

绝对值比较原理的晶体管 保护继电器的改进

东北电力设计院 李国钧

目前国内生产的晶体管保护继电器种类很多,品种比较齐全。从这些继电器的工作原理看,主要应用相位比较和绝对值比较两种原理。由于后种原理和整流式继电器的工作原理基本相同,所运用的晶体管电路部分比较简单,仅作为高灵敏度的执行元件代替整流式继电器的极化继电器,因此这种原理的晶体管保护继电器为数很多。

通常作为绝对值比较原理继电器的执行元件的晶体管电路是由两只三极管组成的带触发特性的二级直流放大器。它的灵敏度比较高,基本上只反应输入信号的极性,故又称它为零指示器。因此,它也和极化继电器一样,对继电器比较回路的输出信号严格要求为直流量。否则,信号中的谐波分量将成为执行元件工作不可靠的因素。

本文在绝对值比较原理的基础上,对原有晶体管执行元件的功用进行改进,使它不仅作为高灵敏度的极性鉴别元件,同时对输入信号的宽度进行测量,即绝对值比较原理的继电器采用相位重迭角测量原理的测量元件。继电器依然保持绝对值比较原理的固有特点,同时使继电器的动作特性有所改善,而且继电器的接线也得到简化。

1. 改进的依据

绝对值比较原理的保护继电器一般对 U_I 、 U_{II} 两个电气量的绝对值进行比较。一般称 U_I 为工作电压, U_{II} 为制动电压。它们分别按下述关系组成:

$$\begin{aligned}U_I &= k_1 \dot{U}_p + Z_{yI} \dot{I}_p \\U_{II} &= k_2 \dot{U}_p + Z_{yII} \dot{I}_p\end{aligned}$$

式中: U_p 、 I_p 分别为引入继电器的工作电压与电流

Z_{yI} 、 Z_{yII} 分别为工作与制动回路的补偿阻抗

k_1 、 k_2 分别为比例系数

绝对值比较原理的继电器的动作方程式为:

$$|U_I| = |U_{II}|$$

即,当其直流分量 $|U_I|$ 、 $|U_{II}|$ 数值相等时是继电器的动作边界条件;当 $|U_I| > |U_{II}|$ 时继电器的比较回路输出电压 $U = |U_I| - |U_{II}| > 0$,继电器动作;当 $|U_I| < |U_{II}|$ 时继电器比较回路的输出电压 $U = |U_I| - |U_{II}| < 0$,继电器不动作。显而易见,用一个高灵敏度的极性鉴别元件即可作为绝对值比较原理继电器的执行元件,用以区别比较回路输出电压的极性。

绝对值比较原理的继电器为了获得50周的正弦交流电压 U_I 、 U_{II} 的绝对值，一般在电路中设置全波整流回路对 U_I 、 U_{II} 进行整流。由于整流后的电压中除直流分量外不可避免的含有100周的谐波分量（主要的），特别是在继电器边界条件下 $|U_I|=|U_{II}|$ 时，整流后的直流分量相等，互相抵消。剩下的100周谐波分量，因相位的不一致，抵消不掉。结果，当继电器的动作灵敏度较低时此谐波分量使继电器的执行元件输出100周的信号（如执行元件中装有执行继电器时将按100周速率抖动），形成继电器的动作不可靠。

为了消除绝对值比较原理的上述缺欠，一般均考虑改善继电器比较回路输出电压的波纹因数，或加装阻容式滤波器，或装设100周谐振滤波器，或在整流前考虑裂相（把 U_I 分解成三相对称系统或相差 90° 的两相）进行多相全波整流。虽然上述措施可以解决一定的问题，但都使继电器的接线复杂化，而且又不能从根本上消除上述缺欠，有时上述措施还会使继电器的动作快速性劣化。

