

# 1.器件总结

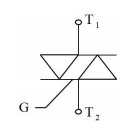
## ■频率（开关速度）比较

## ■容量比较

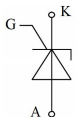
## ■应用比较

- 小功率（10kW以下）场合以**电力MOSFET**为主；
- 中、大功率场合以**IGBT**为主的压倒性局面。（兆瓦以下首选）
- GTO：兆瓦以上全控器件首选，制造水平6kV / 6kA。
- 在10MVA以上或者数千伏以上的应用场合，如果不需要自关断能力，那么**晶闸管**仍然是目前的首选器件。

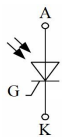
- （MOS控制晶闸管，MOSFET与晶闸管复合）
- （静电感应晶体管，结型场效应晶体管，单极型）
- （静电感应晶闸管，SIT与GTO复合）
- （集成门极换流晶闸管，MOSFET与GTO复合）



TRIAC  
(晶闸管)



RCT  
(晶闸管)



LTT  
(晶闸管)

名称	英文	控制程度	信号性质	信号波形	载流子	特征	特殊问题	符号	半导体层/PN结
电力二极管							<ul style="list-style-type: none"><li>PN结二层、单向导电</li><li>额定电流为平均值</li><li><math>I = 1.57I_{TAV}</math></li></ul>		
晶闸管(可控硅)						<b>双极型器件共同特征：</b> <ul style="list-style-type: none"><li>两种载流子导电</li><li>具有电导调制效应</li><li>通态压降和导通损耗小</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>三端四层结构</li><li>额定电流、额定电压</li><li>双向晶闸管 TRIAC</li></ul>		
门级可关断晶闸管						<b>电流驱动型共同特征：</b> <ul style="list-style-type: none"><li>驱动电路复杂</li><li>工作频率低</li><li>驱动功率大</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>三端四层结构</li><li>关断增益小：<math>\beta \approx 5</math></li></ul>		
电力晶体管							<ul style="list-style-type: none"><li>三层结构、二次击穿</li><li>工作区：</li></ul>		
电力场效应晶体管						<ul style="list-style-type: none"><li>开关频率最高</li><li>驱动电路简单、驱动功率小</li><li>小功率应用最广</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>工作区：</li></ul>		
绝缘栅双极晶体管						<ul style="list-style-type: none"><li>MOS管+GTR组合</li><li>驱动电路简单、驱动功率小</li><li>中大功率广泛应用</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>工作区：</li></ul>		

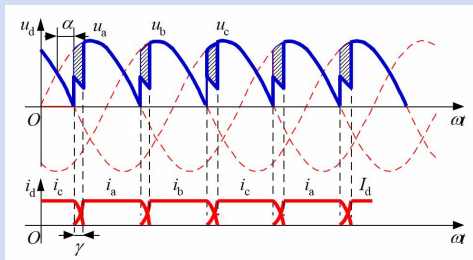
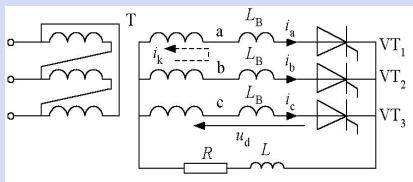
2.整流总结

电路名称		单相半波	单相全波		单相桥式全控		单相桥式半控	三相半波可控		三相桥式全控	
电路图											
电阻性负载	移相范围										
	晶闸管导通角							$120^{\circ}(\alpha \leq 30^{\circ})$	$150^{\circ}-\alpha(\alpha > 30^{\circ})$	$120^{\circ}(\alpha \leq 60^{\circ})$	$2(120^{\circ}-\alpha)(\alpha > 60^{\circ})$
	晶闸管最大正/反向电压										
	直流输出电压平均值 $U_d$										
大电感负载	是否需要续流管	要	要	不要	要	不要	要	不要		不要	
	移相范围										
	晶闸管导通角										
	晶闸管电流有效值/输出直流平均值( $I_{VT}/I_d$ )										
	晶闸管最大正/反向电压										
	直流输出电压平均值 $U_d$										

