



## 4.2 电压型逆变电路

### ■ 逆变电路分类：根据直流侧电源性质不同

□ 电压型逆变电路/VSI：直流侧是电压源

Voltage Source Inverter-VSI

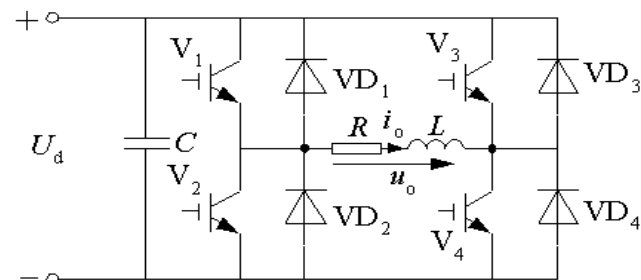
□ 电流型逆变电路/CSI：直流侧是电流源

Current Source Inverter-CSI

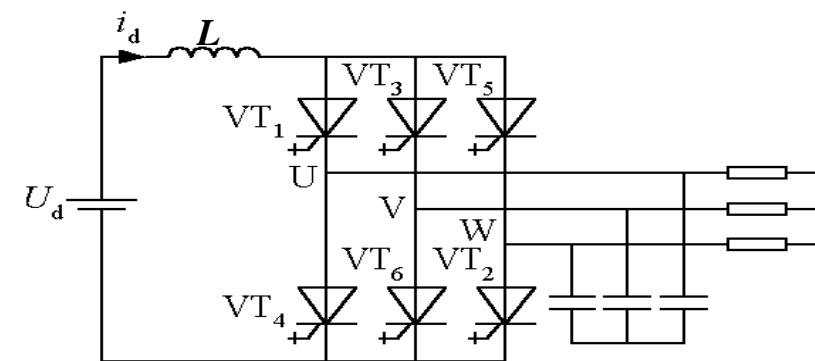
□ 也可按照相数、控制方式不同进行分类：如三相  
电压型SPWM逆变器

### ■ 电压型逆变电路结构的特点

- 直流侧为电压源或并联大电容，直流电压波形基本无脉动。直流回路呈低阻抗
- 输出电压波形矩形波；输出电流波形因负载阻抗性质不同而不同
- 交流侧为阻感负载时，需要提供无功功率，直流侧电容起缓冲无功能量的作用
- 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。



单相全桥电压型逆变电路 ( $V_1 \sim V_4$ : 全控型器件IGBT)



三相桥式电流型逆变电路 ( $VT_1 \sim VT_6$ : 全控型器件GTO)

