

第4章 DC-AC变换电路

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

● 逆变的概念

逆变——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。

● 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。

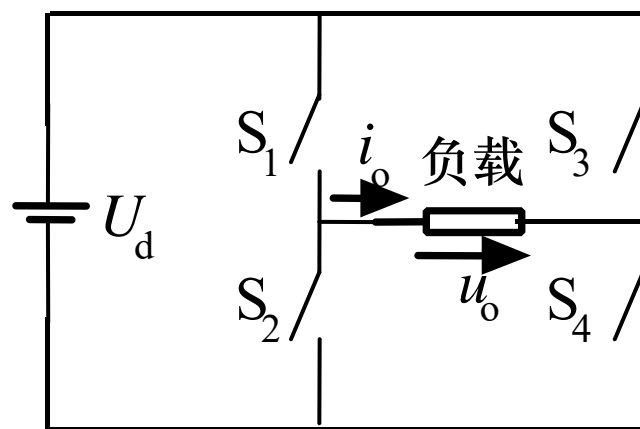
4.1.1 逆变电路的基本工作原理

4.1.2 换流方式分类

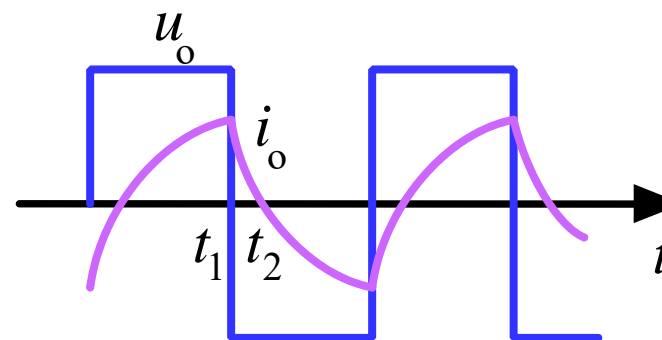
4.1.1 逆变电路的基本工作原理

● 以单相桥式逆变电路为例说明最基本的工作原理

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



a)

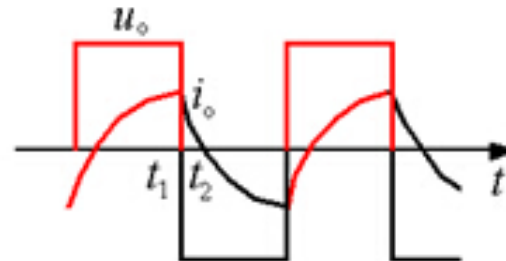


b)

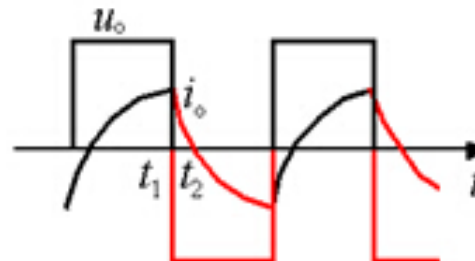
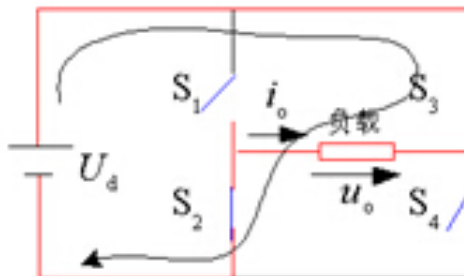
图4-1 逆变电路及其波形举例

4.1.1 逆变电路的基本工作原理

- ◆ S_1 、 S_4 闭合， S_2 、 S_3 断开时，负载电压 u_o 为正。
- ◆ S_1 、 S_4 断开， S_2 、 S_3 闭合时，负载电压 u_o 为负。



S_2 、 S_3 闭合， S_1 、 S_4 断开时电路和波形图



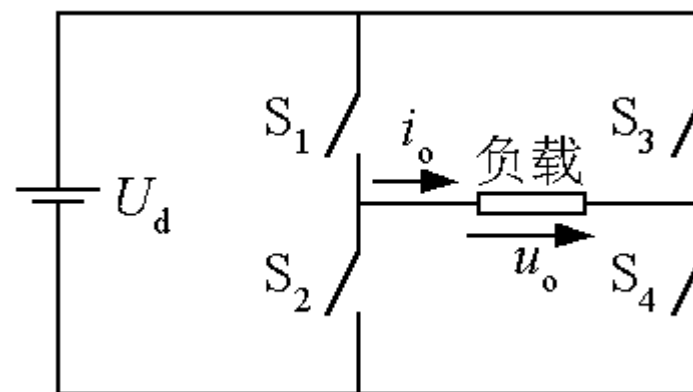
直流电



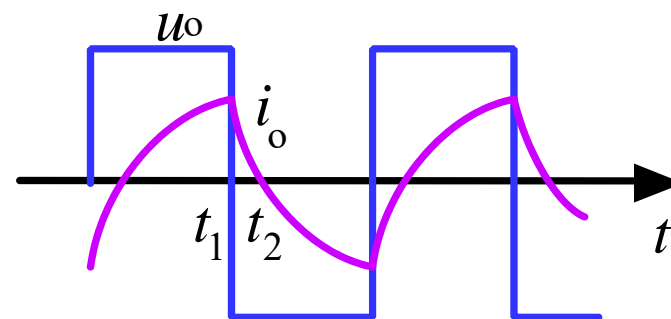
交流电

4.1.1 逆变电路的基本工作原理

- ◆ **逆变电路最基本的工作原理** ——改变两组开关切换频率，可改变输出交流电频率。
- ◆ **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。



a)



b)

图4-1 逆变电路及其波形举例

● **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**

✦ 开通：适当的门极驱动信号就可使器件开通。

✦ 关断：

➤ 全控型器件可通过门极关断。

➤ 半控型器件晶闸管，必须利用外部条件才能关断。

➤ 一般在晶闸管电流过零后施加一定时间反压，才能关断。

✦ 研究换流方式主要是研究如何使器件关断。

● 本章换流及换流方式问题最为全面集中,因此安排在本章集中讲述。

- **器件换流 (Device Commutation)**
 - ✦ 利用全控型器件的自关断能力进行换流。
 - ✦ 在采用IGBT、电力MOSFET、GTO、GTR等全控型器件的电路中的换流方式是器件换流。
- **电网换流 (Line Commutation)**
 - ✦ 电网提供换流电压的换流方式。-- 晶闸管整流
 - ✦ 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。
- **负载换流 (Load Commutation)**
- **强迫换流 (Forced Commutation)**

4.1.2 换流方式分类

- 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。
- 如图是基本的负载换流电路，4个桥臂均由晶闸管组成。
- 整个负载工作在接近并联谐振状态而略呈容性。
- 直流侧串电感，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。

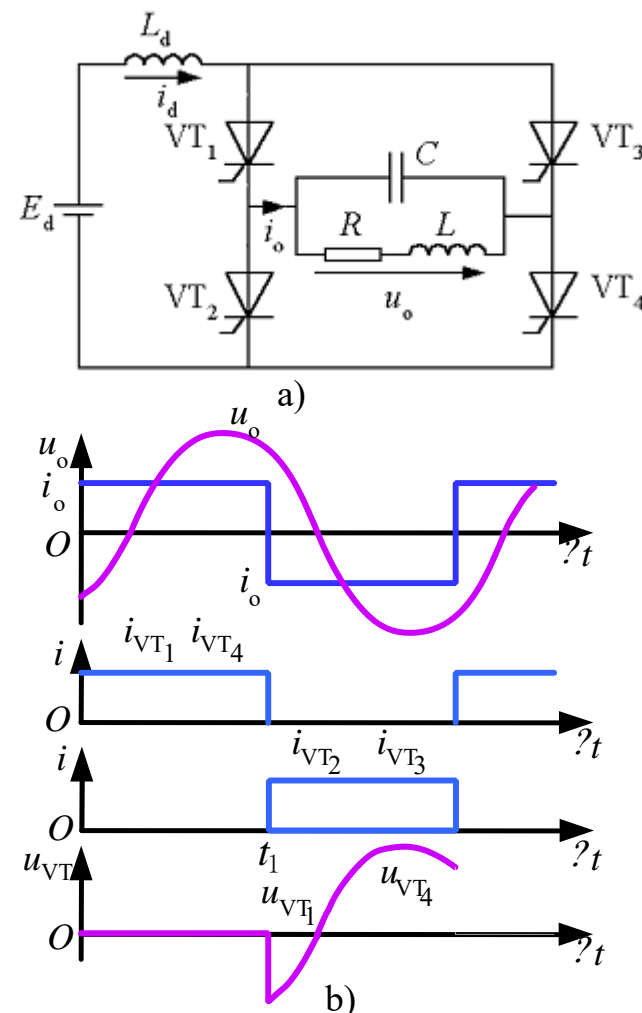


图4-2 负载换流
电路及其工作波形

● 强迫换流 (Forced Commutation)

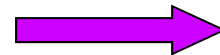
- ✦ 设置附加的换流电路，给欲关断的晶闸管强迫施加反压或反电流的换流方式称为**强迫换流**。
- ✦ 通常利用附加电容上所储存的能量来实现，因此也称为**电容换流**。
- ✦ 分类

