

晶体管保护的直流电源

山东电力设计院 黄志超

晶体管保护的直流电源，目前各地很不统一。就我省而言，有用BDN-1型逆变装置的，有用复式整流装置的，有用电容储能装置的，有用汽车蓄电池加稳压装置的，也有用镉镍密封碱性蓄电池的，种类繁多。今仅就其作用原理及运行情况作一简要介绍，供选择晶体管保护的直流电源时参考。

一、BDN-1型直流电源变换装置：

1. 工作原理：BDN-1型直流电源变换装置是一种可控硅逆变器。其基本工作原理，是将220伏（或48伏）的直流电，经两个可控硅按一定频率（400赫）相继导通和断开，变换成交流电，再经变压器降压及整流滤波，然后经由串联式晶体管稳压电路输出。输出电压可稳定为 24 ± 0.5 伏，输出容量为72伏安。逆变器比较关键的部件为变换器及控制装置。变换器的作用是把直流电通过可控硅 KG_1 和 KG_2 的轮流导通和截止变换为交流。但可控硅有一特性，即当其导通后，即使触发脉冲消失，仍能维持导通。本装置通过电容器的充放电对已导通的可控硅主回路施加一反向电压，强迫其关断。其原理接线如图1所示。

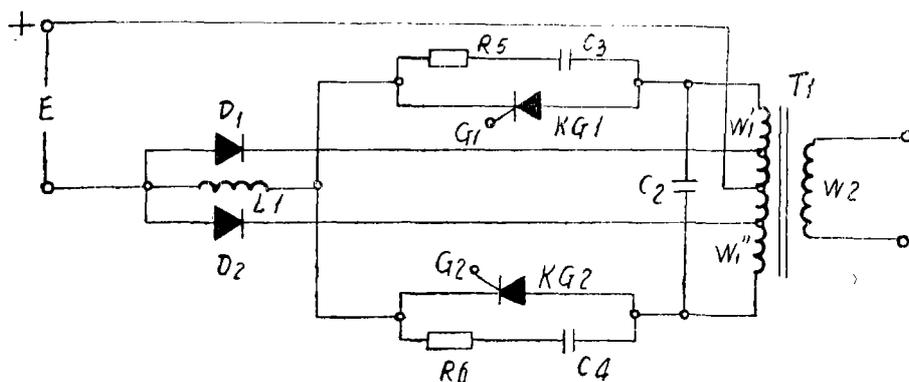


图1 变换器原理接线图

假设电源合闸后，控制信号首先使 KG_1 导通， KG_2 由于控制信号是负极性仍然截止。因而电流经过 T_1 的上半个绕组 $W_1' \rightarrow KG_1 \rightarrow$ 电感 L_1 至电源。这时 W_1' 上的电压降

接近电源电压 E ，同时在 W_1'' 上感应电压也接近于 E 。电容 C_2 即被充电至 $2E$ 。此时 KG_2 承受正向电压 $2E$ 。半个周期后，控制信号使 KG_2 触发导通，电容 C_2 通过 KG_2 、 L_1 放电。当刚开始放电时， C_2 两端的电压即反向施于 KG_1 上，强迫其关断。 KG_2 导通后，电流经过 T_1 的下半个绕组 $W_1'' \rightarrow KG_2 \rightarrow$ 电感 L_1 至电源。 C_2 又被反向充电至 $2E$ 。依此 KG_1 和 KG_2 即反复按加于可控硅的信号频率导通和截止，等于在 T_1 的初级绕组流过交流电。相应地在其次级绕组 W_2 也感应出交流电压，以矩形波输出。

在换流过程中， L_1 的作用是使 C_2 的放电按 C_2 、 L_1 所决定的时间常数进行，以保持反向施于可控硅的关断电压的时间大于可控硅的关断时间，从而保证可靠关断。 L_1 的另一个作用是限制换流过程中的过电流。这个过电流发生在一个可控硅刚被触发导通而另一个可控硅还未关闭的瞬间。接在可控硅两端的 R_3 、 C_3 和 R_4 、 C_4 是用来吸收换流过程中所产生的电压尖峰。二极管 D_1 、 D_2 的作用是将换流过程中贮存在 C_2 、 L_1 中的无功能量在 L_1 、 KG 间形成环流消耗掉，从而消除了可能引起的寄生振荡，同时将负载中的无功能量反馈至电源，以提高工作效率。此外，它也能吸收瞬变过程中的过电压，保护 KG ，并使变换器得到矩形的输出电压。

