

DZ—3 型小电流接地信号装置

许昌继电器研究室组合组

一、前 言

对于中性点经消弧线圈接地、有效电阻接地或者中性点绝缘的小电流接地系统，当发生单相接地故障时，虽然中性点位移至接地相，导致相电压升高 $\sqrt{3}$ 倍，但是线电压依然保持不变，故不破坏正常运行。然而，由于相电压升高 $\sqrt{3}$ 倍，导致对整个网络绝缘水平要求增高，加速绝缘老化，如果不迅速寻找接地点，排除接地故障，有可能在绝缘薄弱处击穿，出现两点或者多点接地，导致故障扩大，影响正常供电。

目前，在我国电力系统运行中，寻找接地点的办法是依次对线路进行人工倒闸操作，来判别故障线路，消除故障点。对于网络结构复杂，系统负荷较重的情况，由于要进行分割网络，系统解列，调整负荷等工作，因此这种操作时间往往是相当长的，加之操作比较繁琐，运行人员稍有疏忽容易造成误操作。为了减少发生单相接地故障时的频繁操作，提高供电可靠性，根据水电部58年继电保护会议精神，国内许多单位对此课题进行积极研究，取得了许多成果，有一定的运行经验。我室根据国内外小电流接地信号装置运行情况，与东北技改局合作，在68年试制成功DZ—2型小电流接地信号装置，于69年投入青岛供电局35KV系统运行。在运行之前，曾在清华大学动模实验室进行200次人工接地实验，未发现误动和拒动现象。

DZ—2型小电流接地信号装置由于我们刚开始试制，经验不足，设计上有些考虑不周到。但通过青岛系统几年的运行及运行过程中进行系统人工接地实验来看，运行单位认为接地信号装置在不同的运行方式下，接地时指示基本上是正确的，运行情况正常。根据DZ—2型小电流接地装置运行情况和存在的一些不足处。例如DZ—2型装置灵敏度较低（500赫芝电流元件动作电流为24mA左右），对于线路短、电容电流小而电流互感器变比又大的情况，显得灵敏度不够；直流电源抗干扰能力不强；装置正常运行无法进行检测和判别各部分是否正常。针对上述问题，在DZ—2型小电流接地信号装置的基础上予以完善和提高，试制了DZ—3型小电流接地信号装置。

该装置的特点是灵敏度较高，能适应于中性点不接地、经消弧线圈接地及有效电阻接地的小电流接地系统；能反映瞬时性和永久性接地故障；装置能保护10条线路，自动地指出10条线路中发生故障的线路，便于运行人员处理故障；装置不需要专门设置零序电流互感器，可直接取用母线PT的 $3u$ 及线路CT的 $3I$ ，适应于环形和辐射形网络。

二、动作原理

在小电流接地系统发生单相接地故障时，通过故障点的短路电流是系统的电容电流，此值是较小的，尤其经消弧线圈进行补偿的网络，通过故障点的电流就更小了，甚至有时通过

故障点的电流为零。为此，要求接地信号装置灵敏度十分高，故采用稳态原理构成的接地装置是无法适应的，灵敏度不够。为此，国内外运行的接地装置和接地继电器都采用暂态原理构成，我国目前生产和运行的DD-11型接地继电器，它就是按暂态电流幅值的大小而动作；由于它是按本线路暂态电容电流最大幅值来整定，因此对于长线路灵敏度就不够；且其动作电流值随着频率的升高而增加，因此无法躲过工频不平衡电流，给运行中带来一定的困难；另外它需要有专门的零序CT或者助磁式零序CT。根据某资料统计，DD-11型接地继电器在82次接地故障中，有18次误动。

为了满足运行需要，克服DD-11型接地继电器原理上的缺陷，在DZ-3型接地信号装置中，采用了反映暂态零序电流和暂态零序电压首半波方向的原理构成。我们知道，在系统发生单相接地故障时，其暂态零序电流和暂态零序电压是存在如下关系的：

