



第6章 晶闸管式弧焊整流器



晶闸管式弧焊整流器是目前实际工程中应用最多的电子控制弧焊电源之一。既有下降外特性的晶闸管式弧焊整流器，也有平缓外特性的晶闸管式弧焊整流器。既可以用于焊条电弧焊、钨极氩弧焊，也可以用于CO₂气体保护焊、熔化极氩弧焊等弧焊方法。

主要内容：

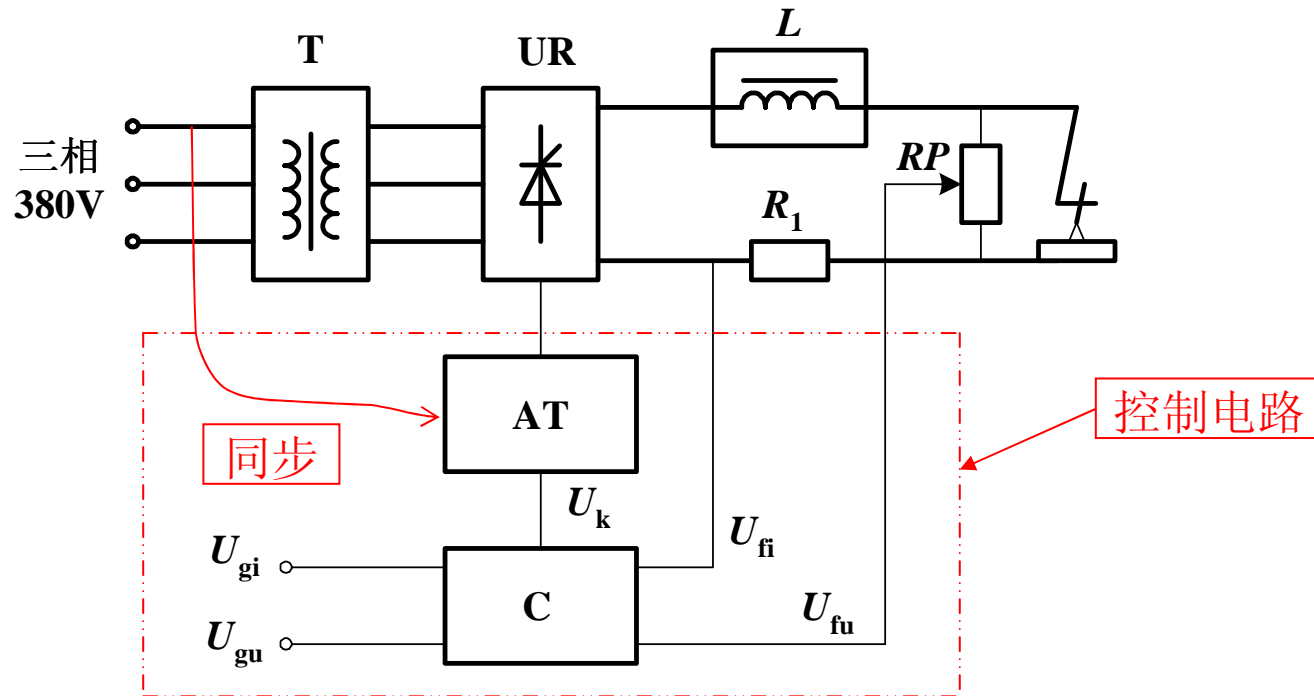
- 1、晶闸管式弧焊整流器的构成；
- 2、常用的晶闸管可控整流主电路结构及工作原理；
- 3、晶闸管触发电路结构及工作原理；
- 4、实例介绍。



6.1 概述

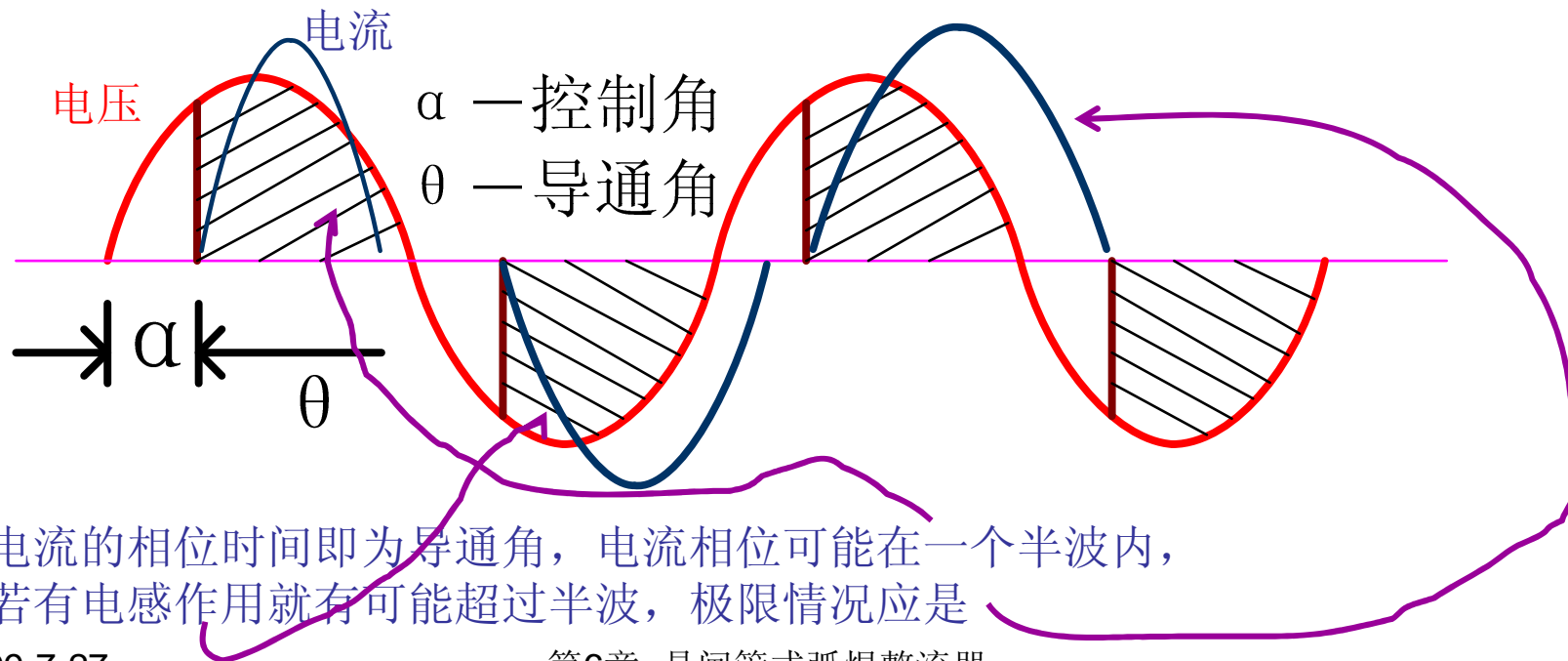
在20世纪60年代初，随着大功率晶闸管的问世，出现了以晶闸管为整流元件的直流弧焊电源—晶闸管式弧焊整流器。

晶闸管弧焊整流器由电子功率系统和电子控制系统组成，如图6-1所示。电子功率系统又称弧焊电源的主电路，它是由主变压器T、晶闸管整流器UR和直流输出电感L组成。AT为晶闸管的触发脉冲驱动电路，C为电子控制电路。





晶闸管弧焊整流器输出电压和电流的大小决定于整流器中晶闸管的导通角，晶闸管的导通角越大，电源输出电压和电流越大。晶闸管导通角的大小是由其触发脉冲的相位所决定的，而触发脉冲的相位是由电流给定信号 U_{gi} 、电压给定信号 U_{gu} 和电流、电压反馈信号 U_{fi} 、 U_{fu} 通过电子控制电路C得到的控制信号 U_k 所确定的。 U_k 决定着晶闸管触发脉冲的相位，也就决定了晶闸管导通角的大小。 U_k 的变化规律决定了弧焊电源输出电压和电流的变化规律，通过对 U_k 的控制，可以控制晶闸管式弧焊整流器的输出特性。



电流的相位时间即为导通角，电流相位可能在一个半波内，若有电感作用就有可能超过半波，极限情况是



晶闸管式弧焊整流器具有以下特点：

- (1) 动特性好
- (2) 控制性能好
- (3) 省材节能
- (4) 噪声小
- (5) 电路较复杂

相对于弧焊变压器和弧焊发电机而言

6.2 三相可控整流主电路

晶闸管式弧焊电源一般采用三相变压器及晶闸管整流电。
常用主电路结构形式：

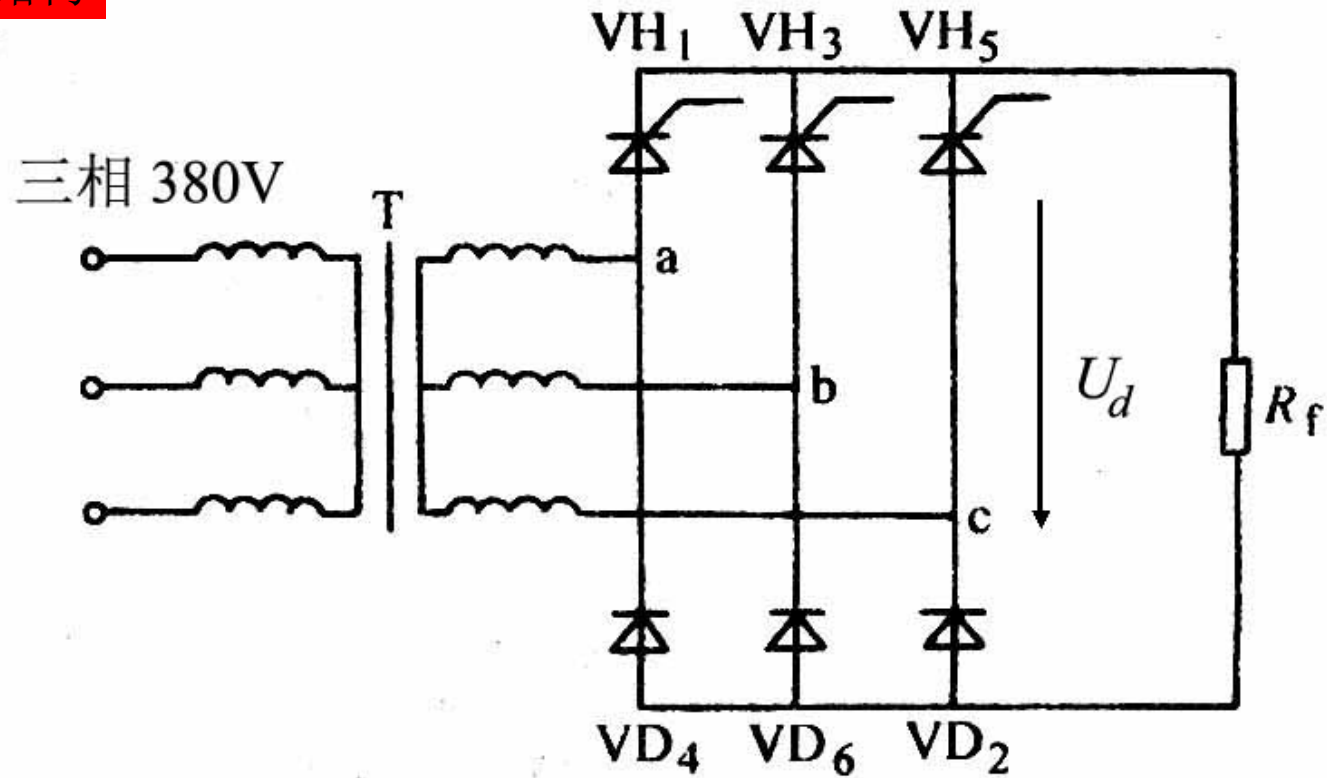
- 1、三相半控桥式；
- 2、三相全控桥式；
- 3、六相半波可控整流；
- 4、带平衡电抗器的双反星形可控整流电路等四种。



