

新型中性点非直接接地电网的接地保护

谢筑森

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:分析了中性点不接地电网中单相接地时的暂态特点。在此基础上设计出一种新型保护装置——暂态电流、频率测量比较装置。它对中性点不接地电网的接地保护提供了一种新的保护手段。

关键词:暂态响应;不接地电网;保护装置

中图分类号:TM774 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)01-0072-04

在 35 kV 及以下电压等级的电力系统中,采用中性点不接地的的工作方式。在这种系统中,当一相发生接地故障时,一般只要求继电器能有选择地发出信号,但在单相接地对人身和设备的安全有危险时,应作用于跳闸。

然而,到目前为止,中性点不接地电网中,绝缘监视装置、零序电流保护、零序功率方向保护,这三种保护各自都有一定的局限性和缺点,所以,还需设计出一种更为完善的保护装置。

本文通过中性点不接地电网单相接地故障时暂态过程的特点,设计出了一种新型保护装置,即暂态电流、频率测量比较装置,它能迅速、灵敏地切除故障。

1 单相接地过渡过程特点

中性点不接地电网中在一般情况下,由于电网中绝缘击穿而引起的接地故障,经常发生在相电压接近于最大值的瞬间,因此,可以将暂态电容电流看成是图 1 两电流之和。

由于故障相电压突然降低而引起的放电电容电流,此电流在图 1 中以 I_{\rightarrow} 表示,它通过母线而流向故障点,放电电流衰减很快,经实测,其振荡频率高达数千赫兹,振荡频率主要决定于电网中线路的参数(R 和 L 的数值),故障点的位置以及过渡电阻的数值。

由非故障相电压突然升高而引起的充电电容电流,此电流在图中以 I_{\leftarrow} 表示,它要通过电源而形成回路。由于整个流通回路的电感较大,因此,充电电流衰减较慢,振荡频率也较低(仅为数百赫)。故障点暂态电容电流的波形见图 2。

在过渡过程中,接地电容电流分量的估算,可以利用图 3 的等效网络来进行,图中表示了网络的分布参数 R 、 L 和 C ,以及消弧线圈的集中电感 L_k ,由于 $L_k \gg L$,实际上它不影响电容电流分量的计算,可以忽略。决定回路自由振荡衰减的电阻 R ,应为接地电流沿途的总电阻值,它包括导线的电阻、大地的电阻以及故障点的过渡电阻。

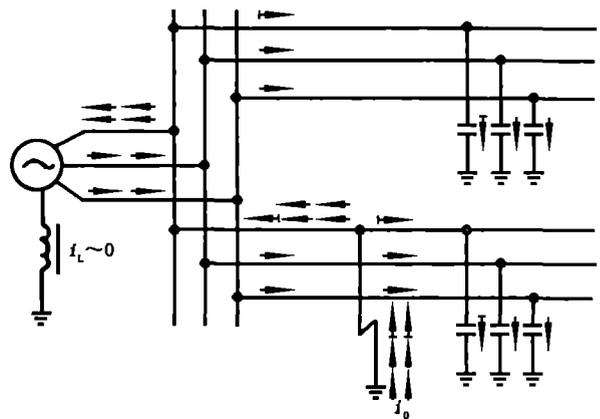


图 1 单相接地暂态电流的分布

由图 3 知,对暂态电容电流分析实际上就是一个 $R、L、C$ 串联回路突然接通零序电压 $\mu(t) = U_m \cos \omega t$ 时的过渡过程的分析。此时流经故障点电流的变化形式主要决定于网络参数 $R、L、C$ 的关系,当 $R < 2\sqrt{L/C}$ 时,电流的过渡过程具有衰减的周期特性,而当 $R > 2\sqrt{L/C}$ 时,则电流经非周期衰减而趋于稳定值。

