

整流型功率方向继电器及电路分析

许昌继电器研究所 陈爱钦

一、概 述

功率方向继电器用于继电保护中作为判别功率方向之用。在我国广泛使用GG—10系列功率方向继电器，其中GG—11型用于相间保护，GG—12型用于接地保护。GG—10系列功率方向继电器系采用感应型原理，比较电流电压所产生磁通的相位，产生转动力矩使接点闭合。

用整流型原理同样可以构成功率方向继电器所需要的特性。众所周知，整流型继电器具有制造简单，调整方便，动作迅速，消耗功率较小，可靠性高等优点。所以可以采用整流型功率方向继电器代替GG—10系列感应型功率方向继电器。

目前由许昌继电器厂生产的LG—10系列整流型功率方向继电器可以满足使用的要求。其中LG—11型用于相间保护，LG—12型用于接地保护。

本文着重介绍整流型功率继电器的原理及其交流回路和直流比较电路的分析，可作为设计整流型具有比较电路的继电器的参考。

二、构成原理

继电器采用整流型原理比较电流电压综合量的绝对值。

电流回路：电流通过电抗变压器初级线圈 W_1 其次级得到电压 $I Z y$ 越前于电流 α 角。电抗变压器的铁心具有空气隙。图2是图1的等效电路，将电流电压都归算到次级。其中有

$I' = I \frac{W_1}{W_2}$ ， L 为折算到次级的电抗变压器的励磁电感，则：

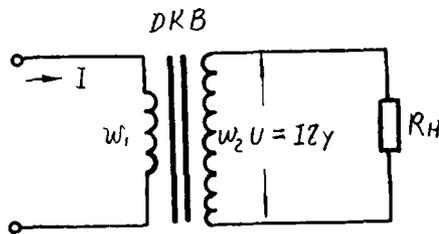


图 1

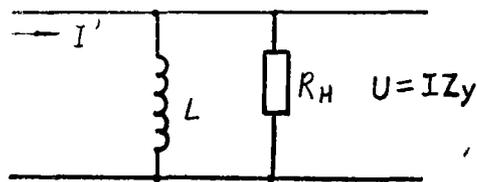


图 2

$$Z y = \frac{j\omega L R_H}{j\omega L + R_H} \cdot \frac{W_1}{W_2} \dots\dots\dots (1)$$

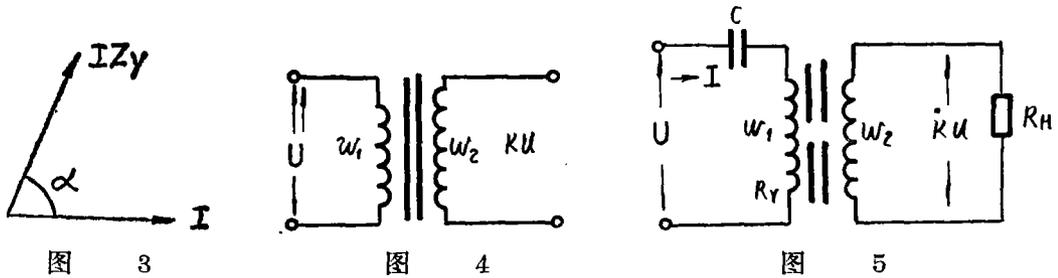
$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{\omega L}{R_H} \dots\dots\dots (2)$$

由于在参数选定的情况下L不易改变，通常采用改变R_H的方法来改变α角，以改变功率方向继电器的内角。电抗变压器的电压电流向量关系如图3。

电压回路对于LG-12型采用变压器(图4)。系统电压u加于变压器初级绕组，其次级得到电压Ku正比于u，其中K为实数。

$$K = \frac{W_2}{W_1} \dots\dots\dots (3)$$

对于LG-11型经谐振变压器(图5)其次级得到电压Ku，其中K值为复数。当回路谐振



时的向量图见图6，其中U_R为谐振回路的等效电阻Rs上的电压降。

$$R_s = R_r + \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^2 R_H + R_M \dots\dots\dots (4)$$

其中R_r为电感线圈的导线电阻，R_H为次级线圈回路总电阻，R_M为电容器的损耗，铁心的损耗等所折合的电阻。当回路参数达到谐振时，I和U同相，u_L越前于u 90°，Ku与UL同相，所以通过谐振变压器后得到的电压越前于系统电压u为90°。