6.2.1 三相半控桥式整流电路

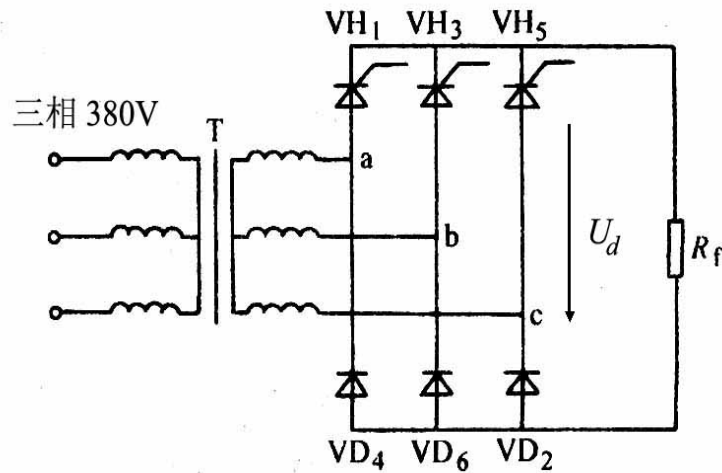


电路结构

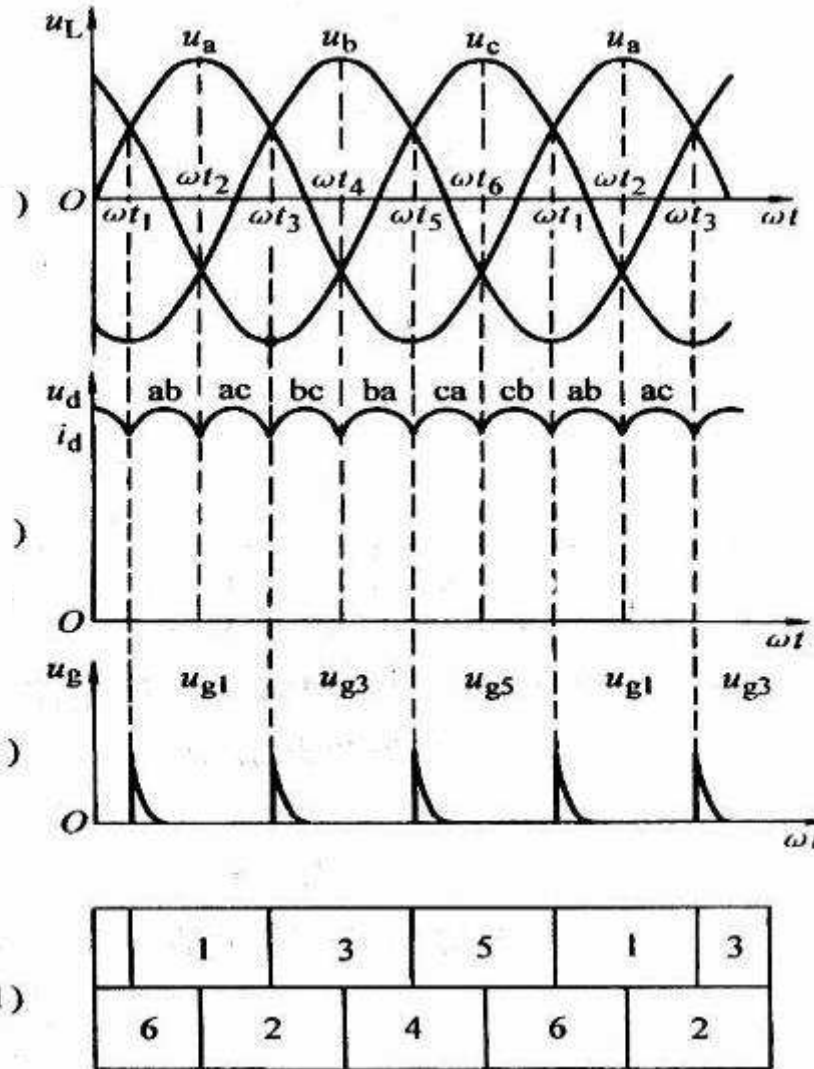




三相半控桥电阻性负载
触发角 $\alpha=0$ 的波形图



注意 $\alpha = 0$ 的相位与
单相整流电路的区别：
从自然换相点
开始



相电
压波
形

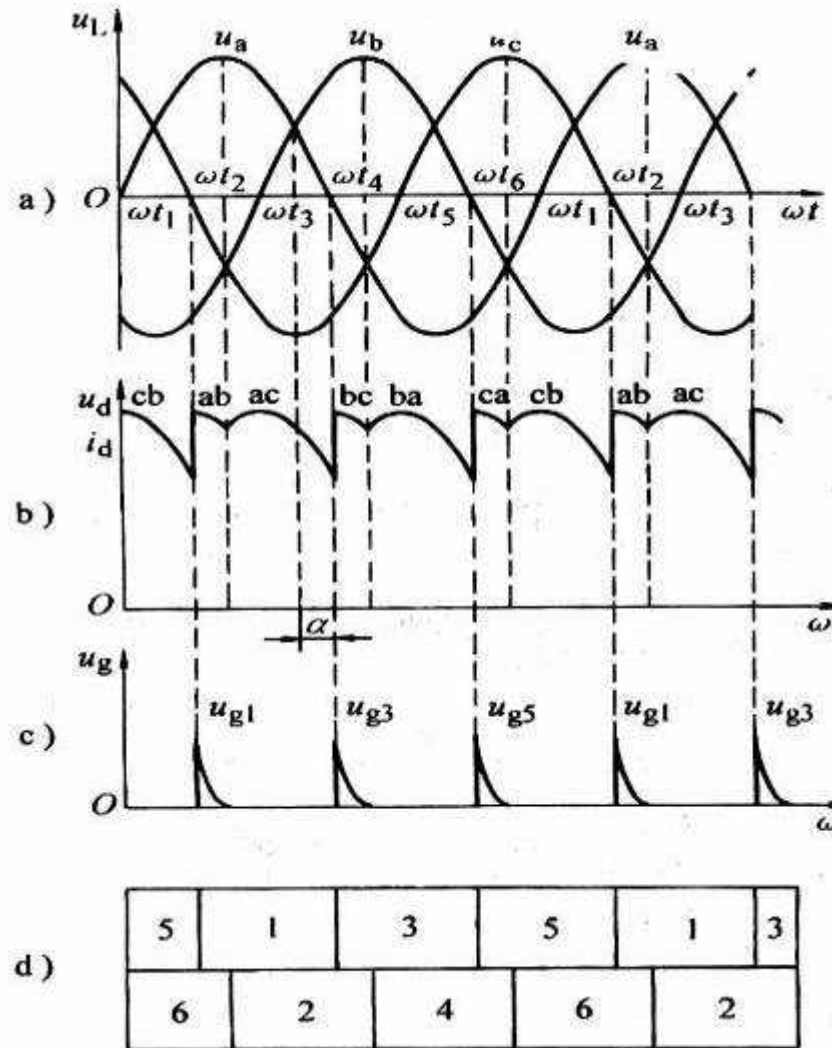
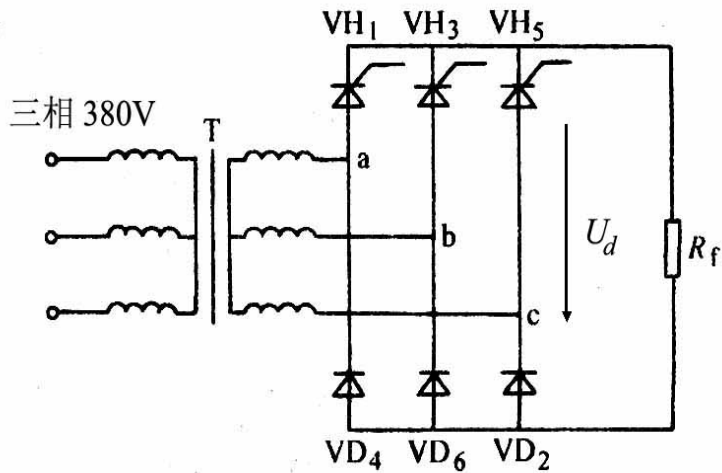
负载
电压
波形

触发
脉冲
时序

SCR
导通
顺序



三相半控桥电阻性负载
触发角 $\alpha=30^\circ$ 的波形图



相电
压波
形

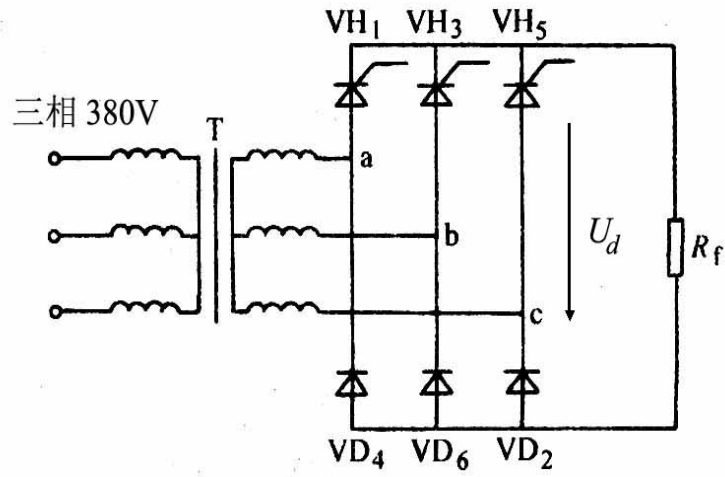
负载
电压
波形

触发
脉冲
时序

SCR
导通
顺序

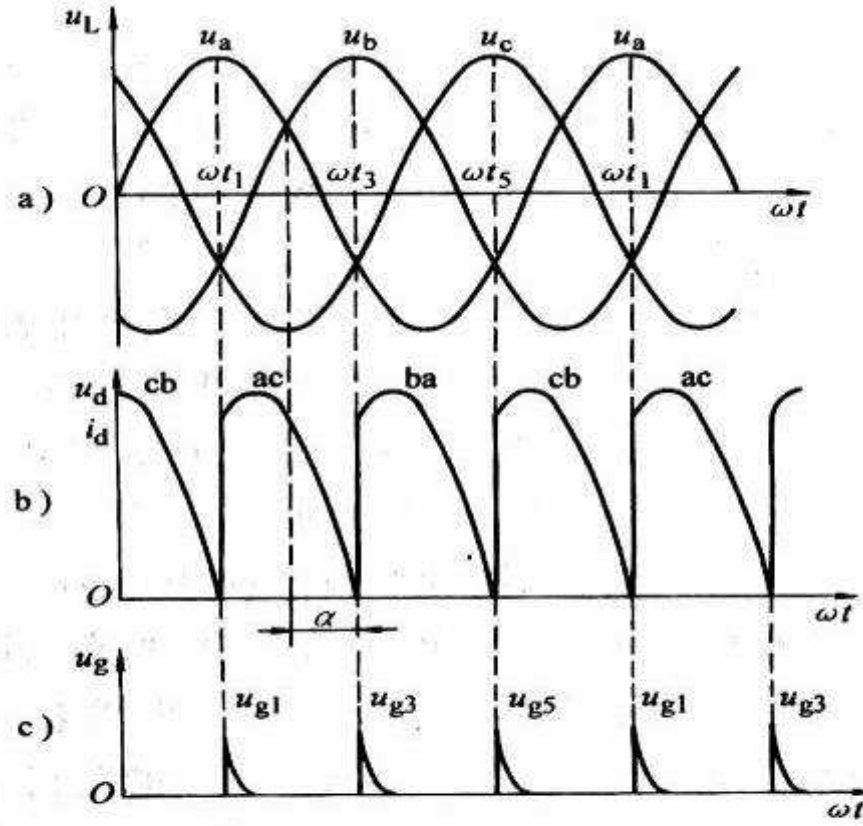


三相半控桥电阻性负载
触发角 $\alpha=60^\circ$ 的波形图



三相半控桥电阻性负载
时输出电压平均值与导
通角 α 的关系:

$$U_d = 1.17U_2(1 + \cos \alpha)$$



相电
压波
形

负载
电压
波形

触发
脉冲
时序

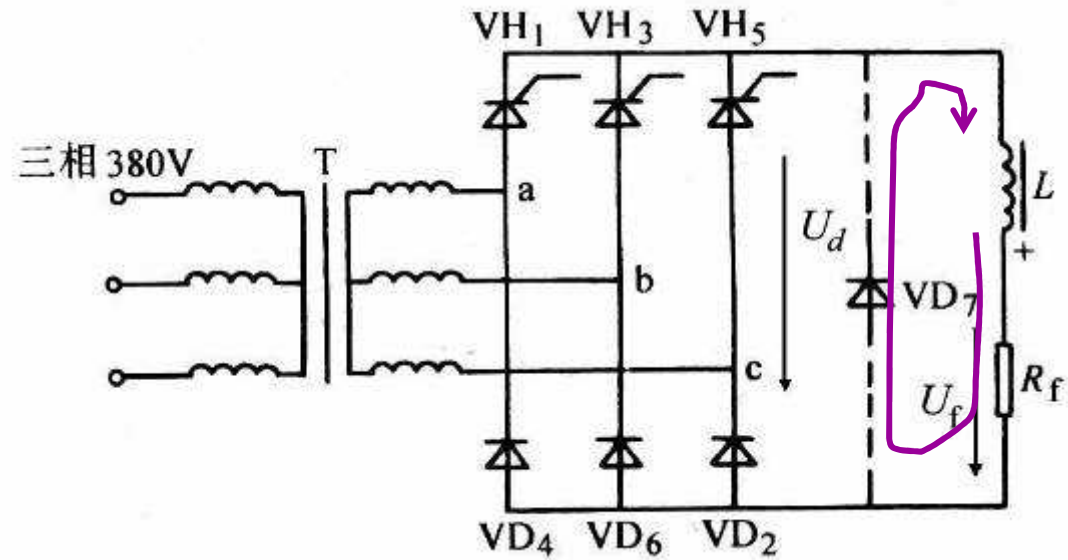
d)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 1 | 3 | 5 | 1 |
| 6 | 2 | 4 | 6 | 2 |

SCR
导通
顺序



三相半控桥电阻电感性负载



要求增加续流二极管D7

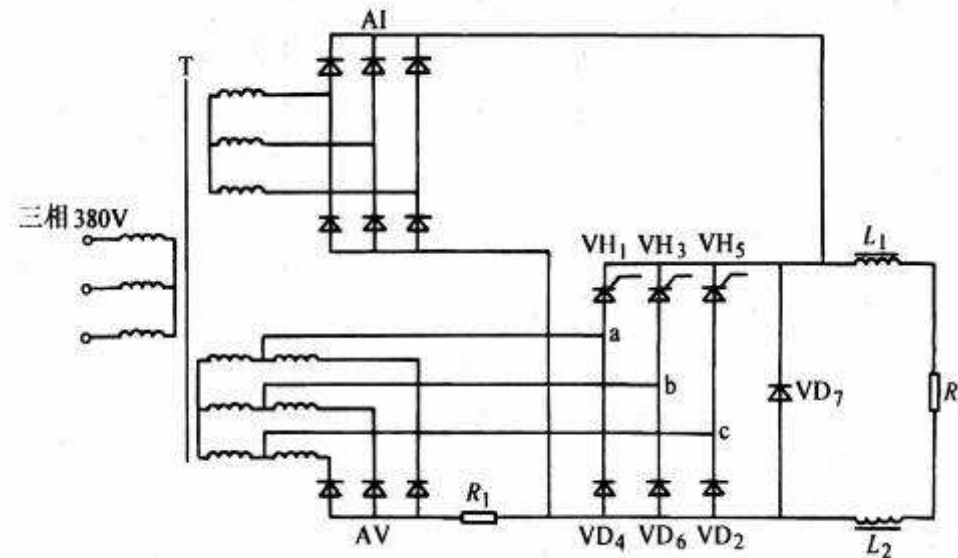


三相半控桥式整流电路的特点:

- 1、只用三只晶闸管和三个触发脉冲单元，因而线路比较简单、可靠、经济和较易调试；
- 2、整流变压器为普通的三相降压变压器，易于制造。
- 3、其主要缺点是调至低电压或小电流时波形脉动较明显。
- 4、需配备大电感量的输出电抗器。

