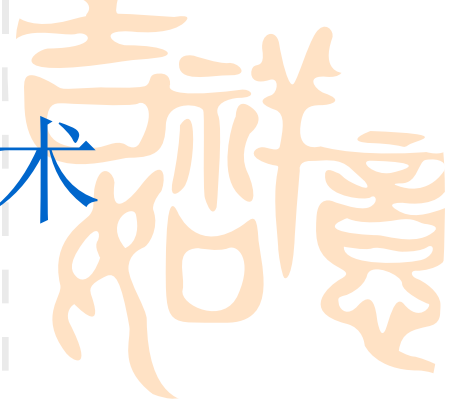


第六章 PWM控制技术



引言

6.1 PWM控制的基本原理

6.2 PWM逆变电路及其控制措施

6.3 PWM跟踪控制技术

6.4 PWM整流电路及其控制措施

本章小结



第六章 PWM控制技术· 引言

- **PWM (Pulse Width Modulation)**控制就是**脉宽调制技术**：即经过对一系列脉冲的宽度进行调制，来等效的取得所需要的波形（含形状和幅值）。

■ 第3、4章已涉及到PWM控制，第3章**直流斩波电路**采用的就PWM技术；第4章的4.1**斩控式调压电路**和4.4**矩阵式变频电路**都涉及到了。



第六章 PWM控制技术·引言

- PWM控制的思想源于通信技术，全控型器件的发展使得实现PWM控制变得十分轻易。
- PWM技术的应用十分广泛，它使电力电子装置的性能大大提升，所以它在电力电子技术的发展史上占有十分重要的地位。
- PWM控制技术正是有赖于在**逆变电路**中的成功应用，才拟定了它在电力电子技术中的主要地位。目前使用的多种逆变电路都采用了PWM技术，所以，本章和第5章（逆变电路）相结合，才干使我们对逆变电路有完整地认识。

6.1 PWM控制的基本思想

- 1) **冲量**相等而形状不同的窄脉冲加在具有惯性的环节上时，其**效果基本相同**。

冲量



窄脉冲的面积

效果基本相同



环节的输出响应波形基本相同

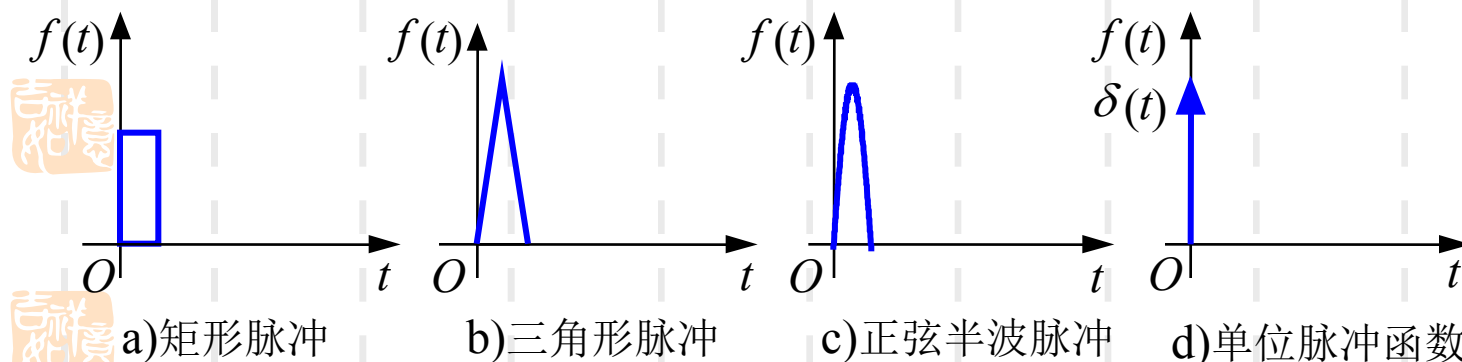


图6-1 形状不同而冲量相同的多种窄脉冲



6.1 PWM控制的基本思想

详细的实例阐明
“面积等效原理”

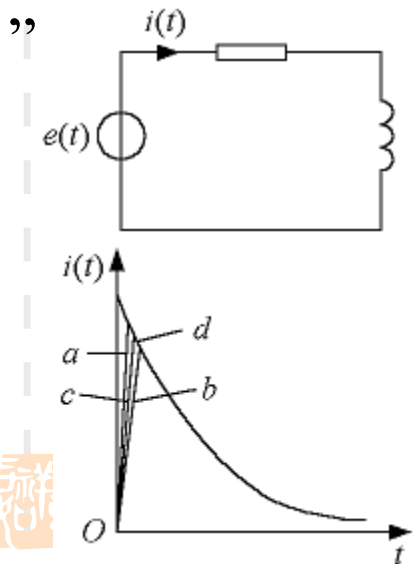
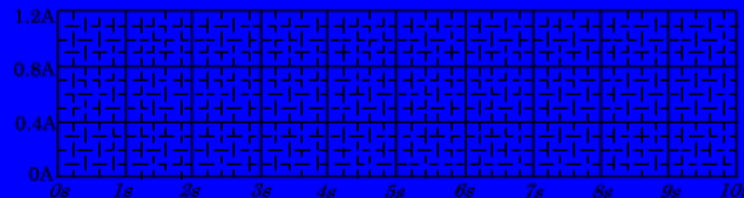
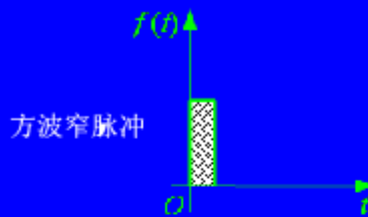