为了使 KG_1 和 KG_2 能够轮流导通及截止，必须有相对应的控制信号输入至各可控硅的控制极。本装置的控制部分采用由两个三极管组成的变压器耦合脉冲振荡器，输出 400 赫的矩形波，输出电压为 3 伏左右，以保证可控硅的可靠触发。

2. 直流系统接线：我省在 $\times \times$ 发电厂，以 $BDN-1$ 型逆变装置作为晶体管保护的直流电源。发电机变压器组及高压厂变分别各用一套逆变器，平时各自独立，但当发一变组的保护电源故障时，可通过中间继电器 ZJ 的接点自动切换。此外，还有 ZJ_1 作为发一变组保护电源的监察继电器。当由于任何原因使 ZJ_1 失电时，电源监视灯 JD 燃亮，发出予告信号。端子 1、2 为失压信号，由并接在 24 伏输出端上（端子 6、7）的电压继电器的常闭接点引出，可接到中央信号屏。其原理接线如图 2 所示。

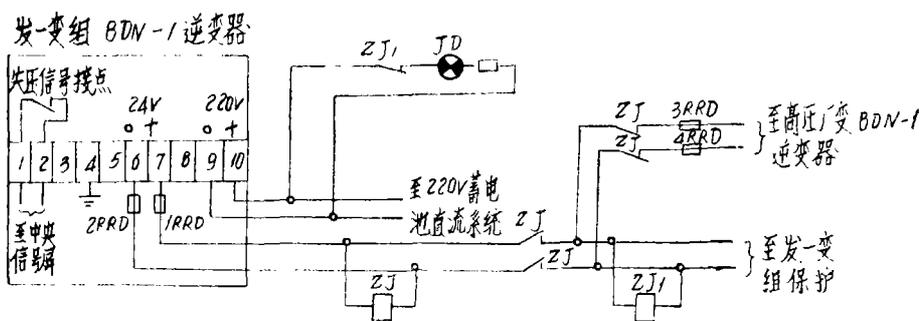


图 2 保护用直流系统图

3. 运行情况：以逆变装置作保护电源具有效率高、抗干扰性能强的优点，并消除了强电对晶体管弱电回路的危害。但上进的可控硅逆变装置容易产生换流失败的现象，即一个 KG 被触发导通而另一个 KG 还未关断，此时 T_1 中 W_1' 与 W_1'' 的磁通互相抵消，没有输出，且一次线圈中的电抗降至零，与短路无异，此过电流将会造成 KG 的损坏或熔断

器熔断，使电源中断。此外，逆变器的稳压回路如果损坏，会使输出电压升高，也会破坏保护的正常工作。该厂从1972年12月投运以来，速变器内部熔断器熔断的故障迭次发生。1973年5月，由于逆变器稳压回路损坏，本来由35伏稳至24伏，损坏后输出不是24伏，仍为35伏，把高压备变高压侧BL-7A型过电流继电器触发器的第二级管子击穿，造成保护误动。因此，单独使用BDN-1型逆变器作保护的直流电源，并不是高度可靠的。

二、复式整流装置：

1. 工作原理：所谓复式整流，就是整流装置不但由厂用（或所用）变压器供电，还能反映故障时短路电流的电流互感器供电，这样就能保证在正常和事故情况下不间断地向直流系统供电。在应用复式整流的厂（所）中，一般直流系统仅操作电源（包括控制、信号、保护回路及跳闸回路的电源）为复式整流，而合闸电源仅由厂（所）用变压器供电。保护回路根据需要可由220伏总操作电源经集中稳压或分散稳压供给。

正常运行时，仅由厂（所）用变压器供给操作电源，简称“电压源”。短路故障时，由电流互感器经铁磁谐振稳压器供给操作电源，简称“电流源”。“电流源”的稳压器在电流互感器电流大于负荷电流时进入稳压区工作，此电流称为起振电流，此一电流必须小于最小故障电流。改变稳压器谐振回路的电容值可以调节起振电流的大小。一般采用正常负荷时不起振的方式，以避免电流互感器和稳压器长期处于饱和状态运行而过热，从而延长绝缘的使用寿命。