1. 对于辐射形网络：非故障线路靠近母线端所流过的暂态零序电流和暂态零序电压首半波方向相同，合闸角在 $0-180^\circ$ 范围，均为负方向；合闸角在 $180^\circ-360^\circ$ 范围，均为正方向；而故障线路，暂态零序电流和暂态零序电压方向相反。在合闸角位于 $0-180^\circ$ 范围，暂态零序电流首半波为正，而暂态零序电压首半波为负；合闸角在 $180^\circ-360^\circ$ 范围，暂态零序电流首半波为负，而暂态零序电压首半波为正。

2. 对于环形网络：电容电流分界点落在其上的非故障线路，其线路两端暂态零序电流和暂态零序电压首半波方向相同；电容电流分界点不落在其上的非故障线路，有一端暂态零序电流和暂态零序电压首半波方向相同，有一端暂态零序电流和暂态零序电压方向相反。

故障线路暂态零序电流和暂态零序电压首半波方向，在两端均相反。

根据暂态零序电流和暂态零序电压首半波方向，在故障线路和非故障线路中方向不同的特点，构成了DZ-3型小电流接地装置。由于装置是反映暂态过程中首半波方向，在接地瞬间，消弧线圈可认为开路，且暂态电流较稳态电流大几倍到十几倍，故装置在灵敏度和适应网络形式上，均克服了DD-11型接地继电器的不足。

三、构成和主要性能

DZ-3型小电流接地信号装置由一个电压元件，一个逻辑元件，10个电流元件，一个直流电源，一个交流电源所构成。装于 $482 \times 275 \times 275\text{mm}$ 的壳体中，壳体外形和插件布置见图1。

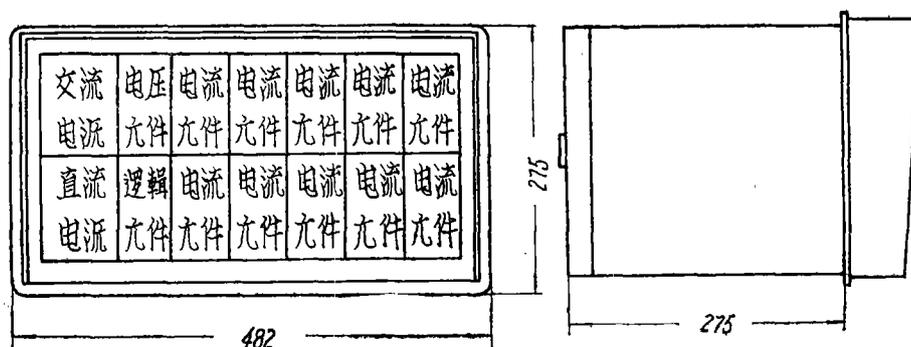


图1

装置中的电压元件作用是测量暂态零序电压首半波方向。当发生接地故障时，电压元件就动作，记忆暂态零序电压第一个半波方向，点燃指示信号灯，通过与电流元件指示灯比较，来分辨故障线路和非故障线路。假定暂态零序电压首半波为正时点燃指示信号灯为红灯，而其首半波为负时则点燃黄灯；那么暂态零序电流首半波为正时则点燃黄灯，而暂态零序电流首半波为负时则点燃红灯。因此，对于故障线路电流元件指示信号灯与电压元件指示信号灯相同，而非故障线路电流元件指示信号灯与电压元件指示信号灯不同。