图6-2 冲量相等的多种窄脉冲的响应波形

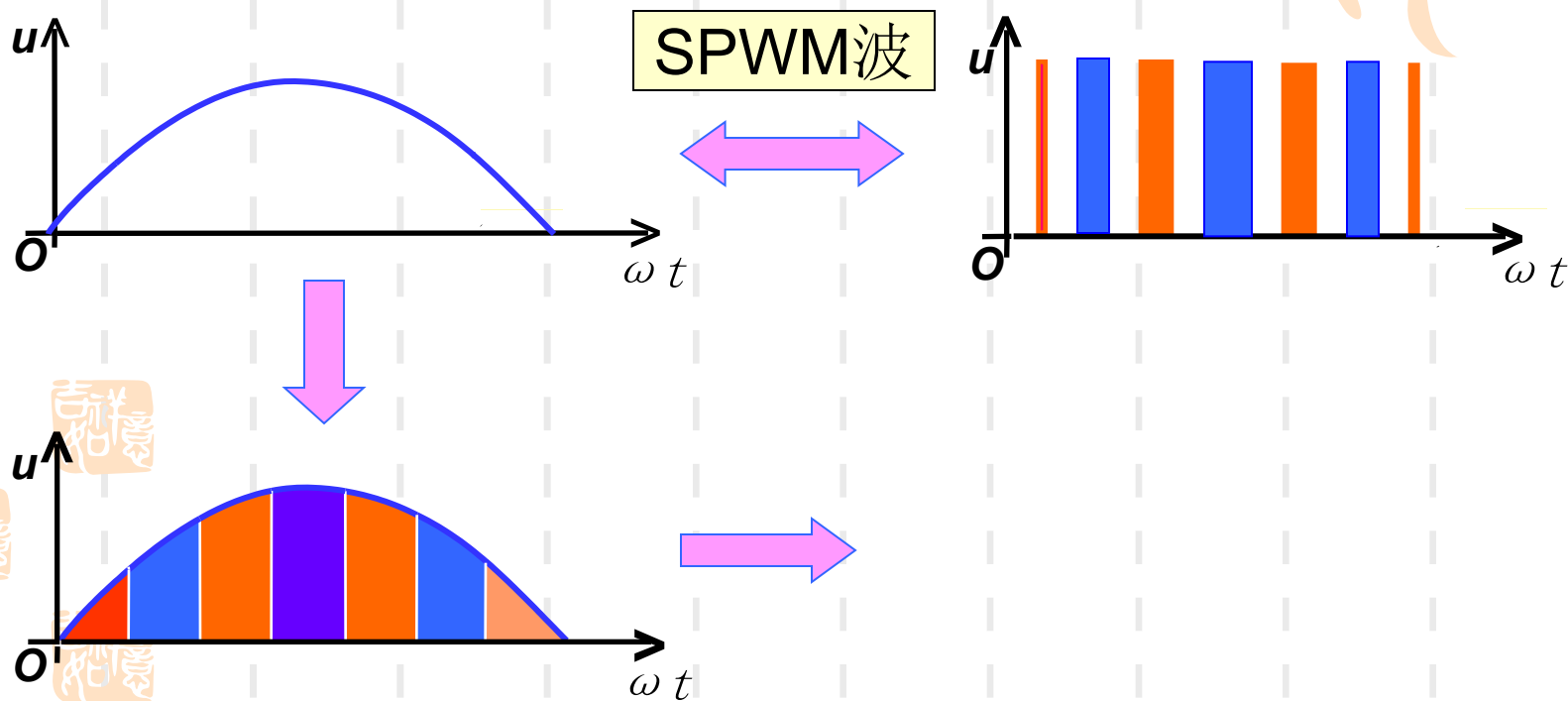
$u(t)$ —电压窄脉冲，
是电路的输入。

$i(t)$ —输出电流，
是电路的响应。



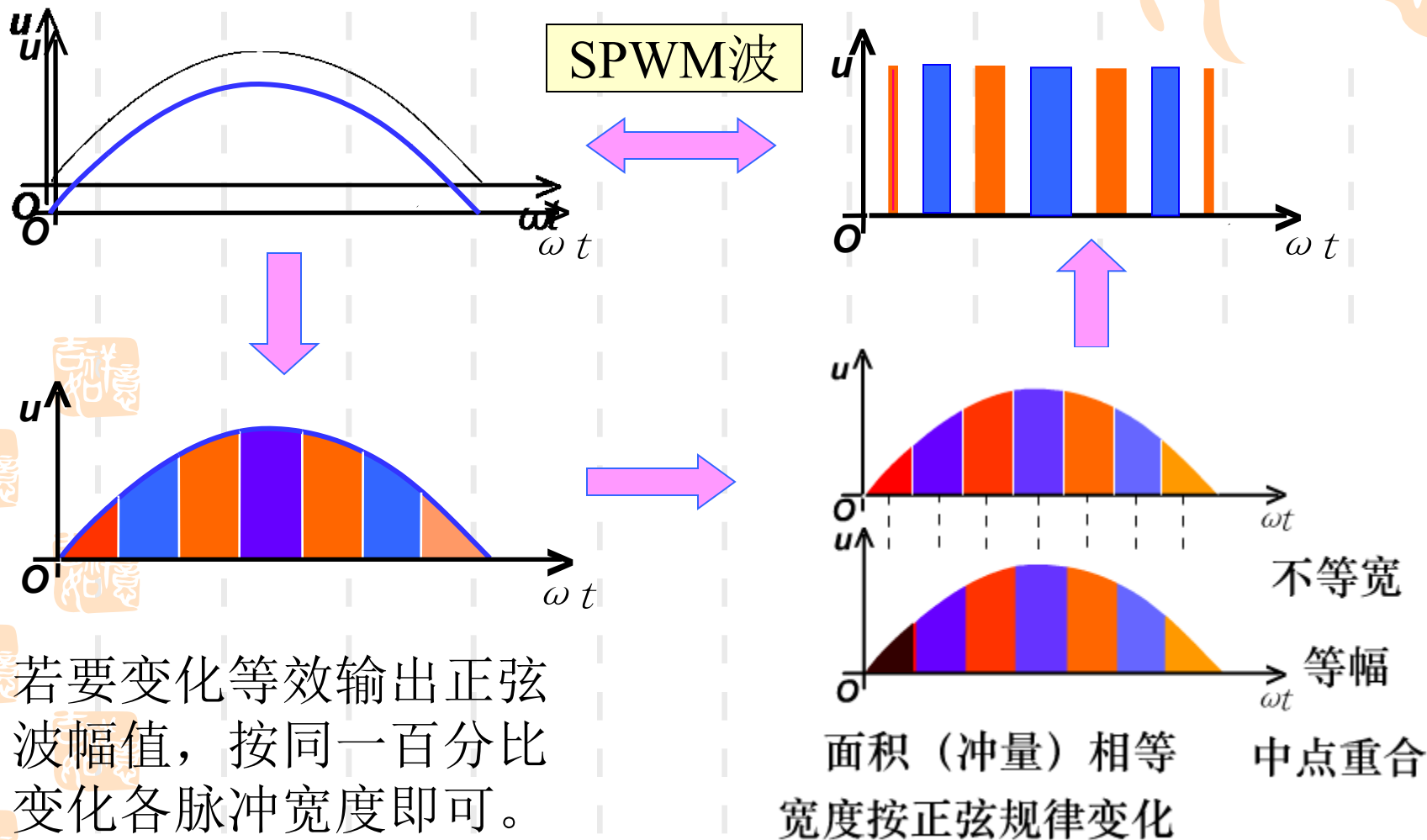
6.1 PWM控制的基本思想

● 怎样用一系列**等幅不等宽的脉冲**来替代一种正弦半波



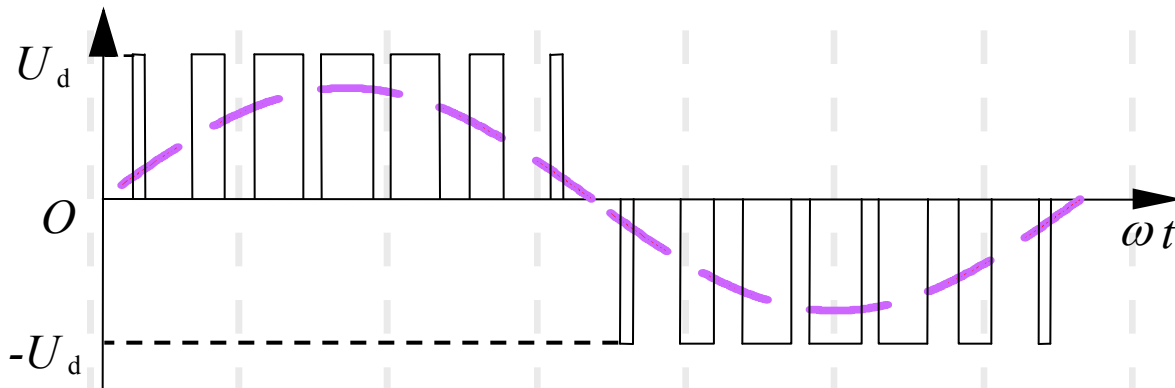