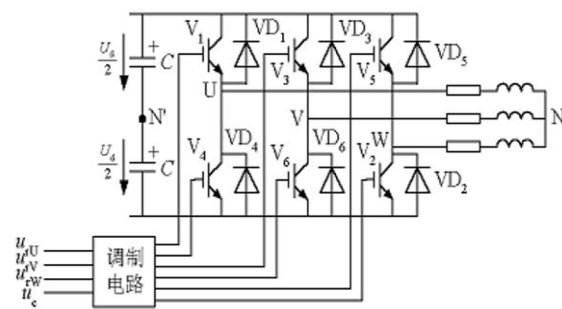


图7-7 三相桥式PWM型逆变电路

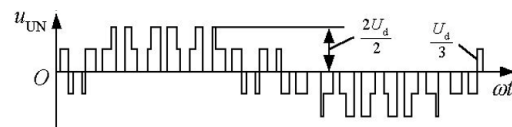


图7-8 三相桥式PWM逆变电路波形



## 4.2.1 单相电压型逆变电路

### ■ 单相半桥逆变电路的结构与工作原理

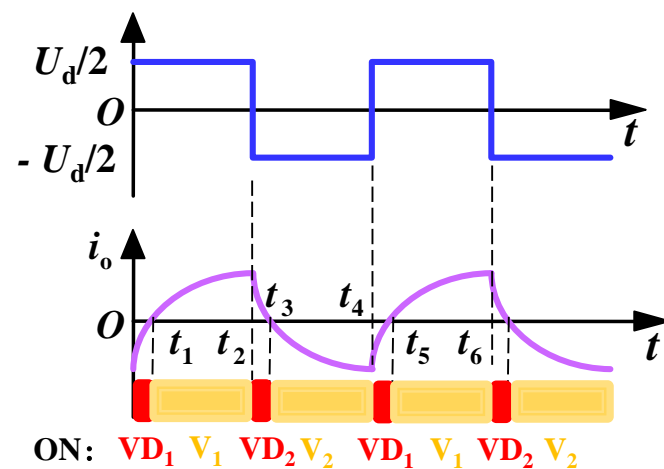
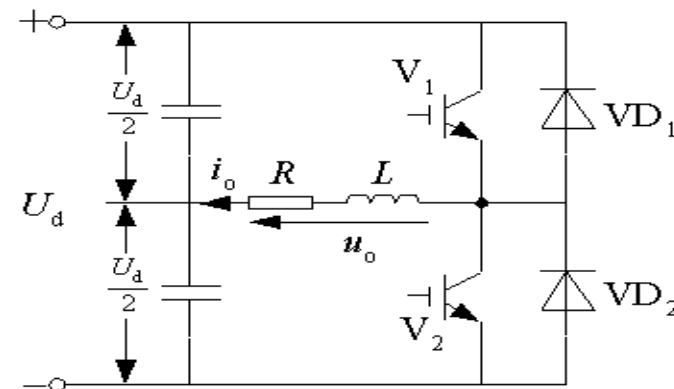
#### □ 结构：

在直流侧接有两个串联的足够大的电容，以获得直流电压中点，并缓冲负载电感中储存的能量。

#### □ 工作原理

1.  $V_1$ 和 $V_2$ 的栅极驱动信号特点：相位互补
2. 输出电压 $u_o$ 波形：幅值 $\pm U_d/2$ ，宽度各 $180^\circ$ 的单相交流电压
3. 阻感负载的电流特征：指数规律
4. 二极管VD：
  - (1) 称为反馈二极管：将电感中贮能向直流侧反馈
  - (2) 称为续流二极管：起着使负载电流连续的作用

**思考：如何实现调频与调压？**

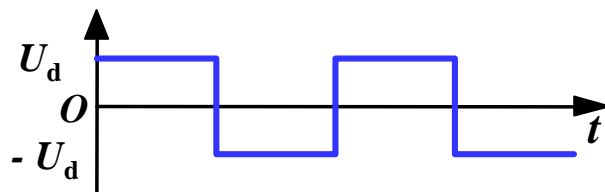
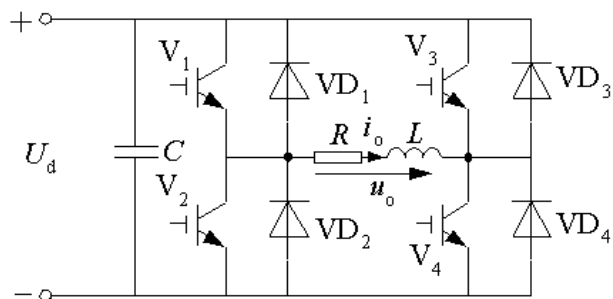


单相半桥电压型逆变电路及其工作波形

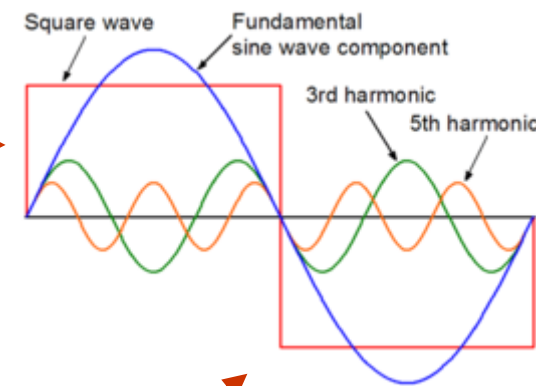


## 4.2 电压型逆变电路

### ■ 单相全桥逆变电路的结构与工作原理



单相全桥逆变电路输出电压波形



**结构：**H桥--两个半桥； **特点：**交替导通180°； **输出特征：**方波、幅值 $\pm U_d$

**讨论：**1. 方波控制方式下，优点是器件开关频率低，适用于较大功率场合。

2. 谐波含量高，且逆变器不能控制输出电压有效值。

3. “死区”问题！

#### 定量分析

□  $u_o$  展开式：
$$u_o = \frac{4U_d}{\pi} \left( \sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right)$$