电压元件由检波回路、记忆回路、“否”门和执行元件等四部份构成。其方框图示于图2，其原理线路图示于图12。

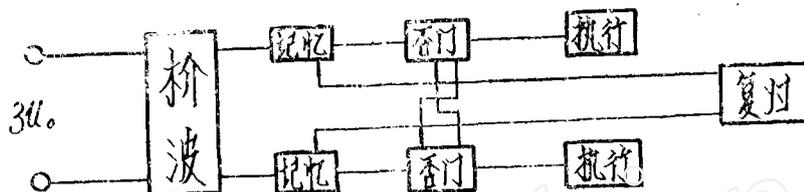


图2

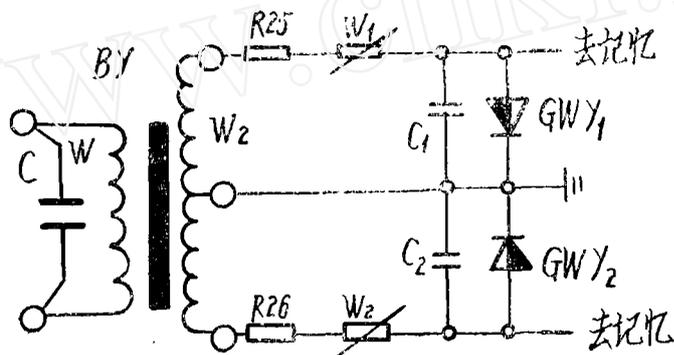


图3

电压元件的检波回路（图3）是一个对频率 $f = 50$ 赫芝的信号导通，而对于其他频率不灵敏的一阻一容滤过器。回路中 R_{25} 、 R_{26} 主要考虑最小起动电压，电位器 W_1 、 W_2 是调整电压元件的整定范围。记忆回路为一典型的双稳态触发器，但是两个稳定工作状态的灵敏度不一致，从而保证工作可靠，提高抗干扰性能。“否”门由 BG_5 、 BG_6 所构成，它的作用是保证电压元件能准确地测量零序电压首半波方向。假定发生单相接地故障，产生零序电压的首半波为正，使记忆元件翻转， BG_1 导通， BG_2 截止，此时 BG_5 的基极得到负电位，即刻导通， BG_6 集电极把零电位送至 BG_6 的基极，使 BG_6 保持截止状态；即算随后来的第二个半波为负，使 BG_2 导通， BG_1 截止，虽然 BG_2 集电极把负电位加到 BG_5 基极上，但 BG_5 已供零电位给 BG_6 基极，把它“否”住而不能翻转，从而保证了电压元件能准确地判断首半波方向。

电压元件整定范围规定当频率 $f = 50$ 赫芝，动作电压 $V_{c.p} = 5 \sim 8$ V 均匀可调；当电压 $V = 1.5V_{c.p}$ 时，电压元件在200次动作中，不应该出现指示灯黄灯和红灯同时亮的现象，且红灯、黄灯出现的几率应该一致。