6.1 PWM控制的基本思想

怎样用一系列**等幅不等宽的脉冲**来替代一种正弦半波

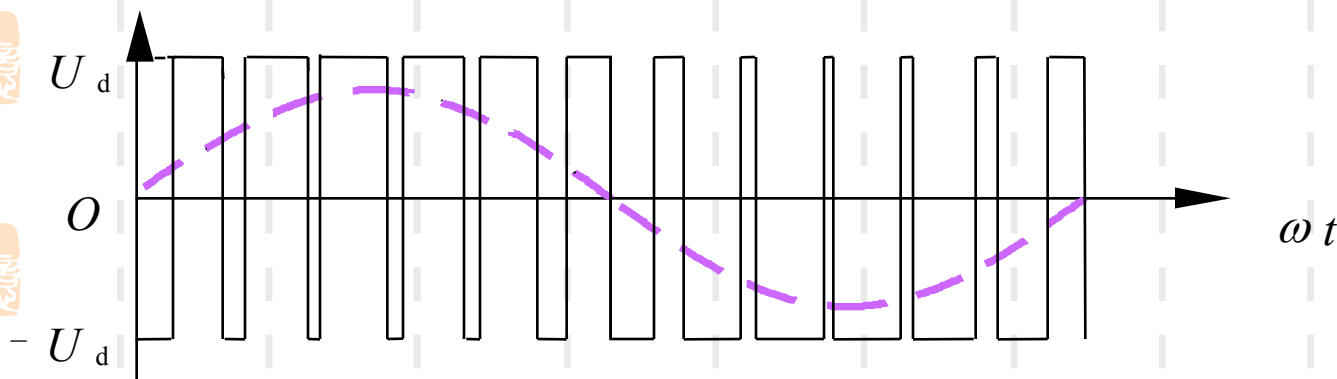


6.1 PWM控制的基本思想

- 对于正弦波的负半周，采用一样的措施，得到PWM波形，所以正弦波一种完整周期的等效PWM波为：



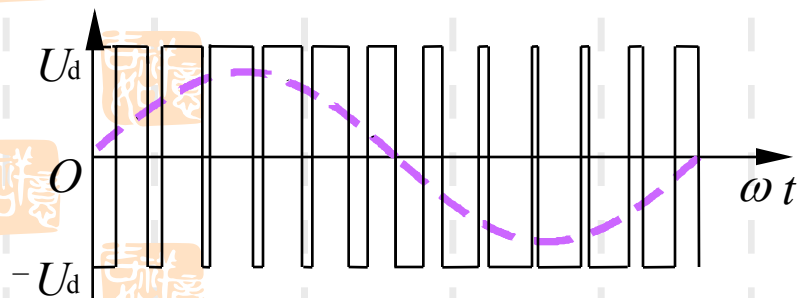
- 根据面积等效原理，正弦波还可等效为下图中的PWM波，而且这种方式在实际应用中更为广泛。