铁磁谐振稳压器的原理接线如图3所示。

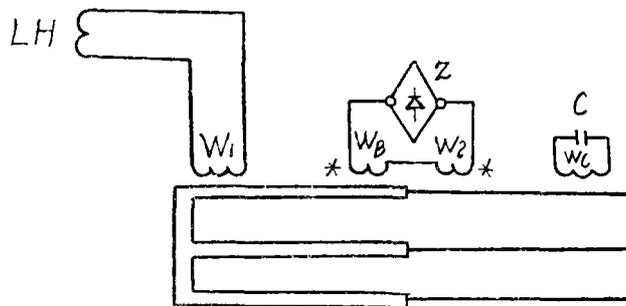


图3 铁磁谐振稳压器原理接线图

其中， W_1 、 W_B 为一次绕组和补偿绕组，装在不饱和铁芯柱上； W_2 、 W_C 为二次绕组和电容器绕组，装在饱和铁芯柱上。一次绕组接至电流互感器二次侧，电容器绕组接电容器，二次绕组与补偿绕组反极性串联后接至整流器。 W_2 与 W_C 中的电势随 W_1 中电流的增加而上升，达一定值后因铁芯饱和而平稳。在实际接线中， W_2 系根据输出电压的需要，在 W_C 中抽取。 W_B 的作用主要是抵消 W_2 中部分电压，以削弱输出电压的峰值，使输出电压更为平稳。

为讨论方便起见,先略去补偿绕组 W_B ,且将等值回路的参数全部归算至 W_0 侧,并略去稳压器内部的有功损耗,则相应的等值电路如图4所示。

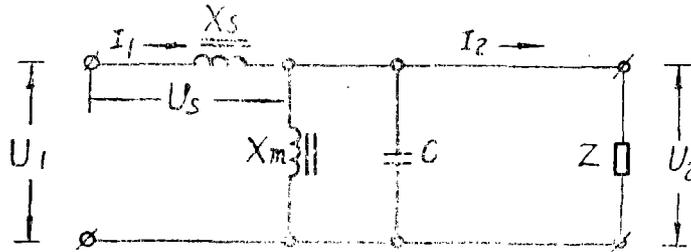


图4 铁磁谐振稳压器等值电路图

由于稳压器的二次绕组和电容器绕组都装在饱和铁芯柱上,故它本质上是一个饱和变压器。而 X_s 及 X_m 则分别为此变压器对应于漏磁通和主磁通的电抗。其中 X_s 为线性电抗,而与电容 C 并联的 X_m 则视为饱和电抗器,它是铁磁谐振稳压器的非线性元件。 X_s 与 X_m 组成了饱和变压器的倒T形等值电路。负载 Z 与 X_m 并联。显而易见,输入电压 U_1 与输出电压 U_2 仅相差一线性电抗 X_s 上的压降值 U_s ,此值与 I_1 成正比。

并联铁磁谐振发生在 X_m 、 C 的并联回路。它与一般并联电磁谐振电路的不同,在于它是当并联电路的电压达到一定值时才产生谐振(整个过程中电源的频率固定不变),而不是在参数固定的情况下,当电源频率达到谐振角频时产生谐振。当负载 Z 开路时,谐振电路的伏安特性如图5所示。

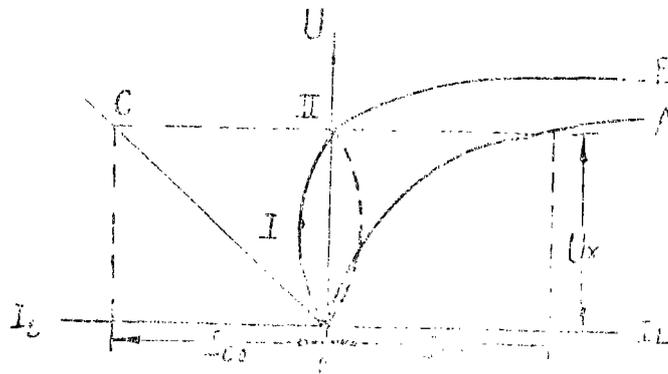


图5 并联铁磁谐振电路元件的伏安特性

图中:OA是谐振绕组(电容器绕组) W_0 的伏安特性,亦即铁芯磁化电流的伏安特性曲线,其电流落后于电压 90° ,且随着外加电压的增大而饱和,呈明显的非线性特征。OC是电容 C 的伏安特性,其电流超前于电压 90° ,且与回路端电压成正比,呈线性特征。并联电路的总电流与其端电压的关系以曲线OB表示,此曲线可由感性电流与容性电流的横坐标值相减而得。

在点I以前,并联电路的总电流随其端电压的增大而增大。之后,则由于饱和电抗

伏安曲线的饱和，总电流开始逐渐减小，到达点Ⅱ时，总电流等于零。点Ⅱ之前总电流是容性的，过了点Ⅱ之后，总电流又开始逐渐增大，但其相位则与前相反，为感性电流。点Ⅱ时感性电流被容性电流完全抵消，即 $I_{c0} = I_{L0}$ 。