为了改进绝对值比较原理继电器的上述缺欠，首先，让我们分析一下完全不采取滤波措施时比较回路输出电压的特点。

一般绝对值比较原理的继电器方框图如图1所示。



图1

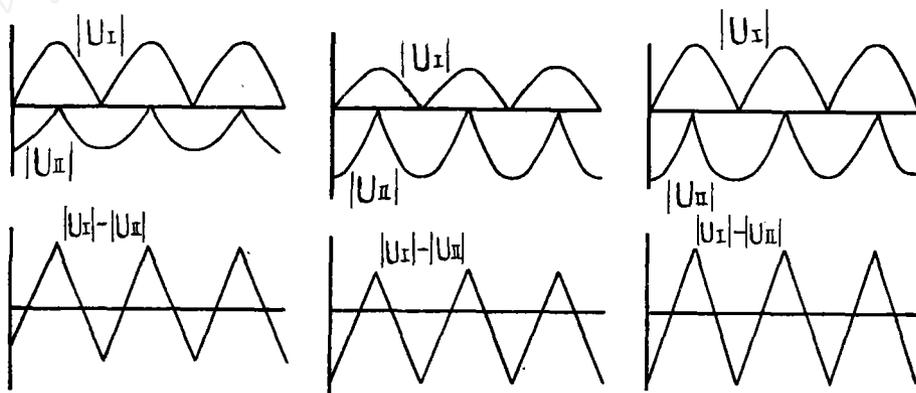


图2(a)

图2(b)

图2(c)

在绝对值比较原理继电器中比较回路输出不进行滤波时，在输入电气量 U_p 、 I_p 为50周交流正弦波前提下，全波整流后的 $|U_I|$ 、 $|U_{II}|$ 的波形和继电器比较回路输出电压的波形分别示于图2。图2(a)为故障发生在保护区外时继电器各环节电压波形图，图2(b)为故障发生在保护区内时继电器各环节电压波形图，图2(c)为继电器动作边界时各环节电压的波形图。对照图2(a)、(b)、(c)可看出，当动作边界时由于 U_I 、 U_{II} 的幅值相等，且为交流正弦波，因此不管二者相位差大小（同相与反相除外）比较回路的输出电压为100周的交变量，且对称于横轴，正负半波宽度均为 90° ；当保护区内故障时 $|U_I| - |U_{II}|$ 的波形不再对称于横

轴，曲线上移，结果正半波宽度大于 90° ，而负半波小于 90° ；当保护区外故障时 $|U_I| - |U_{II}|$ 也不对称于横轴，曲线下移，正半波的宽度小于 90° ，而负半波宽度则大于 90° 。

根据上述分析，对于不进行滤波处理的绝对值比较原理的继电器，由于比较回路输出100周信号相位上的特点，完全可以应用相位重迭角测量原理继电器的测量回路进行角度测量，为保证绝对值比较原理继电器的动作方程式，动作角的判据应为 90° 。为使测量回路的输出信号连续化，继电器中还应设置脉冲展宽回路。

为了说明这种测量回路的工作原理，以下介绍一个用测量输入信号宽度为 90° 的零序功率方向继电器。

2. 零序功率方向继电器

一般功率方向继电器在用绝对值比较原理实现时其动作方程式为：

$$|k3\dot{U}_0 + Z_y 3\dot{I}_0| = |k3\dot{U}_0 - Z_y 3\dot{I}_0|$$

： $\dot{U}_I = k3\dot{U}_0 + Z_y 3\dot{I}_0$ 继电器的工作电压
 $\dot{U}_{II} = k3\dot{U}_0 - Z_y 3\dot{I}_0$ 继电器的制动电压