6.1 PWM控制的基本思想

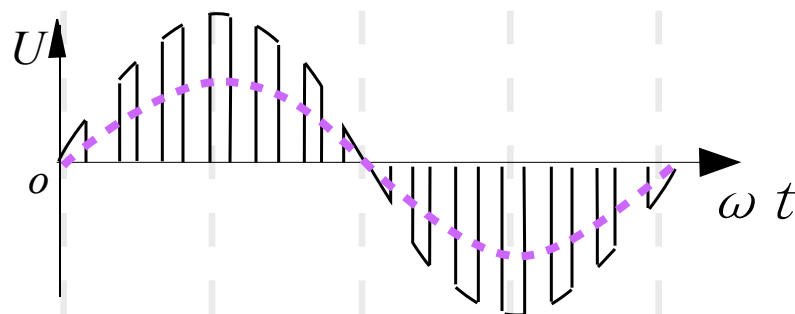
等幅PWM波

- 输入电源是恒定直流
- 第3章的直流斩波电路
- 6.2节的PWM逆变电路
- 6.4节的PWM整流电路



不等幅PWM波

- 输入电源是交流或不是恒定的直流
- 4.1节的斩控式交流调压电路
- 4.4节的矩阵式变频电路



6.1 PWM控制的基本思想

2) PWM电流波

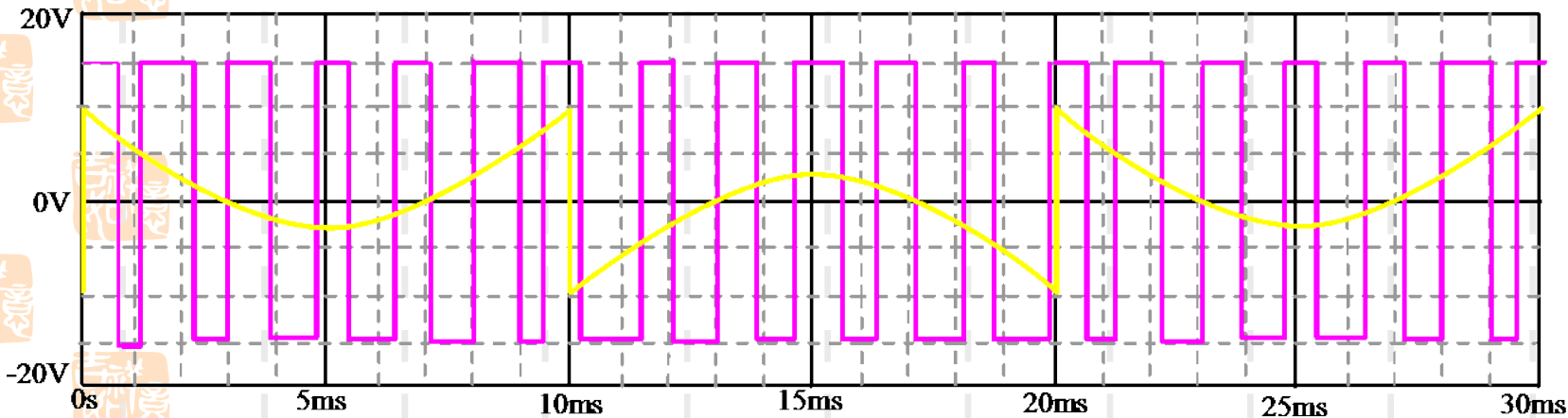
电流型逆变电路进行PWM控制，得到的就是PWM电流波。

◆ PWM波可等效的多种波形

◆ 直流斩波电路 \longleftrightarrow 直流波形

◆ SPWM波 \longleftrightarrow 正弦波形

◆ 等效成其他所需波形，如：



● 所需波形

● 等效的PWM波



6.2 PWM逆变电路及其控制措施

- 目前中小功率的逆变电路几乎都采用PWM技术。
- 逆变电路是PWM控制技术最为主要的应用场合。
- 本节内容构成了本章的主体。
- PWM逆变电路也可分为电压型和电流型两种，目前实用的PWM逆变电路几乎都是电压型电



6.2 PWM逆变电路及其控制措施

计算法和调制法

异步调制和同步调制

规则采样法

PWM逆变电路得谐波分析

提升直流电压利用和降低开关

PWM逆变电路的多重化

次数



计算法和调制法



1) 计算法

- 根据正弦波频率、幅值和半周期脉冲数，精确计算PWM波各脉冲宽度和间隔，据此控制逆变电路开关器件的通断，就可得到所需PWM波形。

- 本法较繁琐，当输出正弦波的频率、幅值或相位变化时，成果都要变化。



计算法和调制法



2) 调制法

结合IGBT单相桥式电压型逆变电路对调制法进行阐明

- 工作时 V_1 和 V_2 通断互补， V_3 和 V_4 通断也互补。
- 以 u_o 正半周为例， V_1 通， V_2 断， V_3 和 V_4 交替通断。
- 负载电流比电压滞后，在电压正半周，电流有一段区间为正，一段区间为负。
- 负载电流为正的区间， V_1 和 V_4 导通时， u_o 等于 U_d 。

