

# 单相全波整流电路的设计

## 摘要

随着科学技术的日益发展,人们对电路的要求也越来越高,由于在生产实际中需要大小可调的直流电源,而相控整流电路结构简单、控制方便、性能稳定,利用它可以方便地得到大中、小各种容量的直流电能,是目前获得直流电能的主要方法,得到了广泛应用。但是晶杂管相控整流电路中随着触发角 $\alpha$ 的增大,电流中谐波分量相应增大,因此功率因素很低。把逆变电路中的 SPWM 控制技术用于整流电路,就构成了 PWM 整流电路。通过对 PWM 整流电路的适当控制,可以使其输入电流非常接近正弦波,且和输入电压同相位,功率因素近似为 1。这种整流电路称为高功率因素整流器,它具有广泛的应用前景。

电力电子器件是电力电子技术发展的基础。正是大功率晶闸管的发明,使得半导体变流技术从电子学中分离出来,发展成为电力电子技术这一专门的学科。而二十世纪九十年代各种全控型大功率半导体器件的发明,进一步拓展了电力电子技术应用和覆盖的领域和 X 围。电力电子技术的应用领域已经深入到国民经济的各个部门,包括钢铁、冶金、化工、电力、石油、汽车、运输以及人们的日常生活。功率 X 围大到几千兆瓦的高压直流输电,小到一瓦的手机充电器,电力电子技术随处可见。

关键词: 电力电子, 整流电路

# 目录

1 设计任务	3
1.1 设计目的	3
1.2 设计内容	3
1.3 设计要求	3
2 设计内容	4
2.1 基本原理介绍	4
2.2 电路设计的经济性论证	5
2.3 主电路设计	5
2.3.1 触发电路	5
2.3.2 形成与脉冲放大环节	7
2.3.2 锯齿波形成与脉冲移相环节	7
2.3.3 驱动电路	8
2.3.4 保护电路	8
3 参数设定	10
3.1 180° 调压	10
3.2 移相调压	13
4 参数计算	错误!未定义书签。
4.1 计算公式	15
4.2 参数选择:	16
4.3 计算: $T=1/f=1/50=0.02s$	16
5 仿真	17
5.1 触发角为 30 度	17
5.2 触发角为 90 度	18
5.3 触发角为 120 度	19
6 波形分析	20
心得体会	21
参考文献	22

# 1 设计任务

## 1.1 设计目的

电力电子技术课程设计是在教学及实验基础上，对课程所学理论知识的深化和提高。因此，要求同学能综合应用所学知识，设计出具有电压可调功能的直流电源系统，能够较全面的巩固和应用本课程中所学的基本理论和基本方法并初步掌控整流电路分析的基本方法。培养学生独立思考、独立收集资料、独立设计的能力；培养分析、总结及撰写技术报告的能力。

## 1.2 设计内容

在充分理解单相全波整流电路工作原理的基础上，设计出单相全波整流电路带电阻负载、阻感负载时的电路原理图，使用 PSIM 软件对所设计的电路带不同负载的情况下晶闸管取三个不同的触发角（要求  $\alpha > 90^\circ$  ,  $= 90^\circ$  和  $< 90^\circ$  各取一个角度）进行仿真，分别获得  $U_d$ 、 $I_d$ 、 $U_{VT}$ 、 $I_{VT}$ 、 $I_2$  波形，并对所给出的角度计算上述数值。

## 1.3 设计要求

- 1) 设计出合理的整流电路图。
- 2) 选择不同触发角度，仿真出波形并作计算。
- 3) 给出详细的仿真过程描述和详细的计算步骤和过程。

## 2 设计内容

### 2.1 基本原理介绍

单相全波整流电路如图 2-1 所示，图中  $T_r$  为电源变压器，它的作用是将交流电网电压  $V_1$  变成整流电路要求的交流电压， $R_1$  是要的直流供电的负载电阻。