□ 基波电压的幅值 $U_{o1m}$ ：
$$U_{o1m} = \frac{4U_d}{\pi} = 1.27U_d$$

□ 基波有效值 $U_{o1}$ ：
$$U_{o1} = \frac{2\sqrt{2}U_d}{\pi} = 0.9U_d$$



## 4.2 电压型逆变电路

### ■ 单相全桥逆变电路的移相调压方式

#### ☞ 开关控制模式：

V1, V2互补；V3, V4互补；

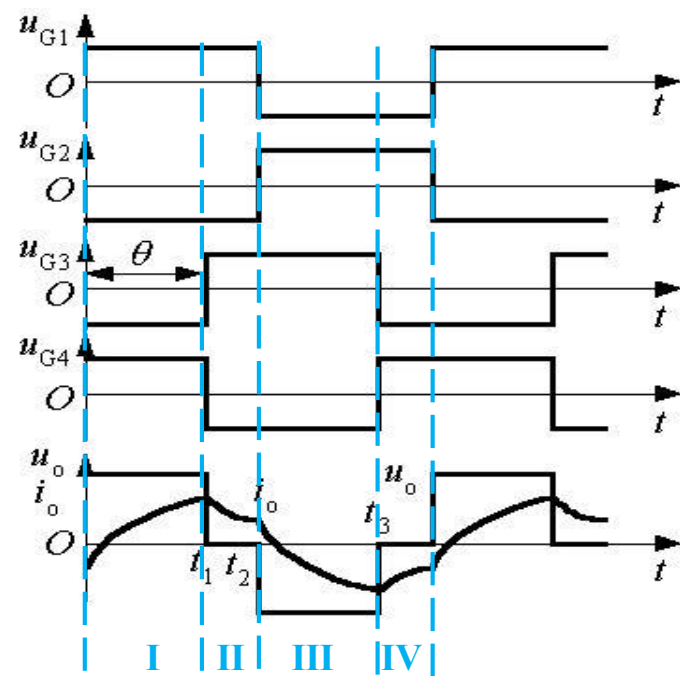
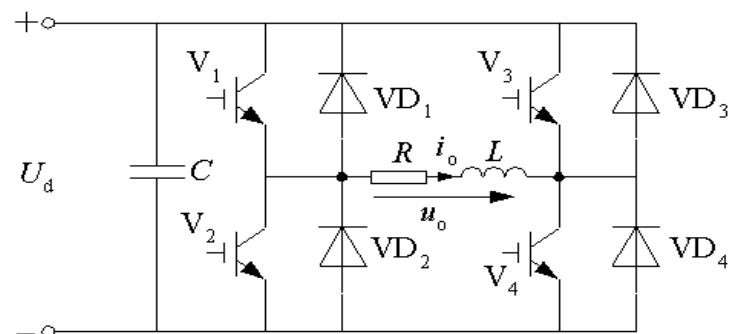
V3、V4的通/断控制相位分别比V1、V2的前移  $180^\circ - \theta$ 。