改进方案

附加全波整流的维弧电路以及高压引弧电路。





6.2.2 三相全控桥式整流电路

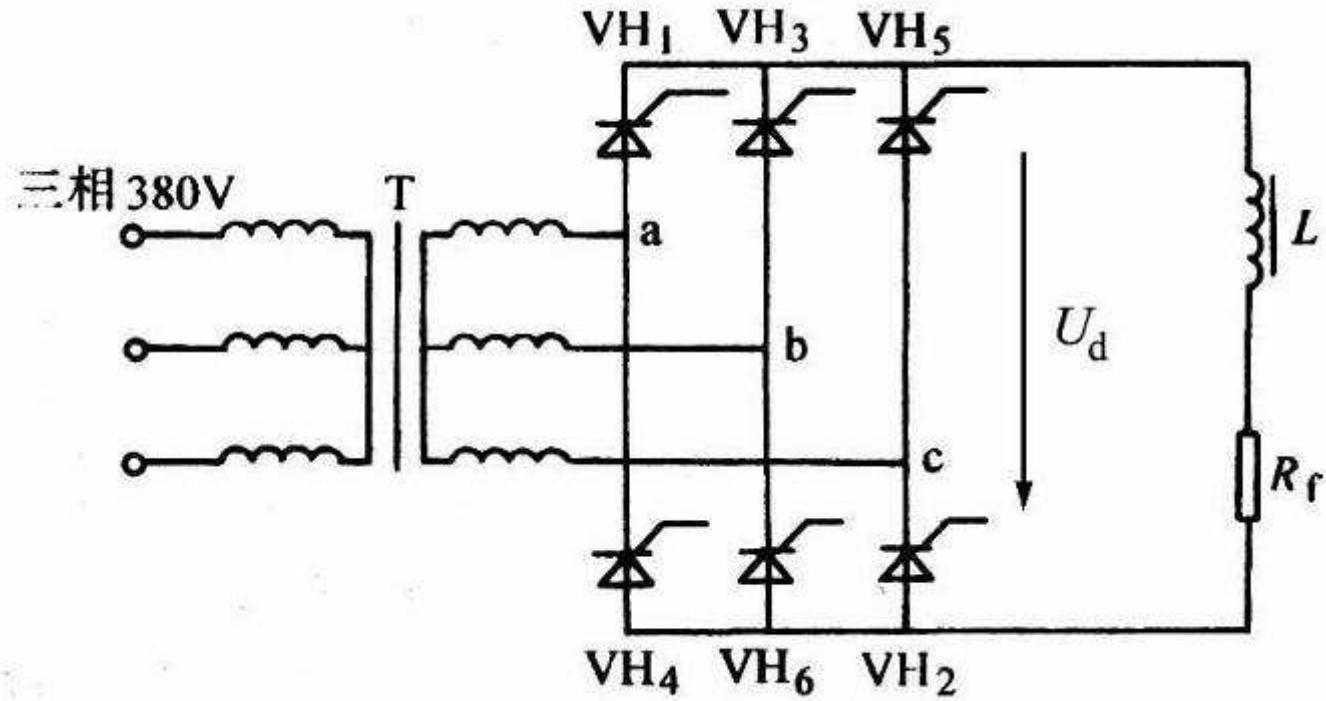




图6-10 $\alpha = 0^\circ$ 电阻负载三相全控桥式整流电路波形

a) 相电压 b) 负载电压 c) 触发脉冲 d) 管子导通顺序三相桥

与三相半控整流电路有什么区别呢？

三相半控触发频率150Hz，此处为300Hz，意味着动特性提高了！！！！

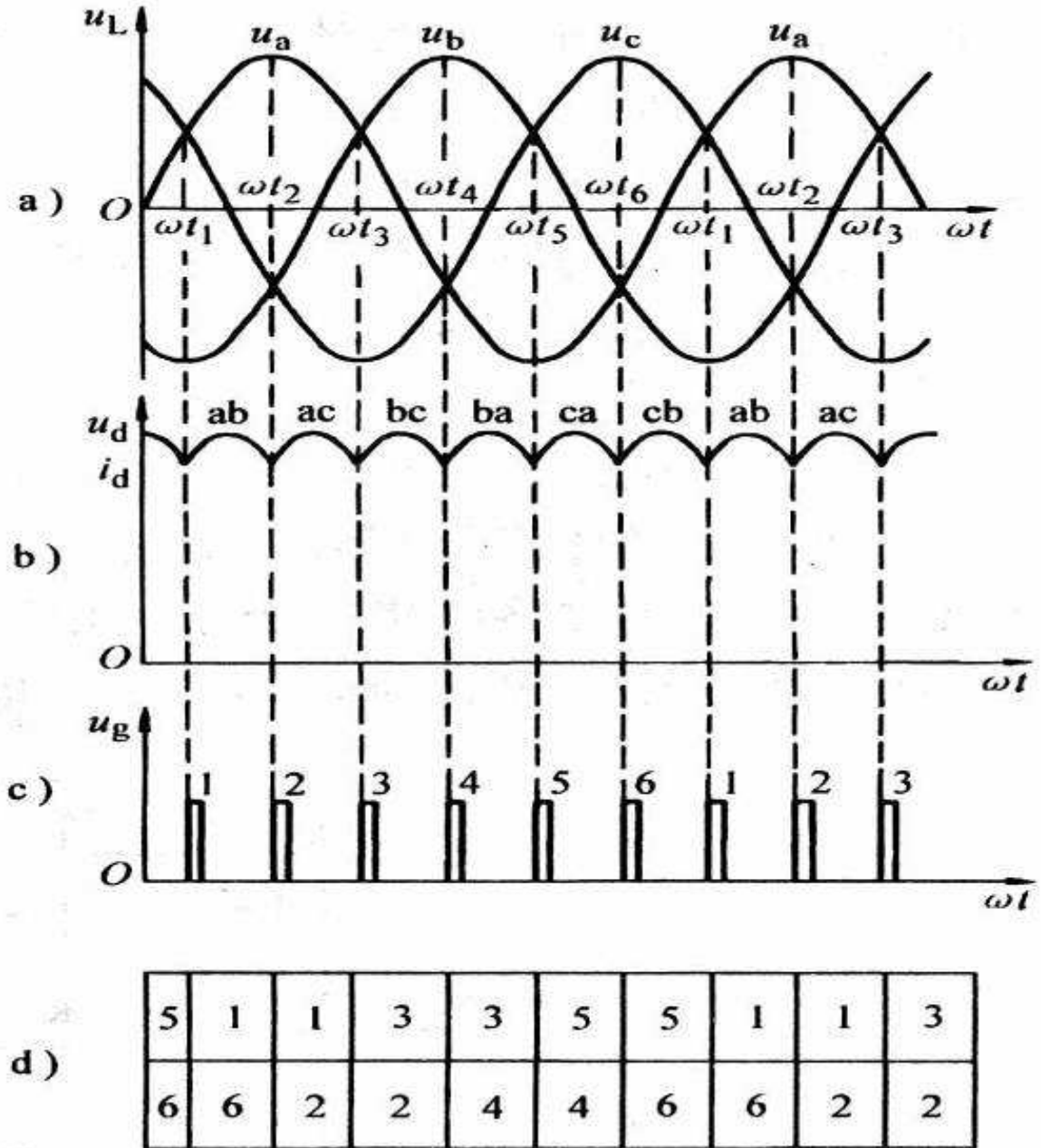
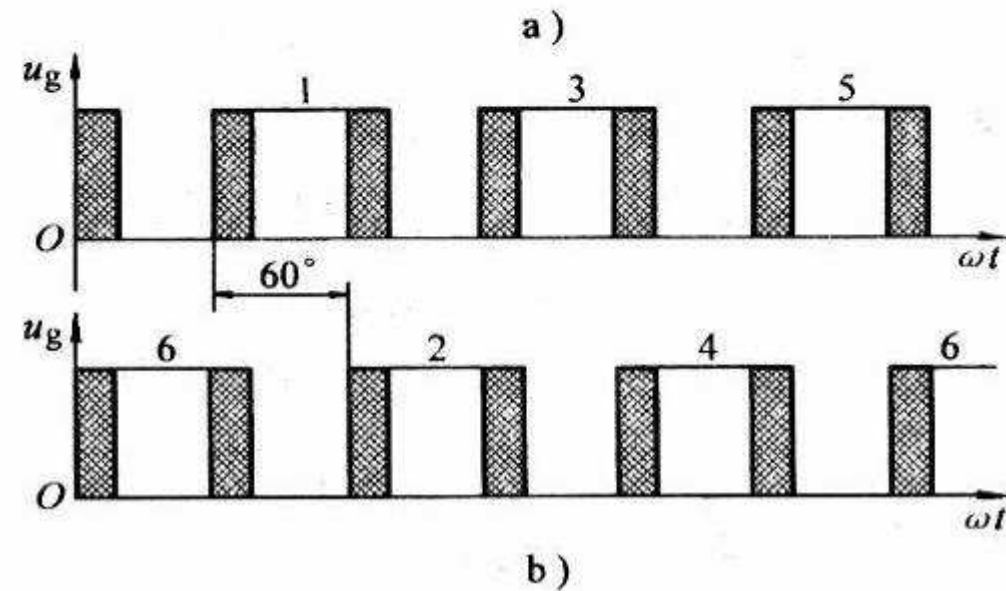
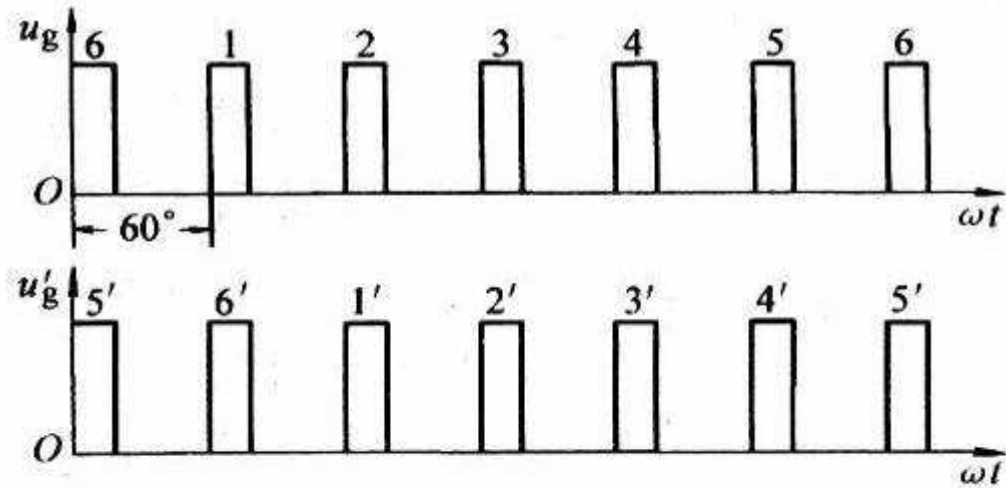




图6-11 三相桥式全控整流电路触发方式

- a) 双窄脉冲出发
- b) 单宽脉冲触发



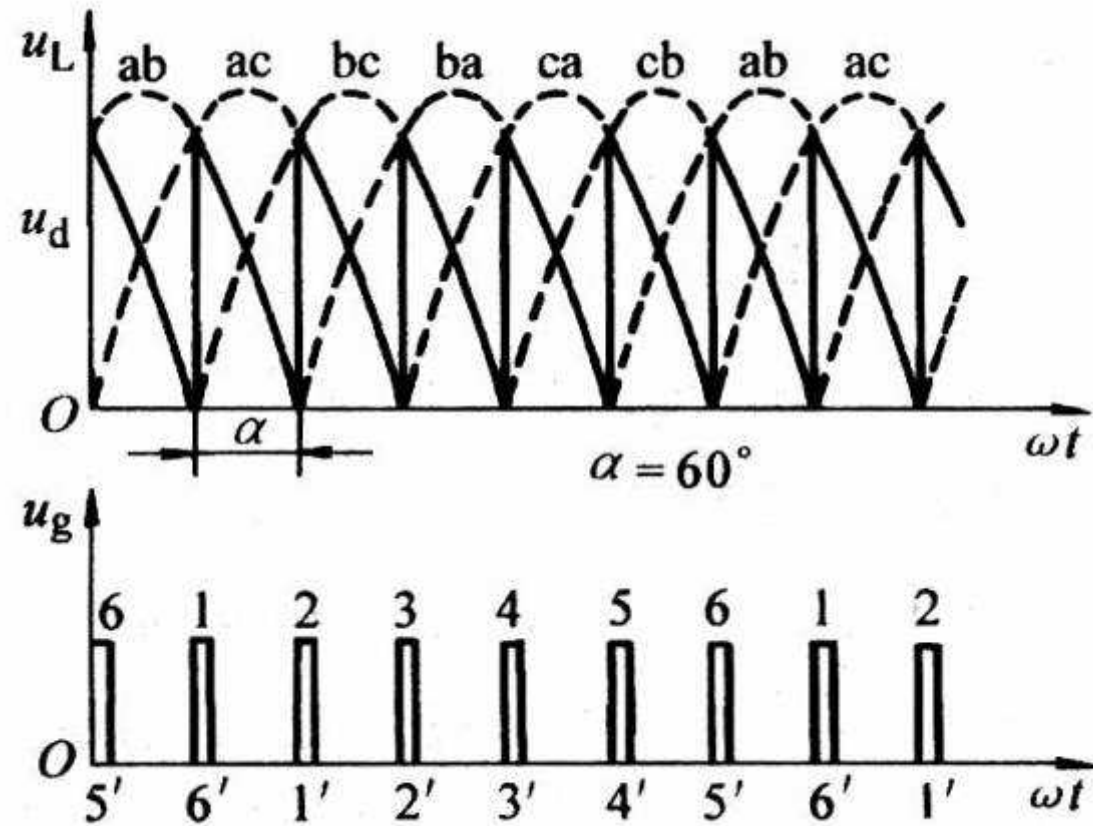


图6-12 $\alpha = 60^\circ$ 电阻负载三相全控桥式整流波形

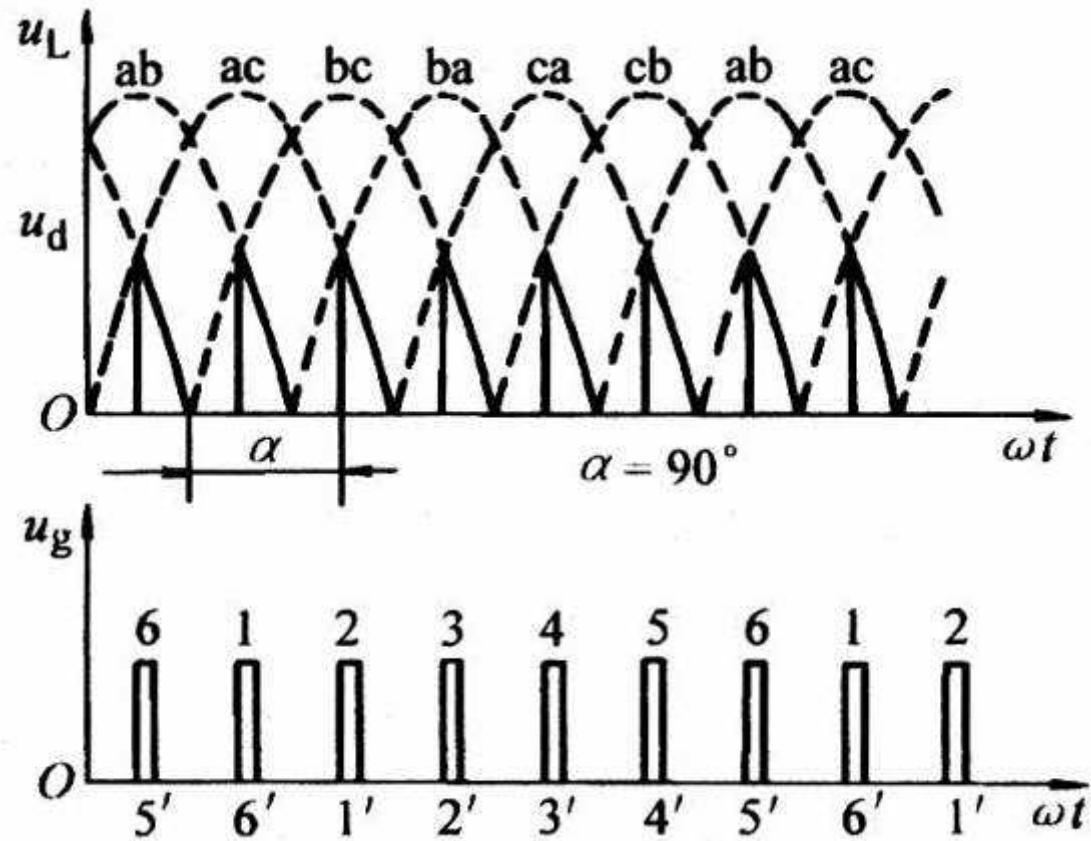


图6-13 $\alpha = 90^\circ$ 电阻负载三相全控桥式整流波



当 $0 \leq \alpha \leq \pi/3$ 时, 输出电压 u_d 波形连续, 此时有:

$$\begin{aligned} U_d &= \frac{1}{2\pi} \times 6 \times \int_{\frac{\pi}{3} + \alpha}^{\frac{2\pi}{3} + \alpha} \sqrt{3} \times \sqrt{2} \times U_2 \sin \omega t d(\omega t) \\ &= \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_2 \cos \alpha = 2.34 U_2 \cos \alpha \end{aligned}$$

当 $\alpha > \pi/3$ 时, 输出电压发生间断, 此时有:

$$\begin{aligned} U_d &= \frac{1}{2\pi} \times 6 \times \int_{\frac{\pi}{3} + \alpha}^{\pi} \sqrt{2} \times \sqrt{3} \times U_2 \sin \omega t d(\omega t) \\ &= \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_2 \left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right] \end{aligned}$$

