

科研技术交流资料

可控硅整流器触发装置 与半导体放大器线路

(内部资料)

第一机械工业部电气传动设计研究所

1970年5月

可控硅整流器触发装置与半导体放大器线路

编 者	一机部电气传动设计研究所
出 版	一机部电气传动设计研究所
印 刷	天津红心制本厂印装
发 行	天津市新华书店内部发行
日 期	1970年5月 (增订版)
编 号	249 定 价 0.60元
印 数	1—20,000

内部资料 注意保存

最新指示

“要认真总结经验。”“到一个单位去了解情况，要了解运动的全过程，开始怎样，后来怎样，现在怎样，群众是怎么搞的，领导是怎么搞的，发生过一些什么矛盾和斗争，这些矛盾后来发生了什么变化，人们的认识有什么发展，从中找出规律性的东西。”

无产阶级文化大革命的斗、批、改阶段，要认真注意政策。

在订计划的时候，必须发动群众，注意留有充分的余地。

历史的经验值得注意。一个路线，一种观点，要经常讲，反复讲。只给少数人讲不行，要使广大革命群众都知道。

前 言

大海航行靠舵手，干革命靠毛泽东思想。

东方红，太阳升。让我们以无比崇敬的心情，衷心祝愿世界革命人民的伟大导师、我们心中最红最红的红太阳毛主席万寿无疆！万寿无疆！！万寿无疆！！

伟大领袖毛主席亲自动和领导的这场史无前例的无产阶级文化大革命，正以排山倒海之势，滚滚向前，全国形势一片大好。举国上下，到处是蓬蓬勃勃的革命景象。无限忠于毛主席、无限忠于毛泽东思想、无限忠于毛主席革命路线的亿万革命人民，正在紧跟伟大领袖毛主席的伟大战略部署，高举毛泽东思想伟大红旗，以毛主席的最新指示为纲，彻底从思想上、政治上、经济上、组织上夺取无产阶级文化大革命的全面胜利。

毛主席教导我们：“要斗私，批修”，“抓革命，促生产，促工作，促战备”。毛泽东思想直接为革命群众所掌握，就是威力无穷的精神原子弹，可以战胜任何敌人和困难。

由于文化大革命的蓬勃发展，人的思想革命化的深入，我国的电气传动技术，也正以空前的速度向前发展，特别是半导体技术的普遍推广，在电气传动专业领域内，可控硅整流器的广泛采用，正在引起电气传动系统从结构到性能上的新的改进。由于发展速度快，从生产应用到设计研究所分布的面很广，如何及时地把这方面的好经验和新线路，交流推广，相互学习，已是当前的一项重要工作。

为了不断总结，不断提高，并便于相互交流和推广，在我所各有关部门和有关兄弟单位的大力支持与帮助下，收集了国内外可控硅整流器触发线路十五种和半导体放大器线路十一种。所收集的线路都是业经实际应用或试验研究过，有具体的原理线路，元件型号和线路参数，并对工作原理和线路特点作了简要的说明。再版时又增加了可控硅整流器触发装置二种（第16、17篇）及半导体放大器一种（第21篇）。同时将原“可控硅整流器应用及移相线路汇编”中的九种应用线路和本所最近编写的 KZZ—BB 型可控硅整流器装置编入本书，以供参考。

由于时间仓促，收集的面不广，加上业务知识和技术水平所限，远不能满足当前电气传动专业方面的客观需要，同时，所编线路中的遗误和不妥之处，也在所难免，望参考的同志提出批评指正为盼。

目 录

(I) 可控硅整流器触发装置

1. 带单结晶体管的触发线路	(1)
2. 采用单个晶体管的触发线路	(4)
3. 带电流正反馈锯齿波形移相控制的触发线路	(5)
4. 交流正弦同步电压垂直控制的触发线路	(8)
5. 带尖脉冲的正弦波同步电压垂直控制的触发线路	(10)
6. 正弦波带“尖脉冲”的触发线路	(13)
7. 交流正弦同步电压三角波移相控制的触发线路	(15)
8. 脉冲列输出的触发线路	(18)
9. 交流正弦同步电压锯齿波移相控制的触发线路	(20)
10. 用于多串并联可控硅整流器的触发线路	(24)
11. 用可控硅整流器作脉冲放大的触发线路	(29)
12. 带小功率可控硅整流器的触发线路	(31)
13. 带脉冲分配器的触发线路	(34)
14. 带脉冲分配输出器的触发线路	(40)
15. 变频逆变器用带双稳触发器的触发线路	(43)
16. 多晶炉供电装置用触发线路	(46)
17. 交流正弦同步电压触发线路	(48)