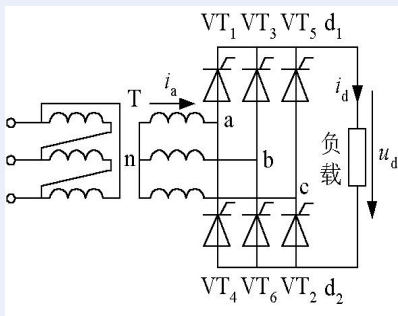
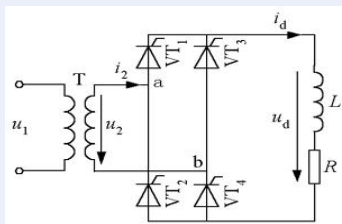
## 知识点

## 关键点

### 变压器漏感对整流电路的影响



### 谐波和功率因数



①换相过程持续的时间，用电角度 $\gamma$ 表示，称为\_\_\_\_\_。

② $\gamma$ 随其它参数变化的规律：

- (1)  $I_d$ 越大则 $\gamma$ 越\_\_\_\_\_；
- (2)  $X_B$ 越大 $\gamma$ 越\_\_\_\_\_；
- (3) 当 $\alpha \leq 90^\circ$ 时， $\alpha$ 越小 $\gamma$ 越\_\_\_\_\_。

③变压器漏感对整流电路影响的一些结论：

- + 出现**换相重叠角** $\gamma$ ，整流输出电压平均值 $U_d$ \_\_\_\_\_。
- + 整流电路的**工作状态**\_\_\_\_\_。
- + 晶闸管的 $di/dt$ \_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_利于晶闸管的安全开通。  
有时人为串入进线电抗器以抑制晶闸管的 $di/dt$ 。
- + 换相时晶闸管电压出现缺口，产生正的 $du/dt$ ，可能使晶闸管\_\_\_\_\_，为此必须**加吸收电路**。
- + 换相使电网电压出现\_\_\_\_\_，成为干扰源。

● 无功的危害：

- + 导致设备容量\_\_\_\_\_。
- + 使设备和线路的损耗\_\_\_\_\_。
- + 线路压降\_\_\_\_\_，冲击性负载使电压剧烈波动。

● 功率因数：

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{UI_1 \cos \varphi_1}{UI} = \frac{I_1}{I} \cos \varphi_1 = \nu \cos \varphi_1$$

+ 基波因数—— $n = I_1 / I$ ；

+ 位移因数（基波功率因数）—— $\cos \varphi_1$

功率因数由**基波电流相移**和**电流波形畸变**共同决定。

□ 单相桥式全控： $\lambda = \cos \alpha$

□ 三相桥式全控： $\lambda = \cos \alpha$

● 谐波的危害：

- + 降低设备的效率。
- + 影响用电设备的正常工作。
- + 引起电网局部的谐振，使谐波放大，加剧危害。
- + 导致继电保护和自动装置的误动作。
- + 对通信系统造成干扰。

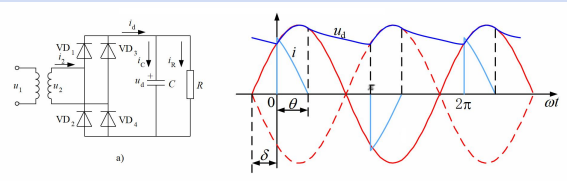
●  $m$ 脉波整流电路谐波组成规律：

- + 交流侧（输入侧）谐波次数为\_\_\_\_\_次；
- + 直流侧（输出侧）谐波次数为\_\_\_\_\_次；
- + 当 $m$ 一定时，随谐波次数增大，谐波幅值迅速\_\_\_\_\_；
- +  $m$ 增加时，最低次谐波次数增大，且幅值迅速减小，电压纹波因数迅速\_\_\_\_\_。