装置中有10个电流元件，每个电流元件的作用是判别所保护线路暂态零序电流首半波方向。当发生接地故障时，10个电流元件均起动，指示灯均亮，通过与电压元件指示灯比较，

与电压元件指示灯灯光颜色相同的为故障线路，而与电压元件指示灯灯光颜色不相同的为非故障线路。其方框图示于图4。原理接线图示于图13。

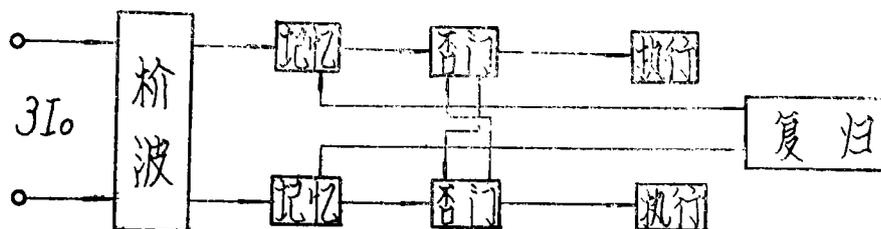


图4

它由检波回路、记忆回路、“否”门和执行回路等四部份组成。除了检波回路和电压元件不一样外，其余参数、回路均和电压元件一样。

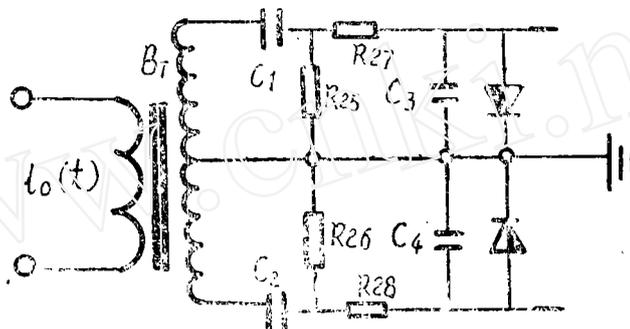


图5

电流元件的检波回路(图5)为一个R-C构成的带通滤波器； C_1 、 R_{25} 、 C_2 、 R_{26} 构成对50赫芝及150赫芝以下频率的阻波器，保证电流元件在正常运行时能可靠地躲过工频不平衡电流和100赫芝、150赫芝的干扰信号。 C_3 、 R_{27} 、 C_4 、 R_{28} 构成对5000~10000赫芝以上的信号的过滤器。其检波频带曲线示于图6。从频率曲线可以看出，其灵敏区在500~2000赫芝。

电流元件其动作值规定为，当 $f = 700$ 赫芝时，其动作电流 $I_{cp} \leq 13\text{mA}$ ，且在电流 $I = 20\text{mA}$ 时，电流元件在200次动作中，不应该出现红灯、黄灯同时亮的现象，且红灯、黄灯出现的几率应该差不多。

装置中逻辑元件由起动延时复归回路

和测量元件复归回路两部份构成。逻辑元件作用有三个，其一是防止由于开关操作三相不同

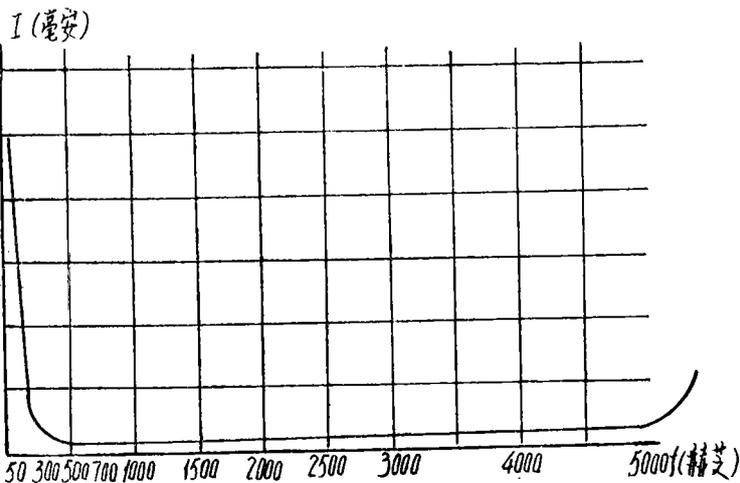


图6

时，导致电流和电压不对称，产生较大的零序电流和零序电压分量，将引起电流元件和电压元件误动作，为了防止由于这种情况引起整套装置误起动，采用了逻辑元件，利用它的整定值和一定的时延来躲过这种情况引起的误动作；其二是在电流元件和电压元件由于不平衡的零序电流和零序电压（由操作三相不同时产生的）引起误动，而整套装置未起动，能自动地使误动了的电压元件和电流元件复归，外界无灯光指示；其三，它担负起整套装置动作后复归。其原理图示于图14。

起动延时复归回路是担负起对整套装置起动、复归和防止开关操作三相同时的零序电流、零序电压引起装置误动作。它由整流滤波、单稳态触发器、延时回路、双稳态触发器、复归回路、执行元件等构成。

测量元件复归回路是担负起对整套装置中电流元件、电压元件的复归及电流元件、电压元件误动作的自动复归。它由二极管与门、单稳态触发器和执行元件等组成。

装置中逻辑元件动作电压整定范围为 $V_{CP} = 12 \sim 25$ 伏，其动作时延在1.5倍动作电压下整定，其整定范围为 $t = 0.1 \sim 0.2$ 秒。

本装置自带 $\pm 12V$ 直流电源，作为电流元件、电压元件、逻辑元件的直流电源。其原理线路图示于图15。

它由两个电源变压器 By_1 、 By_2 、两组三相整流桥和电源稳压回路所组成。电源变压器一次绕组接母线上PT的A、B、C三相100伏线电压上，二次绕组接三相整流桥，经滤波和稳压后，输出电压为 $11.5 \sim 12V$ ；其容量 $0 - +12V$ 为 $0.6W$ ， $0 - -12V$ 为 $6W$ 。即负载能力 $0 - +12V$ 为 $50mA$ ， $0 - -12V$ 为 $500mA$ 。

