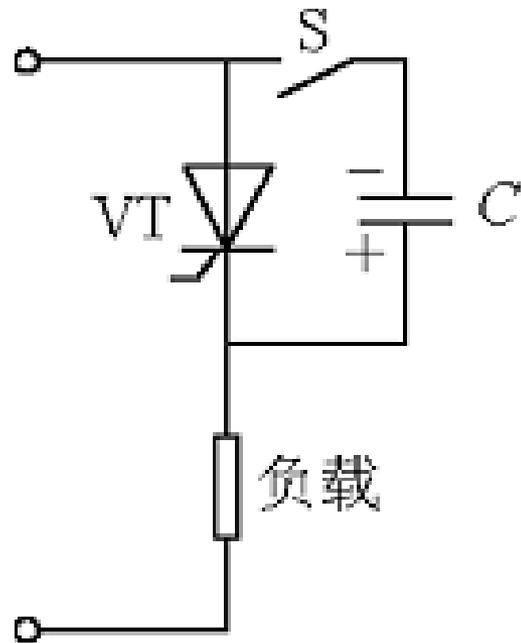


图4-3 直接耦合式强迫换流原理图

4.1.2 换流方式分类

● 电感耦合式强迫换流

- 图4-4a中晶闸管在LC振荡**第一个半周期**内关断，图4-4b中晶闸管在LC振荡**第二个半周期**内关断，注意两图中电容所充的电压极性不同。
- 在这两种情况下，**晶闸管都是在正向电流减至零且二极管开始流过电流**时关断，二极管上的管压降就是加在晶闸管上的反向电压。
- 也叫**电流换流**。

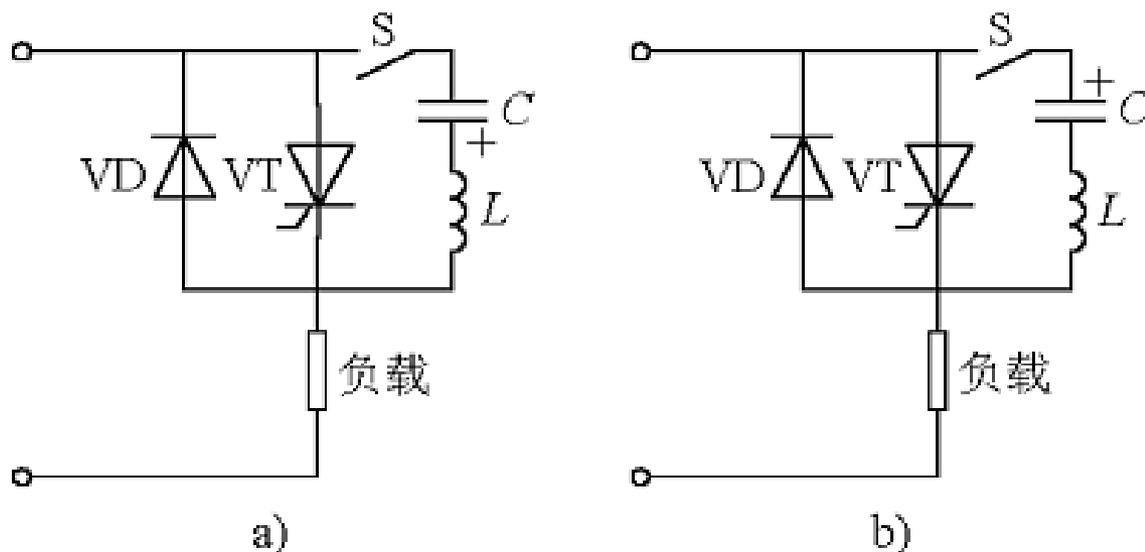
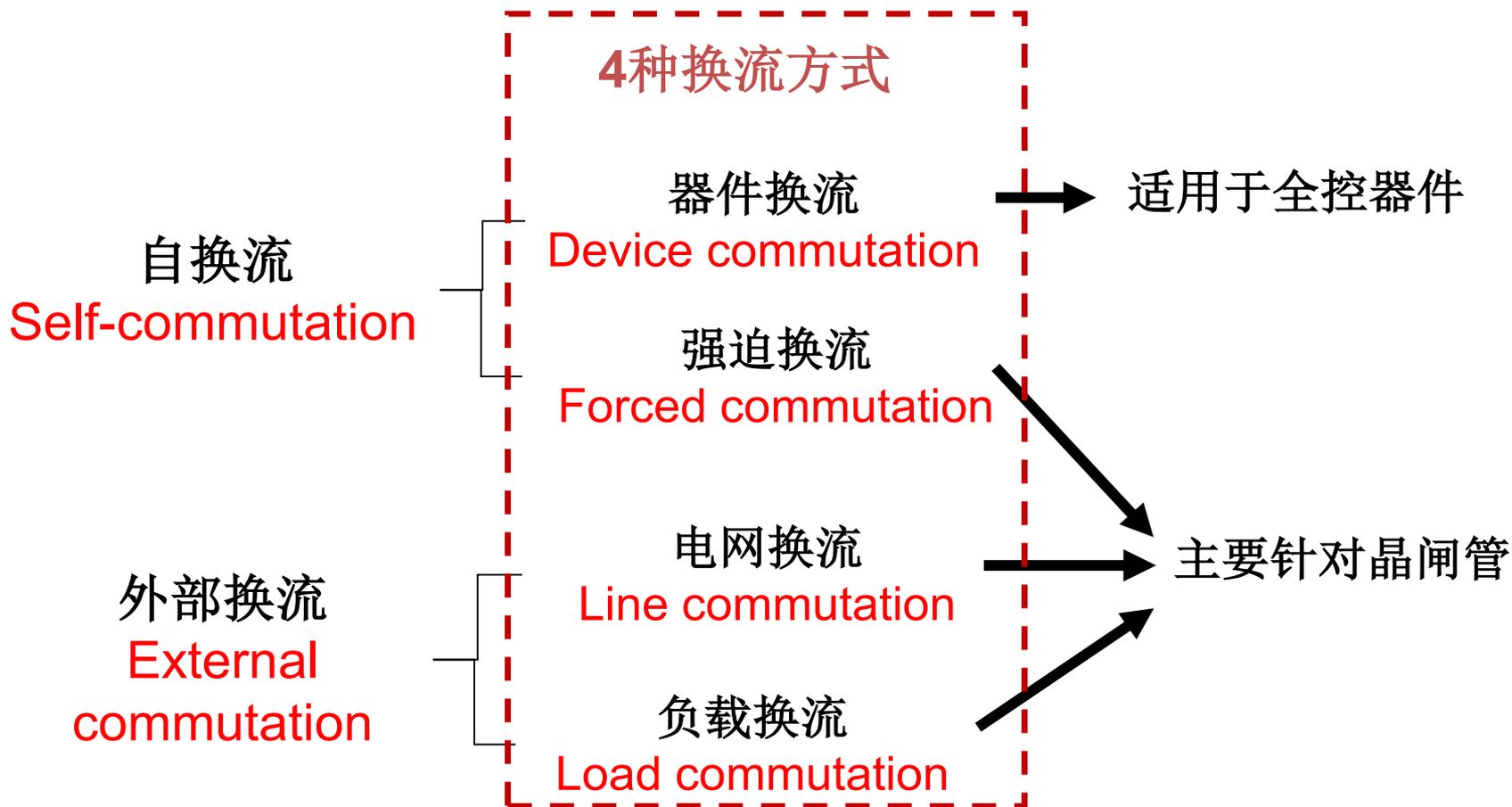


图4-4 电感耦合式强迫换流原理图

4.1.2 换流方式分类

换流方式总结





第4章 逆变电路

4.1 换流方式

4.2 电压型逆变电路 (☆)

4.3 电流型逆变电路

4.4 多重逆变电路和多电平逆变电路

本章小结

4.2 电压型逆变电路 · 引言

□根据直流侧电源性质的不同，可以分为**两类**：

◆ **电压型**逆变电路：直流侧是**电压源**。

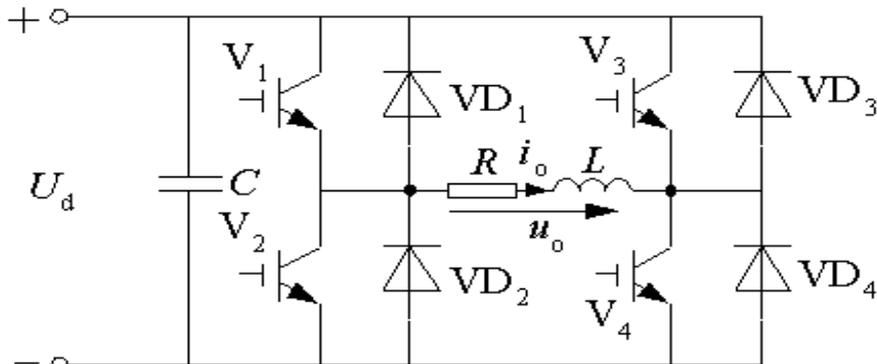
◆ **电流型**逆变电路：直流侧是**电流源**。

□电压型逆变电路的**特点**

◆ 直流侧为**电压源**或并联**大电容**，直流侧电压基本无脉动。

◆ 由于直流电压源的**钳位作用**，输出电压为**矩形波**，输出电流因负载阻抗不同而不同。

◆ 阻感负载时需提供**无功功率**，为了给交流侧向直流侧**反馈**的无功能量提供通道，逆变桥各臂并联**反馈二极管**。



$u_0 > 0, i_0 > 0$. V_1 和 V_4 导通
 $u_0 > 0, i_0 < 0$. VD_1 和 VD_4 导通
 $u_0 < 0, i_0 > 0$. VD_2 和 VD_3 导通
 $u_0 < 0, i_0 < 0$. V_2 和 V_3 导通

10/21/2020 图4-5 电压型逆变电路举例（全桥逆变电路）



4.2 电压型逆变电路 (☆)