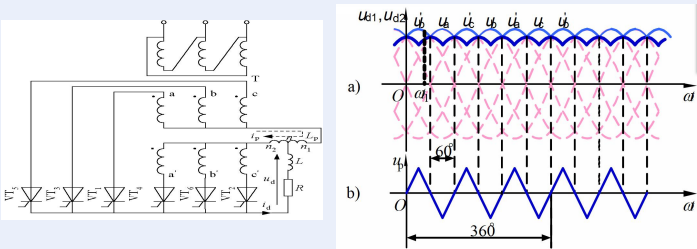
知识点

关键点

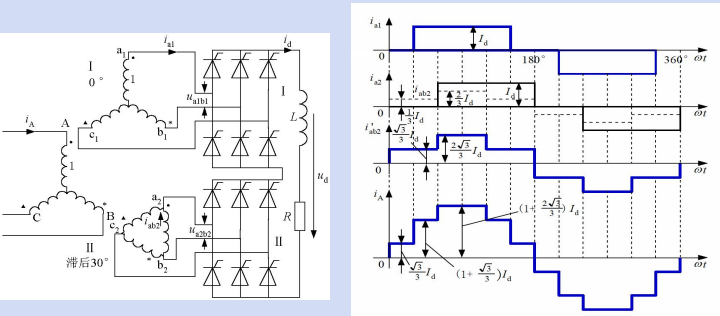
电容滤波的不可控整流电路



带平衡电抗器的双反星形可控整流电路



多重化整流电路



单相不可控整流电路

- 空载时,  $U_d =$  \_\_\_\_\_。
- 重载时,  $U_d =$  \_\_\_\_\_。
- 一般设计:  $U_d =$  \_\_\_\_\_。

结构特点:

- 适用于 \_\_\_\_\_ 场合;
- 二次侧为两组 \_\_\_\_\_ 的绕组, 分别接成两组三相半波电路。
- 二次侧两绕组的极性相反可消除 \_\_\_\_\_。
- \_\_\_\_\_ 是为保证两组三相半波整流电路能同时导电。

三相不可控整流电路

- 空载时,  $U_d =$  \_\_\_\_\_。
- 重载时,  $U_d =$  \_\_\_\_\_。
- 电流连续:  $\omega RC \leq$  \_\_\_\_\_。

双反星形电路与三相桥式电路进行比较:

- 三相桥为两组三相半波 \_\_\_\_\_, 而双反星形为两组三相半波 \_\_\_\_\_, 且后者需用平衡电抗器。
- 当  $U_2$  相等时, 双反星形的  $U_d$  是三相桥的 \_\_\_\_\_, 而  $I_d$  是三相桥的 \_\_\_\_\_ 倍。
- 两种电路中, 晶闸管的导通及触发脉冲的分配关系一样,  $u_d$  和  $i_d$  的 \_\_\_\_\_。
- \_\_\_\_\_ 次数相同。

①多重化整流电路目的: \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_;

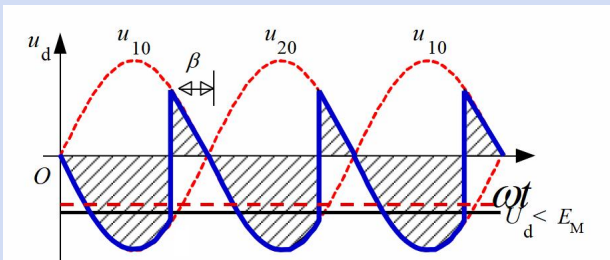
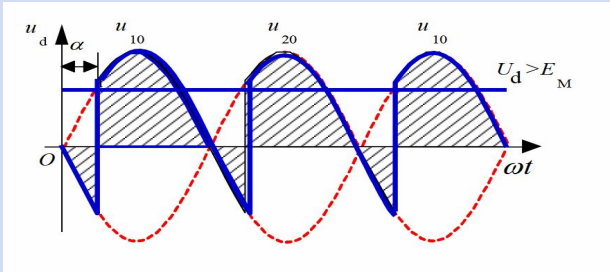
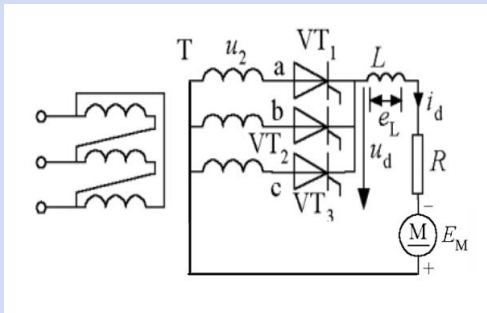
②n组串联多重总结:

- ✓ 整流变压器的二次绕组移相 \_\_\_\_\_;
- ✓ 整流输出脉波数  $m =$  \_\_\_\_\_;
- ✓ 交流侧输入谐波次数为 \_\_\_\_\_, 直流侧输出谐波次数为 \_\_\_\_\_,  $k = 1, 2, 3 \dots$
- ✓ \_\_\_\_\_ 大幅减小, 在一定程度上提高 \_\_\_\_\_。