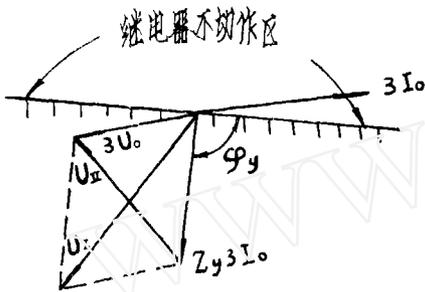


图 3

U_0 为引入继电器的零序电压

I_0 为引入继电器的零序电流

$Z_y = z_y e^{j\varphi_y}$ 继电器的补偿阻抗, $\varphi_y = 110^\circ$

$k < 1$ 为继电器的比例系数

上述继电器的特性曲线示于图 3 上。动作区为 180° ，不动作区也是 180° 。当 $k3U_0$ 与 $Z_y 3I_0$ 相差 90° 时是继电器的边界条件；大于 90° 时继电器不动作，小于 90° 时继电器动作，当二者同相（ $3U_0$ 与 $3I_0$ 夹角为 φ_y ）时继电器最灵敏。

用绝对值比较原理实现的上述继电器原理接线图示于图 4 上。

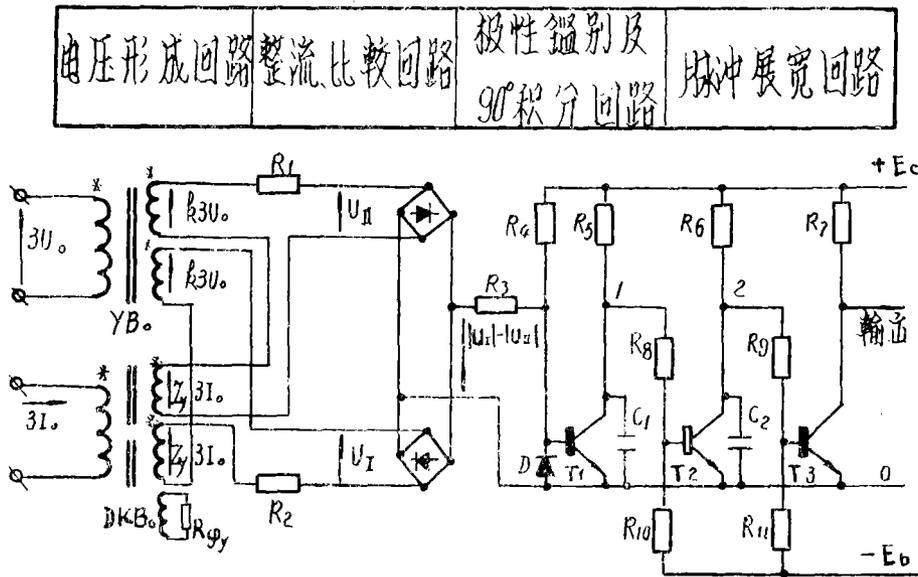


图 4

从图4上看到,继电器的电压形成回路,整流回路及比较回路和一般绝对值比较原理的继电器完全相同。取消了滤波回路,而通常是由100周谐振滤波器及电阻、电容组成。

继电器比较回路的输出电压波形图见图2(a)、(b)、(c)。

继电器晶体管测量回路由极性鉴别, 90° 积分及脉冲展宽回路组成。晶体管 T_1 及 R_4 、 R_5 构成极性鉴别回路,当比较回路输出电压为负值时 T_1 的基极电位高于发射极并保持饱和状态。当输入信号的极性为正时 T_1 基极电位低于发射极电位,在此偏压作用下, R_4 供给的基极电流被分路, T_1 保持截止状态。图4中 C_1 、 R_5 是继电器测量回路的 90° 积分回路,用以测量输入信号正半波宽度。因 $|U_1| - |U_2|$ 瞬时值为正时 T_1 截止, C_1 经 R_5 充电,只有 C_1 上的电压达到 T_2 翻转所需电压值 U_{cp} 时 T_2 才能由截止状态翻转成饱和状态。通过 C_1 与 R_5 参数的选择使 T_1 开始截止到 T_2 翻转有5毫秒的延时。这样, C_1 与 R_5 组成的 90° 积分回路使 T_1 的输入信号 $|U_1| - |U_2|$ 瞬时值正半波宽度小于 90° 时, T_2 均不能反应,只有输入信号宽度 φ 大于 90° 时 T_2 截止时间相当于 $\varphi - 90^\circ$ 。为使信号连续化,通过 C_2 、 R_6 积分回路的作用,随着 T_2 的翻成饱和状态,瞬时地 T_3 变成截止状态。当 T_2 再次截止时, T_3 的状态维持一段时间(延时返回, $t > 10$ 毫秒)在 T_2 周期性地每周波饱和一次时 T_3 即可保持截止状态,输出连续动作信号。