4.2.1 单相电压型逆变电路

4.2.2 三相电压型逆变电路

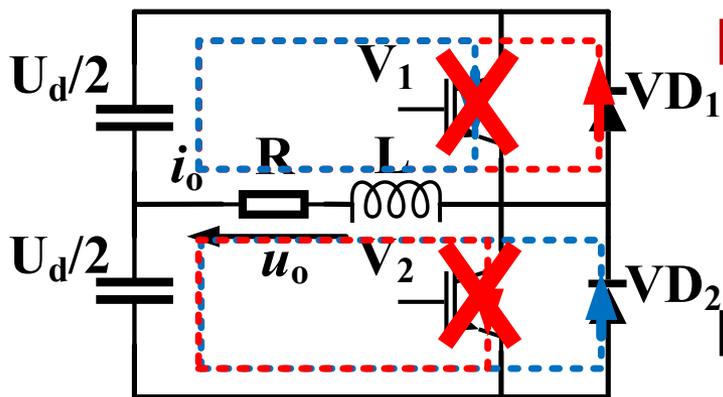


4.2 电压型逆变电路 (☆)

4.2.1 单相电压型逆变电路

4.2.2 三相电压型逆变电路

4.2.1 单相电压型逆变电路



□ 半桥逆变电路结构

- ◆ 在直流侧接有两个相互串联的足够大的电容，两个电容的联结点便成为直流电源的中点，负载联接在直流电源中点和桥臂联结点之间。

□ 工作原理

- 设开关器件 V_1 和 V_2 的栅极信号在一个周期内各有半周正偏，半周反偏，且二者互补。
- 输出电压 u_o 为矩形波，其幅值为 $U_m = U_d/2$ 。
- 电路带电阻负载，电流电压波形相同。
- 电路带阻感负载
- ✓ t_2 时刻给 V_1 关断信号，给 V_2 开通信号，则 V_1 关断，但感性负载中的电流 i_o 不能立即改变方向，于是 VD_2 导通续流
- ✓ 当 t_3 时刻 i_o 降零时， VD_2 截止， V_2 开通， i_o 开始反向，由此得出如图4-6所示的电流波形。

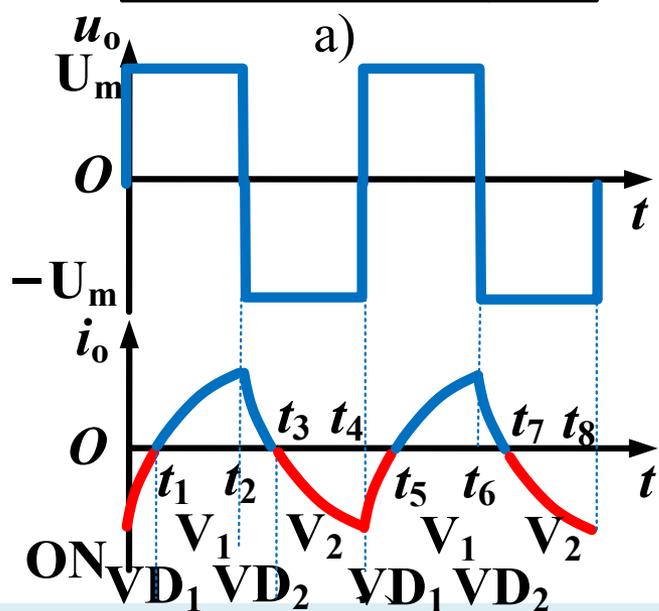


图4-6 单相半桥电压型逆变电路及其工作波形

4.2.1 单相电压型逆变电路

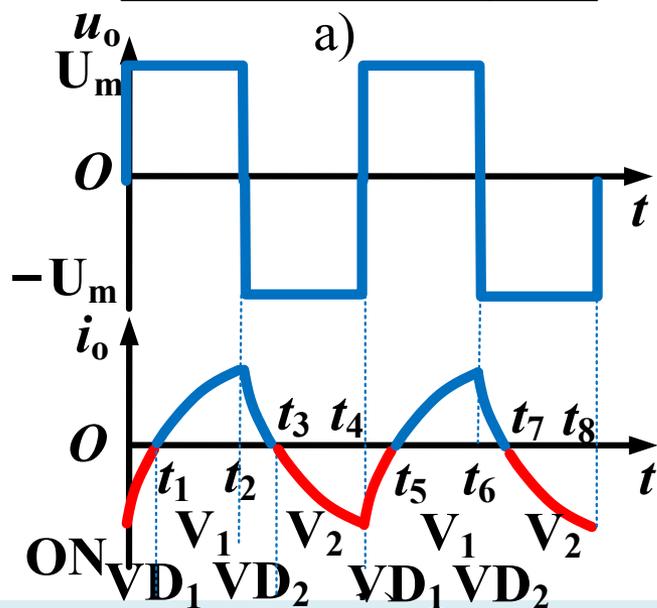
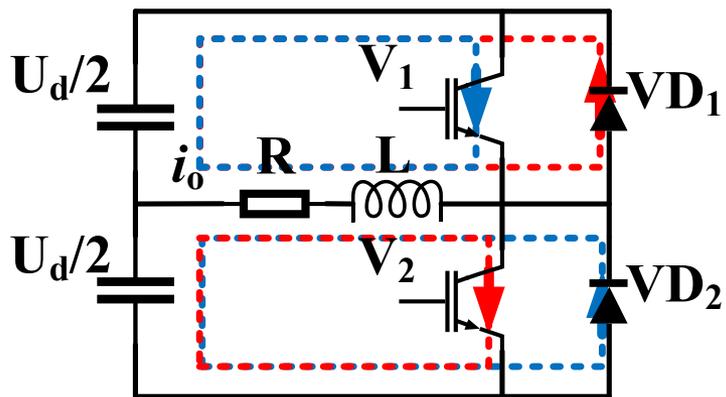


图4-6 单相半桥电压型逆变电路及其工作波形

◆ 结论:

- V_1 或 V_2 通时, i_o 和 u_o 同方向, 直流侧向负载提供能量;
- VD_1 或 VD_2 通时, i_o 和 u_o 反向, 电感中贮能向直流侧反馈。 VD_1 、 VD_2 称为 反馈二极管, 它又起着使负载电流连续的作用, 又称 续流二极管。

◆ 优点: 简单, 使用器件少;

◆ 缺点: 输出交流电压的幅值 U_m 仅为 $U_d/2$, 且直流侧需要两个电容器串联, 工作时还要控制两个电容器电压的均衡;

◆ 因此, 半桥电路常用于 几kW以下 的小功率逆变电源。

4.2.1 单相电压型逆变电路

□全桥逆变电路

- ◆共四个开关，可看成**两个半桥电路**组合而成。
- ◆**两对桥臂**交替导通**180°**。
- ◆输出电压和电流波形与半桥电路**形状相同**，但幅值高出一倍。
- ◆在这种情况下，要改变输出交流电压的有效值只能通过改变直流电压 U_d 来实现。
- ◆ U_d 的矩形波 u_o 展开成傅里叶级数得

$$u_o = \frac{4U_d}{\pi} \left(\sin\omega t + \frac{1}{3}\sin 3\omega t + \frac{1}{5}\sin 5\omega t + \dots \right) \quad (4-1)$$

其中基波的幅值 U_{o1m} 和基波有效值 U_{o1} 分别为

$$U_{o1m} = \frac{4U_d}{\pi} = 1.27U_d \quad (4-2)$$

$$U_{o1} = \frac{2\sqrt{2}U_d}{\pi} = 0.9U_d \quad (4-3)$$

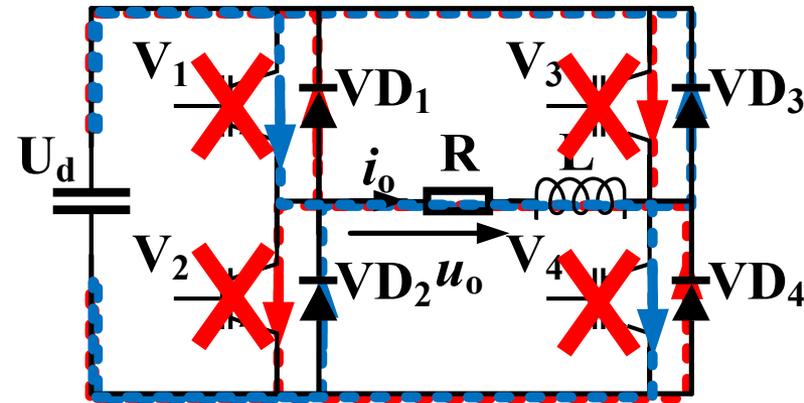


图4-5 全桥逆变电路

$u_o > 0, i_o > 0$. V_1 和 V_4 导通
 $u_o > 0, i_o < 0$. VD_1 和 VD_4 导通
 $u_o < 0, i_o > 0$. VD_2 和 VD_3 导通
 $u_o < 0, i_o < 0$. V_2 和 V_3 导通

4.2.1 单相电压型逆变电路

◆ 移相调压方式

- V_3 的基极信号比 V_1 落后 θ ($0 < \theta < 180^\circ$)。
- V_3 、 V_4 的栅极信号分别比 V_2 、 V_1 前移 $180^\circ - \theta$ 。输出电压是正负各为 θ 的脉冲。

➢ 工作过程

- ✓ t_1 时刻前 V_1 和 V_4 导通， $u_o = U_d$ 。
- ✓ t_1 时刻 V_4 截止，而因负载电感中的电流 i_o 不能突变， V_3 不能立刻导通， VD_3 导通续流， $u_o = 0$ 。
- ✓ t_2 时刻 V_1 截止，而 V_2 不能立刻导通， VD_2 导通续流，和 VD_3 构成电流通路， $u_o = -U_d$ 。
- ✓ 到负载电流过零并开始反向时， VD_2 和 VD_3 截止， V_2 和 V_3 开始导通， u_o 仍为 $-U_d$ 。
- ✓ t_3 时刻 V_3 截止，而 V_4 不能立刻导通， VD_4 导通续流， u_o 再次为零。