由换流电路内电容
直接提供换流电压



直接耦合式
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



电感耦合式
强迫换流

直接耦合式强迫换流

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**。

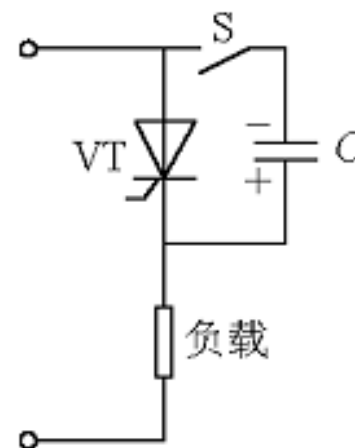


图4-3直接耦合式强迫换流原理图

电感耦合式强迫换流

先使晶闸管电流减为零，然后通过反并联二极管使其加上反向电压。也叫**电流换流**。

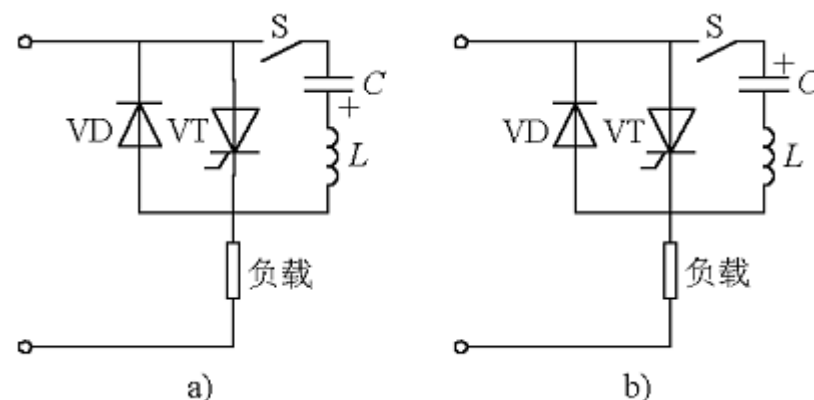


图4-4 电感耦合式强迫换流原理图

● 换流方式总结：

- ✦ 器件换流——适用于全控型器件。
- ✦ 其余三种方式——针对晶闸管。
- ✦ 器件换流和强迫换流——属于自换流。
- ✦ 电网换流和负载换流——属于外部换流。
- ✦ 当电流不是从一个支路向另一个支路转移，而是在支路内部终止流通而变为零，则称为**熄灭**。

P118 1, 2

● 逆变电路的分类 —— 根据直流侧电源性质的不同

直流侧是**电压源**

电压型逆变电路——又称为电压源型逆变电路

Voltage Source Type Inverter-VSTI

直流侧是**电流源**

电流型逆变电路——又称为电流源型逆变电路

Current Source Type Inverter-VSTI

● 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**。
- ✦ 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。

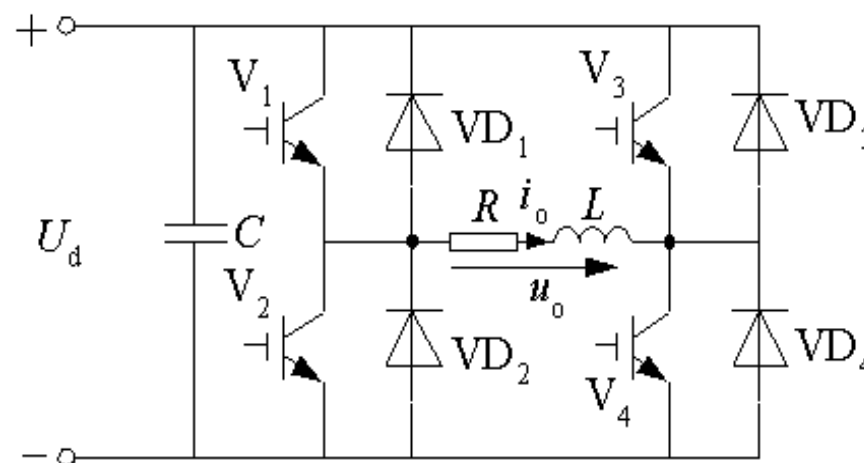


图4-5 电压型全桥逆变电路

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

半桥逆变电路工作原理

- V_1 和 V_2 栅极信号在一周期内各半周正偏、半周反偏，两者互补，输出电压 u_o 为矩形波，幅值为 $U_m = U_d/2$ 。
- 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**。

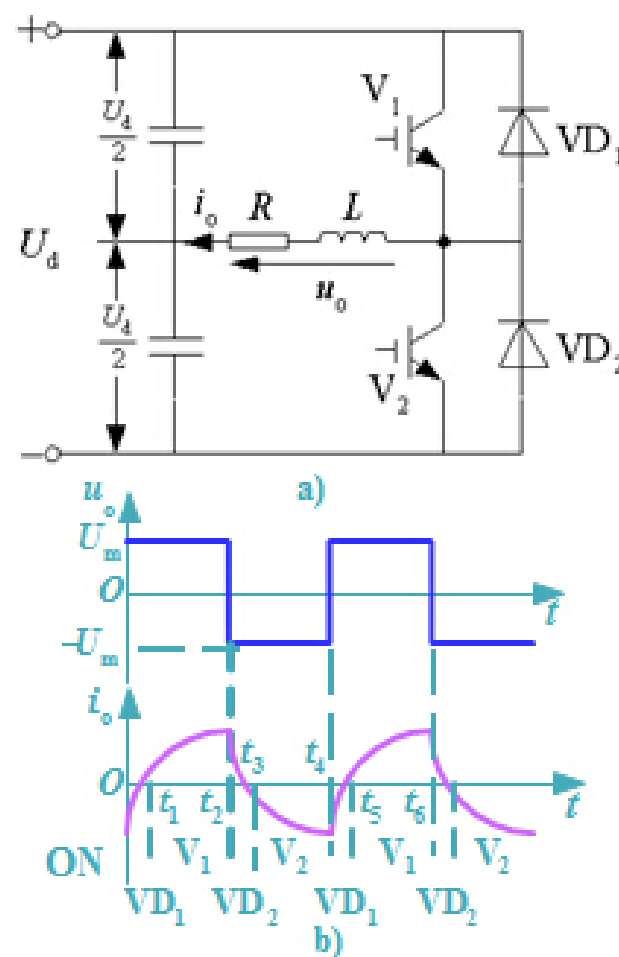
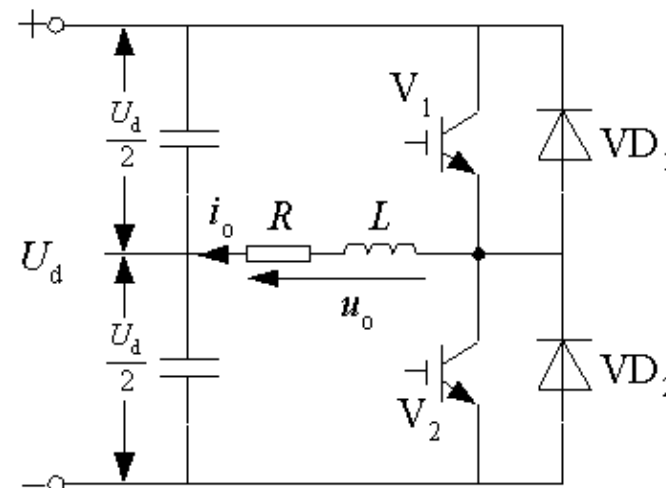


图4-6 单相半桥电压型逆变电路及其工作波形

4.2.1 单相电压型逆变电路

- 优点：电路简单，使用器件少。
- 缺点：输出交流电压幅值为 $U_d/2$ ，且直流侧需两电容器串联，要控制两者电压均衡。
- 应用：
 - ⊕ 用于几kW以下的小功率逆变电源。
 - ⊕ 单相全桥、三相桥式都可看成若干个半桥逆变电路的组合。



4.2.1 单相电压型逆变电路

● 全桥逆变电路

- ◆ 共四个桥臂，可看成两个半桥电路组合而成。
- ◆ 两对桥臂交替导通 180° 。
- ◆ 输出电压合电流波形与半桥电路形状相同，幅值高出一倍。
- ◆ 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。

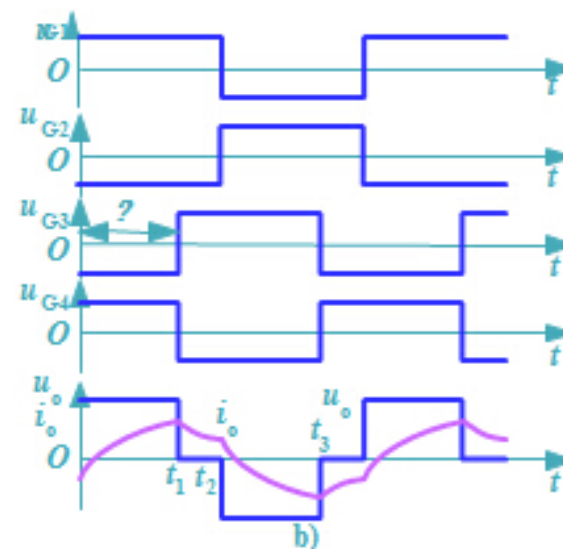
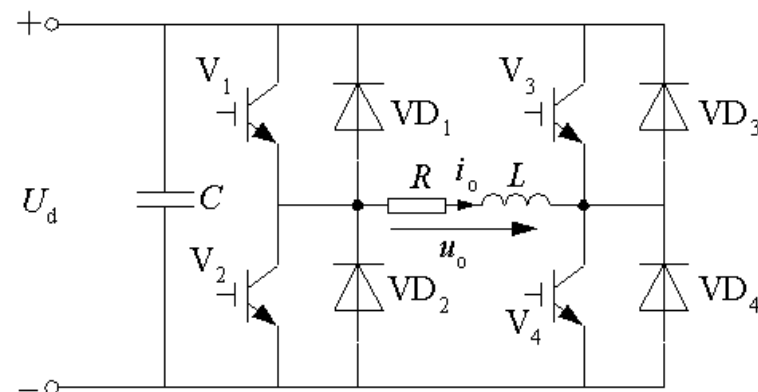


图4-7 单相全桥逆变电路的移相调压方式

4.2.1 单相电压型逆变电路

● 全桥逆变电路

- 阻感负载时，还可采用移相方式来调节输出电压
— 移相调压
- V_3 的基极信号比 V_1 落后 q ($0 < q < 180^\circ$)。 V_3 、 V_4 的栅极信号分别比 V_2 、 V_1 的前移 $180^\circ - q$ 。输出电压是正负各为 q 的脉冲。
- 改变 θ 就可调节输出电压。