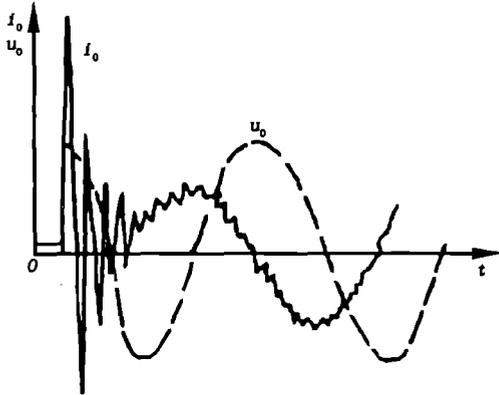


图 2 接地故障暂态电流波形图

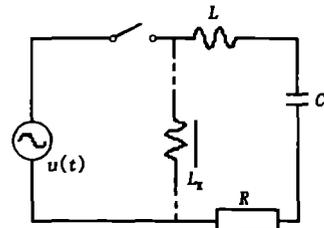


图 3 分析过渡过程的等效网络

对于架空线路,由于 L 较大, C 较小,其 $R < 2\sqrt{L/C}$,因此故障点的电流具有迅速衰减的形式,根据分析和测量的结果,自由振荡频率一般在 $300 \sim 1\ 500$ Hz 的范围内。对于电缆线路,由于 L 很小而 C 很大,因此,其过渡过程与架空线路相比,所经历的时间极为短促且具有较高的自由振荡频率,一般在 $1\ 500 \sim 3\ 000$ Hz 之间。

现对故障点电流变化的特性分析如下:当开关合闸后,可列出图 3 中电压平衡方程式

$$u(t) = u_L + u_C + u_R = L di/dt + iR + u_C = LC d^2 u_C/dt^2 + RC du_C/dt + u_C \quad (1)$$

根据初始条件,当合闸瞬间 $t=0$ 时, $u_C = 0, i = 0$,可以求解得到(求解过程略):

$$i = U_m \omega_0 C e^{-\delta t} \sin \omega_0 t - U_m \omega C \sin \omega t = U_m \omega C [(\omega_0/\omega) e^{-\delta t} \sin \omega_0 t - \sin \omega t] \quad (2)$$

式中 $\delta = R/2L$ 为自由分量衰减系数; $\omega_0 = \sqrt{1/LC}$ 为回路当 $R=0$ 时的谐振频率。

由于 $U_m \omega C$ 是稳态情况下的电容电流最大值 I_{cm} ,又当 $t = T_0/4$ 时, $\sin \omega_0 t = 1$,自由分量数值最大,故可求得过渡过程中前半波的最大电流值

$$i_{\max} = I_{cm} [(\omega_0/\omega) e^{-\delta t} - \sin \omega t] \quad (3)$$

即最大电流和稳态电容电流最大值之比,近似等于谐振频率与工频频率之比,它可能较稳态值大几倍到几十倍。

如果故障是发生在相电压瞬时值为零的附近(例如是由于外界机械的原因而引起单相接地),则电容电流的暂态分量值很小。因此过渡过程中,电容电流的最大值是和发生接地瞬间故障相电压的瞬时值有关的。

2 暂态电流、频率测量比较装置

2.1 原理

根据中性点不接地电网由于绝缘被击穿而发生单相接地故障时,经常是发生在相电压接近于最大值的瞬间,此时接地电容电流的暂态分量较稳态值大很多倍,谐振频率也比工频频率大很多倍的这一特点,设计成一种对电网暂态过程中电流和频率进行监测的装置,从而实现有选择性的继电保护。

2.2 保护装置

暂态电流及频率的测量和比较装置的原理方框图见图 4。当电网发生单相接地故障时,由零序电流过滤器滤出零序电流,经放大器分隔后,分别用来测量暂态电流的幅值和频率的大小,再将所测结果输入至计算机,最后根据计算机预先编入的程序(暂态电流大于基准电流,所测频率大于 6 倍的工频频率,二者同时满足时,计算机送出跳闸信号)判断是否跳闸。