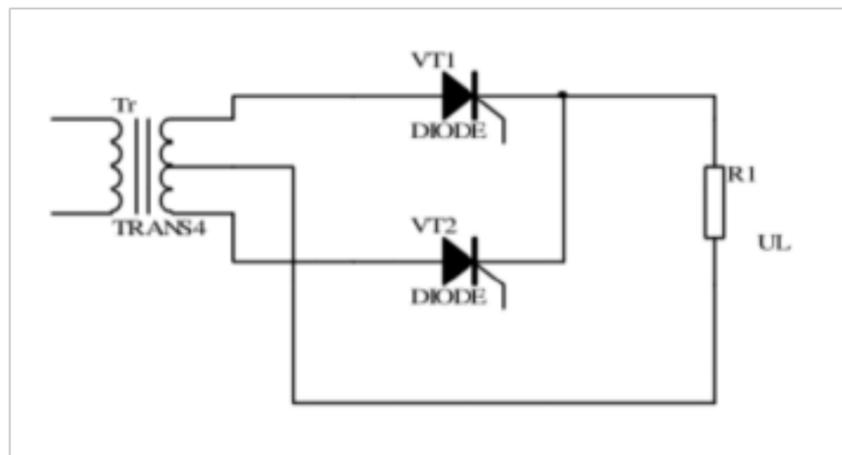


图 2-1 原理图

单相全波整流电路的工作原理可分析如下。为简单起见，晶闸管用理想模型来处理，即正向导通电阻为零，反向电阻为无穷大。

在  $v_2$  的正半周，电流从电压器副边线圈的上端流出，只能经过  $VT_1$  流向  $R_1$ ，在负载上产生一个极性为上正下负的输出电压。

在  $v_1$  的负半周，其极性与图示相反，电流从变压器副边线圈的下端流出，只能经过  $VT_2$  流向  $R_1$ ，电流流过  $R_1$  时产生的电压极性仍是上正下负，与正半周时相同。

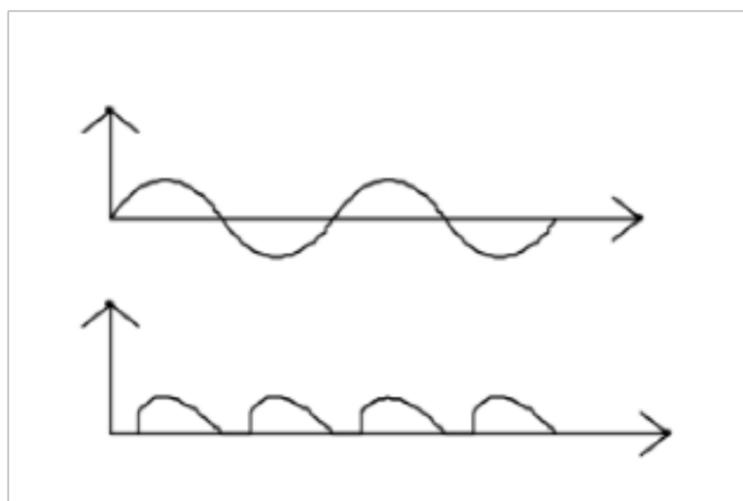


图 2-2 工作波形

根据上述分析，可得单相全波整流电路的工作波形如图 2-2 所示。由图可见，通过负载  $R_1$  的电流  $i$  以及电压  $v_1$  的波形都是单方向的全波脉动波形。

## 2.2 电路设计的经济性论证

1) 单相全波整流电路中的变压器的二次绕组带中心抽头，结构较复杂。绕组及铁心对铜、铁等材料的消耗比单项全控桥多，在有色金属资源有限的情况下，这是不利的。

2) 单相全波整流电路中只用两个晶闸管，比单项全控桥式可控整流电路少两个，相应的，晶闸管的门极驱动电路也少两个，但是在单相全波整流电路中，晶闸管承受的最大电压使单相全控桥式整流电路的两倍。

3) 单相全波整流电路中，导电回路只含一个晶闸管，比单项桥式少一个，因而也少了一次管压降。

从上述 2)、3) 考虑，同时其纹波电压较小，因电源变压器在正负半周内都有电流供给负载，电源变压器得到了充分的利用，效率较高，所以单相全波整流电路适宜于在地输出电压的场合。