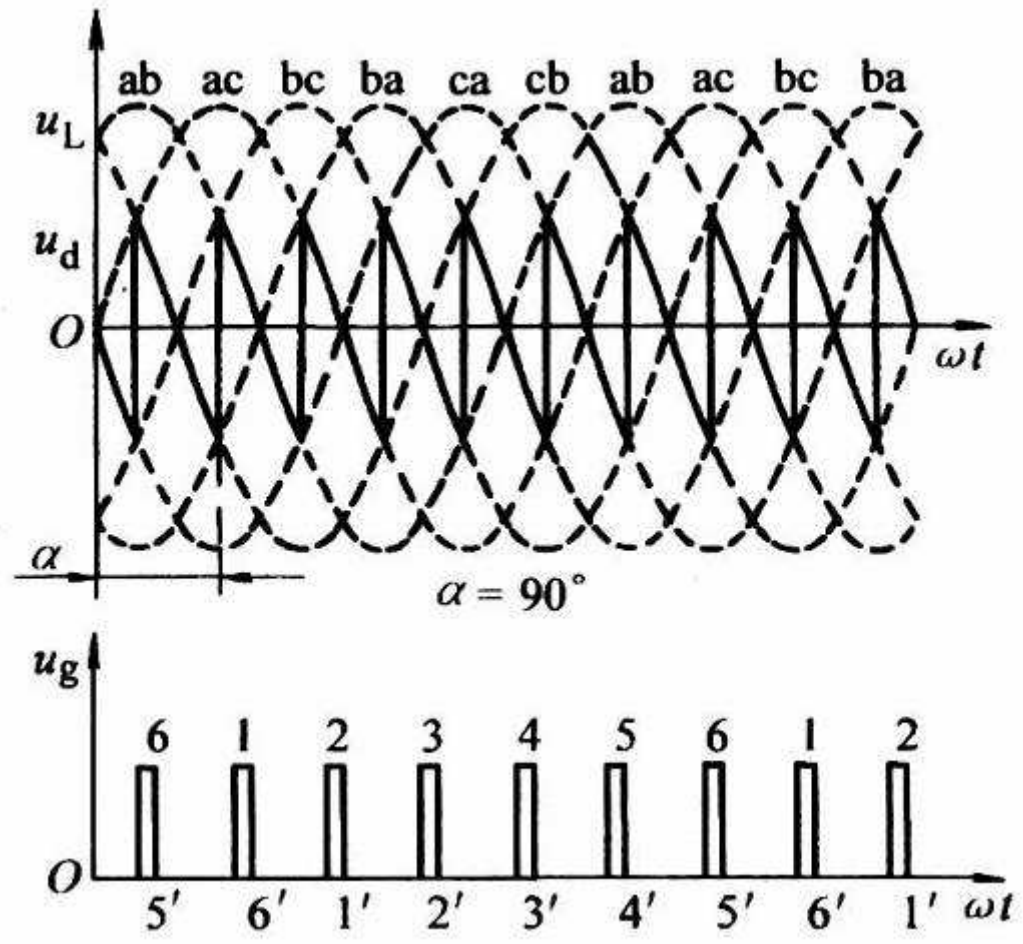


图6-14 $\alpha = 90^\circ$ 电阻电感性负载三相全控桥式整流电压波形



在电感足够大使负载电流连续的情况下， u_d 与 α 之间关系为：

$$U_d = 2.34U_2 \cos \alpha$$

特点及应用

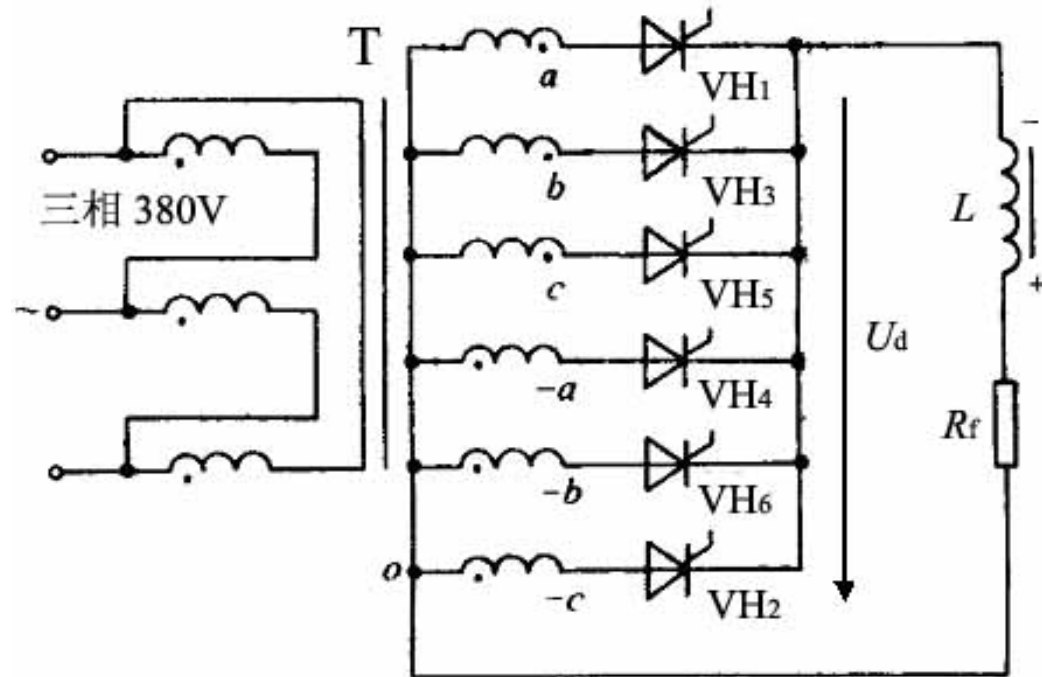
- 1、三相桥式全控整流电路的输出电压每周有六个波峰，脉动较小，所需配用的输出电感的电感量也较小。
- 2、其缺点是要用六个晶闸管，且触发电路复杂，增加了调试和维修的难度。
- 3、该电路是目前应用较多的电路之一，美国米勒公司生产的焊机以及国内ZX5—400B型晶闸管弧焊整流器都采用了此电路。



6.2.3 六相半波可控整流电路



电路结构





1. 电阻性负载

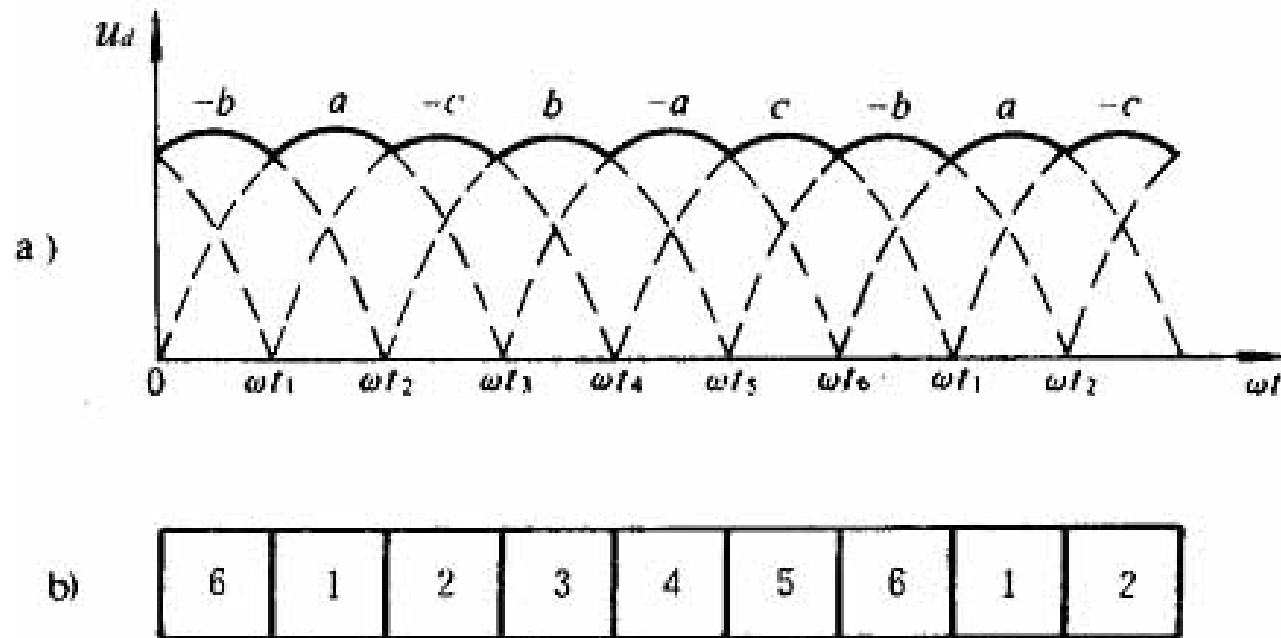
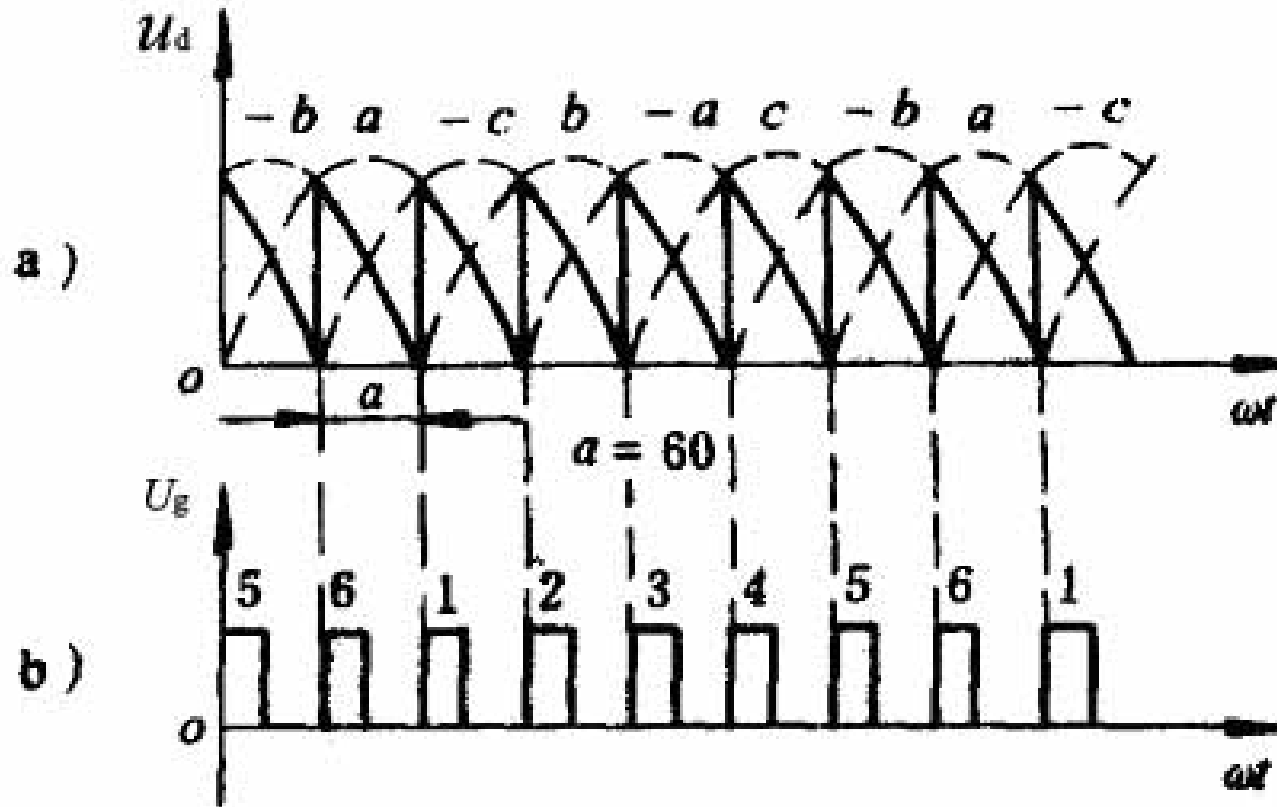


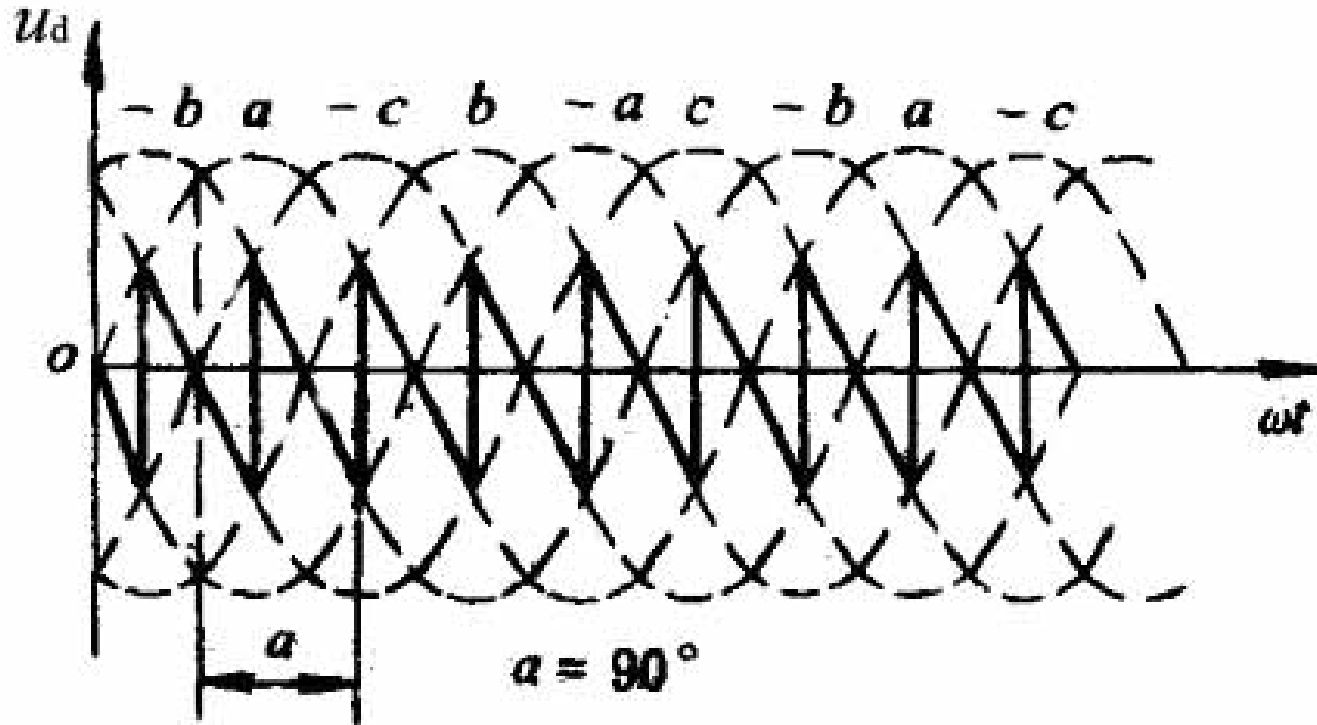
图6-17 $\alpha = 0^\circ$ 时六相半波可控整流波形
a) u_d 波形 b) 晶闸管导通顺序



触发频率300Hz，意味着动特性与三相全控整流电路基本相同



2. 电阻电感性负载

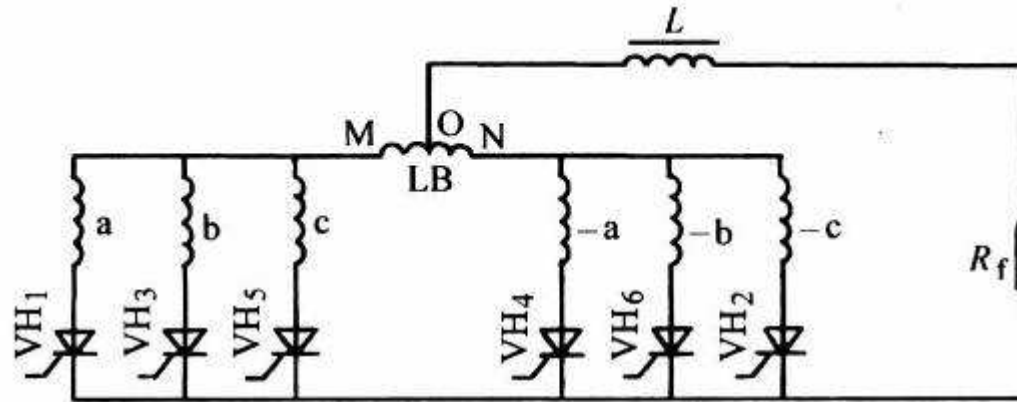




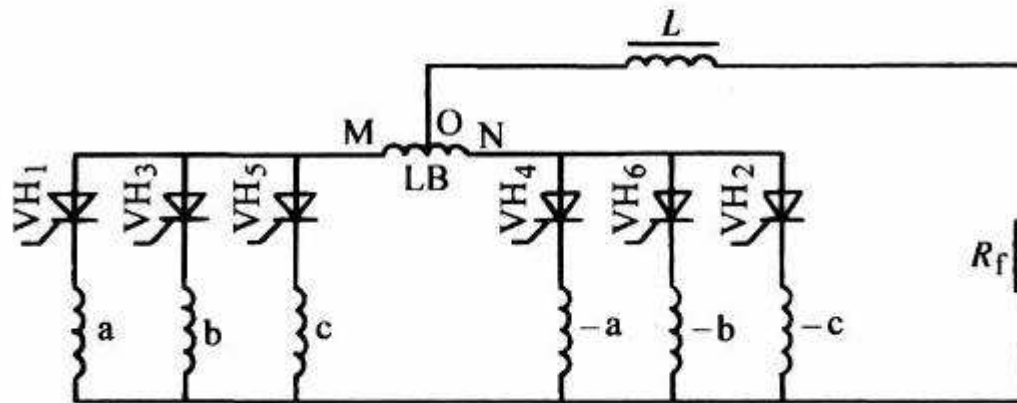
6.2.4 带平衡电抗器双反星形可控整流电路



电路结构



a)



b)