➢ 改变 θ 就可调节输出电压。

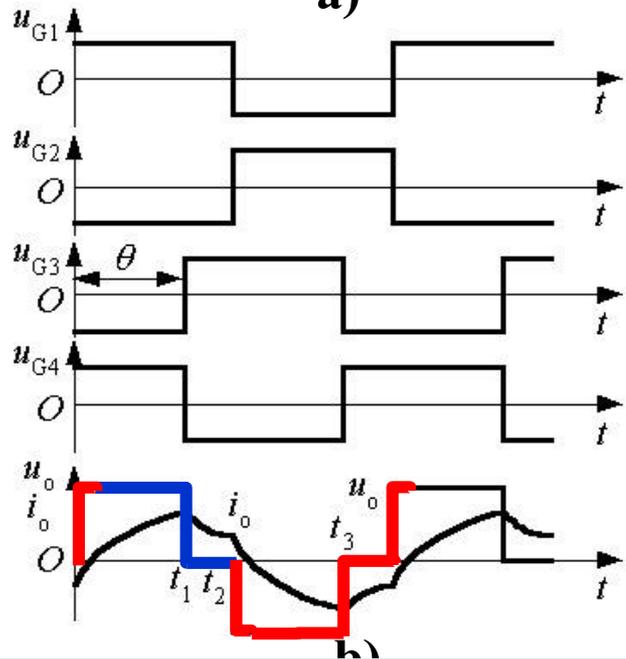
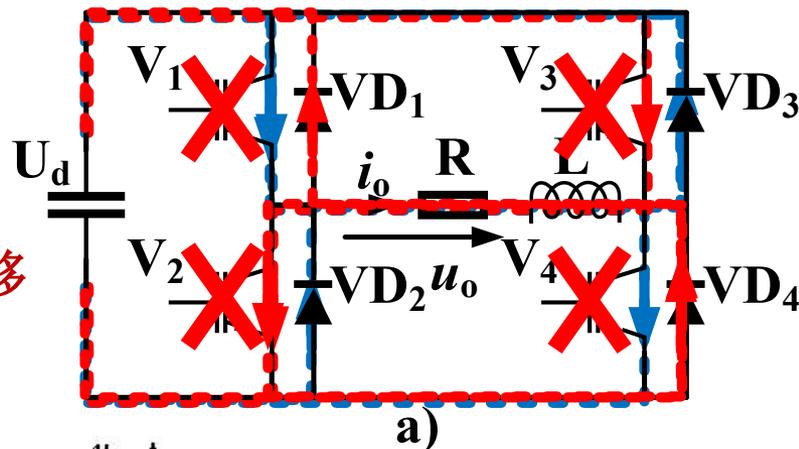
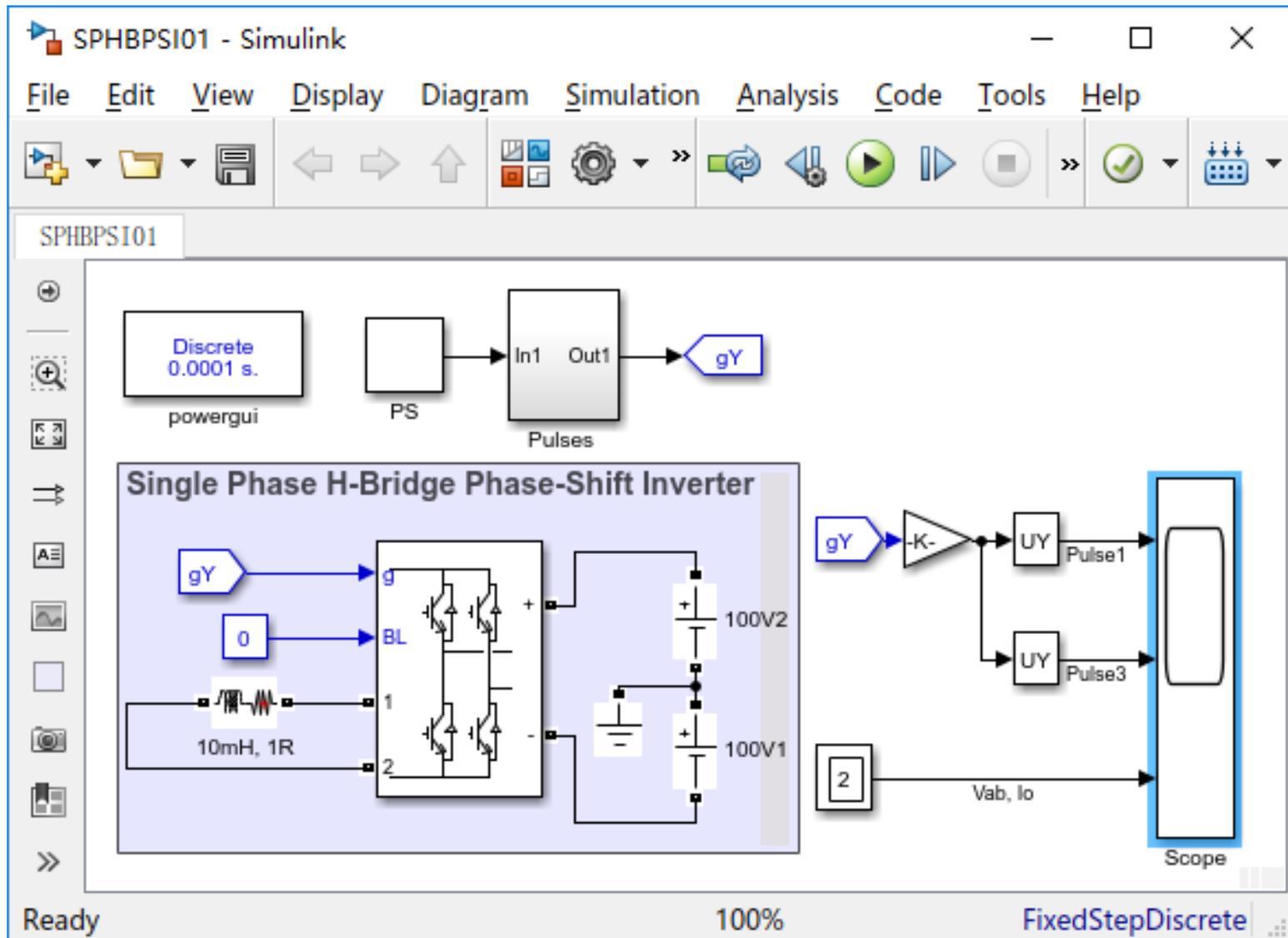
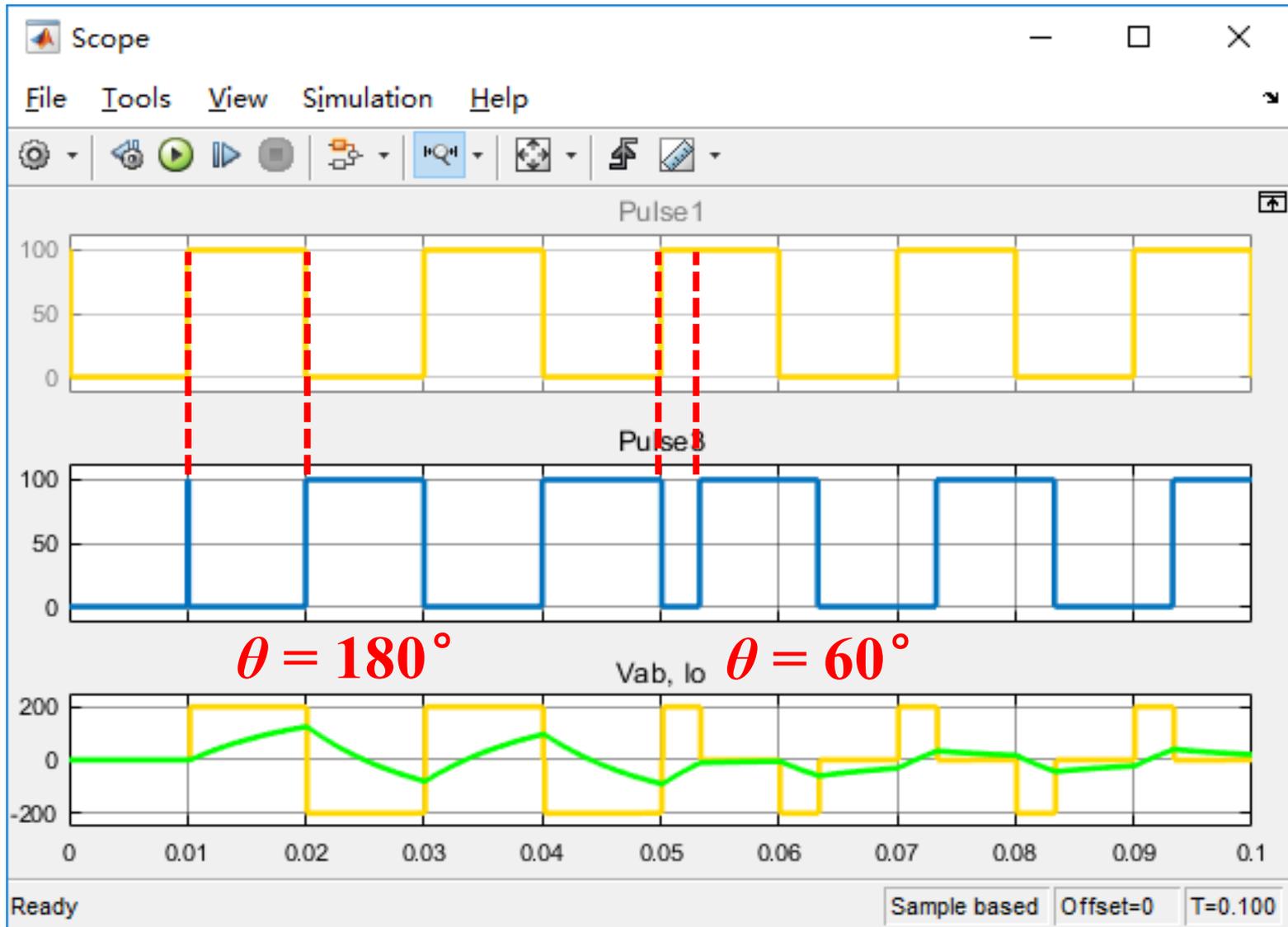