## 2.3 主电路设计

主电路如图 2-3 所示：

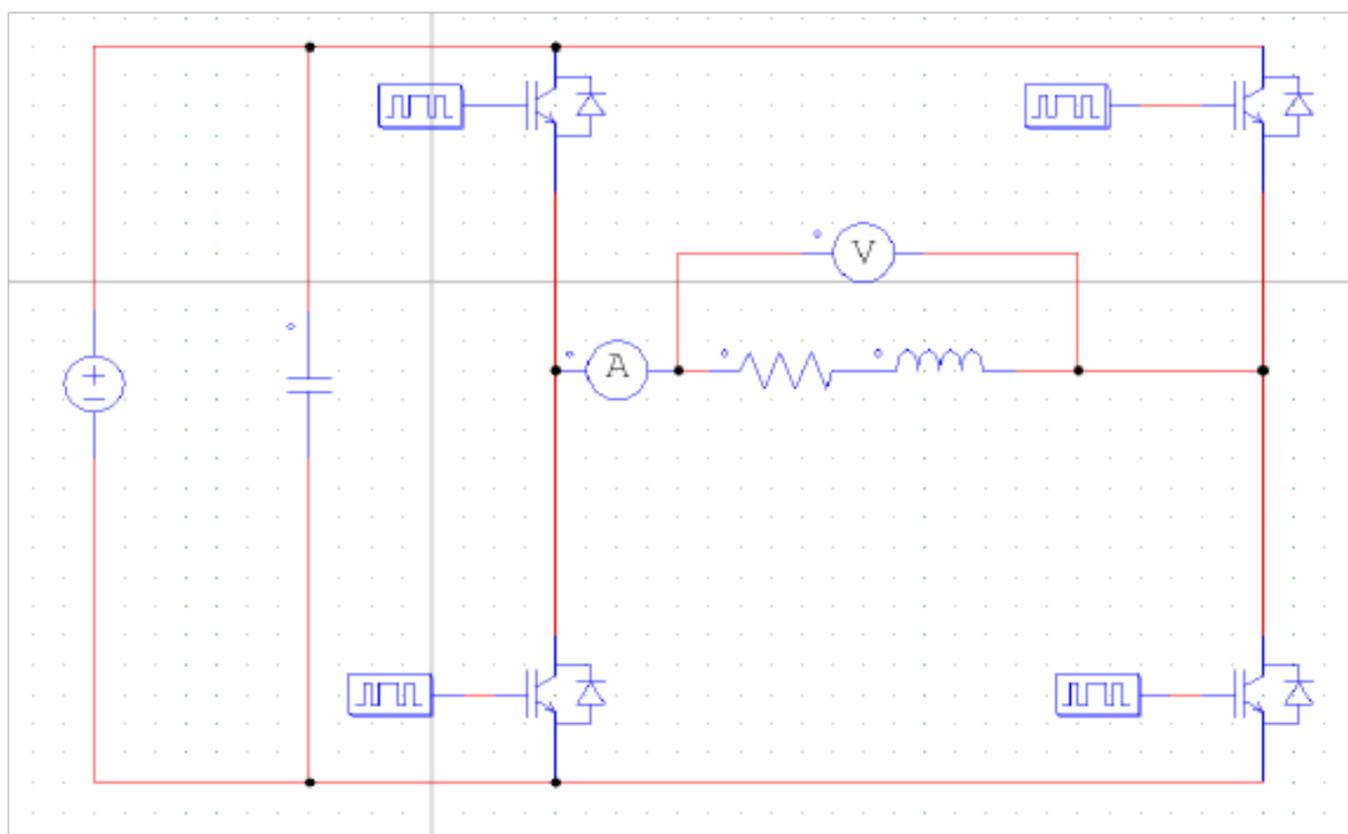


图 2-3 主电路图

### 2.3.1 触发电路

晶闸管最重要的特性是可控的正向导通特性。当晶闸管的阳极加上正向电压后，还必须在门极与阴极之间加上一个具有一定功率的正向触发电压才能打通，这一正向触发电压的导通是由触发电路提供的，根据具体情况这个电压可以是交流、直流或脉冲电压。