上式说明，当并联电路的电压增到一定数值 U_1 时（已假定电源的频率固定不变）， X_m 值随铁芯的饱和已减小到恰好与容抗相等，即 $X_m = X_c$ ，电路产生并联铁磁谐振，点Ⅱ即为谐振点。为便于对照起见，不考虑电流的相位，将OB均画在纵坐标的一侧（第一象限），这样便可得到实用的伏安特性曲线，如虚线所示。

上面我们仅讨论了并联支路的伏安特性。引入 X_c 后，输入电压即可按式 $\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \dot{U}_B$ 得出。由此可得出 $U_2 = f(U_1)$ 的函数关系如图6中曲线①所示。再考虑到补偿电压 U_B 与 U_1 成正比，且 W_B 与 W_2 反极性串联，即 U_B 与 U_2 方向相反， U_B 曲线在横轴以下。此时实际的输出电压 $U_{2'}$ 为 U_2 与 U_B 的矢量和，可以 U_B 与 U_2 的纵坐标值合成而得，故 $U_{2'} = f(U_1)$ 如图6曲线②所示。这样，从图6即可看出，在稳压区内，当输入电压大幅度变化时，输出电压 $U_{2'}$ 变化极小。这就说明了铁磁谐振稳压器的稳压特性。而 W_B 的加入，可使输出电压更为平稳，但使输出容量略有降低。

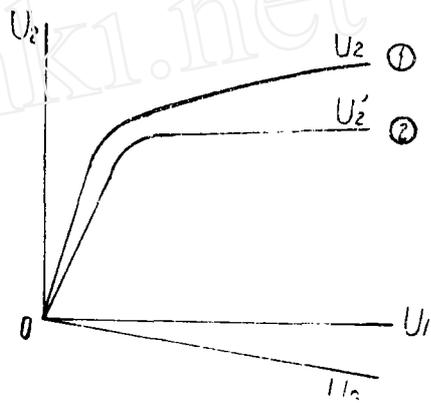
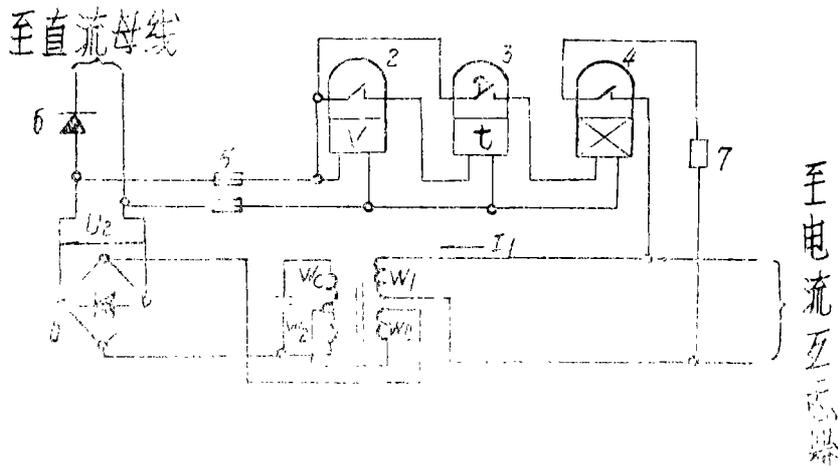


图6 铁磁谐振稳压器输入电压与输出电压关系曲线

机电型继电保护并不要求电流源稳压器有十分高的稳定度，而希望有较大的输出功率，因此，通常都可以不采用补偿绕组，但晶体管保护则要求较多的稳定度输出功率可以较小，故其电流源稳压器通常都装设 W_B 。



1—铁磁谐振稳压器 2—电压继电器（DJ—111） 3—时间继电器（DS—113）
4—中间继电器（DZ—17） 5—熔断器（RL1） 6—硅整流器 7—消振电阻

图7 监视电压的消振装置接线图

为短路消失后，正常工作电流大于消振电流，则稳压器仍在稳压区工作，会造成电流互感器过热。为此，一般均需装设消振装置。较常用的监视电压的消振装置如图7所示。

其动作过程以下：短动时起振，有一较大的 U_2 输出，使电压继电器2动作，起动时间继电器3，其整定值应大于全厂（所）保护的最大动作时限。短路消除后，若正常工作电流大于消振电流，则继电器2不能返回，时间继电器3经整定值后接通中间继电器4、4的接点使消振电阻7与稳压器一次侧并联，起一分流作用，以减小进入稳压器的 I_1 值、以保证可靠消振。消振后， U_2 降低，继电器2返回、3、4亦返回，消振电阻切出。由于此时的 I_1 数值小于起振电流（ I_1 反映的已不是短路电流，而是正常工作电流），故稳压器不会重新起振。消振电阻的数值可由试验得出。