图4-7 单相全桥逆变电路的移相调压方式





4.2.1 单相电压型逆变电路

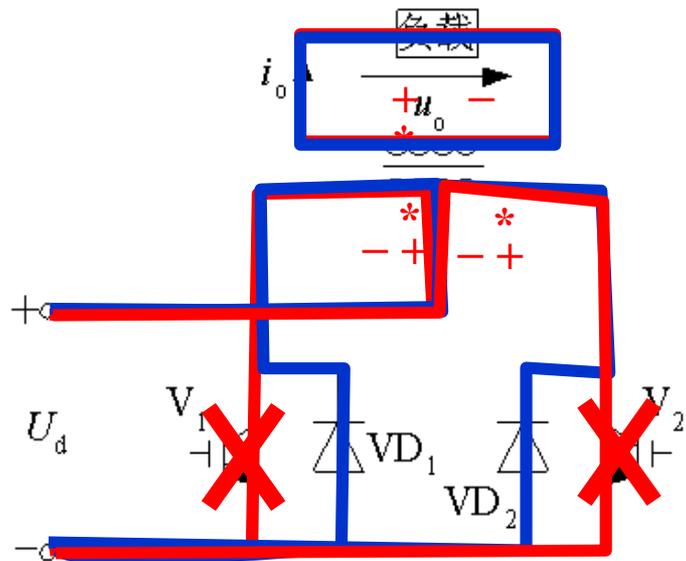


图4-8 带中心抽头变压器的逆变电路

$u_0 > 0, i_0 > 0$. V_1 导通
 $u_0 > 0, i_0 < 0$. VD_1 导通
 $u_0 < 0, i_0 > 0$. VD_2 导通
 $u_0 < 0, i_0 < 0$. V_2 导通

□ 带中心抽头变压器的逆变电路

- ◆ 交替驱动 **两个IGBT**，经变压器耦合给负载加上 **矩形波交流电压**。
- ◆ 两个二极管的作用也是提供 **无功能量的反馈通道**。
- ◆ U_d 和负载参数相同，变压器匝比为 **1: 1: 1**时， u_o 和 i_o 波形及幅值与 **全桥逆变电路完全相同**。

□ 与全桥电路相比较

- 比全桥电路少用 **一半开关器件**。
- 器件承受的电压为 **$2U_d$** ，比全桥电路高一倍。
- 必须有一个 **变压器**。



4.2 电压型逆变电路 (☆)

4.2.1 单相电压型逆变电路

4.2.2 三相电压型逆变电路

4.2.2 三相电压型逆变电路

□三个单相逆变电路可组合成一个三相逆变电路。

□三相桥式逆变电路

- ◆基本工作方式：180° 导电方式。
- ◆同一相（即同一半桥）上下两开关交替导电，各相开始导电的角度差120°，任一瞬间有三个开关同时导通。
- ◆每次换流都是在同一相上下两开关之间进行，也称为纵向换流。

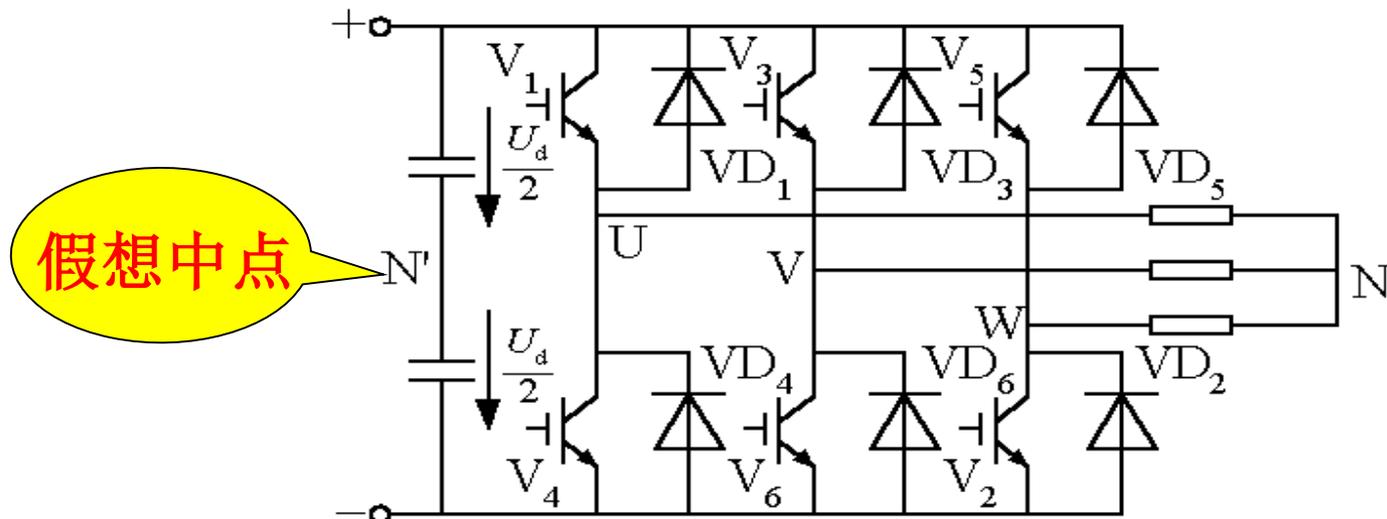


图4-9 三相电压型桥式逆变电路

4.2.2 三相电压型逆变电路

工作波形

- ◆ 对于U相输出来说，当开关1导通时， $u_{UN'} = U_d/2$ ，当开关4导通时， $u_{UN'} = -U_d/2$ ， $u_{UN'}$ 的波形是幅值为 $U_d/2$ 的矩形波；
- ◆ V、W两相的情况和U相类似。
- ◆ **负载线电压** u_{UV} 、 u_{VW} 、 u_{WU} 可由下式求出

$$\left. \begin{aligned} u_{UV} &= u_{UN'} - u_{VN'} \\ u_{VW} &= u_{VN'} - u_{WN'} \\ u_{WU} &= u_{WN'} - u_{UN'} \end{aligned} \right\} \quad (4-4)$$

- ◆ 负载各相的**相电压**分别为

$$\left. \begin{aligned} u_{UN} &= u_{UN'} - u_{NN'} \\ u_{VN} &= u_{VN'} - u_{NN'} \\ u_{WN} &= u_{WN'} - u_{NN'} \end{aligned} \right\} \quad (4-5)$$

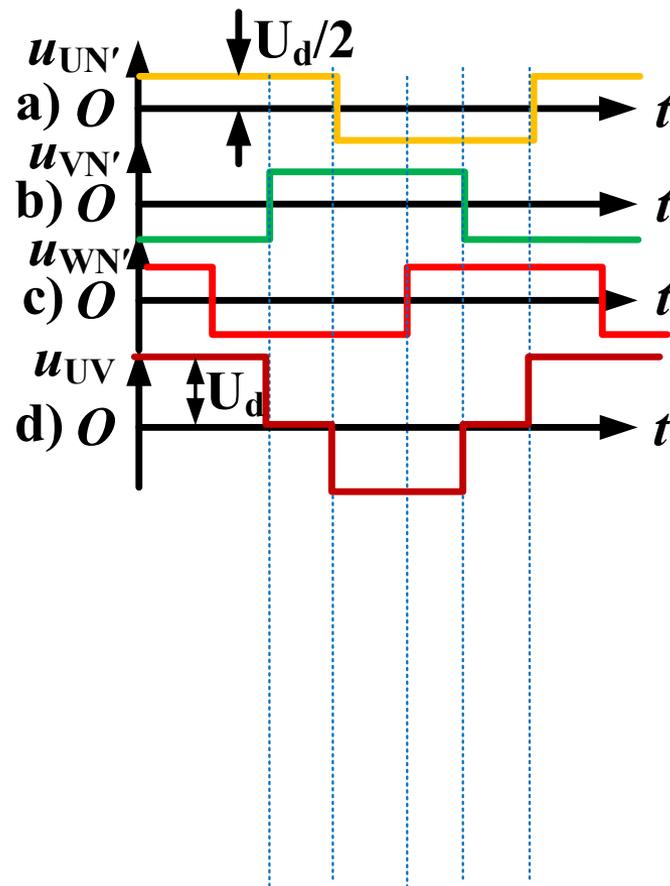


图4-10 电压型三相桥式逆变电路的工作波形

4.2.2 三相电压型逆变电路

◆把上面各式相加并整理可求得

$$u_{NN'} = \frac{1}{3}(u_{UN'} + u_{VN'} + u_{WN'}) - \frac{1}{3}(u_{UN} + u_{VN} + u_{WN}) \quad (4-6)$$

●设负载为三相对称负载，则有

$$u_{UN} + u_{VN} + u_{WN} = 0, \text{ 故可得}$$

$$u_{NN'} = \frac{1}{3}(u_{UN'} + u_{VN'} + u_{WN'}) \quad (4-7)$$

◆负载参数已知时，可以由 u_{UN} 的波形求出 U 相电流 i_U 的波形，图4-10g给出的是阻感负载下 $\varphi < \pi/3$ 时 i_U 的波形。