由于晶闸管被触发导通以后，门极的触发电压即失去控制作用，所以为了减少门极的触发功率，常常用脉冲触发。触发脉冲的宽度要能维持到晶闸管彻底导通后才能撤掉，晶闸管对触发脉冲的幅值要求是：在门极上施加的触发电压或触发电流应大于产品提出的数据，但也不能太大，以防止损坏其控制极，在有晶闸管串并联的场合，触发脉冲的前沿越陡越有利于晶闸管的同步触发导通。为了保证晶闸管电路能正常、可靠的工作，触发电路必须满足以下要求：触发脉冲应有足够的功率，触发脉冲的电压和电流应大于晶闸管要求的数值，并留有一定的裕量。由晶闸管的门极伏安特性曲线可知，同一型号的晶闸管的门极伏安特性的分散性很大，所以规定晶闸管元件的门极阻值在某高阻和低阻之间，才可能算是合格的产品。晶闸管器件出厂时，所标注的门极触发电流  $I_{gt}$  门极触发电压  $U$  是指该型号的所有合格器件都能被触发导通的最小门极电流、电压值，所以在接近坐标原点处以触发脉冲应有一定的宽度且脉冲前沿应尽可能陡。由于晶闸管的触发是有一个过程的，也就是晶闸管的导通需要一定的时间。只有当晶闸管的阳极电流即主回路电流上升到晶闸管的掣住电流以上时，晶闸管才能导通，所以触发信号应有足够的宽度才能保证被触发的晶闸管可靠的导通，对于电感性负载，脉冲的宽度要宽些，一般为  $0.5 \sim 1\text{ms}$ ，相当于  $50\text{Hz}$ 、 $18^\circ$  电角度。为了可靠地、快速地触发大功率晶闸管，常常在触发脉冲的前沿叠加上一个触发脉冲。

触发脉冲的相位应能在规定  $X$  围内移动。例如单相全控桥式整流电路带电阻性负载时，要求触发脉冲的移项  $X$  围是  $0^\circ \sim 180^\circ$ ，带大电感负载时，要求移项  $X$  围是  $0^\circ \sim 90^\circ$ ；三相半波可控整流电路电阻性负载时，要求移项  $X$  围是  $0^\circ \sim 90^\circ$ 。同步电压：来自同步电源（同步电源变压器），经锯齿波形成电路，得到与电源同步的锯齿波电压。缺少同步电压则不能形成锯齿波电压，将无触发脉冲；锯齿波电压：锯齿波电压与控制电压，偏移电压叠加，在其交叉点形成触发脉冲；没有锯齿波电压，也将无触发脉冲；控制电压：工作时，控制其大小，实现在需要的  $X$  围内移相；偏移电压：与控制电压叠加，以确定控制电压为零时，触发脉冲的初始位相位。如果缺少偏移电压，或偏移电压不当，将不能在需要的  $X$  围内移相。触发脉冲与主电路电源必须同步。为了使晶闸管在每一个周期都以相同的控制角  $\alpha$  被触发导通，触发脉冲必须与电源同步，两者的频率应该相同，而且要有固定的相位关系，以使每一周期都能在同样的相位上触发。触发电路同时受控于电压  $u_c$  与同步电压  $u_s$  控制。

晶闸管的触发条件：

- (1) 晶闸管承受反向电压时，不论门极是否有触发电流，晶闸管都不会导通；
- (2) 晶闸管承受正向电压时，仅在门极有触发电流的情况下晶闸管才能导通；
- (3) 晶闸管一旦导通门极即失去控制作用；

(4) 要使晶闸管关断，只能使其电流小为零一下

晶闸管的分类：

晶闸管分为快速晶闸管，逆导晶闸管，双向晶闸管，光控晶闸管，门极可关断晶闸管(GTO)，电力晶闸管(GTR)，功率场效应晶闸管(MOSFET)，绝缘栅双极晶闸管(IGBT)，MOS 控制晶闸管，集成门极换向晶闸管.静电感应晶体管。

### 2.3.2形成与脉冲放大环节

脉冲的形成环节由晶闸管 V4、V5 组成，V7、V8 组成脉冲功率放大环节。控制电压  $u_{ct}$  和负偏移相电压  $u_p$  分别经过电阻 R6、R7、R8 并联接入 V4 基极。在分析该环节时，暂不考虑锯齿波电压  $u_{e3}$  和负偏电压  $u_p$  对电路的影响。对控制电压  $u_{ct}=0$  时，V4 截止，+15V 电源通过电阻 R11 供给 V5 一个足够大的基极电流，使 V5 饱和导通，V5 的集电极电压接近-15V，所以 V7、V8 截止，无脉冲输出，同时，+15V 电源经 R9 和饱和晶体管 V5 及-15V 电源对电容 C3 进行充电，充电结束后，电容两端电压为 30V，其左端为+15V 右端为-15V。调节电压  $u_{ct}$ ，当  $u_{ct} > 0.7V$  时，V4 由截止变为饱和导通，其集电极 A 端  $u_a$  由+15V 迅速下降至 1V 左右，由于电容 C3 上的电压不能突变，C3 右端的电压也开始的-15V 下降至-30V，V5 的基射结由于受到反偏而立即截止，其集电极电压  $u_{c5}$  由开始的-15V 左右迅速上升，当  $u_{c5} > 2.1$  时，V7、V8 导通，脉冲变压器一次侧流过电流，其二次侧有触发脉冲输出。同时，电容 C3 反向充电使 V5 的基极电压  $u_{b5}$  由-30V 开始上升，当  $u_{b5} > -15V$ ，V5 又重新导通， $u_{c5}$  又变成-15V，使 V7、V8 又截止，输出脉冲结束。可见，V4 导通的瞬间决定了脉冲发出的时刻，到 V5 截止时间即是脉冲的宽度，而 V5 截止时间的长短反向充电时间常数  $R_{11}C_3$  决定的。