☞ 输出电压波形是幅值为  $\pm U_d$ 、宽度为  $\theta$  的对称正负方波。

☞ 结论1：改变  $\theta$  就可调节输出电压有效值

☞ 结论2：电路结构相同而开关控制模式不同，输出特性则不同

思考：输出交流电流  $i_o$  的变化规律



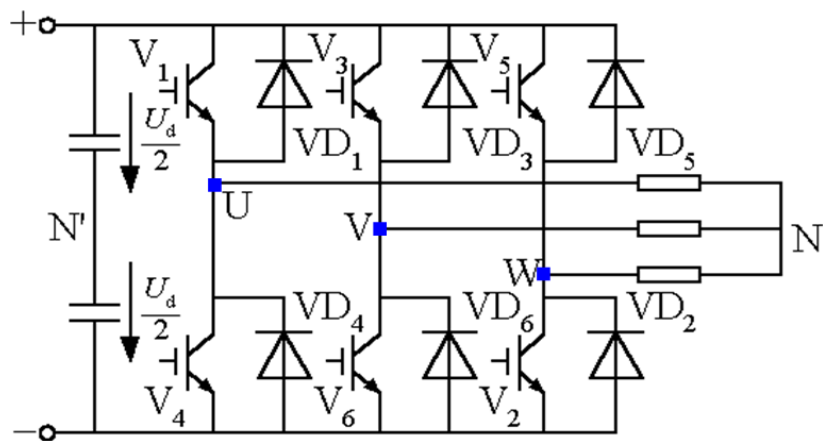
逆变电路的移相调压控制



## 4.2 电压型逆变电路

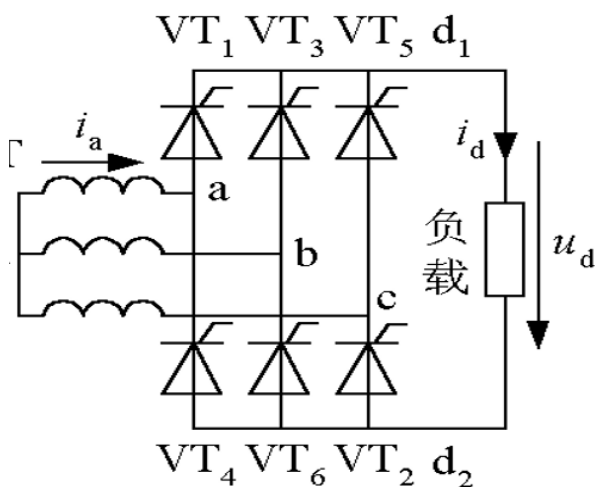
### ■ 三相桥式逆变电路

□ 结构：电路—3个半桥组合，各输出一相电压；VD—续流；



### 开关控制策略 (180°导电制)

区间	1	2	3	4	5	6
导通元件	V6 V1 V2	V1 V2 V3	V2 V3 V4	V3 V4 V5	V4 V5 V6	V5 V6 V1
UN'	1/2	1/2	-1/2	-1/2	-1/2	1/2
VN'	-1/2	1/2	1/2	1/2	-1/2	-1/2
WN'	-1/2	-1/2	-1/2	1/2	1/2	1/2



### ■ 逆变器开关控制的基本问题（如何获得三相电压？）

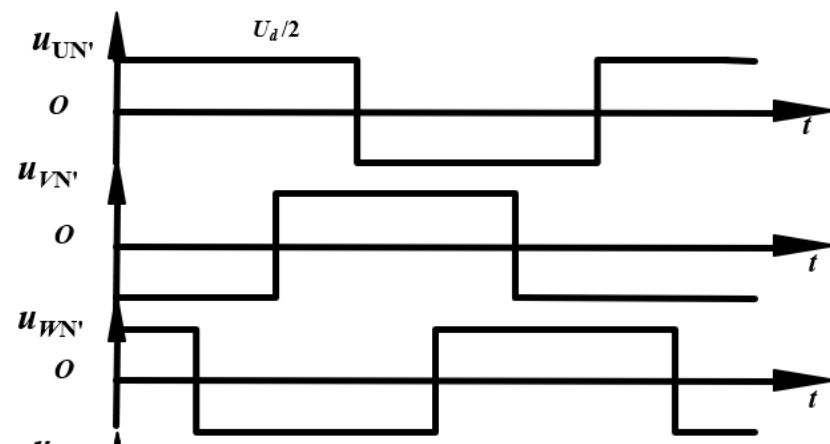
□ 由可控整流带来的启示：“源—载”对调

□ 相序 (U-V-W) 与时序 (编号)