1. 平衡电抗器的工作原理



没有平衡电抗器时等效于六相半波整流。每个时刻只有一个管子导通，利用率低。

在 $\omega t_1 + \delta t_1$ 时刻，

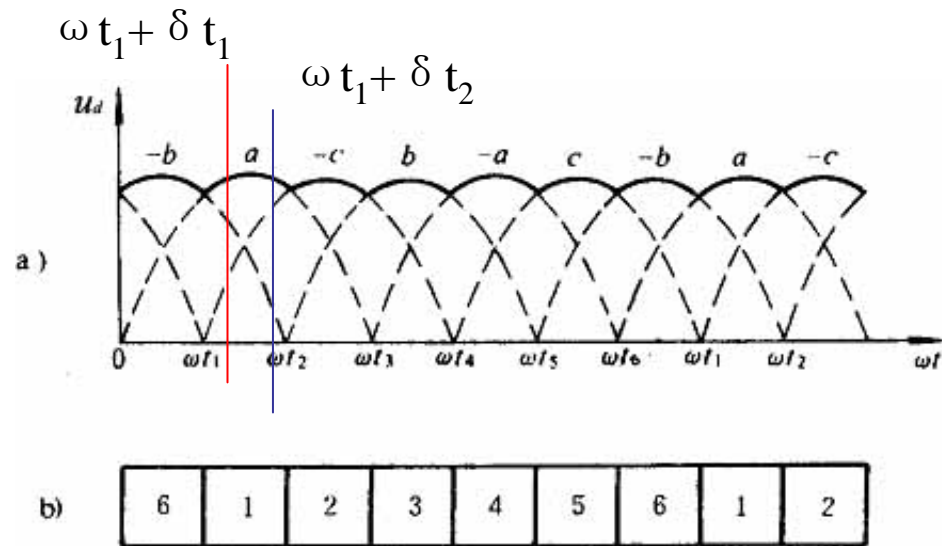
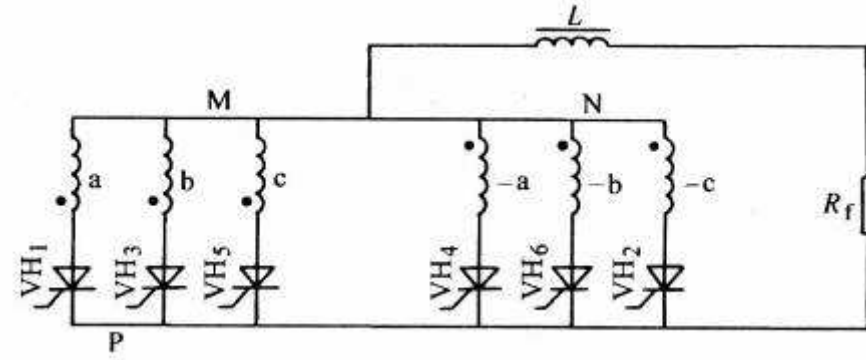
U_a 相电压最高， U_b 相次高。

此时 $U_p = U_a$ ，

没有平衡电抗器时 $U_m = U_n$ ，

故， $VH6$ 阴极电位比阳极电位高，即使触发它也不能导通。

欲使 $VH6$ 与 $VH1$ 同时导通，只有设法将 N 点电位相对于 M 点提高 $U_a - U_b$ ，此时 $VH6$ 的阳极电位与 $VH1$ 的阳极电位相等，这样就可以实现 $VH6$ 与 $VH1$ 同时导通了。





为了提高N点的电位，实现两个晶闸管的同时导通，在六相半波可控整流电路中引入了平衡电抗器LB。将LB接到M点与N点之间，如图6-22b所示。

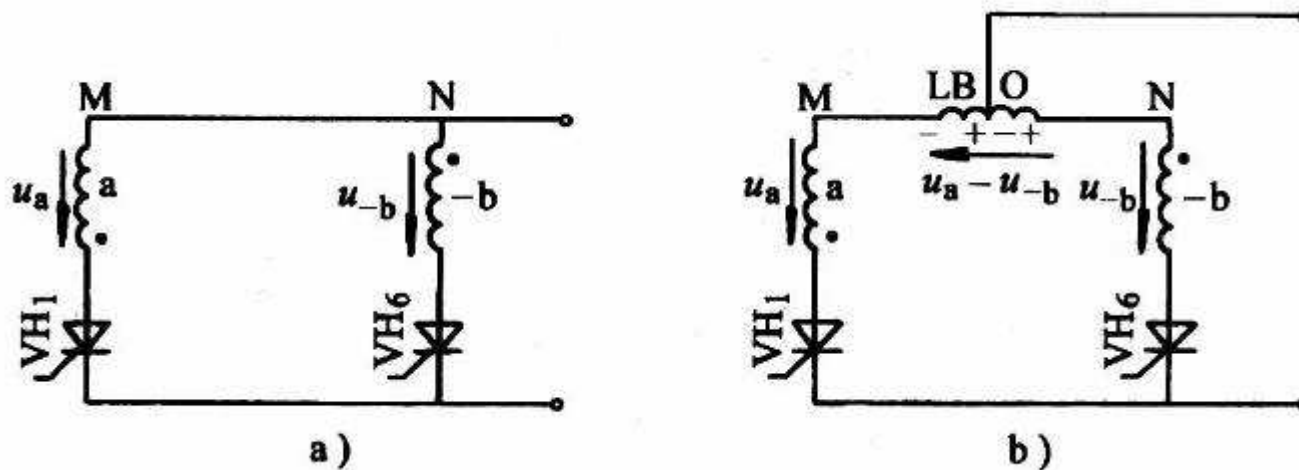


图6-22 有无平衡电抗器的比较

a) 无平衡电抗器 b) 有平衡电抗器

在 ωt_1+ 时刻， U_a 最高，VH1 导通，电流通过LB的MO流至负载，在MO上产生的感应电动势极性是右正左负， U_{OM} 与 U_a 极性相反，使VH1的阳极电位降低了 u_{OM} ；由于O点是LB的中心抽头，故ON与MO的感应电动势相等且极性一致，即 $u_{ON} = u_{OM}$ ，这样就提高了N点电位，而且 u_{ON} 与 u_b 极性相同，将VH6的阳极电位提高了 u_{ON} ，从而使VH6能与VH1同时导通。



当 u_a 过了其峰值之后至 ωt_2 之前，反极性组中 u_c 高于 u_b ，于是VH2导通而VH6关断，该阶段VH1又与VH2同时导通。过了 ωt_2 ， u_c 电压最高，VH2继续导通且该支路电流较大，于是LB的感应电动势极性如下图所示，借助于它提高了M点和VH1阳极的电位，降低了N点和VH2阳极的电位，使二者阳极电位趋于相等，因而VH1能继续导通，直到过了 u_c 的峰值之后，正极性组中 u_b 电压最高，于是VH3导通而VH1关断，VH3和VH2同时导通。六个晶闸管的导电顺序可依此类推，见图6-24e。图6-24为 $\alpha=0^\circ$ 时的波形。

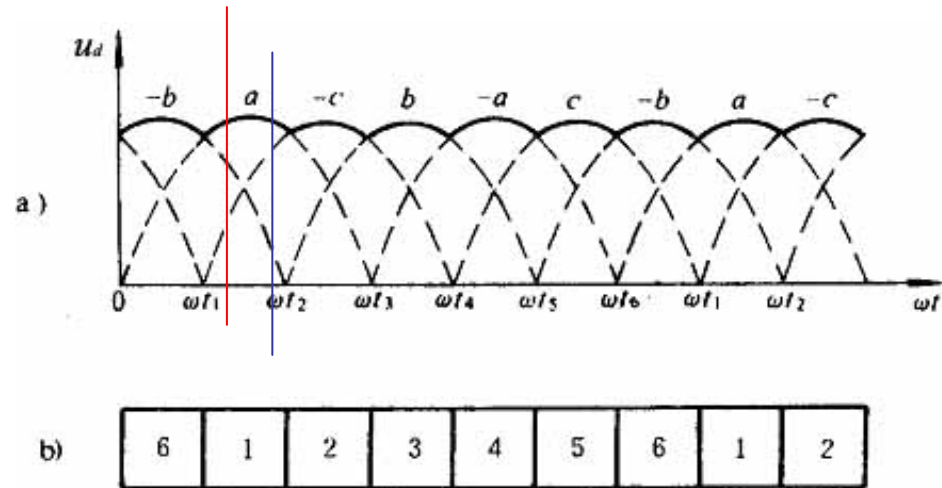
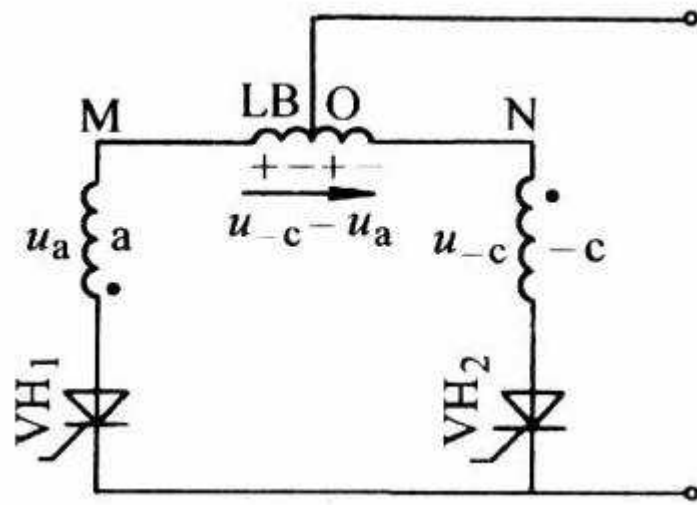
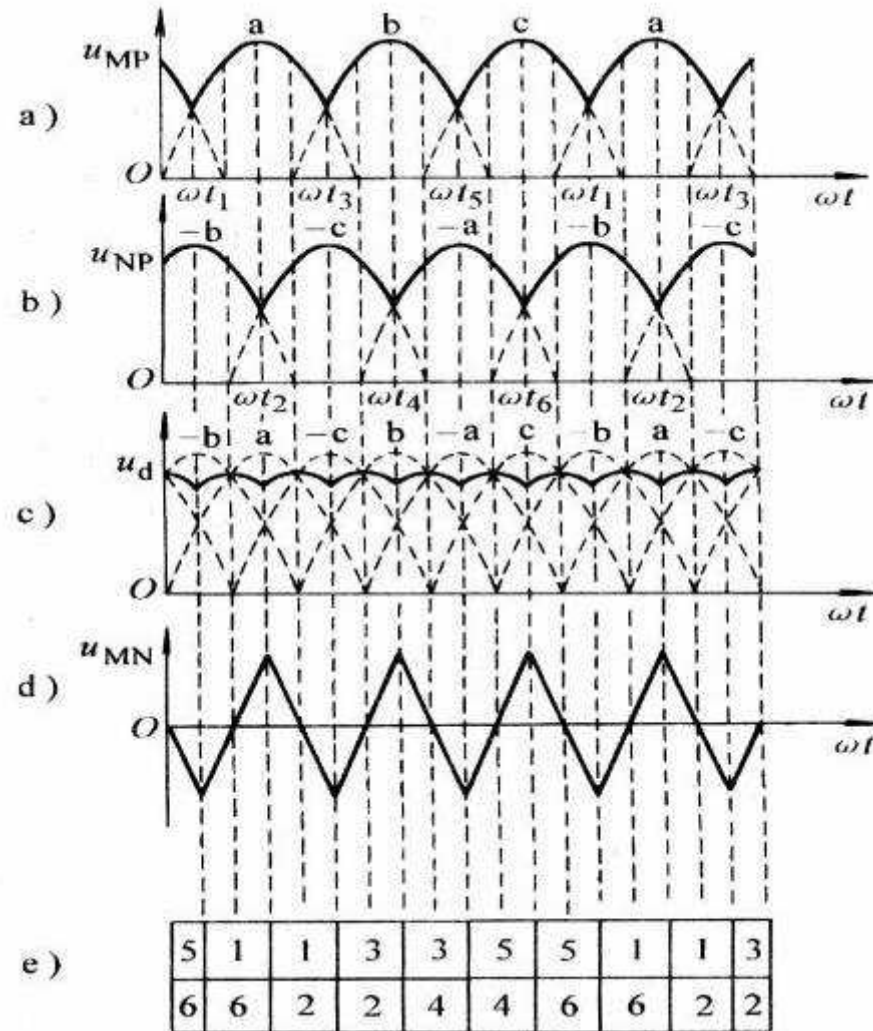




图6-24 带平衡电抗器双反星形整流器波形图 ($\alpha=0^\circ$)

- a) 正极性组的整流电压
- b) 反极性组的整流电压
- c) 输出电压波形
- d) 平衡电抗器两端电压
- e) 晶闸管导通次序





由上述分析可知：

1) 带平衡电抗器双反星形整流电路，相当于正极性和反极性两组三相半波可控整流电路的并联。各组输出电压波形如图6-24a、b中实线所示，是各相电压的包络线。每个晶闸管的 α 角为 120° ，输出电流 i_d 同时由两个晶闸管和两个变压器二次绕组供给，提高了其利用率。因为每个晶闸管只负担 $1/6$ 的 i_d ，所以该可控整流电路适用于输出大电流的场合。

2) 任何瞬时，正、反极性组均有一支电路导通工作，输出电压瞬时值等于两个半桥瞬时值的平均值。即：

$$u_d = u_a - \frac{(u_a - u_b)}{2} = u_b + \frac{(u_a - u_b)}{2} = \frac{(u_a + u_b)}{2}$$

根据相电压波形可求出 u_d 的波形，如图6-24c中实线所示，每周有六个波峰。由于该电路相当于两组三相半波可控整流电路的并联，所以整流电压平均值与三相半波可控整流电路的相等。