### 2.3.2锯齿波形成与脉冲移相环节

该环节主要由 V1、V2、V3、C2、VS 等元器件组成，锯齿波是由恒流源电流对 C2 充电形成的。在图中，VS、RP2、R3、V1 组成了一个恒流源电路，恒流源电流  $I_{c1}$  对电容 C2 进行充电，电容 C2 两端的电压  $u_{c2}$  为  $u_{c2} =$  可见， $u_{c2}$  是随时间线性变化的，其充电斜率为。当 V2 导通时，由于电阻 R4 的阻值很少，所以，电容 C2 经 R4 及 V2 迅速放电，当 V2 周期性的关断与导通时，电容 C2 两端就得到了线性很好的锯齿波电压，要想改变锯齿波的斜率，只要改变充电电流的大小，即只要改变 RP2 的阻值即可。该锯齿波电压经过由 V3 管组成射极跟随器后， $u_{e3}$  是一个与远波形相同的锯齿波电压。

$u_{e3}$ 、 $u_p$ 、 $u_{ct}$  三个信号通过电阻 R6、R7、R8 的综合作用成为  $u_{b4}$ ，它控制 V4 的导通与关断。这里采用电工学课程中的叠加原理，在考虑一个信号在  $b_4$  点的作用时，可以将另外两个信号接地，而三个信号在  $b_4$  点作用综合电压  $u_{b4}$  才是控制 V4 的真正

信号。当  $u_{ct}=0$  时，V4 的基极电压的  $u_{b4}$  的波形有  $u_{e3}+u_p$  决定，控制偏移电压  $u_p$  的大小。使锯齿波向下移动。当  $u_{ct}$  从 0 增加时，V4 的基极电位  $u_{b4}$  的波形就由  $u_{e3}+u_{ct}+u_p$  决定，即当  $u_{b4}>0.7V$  时的时刻，即 V4 由截止转为导通的时刻，也就是该时刻电路输出脉冲。如果把偏移电压  $u_p$  调整到某特定值而固定时，调节控制电压  $u_{ct}$  就能改变  $u_{b4}$  波形上升到  $0.7V$  的时间，也就是说，改变控制电压  $u_{ct}$  就可以改变移动脉冲电压的相位，从而达到脉冲移相的目的。电路中设置负偏移电压  $u_p$  的目的是为了确定初始脉冲相位。通过三相桥式整流及逆变电路的分析可知：当负载大电感连续时，三相桥式整流电路的脉冲初始相位在控制角  $\alpha=90^\circ$  的位置，对于可逆系统，电路需要在整流与逆变两种工作状态，这时需要脉冲的移相  $X$  围约为  $180^\circ$ ，考虑锯齿波电压波形两端的非线性，因此要求锯齿波底宽为  $240^\circ$ ，此时使脉冲初始位置调整到锯齿波的中点位置，对应主电路  $\alpha=90^\circ$  位置。