继电器反应电流电压综合量的绝对值，其动作边界条件为：

$$|IZ - Ku| = |IZ + Ku| \dots\dots\dots (5)$$

式中前面一项称为制动电压，后面一项称为工作电压，当工作电压大于制动电压时继电器动作。相等时为边界条件。

在图7中边界上a点满足式(5)条件，由此可见继电器的动作边界为通过坐标原点垂直于向量IZ的一条直线。

LG-12型继电器Ku与u同相，所以动作边界与图7符合，LG-11型由于U落后于Ku 90°，所以动作边界也转90°(见图8)。

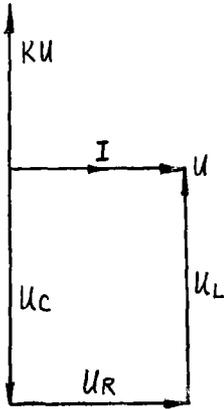


图 6

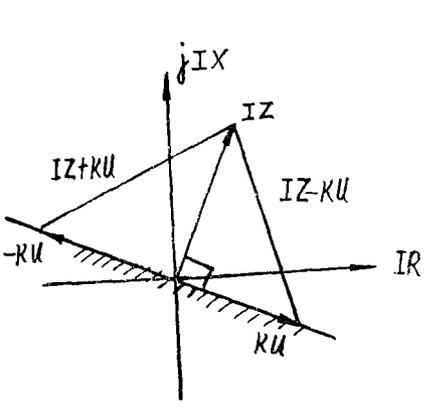


图 7

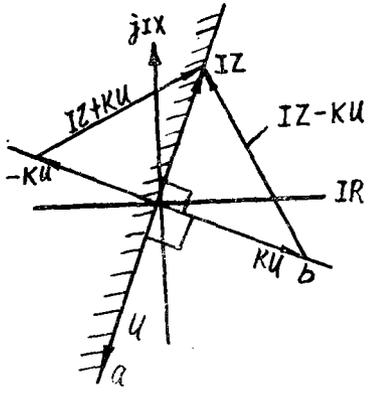


图 8

在图8中边界上a点相应Ku在b点, 同样符合式(5)条件。

在LG-12继电器中向量IZ调在越前于I为70°, 所以LG-12型继电器的最大灵敏角为70°。LG-11型继电器IZ向量调在越前于I为60°或45°, 但由于电压Ku越前于u90°, 所以LG-11型继电器的最大灵敏角为-30°或-45°, 可以通过改变电抗变压器的负载电阻来达到。

整流型电平衡比较回路常用有二种比较方式即均压式与环流式。图9为环流比较方式, 图10为均压比较方式。在LG-11型继电器中采用了环流法比较方式, 而在LG-12型继电器中采用了均压法比较方式。

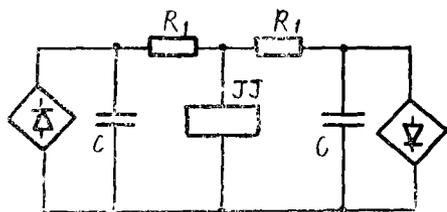


图 9

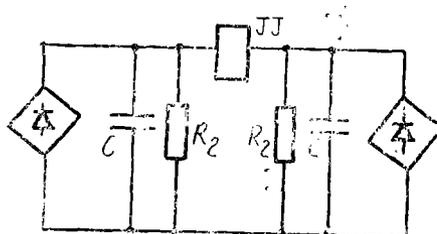


图 10

采用那种比较方式有利要根据与交流回路配合, 以达到较佳的匹配, 灵敏度最高。下面我们阐述这个问题。

三、交流回路的输出特性

对于电抗变压器其等效电路示图11其中L为折算到次级的励磁电感, Rw为次级线圈电阻可见

$$Z_{出} = j\omega L + R_w \dots\dots\dots (6)$$

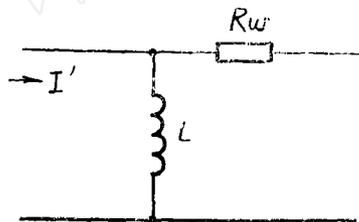


图 11

为了提高灵敏度须减低输出阻抗, 就必须减少线圈导线电阻以及电感L, 但是次级的匝数是由继电器的电流灵敏度及饱和倍数决定的, 所以要减小L就必须增大空气隙, 由于增大空气隙引起电压下降, 必须用增加初级匝数来补偿。但引起电流回路功率消耗的增加。由式(1)当RH开路时可得:

$$Z_y = \omega L \frac{W_1}{W_2} \dots\dots\dots (7)$$

可见当Zy一定时即输出电压一定, 当要增加气隙减少L时必须减小变比 $N = \frac{W_2}{W_1}$, 再由于饱和倍数一定时即每伏匝数是一个定值, 所以W2就定了, 要减小L就必然要增加W1。可以得到功率消耗的增加与内阻的减小成反比关系。在设计时应同时兼顾灵敏度及功率消

耗，同时电流回路的内阻只占整个交流回路内阻的一部分，要和电压回路内阻统一考虑。

对于变压器，励磁电抗很大可忽略不计，其等效电路图12中可见如果忽略L可得：

$$R_{出} = R'_{r1} + R_{r2} \dots\dots\dots (8)$$

其中 R'_{r1} 为折算到次级的线圈电阻， R_{r2} 为次级线圈电阻。令 R_{r1} 为初级线圈电阻，

$N = \frac{W_2}{W_1}$ 为变比则有：

$$R'_{r1} = N^2 R_{r1} \dots\dots\dots (9)$$

对于谐振变压器见等效电路图(13)可得当谐振时其内阻为：

$$R = \frac{L}{CR_s} + R_r \dots\dots\dots (10)$$

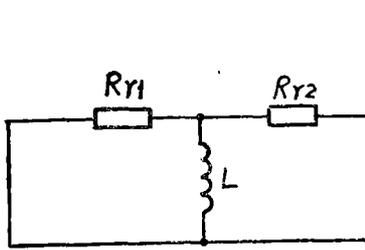


图 12

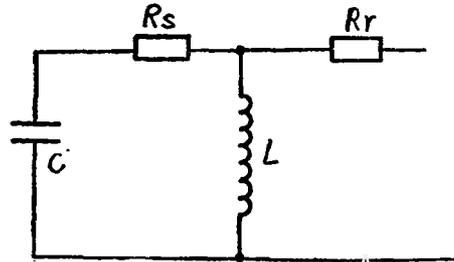


图 13

其中 R_s 为谐振回路等效电阻(见式4)， R_r 为次级线圈导线电阻。

四、比较回路输入特性

令有二个量 a 及 b 其综合量的方程为：

$$|a + b| = |a - b| \dots\dots\dots (11)$$

其输出量为： $c = |a + b| - |a - b| \dots\dots\dots (12)$

此方程与功率方向继电器的动作方程相同。若令 a 与 b 同相，且 $a > b$

则： $c = |a + b| - |a - b| = |a + b - a + b| = 2b \dots\dots\dots (13)$

若 $a < b$ ，则 $c = |a + b| - |a - b| = |a + b - b + a| = 2a \dots\dots\dots (14)$

式中可见其输出量 c 与大的量无关，而只与小的量有关。

若 a 与 b 的方向不同，可以得到输出量的大小与 a 及 b 和 ab 之间的夹角 α 有关，经推导可得：

$$c = \sqrt{a^2 \sin^2 \alpha + a^2 \cos^2 \alpha + 2abc \cos \alpha + b^2} - \sqrt{a^2 \sin^2 \alpha + a^2 \cos^2 \alpha - 2abc \cos \alpha + b^2} \dots\dots\dots (15)$$