③串联多重整流电路采用 \_\_\_\_\_ 可提高功率因数。

## 知识点

### 整流电路的有源逆变工作状态



## 关键点

### ①有源逆变条件

- ✦ 有\_\_\_\_\_, 其极性和晶闸管导通方向一致, 其值\_\_\_\_\_变流器直流侧平均电压。
- ✦ 晶闸管的控制角  $\alpha > \pi/2$ , 使  $U_d$  为\_\_\_\_\_。

### ②能实现有源逆变电路

- ✦ \_\_\_\_\_或有\_\_\_\_\_的电路, 因其整流电压  $u_d$  不能出现负值, 也不允许直流侧出现负极性的电动势, 故不能实现有源逆变。
- ✦ 欲实现有源逆变, 只能采用\_\_\_\_\_电路。

### ③逆变失败

- ✦ 触发电路工作不可靠, 不能适时、准确地给各晶闸管分配脉冲, 如脉冲丢失、脉冲延时等, 致使晶闸管不能正常换相。
- ✦ 晶闸管发生故障, 该断时不断, 或该通时不通。
- ✦ 交流电源缺相或突然消失。
- ✦ \_\_\_\_\_不足, 引起换相失败。
- ✦ 最小逆变角  $\beta_{min}$  一般取\_\_\_\_\_。

### ④逆变电路分析

- ✦ 把  $\alpha > \pi/2$  时的控制角用  $\pi - \alpha = \beta$  表示,  $\beta$  称为\_\_\_\_\_。
- ✦  $0 < \alpha < \pi/2$  时, 电路工作在\_\_\_\_\_状态。
- ✦  $\pi/2 < \alpha < \pi$  时, 电路工作在\_\_\_\_\_状态。
- ✦ 三相桥式电路工作于有源逆变状态  $U_d = -2.34U_2 \cos \beta$

### 3.逆变总结

类型	整体特征	单相	三相
电压型 逆变电路	<ul style="list-style-type: none"><li>□ 直流侧为电压源或者并联大_____；</li><li>□ 交流侧输出_____为矩形波，输出电流和相位因负载阻抗不同而不同；</li><li>□ 常采用IGBT，逆变桥各臂并联反馈_____。</li></ul>	<p>1) 单相半桥</p> <ul style="list-style-type: none"><li>□ 两桥臂；</li><li>□ 直流侧<b>两电容器串联</b>，需均压</li><li>□ 输出交流电压幅值为_____；</li><li>□ 基波电压有效值<math>U_{01}=_____U_d</math></li></ul> <p>谐波次数<math>n =</math></p> <p>2) 单相全桥</p> <ul style="list-style-type: none"><li>□ 四桥臂，两个半桥</li><li>□ 两对桥臂<b>交替导通180°</b></li><li>□ 输出交流电压幅值为_____；</li><li>□ 基波电压有效值<math>U_{01}=_____U_d</math></li><li>□ 谐波次数<math>n =</math></li></ul>	<p>1) 控制方式</p> <ul style="list-style-type: none"><li>□ 任一瞬间有_____个开关同时导通；</li><li>□ _____° 导电方式</li><li>□ _____向换流</li><li>□ 先断后通</li></ul> <p>2) 数量关系</p> <ul style="list-style-type: none"><li>□ <b>相电压</b>基波有效值<math>U_{01}=0.45U_d</math></li><li>□ <b>线电压</b>基波有效值<math>U_{UV1}=0.78U_d</math></li><li>□ 谐波次数<math>n =</math></li></ul>
电流型 逆变电路	<ul style="list-style-type: none"><li>□ 直流侧串大_____；</li><li>□ 交流侧输出_____为矩形波，输出电压因负载不同而不同；</li><li>□ 常采用晶闸管，_____需要反并联二极管。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>□ 负载换流；</li><li>□ 并联谐振略呈_____性</li><li>□ <math>U_0</math>接近正弦波</li><li>□ 基波电流有效值<math>I_{01}=0.9I_d</math></li><li>□ 谐波次数<math>n =</math></li></ul>	<p>1) 控制方式</p> <ul style="list-style-type: none"><li>□ 任一瞬间有_____个开关同时导通；</li><li>□ _____° 导电方式</li><li>□ _____向换流</li></ul> <p>2) 数量关系</p> <ul style="list-style-type: none"><li>□ 交流电流基波有效值<math>I_{U1}=0.78I_d</math></li><li>□ 谐波次数<math>n =</math></li></ul>
换流方式	<ul style="list-style-type: none"><li>□ _____换流—采用IGBT、电力MOSFET、GTO、GTR等全控型器件的电路中的换流方式；</li><li>□ _____换流、_____换流、_____换流—针对晶闸管；</li><li>□ 器件换流和强迫换流—属于_____换流；电网换流和负载换流—属于_____换流。</li><li>□ 整流电路、有源逆变中晶闸管采用_____换流；_____逆变不能电网换流；_____负载可实现负载换流。</li></ul>		