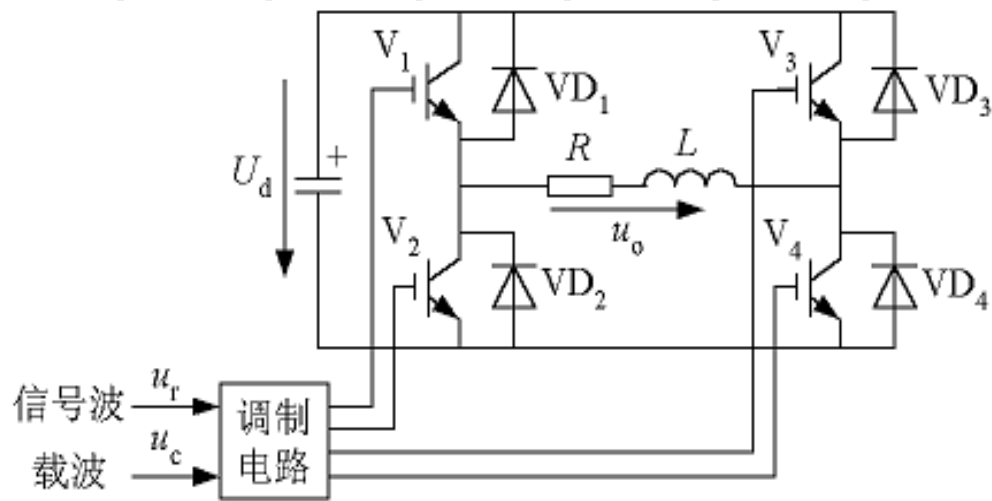


图6-4 单相桥式PWM逆变电路



计算法和调制法



2) 调制法

⊕ V_4 关断时，负载电流经过 V_1 和 VD_3 续流， $u_o=0$

⊕ 负载电流为负的时间， V_1 和 V_4 仍导通， i_o 为负，实际上 i_o 从 VD_1 和 VD_4 流过，仍有 $u_o=U_d$ 。

⊕ V_4 关断 V_3 开通后， i_o 从 V_3 和 VD_1 续流， $u_o=0$ 。

⊕ u_o 总可得到 U_d 和零两种电平。

⊕ u_o 负半周，让 V_2 保持通， V_1 保持断， V_3 和 V_4 交替

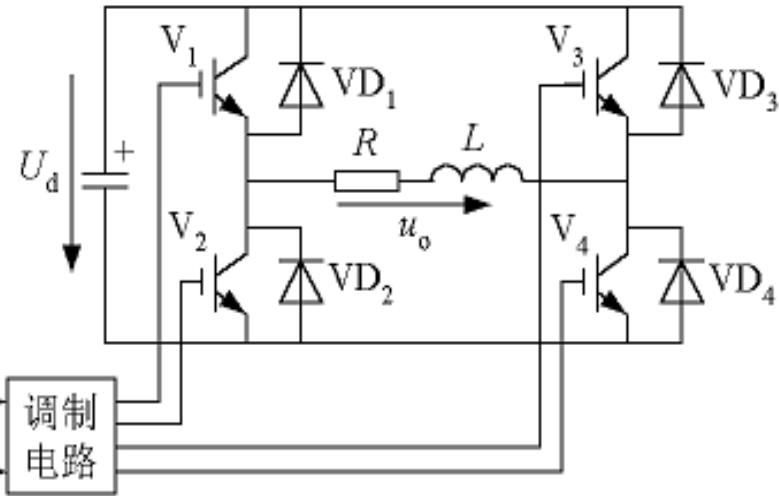


图6-4 单相桥式PWM逆变电路



计算法和调制法

3) 单极性PWM控制方式 (单相桥

逆变) 在 u_r 和 u_c 的交点时刻控制 IGBT 的通断。

✦ u_r 正半周, V_1 保持通, V_2 保持断。

✦ 当 $u_r > u_c$ 时使 V_4 通,

V_3 断, $u_o = U_d$ 。

✦ 当 $u_r < u_c$ 时使 V_4 断,

V_3 通, $u_o = 0$ 。

✦ u_r 负半周, 请同学们自己分析。

表达 u_o 的基波分量

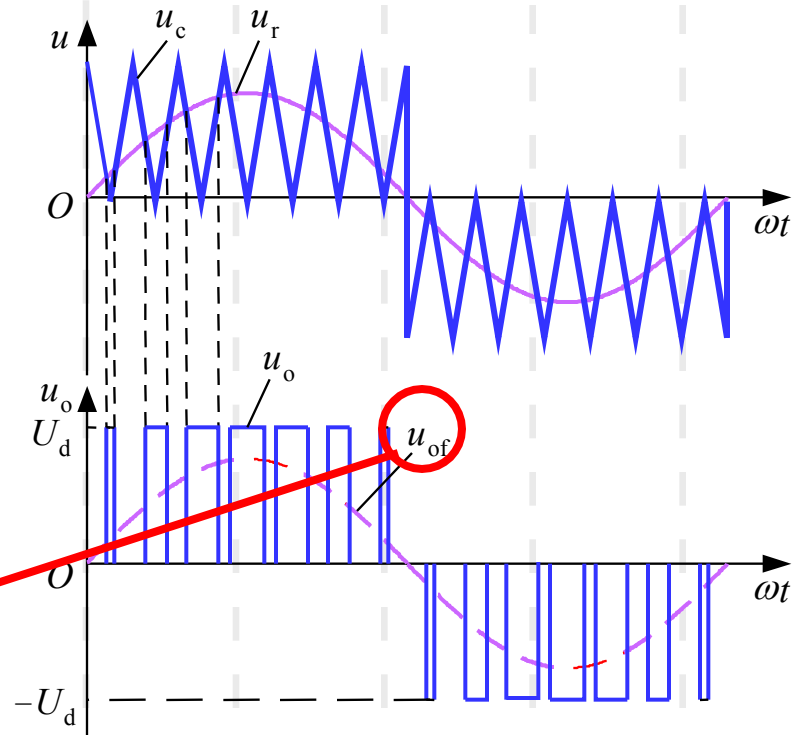
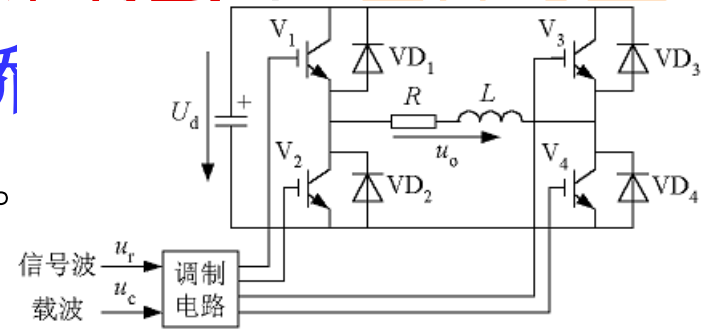


图6-5 单极性PWM控制方式波形

双极性和调制法

3) 双极性PWM控制方式 (单相桥逆变)

在 u_r 和 u_c 的交点时刻控制IGBT的通断。

- 在 u_r 的半个周期内，三角波载波有正有负，所得PWM波也有正有负，其幅值只有 $\pm U_d$ 两种电平。
- 一样在调制信号 u_r 和载波信号 u_c 的交点时刻控制器件的通断。
- u_r 正负半周，对各开关器件的控制规律相同。

当 $u_r > u_c$ 时，给 V_1 和 V_4 导通信号，给 V_2 和 V_3 关断信号。

如 $i_o > 0$ ， V_1 和 V_4 通，如 $i_o < 0$ ， VD_1 和 VD_4 通， $u_o = U_d$ 。

当 $u_r < u_c$ 时，给 V_2 和 V_3 导通信号，给 V_1 和 V_4 关断信号。

如 $i_o < 0$ ， V_2 和 V_3 通，如 $i_o > 0$ ， VD_2 和 VD_3 通， $u_o = -U_d$ 。

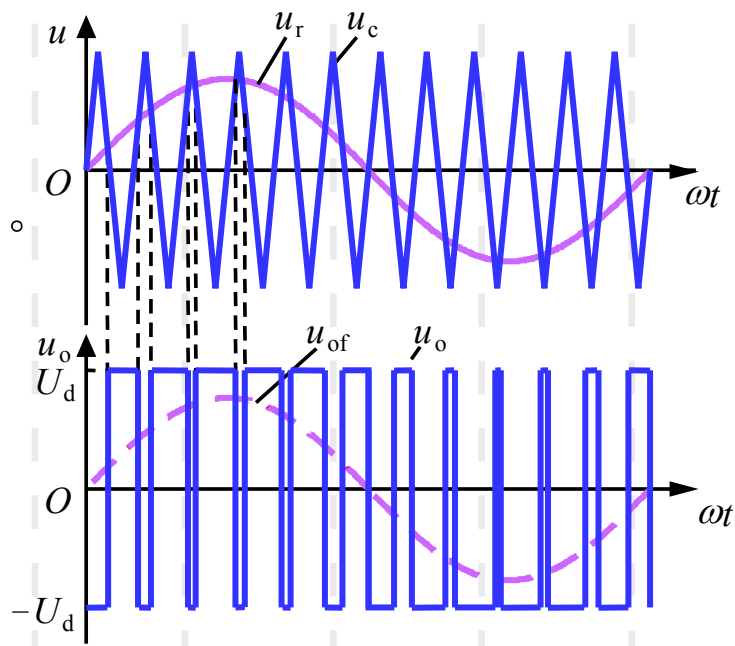
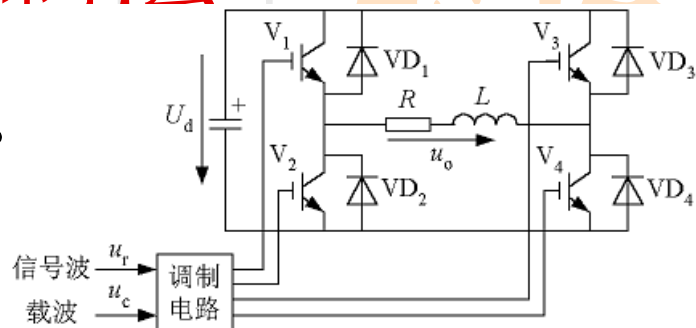