(II) 半导体放大器线路

18. F-2G型半导体调节放大器	(50)
19. F-2H型功率放大器	(53)
20. F-2I型直流放大器	(55)
21. F-2J型晶体管运算放大器	(57)
22. 半导体直流放大器	(61)
23. QFLD 15E型直流电压放大器	(63)
24. QFLD 105型直流电压放大器	(65)
25. QFLD 15I型直流放大器	(67)

26.	QFLD 103型直流放大器	(69)
27.	QFLD 301型差接直流放大器	(71)
28.	QFLD 302型直流放大器	(72)
29.	DCA ₂ 型直流放大器	(73)

(附)可控硅整流器应用线路

30.	KG1型可控硅开关	(75)
31.	WDQ-1 型无触点电栅栏脉冲器	(77)
32.	空气淬火炉可控硅供电装置	(79)
33.	0.8~10 千瓦电磁调速异步电动机控制装置	(83)
34.	KZX-1 可控硅自激恒压装置	(85)
35.	可控硅整流器式变频器	(89)
36.	可控硅整流器变频装置	(94)
37.	用可控硅整流器的电气串级调速	(106)
38.	GJB 半导体式可控硅触发装置	(116)
39.	KZZ-BB 型可控硅整流装置	(123)

最高指示

我们能够学会我们原来不懂的东西。我们不但善于破坏一个旧世界，
我们还将善于建设一个新世界。

(I) 可控硅整流器触发装置

1. 带单结晶体管的触发线路

一、工作原理：

触发装置的原理线路示于图1-1。整个线路是由整流、削波、放大、RC回路以及脉冲形成和输出等环节组成的。触发脉冲的形成示意图1-2。

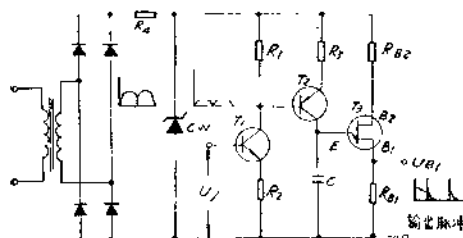


图 1-1 带单结晶体管触发装置的原理线路

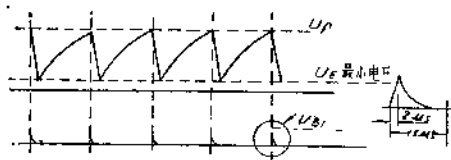


图 1-2 触发脉冲的形成波形示意图

1. 脉冲形成和输出环节：

这一环节中的主要元件是双基极的单结晶体管，其等效电路示于图1-3。如图示，DE

相当于发射极, 和 r_{B1} 和 r_{B2} 分别为第一基极 B_1 、第二基极 B_2 与发射极间的电阻。 r_{B1} 的数值随发射极电流 I_E 的变化而变化, r_{B2} 则维持不变。当 B_1-B_2 端加入电压 U_{BB} 后, A 点的电压按阻值分配为: $U_A = \frac{r_{B1}}{r_{BB}} \cdot U_{BB} = \eta U_{BB}$, 其中 η 为单结晶体管的分压比, $r_{BB} = r_{B1} + r_{B2}$ 。 U_D 为发射极 DE 上的压降 (约 0.4~0.7 伏)。

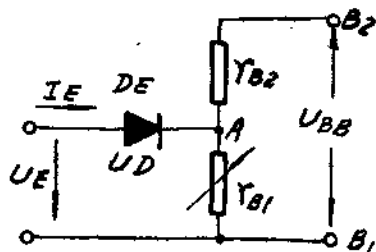


图 1-3 单结晶体管的等效电路

当发射极所加电压 $U_E < U_D + U_A$ 时, 发射极仅通过第二基极流有微小的反向漏电流, 这时, 单结晶体管处于封锁状态。

当 $U_E = U_D + U_A$ 时, 根据二极管 PN 结原理, 发射极与第一基极间击穿, r_{B1} 的阻值急剧减小, 发射极电流迅速增大, 从而在电阻 R_{B1} 上产生陡的输出脉冲。