4.斩波总结

电力电子技术总结—贺晓蓉（重理工）

类型	降压斩波 (buck)	升压斩波 (boost)	升降压斩波 (buck-boost)	cuk斩波
电路图				
输出电压				
说明	降压	电感泵升 电容维持	$0 < D < 0.5$ , 降压 $0.5 < D < 1$ , 升压	
极性	同极性	同极性	反极性	
连续	电源电流____ 负载电流____	电源电流____ 负载电流____	电源电流____ 负载电流____	电源电流____ 负载电流____

电路
变压器的磁心复位
$\frac{U_o}{U_i} =$
电路
$\frac{U_o}{U_i} =$

斩波电路三种控制方式

- ✦ T不变，变ton — 调制 (PWM) 。
- ✦ ton不变，变T — 调制。
- ✦ ton和T都可调 — 型。
- ✦ 间接直流变流电路分为单端和双端电路两大类；
- ✦ 单端电路中，变压器中流过的是直流脉动电流；双端电路中，变压器中的电流为正负对称的交流电流；
- ✦ 电路和 电路属于单端电路， 、 和 电路属于双端电路。

5.交-交总结

类型		工作原理	特点	典型应用	说明
交流电力控制电路	交流调压电路	<div>目标： 策略： 手段：</div>	结构相同，控制方式不同		<div>*电阻负载： <math>0 \leq \alpha \leq \pi</math>； <math>\alpha</math>增大，<math>u_o</math>降低，功率因数降低</div> <div>*阻感负载： <math>0 \leq \alpha \leq \pi</math>。 谐波少，<math>\varphi</math>增大，谐波减少。</div>
	交流调功电路	<div>目标： 策略： 手段：</div>			
	交流电力电子开关	<div>目标：</div>			电容器预充电电压为电源电压峰值
变频电路	交交变频	<div>目标： 策略： 手段：</div>			
	交直交变频	交-直-交	输出频率灵活		恒压频比控制保持 $U/f = \text{恒值}$



6.共性问题总结

电力电子技术总结—贺晓蓉（重理工）

知识点	特    征	
驱动电路	<div>①驱动电路：主电路与控制电路之间的接口</div> <div>②驱动电路的基本任务： ✓ _____。 ✓ _____。 ✓ _____。</div> <div>③晶闸管触发电路应满足下列要求： ✓ 脉冲的_____应保证晶闸管可靠导通。 ✓ 触发脉冲应有足够的_____。 ✓ 不超过门极_____, 且在可靠触发区域之内。 ✓ 有良好的_____性能、_____性及与主电路的_____。</div>	<div>④电压驱动型器件的驱动电路</div> <div>✓ 电力MOSFET开通的栅源极间驱动电压一般取10~15V；</div> <div>✓ IGBT开通的栅射极间驱动电压一般取15 ~ 20V。</div> <div>✓ 关断时施加一定幅值的_____电压（一般-5 ~ -15V）有利于减小关断时间和关断损耗。</div> <div>✓ MOSFET, <math> U_{GS}  &gt; 20V</math>将导致绝缘层_____。</div> <div>✓ IGBT的驱动多采用专用的混合集成驱动器。</div>
保护	<div>①过电压保护 ✓ _____过电压：主要来自雷击和系统操作过程等外因，包括_____过电压和_____过电压； ✓ _____过电压：主要来自电力电子装置内部器件的开关过程，包括_____过电压和_____过电压。 ✓ _____和_____为抑制内因过电压的措施</div> <div>②过电流保护 ✓ 过电流分_____和_____两种情况。 ✓ 通常，_____作为第一保护措施，_____仅作为短路时的部分区段的保护，_____整定在电子电路动作之后实现保护，_____整定在过载时动作。</div> <div>③缓冲电路 ✓ _____缓冲电路（du/dt抑制电路）——吸收器件的关断过电压和换相过电压，抑制du/dt，减小关断损耗。 ✓ _____缓冲电路（di/dt抑制电路）——抑制器件开通时的电流过冲和di/dt，减小器件的开通损耗。 ✓ 通常将缓冲电路专指关断缓冲电路，而将开通缓冲电路区别叫做di/dt抑制电路。</div>	
串并联问题	<div>①晶闸管的串联（均压） ✓ 静态不均压问题：     ➢ 选用参数和特性尽量一致的器件；     ➢ 采用_____均压。  ✓ 动态不均压问题：     ➢ 选择动态参数和特性尽量一致的器件；     ➢ 用_____作动态均压；     ➢ 采用_____。</div>	<div>②晶闸管的并联（均流） ✓ 挑选特性参数尽量一致的器件。 ✓ 采用_____, 还可以限制di/dt和du/dt。 ✓ 用_____也有助于动态均流。</div> <div>③当需要同时串联和并联晶闸管时，通常采用_____的方法联接。</div>