### 2.3.3 驱动电路

典型全控型器件的驱动电路 GTO 是电流驱动型器件。它的导通控制与普通晶闸管相似，但对触发前沿的幅值和陡度要求较高，且一般需要在整个导通期间施加正向门极电流。要使 GTO 关断则需施加反向门极电流，对其幅值和陡度的要求则更高，幅值需达到阳极电流的  $1/3$  左右，陡度需达  $50A/ms$ ，其中强负脉冲宽度约  $30ms$ ，负脉冲总宽度  $100ms$ ，关断后还需在门极-阴极间施加约  $5V$  的负偏压，以提高器件的抗干扰能力。GTO 一般用于大容量电流的场合，其驱动电路通常包括开通驱动电路、关断驱动电路和门极反偏电路三部分，可分为脉冲变压器耦合式和直流耦合式两种类型。直流耦合式驱动电路可避免电路内部的相互干扰和寄生振荡，可以得到较陡的脉冲前沿，因此目前应用较为广泛，其缺点是功耗大，效率低。直流耦合式 GTO 驱动电路的电源由高频电源经二极管整流后得到，二极管 VD1 和电容 C1 提供  $+5V$  电压，VD2、VD3、C2、C3 构成倍压整流电路，提供  $+15V$  电压，VD4 和电容 C4 提供  $-15V$  电压。场效应晶体管 V1 开通时，输出正强脉冲；V2 开通时，输出正脉冲平顶部分；V2 关断而 V3 开通时输出负脉冲；V3 关断后电阻 R3 和 R4 提供门极负偏压。

### 2.3.4 保护电路

#### 1) 过电压的产生及过电压保护

电力电子装置中可能发生的过电压分为外因过电压和内因过电压两类。

a) 外因过电压:主要来自雷击和系统中的操作过程等外部原因，包括：操作过电压：由分闸，合闸等开关操作引起的过电压，电网侧的操作过电压会由供电变压器电磁感应耦合，或由变压器绕组之间的存在的分布电容静电感应耦合过来。雷击过电压：由雷击引起的过电压。

b) 内因过电压:主要来自电力电子装置内部器件的开关过程,包括以下几个部分。  
换相过电压:由于晶闸管或者与全控型器件反并联的续流二极管在换相结束后不能恢复阻断能力时,因而有较大的反向电流通过,使残存的载流子恢复,而当其恢复了阻断能力时,反向电流急剧减小,这样的电流突变会因线路电感而在晶闸管阴阳极这间或与续流二极管反并联的全控型器件两端产生过电压。关断过电压:全控型器件在较高频率下工作,当器件关断时,因正向电流的迅速降低而线路电感在器件两端感应出的过电压。各电压保护措施及配置位置,各电力电子装置可视具体情况只来用采用其中的几种。其中 RC3 和 RCD 为抑制内因过电压的装置,其功能属于缓冲电路的 X 畴。在抑制外因过电压的措施中,采用 RS 过电压抑制电路是最为常见的。RC 过电压抑制电路可接于供电变压器的两侧(通常供电电网一侧称网侧,电力电子电路一侧称阀侧)或电力电子电路的直侧流。对于大容量的电力电子装置,可采用图 1-39 所示的反向阻断式 RC 电路。  
有关保护

## 2)过电流保护

电力电子电路运行不正常或者发生故障时,可能会发生过电流现象。过电流分载和短路两种情况。一般电力电子均同时采用几种过电压保护措施,怪提高保护的可靠性和合理性。在选择各种保护措施时应注意相互协调。通常,电子电路作为第一保护措施,快速熔断器只作为短路时的部分区断的保护,直流快速断路器在电子电力动作之后实现保护,过电流继电器在过载时动作。

在选择快熔时应考虑: a) 电压等级应根据快熔熔断后实际承受的电压来确定。 b) 电流容量应按照其主电路中的接入方式和主电路连接形式确定。快熔一般与电力半导体体器件串联连接,在小容量装置中也可串接于阀侧交流母线或直流母线中。 c) 快熔的  $I_t$  值应小于被保护器件的允许  $I_t$  值。 d) 为保证熔体在正常过载情况下不熔化,应考虑其时间电流特性。快熔对器件的保护方式分为全保护和短保护两种。全保护是指无论过载还是短路均由快熔进行保护,此方式只适用于小功率装置或器件使用裕量较大的场合。短路保护方式是指快熔只要短路电流较大的区域内起保护作用,此方式需与其他过电流保护措施相配合。对一些重要的且易发生短路的晶闸管设备,或者工作频率较高,很难用快熔保护的全控型器件,需要采用电子电路进行过电流保护。除了对电动机起动时的冲击电流等变化较慢的过电流可以用控制系统本身调节器进行对电流的限制之外,需设置专门的过电流保护电子电路,检测到过流之后直接调节触发,驱动电路,或者关断被保护器件。