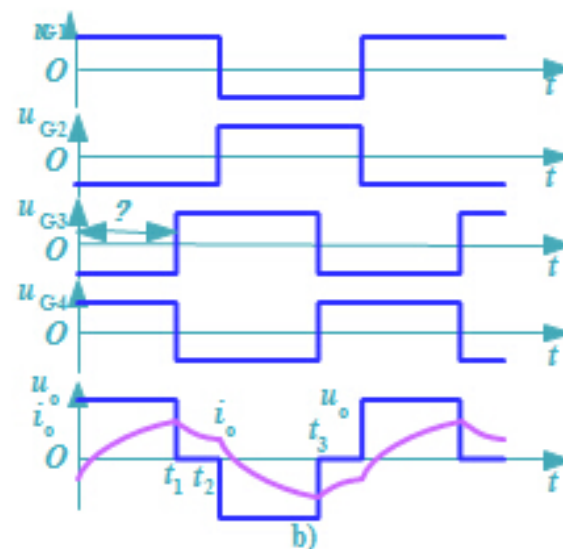
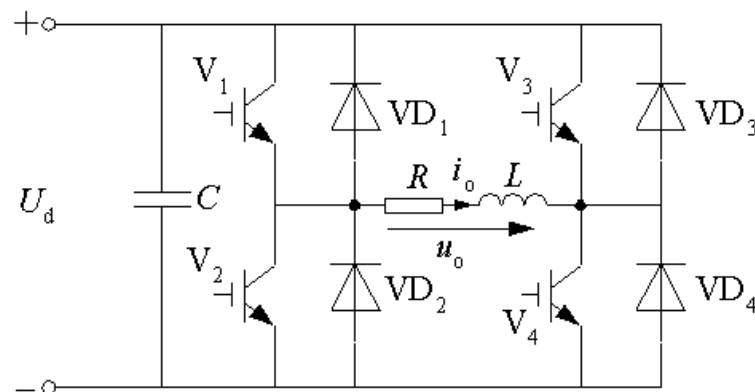


图4-7 单相全桥逆变电路的移相调压方式

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。

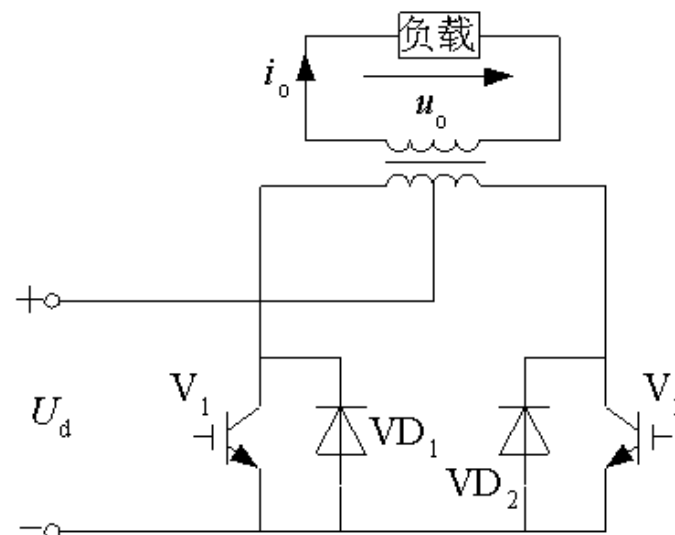


图4-8 带中心抽头变压器的逆变电路

- 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。
- 与全桥电路的比较：
 - 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。

4.2.2 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
- 应用最广的是三相桥式逆变电路

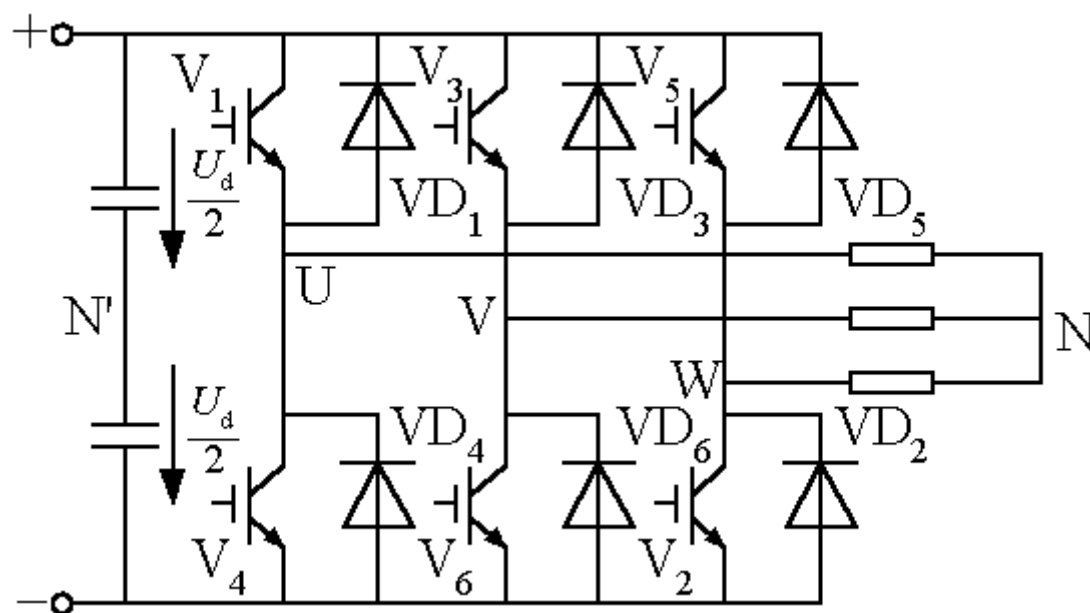


图4-9 三相电压型桥式逆变电路

4.2.2 三相电压型逆变电路

● 基本工作方式—— 180° 导电方式

- ✦ 每桥臂导电180°，同一相上下两臂交替导电，各相开始导电的角度差120°。
- ✦ 任一瞬间有三个桥臂同时导通。
- ✦ 每次换流都是在同一相上下两臂之间进行，也称为**纵向换流**。

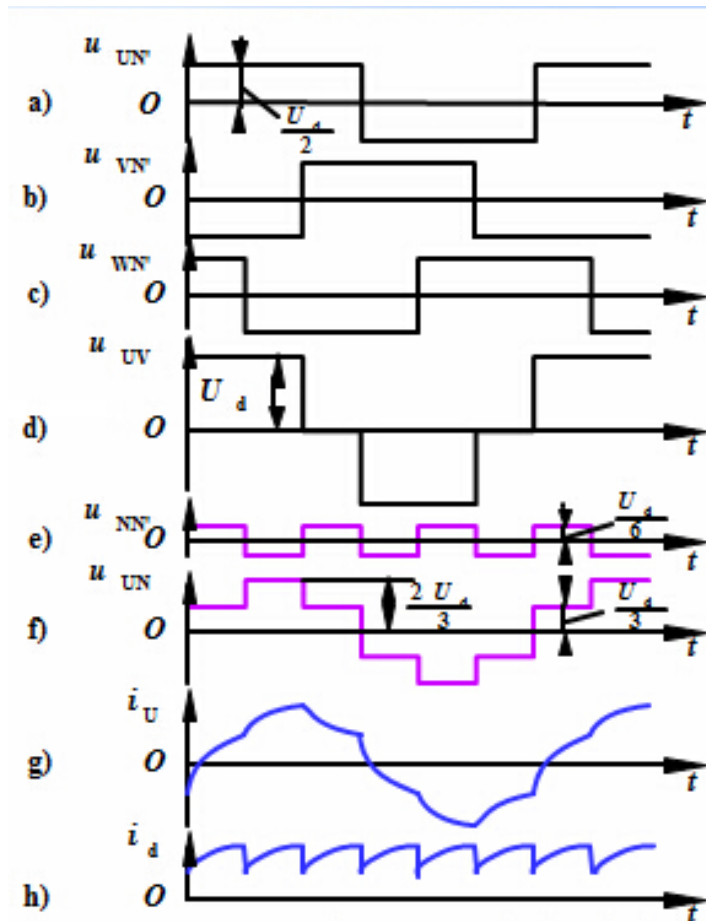


图4-10 电压型三相桥式逆变电路的工作波形

4.2.2 三相电压型逆变电路

波形分析

- 负载各相到电源中点N'的电压：U相，1通，

$$u_{UN'} = U_d/2, \text{ 4通, } u_{UN'} = -U_d/2。$$

- 负载线电压

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

- 负载相电压

$$\left. \begin{aligned} u_{UN} &= u_{UN'} - u_{NN'} \\ u_{VN} &= u_{VN'} - u_{NN'} \\ u_{WN} &= u_{WN'} - u_{NN'} \end{aligned} \right\}$$

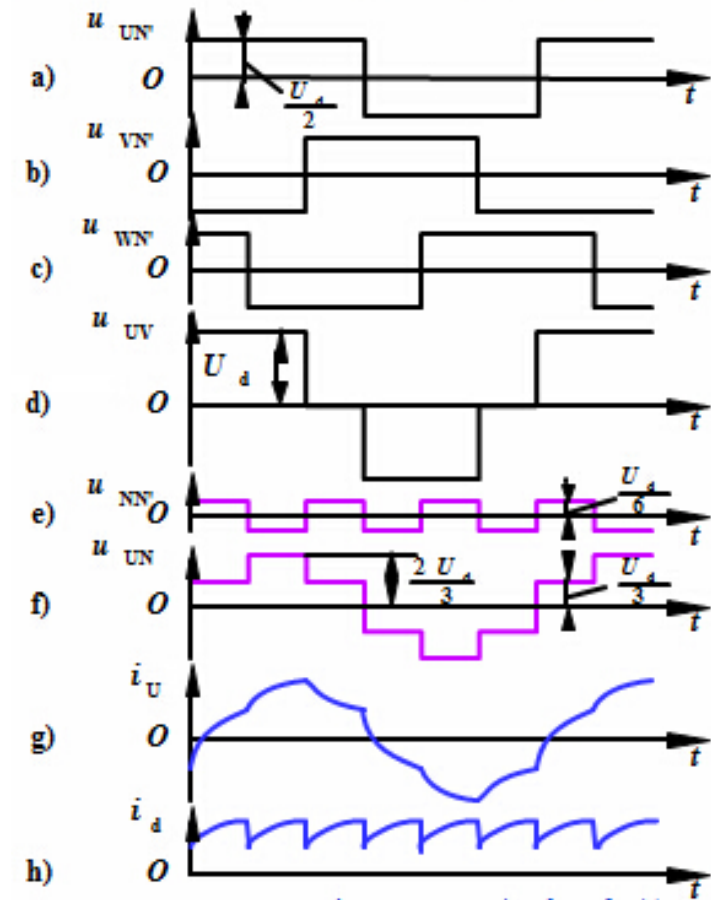


图4-10 电压型三相桥式逆变电路的工作波形

- ❖ 负载中点和电源中点间电压

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

- ❖ 负载三相对称时有 $u_{UN} + u_{VN} + u_{WN} = 0$ ，于是

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

- ❖ 负载已知时，可由 u_{UN} 波形求出 i_U 波形。
- ❖ 一相上下两桥臂间的换流过程和半桥电路相似。
- ❖ 桥臂1、3、5的电流相加可得直流侧电流 i_d 的波形， i_d 每 60° 脉动一次，直流电压基本无脉动，因此逆变器从交流侧向直流侧传送的功率是脉动的，电压型逆变电路的一个特点。
- ❖ 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短路，应采取“先断后通”
- ❖ 数量分析见教材。