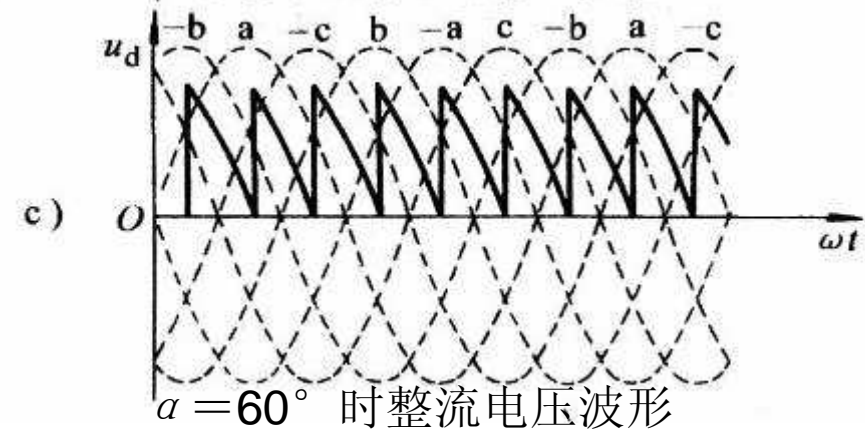
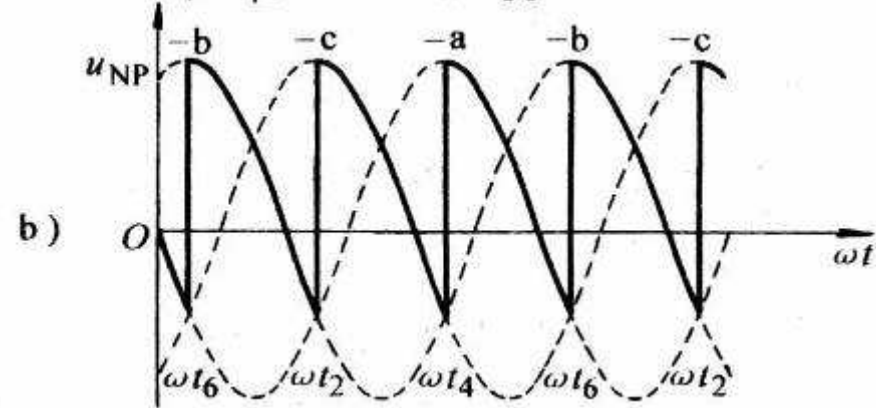
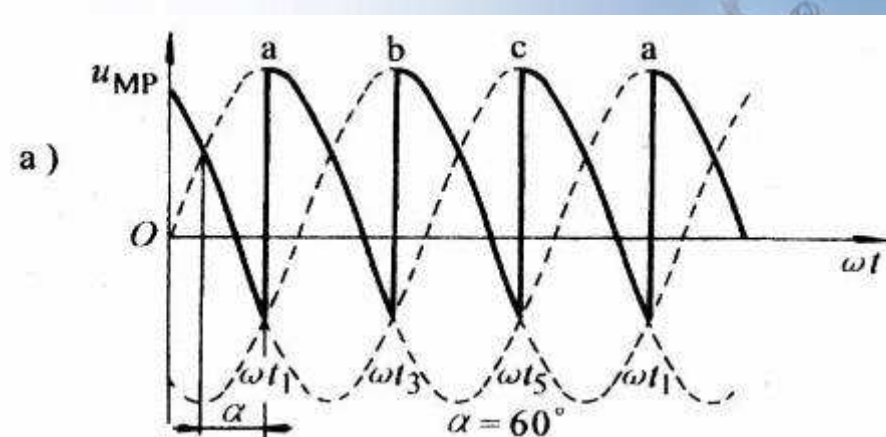
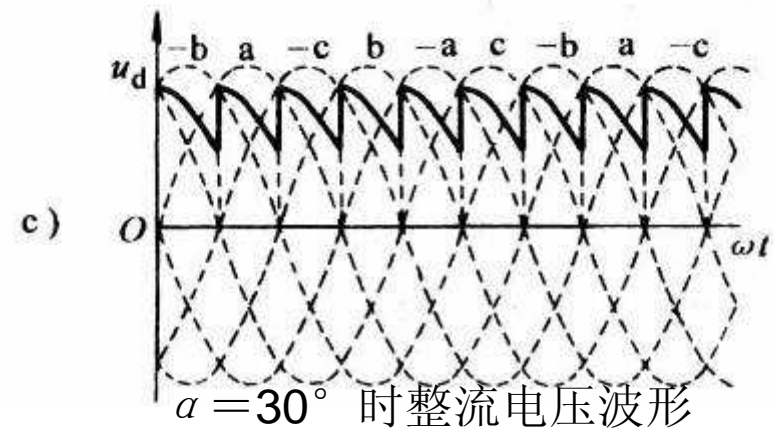
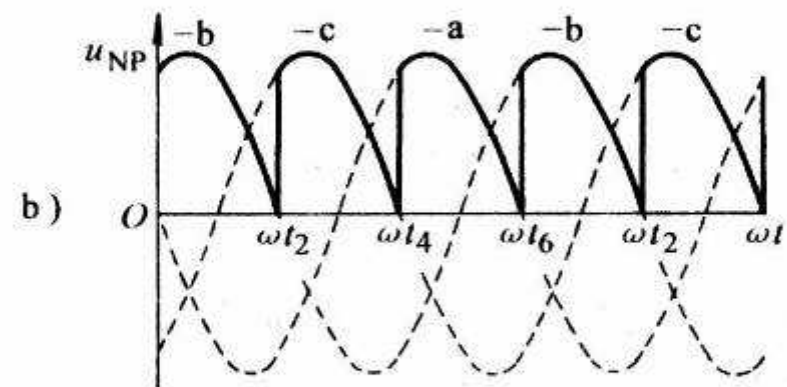
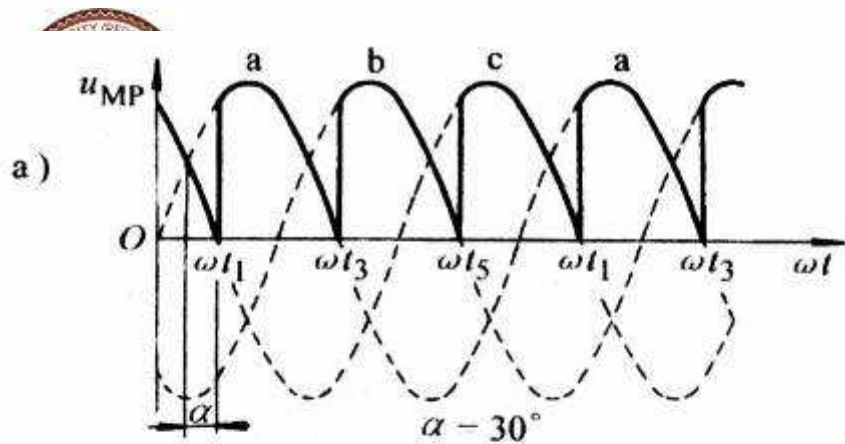
3) 平衡电抗器是维持两组三相半波电路互不干扰各自正常工作所必须的。LB的两端应承受的电压 $u_{MN} = u_{MP} - u_{NP}$ 。当 $\alpha = 0^\circ$ 时，其波形如图6-24d所示，频率为电网的三倍，近似于三角形波，其幅值为相电压幅值的 $1/2$ 倍。

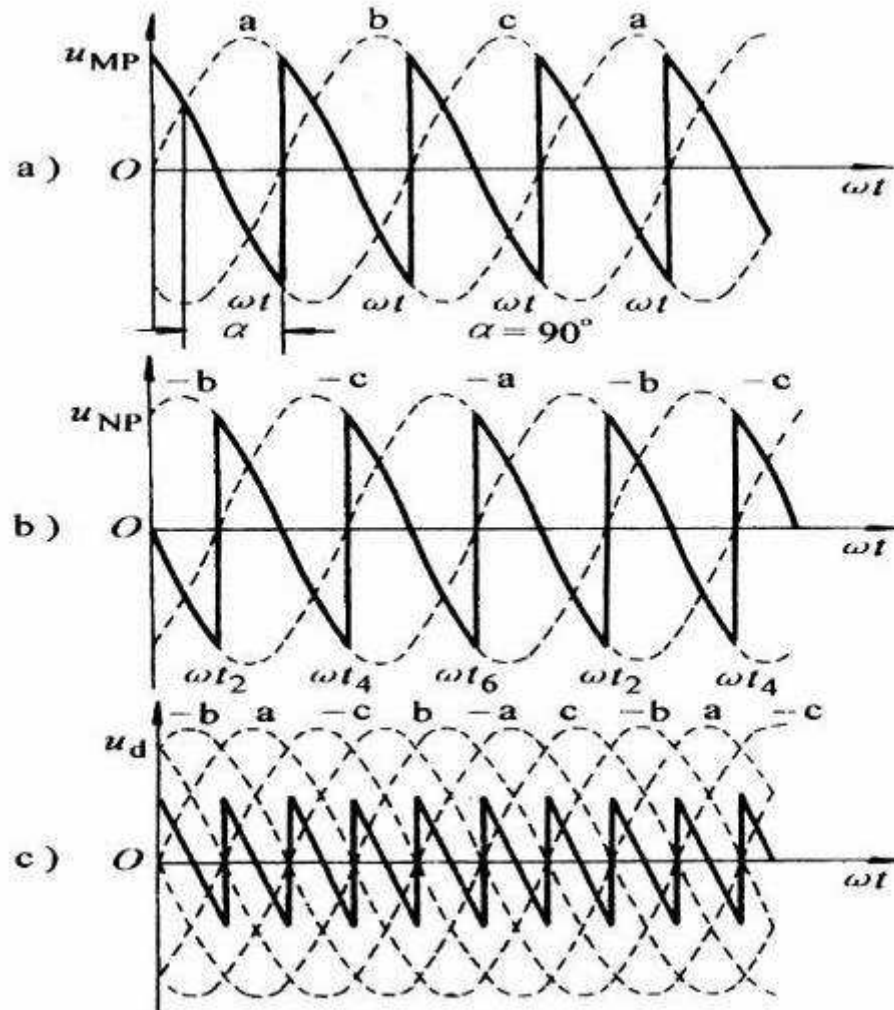


应该注意的是，若负载电流小于某一定值（称为临界电流，约为额定负载电流的2%~5%），而达不到LB铁心中建立上述三角波电压所需磁通的励磁电流时，则LB上的电压达不到所要求值，这样将不能维持两组三相半波电路并联工作。在极限情况下，负载电流为LB已失去作用，电路工作于六相半波整流状态。其输出的电压平均值也就升高至1.35U₂，即为空载电压值。

平衡电抗器的电感量可由下式决定：

$$L_p = 2.24 \frac{U_2}{I_{d \min}}$$





$\alpha = 90^\circ$ 时整流电压波形



与其它可控整流电路相比，该电路具有以下特点：

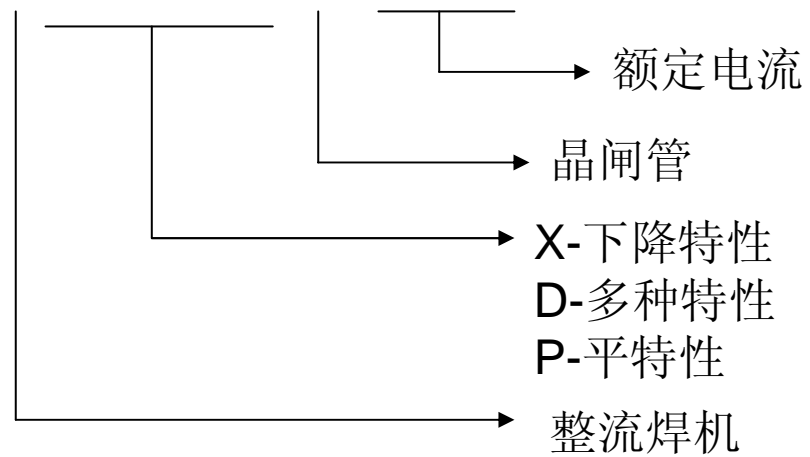
- 1) 它相当于两组三相可控半波整流电路并联。它的各相电流流通时间可延长至 120°
- 2) 有六个晶闸管，触发电路比三相半控桥式整流电路的要复杂，比三相全控桥式整流电路的简单。
- 3) 整流电压波形为每个周波六个波峰，其脉动程度比三相半控桥式电路的小，最低谐波为六次，要求输出电感的电感量及体积都较小。
- 4) 需用平衡电抗器，为保证电路能正常工作，其铁心不能饱和。为此，应避免该铁心被直流成份所磁化，从而要求其抽头两边线圈的直流安匝相互抵消，即两组整流电路的参数（主要是变压器的匝数和漏感）应对称，这就对变压器等的制造和元件的挑选提出更高的要求。



以上几种晶闸管整流电路的比较见课本表6-1。

晶闸管整流焊机命名法

Z X (或D或P) 5-×××





6.3 晶闸管移相触发电路

1. 对触发脉冲的要求

- (1) 触发脉冲应具有足够的功率 为了保证可靠地触发晶闸管，需有一定大小和宽度的电压、电流触发脉冲信号。
- (2) 触发脉冲与加于晶闸管的电源电压必须同步。
- (3) 触发脉冲应能移相并达到要求的移相范围。