□ 逆变开关控制：180°导电制——以同时导通3只器件的模式实现三相输出

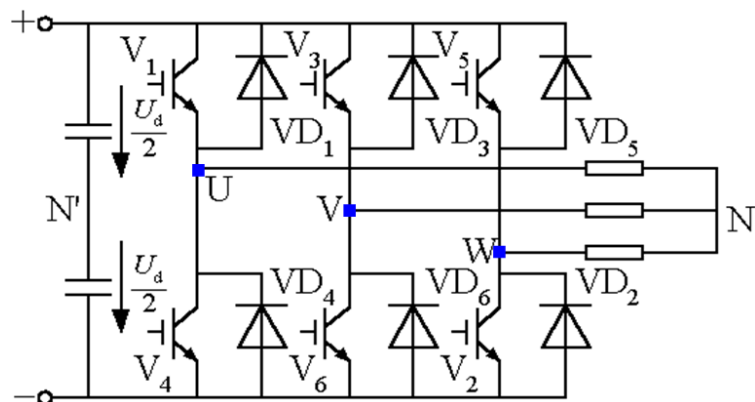
□ 同相器件交替导电/纵向换流

思考：其他导电制的可行性？





## 4.2 电压型逆变电路

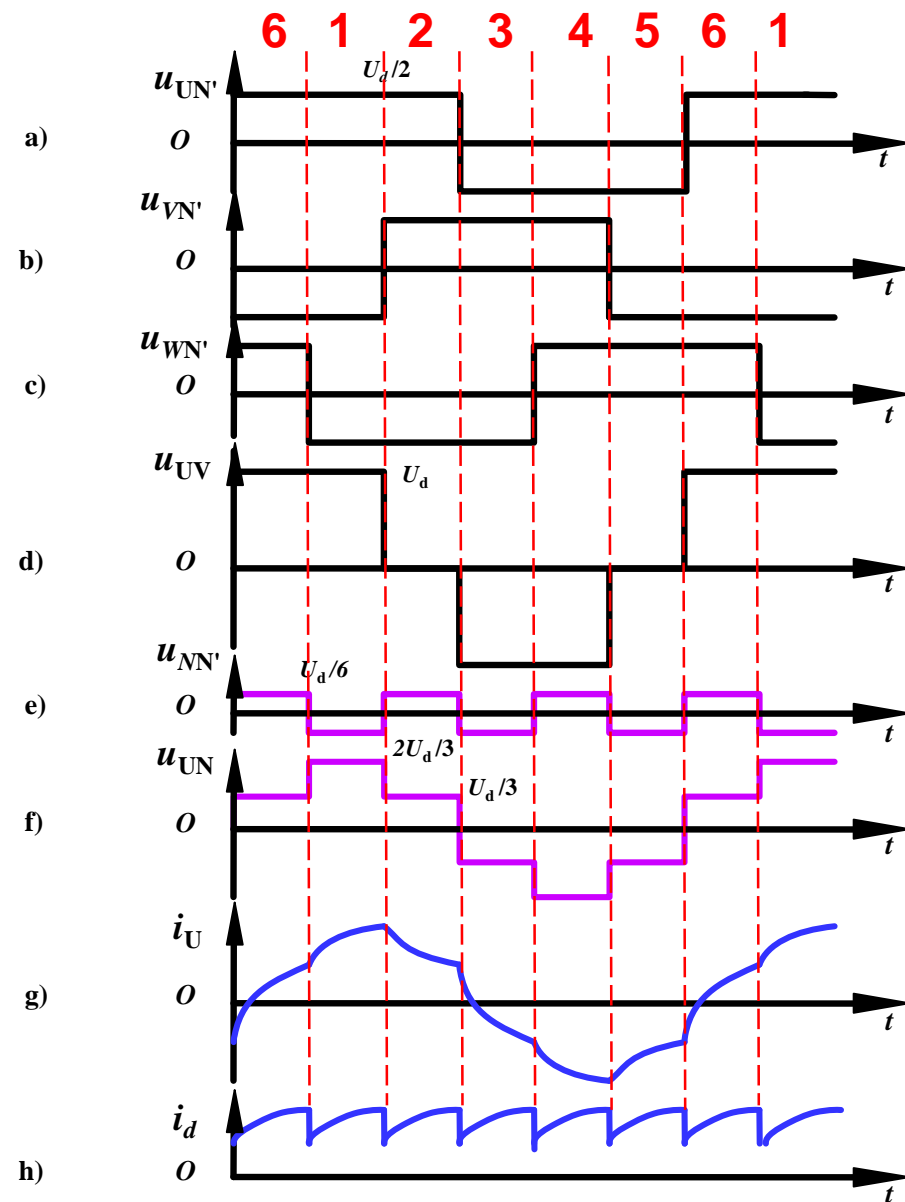


区间	1	2	3	4	5	6
导通元件	V6 V1 V2	V1 V2 V3	V2 V3 V4	V3 V4 V5	V4 V5 V6	V5 V6 V1
UN'	1/2	1/2	-1/2	-1/2	-1/2	1/2
VN'	-1/2	1/2	1/2	1/2	-1/2	-1/2
WN'	-1/2	-1/2	-1/2	1/2	1/2	1/2

◆ 负载各相的相电压和线电压分别为

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

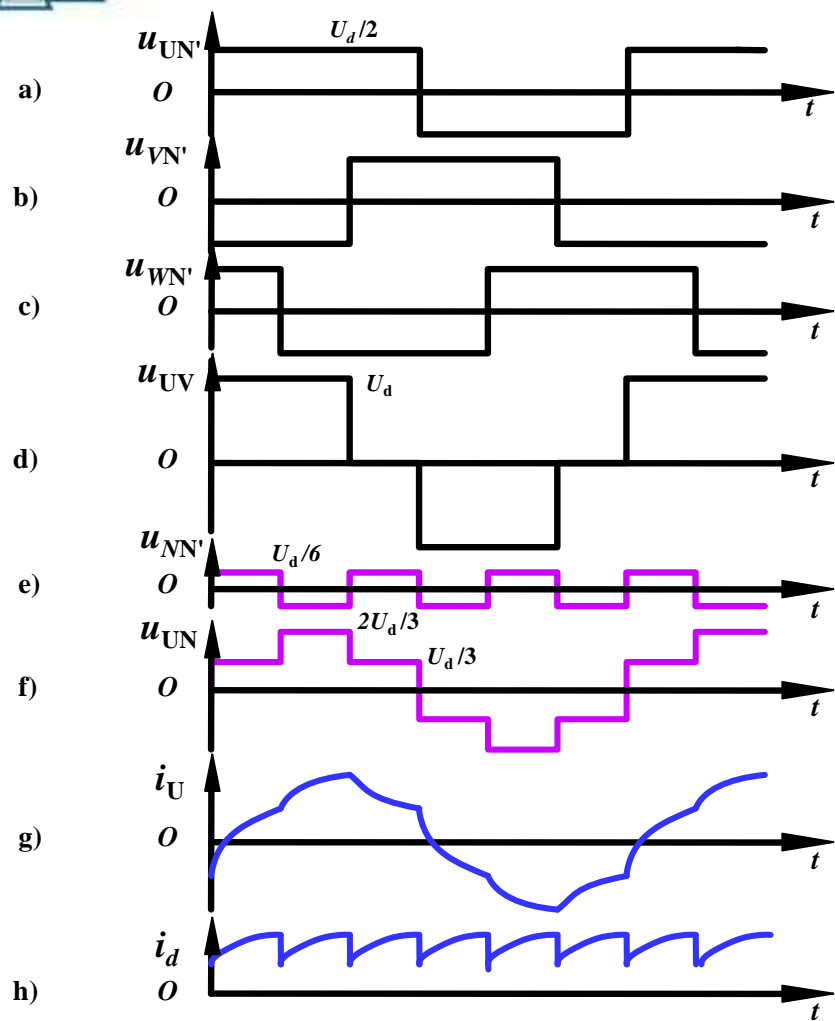
$$\left. \begin{aligned} u_{UV} &= u_{UN'} - u_{VN'} \\ u_{VW} &= u_{VN'} - u_{WN'} \\ u_{WU} &= u_{WN'} - u_{UN'} \end{aligned} \right\}$$



三相电压型桥式逆变电路的工作波形



## 4.2 电压型逆变电路



电压型三相桥式逆变电路的工作波形

◆把上面各式相加并整理可求得

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

◆设负载为三相对称负载，则有  $u_{UN} + u_{VN} + u_{WN} = 0$ ，故可得

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

$$u_{UN} = u_{UN'} - u_{NN'}$$

◆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 g) 给出的是阻感负载时U相电流  $i_U$  的波形。