4.3 电流型逆变电路

- 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**

(1) 直流侧串大电感，电流基本无脉动，相当于电流源。

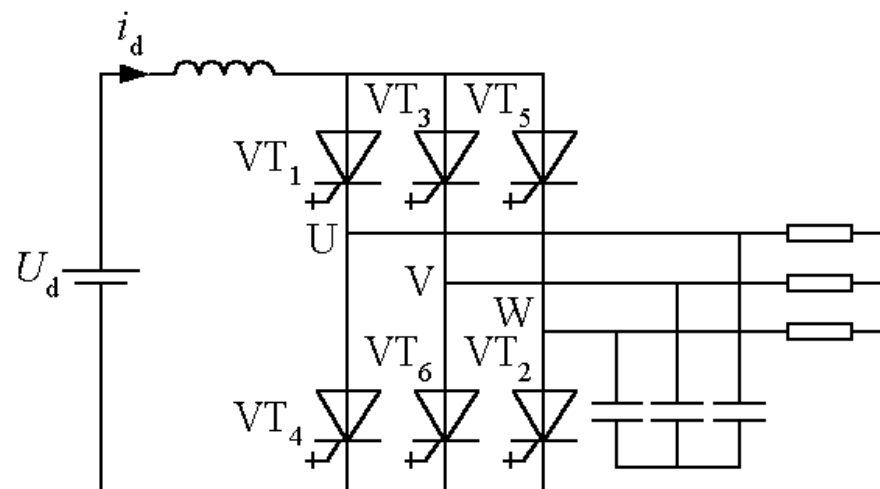


图4-11 电流型三相桥式逆变电路

(2) 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。

(3) 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。

- 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。

4.3.1 单相电流型逆变电路

4.3.2 三相电流型逆变电路

● 单相桥式电流型电路原理

- 由四个桥臂构成，每个桥臂的晶闸管各串联一个电抗器，用来限制晶闸管开通时的 di/dt 。
- 工作方式**为负载换相**。
- 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。

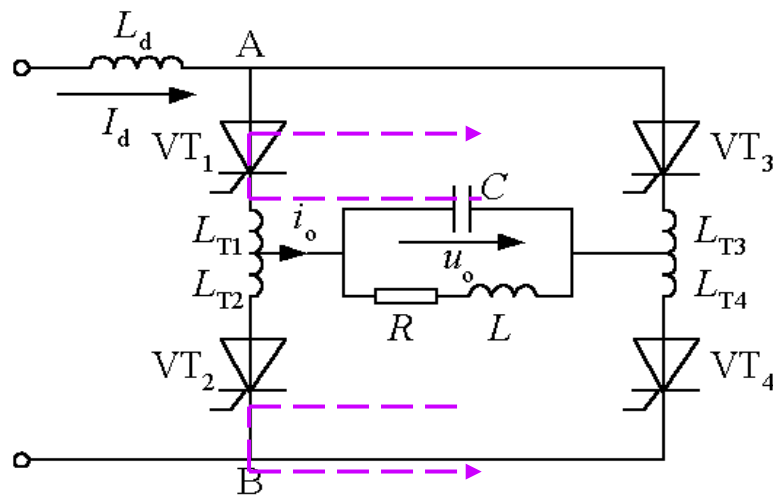
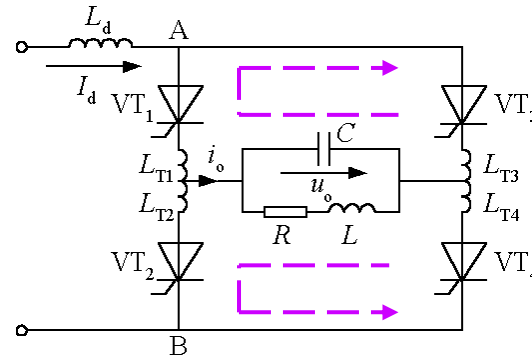


图4-12 单相桥式电流型
(并联谐振式) 逆变电路

4.3.1 单相电流型逆变电路

单相桥式电流型电路工作分析

一个周期内有两个导通阶段和两个换流阶段。



- $t_1 \sim t_2$: 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。
- $t_2 \sim t_4$: t_2 时触发 VT_2 和 VT_3 开通, 进入换流阶段。
- L_T 使 VT_1 、 VT_4 不能立刻关断, 电流有一个减小过程。 VT_2 、 VT_3 电流有一个增大过程。
- 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。
- L_{T1} 、 VT_1 、 VT_3 、 L_{T3} 到 C ; 另一个经 L_{T2} 、 VT_2 、 VT_4 、 L_{T4} 到 C 。

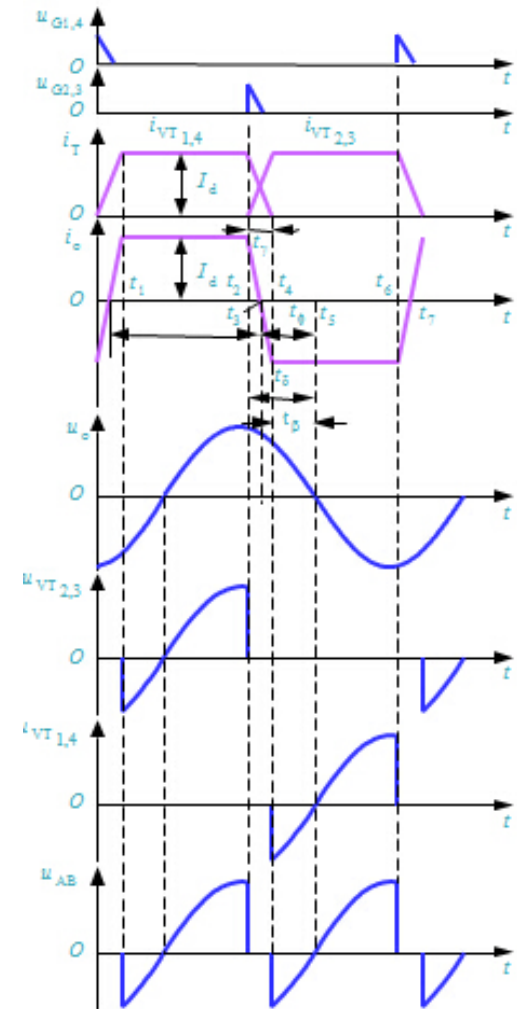


图4-13 并联谐振式逆变电路工作波形

4.3.1 单相电流型逆变电路

单相桥式电流型电路工作分析

✦ i_o 在 t_3 时刻，即 $i_{VT1}=i_{VT2}$ 时刻过零， t_3 时刻大体位于 t_2 和 t_4 的中点。

✦ $t=t_4$ 时， VT_1 、 VT_4 电流减至零而关断，换流阶段结束。

✦ $t_4 - t_2 = t_g$ 称为换流时间。

✦ 保证晶闸管的可靠关断

- 晶闸管需一段时间才能恢复正向阻断能力，换流结束后还要使 VT_1 、 VT_4 承受一段反压时间 t_b 。

- $t_b = t_5 - t_4$ 应大于晶闸管的关断时间 t_q 。

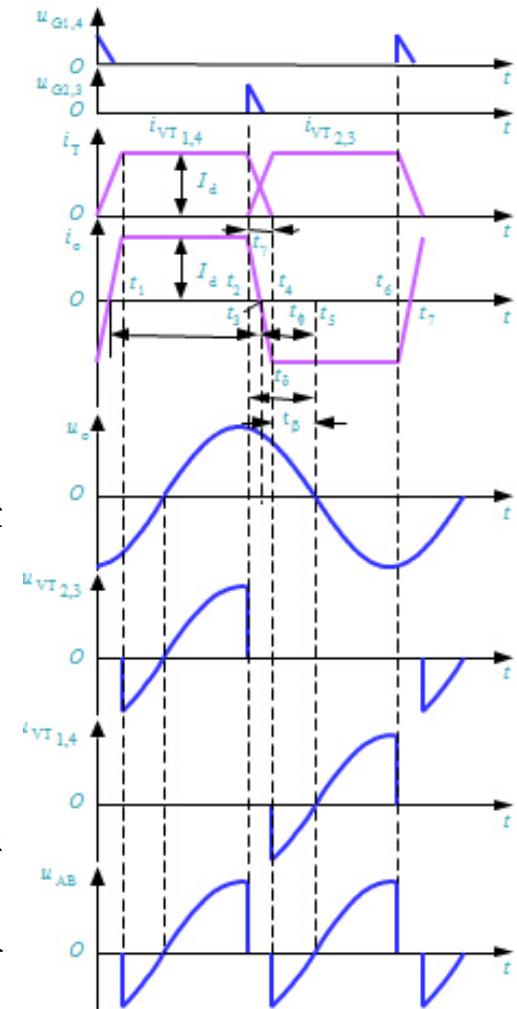
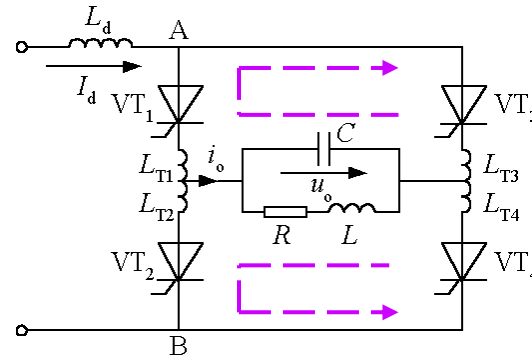