为了便于运行维护，装置中的红色、黄色指示灯分别装在每个电流元件、电压元件上。这些指示灯的电源由装置所具有的交流电源供给，它的一次绕组接PT的线电压 V_{AB} ，二次输出 $20 \sim 24$ 伏交流电压供给灯光回路。

四、使用范围和整定计算原则

DZ-3型小电流接地信号装置，适用于 $6 \sim 35KV$ 各种接地方式的网络，取网络中 $3I_0$ 和 $3I_0$ 。装置在系统中具体接线示意图如图7

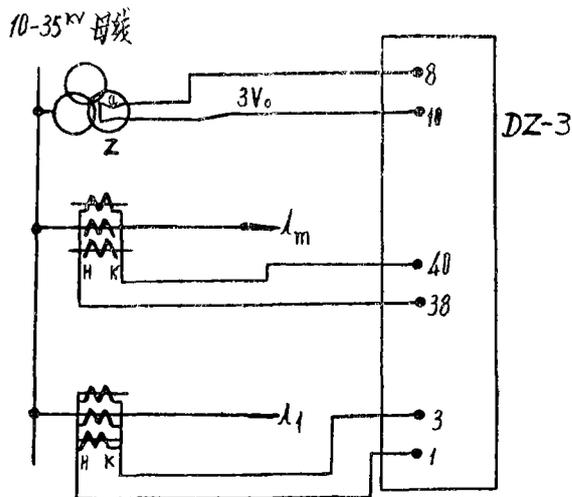


图7

装置在辐射网络使用时，装于母线侧，如图 7 所示；装置在环形网络使用时，应分别在线路两端均装设，当发生接地故障时，通过调度综合判断，来确定故障线路。如图 8 所示线路，在甲变电所和乙变电所均要装设一套装置。

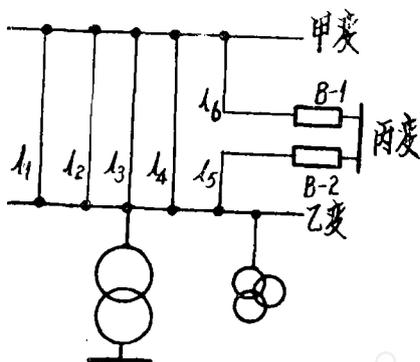


图 8

对于图 9 所示系统，母线运行方式为双母线固定或非固定连接方式。当由变压器 T_1 、 T_2 分别供电，母联断路器 BW 断开时，此时电压元件需要两只，分别接至电压互感器 $1PT$ 和 $2PT$ 的 $3V_o$ 上，否则就无法判断线路故障。

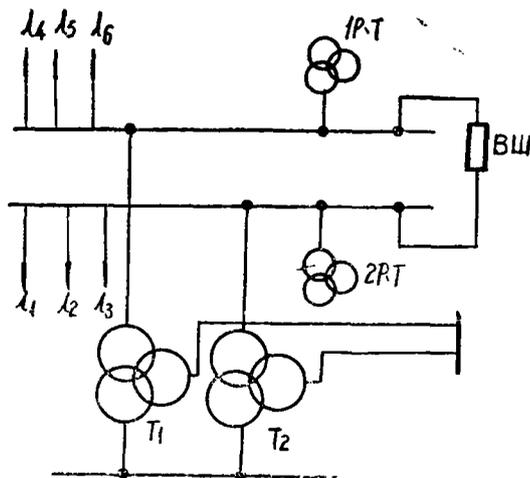


图 9

由于小电流接地系统十分复杂，电容电流的分布无法准确计算。要想对于小电流接地系统发生单相接地故障时，进行精准地计算是十分困难和繁杂的。目前，都采用重迭原理和复合序网给予计算，可以得到近似的数据。下面，我们根据实际运行中的需要，对于 DZ-3 型小电流接地装置，提供一些直观的整定计算原则，作为运行中分析故障的参考。