◆把桥臂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 h) 所示，可以看出  $i_d$  每隔  $60^\circ$  脉动一次。

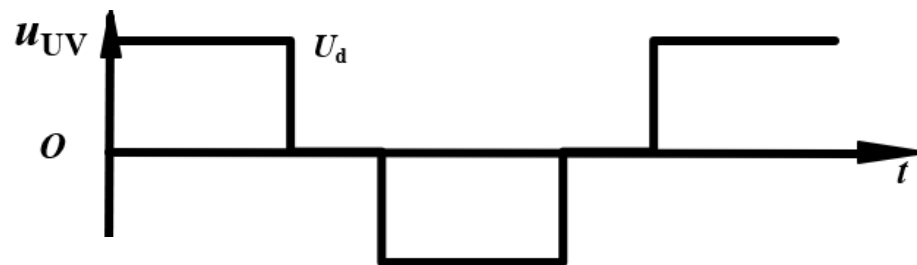


## 4.2 电压型逆变电路

### ■ 定量分析

输出线电压 $u_{UV}$ 展开成傅里叶级数:

$$\begin{aligned} u_{UV} &= \frac{2\sqrt{3}U_d}{\pi} \left( \sin \omega t - \frac{1}{5} \sin 5\omega t - \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t - \dots \right) \\ &= \frac{2\sqrt{3}U_d}{\pi} \left[ \sin \omega t + \sum_n \frac{1}{n} (-1)^k \sin n\omega t \right] \quad n = 6k \pm 1 \end{aligned}$$



输出线电压有效值 $U_{UV}$ 为:

$$U_{UV} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_{UV}^2 d\omega t} = 0.816U_d$$

基波幅值 $U_{UV1m}$ 和基波有效值 $U_{UV1}$ :

$$U_{UV1m} = \frac{2\sqrt{3}U_d}{\pi} = 1.1U_d$$

$$U_{UV1} = \frac{U_{UV1m}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} U_d = 0.78U_d$$

输出相电压 $u_{UN}$ 展开成傅里叶级数:

$$\begin{aligned} u_{UN} &= \frac{2U_d}{\pi} \left( \sin \omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t + \dots \right) \\ &= \frac{2U_d}{\pi} \left( \sin \omega t + \sum_n \frac{1}{n} \sin n\omega t \right) \quad n = 6k \pm 1 \end{aligned}$$

负载相电压有效值 $U_{UN}$ 为:

$$U_{UN} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_{UN}^2 d\omega t} = 0.471U_d$$

基波幅值 $U_{UN1m}$

$$U_{UN1m} = \frac{2U_d}{\pi} = 0.637U_d$$

基波有效值 $U_{UN1}$

$$U_{UN1} = \frac{U_{UN1m}}{\sqrt{2}} = 0.45U_d$$





## 4.2 电压型逆变电路

例：三相桥式电压型逆变电路， $180^\circ$  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 $U_{UV1}$ ，以及输出线电压中7次谐波的有效值 $U_{UV7}$ 。

解：由

$$\begin{aligned} u_{UN} &= \frac{2U_d}{\pi} \left( \sin \omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t + \dots \right) \\ &= \frac{2U_d}{\pi} \left( \sin \omega t + \sum_n \frac{1}{n} \sin n\omega t \right) \quad n = 6k \pm 1 \end{aligned}$$

