

科研成果

一种自适应电流继电保护算法研究

裴博宇

(国网湖北省电力有限公司荆州供电公司 湖北省荆州市 434000)

摘要: 本文研究了一种自适应电流继电保护算法,该算法能够根据故障后系统的阻抗实时计算结果进行保护整定,并实现对相间电流和零序电流的保护。首先介绍了电流保护的原理,详细阐述了单电源-负荷系统故障的基本原理。其次,提出了故障后系统阻抗的实时计算方法,包括系统负序阻抗、系统零序阻抗和系统正序阻抗的计算。随后,介绍了自适应保护算法的实现过程,包括电流保护整定算法以及程序的实现。最后,通过实验验证了该算法的有效性和可靠性。

关键词: 自适应保护算法; 电流保护; 阻抗计算; 相间电流保护; 零序电流保护

引言: 电力系统中的电流保护是保障系统安全运行的重要保障措施之一。随着电网规模的不断扩大和负荷的增加,电力系统面临着越来越复杂的故障情况,传统的保护算法已经不能满足实际需求。因此,研究一种自适应电流继电保护算法具有重要意义。本文旨在提出一种基于故障后系统阻抗实时计算的自适应保护算法,以提高电力系统的保护可靠性和灵活性。

1. 电流保护的原理

电力系统的运行状态可以分为正常运行、异常运行和故障状态。在正常运行情况下,继电保护装置处于待命状态,不发出信号。而在异常运行情况下,继电保护装置会发出信号以提示存在问题。故障状态通常指线路发生短路等故障情况,此时继电保护装置会动作并跳闸以切断电流^[1]。在系统正常运行时,线路中流过的电流是负荷电流,而当线路发生短路时,线路中的电流会从负荷电流升高为短路电流。因此,电流保护是一种反映电流升高的保护形式。

通常,电流保护可以分为三段,即阶段式电流保护。第一阶段是电流速断保护,用于快速检测电流异常并触发保护动作。第二阶段是限时电流速断保护,它在电流异常持续一定时间后触发保护动作,以避免误动作。第三阶段是定时限过电流保护,它在电流异常持续一段时间后触发保护动作,以保护系统设备免受过载或短路等故障的影响。

2. 自适应电流继电保护算法

2.1 单电源-负荷系统故障基本原理

电力系统中常见的短路故障包括单相接地、两相短路、两相接地和三相短路等情况。在出现非对称性短路

时,保护装置会产生负序电压和负序电流;而在出现接地短路时,保护装置会产生零序电压和零序电流。通过序网络法进行分析,可以发现在短路时,负序网络中的电源位于短路点,而不像正序网络中的电源位于保护装置所在的系统侧^[2]。因此,可以利用保护装置测量到的负序电压和负序电流来计算系统侧的负序阻抗,同时,可以利用保护装置测量到的零序电压和零序电流来计算系统侧的零序阻抗。另外,在短路故障的处理过程中,还需要考虑保护装置的動作时间。短路故障会导致电流迅速增大,若保护装置的動作时间过长,则会造成设备损坏或安全隐患。因此,保护装置需要具备快速响应的能力,能够在短时间内检测到短路故障并采取相应的保护措施。

2.2 故障后系统阻抗实时计算

2.2.1 系统负序阻抗

系统的负序阻抗是指在非对称性短路故障情况下,根据保护装置测量得到的负序电压和负序电流,计算出的系统侧的负序阻抗值^[3]。负序阻抗是衡量系统在非对称故障条件下的电气特性的重要参数之一。负序阻抗的计算可以通过序网络法来实现。首先,根据保护装置测量得到的负序电压和负序电流,可以得到负序电压和负序电流的相量值。其次,利用负序电压与负序电流的相量值,可以计算出负序阻抗的幅值和相位角。系统的负序阻抗 $Z_{x\tau2}$,公式表示为:

$$Z_{x\tau2} = U_{bh2} / (-I_{d2}) \quad (1)$$

式中, U_{bh2} 、 I_{d2} 表示保护装置测量到的参数,具体如图1所示。

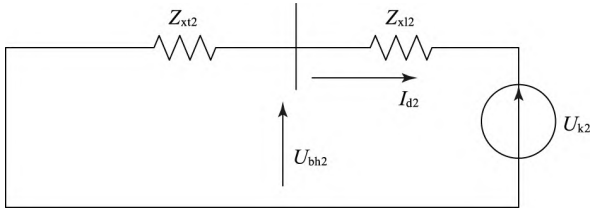


图 1 线路 k 点故障的负序图 (U_{k2} 为故障点的负序电压)

2.2.2 系统零序阻抗

系统的零序阻抗是指在接地短路故障情况下, 根据保护装置测量得到的零序电压和零序电流, 计算出的系统侧的零序阻抗值。计算系统的零序阻抗需要使用序网络法。首先, 通过保护装置测量得到的零序电压和零序电流, 可以得到相量值。其次, 利用零序电压和零序电流的相量值, 可以计算出零序阻抗的幅值和相位角。系统的零序阻抗 Z_{x0} , 公式表示为:

$$Z_{x0} = U_{bh0} / (-I_{d0}) \quad (2)$$

式中, U_{bh0} 、 I_{d0} 表示保护装置测量到的参数, 具体如图 2 所示。

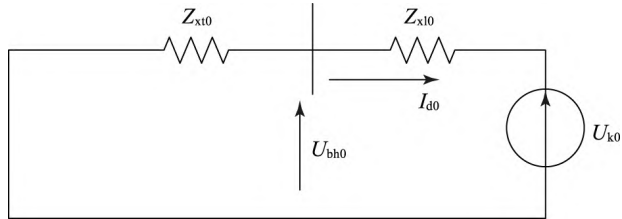


图 2 线路 k 点故障的零序图 (U_{k0} 为故障点的零序电压)