7.PWM 控制技术总结

电力电子技术总结—贺晓蓉（重理工）

知识点	关键点	
理论基础	<p>____原理：____相等而____不同的窄脉冲加在具有惯性的环节上时，其____基本相同。</p> <p>SPWM波：用一系列____的脉冲来代替一个正弦半波。</p>	
计算法	____消去法：k个开关时刻可控，可消去k - 1个频率的特定谐波。	
调制法	<div><p>①__极性PWM调制</p><ul style="list-style-type: none"><li>+ <math>u_0</math>正半周，<math>V_1</math>通，<math>V_2</math>断，<math>V_3</math>和<math>V_4</math>交替通断。</li><li>+ <math>u_0</math>负半周，<math>V_2</math>通，<math>V_1</math>断，<math>V_3</math>和<math>V_4</math>交替通断。</li></ul><p>③异步调制和同步调制</p><ul style="list-style-type: none"><li>+ ____调制：载波信号和调制信号不同步的调制方式；</li><li>+ ____调制：异步调制和同步调制的综合应用。</li></ul><p>④SPWM实现方法</p><ul style="list-style-type: none"><li>+ ____采样法</li></ul><p>在正弦波和三角波的交点时刻生成的PWM波的方法，其求解复杂，工程应用不多。</p><p>⑤PWM逆变电路的谐波分析</p><ul style="list-style-type: none"><li>+ 单相桥式PWM逆变电路：不含低次谐波，只含<math>\omega_c</math>、<math>2\omega_c</math>、<math>3\omega_c</math>及其附近的谐波，幅值最高影响最大的是角频率<math>\omega_c</math>的谐波分量。</li></ul><p>⑥PWM逆变电路性能改进</p><ul style="list-style-type: none"><li>+ 采用____作为调制信号</li><li>____可有效提高直流电压利用率，以提高逆变器的输出能力；</li></ul></div>	<div><p>②__极性PWM调制</p><ul style="list-style-type: none"><li>+ <math>u_r &gt; u_c</math>时，<math>V_1</math>和<math>V_4</math>导通，<math>V_2</math>和<math>V_3</math>关断。</li><li>+ <math>u_r &lt; u_c</math>时，<math>V_2</math>和<math>V_3</math>导通，<math>V_1</math>和<math>V_4</math>关断。</li></ul><p>____调制：载波信号和调制信号保持同步的调制方式，当变频时使载波与信号波保持同步，即N等于常数。</p><p>____采样法</p><p>工程实用方法，效果接近自然采样法，计算量小。</p><ul style="list-style-type: none"><li>+ 三相桥式PWM逆变电路：载波角频率<math>\omega_c</math>整数倍的谐波没有了，谐波中幅值较高的是<math>\omega_c \pm 2\omega_r</math>和<math>2\omega_c \pm \omega_r</math>。</li><li>+ 结论：主要是角频率为<math>\omega_c</math>、<math>2\omega_c</math>及其附近的谐波，一般情况下<math>\omega_c \gg \omega_r</math>，频率高，很容易滤除的。</li></ul><p>采用____控制方式</p><p>____尽可能提高直流电压利用率，并尽量减少器件开关次数，以降低开关损耗。</p></div>

跟踪控制法	采用电流闭环控制，使实际电流快速跟随给定值，在稳态时，尽可能使实际电流接近____。有____比较方式和____比较方式。
-------	---