图6-6 双极性PWM控制方式波形

计算法和调制法

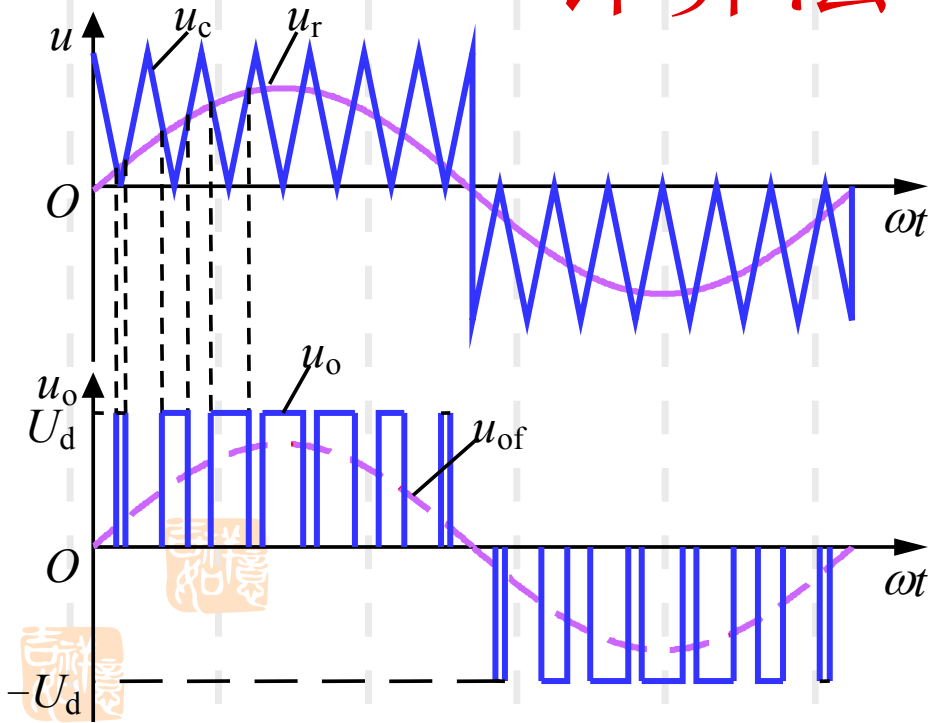


图6-4 单极性PWM控制方式波形

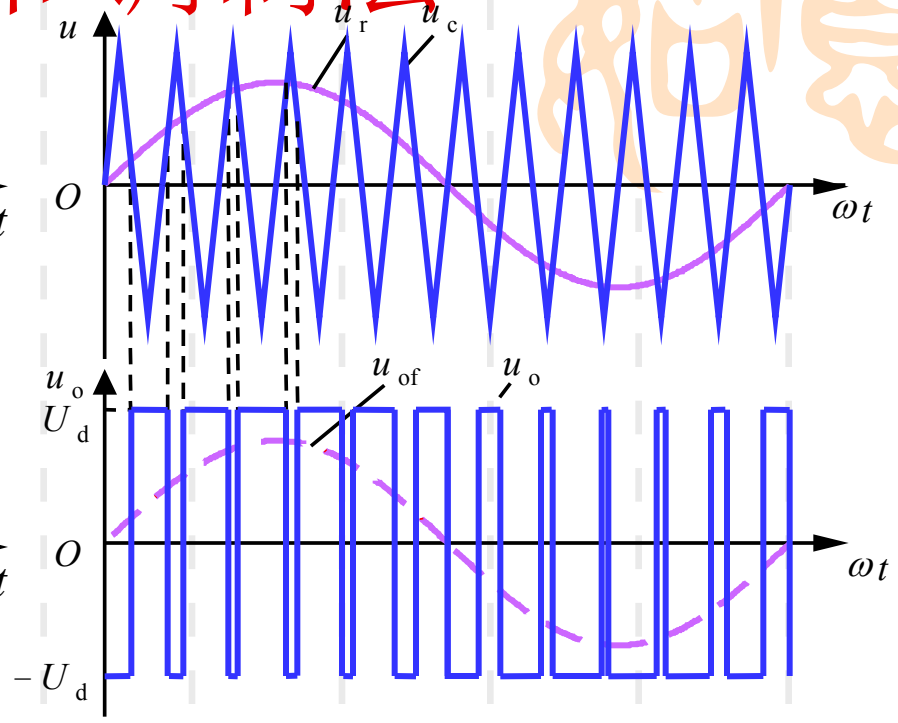


图6-5 双极性PWM控制方式波形

对照上述两图能够看出，单相桥式电路既可采用单极性调制，也可采用双极性调制，因为对开关器件通断控制的规律不同，它们的输出波形也有较大的差别。



计算法和调制法



4) 双极性PWM控制方式 (三相桥逆变)

- 三相的PWM控制公用三角波载波 u_c
- 三相的调制信号 u_{rU} 、 u_{rV} 和 u_{rW} 依次相差 120°

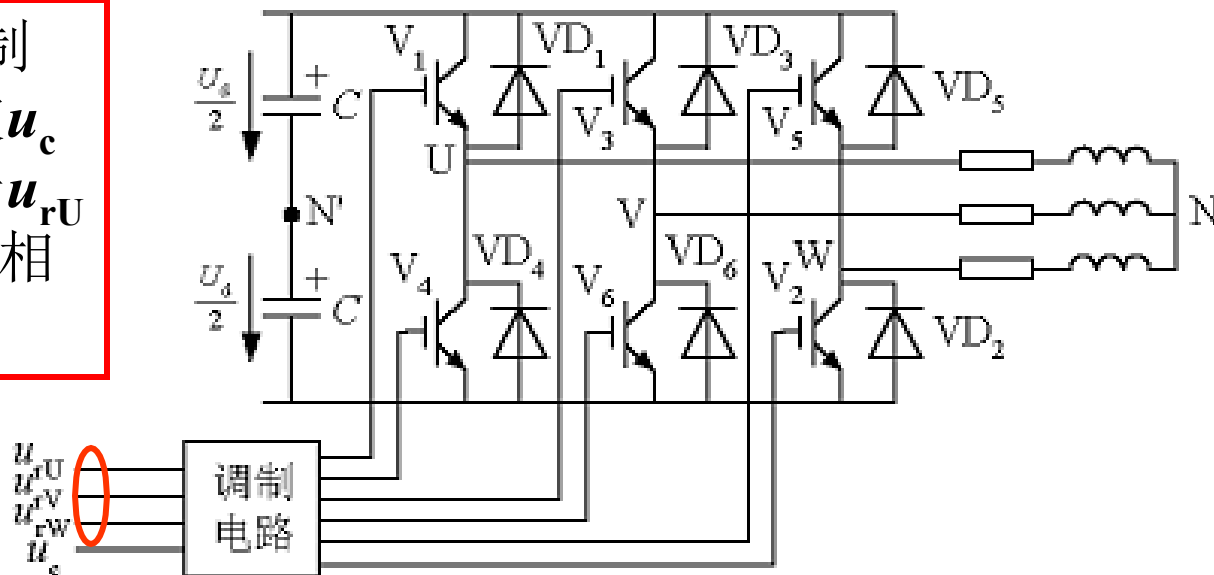


图6-7 三相桥式PWM型逆变电路



计算法和调制法

下面以U相为例分析控制规律:

- 当 $u_{rU} > u_c$ 时, 给 V_1 导通信号, 给 V_4 关断信号, $u_{UN} = U_d/2$ 。
- 当 $u_{rU} < u_c$ 时, 给 V_4 导通信号, 给 V_1 关断信号, $u_{UN} = -U_d/2$ 。
- 当给 V_1 (V_4) 加导通信号时, 可能是 V_1 (V_4) 导通, 也可能是 VD_1 (VD_4) 导通。
- u_{UN} 、 u_{VN} 和 u_{WN} 的PWM波形只有 $\pm U_d/2$ 两种电平。
- u_{UV} 波形可由 $u_{UN} - u_{VN}$ 得出, 当1和6通时, $u_{UV} = U_d$, 当3和4通时, $u_{UV} = -U_d$, 当1和3或4和6通时, $u_{UV} = 0$ 。