稳压器对输入电压变化或对负荷变化的反应时间约为60~80毫秒，其工作惰性较小，对一般电流电压保护是完全能够适应的；但对于快速保护的动作是否有影响，尚待进一步积累经验。

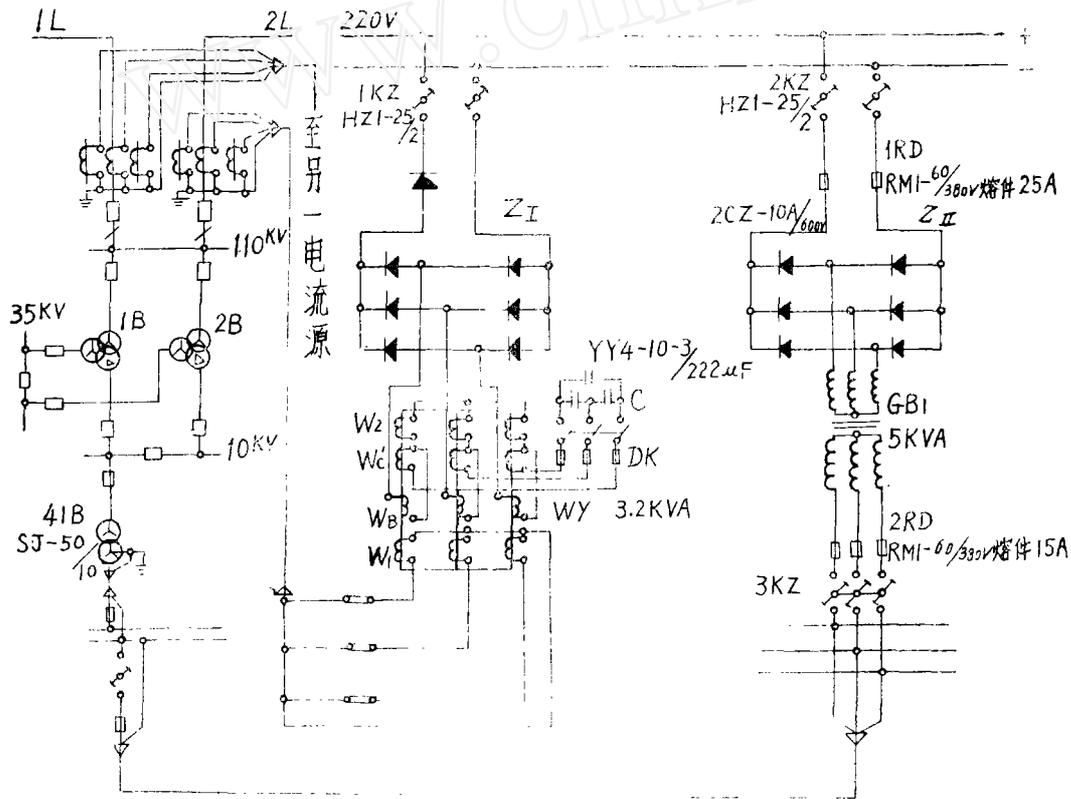


图8 复式整流直流系统接线图

2、直流系统接线：我省××供电局甲变电所，以复式整流装置作为晶体管保护的直流电源。220伏总操作电源由一个电压源（所用变）和两个电流源稳压器复合供电，保护回路再由220伏总操作电源经降压电阻及稳压管以直流降压分散稳压方式供电。所

用变经一台5千伏安的隔离变压器GB₁后,以三相桥接方式整流,无稳压器。电流源则由电流互感器次级经3.8千伏安铁磁谐振稳压器WY,再经三相桥式整流供电。铁磁谐振稳压器的作用是保持操作母线电压恒定。而为了使直流系统与中性点接地的380/220伏交流系统分开,装设隔离变压器是必要的。正常运行时,仅由电压源供给操作电源。短路故障时,由电流源(电流互感器加铁磁谐振稳压器)供给操作电源。整个直流系统的接线见图8,图中为简化起见,仅示出一个电流源,且阻容吸收装置及消振装置均未予表示。