1. 逻辑元件：按躲过开关三相操作不同时，所出现最大的零序电压来考虑。为了使装置能反映经弧光电阻等非金属性接地情况，通常希望不要把整定电压值整定过高，通常 $12 \sim 25 V$ 即可，其大小依据开关同时性而定。

为了使整定值不过高，通常还采用一定的延时，此时间大小是依据开关的不同时，配合

整定值大小而确定，通常为0.1~0.2秒，时间太大就无法反映瞬时性接地故障。

2. 电压元件：按躲过正常运行，由于三相不平衡产生的零序电压来整定。通常希望此值愈低愈好，因为电压死区取决于电压值大小。假设整定电压 $V_{00} = 6\text{ V}$ ，那么死区就可以计算出来：

$$\sin\alpha = \frac{6}{100} = 0.06 \quad \therefore \alpha = 3.5^\circ$$

$$\text{死区} = 1 - \frac{\alpha}{90} = \frac{3.5^\circ}{180^\circ} = 1.95\%$$

3. 电流元件：因其按暂态电流首半波方向的原理构成，故无须考虑工频不平衡电流的大小。但与合闸角和充、放电电容电流的频率有关。因此，对于其整定计算较困难，且十分复杂。为此以稳态情况提出要求：当线路CT二次侧的稳态电容电流 $I_c \geq 15\text{ mA}$ 时，能保证系统中发生单相接地故障时，正确动作；当CT二次侧稳态电容电流，不满足此要求之时，无法保证装置的灵敏度，就可能出现误指示现象，它取决接地时合闸角的大小。

① 辐射网络：要求 $I_c \geq 15\text{ mA}$ ，能保证线路任何一点发生单相接地时能正确指示。

② 环形和平行网络：其要求和辐射网络相同，但当一侧装设装置，另一侧未装设装置时，其保护范围可按稳态电容电流分布情况进行计算。

其电流分布：

$$\begin{cases} I_{1x} = \frac{1-a}{2} I_{01} + \frac{2-a}{2} I_{02} \\ I_{2x} = \frac{1+a}{2} I_{01} + \frac{a}{2} I_{02} \end{cases}$$

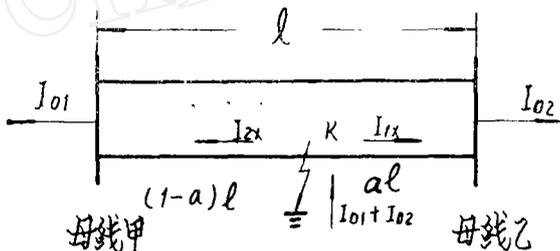


图10

依据电容电流分布情况，可推算接地点k距离母线的远近，从而可以确定信号装置保护范围，确定保护指示的正确性。

图10示距离母线乙al处发生接地故障，假设信号装置装设在母线乙侧，其保护范围可通过 I_{1x} 中电流分量来确定：若 $\frac{1-a}{2} I_{01} < \frac{2-a}{2} I_{02}$ ，可认为在al处发生接地故障保护装置能正确指示，若 $\frac{1-a}{2} I_{01} > \frac{2-a}{2} I_{02}$ ，则说明在al处发生接地故障，装在母线乙侧的装置可能误指示。

通过计算出来的保护范围，因按稳态情况计算，与暂态情况有出入，为此计算得到的保护范围，还需考虑缩短0.7~0.75。

五、简单调试

1. 为了在正常运行时鉴别装置中所有元件的工作状态，装置中的逻辑元件、电流元件、电压元件均设置有试验按钮，运行人员在运行过程中可以定期地（一班二次）进行检查，发生异常现象立即进行排除。