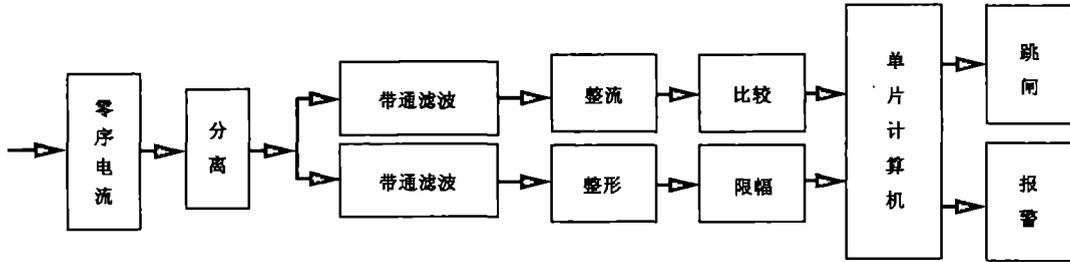


图4 暂态电流频率测量比较原理方框图

2.2.1 零序电流形成回路

为取得零序电流,可以由三相电流互感器取得,它对正序和负序分量的电流三相相加后等于零。因此,正序和负序电流没有输出,从而只输出零序电流。

2.2.2 分离电路

要将零序电流的输出量转换成电压并分成相同的两支路用于下级测量,可由放大器的分离作用来实现。即将输出电压接于放大器的正向端,放大器的反相端直接由馈线接于放大器的输出端,这样,两个并接放大器的输出电压就与零序电流的输出电流成正比,从而,实现了分离作用。

2.2.3 带通滤波电路

由于发电机电势不是完全的正弦波,以及某些负载的非线性的影响,从而使系统的电压及电流中含有谐波分量,而根据分析和测量的结果,当发生一相接地故障时,自由振荡频率一般在 300 ~ 3 000 Hz 的范围内,为使有用频率(300 ~ 3 000 Hz)通过而同时又必须抑制无用频率信号,可以采用带通滤波器来完成。

带通滤波器是由低通、带阻、高通滤波器串联而成,三者覆盖的通带提供了一个带通响应及 50 Hz 工频陷波。图 5 中,放大器 A_1 构成 2 阶低通滤波器, $R_1 = R_2 = 10\text{ k}\Omega$, $C = 0.01\ \mu\text{F}$, $C = C \times 1/4 = 2\ 500\ \text{PF}$, 其截止频率为 $F_c = 3\ 000\ \text{Hz}$, $Q = 1$ 。放大器 A_2 、 A_3 与 RC 双 T 型网络构成带阻滤波器,它的转移特性在谐振频率 $F_0 = 50\ \text{Hz}$ 具有陷落点。由 A_3 、 R_4 、 R_5 提供的正反馈能大幅度改善 Q 的特性,改变 R_5 即可改变 Q 值。 $R_3 = 318\ \text{k}\Omega$, $C_3 = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_3/2 = 159\ \text{k}\Omega$, $2C_3 = 0.02\ \mu\text{F}$ 。若取 $Q = 2.5$, 则 $R_4 = 1\ \text{k}\Omega$, $R_5 = 9\ \text{k}\Omega$ 。放大器 A_4 构成 2 阶高通滤波器, $R_6 = 12\ \text{k}\Omega$, $R_7 = 4R_6 = 48\ \text{k}\Omega$, $C_4 = 0.022\ \mu\text{F}$, 其截止频率为 $F_c = 300\ \text{Hz}$, $Q = 1$ 。放大器采用偏置电流小的 FET 输入的运算放大器 TL082, 电容器选用温度系数小的 CBB 电容, 电阻选用误差为 1% 的精密电阻。