2. RC回路,

主要是电容器 C 和作为等效可变电阻的晶体管 T_2 。 T_2 集电极-发射极间的电压, 随基极电流的增减而增减, 因而起到等效可变电阻的作用, 从而也改变了电容器 C 充电回路的时间常数。也就是说, 改变了单结晶体管发射极电压达到击穿数值的时刻, 最终则实现了输出脉冲的移相控制作用。

但应指出, 晶体管 T_2 和串联电阻 R_3 应满足下述要求:

i. 在单结晶体管特性的峰点时, 流入单结晶体管的电流必须大于峰点电流 I_P , 以确保其开通。

ii. 在特性谷点时, 电流要求小于谷点电流 I_V 。即负载特性应位于其输出特性的左侧, 这样才能正常地关断单结晶体管, 否则在半波内将不能再关断。也就是说, 半波内, 不管移相角如何, 只能出现一次脉冲。

为满足上述要求, 应根据所选晶体管特性的不同, 合理地选择电容器 C 和电阻 R_3 。

3. 放大环节,

由晶体管 T_1 来实现放大作用。在实际系统应用中, 也可另设前置放大器或调节放大器。

4. 同步一整流和削波回路,

主要包括同步变压器 (也是整流电源变压器)、整流桥和稳压管 CW、电阻 R_4 等部件。交流电压经全波整流和稳压削波后, 既作为线路的直流电源电压, 也作为同步电压。削波后的梯形波, 应具有足够的幅值和斜率, 以提供足够的输出脉冲幅值和尽可能宽的移相范围。

整个线路的工作过程如下:

当晶体管 T_1 基极加入正向讯号电压 U_i 时, 其集电极电压随 U_i 的增大而减低, 晶体管 T_2 也相应工作, 以改变电容 C 的充电时间常数。当 C 充电电压升达单结晶体管的峰点电压 U_P 时, 单结晶体管击穿, C 经电阻 R_{B1} 放电, 从而产生输出脉冲; 当 C 放电电压低至单结晶体

管的谷点电压（约2伏左右）时，单结晶体管再次封锁，C再次充电，于是过程重复进行。

二、线路特点：

1. 线路结构简单，功率损耗较小，但就目前所使用的单结晶体管来看，输出功率较小，脉冲宽度小，使用场合受一定限制，此外，移相特性线性度和脉冲移相对称度有时也比较差一些，用于多相线路需作适当的修改。

2. RC回路中的电容器C和电阻 R_{s1} 对线路性能影响较大，例如C的电容量大，充电时间长，输出功率大，但移相范围变窄；串联电阻 R_s 太小，负载线将位于单结晶体管输出特性的谷点右侧，使之半波内产生单脉冲后，不能再次封锁。

3. 由于同步电压直接取自触发线路的整流电源（削波电压），移相范围受限制，靠提高交流电源电压，并不能获得显著效果，而当用于多相线路时，对相间的脉冲对称度影响较大。为此，亦可改用独立的同步讯号。

4. 线路中的晶体管 T_1 和 T_2 的选用应注意，如选用锗晶体管时，漏电流和温度影响较严重，有时可能引起误触发，若选用硅晶体管时，效果要好得多，不过，当前PNP型的硅晶体管供应尚困难。

5. 根据使用场合不同（例如可控硅整流器的容量，移相范围等），线路参数变化范围较广，如下表所列的一些实例情况，但实际应用时，应进行合理的计算，力求参数选择更合理些。

工 程	线 路 元 件								
	G 1	G 2	R 欧	R_{s1} 欧	R_{s2} 欧	C 微法	R_{s1} 欧	R_{s2} 欧	变压器
塑料挤管机	3DX105	3AX14	4.7K	470	220	0.5	390	120	/
单相可控硅供电	3DX105	3AX14	5.1K	1K	500	0.5	360	100	/
六角车床进给系统	3DX105	3AX14	22K	4K	10K	0.1	200	/	变压器
铣床床可控硅供电系统	3BX01	3AX22	5.6K	1K	560	0.47	620	/	/
三相桥式可控硅供电	3BX01	3AX22	5.6K	1K	560	0.47	620	110	/