3.运行情况:复式整流装置使用的铁磁谐振稳压器,对电源频率的变化很敏感,容易造成输出电压的不稳定,这是铁磁谐振稳压器的最大缺点。当电源频率变化1~2%时,其输出电压可变化1~3%。

这种稳压器的另一缺点是正弦电压波形的畸变失真。这是所有的带铁芯的饱和线圈作非线性元件的稳压器的通病。铁芯饱和程度越高,波形畸变率也越大。高次谐波成分以三次及五次谐波为主,为图9中的波形⑦以示。

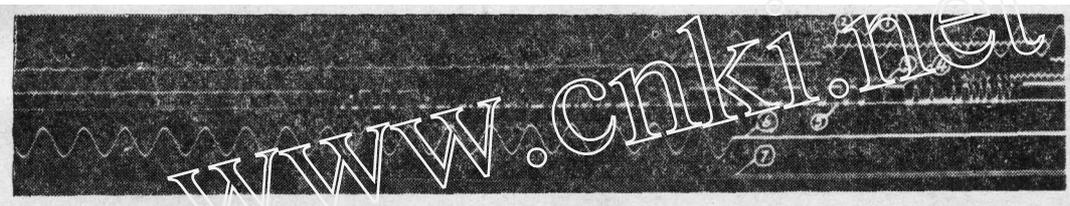


图9为××供电局甲变电所10千伏母线AB相间短路(两线一地制,B相为地)时的录波图。其中:

- ①为电压源电压波形(所用变的C相)
- ②为合闸接触器两端电压波形
- ③为直流220伏波形
- ④为直流15伏波形(220伏直流降压)
- ⑤为基准线(零伏)
- ⑥为电流互感器故障电流波形
- ⑦为电流源稳压器输出交流电压波形

从上述录波图可以看出:电流源稳压器正弦电压畸变失真较大,且在电流源起振过程中,经整流获得的220伏直流及降压后的15伏直流波形都不够理想。此外,北京清河变等单位通过试验及分析,发现复式整流电流源启振时,暂态过程中输出操作电压太高,约为稳定电压的2~3倍,会造成管子的损坏及保护误动。因此,独立的复式整流装置对晶体管保护来说并不是理想的电源。

三、电容储能装置:

1、工作原理:采用硅整流器直接向保护(和操作)供电的变电所,当电力系统发

生短路时会引起交流电源电压下降，从而直流电压也相应下降，严重时（为高压母线或电源进线上短路）可能造成保护装置不能动作。利用储能元件—电容器来补偿直流电压是一个简单易行的解决办法。补偿电容器所储能量应能满足保护装置（和继电器跳闸线圈）动作所需能量的要求。在保护装置动作切除故障后，所用电源及直流电压恢复正常，电容器又复充足电能，储能待用。

从本质上来说，储能电容和滤波电容并无严格的区别，因为储能电容可以滤波，滤波电容亦可储能。但因为二者目的不同，用途不同，因而设计和计算的方法亦各异。一般储能电容比滤波电容的电容量要大，往往达到数千微法，有时甚至达到一万多微法。