2. 对触发电路套数的要求

以带平衡电抗器双反星形整流电路为例，对所需要用的触发电路套数进行分析。在此基础上，可以举一反三分析其它整流电路对触发电路套数的需求。

- (1) 用六套触发电路
- (2) 用三套触发电路
- (3) 用两套触发电路

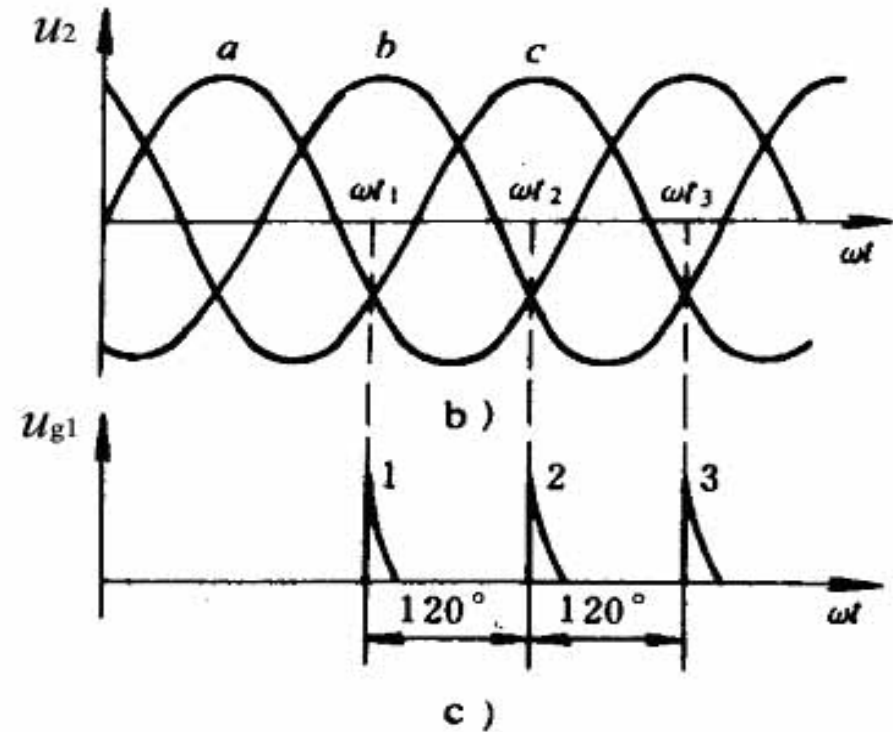
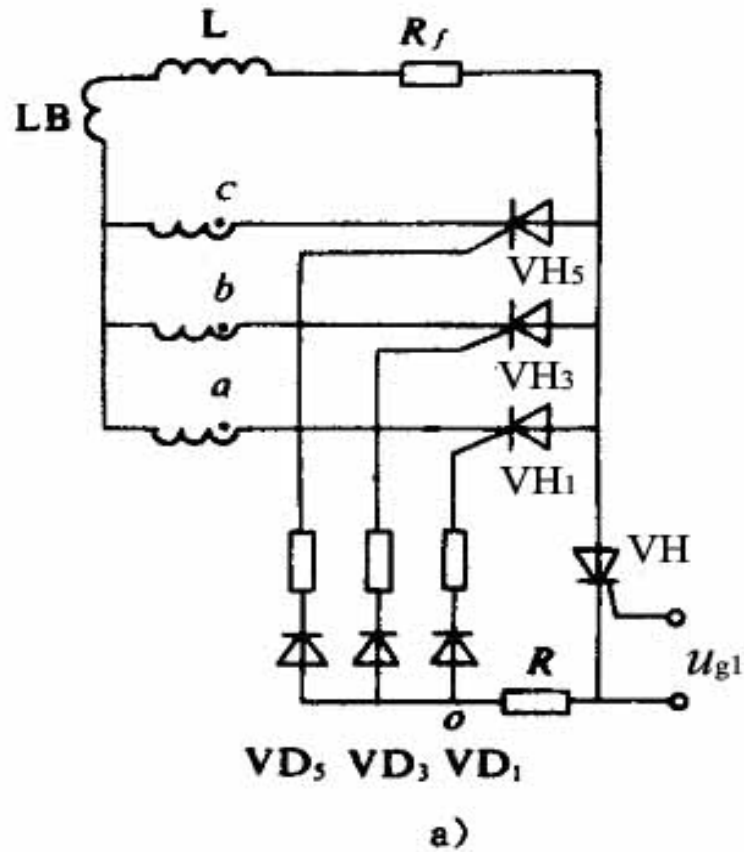
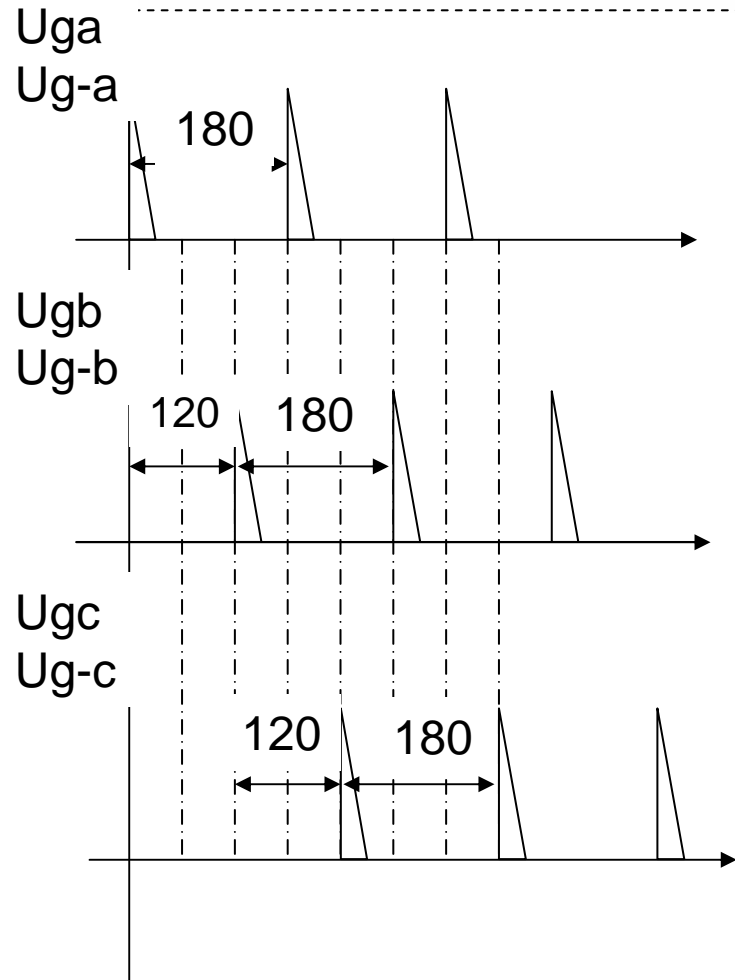
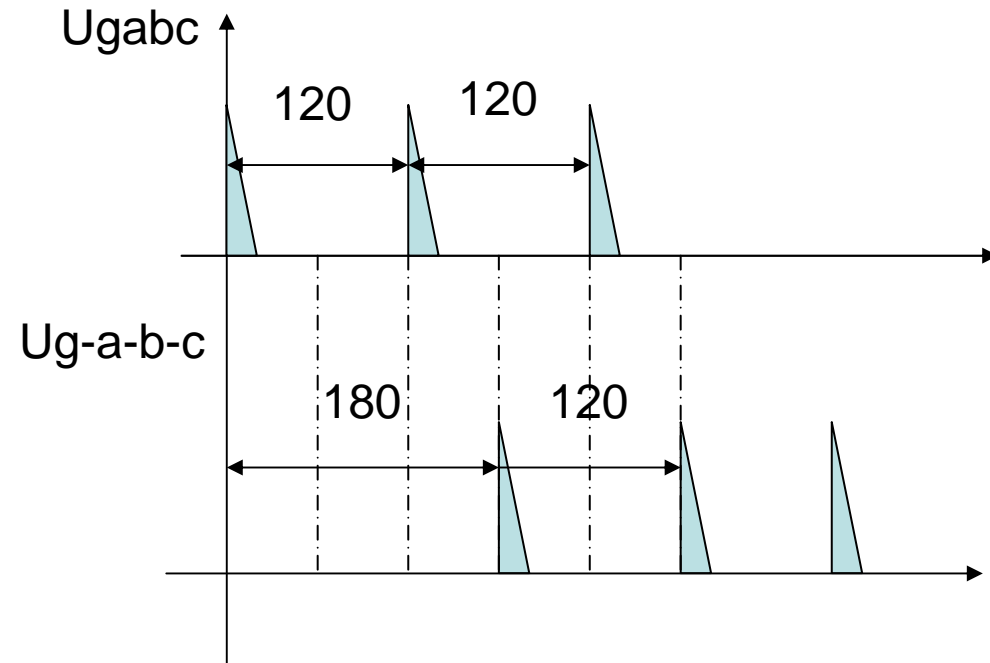


图6-29 一套触发电路触发一组晶闸管时脉冲的分配
 a) 电路图 b) 相电压波形c) 触发脉冲波形



三套触发电路的脉冲时序图



两套触发电路的脉冲时序图



6.3.2 晶闸管的移相触发电路



晶闸管移相触发电路有多种电路形式，但就其实质而言，可分为切割式及积分式两类。

1. 切割式

(1) 正弦波同步

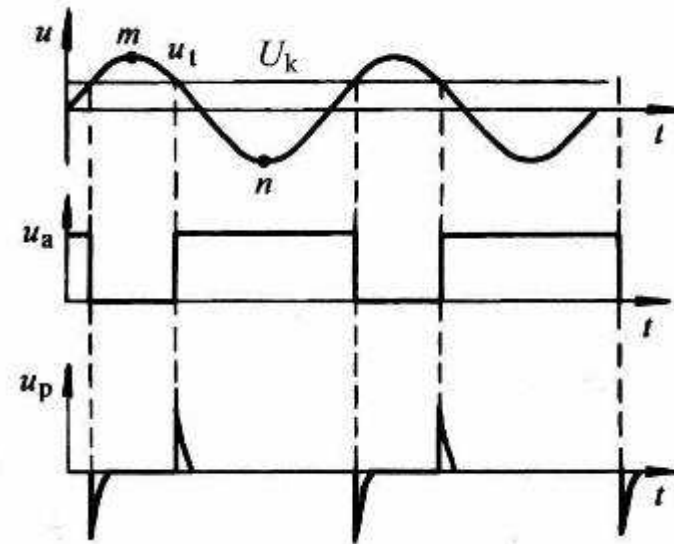
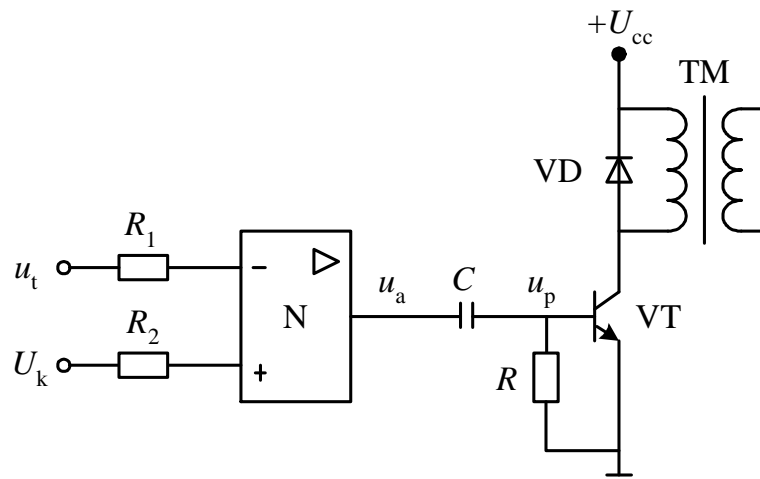


图6-30 正弦波同步移相触发电路
a) 电路图 b) 波形图



(2) 锯齿波同步

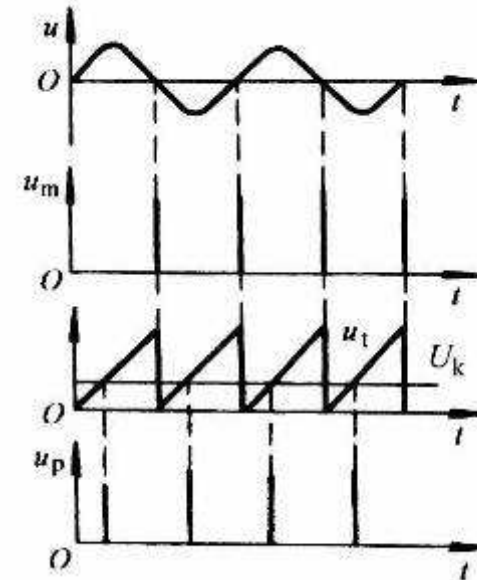
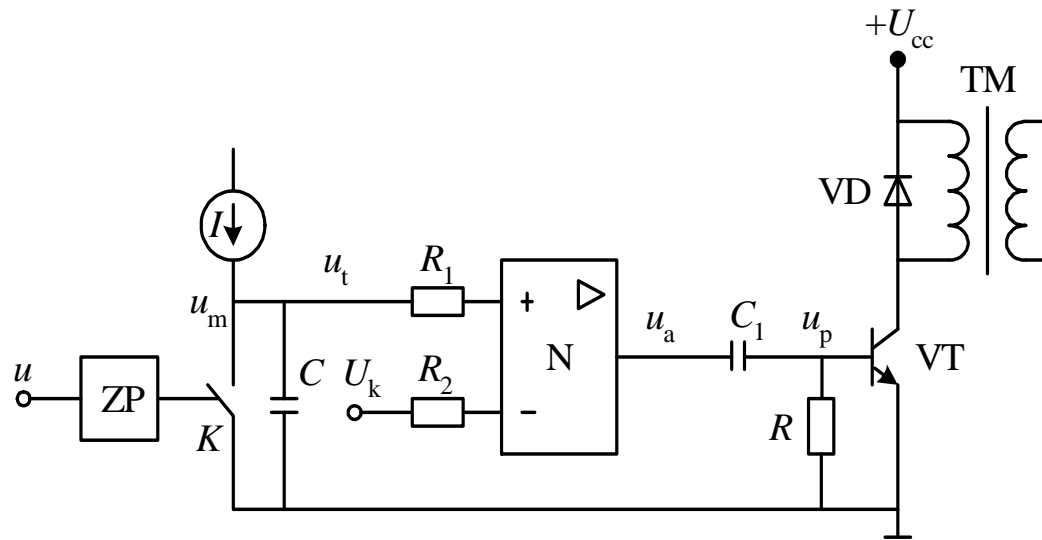
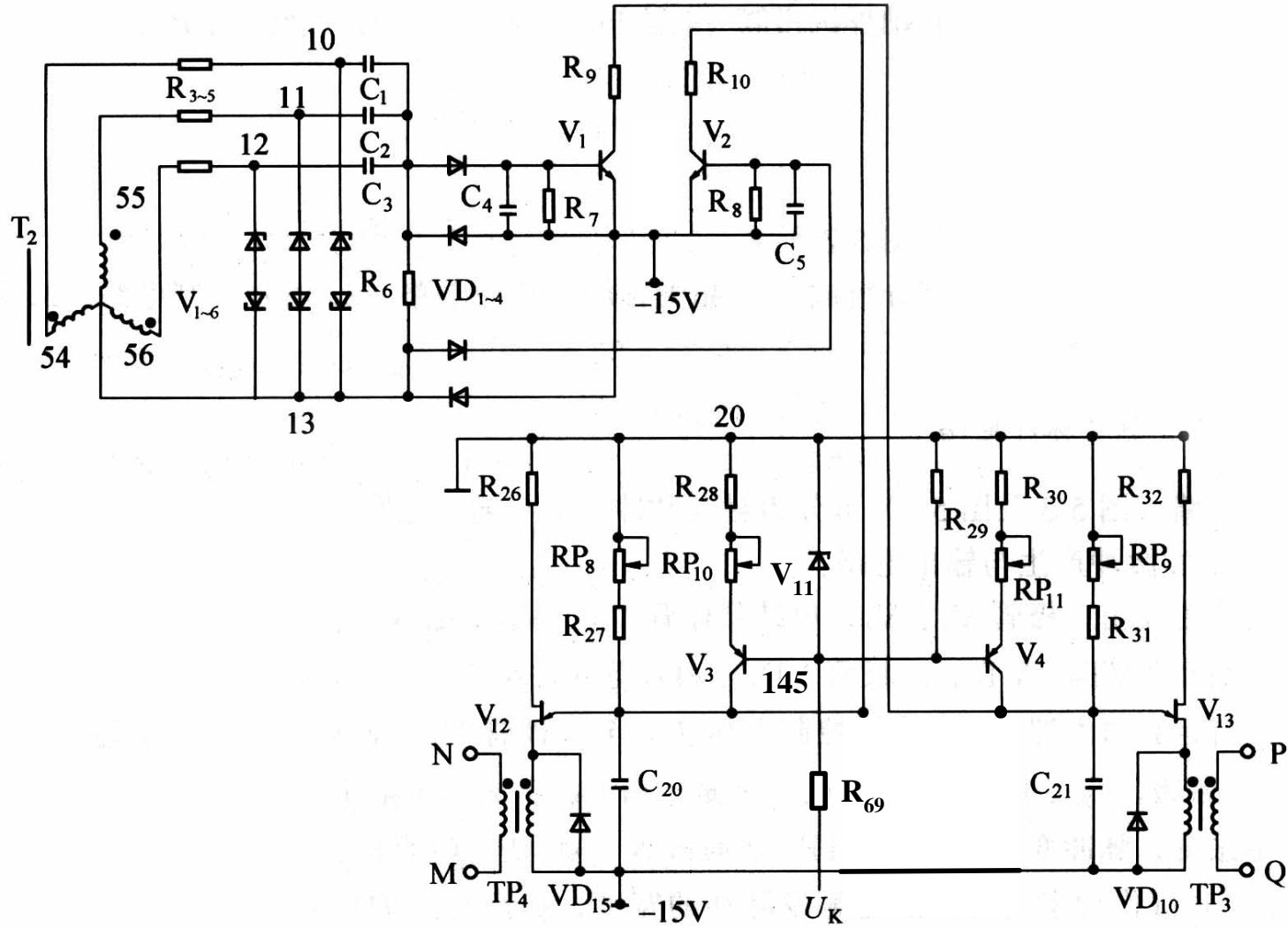


图6-38 锯齿波同步电路
a) 电路图 b) 波形图



2009-7-27

第6章 晶闸管式弧焊整流器

39



6.3.3 晶闸管专用集成移相式触发器



随着晶闸管变流技术的发展，对触发电路可靠性提出了更高的要求。专用晶闸管集成触发器具有体积小、温漂小、性能稳定可靠、移相线性度好等特点，因此得到迅速地发展和越来越广泛地应用。