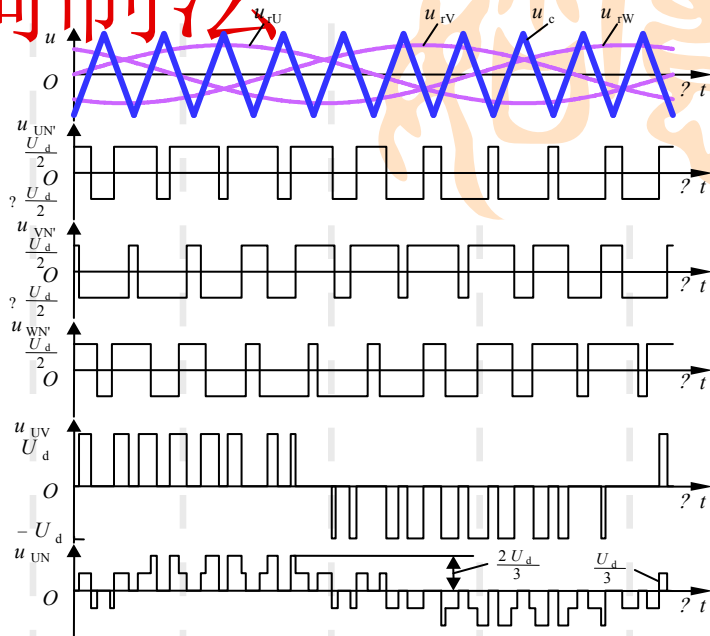


图6-8 三相桥式PWM逆变电路波形

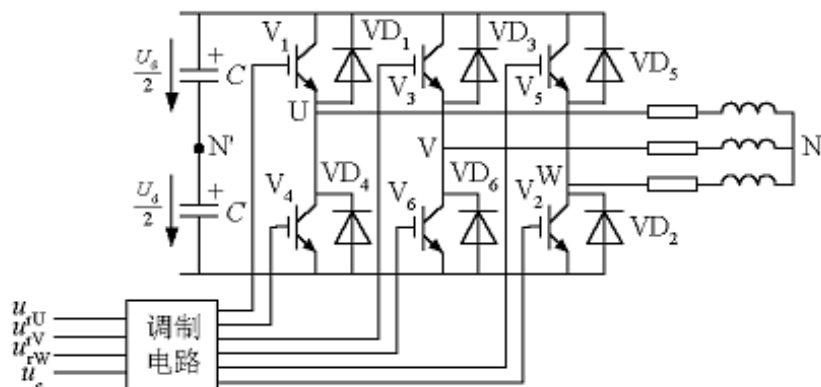


图6-7 三相桥式PWM型逆变电路

计算法和调制法

- 输出线电压PWM波由 $\pm U_d$ 和0三种电平构成
- 负载相电压PWM波由 $(\pm 2/3)U_d$ 、 $(\pm 1/3)U_d$ 和0共5种电平构成。
- 防直通的死区时间

同一相上下两臂的驱动信号互补，为预防上下臂直通而造成短路，留一小段上下臂都施加关断信号的死区时间。

死区时间的长短主要由开关器件的关断时间决定。

死区时间会给输出的PWM波带来影响，使其稍稍偏离正弦波。

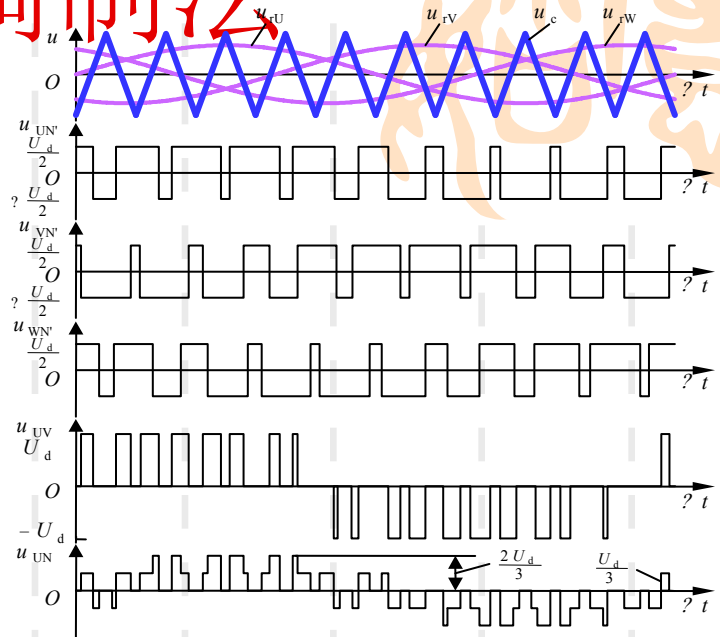


图6-8 三相桥式PWM逆变电路波形

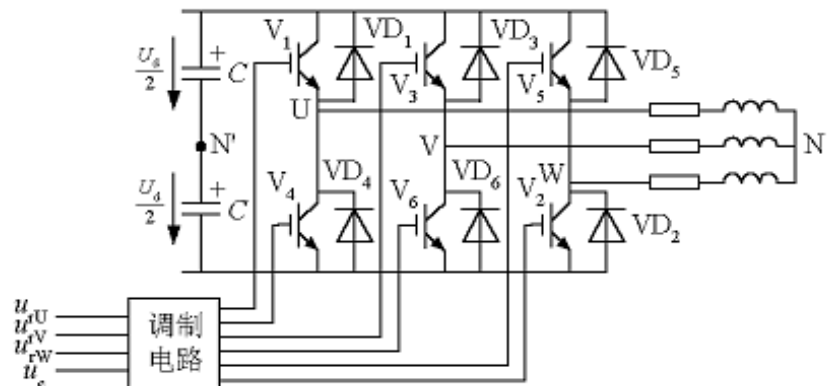


图6-7 三相桥式PWM型逆变电路



计算法和调制法



5) 特定谐波消去法

(Selected Harmonic Elimination PWM—SHEPWM)