图10示电容储能的原理接线

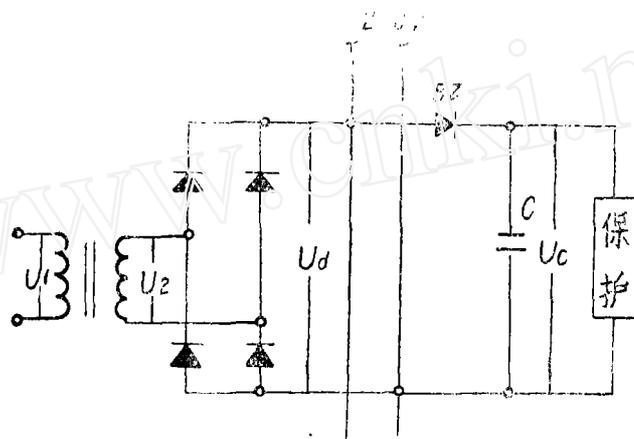


图10 装补偿电容器的直流系统（电容储能装置）原理接线图

图10所示的硅整流装置为单相桥式整流。在实际接线中，有采用三相桥式整流，亦有采用单相桥式整流的。我们认为以采用单相桥式整流比较合适。因为电容器储存的电能与电压的平方成正比。因此，为了减少电容器容量，首先应考虑提高电容器的充电电压。而电容器的充电电压为整流电源的峰值电压。在220V直流系统中，当采用单相桥整流接线时，其隔离变压器副边电压有效值为 $U_2 = 1.11 \times 220V = 244V$ ，故电容器充电电压（即隔离变压器副边峰值电压） $U_c = \sqrt{2} U_2 = \sqrt{2} \times 244V = 345V$ ，而当采用三相桥整流接线时，隔离变压器副边线电压有效值 $U_2 = 0.74 \times 220V = 163V$ ，故电容器充电电压（即隔离变压器副边峰值电压）仅为 $U_c = \sqrt{2} U_2 = \sqrt{2} \times 163V = 230V$ 。由此可见，前者的充电电压为后者的1.5倍，故电容量可减至 $1/2.25$ 倍。至于电压提高后对继电器及跳闸线圈的影响问题，制造厂和运行单位认为，由于电容器放电回路时间常数较小，放电电压衰减较快，对绝缘是允许的，对跳闸线圈的动作也没有危害，而对于一般额定电压为450V的电解电容器，也留有一定的可靠系数，因此，可以认为是一个较好的方案。

至于电容器型式的选择，制造厂生产的基本型式有如下三种，其各自特点如下：

（1）电解电容器：单位体积容量大，价廉，但损耗大，工作电压低，电容量随时

间及温度而变化。

(2) 金属膜电容器: 具有击穿后能自愈的性能, 承受过电压性能较好, 电容量比较稳定, 但单位体积容量较小, 价贵。

(3) 电力电容器: 具有高介质强度, 电容量稳定, 不易老化, 但体积大, 价格昂贵, 放置需专用房间。

考虑到储能电容器经常处在浮充状态, 运行条件较好, 而补偿所需的电容量又比较大, 因此价格低和体积小是主要的控制条件, 故一般采用电解电容器。

2、直流系统接线: 我省××供电局乙、丙两变电所, 以电容储能装置作为晶体管保护的直流电源。为了防止当保护动作而跳闸机构失灵拒动时, 将电容器所储能量通过跳闸线圈全部放光, 使后备保护也无法动作, 乙变电所将电容器分为三组, 即按电压等级将35KV、10KV线路保护分别各装一组, 主变保护单独装一组。每组之间经一硅二极管作为逆止元件。

3、运行情况: 电容储能装置波形比较平滑, 且抗低频干扰信号性能较佳, 故××供电局乙变电所保护及跳闸直流电源均采用电容储能装置, 且保护与跳闸用的电源分开, 隔离了断路器跳、合闸时对于保护电源的干扰影响。因此, 从1972年4月投运以来, 直流电源工作一直正常; 加上晶体管保护采取了一系列的改进措施, 所以投运以来, 保护的综正确动作率达98.1%, 超过了机电型保护的综正确动作率水平。

本所为了监视电容器组的运行情况, 设有一套检查装置, 以便经常检查电容器组回路是否发生断线或容量降低。检查通过切换开关进行, 使检查其中一组电容器时, 另一组保持工作状态, 并将其负载暂时切换到另一组上去。被检查的电容器组如果容量满足要求, 则电压继电器起动, 信号灯燃亮; 反之, 则说明电容量降低或回路断线, 应逐一检查更换。这种检测回路的缺点是不能反映电容器组电压的升高, 也不能预测电容器质量的变劣(为漏流增加等), 为此, 可另加一直流毫安表。及一直流伏特表进行监视。

四、汽车蓄电池加稳压装置:

我省××供电局A变电所, 采用一组6Q—182型48V汽车蓄电池加稳压管直流降压分散稳压电路, 作晶体管保护的直流电源。从1970年5月投运以来, 运行基本正常。主要问题是汽车蓄电池寿命太短, 运行维护不好的只有1、2年, 运行维护好的也只有3、4年左右。

五、镉镍密封碱性蓄电池:

我省××供电局B变电所, 采用一组32GN—2.25型40V、2.25AH镉镍碱性蓄电池, 由单相桥式硅整流装置浮充, 再加一最简单的串联式晶体管稳压电路, 作为晶体管保护的直流电源。从1973年7月投运以来, 运行情况一直正常。

与酸性蓄电池相比, 碱性蓄电池具有轻巧, 坚固, 总的局部放电作用小, 运行维护

简便等优点，虽然内阻较大，效率较低，容量较小，电压不如酸性蓄电池稳定，但设置稳压电路后，完全可以满足晶体管保护的要求。最近新乡755厂出品的GNY—5型镉镍单体密封蓄电池，容量为5AH，每个放电态的开路电压为1.25V，采用32个为一组，正好是40V，用作晶体管保护的直流电源是非常合适的。