◆把开关1、3、5的电流加起来，就可得到直流侧电流 i_d 的波形，如图4-10h所示，可以看出 i_d 每隔 60° 脉动一次。

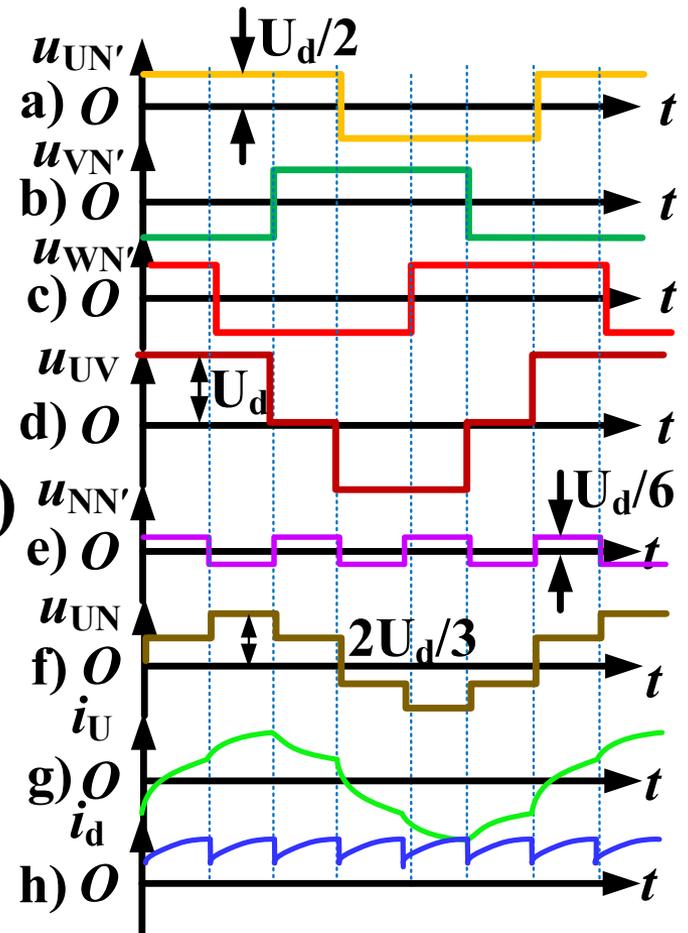
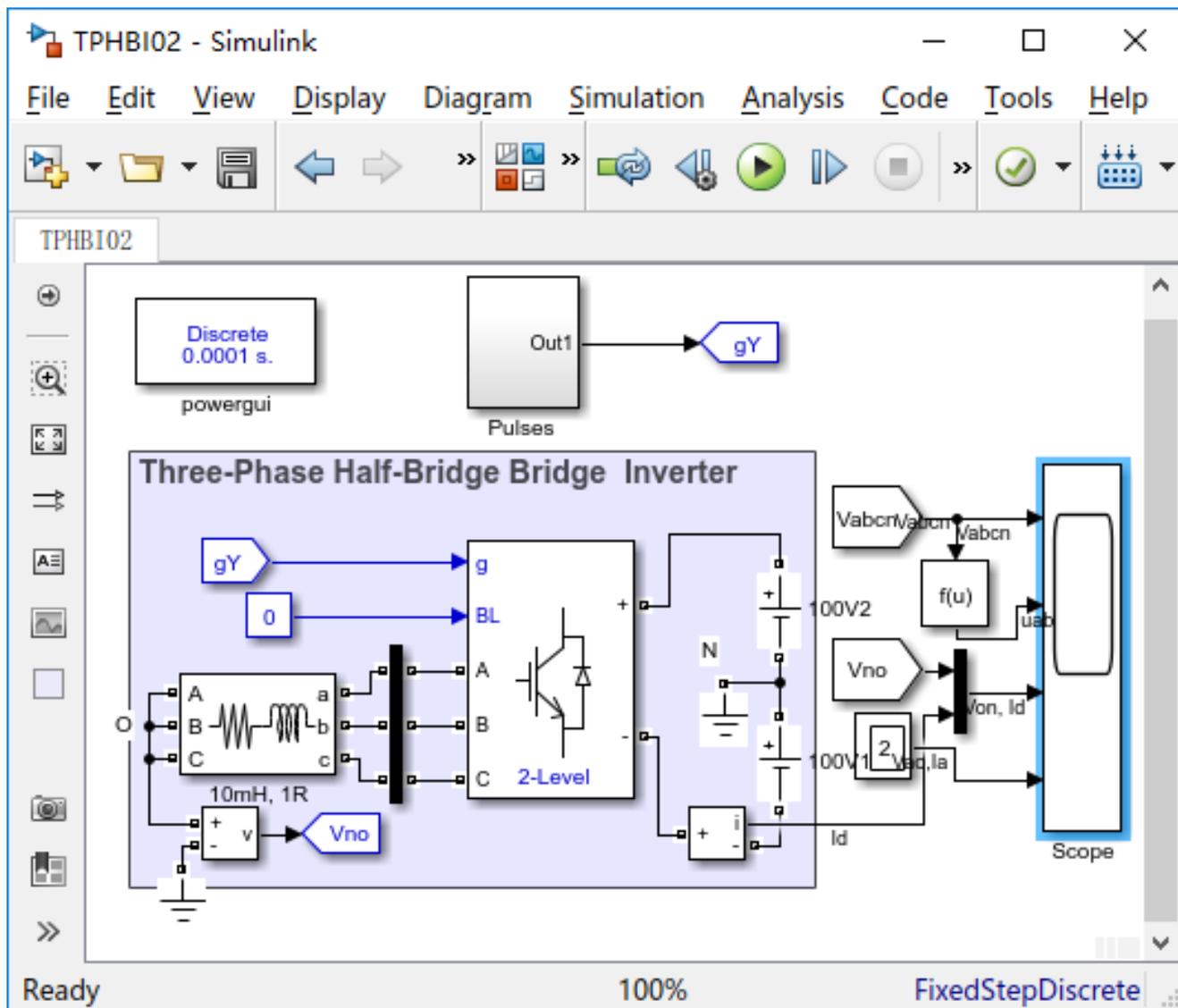
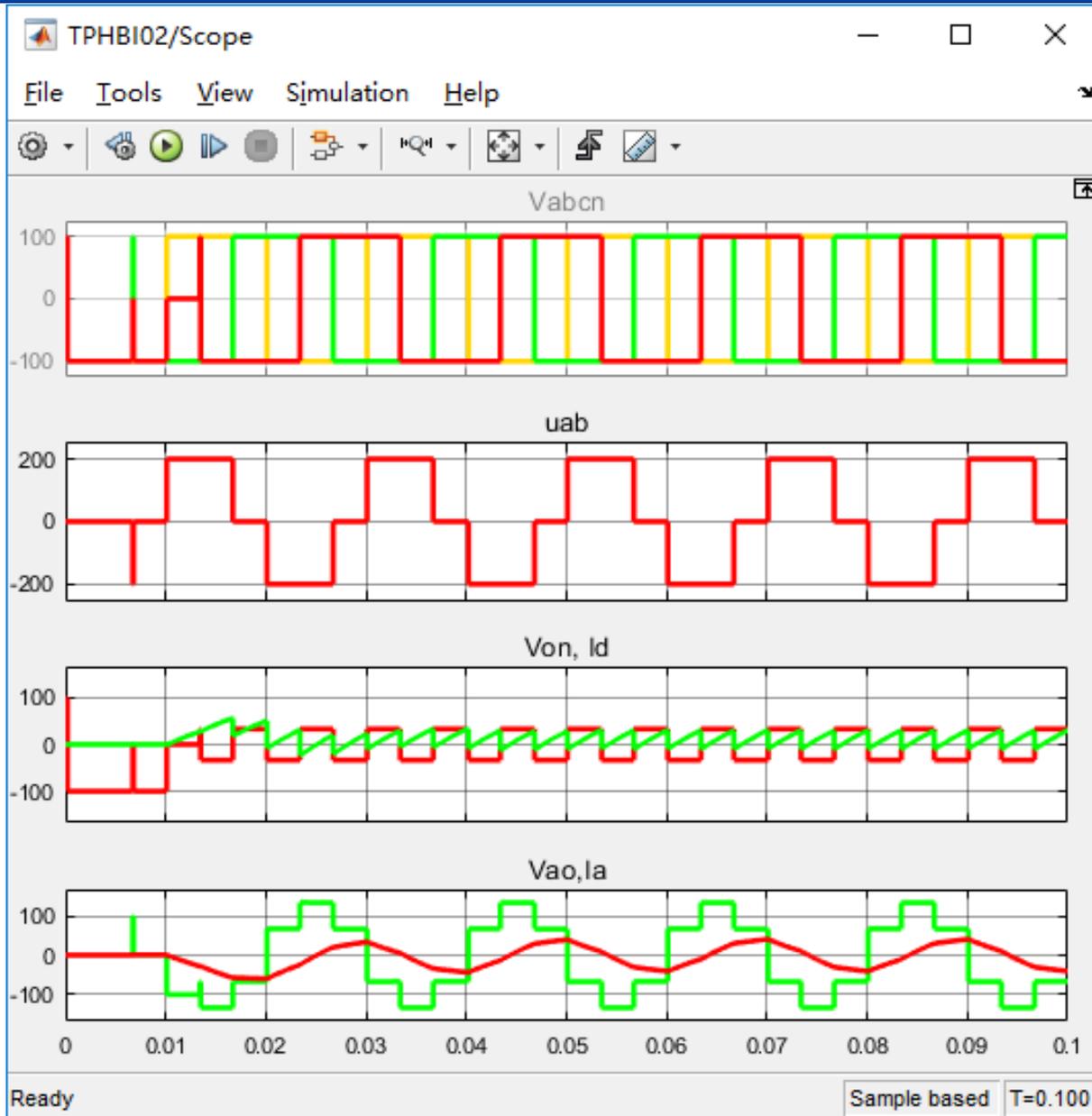


图4-10 电压型三相桥式逆变电路的工作波形





4.2.2 三相电压型逆变电路

□基本的数量关系

◆把输出线电压 u_{UV} 展开成傅里叶级数得

$$\begin{aligned} u_{UV} &= \frac{2\sqrt{3}U_d}{\pi} \left(\sin\omega t - \frac{1}{5}\sin 5\omega t - \frac{1}{7}\sin 7\omega t + \frac{1}{11}\sin 11\omega t + \frac{1}{13}\sin 13\omega t - \dots \right) \\ &= \frac{2\sqrt{3}U_d}{\pi} \left[\sin\omega t + \sum_n \frac{1}{n} (-1)^k \sin n\omega t \right] \end{aligned} \quad (4-8)$$

➤式中, $n=6k \pm 1$, k 为自然数。

◆输出线电压有效值 U_{UV} 为

$$U_{UV} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_{UV}^2 d\omega t} = 0.816U_d \quad (4-9)$$

➤其中基波幅值 U_{UV1m} 和基波有效值 U_{UV1} 分别为

$$U_{UV1m} = \frac{2\sqrt{3}U_d}{\pi} = 1.1U_d \quad (4-10)$$

$$U_{UV1} = \frac{U_{UV1m}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} U_d = 0.78U_d \quad (4-11)$$

4.2.2 三相电压型逆变电路

◆把负载相电压 u_{UN} 展开成傅里叶级数得

$$\begin{aligned} u_{UN} &= \frac{2U_d}{\pi} \left(\sin\omega t + \frac{1}{5}\sin 5\omega t + \frac{1}{7}\sin 7\omega t + \frac{1}{11}\sin 11\omega t + \frac{1}{13}\sin 13\omega t + \dots \right) \\ &= \frac{2U_d}{\pi} \left(\sin\omega t + \sum_n \frac{1}{n} \sin n\omega t \right) \end{aligned} \quad (4-12)$$