但可近似地认为输出量只依赖于较小的量以及夹角 α ，而与大的量无关。

环流式比较回路见图14，当加二个量时，如一个量大，另一个量小，工作电压和制动电

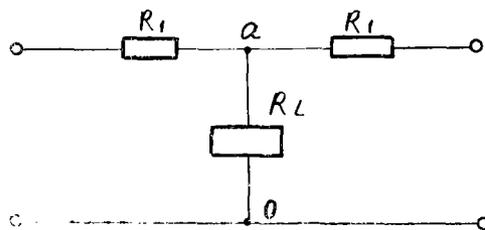


图 14

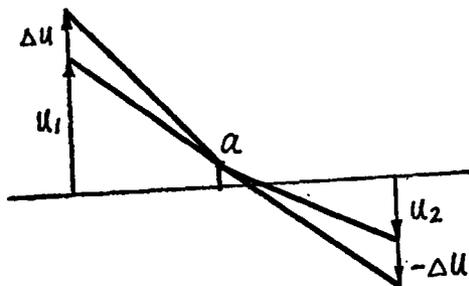


图 15

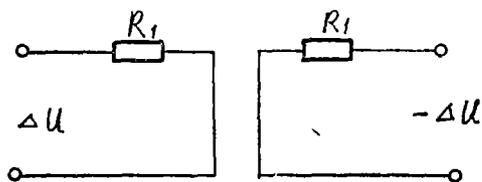


图 16

压分别为 u_1 和 u_2 。当大的量有一增量，工作电压和制动电压分别有增量 Δu 和 $-\Delta u$ 见图15。

由图15可见 a 点的电压不变，即相当于与 o 点短接，所以图14电路对于大的量的等效电路可转化为图17，由此可见对于大的量的输入电阻为：

$$R_{\text{入}}^{\text{大}} = R_1 \dots\dots\dots (16)$$

如果大的量不变，小的量有一增量，工作电压和制动电压分别有增量 Δu ， a 点得到的电压增量为 $\Delta u'$ ，等效电路可转化为图18，由此可见对于小的量的输入电阻为：

$$R_{\text{入}}^{\text{小}} = R_1 + 2R_L \dots\dots\dots (17)$$

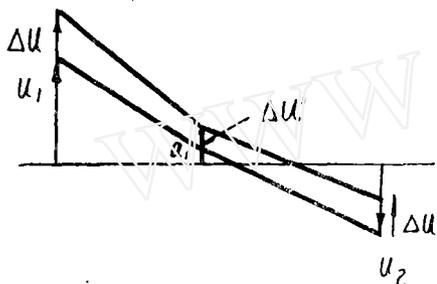


图 17

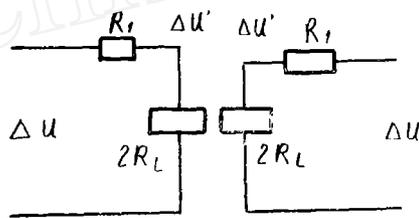


图 18

均压式比较电路见图19，用同样分析方法，对于大的量的等效电路20和对小的量的等效电路图21，可以得到对大的量的输入电阻：

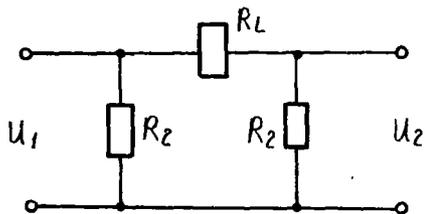


图 19

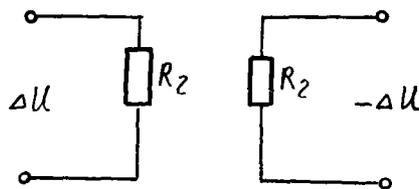


图 20

$$R_{\text{入}}^{\text{大}} = R_2 \dots\dots\dots (18)$$

对小的量的输入电阻：

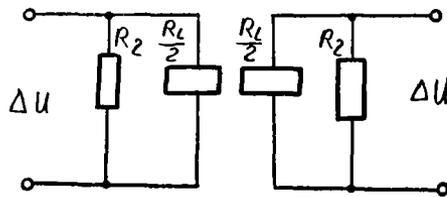


图 21

$$R_{\lambda}^{\text{小}} = R_2 // \frac{1}{2} R_L = \frac{2R_2 R_L}{2R_2 + R_L} \dots \dots \dots (19)$$

从以上分析可以看出，对于不同的比较方式，对于大的量和小的量各有不同的输入特性。这种不同的输入特性和交流回路不同的输出特性配合起来可以得到较好的阻抗匹配关系以达到较高的动作灵敏度。