1. KC04型移相集成触发电路

图6-46是KC04型移相集成触发电路，它与分立元件的锯齿波移相触发电路相似，由同步、锯齿波形成、移相、脉冲形成和功率放大等部分电路组成。它有16个引出端。16端接+15V电源，3端通过30k Ω 电阻和6.8k Ω 电位器接-15V电源，7端接地。正弦同步电压（AC30V）经15k Ω 电阻接至8端，进入同步电路环节。3、4端接0.47 μ F电容与集成电路内部三极管构成电容负反馈锯齿波发生器，4端输出锯齿波电压信号。9端为锯齿波电压信号、负直流偏压和控制移相电压综合比较输入端。11和12端接0.047 μ F电容后接30k Ω 电阻，再接+15V电源与集成电路内部三极管构成脉冲形成环节。脉冲宽度由时间常数0.047 μ F \times 30k Ω 决定。13和14端是提供脉冲列调制和脉冲封锁控制端。1和15端输出相位相差180°的两个窄脉冲。KC04移相触发器部分引脚的电压波形如图6-47所示

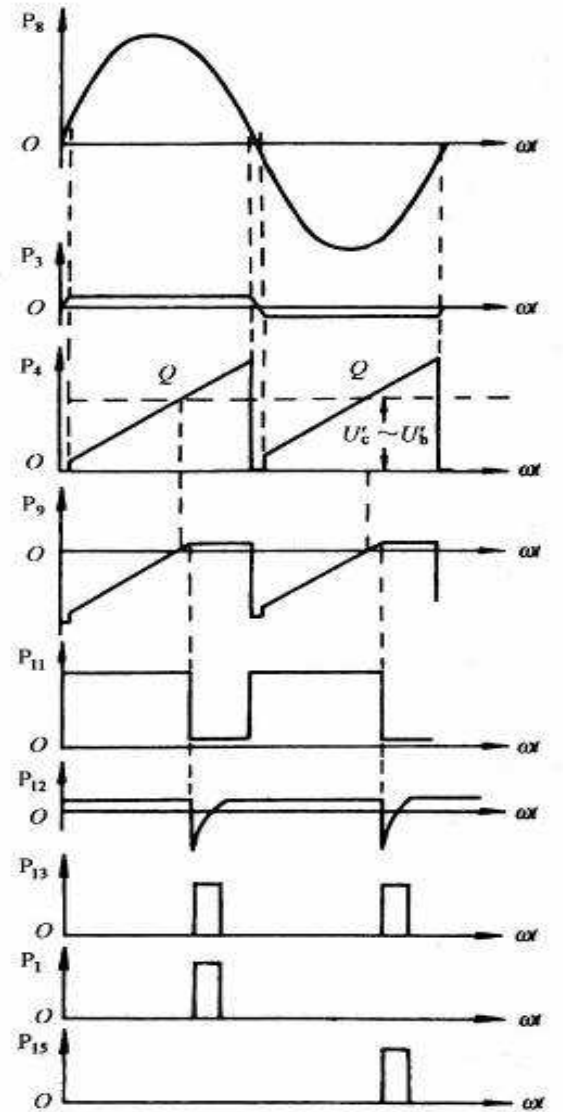
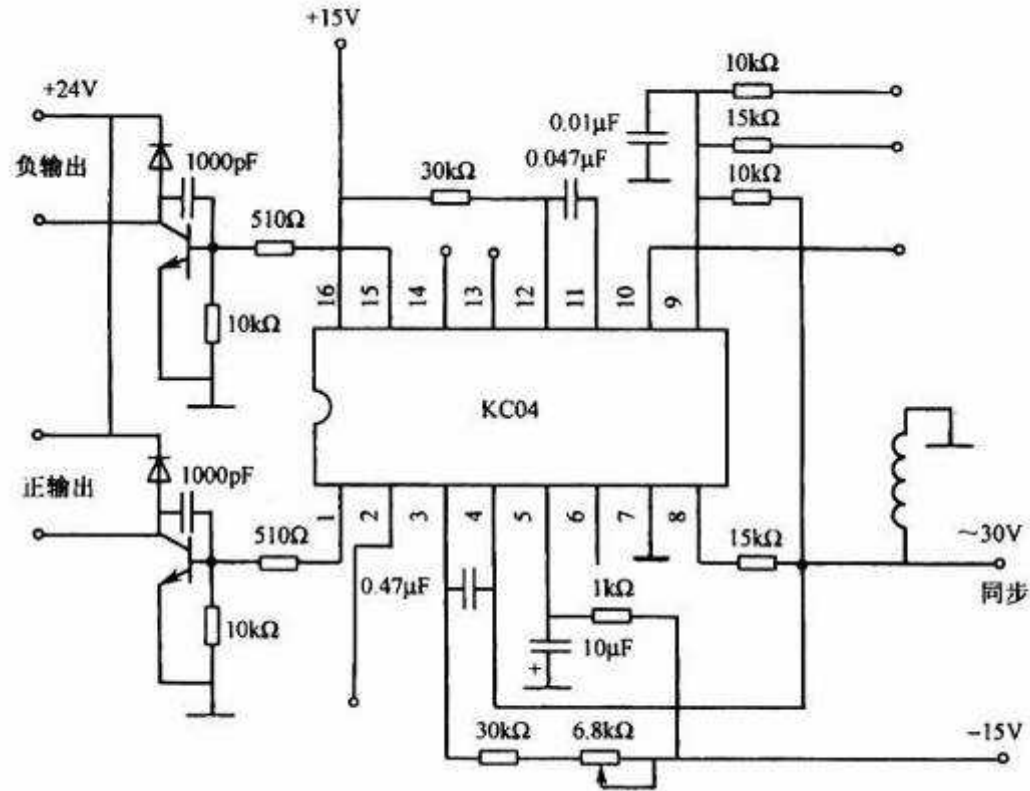


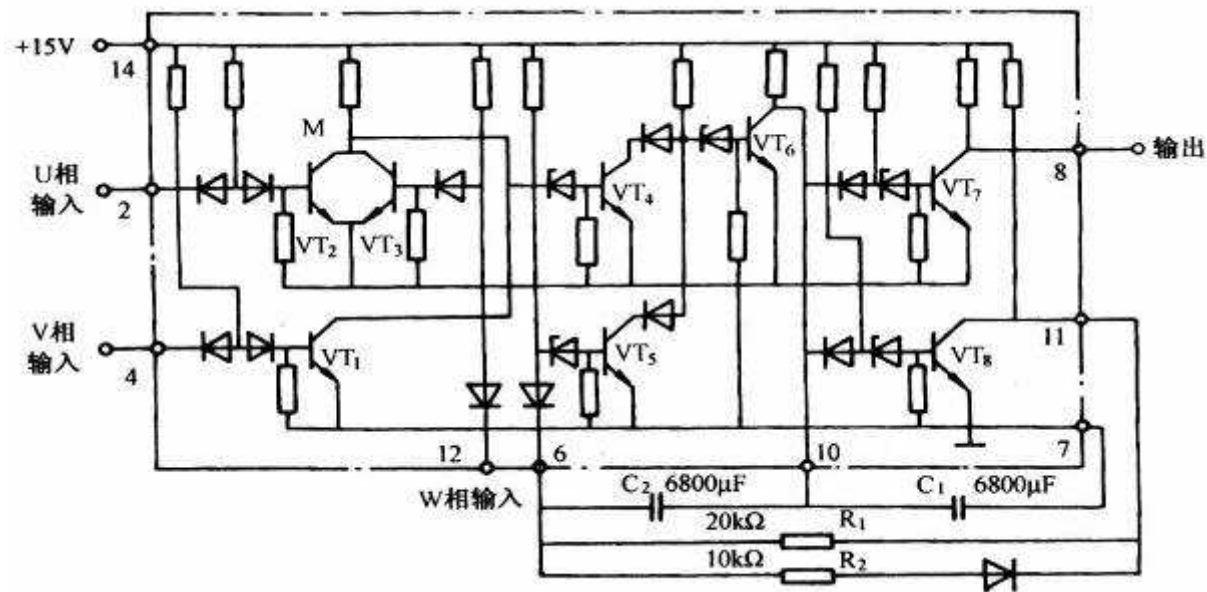
图6-46 KC04型移相集成触发电路及部分引脚波形



2. KC42脉冲列调制形成器

KC42是一种脉冲列调制形成器，它可以输出触发晶闸管的脉冲列。图6-48为KC42脉冲调制形成器电路。它适用于三相全控桥、三相半控桥、单相全控桥、单相半控桥整流电路。

采用脉冲列触发晶闸管，可以减小宽脉冲触发电路中的触发电源功率和脉冲变压器体积，提高触发脉冲前沿陡度。



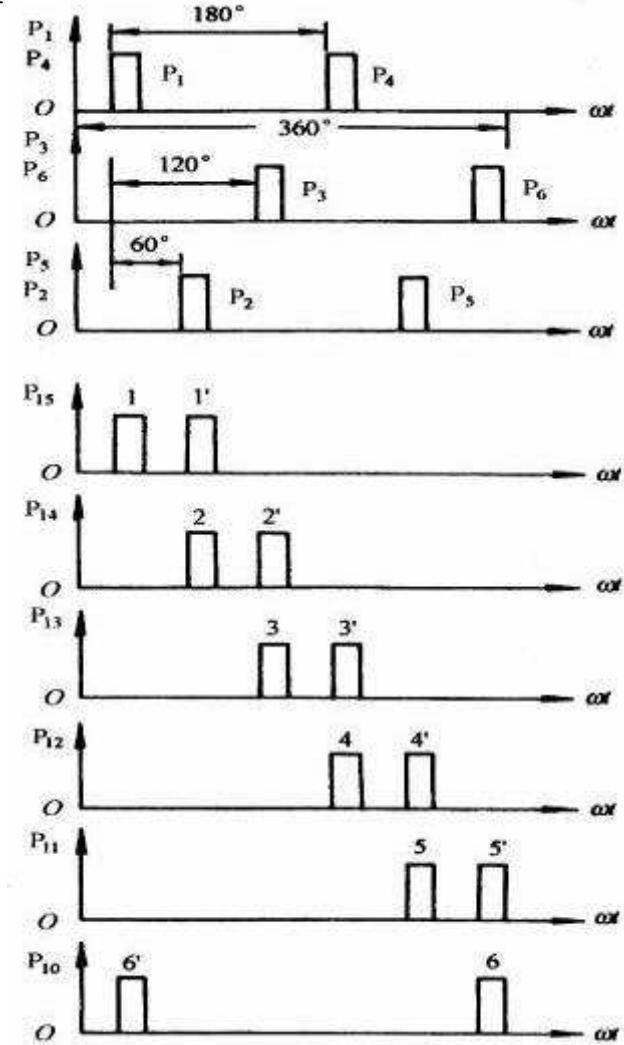


3. KC41六路双脉冲形成器

KC41不仅具有双脉冲形成功能，它还具有电子开关控制封锁功能。图6-49为KC41内部电路与外部接线图。把三块KC04输出的脉冲接到KC41的1~6端时，集成芯片内部二极管完成“或”功能，形成双窄脉冲。在10~15端可得六路放大的双脉冲。有关各点波形如图6-50所示。

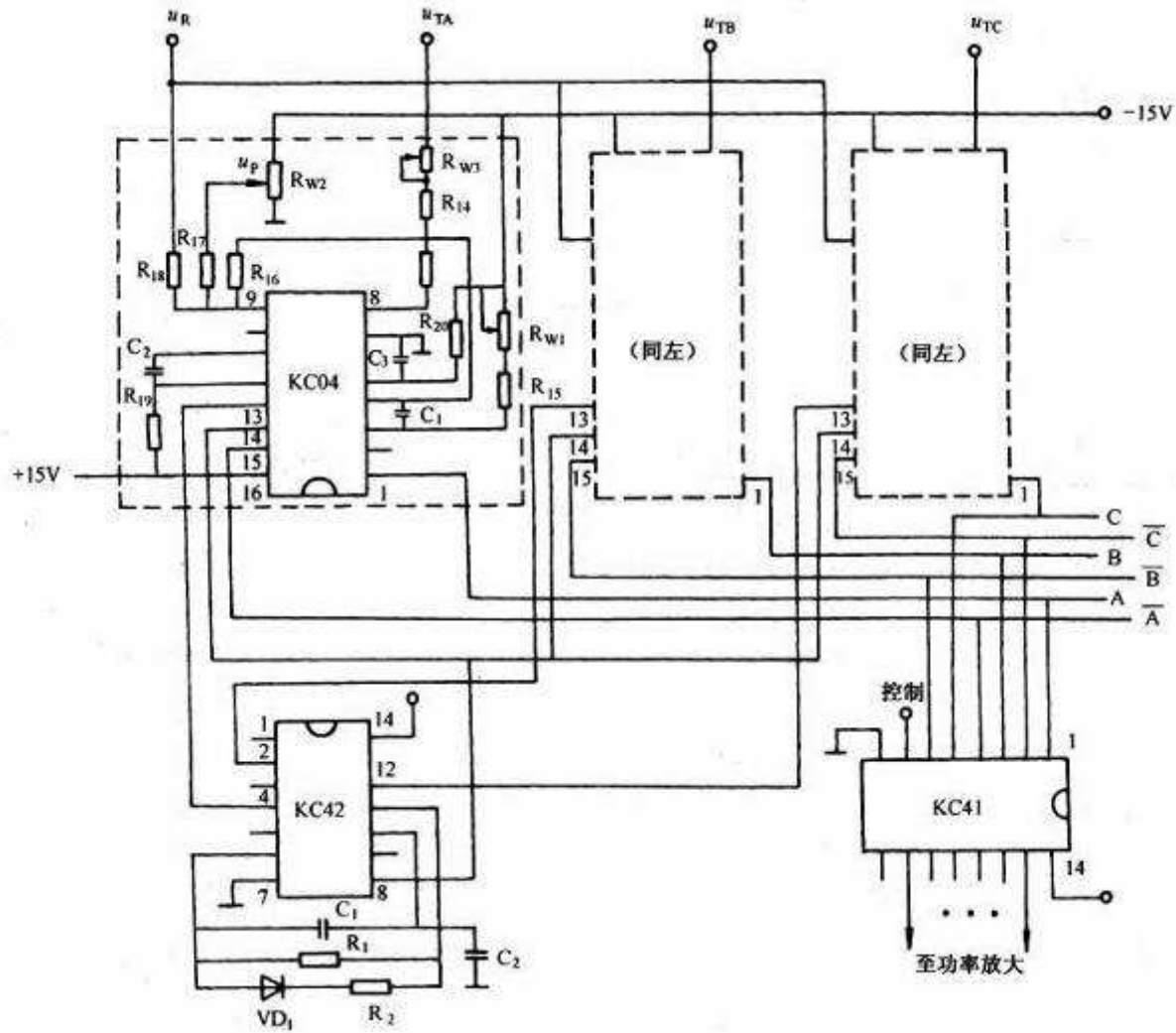


图6-50 KC41部分引脚波形





4. 采用集成触发芯片的三相六脉冲触发电路



2009-7-27

宋○早 前門官式孤焊整流器

44



图6-51是由三块KC04、一块KC41与一块KC42组成的三相触发电路，组件体积小，调整维修方便。同步电压 u_{Ta} 、 u_{Tb} 、 u_{Tc} 分别加到KC04的8端上，每块KC04的13端输出相位差为 180° 的脉冲，分别送到KC42的2、4、12端，由KC42的8端可获得相位差为 60° 的脉冲列。将上述脉冲列再送回到每块KC04的14端，经KC04鉴别后，由每块KC04的1和15端送至KC41组合成所需的双窄脉冲列，再经功率放大，输出到六只相应的晶闸管控制极。

6.4应用实例部分（略）