三、实际应用：

这类触发线路在国内外已获得较广泛的应用，从线路特点来看，较适宜于单相半可控桥式整流线路。上表所列仅属实际应用的一部分实例。

2. 采用单个晶体管的触发线路

一、工作原理:

触发装置的原理线路示于图2-1。线路有关部分的波形关系示于图2-2。

(图中 B_1 为 6501 型半导体输出变压器, W_1 为两台变压器原绕组串联, W_2 , W_3 分别为其付绕组)

该线路基本上是由锯齿波形成, 移相控制和脉冲形成等三部分组成的。

交流同步讯号电压经同步变压器 B_2 引入。在交流同步电压的正半波内, 经稳压管削波后, 再经二极管 D_1 对电容器 C 充电, 在正半波的负斜率侧, 电容器 C 经电阻 R 放电, 从而将正弦半波变换为平顶的锯齿波电压 U_c 。

控制讯号电压 U_y 与锯齿波电压 U_c 相互比较后, 加于晶体管 T_1 的基极, T_1 则视基极电位的正或负而处于关断或开通状态。改变 U_y 数值, 也就改变了 T_1 的关断或开通时间, 从而达到了移相控制作用。

输出脉冲的形成是利用 T_1 的通断经输出变压器原付绕组感应而实现的, 为提高脉冲波前陡度, 借助变压器耦合引入了正反馈。

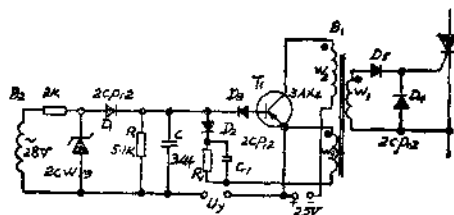


图 2-1 触发装置的原理线路

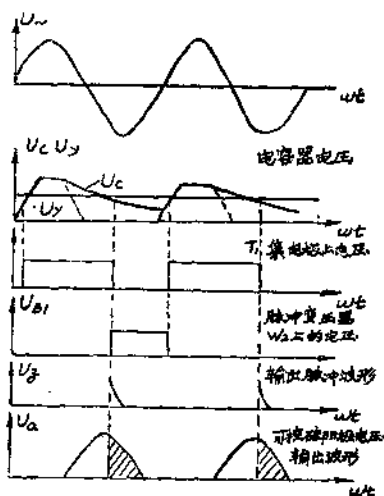


图 2-2 线路有关部分的波形关系

二、线路特点:

1. 线路结构简单, 只用了一个晶体管, 并借助电容器的充放电, 使线路可在 $0 \sim 180^\circ$ 范围进行移相控制。

2. 当移相范围大时, 晶体管 T_1 的开通时间也相应加长, 因而在实际应用中, 需要选择集电极电流较大的一些晶体管。

3. 在一般调速系统中, 只要不是多串、并联线路, 系统对触发脉冲前沿的要求不甚严

三、实际应用:

3. 帶電流正反饋鋸齒波移相控制的触发线路

一、工作原理:

1. 锯齿波形成环节.

$$U_{1c} = E_w \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

式中: $T = (R + R_2) \times C_1 = 1\text{C}$ 的充电回路时间常数。

2. 移相控制环节:



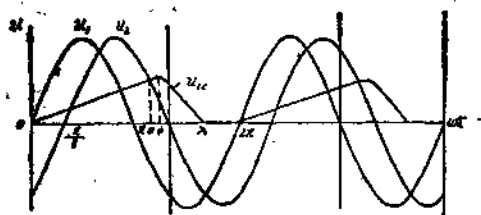


图 3—2 同步电压 U_1, U_2 和锯齿波 U_c 的相位关系

主要是利用 U_{1c} 与控制电压 U 相比较以控制晶体管 T_1 的通断而实现的。当 $U_{1c} > U$ 时（如图 3—3 中的 $P-q$ 区间）， T_1 处于关断状态，在 T_1 关断瞬间（如 P 点），其集电极经电容器 $2C$ 输出负脉冲，从而使晶体管 T_2 开通，当 $U_{1c} = U$ 时， T_1 开通，并使 $2C$ 经二极管 D_0 和电阻 $3R$ 放电，同时使 T_2 关断。可见，控制电压 U 的大小，直接控制了 T_1 的通断时刻，可以调节 T_2 的开通相位角 α 的大小，因而起到了移相控制作用。