图4的工作程序和各环节的波形图示于图5。图5(a)为继电器动作状态,图5(b)为继电器不动作状态。图5(a)、(b)清楚说明上述测量回路可对图4接线图中比较回路输出100周交变信号的正半波宽度进行正确测量,在继电器动作状态下其测量回路保持输出连续动作信号。

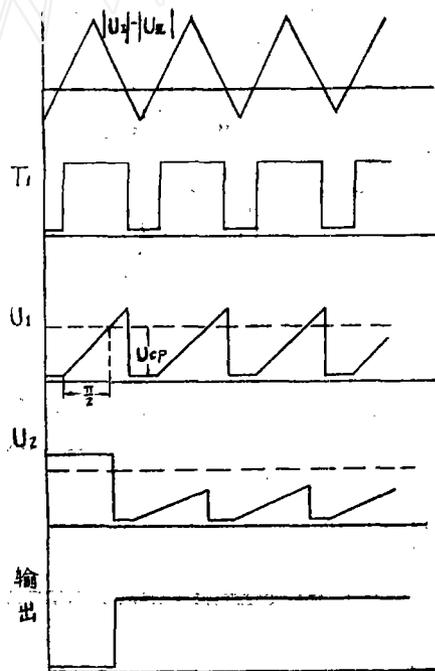


图5(a)

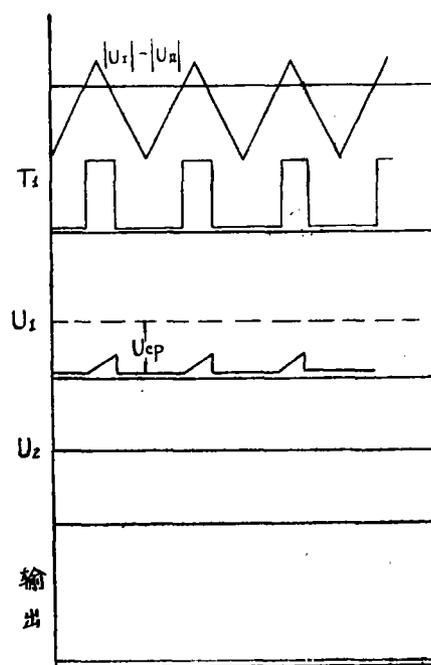


图5(b)

3. 单一量保护继电器

单一量保护继电器系指电流、电压继电器。众所周知，一般晶体管式单一量继电器的实现均采用绝对值比较原理。当其执行元件（幅值测量元件）采用高灵敏度带正反馈的二级直流放大器时存在着一般绝对值比较原理要求输入信号为直流量问题，否则动作边界条件下测量回路因输入信号的谐波分量影响，致使其动作信号不连续，造成出口执行继电器接点抖动。为此也需要改善输入信号的波纹因数，采取裂相整流式附加过滤器等措施。