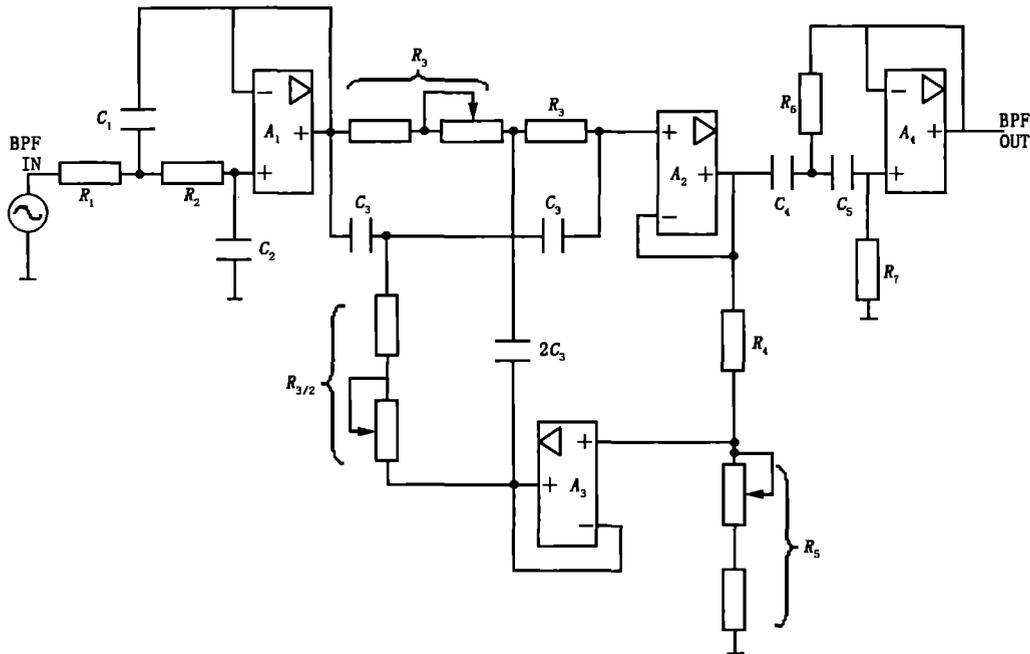


图5 带通滤波电路图

2.2.4 精密整流电路

精密整流电路由电阻、二极管及放大器组成。当输入正弦波的正半周时,反馈二极管导通,输出二极管截止使输出为零;当输入正弦波的负半周时,反馈二极管反向截止,输出二极管导通,放大电路输出为反向放大。从而实现了交流信号转为直流信号,作为下一级的比较电路的输入。当输入电压峰值小于0.01 V时,整流性能仍十分精确,有效克服二极管死区电压的影响。

2.2.5 比较电路

将上一级测得的正弦半波电压的幅值输入到放大器的正向端,将给定的基准电压加入到放大器的反向端,将两者的电压进行比较,并将其结果输入到计算机内。

2.2.6 整形电路

为测得接地时回路谐振频率,就必须将带通滤波器输出的正弦波变换成方波,整形电路可由过零迟滞比较双向限幅器组成。计算机可根据测量出的方波周期 T 及正弦波与方波同周期这一特点,再由 $f=1/T$,得出暂态时电容电流的频率,及谐振频率。

2.2.7 单片机工作过程

单片机在接收到测量信号后,与已设计好的基准值进行比较,若前者大于后者,则输出一负脉冲,其脉冲前沿使单片机中断,在中断服务程序中,对此信号的频率进行测量,若 $300\text{ Hz}\leq f\leq 3\ 000\text{ Hz}$,则判断为系统有故障发生,根据情况送出报警信号或跳闸信号。由于本装置控制简单,占用口线少,程序量不大,故单片机选用89C1051即可满足要求。

3 结束语

经多次试验验证,暂态电流和频率的测量比较装置能够对故障线路发出有选择性的保护信号,快速切除故障,防止故障的进一步扩大,缩短了故障停电的时间,提高了安全供电的可靠性,同时减轻了运行人员的工作量,较之传统的保护有了较大的改进。但是,如果故障发生在相电压瞬时值为零的附近(例如由于外界机械的原因而引起单相接地)时,保护装置就不能正确动作,尽管这种情况极少出现(大约1%左右),也是本装置进一步完善需要解决的主要问题。

参考文献:

- [1] 刘万顺. 电力系统故障分析[M]. 北京:水利电力出版社,1996.
- [2] 谢筑森. 单片机开发与典型应用设计[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1997.
- [3] 何立民. MCS-51系列单片机应用系统设计系统配置与接口技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1999.

(编辑:姚树峰)

A New Model Earth – Protector of Neutral Point Earth – Free Main line

XIE Zhu – sen

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: This paper analyzes the transient character of neutral point earth – free main line in single – phase earthing, and based on the analysis, designs a new model earth protector. The protector responds to both transient current and frequency which are caused when one of the main lines fails to earth, and it is a new protective means for neutral point earth – free main line.

Key words: transient state; earth – free main line; protective equipment