图4-13 并联谐振式逆变电路工作波形

- 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。

● 电路分析

- 基本工作方式是 120° 导电方式—每个臂一周期内导电 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。
- 输出交流电流的基波有效值。

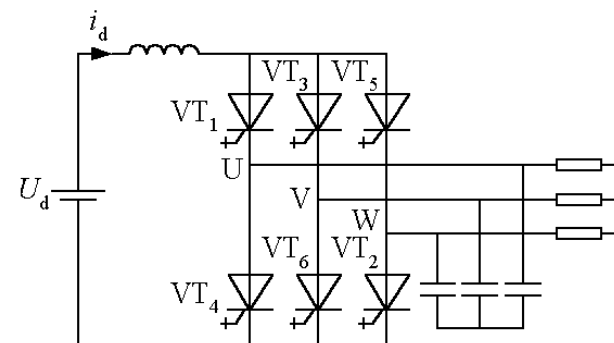


图4-11 电流型三相桥式逆变电路

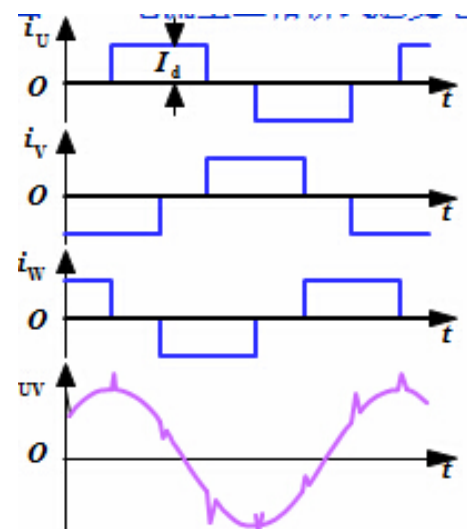


图4-14 电流型三相桥式逆变电路的输出波形

● 串联二极管式晶闸管逆变电路

- ✦ 主要用于中大功率交流电动机调速系统。
- ✦ 是**电流型**三相桥式逆变电路。
- ✦ 各桥臂的晶闸管和二极管串联使用。
- ✦ **120° 导电工作方式**，输出波形和图5-14的波形大体相同。
- ✦ **强迫换流**方式，电容 $C_1 \sim C_6$ 为换流电容。

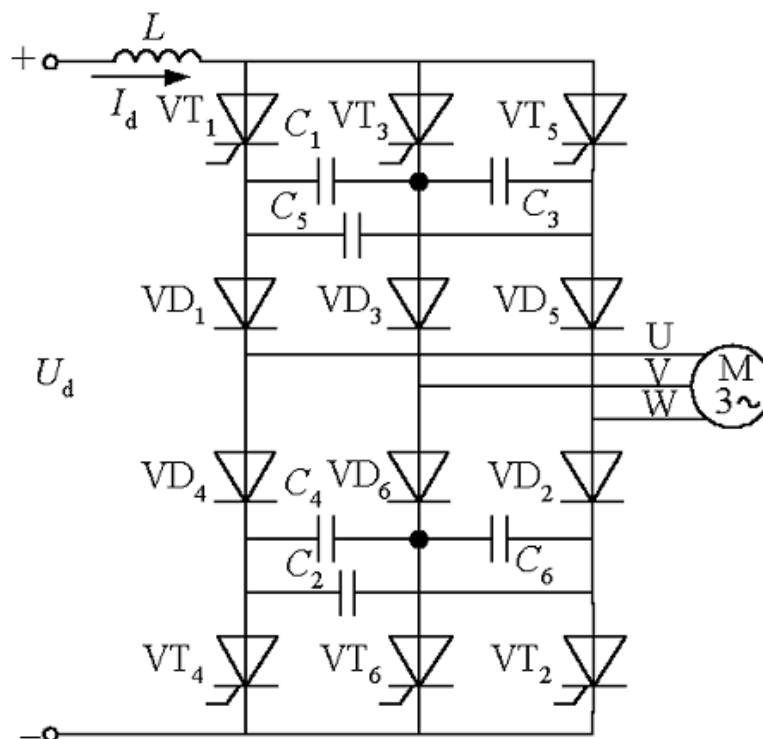


图5-15 串联二极管式
晶闸管逆变电路

● 换流过程分析

✦ 电容器所充电压的规律：

对于共阳极晶闸管，它与导通晶闸管相连一端极性为正，另一端为负，不与导通晶闸管相连的电容器电压为零。

✦ 等效换流电容概念：

分析从 VT_1 向 VT_3 换流时，图4-16中的 C_{13} 就是图4-14中的 C_3 与 C_5 串联后再与 C_1 并联的等效电容。

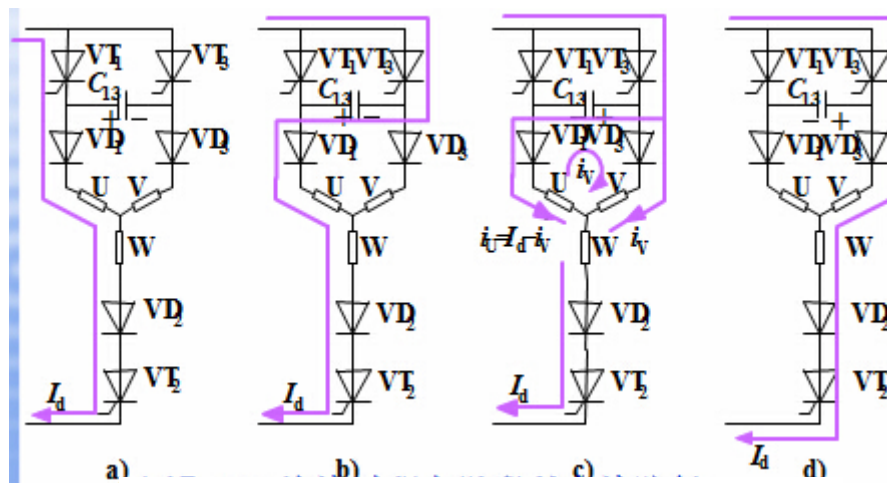


图4-16 换流过程各阶段的电流路径

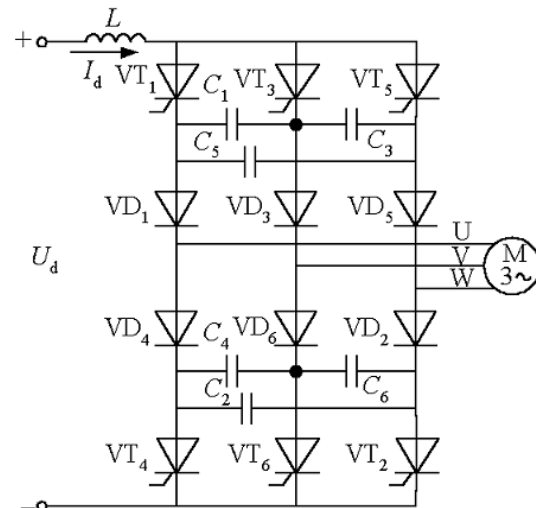


图4-15 串联二极管式晶闸管逆变电路

4.3.2 三相电流型逆变电路

分析从 VT_1 向 VT_3 换流的过程:

假设换流前 VT_1 和 VT_2 通， C_{13} 电压 U_{C0} 左正右负。如图4-16a。

换流阶段分为**恒流放电**和**二极管换流**两个阶段。

- t_1 时刻触发 VT_3 **导通**， VT_1 被施以反压而**关断**。
- I_d 从 VT_1 换到 VT_3 ， C_{13} 通过 VD_1 、U相负载、W相负载、 VD_2 、 VT_2 、直流电源和 VT_3 放电，放电电流恒为 I_d ，故称**恒流放电阶段**。如图4-16b。
- u_{C13} 下降到零之前， VT_1 承受反压，反压时间大于 t_q 就能保证关断。

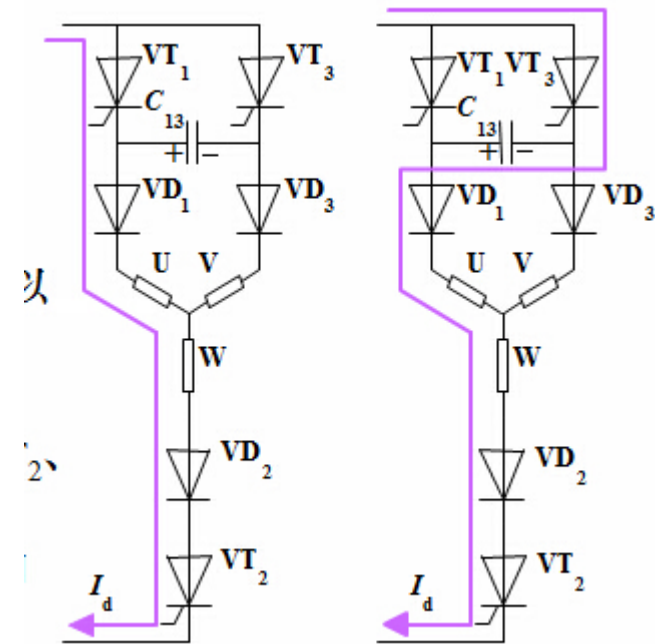


图4-16 换流过程各阶段的
电流路径 a) b)

4.3.2 三相电流型逆变电路

- t_2 时刻 u_{C13} 降到零，之后 C_{13} 反向充电。忽略负载电阻压降，则二极管 VD_3 导通，电流为 i_V ， VD_1 电流为 $i_U = I_d - i_V$ ， VD_1 和 VD_3 同时通，进入**二极管换流阶段**。
- 随着 C_{13} 电压增高，充电电流渐小， i_V 渐大， t_3 时刻 i_U 减到零， $i_V = I_d$ ， VD_1 承受反压而关断，二极管换流阶段**结束**。
- t_3 以后， VT_2 、 VT_3 **稳定导通阶段**。