3. 输出脉冲形成环节

主要元件为晶体管 T_2 和输出脉冲变压器。当 T_2 开通时，其集电极电流流经脉冲变压器

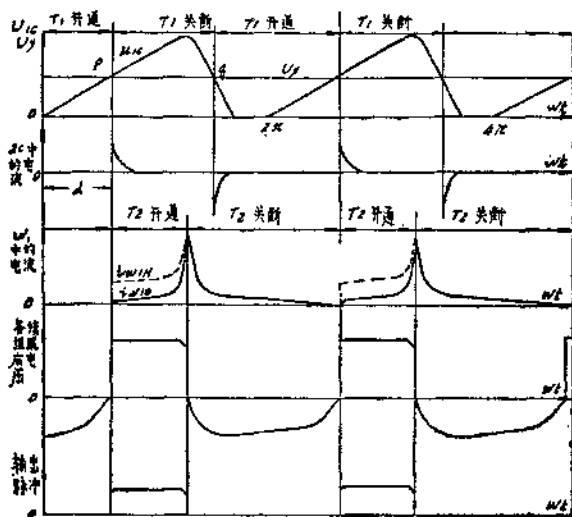


图 3—3 各环节的电压电流波形

的初级绕组 W_1 。在脉冲变压器铁心未饱和前，各绕组均感应出平顶的脉冲电压。 W_2 是电流正反馈绕组，在 T_2 开通瞬间， W_2 中的感应电势，一方面加强 T_2 的基极电流，从而提高了输出脉冲的陡度，一方面通过 $6R$ 和 $3C$ 的微分回路，使 T_2 维持开通，从而加大了输出脉冲的宽度。当脉冲变压器铁心达饱和时， T_2 的集电极电流剧增， W_2 感应电势迅速减低。经过相互作用， T_2 迅速转为关断状态，因而输出脉冲波的后沿也较陡。与 W_1 并联的阻容和二极回路，是为了防止 T_1 关断瞬时变压器绕组上出现反向尖峰电压，以及 T_1 关断区间释

放 W_1 中所储存的磁能。绕组 W_3 和电阻 $7R$ 回路，是用来产生恒定的负向磁化安匝，以提高脉冲变压器铁心的利用率。

二、线路特点：

1. 锯齿波由稳压电源供电，不受交流电源电压波动的影响。在多相系统中，利用电位计 R ，可方便地调节移相特性的对称度，即使各相的锯齿波电压上升变化率相同。

2. 输出脉冲的移相范围较宽，约 $210^\circ \sim 220^\circ$ 电角度，而且控制电压与移相角之间的关系基本上是线性的。

3. 输出脉冲前沿陡度较好，在 $10 \sim 90\%$ 幅值范围内，不大于 10 微秒。

4. 输出脉冲宽度约 $110^\circ \sim 120^\circ$ 电角度，由于各相脉冲变压器铁心的磁化特性不同，各相的脉冲宽度也将有所差别。此外，由于晶体管 T_1 漏电流的影响，当环境温升高时，输出脉冲宽度也将随之变窄，故规定周温不应大于 40°C 。

5. 由于有电流正反馈的作用，使线路的抗干扰能力大为降低。在电磁干扰较强的场合，容易引起误触发，因而降低了工作的可靠性与稳定性。对来自电路的干扰如何防止，尚待进一步研究改进。

三、技术数据：

1. 输出脉冲幅值（空载）	6 伏
2. 输出脉冲宽度	$100 \sim 120^\circ$ 电角度
3. 输出脉冲的前沿陡度	不大于 5 微秒
4. 移相范围	不小于 200° 电角度

四、实际应用：

本触发线路已用于电梯传动、发电机励磁、变频系统等采用可控硅整流器作为主要元件的场合。有的已在开始小批生产，有的正在进行工业试验，而且通过有关的工业试验，进一步发现了该触发线路本身存在的某些问题，例如抗干扰能力，在某些轧钢传动系统中，有时满足不了要求。

4. 交流正弦同步电压垂直控制的触发线路

一、工作原理:

触发装置的原理线路示于图4—1。线路中有关环节的波形示于图4—2。

1. 移相控制环节.