为简化继电器的接线和改进继电器的性能，参照前节所述的测量元件，单一量继电器的方框图可按图 6 实现。

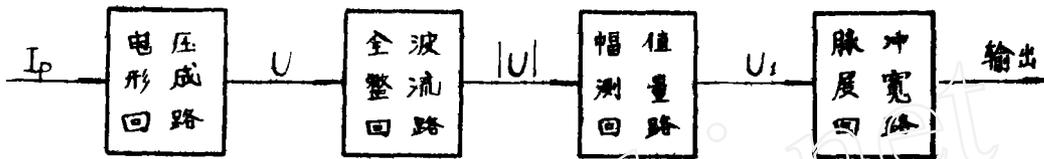


图 6

按上述方框图实现的电流继电器原理接线图示于图 7。

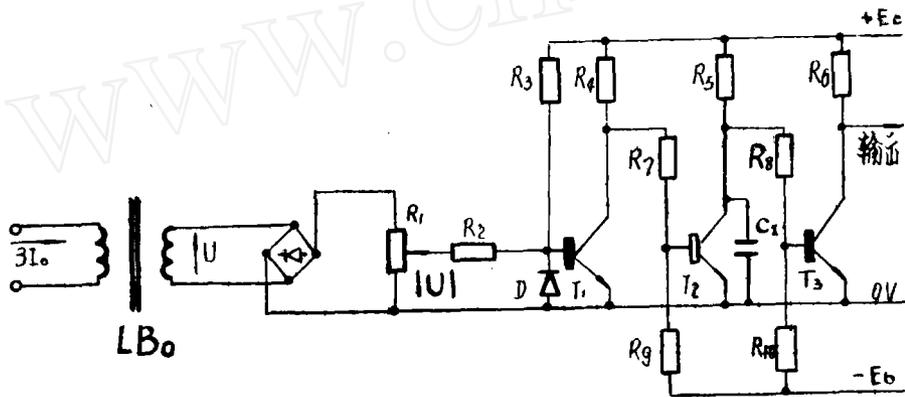


图 7

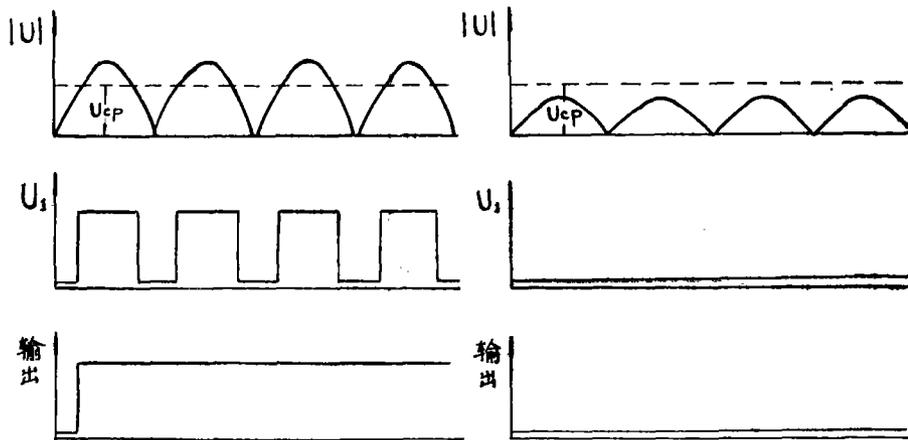


图 8 (a)

图 8 (b)

图7 电流继电器测量元件中由 T_1 、 R_3 组成幅值测量回路,当其输入信号 $|U|$ 的幅值达到 U_{cp} 时 T_1 截止;当 $|U|$ 瞬时值小于 U_{cp} 时 T_1 处于饱和状态。为使继电器输出信号连续化,设置 T_2 、 T_3 组成的脉冲展宽回路。图8(a)为继电器动作状态的各环节输出信号波形图,图8(b)为不动作状态下的波形图。

综上所述,绝对值比较原理继电器采用相位重迭角测量原理的测量回路时可使继电器依然保持其固有特点,但消除了动作边界的不明确区,同时简化了继电器的接线图。

本文所介绍的绝对值比较原理继电器的晶体管测量元件适用于同原理的各种特性继电器。

最后还须指出,当改变积分回路的判据角度时,犹如相位重迭角测量原理继电器在改变重迭角判据条件时特性曲线要变形一样,绝对值比较原理继电器在阻抗平面上的特性也要变形。因此,可使绝对值比较原理的阻抗继电器获得各种圆、叶和扇形以及折线特性。

www.cnki.net