式中, $n=6k \pm 1$, k 为自然数。

◆负载相电压有效值 U_{UN} 为

$$U_{UN} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_{UN}^2 d\omega t} = 0.471U_d \quad (4-13)$$

其中基波幅值 U_{UN1m} 和基波有效值 U_{UN1} 分别为

$$U_{UN1m} = \frac{2U_d}{\pi} = 0.637U_d \quad (4-14)$$

$$U_{UN1} = \frac{U_{UN1m}}{\sqrt{2}} = 0.45U_d \quad (4-15)$$

□ 为了防止同一相上下两桥臂的开关器件同时导通而引起直流侧电源的短路, 要采取“先断后通”的方法—加入**死区时间**。



4.2.2 三相电压型逆变电路

例：三相桥式电压型逆变电路， 180° 导电方式， $U_d=200V$ 。试求输出相电压的基波幅值 U_{UN1m} 和有效值 U_{UN1} 、输出线电压的基波幅值 U_{UV1m} 和有效值 U_{UV1} 、输出线电压中7次谐波的有效值 U_{UV7} 。

解：

$$U_{UN1m} = \frac{2U_d}{\pi} = 0.637U_d = 0.637 \times 200 = 127.4 \text{ (V)}$$

$$U_{UN1} = \frac{U_{UN1m}}{\sqrt{2}} = 0.45U_d = 0.45 \times 200 = 90 \text{ (V)}$$

$$U_{UV1m} = \frac{2\sqrt{3}U_d}{\pi} = 1.1U_d = 1.1 \times 200 = 220 \text{ (V)}$$

$$U_{UV1} = \frac{U_{UV1m}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{6}}{\pi}U_d = 0.78U_d = 0.78 \times 200 = 156 \text{ (V)}$$

$$U_{UV7} = 2\sqrt{3}U_d / (3.14 \times 7 \times \sqrt{2}) = 22.3 \text{ (V)}$$



第4章 逆变电路

4.1 换流方式

4.2 电压型逆变电路 (☆)

4.3 电流型逆变电路

4.4 多重逆变电路和多电平逆变电路

本章小结

4.3 电流型逆变电路 · 引言

□ 直流电源为**电流源**的逆变电路，称为**电流型逆变电路**。

□ 电流型逆变电路**主要特点**

- ◆ 直流侧串**大电感**，电流基本无脉动，相当于**电流源**。
- ◆ 交流输出电流为**矩形波**，与负载阻抗角无关，输出电压波形和相位因负载不同而不同。
- ◆ **直流侧电感起缓冲无功能量的作用**，不必给开关器件反并联二极管。

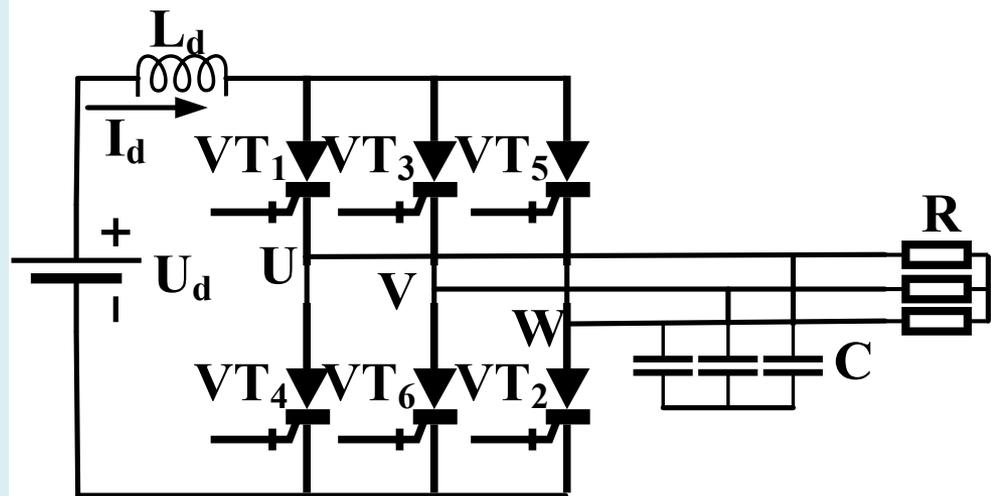


图4-11 电流型三相桥式逆变电路

□ 电流型逆变电路中，采用**半控型器件**的电路仍应用较多，换流方式有**负载换流**、**强迫换流**。



4.3 电流型逆变电路

4.3.1 单相电流型逆变电路

4.3.2 三相电流型逆变电路



4.3 电流型逆变电路

4.3.1 单相电流型逆变电路

4.3.2 三相电流型逆变电路

4.3.1 单相电流型逆变电路

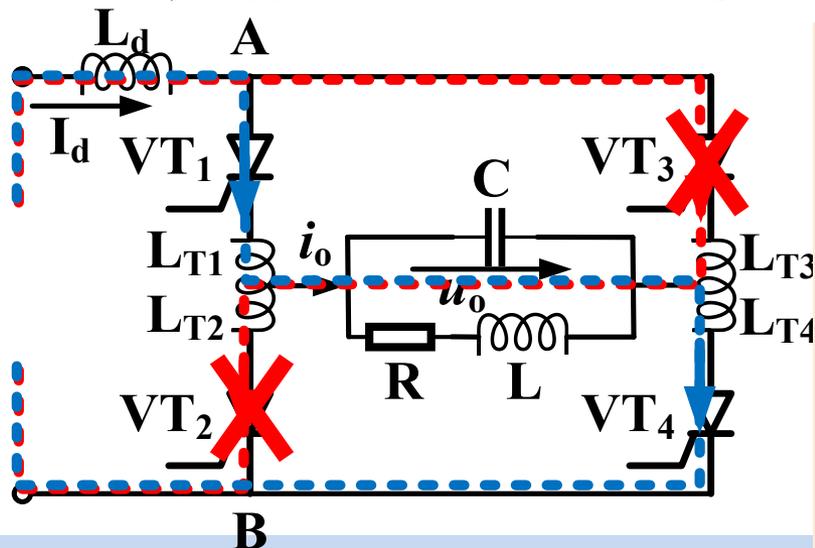


图4-12 单相桥式电流型逆变电路

□ 电路分析

- ◆ 由四个开关构成，每个晶闸管各串联一个**电抗器**，用来限制晶闸管开通时的 di/dt 。
- ◆ 采用**负载换相**方式工作的，要求负载电流略超前于负载电压，即**负载略呈容性**。

◆ 电容 C 和 L 、 R 构成**并联谐振电路**。

◆ 输出电流波形接近**矩形波**，含基波和各奇次谐波，且**谐波幅值远小于基波**。

□ 工作波形分析

◆ 在交流电流的一个周期内，有**两个稳定导通阶段**和**两个换流阶段**。

4.3.1 单相电流型逆变电路

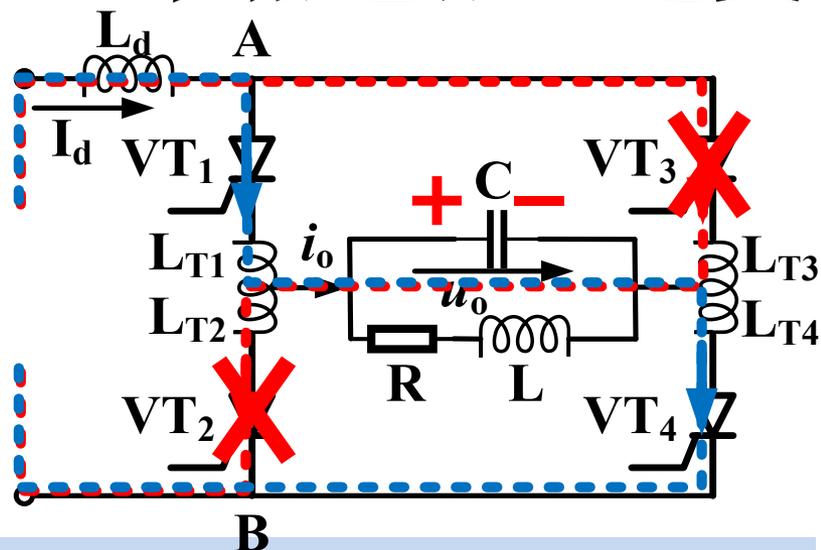


图4-12 单相桥式电流型逆变电路

- ◆ $t_1 \sim t_2$: VT_1 和 VT_4 稳定导通阶段, $i_o = I_d$, t_2 时刻前, 在 C 上建立了左正右负的电电压。
- ◆ 在 t_2 时刻触发 VT_2 和 VT_3 开通, 开始进入换流阶段。
- ◆ 由于换流电抗器 L_T 的作用, VT_1 和 VT_4 不能立刻关断, 其电流有一个减小过程, VT_2 和 VT_3 的电流也有一个增大过程。