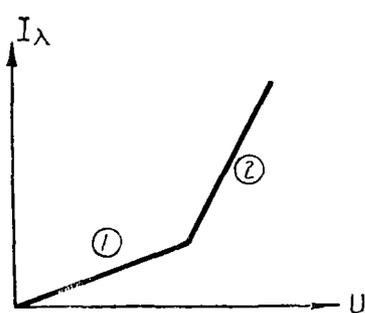


图 22

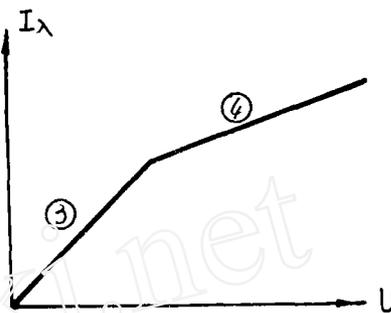


图 23

图22和图23为环流比较式与均压比较式的电压回路输入特性，图中 I_{λ} 为电压回路的输入电流。图中各段的输入电阻 $\frac{d I_{\lambda}}{d u}$ 满足(16)~(19)式即对于①段满足式(17)，②段满足式(16)，③段满足式(19)，④段满足式(18)

在LG-11型继电器中由于电压回路经谐振，输出阻抗较大，因此对于配合环流式比较回路是很有利的。因为对于小的量是电压量，比较回路阻抗较高，而在电压100V时电压量是大的量，高输出电阻与低输入电阻配合而使电压回路功率消耗减小。LG-12型功率继电器由于电压回路经变压器是低内阻，与均压式比较方式小的量低输入电阻相配合，具有较高的灵敏度，而当电压为大的量时，输入电阻增加，可使电压回路功率消耗较小。

另外从上述分析中可以看出，整流型原理二个量比较其输出电压的大小只取决于二个量中较小的一个量，这与感应型继电器有显著不同。感应型继电器的动作力矩反应电流电压量的乘积与角度，当电流增加时，动作电压可减少，而整流型继电器当电流增大时，动作电压是接近不变的。