有：

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

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

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

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

$$U_{UV7} = U_{UV1}/7 = 22.3 \text{ (V)}$$

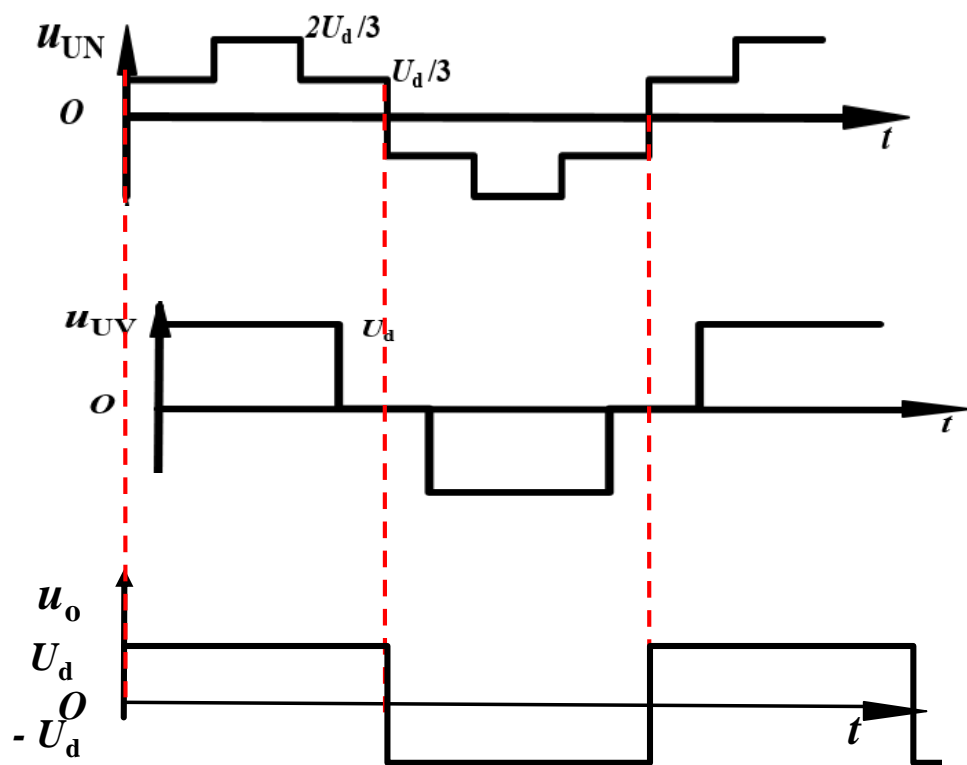


## 4.2 电压型逆变电路

傅里叶级数——三相逆变器相电压  $u_{UN}$

三相逆变器线电压  $u_{UV}$

单相逆变器相电压  $u_o$



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

$$= \frac{2U_d}{\pi} \left( \sin \omega t + \sum_n \frac{1}{n} \sin n\omega t \right) \quad n = 6k \pm 1$$

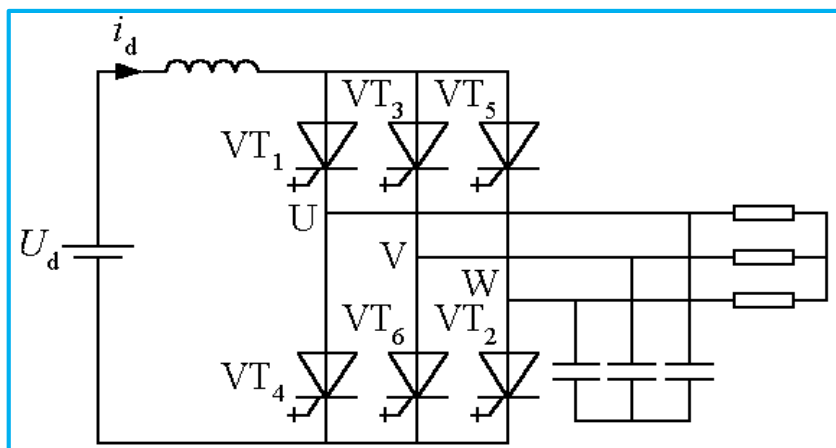
$$u_{UV} = \frac{2\sqrt{3}U_d}{\pi} \left( \sin \omega t - \frac{1}{5} \sin 5\omega t - \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t - \dots \right)$$

$$= \frac{2\sqrt{3}U_d}{\pi} \left[ \sin \omega t + \sum_n \frac{1}{n} (-1)^k \sin n\omega t \right] \quad n = 6k \pm 1$$

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



## 4.3 电流型逆变电路的特点



电流型三相桥式逆变电路  
( $VT_1 \sim VT_6$ : 全控型器件GTO)

直流侧串接**大电感**，使得直流电流脉动小，相当于电流源。

- 交流输出电流为**矩形波**，与负载阻抗角无关，输出电压波形及其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。
- 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**和**强迫换流**。



The End