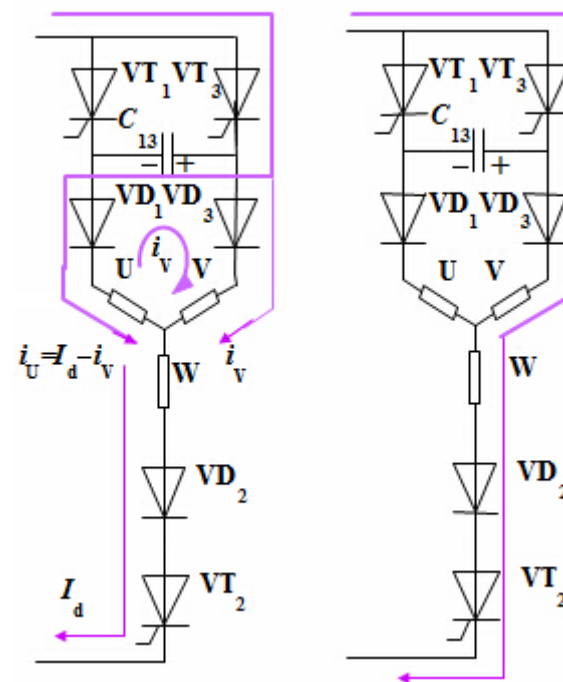


图4-16 换流过程各阶段的
电流路径 c) d)

✦ 波形分析

- 电感负载时， u_{C13} 、 i_U 、 i_V 及 u_{C1} 、 u_{C3} 、 u_{C5} 波形。
- u_{C1} 的波形和 u_{C13} 完全相同，从 U_{C0} 降为 $-U_{C0}$ 。
- C_3 和 C_5 是串联后再和 C_1 并联的，电压变化的幅度是 C_1 的一半。
- u_{C3} 从零变到 $-U_{C0}$ ， u_{C5} 从 U_{C0} 变到零。
- 这些电压恰好符合相隔 120° 后从 VT_3 到 VT_5 换流时的要求。

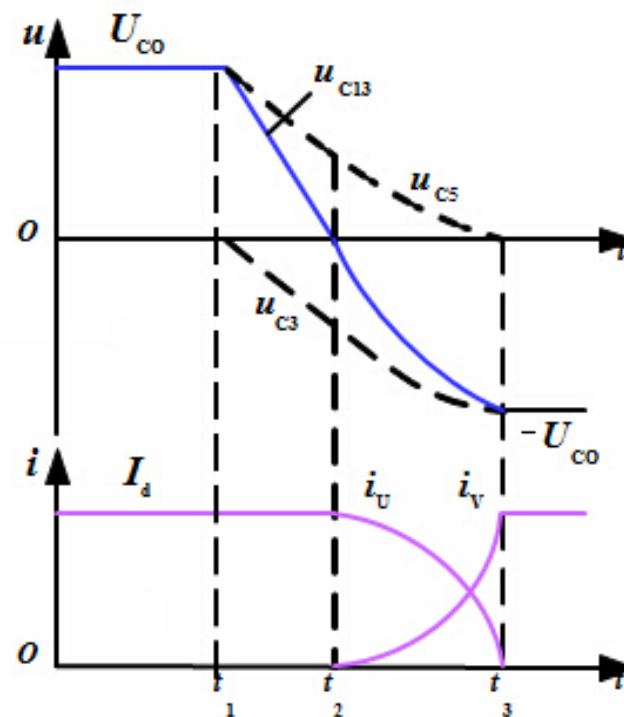


图4-17 串联二极管晶闸管逆变电路换流过程波形

实例：

无换向器电动机

- ⊕ 电流型三相桥式逆变器驱动同步电动机，负载换流。
- ⊕ 工作特性和调速方式和直流电动机相似，但无换向器，因此称为**无换向器电动机**。

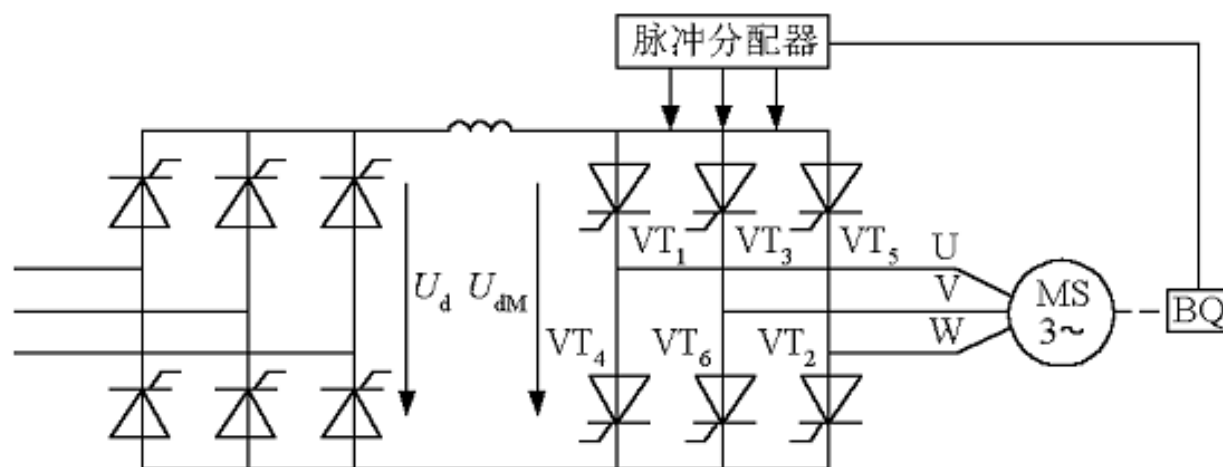


图4-18 无换相器电动机的基本电路

4.3.2 三相电流型逆变电路

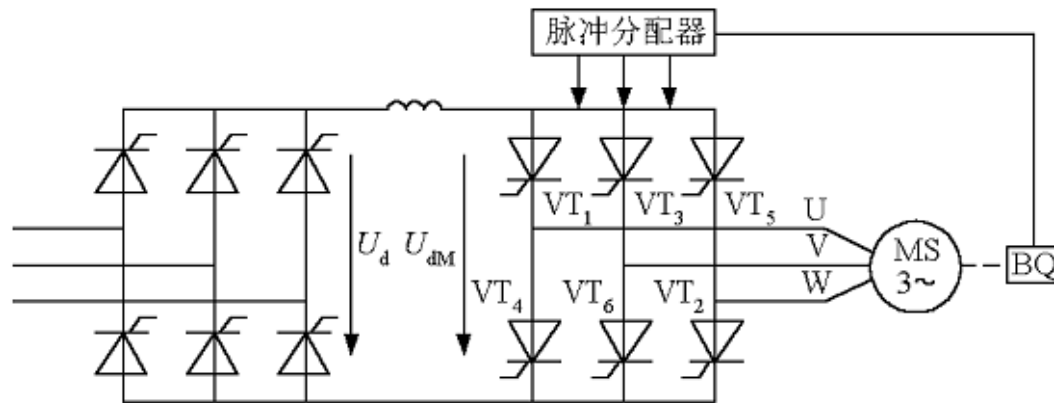


图5-18 无换相器电动机的基本电路

⊕ **BQ——转子位置检测器**，
检测磁极位置以决定什么
时候给哪个晶闸管发出触
发脉冲。

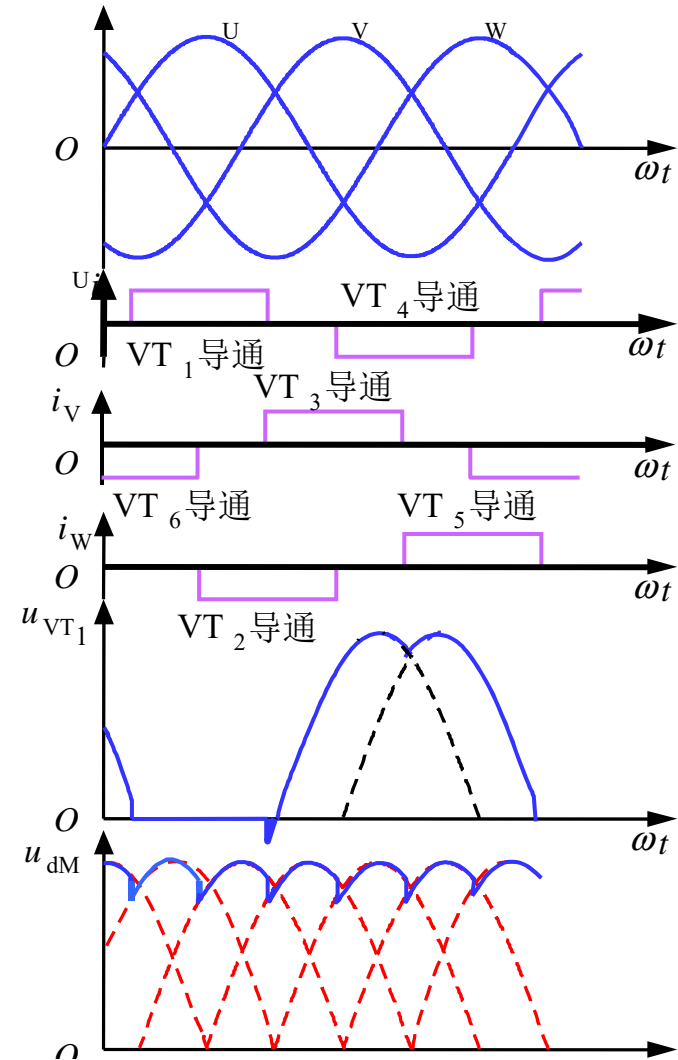


图4-19 无换相器电动机电路工作波形

4.4.1 多重逆变电路

4.4.2 多电平逆变电路

- **电压型**逆变电路——输出电压是矩形波。
- **电流型**逆变电路——输出电流是矩形波，含有较多谐波。
- **多重逆变电路**把几个矩形波组合起来，接近正弦。
- **多电平逆变电路**输出较多电平，使输出接近正弦。