五、技术指标

LG-11型及LG-12型功率方向继电器主要性能如下：

- ①额定交流电流5A或1A，额定交流电压100V，额定周率为50Hz
- ②继电器的最大灵敏角

(a) LG-11型为 30° 和 45°

(b) LG-12型为 $+70^\circ$

在额定值下最大灵敏角的误差不大于 $\pm 5^\circ$

③在额定电流及最大灵敏角下继电器的最小动作电压不大于2V

④继电器无潜动。在电压回路经 20Ω 短接突然加入与切除10倍额定电流和电流回路开路突然加入与切除电压100V时继电器不应有动作现象。

⑤继电器的返回系数不小于0.45。

⑥在最大灵敏角和额定电流下，接入5倍动作电压继电器动作时间不大于40ms。

⑦继电器的功率消耗：

(a) 电压回路不大于20VA。

(b) 电流回路不大于5VA。

⑧当环境温度为 $+40^\circ\text{C}$ 继电器应能长期耐受1.1倍额定电压和1.1倍额定电流，其线圈温升不超过 60°C 。

⑨继电器与外壳的绝缘电阻在温度为 $+40^\circ\text{C}$ 相对湿度为85%时应不低于 $10\text{M}\Omega$ 。

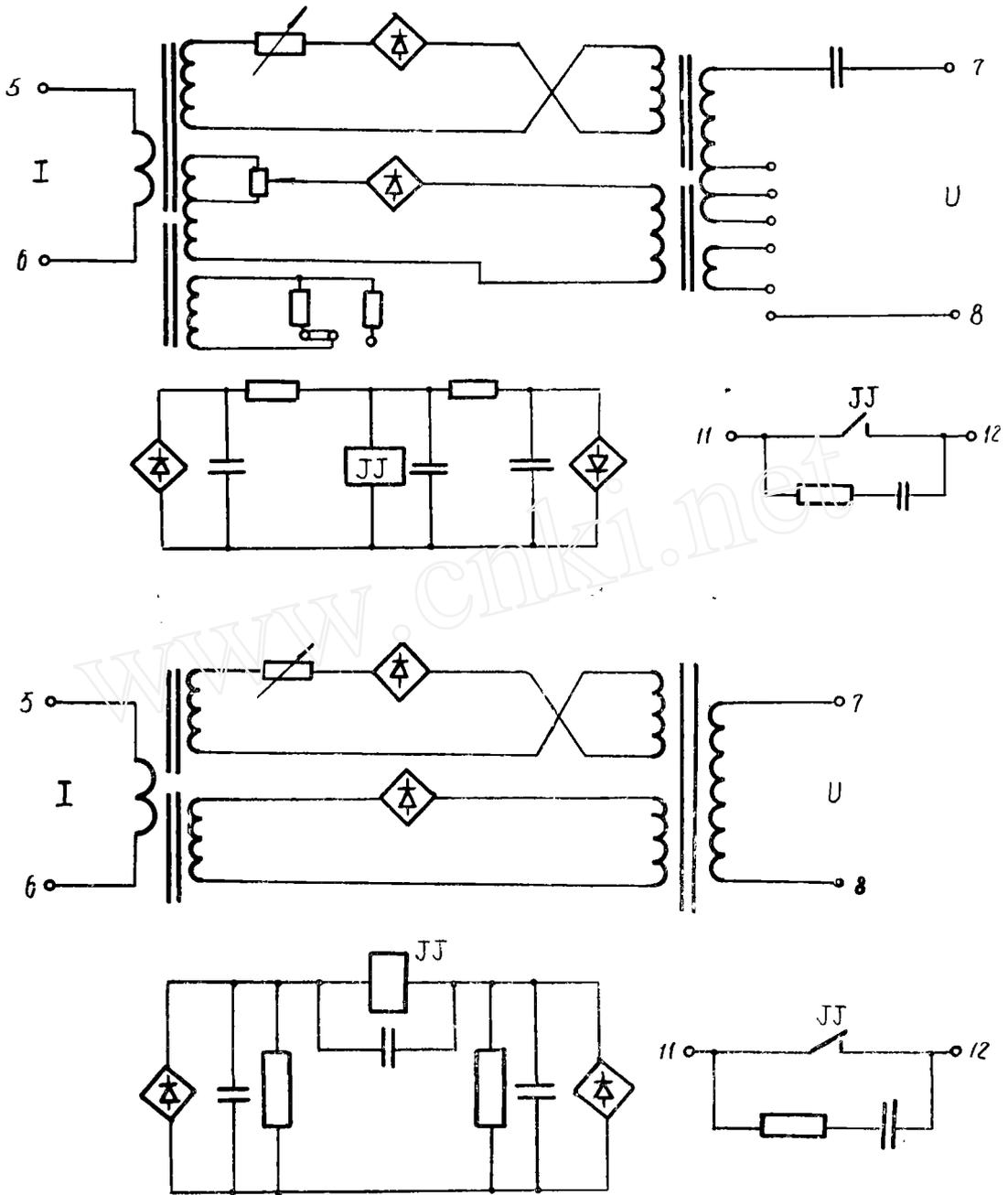
⑩当电压不超过220V电流不超过1A时，继电器接点断开容量在直流有感负荷（时间常数为 5×10^{-3} 秒）电路中为20W

⑪继电器所有电路对外壳的绝缘强度应耐受交流50Hz电压2000V历时1分钟的耐压试验而无击穿或闪络现象

另外必须指出LG-11型继电器与GG-11型继电器有一显著不同点是LG-11型具有电压记忆作用。当出口处发生三相短路，电压自100V突然降到0时继电器能可靠动作而没有死区；而GG-11型则有死区。所以对于某些短线路中如果第一段保护需要带方向性，则LG-11型保证可靠动作。GG-11型一般是将游丝放松以提高灵敏度，这样做只能减小死区电压，但工作可靠性可能比较差，调整也麻烦。所以具有记忆作用的LG-11型继电器在这方面具有一定的优点。如果对于电压互感器接于线路上的，为了消除重合于三相出口处永久性故障引起的拒动，在接线方案中应考虑后加速回路应解除方向性。

整流型原理构成各种继电器及保护装置具有广阔的前途。如前所述，整流型继电器具有很多优点，所以在目前仍有一定的研究与使用价值。由于目前执行继电器采用JH-1Y型极化继电器，此种继电器的灵敏度还不十分理想，所以研究生产高灵敏的执行元件具有重要意义。另外整流器的正向管压降对继电器的灵敏度也有很大的影响，所以建议有关部门继续生产及研究锗系列高反压整流二极管（目前此种二极管已停产）。

附 录：



LG-11及LG-12型功率方向继电器原理电路图