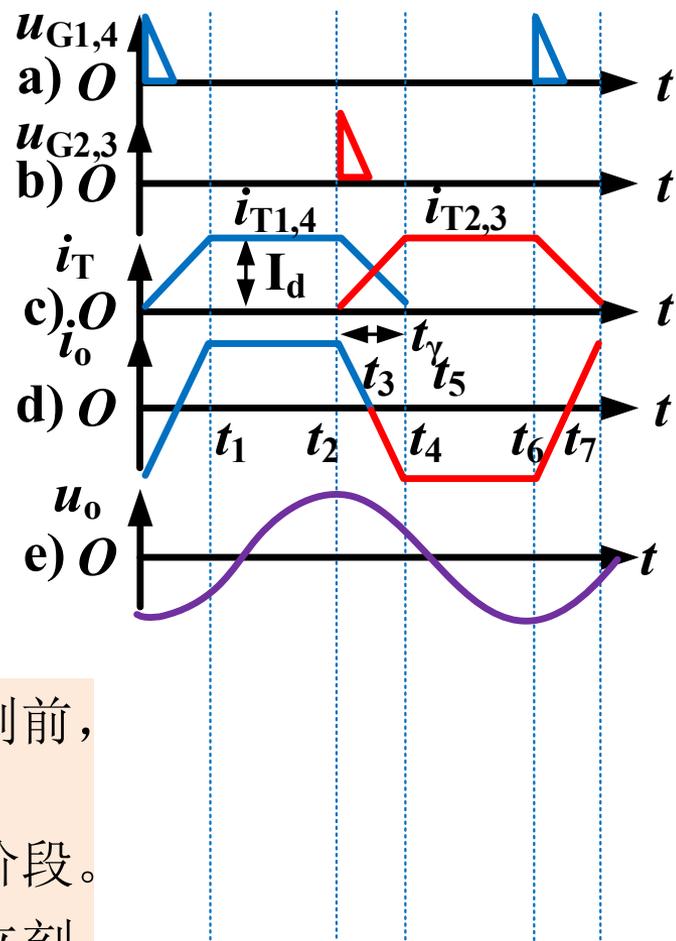


图4-13 并联谐振式逆变器工作波形 39

4.3.1 单相电流型逆变电路

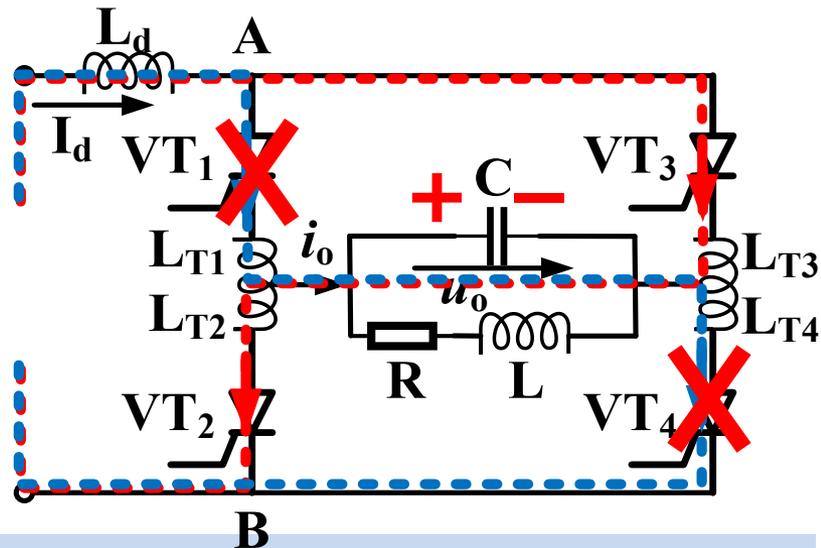


图4-12 单相桥式电流型逆变电路

- 4个晶闸管全部导通，负载电容电压经两个并联的放电回路同时放电。 (KCL: $i_{T1} - i_{T2} - i_o = 0$)
- ✓ 一个回路是经 L_{T1} 、 VT_1 、 VT_3 、 L_{T3} 回到电容 C 。
- ✓ 另一个回路是经 L_{T2} 、 VT_2 、 VT_4 、 L_{T4} 回到电容 C 。
- ◆ 当 $t=t_4$ 时， VT_1 、 VT_4 电流减至零而关断，直流侧电流 I_d 全部从 VT_1 、 VT_4 转移到 VT_2 、 VT_3 ，换流阶段结束。

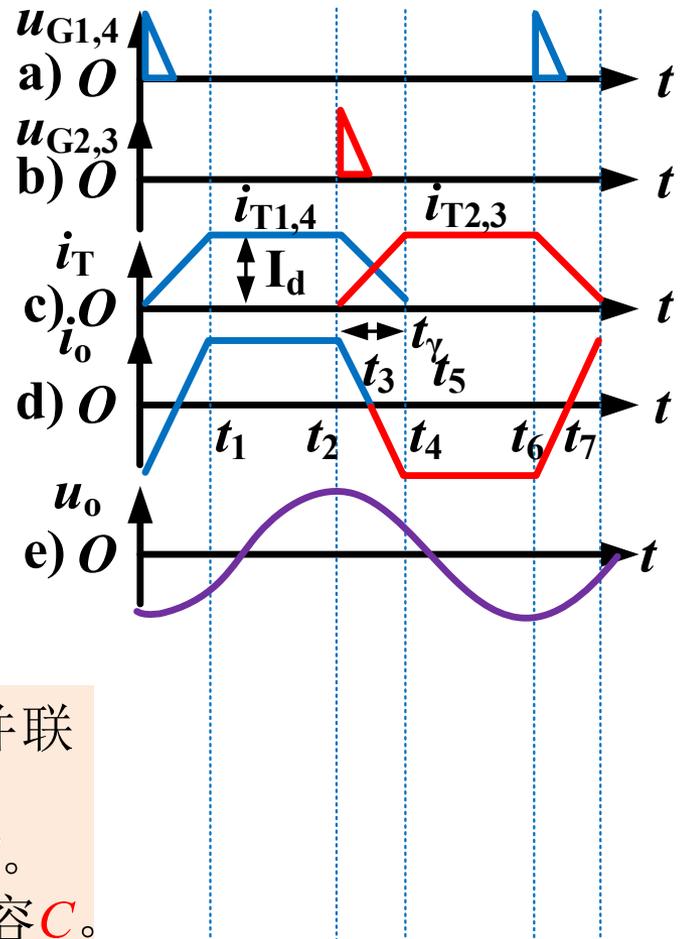


图4-13 并联谐振式逆变器工作波形 40

4.3.1 单相电流型逆变电路

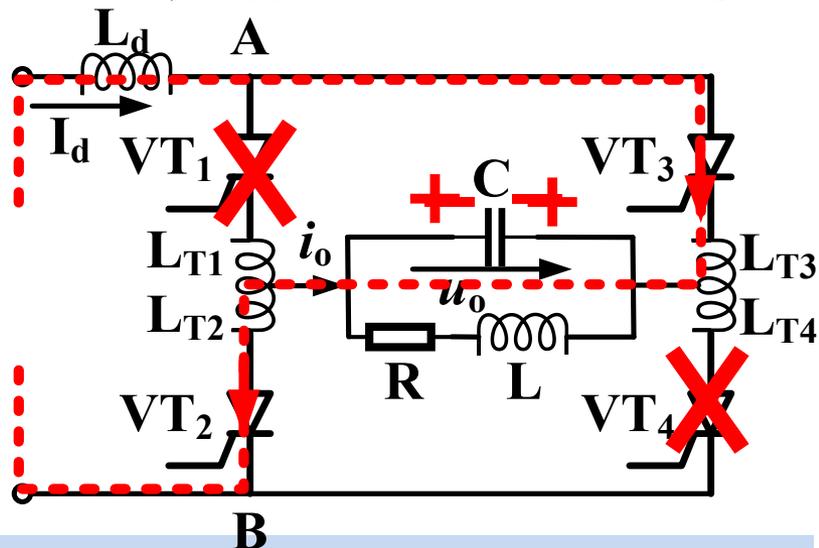


图4-12 单相桥式电流型逆变电路

- ◆ 晶闸管需一段时间才能恢复正向阻断能力， t_4 时刻换流结束后还要使VT₁、VT₄承受一段反压时间 t_β ， $t_\beta = t_5 - t_4$ 应大于晶闸管的关断时间 t_q 。
- ◆ 为保证可靠换流应在 u_o 过零前 $t_\delta = t_5 - t_2$ 时刻触发VT₂、VT₃， t_δ 为触发引前时间

$$t_\delta = t_\gamma + t_\beta$$

(4-16)

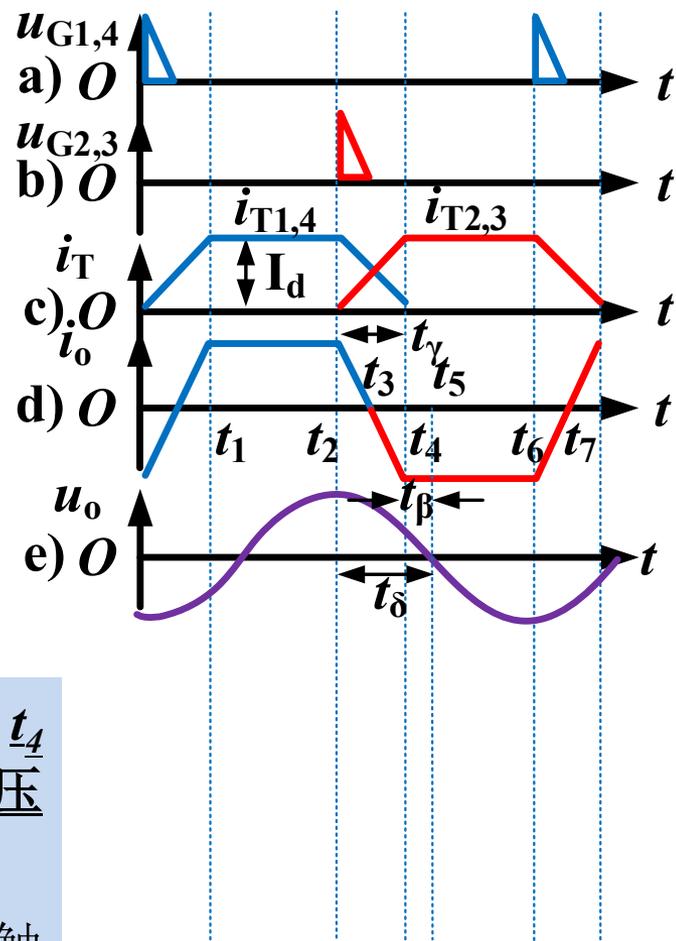


图4-13 并联谐振式逆变器工作波形 41

4.3.1 单相电流型逆变电路

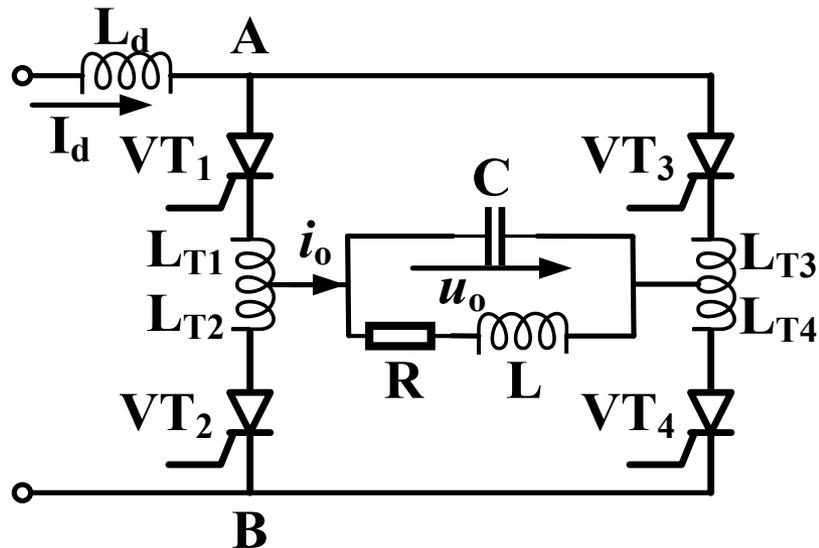


图4-12 单相桥式电流型逆变电路

i_o 超前于 u_o 的时间 φ (负载的功率因数角)

$$t_\varphi = \frac{t_\gamma}{2} + t_\beta \quad (4-17)$$

把 t_φ 表示为电角度 φ (弧度) 可得

$$\varphi = \omega \left(\frac{t_\gamma}{2} + t_\beta \right) = \frac{\gamma}{2} + \beta \quad (4-18)$$