2. 装置在投入运行之前，可采用图11所示线路，进行整组模拟实验。

实验方法：①按照图11线路接好线，把所有电流元件串联起来。

②选取空心电感 $L = 0.02 \sim 0.03$ 亨利，依据公式

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

，选取三种不同的电容值，模拟频率在700Hz、1000Hz、1500Hz，观察

装置动作情况。

③当模拟频率为700Hz时，正常时(即稳态情况下)，通入 $I = 15 \sim 20$ mA电流，观察LC回路充电时装置动作情况(相当于模拟发生接地故障时，非故障线路情况)，观察10个电流元件是否存在指示不一致现象(即为误动)，在200次之内，要求误动几率小于5%。(因为模拟情况与实际发生接地故障是有差别的，模拟出现误动几率高是因为与合闸角有关，当合闸角为 0° 、 180° 、 360° 或它们附近时，是不会动作而出现误指示的；但是实际发生接地是绝缘薄弱环节，因过电压等原因引起，几乎出现在最大值附近，故上述现象能完全避免和减少。)

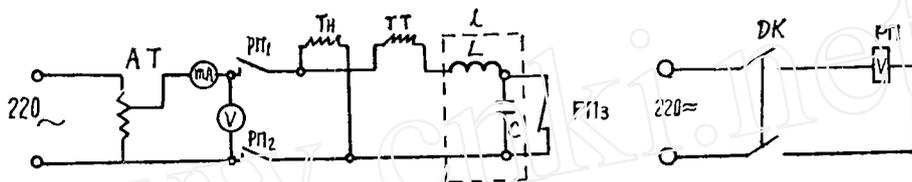


图11. (a) 模拟线路

(b) 控制线路

3. 装置投入系统时，要注意极性关系。我们所说的首半波的正、负，是这样规定的：

对于零序电流规定从母线流向线路为其正方向；对于零序电压规定线路对地电压为其正方向。

4. 装置开孔图和背面接线图示于图16、图17。

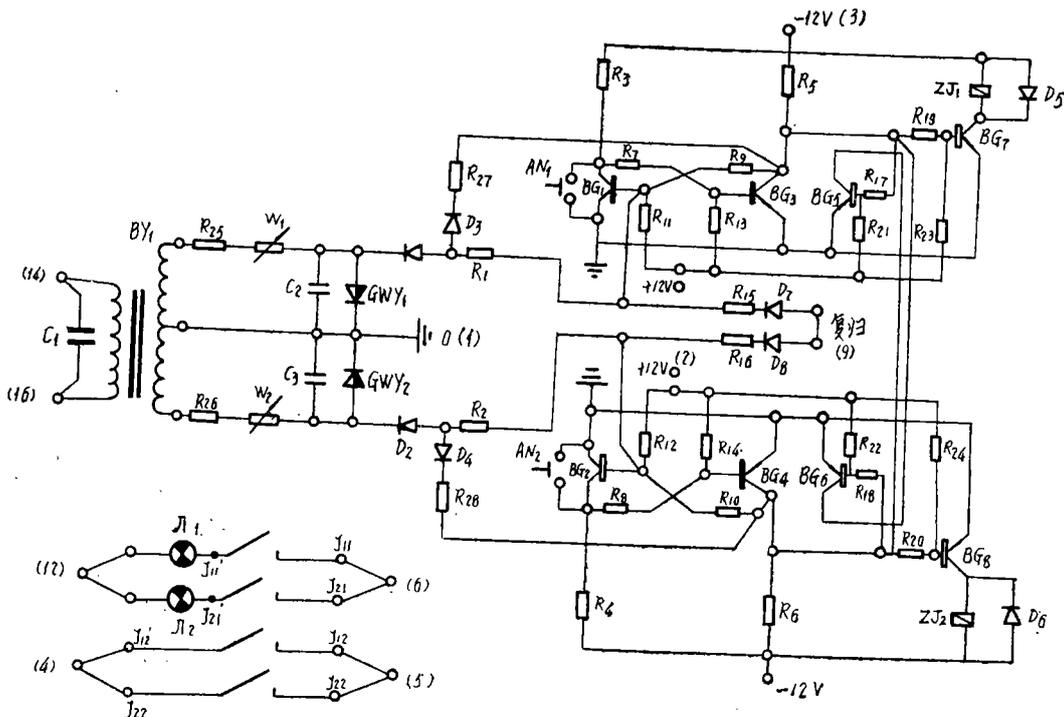


图12 电压元件原理图

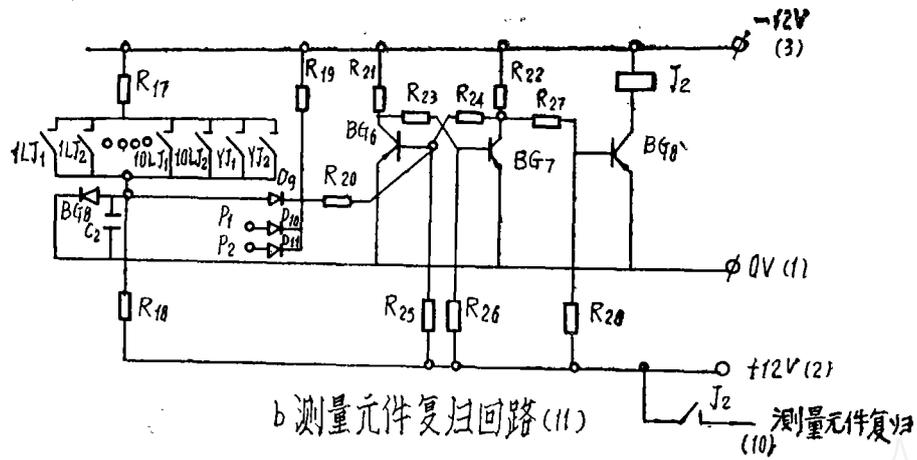


图14 逻辑回路原理图

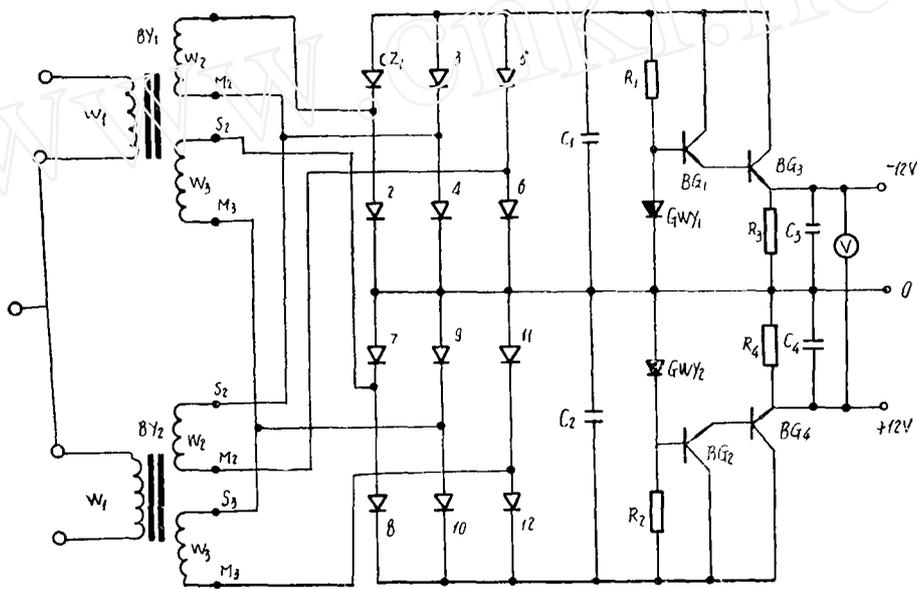


图15

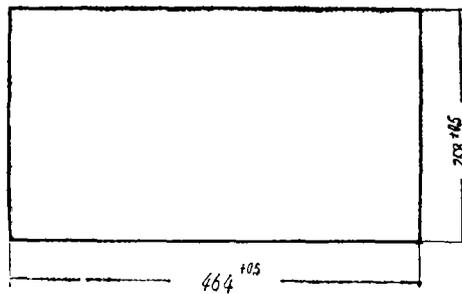


图16