六、初步推荐意见：

关于晶体管保护的直流电源，目前各地均很不统一。从运行情况来看，镉镍电池轻巧、坚固、便于维护，作为晶体管保护的直流电源比较合适。但运行时应有整流电源与之并联（浮充电），效果最好。整流电源可用复式整流装置，亦可用WZ2型弱电稳压器。前者容量较大，可同时解决跳闸用的操作电源，且失去交流时尚能短时维持输出，但波形不够理想，且各运行单位短路电流数值不同，无法生产通用产品。后者实质上是一个只有电压源的自动稳压装置，定型产品容量较小，且在失去交流时即无输出，故不能同时解决跳闸用操作电源的问题，可用在有专用蓄电池作操作电源的电厂，特别是以WZ2型弱电稳压器作为控制、信号电源的弱电集中控制的电厂。目前镉镍电池不易买到，建议有关单位扩大镉镍电池的生产，以满足晶体管保护的需要。在没有镉镍电池的情况下，也可以考虑采用电容储能装置。电容储能波形较好，且能同时解决跳闸电源的问题，但储能电容的容量不可能很大，不能同时满足多个断路器跳闸的要求，一般适用于中、小容量的变电所。关于通用的储能电解电容的寿命问题，一般认为比较短，但××供电局丙变电所储能电容运行四、五年，至今未坏。故如何提高储能电容的使用寿命，除了制造厂努力改进之外，运行中如何加强维护监察（如上面提到的用直流毫安表及伏特表进行监视），也是值得注意的。

用BDN—1型逆变装置作晶体管保护的电源，具有效率高，抗干扰性能强等优点，而且从理论上说是最可靠的。因为蓄电池直流电源是可靠的，那么逆变为交流并经降压、整流后输出的弱电直流同样也应该是可靠的。但实际上常有换流失败的情况发生，以致产生过电流而使熔断器熔断。××发电厂、××供电局甲变电所等对此反映都比较强烈。事实证明，用可控硅元件作逆变器是不够理想的。山东工学院曾尝试用三极管作逆变装置，也不大理想，有待进一步探索。在逆变装置未臻完善之前，建议使用逆变装

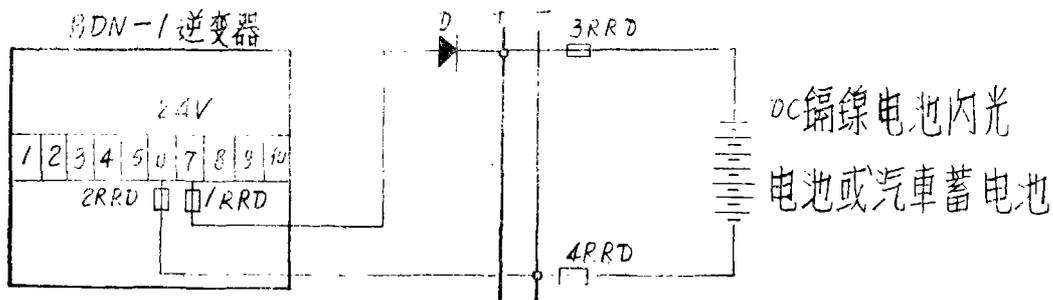


图11 逆变装置与电池DC的并联运行（浮充电）

置的运行单位，用镉镍电池，闪光电池或汽车蓄电池，通过隔离二极管D并联运行，实际上是逆变装置对电池DC浮充电，以提高直流电源的可靠性。其原理接线为图11所示。

如果直流电源是采用集中稳压方式供电，则全厂（或全所）应有两套各自独立的电源，同一元件中可能同时动作的保护（如差动保护与重瓦斯保护），应分别接在不同的电源上，以便万一其中一套电源故障时，仍能保证在短路时把该元件可靠地切出。

如果保护采用分散稳压方式，且用直流降压稳压电路，即每一继电器都分别经各自的降压电阻降压，再用各自的齐纳二极管稳压，则降压电阻宜在正、负极分别接入，这样功率可分散，电阻的参数容易选择，并且抗干扰性能亦有所增强。

总之，对晶体管保护来说，如何选择合适的直流电源，如何采用合理的接线，还是一个有待在实践中不断积累经验的课题。目前有的单位，对比较简单的电流，电压保护索性取消了直流电源，直接从电流互感器次级经整流滤波供给直流电源，这是一个简单有效的办法。我们认为，对接线比较简单的晶体管保护言之，解决直流电源的最好办法恐怕就是取消直流电源本身了。