- 正弦波电压可表示为： $u(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \varphi_u)$
- 对于非正弦波电压，满足狄里赫利条件，可分解为傅里叶级数：

- ✦ 基波 (fundamental) —— 频率与工频相同的分量
- ✦ 谐波 —— 频率为基波频率大于1整数倍的分量
- ✦ 谐波次数 —— 谐波频率和基波频率的整数比

- ✦ n 次谐波电流含有率以 HRI_n (Harmonic Ratio for I_n) 表示

$$HRI_n = \frac{I_n}{I_1} \times 100\% \quad (3-57)$$

- ✦ 电流谐波总畸变率 THD_i (Total Harmonic distortion) 定义为

$$THD_i = \frac{I_h}{I_1} \times 100\% \quad (3-58)$$

● 多重逆变电路

电压型、电流型都可多重化，以**电压型**为例。

● 单相电压型二重逆变电路

- 两个单相全桥逆变电路组成，输出通过变压器 T_1 和 T_2 串联起来。
- 输出波形：两个单相的输出 u_1 和 u_2 是 180° 矩形波。

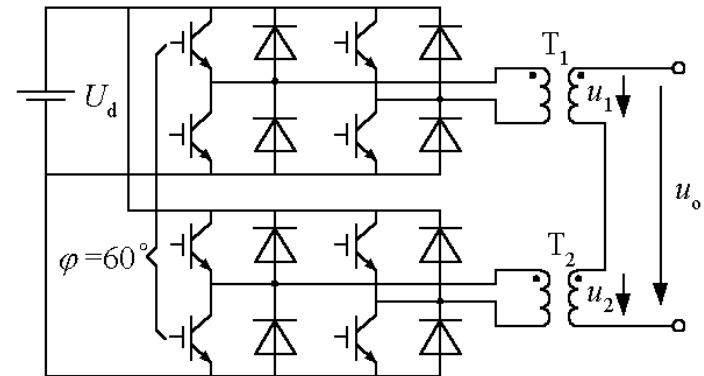


图4-20 二重单相逆变电路

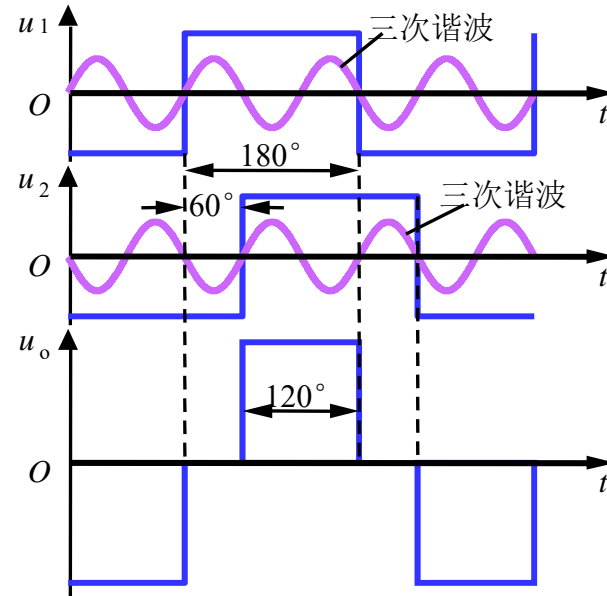


图4-21 二重逆变电路的工作波形

- ✦ u_1 和 u_2 相位错开 $j=60^\circ$ ，其中的3次谐波就错开了 $3 \times 60^\circ = 180^\circ$ 。
- ✦ 变压器串联合成后，3次谐波互相抵消，总输出电压中不含3次谐波。
- ✦ u_o 波形是 120° 矩形波，含 $6k \pm 1$ 次谐波， $3k$ 次谐波都被抵消。

● 多重逆变电路有串联多重和并联多重两种

- ✦ **串联多重**——把几个逆变电路的输出串联起来，多用于**电压型**。
- ✦ **并联多重**——把几个逆变电路的输出并联起来，多用于**电流型**。

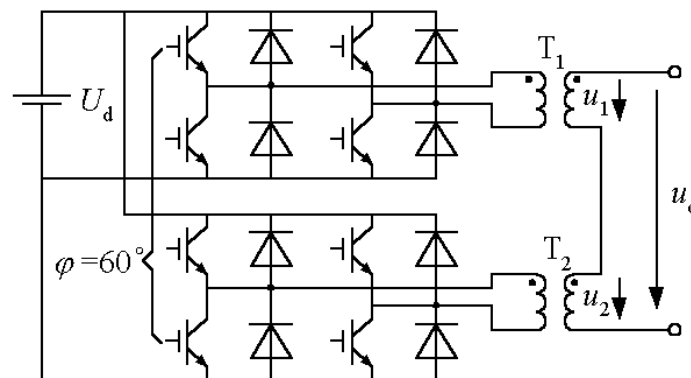


图4-20 二重单相逆变电路

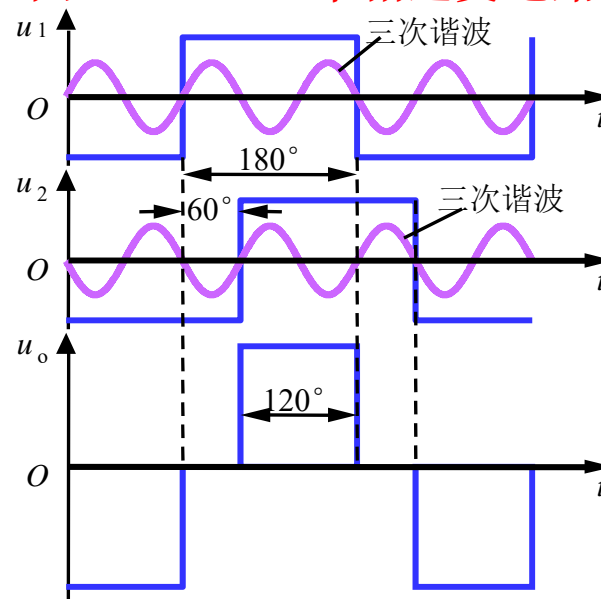


图4-21 二重逆变电路的工作波形

● 三相电压型二重逆变电路的工作原理

- 由两个三相桥式逆变电路构成，输出通过变压器串联合成。
- 两个逆变电路均为 180° 导通方式。
- 逆变桥II的相位逆变桥I滞后 30° 。
- T_1 为 Δ/Y 联结，线电压变比为 $1:1.732$ (一次和二次绕组匝数相等)。
- T_2 一次侧 Δ 联结，二次侧两绕组曲折星形接法，其二次电压相对于一次电压而言，比 T_1 的接法超前 30° ，以抵消逆变桥II比逆变桥I滞后的 30° 。这样， u_{U2} 和 u_{U1} 的基波相位就相同。

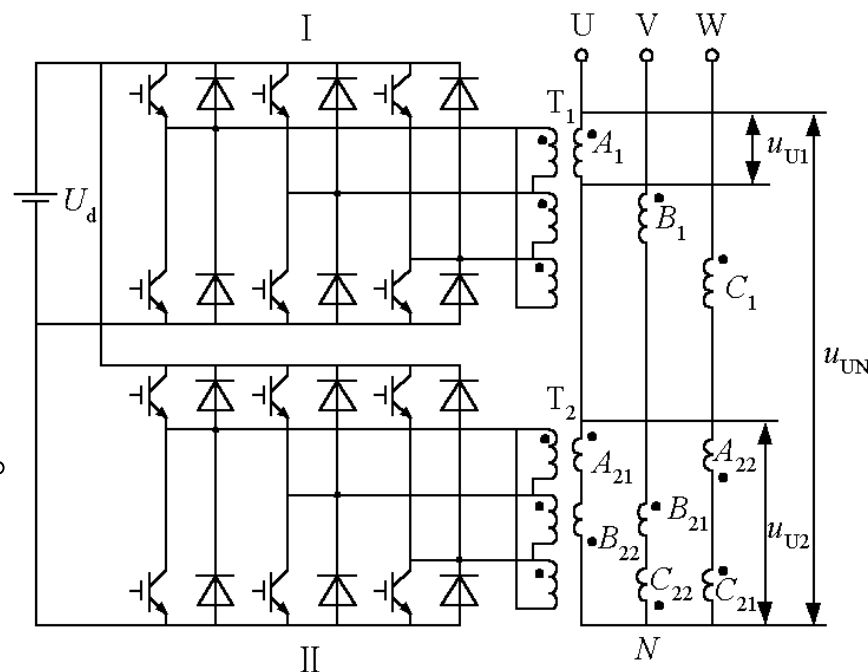


图4-22 三相电压型二重逆变电路

4.4.1 多重逆变电路

- 由图4-24可看出 u_{UN} 比 u_{U1} 接近正弦波。
- 具体数量关系见教材P114。
- 直流侧电流每周期脉动12次，称为**12脉波逆变电路**。
- 使 m 个三相桥逆变电路的相位依次错开 $\pi/(3m)$ ，连同合成输出电压并抵消上述相位差的变压器，就可构成 $6m$ 的脉波逆变电路。