- 这是计算法中一种较有代表性的措施。
- 输出电压半周期内，器件通、断各3次（不涉及0和 π ），共6个开关时刻可控。

- 为降低谐波并简化控制，要尽量使波形对称。

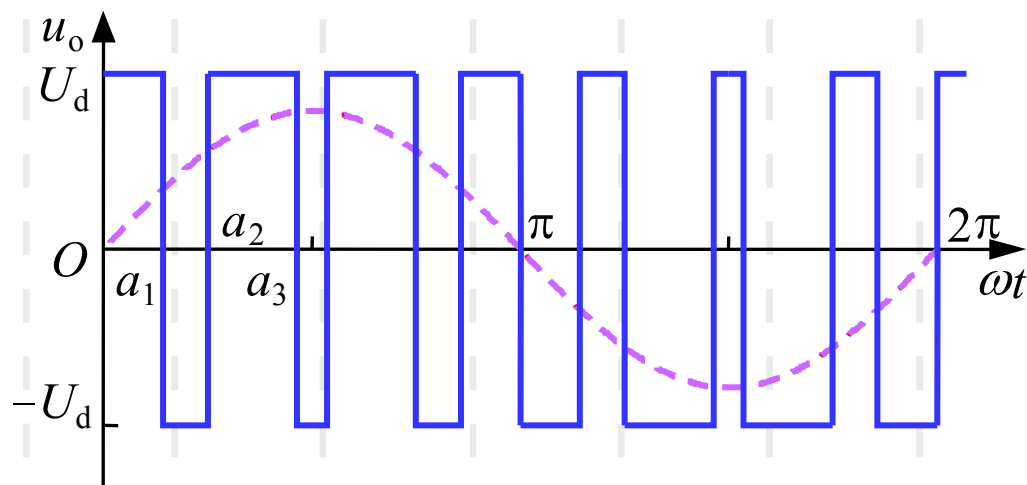


图6-9 特定谐波消去法的输出PWM波形



计算法和调制法

- 首先，为消除偶次谐波，使波形正负两半周期镜对称，即

$$u(\omega t) = -u(\omega t + \pi) \quad (6-1)$$

- 其次，为消除谐波中余弦项，应使波形在正半周期内前后1/4周期以 $\pi/2$ 为轴线对称

$$u(\omega t) = u(\pi - \omega t) \quad (6-2)$$

- 同步满足式(6-1)、(6-2)的波形称为四分之一周期对称波形，用傅里叶级数表达为

$$u(\omega t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} a_n \sin n\omega t \quad (6-3)$$

式中， a_n 为

$$a_n = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} u(\omega t) \sin n\omega t d\omega t$$

计算法和调制法

◆ 图6-9，能独立控制 α_1 、 α_2 和 α_3 共3个时刻。该波形的 a_n 为

$$a_n = \frac{4}{\pi} \left[\int_0^{\alpha_1} \frac{U_d}{2} \sin n\omega t d\omega t + \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \left(-\frac{U_d}{2} \sin n\omega t\right) d\omega t + \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} \frac{U_d}{2} \sin n\omega t d\omega t + \int_{\alpha_3}^{\frac{\pi}{2}} \left(-\frac{U_d}{2} \sin n\omega t\right) d\omega t \right]$$

$$= \frac{2U_d}{n\pi} (1 - 2 \cos n\alpha_1 + 2 \cos n\alpha_2 - 2 \cos n\alpha_3)$$

式中 $n=1,3,5,\dots$

拟定 a_1 的值，再令两个不同的 $a_n=0(n=1,3,5\dots)$ ，就可建三个方程，求得 α_1 、 α_2 和 α_3 。

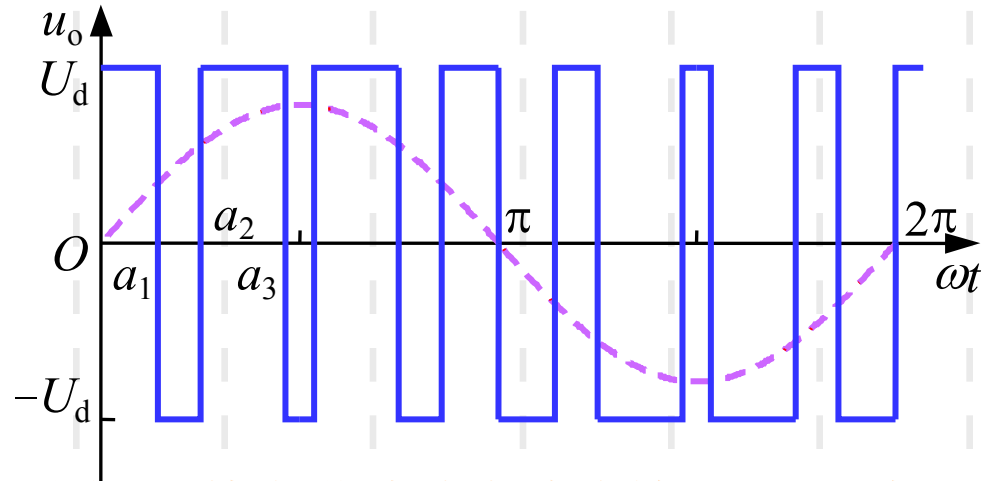


图6-9 特定谐波消去法的输出PWM波形

计算法和调制法



- ◆ 在三相桥式电路中，线电压所含的3次谐波相互抵消。

可考虑消去5次和7次谐波，得如下联立方程：

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{2U_d}{\pi} (1 - 2 \cos \alpha_1 + 2 \cos \alpha_2 - 2 \cos \alpha_3) \\ a_5 &= \frac{2U_d}{5\pi} (1 - 2 \cos 5\alpha_1 + 2 \cos 5\alpha_2 - 2 \cos 5\alpha_3) = 0 \\ a_7 &= \frac{2U_d}{7\pi} (1 - 2 \cos 7\alpha_1 + 2 \cos 7\alpha_2 - 2 \cos 7\alpha_3) = 0 \end{aligned} \right\} (6-5)$$

给定 a_1 ，解方程可得 α_1 、 α_2 和 α_3 。 a_1 变， α_1 、 α_2 和 α_3 也相应变化。



计算法和调制法



✦ 一般在输出电压半周期内，器件通、断各 k 次，考虑到PWM波四分之一周期对称， k 个开关时刻可控，除用一种自由度控制基波幅值外，可消除 $k-1$ 个频率的特定谐波。

✦ k 的取值越大，开关时刻的计算越复杂。

✦ 除计算法和调制法外，还有跟踪控制措施，在6.3节简介。



异步调制和同步调制

载波比 \longrightarrow 载波频率 f_c 与调制信号频率 f_r 之比, $N=f_c/f_r$

- 根据载波和信号波是否同步及载波比的变化情况, PWM调制方式分为**异步调制**和**同步调制**。

1) **异步调制** \longrightarrow 载波信号和调制信号不同步的调制方式

- 一般保持 f_c 固定不变, 当 f_r 变化时, 载波比 N 是变化的
- 在信号波的半周期内, PWM波的脉冲个数不固定, 相位也不固定, 正负半周期的脉冲不对称, 半周期内前后1/4周期的脉冲也不对称
- 当 f_r 较低时, N 较大, 一周期内脉冲数较多, 脉冲不对称产生的不利影响都较小
- 当 f_r 增高时, N 减小, 一周期内的脉冲数降低, PWM脉冲不对称的影响就变大

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/486103103224010230>