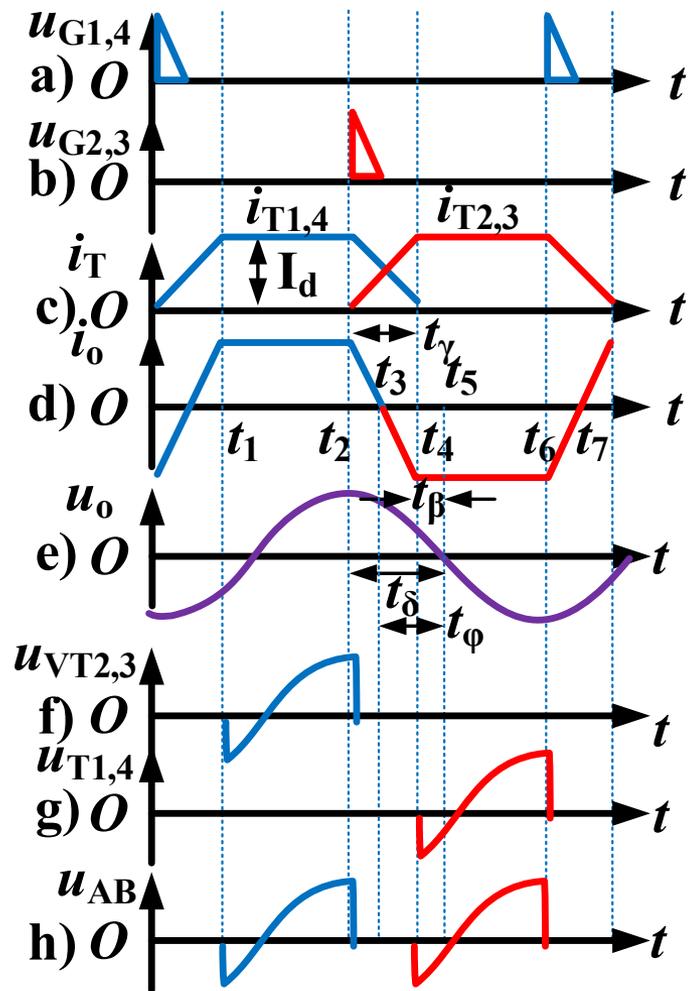


图4-13 并联谐振式逆变器工作波形



4.3.1 单相电流型逆变电路

□基本的数量关系

◆ i_o 展开成傅里叶级数可得

$$i_o = \frac{4I_d}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right) \quad (4-19)$$

基波电流有效值 I_{o1} 为

$$I_{o1} = \frac{4I_d}{\sqrt{2}\pi} = 0.9I_d \quad (4-20)$$

◆ 负载电压有效值 U_o 和直流电压 U_d 的关系

$$\begin{aligned} U_d &= \frac{1}{\pi} \int_{-\beta}^{\pi - (\gamma + \beta)} (\gamma + \beta) u_{AB} d\omega t = \frac{1}{\pi} \int_{-\beta}^{\pi - (\gamma + \beta)} \sqrt{2}U_o \sin \omega t d\omega t \\ &= \frac{\sqrt{2}U_o}{\pi} [\cos(\beta + \gamma) + \cos \beta] = \frac{2\sqrt{2}U_o}{\pi} \cos\left(\beta + \frac{\gamma}{2}\right) \cos \frac{\gamma}{2} \end{aligned}$$

4.3.1 单相电流型逆变电路

一般情况下 γ 值较小,可近似认为 $\cos(\gamma/2) \approx 1$,再考虑到式(4-18)可得

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_o \cos\varphi$$

$$\text{或 } U_o = \frac{\pi U_d}{2\sqrt{2} \cos\varphi} = 1.11 \frac{U_d}{\cos\varphi} \quad (4-21)$$

□ 实际工作过程中,感应线圈参数随时间变化,必须使**工作频率**适应负载的变化而**自动调整**,这种控制方式称为**自励方式**。

◆ 固定工作频率的控制方式称为**他励方式**。

◆ 自励方式存在**起动问题**,解决方法:

✓ 先用他励方式,系统开始工作后再转入自励方式。

✓ 附加预充电起动电路。



4.3 电流型逆变电路

4.3.1 单相电流型逆变电路

4.3.2 三相电流型逆变电路

4.3.2 三相电流型逆变电路

□ 电路分析

- ◆ 基本工作方式是 **120° 导电方式**，每个开关一周期内导电 **120°**，每个时刻上下桥臂组各有一个臂导通。
- ◆ 换流方式为 **横向换流**。

□ 波形分析

- ◆ 输出电流 波形和负载性质无关，正负脉冲各 120° 的 **矩形波**。
- ◆ 输出电流 和三相桥整流带大电感负载时的交流电流波形相同，谐波分析表达式也相同。
- ◆ 输出线电压 波形和负载性质有关，**大体为正弦波**，但叠加了一些脉冲。
- ◆ 输出交流电流 的基波 **有效值** I_{U1} 和直流电流 I_d 的关系为

$$I_{U1} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d = 0.78 I_d \quad (4-22)$$

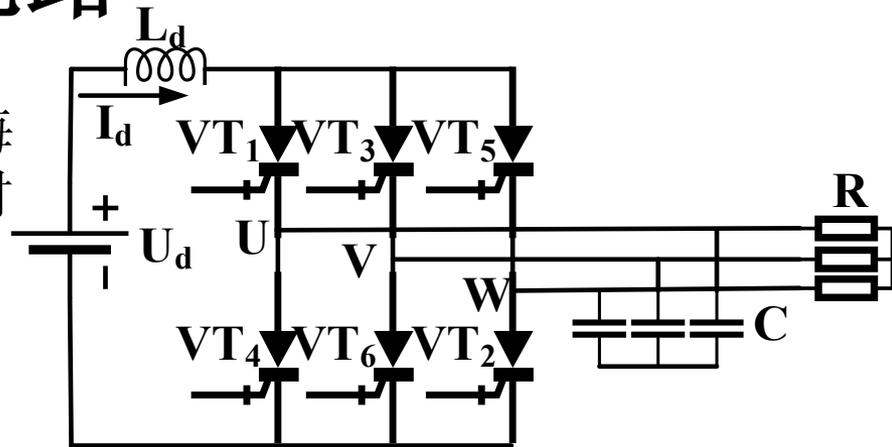


图4-11 电流型三相桥式变电路

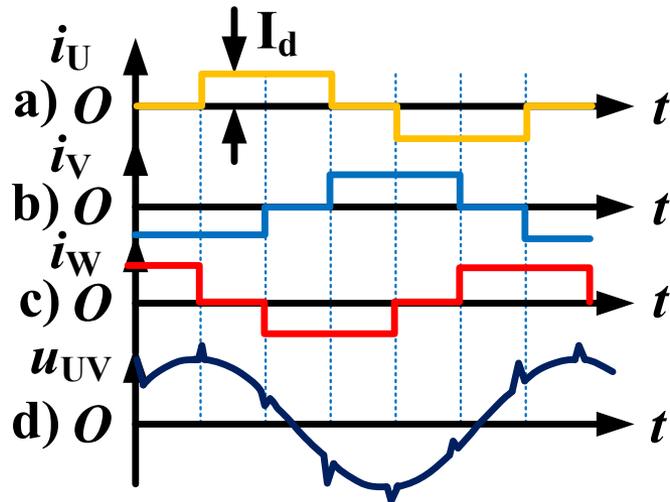


图4-14 输出波形



本章小结

□ 讲述基本的逆变电路的结构及其工作原理

- ◆ 四大类基本变流电路中，AC/DC和DC/AC两类电路更为基本、更为重要。

□ 换流方式

- ◆ 分为外部换流和自换流两大类，外部换流包括电网换流和负载换流两种，自换流包括器件换流和强迫换流两种。
- ◆ 换流概念在晶闸管时代十分重要，全控型器件时代其重要性有所下降。

□ 逆变电路分类方法

- ◆ 可按换流方式、输出相数、直流电源的性质或用途等分类。
- ◆ 本章主要采用按直流侧电源性质分类的方法，分为电压型和电流型两类。



本章小结

- ◆ 电压型和电流型的概念用于其他电路，会对这些电路有更深刻的认识，负载为大电感的整流电路可看为电流型整流电路，电容滤波的整流电路可看成为电压型整流电路。

□ 与其它章的关系

- ◆ 本章对逆变电路的讲述是很基本的，还远不完整，第7章的**PWM控制技术**在逆变电路中应用最多，绝大部分逆变电路都是PWM控制的，学完下一章才能对逆变电路有一个较为完整的认识。
- ◆ 逆变电路的直流电源往往由整流电路而来，二都结合构成**间接交流变流电路**。
- ◆ 此外，间接直流变流电路大量用于**开关电源**，其中的核心电路仍是逆变电路。