## 3 参数设定

### 3.1180° 调压

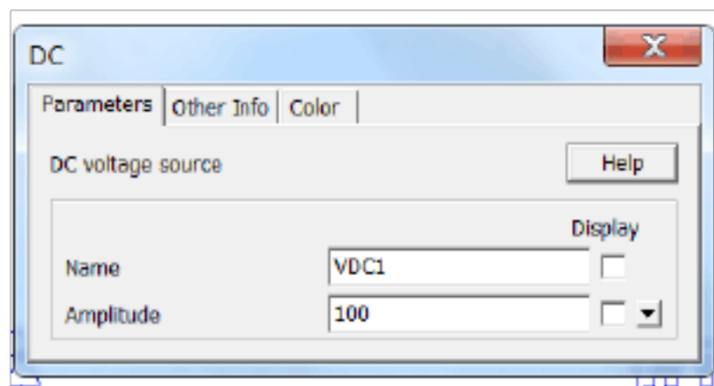


图 3-1 电源参数设定

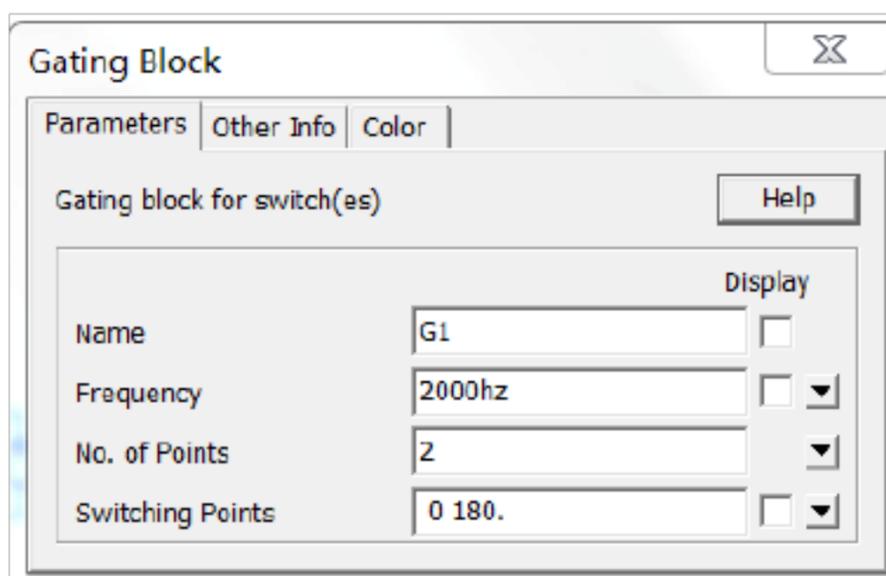


图 3-2VT1 的触发电平参数设置

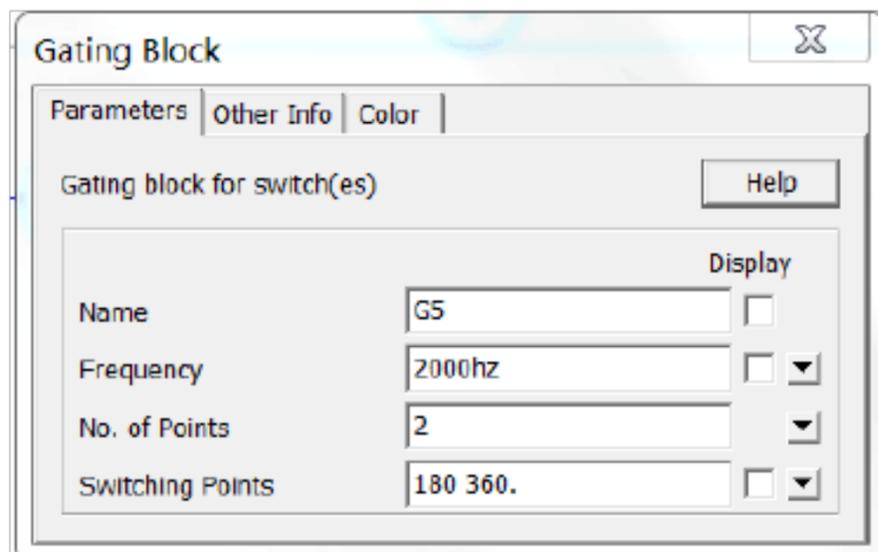


图 3-3 VT2 的触发电平参数设置

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/218027064056007002>