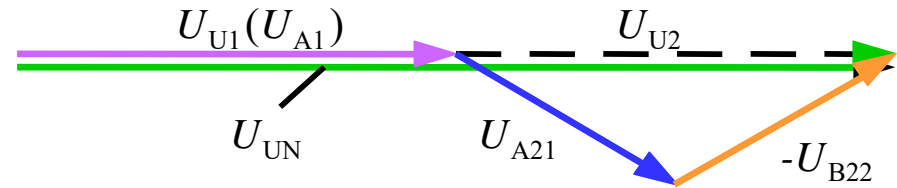


图4-23 二次侧基波电压合成相量图

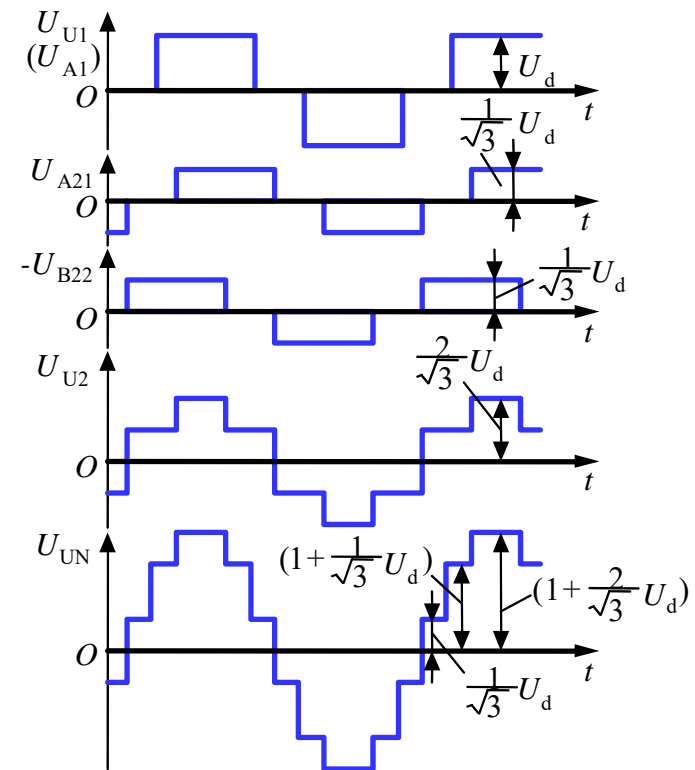
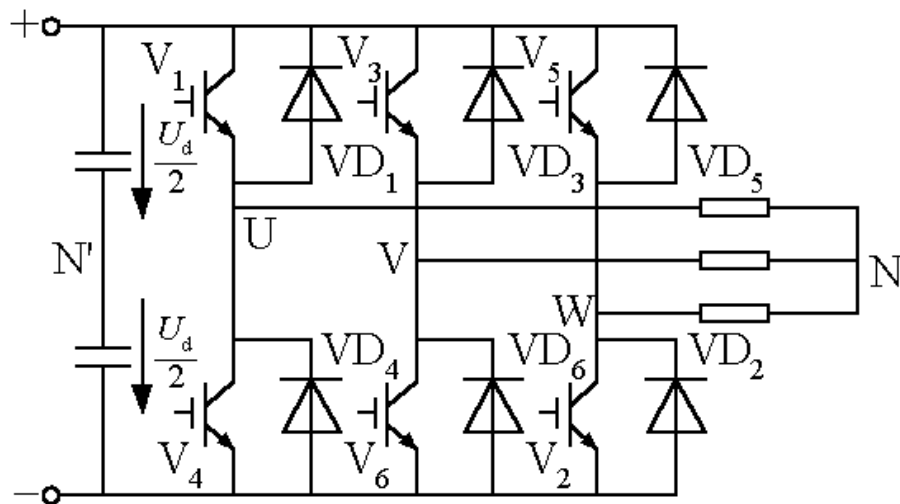


图4-24 三相电压型二重逆变电路波形图

4.4.2 多电平逆变电路



- 回顾图4-9三相电压型桥式逆变电路和图4-10的波形。
- 以 N' 为参考点，输出相电压有 $U_d/2$ 和 $-U_d/2$ 两种电平，称为**两电平逆变电路**。

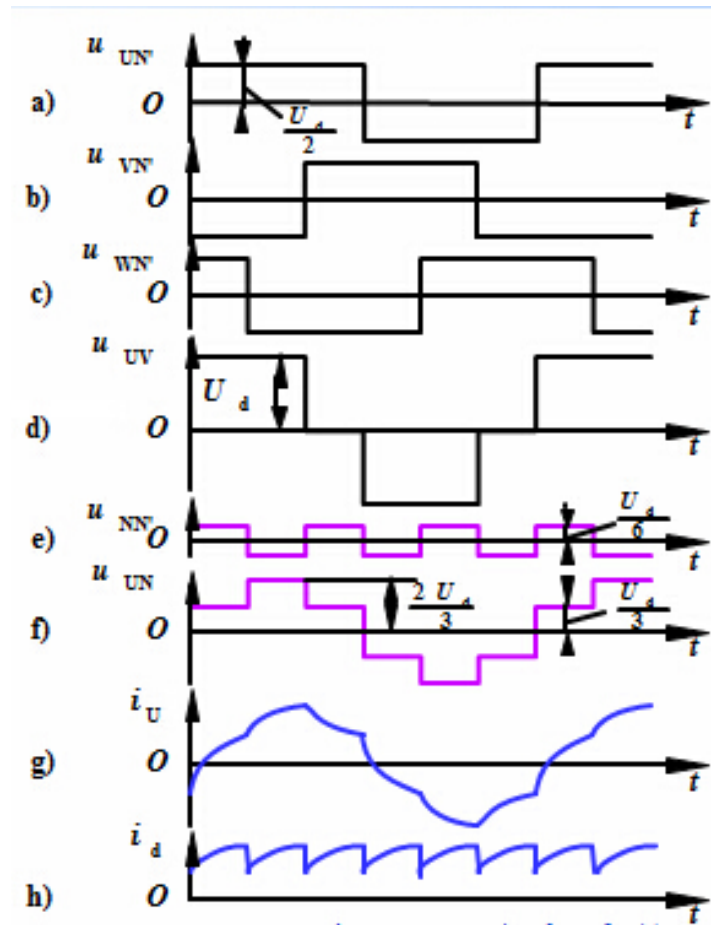


图4-10 电压型三相桥式逆变电路的工作波形

- 三电平逆变电路
 - ⊕ 也称中点钳位型
(Neutral Point Clamped)
逆变电路
 - ⊕ 每桥臂由两个全控器件串联构成，两者中点通过钳位二极管和直流侧中点相连。

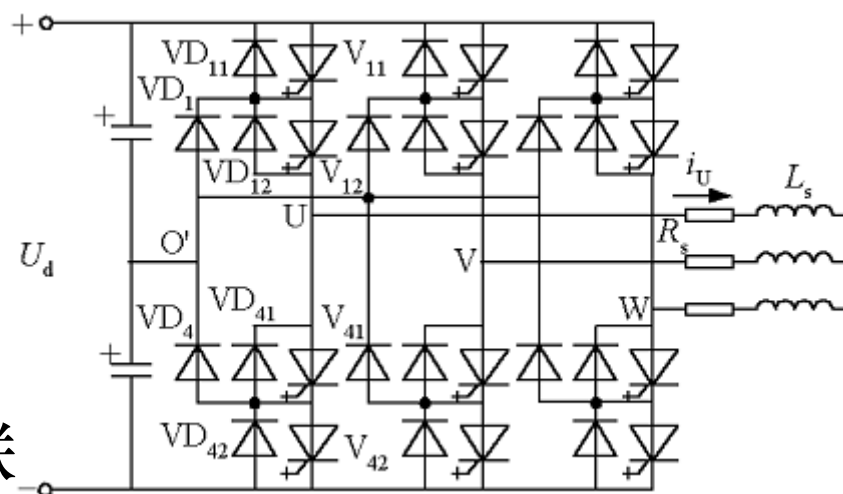


图4-26 三电平逆变电路

4.4.2 多电平逆变电路

以U相为例分析工作情况

- ✦ V_{11} 和 V_{12} (或 VD_{11} 和 VD_{12}) 通, V_{41} 和 V_{42} 断, UO' 间电位差为 $U_d/2$ 。
- ✦ V_{41} 和 V_{42} (或 VD_{41} 和 VD_{42}) 通, V_{11} 和 V_{12} 断, UO' 间电位差为 $-U_d/2$ 。
- ✦ V_{12} 和 V_{41} 导通, V_{11} 和 V_{42} 关断时, UO' 间电位差为 0。
- ✦ V_{12} 和 V_{41} 不可能同时导通。
- ✦ $i_U > 0$ 时, V_{12} 和 VD_{11} 导通。
- ✦ $i_U < 0$ 时, V_{41} 和 VD_{42} 导通。

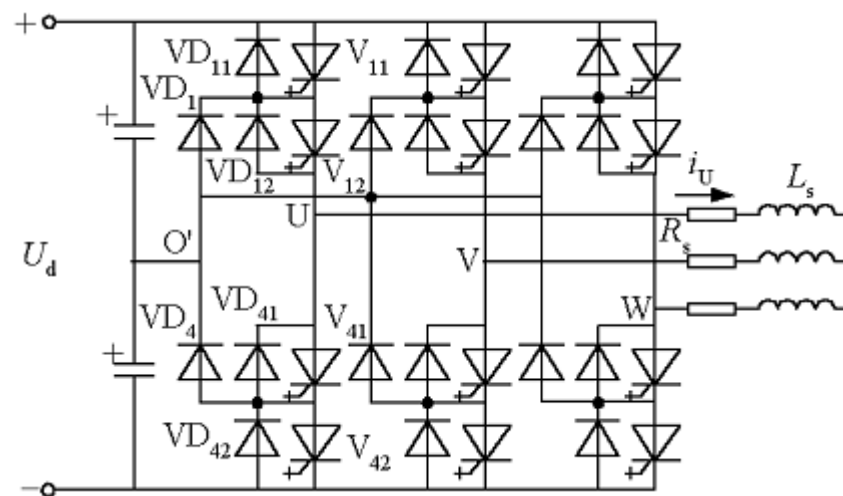


图4-26 三电平逆变电路

● 线电压的电平

- ✦ 相电压相减得到线电压。
- ✦ 两电平逆变电路的输出线电压有 $\pm U_d$ 和 0 三种电平。
- ✦ 三电平逆变电路的输出线电压有 $\pm U_d$ 、 $\pm U_d/2$ 和 0 五种电平。
- ✦ 三电平逆变电路输出电压谐波可大大少于两电平逆变电路。
- ✦ 三电平逆变电路另一突出优点：每个主开关器件承受电压为直流侧电压的一半。

● 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。
- ✦ 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。
- ✦ 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

● 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。
- ⊕ PWM控制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PWM控制技术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，二者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。