经同步变压器次级绕组引入的交流正弦同步电压 $U_{\sim}$ 与直流控制电压 U_K ，叠加后加于晶体管 T_1 的基极 b 点，借助 b 点电位的变化，来控制 T_1 的开通和关断。当 b 点电位较 e 点为负时， T_1 便开通。反之，当 b 点电位为正时， T_1 关断。因此，改变控制电压 U_K 的大小，直接改变着 b 点电位的变化。也就是说，改变了 T_1 的关断时刻，从而达到了移相控制作用。电容器 C_1 是用来防止高频干扰。

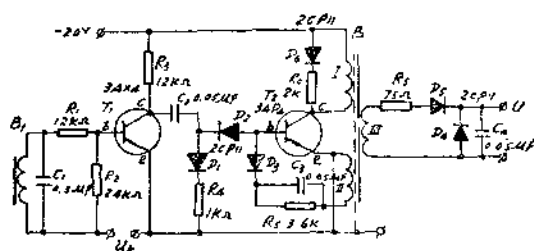


图 4-1 触发装置的原理线路

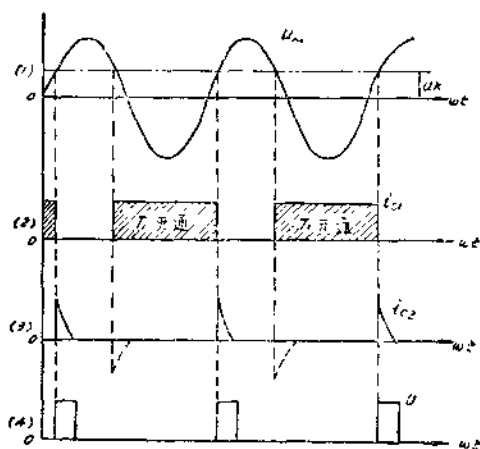


图 4-2 线路各环节的波形关系

2. 输出脉冲形成环节,

如图4—2中波形3所示。当 T_1 关断时,其集电极经电容器 C_2 输出负尖脉冲电流,使晶体管 T_2 相应开通。由于 T_2 集电极电流流经脉冲变压器 B 的初级绕组I,于是在次级绕组II和III中,分别产生正反馈电流讯号和输出脉冲。前者有助于提高输出脉冲的陡度和加大脉冲的宽度。

二、线路特点:

1.移相控制环节线路简单,理论上移相范围可达 180° 电角度,实际应用多在 150° 电角度左右,因直接利用交流正弦同步电压来进行移相控制,要考虑正弦波的线性范围,如图4—3所示,在 150° 电角度范围内,近似线性。

2.线路由于有正反馈,抗干扰能力差。同时,交流电源电压的波动,将直接影响到移相角的变化。

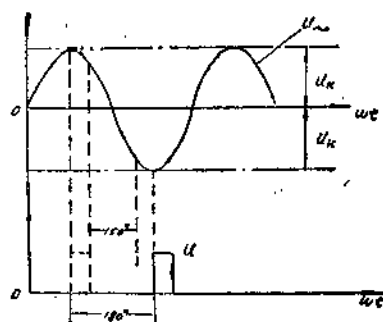


图 1—3 移相范围的选取

三、技术参数:

输出脉冲幅值

6 伏,

输出电流

100毫安,

脉冲波前陡度

小于10微秒,

移相范围

线性 150° 电角度,

不对称度

$\leq 5^\circ$ 电角度,

工作周温

$-5 \sim +40^\circ\text{C}$ 。

四、实际应用:

所述触发线路已实际应用 in 可控硅串级调速系统中,也可用于其他不可逆的电气传动系统。

5. 带尖脉冲的正弦波同步电压垂直控制的触发线路

一、工作原理:

触发装置的单相简化原理线路示于图 5—1。本线路的特点是，交流同步电压为带尖脉冲的正弦波，其他与前述线路完全相同。

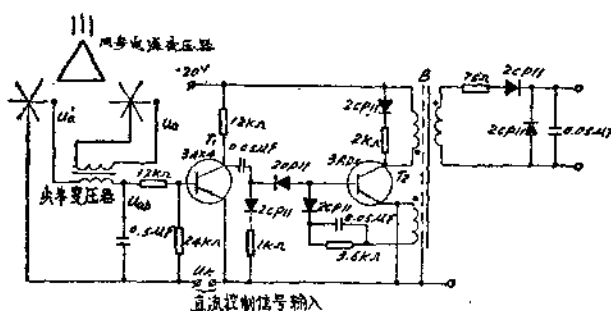


图 5—1 触发线路的单相原理图

1. 尖脉冲电压的形成:

利用尖峰变压器以产生尖脉冲电压。尖峰变压器的结构如图 5—2 所示。铁心是由 A、B 两部分组成的，A 组的铁心叠片采用 D330 型冷轧硅钢片，制成大截面积，并在磁路中留有一定的空气隙；B 组铁心材料则为 50 H 坡莫合金钢片，制成小的截面积，无空气隙。

当将交流电压 U_a 加于尖峰变压器的初级绕组 a 中以后，绕组 a 中便产生滞后 90° 的电流 I_a ，在铁心 A 中则产生 $5I_a$ 同相的磁通 Φ_A ，同时，在铁心 B 中产生磁通 Φ_B ，这时铁心 B，由于截面小，加上坡莫合金的矫顽磁力很小，因而迅速饱和。也就是说，在电流 I_a 过零点的正负变化一定的范围内，磁通 Φ_B 产生突变，因而当 Φ_B 突变时，便在绕组 b 中感应出尖脉冲电压 U_b ，其极性随电流 I_a 方向的变化而改变，其相位滞后于电压 U_a 90° ，有关波形如图 5—3 所示。至于尖脉冲的幅值与陡度，则取决于尖峰变压器的绕组匝比以及铁心 B 的截面和材料类型。

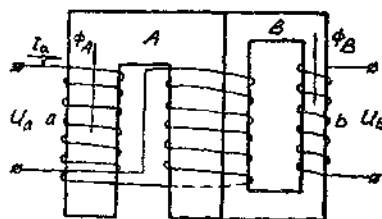


图 5—2 尖峰变压器的铁心结构

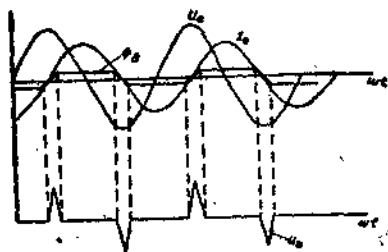


图 5-3 尖峰变压器的电压、电流和磁通波形

2. 带尖脉冲正弦波电压的形成,

在图5-1中, U' 与 U 同相, 尖峰变压器次级绕组中感应的尖脉冲电压 U_s 与 U 相位差 90° , 两电压叠加后, 便形成如图5-4所示的带尖脉冲的正弦波交流同步电压 U_{Σ} 。该电压再与直流控制电压相比较, 以控制晶体管 T_1 的开通和关断, 从而实现输出脉冲的移相控制作用。

3. 尖脉冲的作用,

在移相控制过程中, 有时可能出现直流控制电压的数值比交流同步控制电压的幅值还要大的情况。这时, 触发装置处于失控状态, 从而造成控制系统出现故障; 若加入尖脉冲电压, 只要能保证使交流控制电压的幅值加尖脉冲电压的幅值比最大直流控制电压为大时, 就可避免出现这种脉冲混乱或系统失控等异常情况, 带尖脉冲正弦波电压的移相控制作用见图5-5。

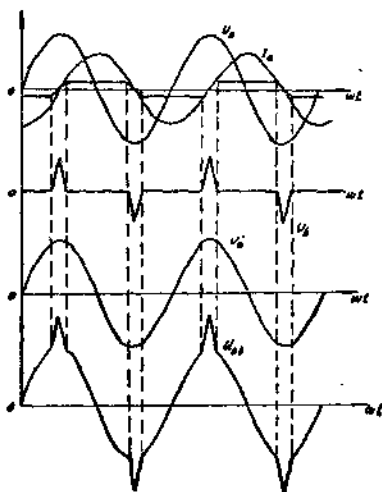


图 5-4 带尖脉冲正弦波电压的形成

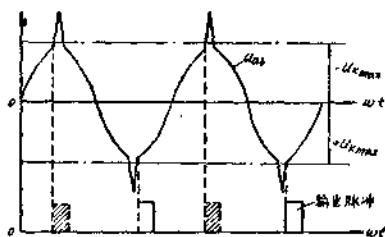


图 5-5 尖脉冲的作用示意