2.2.3 系统正序阻抗

系统的正序阻抗是指在正常运行条件下, 根据保护装置测量得到的正序电压和正序电流, 计算出的系统侧的正序阻抗值^[4]。计算系统的正序阻抗通常采用阻抗测量法或模型参数法。阻抗测量法通过注入正序电流, 测量正序电压和电流的幅值和相位差, 从而计算得到正序阻抗的幅值和相位角。模型参数法则基于系统的等效电路模型, 通过拟合测量数据, 计算得到正序阻抗的参数值。

系统的正序阻抗 Z_{x1} , 有两种计算方式。

方法 1:

$$Z_{x1} = (E_{xt} - U_{bh1}) / I_{d1} \quad (3)$$

式中, E_{xt} 表示系统电势; U_{bh1} 、 I_{d1} 表示保护装置能测量到的参数。

由于系统电势无法取得, 所以本研究不采用此种计算方式。

方法 2:

$$Z_{x1} = U_{k1} + Z_{x11} / I_{d1} \quad (4)$$

式中, Z_{x11} 表示从电流互感器安装处到故障点的线

路阻抗; U_{k1} 表示故障点处的正序电压; I_{d1} 表示保护装置能测量到的参数, 具体如图 3 所示。由于故障点处无电压互感器, 所以无法取得其正序电压。所以本研究不采用此种计算方式。

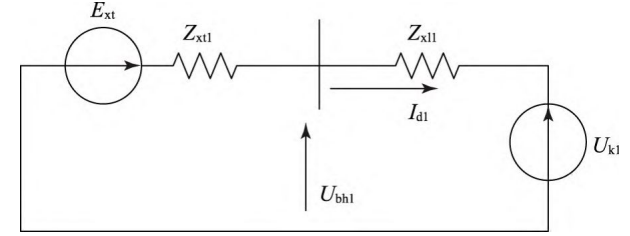


图 3 线路 k 点故障的正序图 (U_{k1} 为故障点的正序电压)

在电力系统中, 各元件的正序阻抗与负序阻抗通常是相等的, 除了发电机。这一特性使得在与发电机电气距离较远的电网相关计算中, 可以近似认为系统的正序阻抗与负序阻抗相等^[5]。因此, 当发生故障时, 保护装置可以根据实时测得的参数来计算系统的负序阻抗和零序阻抗。

在故障瞬间, 保护装置需要快速准确地判断故障类型并采取相应的保护措施。通过实时计算得到的系统负序阻抗和零序阻抗可以为保护装置提供重要的参考信息。然而, 由于系统正序阻抗无法实时计算, 可以将系统负序阻抗近似地赋值给系统正序阻抗, 以便进行保护装置的准确计算和操作。

需要注意的是, 虽然正序阻抗与负序阻抗在大多数情况下相等, 但在某些特殊情况下可能存在差异。例如, 当电力系统中存在非对称负载或非对称故障时, 正序和负序阻抗可能会有所不同。因此, 在实际应用中, 需要根据具体情况进行细致的分析和计算, 以确保保护装置的准确性和可靠性。

基于上述分析, 确定系统的正序阻抗 Z_{x1} 公式表示为:

$$Z_{x1} = Z_{x2} \quad (5)$$

3. 自适应保护算法的实现

3.1 电流保护整定算法

3.1.1 相间电流保护

当发生相间短路故障时, 保护装置会根据公式 (1)

实时计算负序系统阻抗 Z_{x2} , 并根据公式 (5) 计算 Z_{x1} 。

三相短路电流值 I_{d1} , 公式表示为:

$$I_{d1} = E_{xt} / (Z_{xt} + Z_{x1}) \quad (6)$$

式中, Z_{xt} 表示系统阻抗; Z_{x1} 表示短路点到保护所在变电站的母线之间的阻抗。

保护整定值 I_{bhdz} ，公式表示为：

$$I_{bhdz} = KI_{d1} \quad (7)$$

式中， I_{bhdz} 表示电流保护动作整定值； K 表示保护整定的可靠系数。

保护装置在判断保护是否应该动作时，通常会将实时计算的系统阻抗与当前测量到的故障电流进行比较。该比较过程是为了确定保护装置是否需要触发动作来隔离故障并保护电力系统的安全运行。

3.1.2 零序电流保护

发生接地短路故障时，保护装置根据公式（1）进行实时计算，得到负序系统阻抗 Z_{xt2} ；根据公式（5）计算得出 Z_{xt1} ；根据公式（2）计算得到零序阻抗 Z_{xt0} 。

单相接地短路零序电流值 I_{d0} ，公式表示为：

$$I_{d0} = E_{xt} / (Z_{xt1} + Z_{xt2} + Z_{xt0}) \quad (8)$$

两相接地短路零序电流值 I_{d0}' ，公式表示为：

$$I_{d0}' = E_{xt} / (Z_{xt1} + Z_{xt2} // Z_{xt0}) \quad (9)$$

式中， $Z_{xt2} // Z_{xt0}$ 表示阻抗 Z_{xt2} 与 Z_{xt0} 并联后的阻抗值。

实时保护整定值 I_{bhdz0} ，公式表示为：

$$I_{bhdz0} = K \cdot \max(I_{d0}, I_{d0}') \quad (10)$$

式中， K 表示保护整定的可靠系数。

保护装置会根据实时系统阻抗计算的实时保护整定值与当前测量到的故障电流进行比较，以确定是否需要触发保护动作。当发生故障时，保护装置会测量故障电流的大小，并将其与实时系统阻抗计算的保护整定值进行比较^[6]。如果测量到的故障电流超过了保护整定值，保护装置会判断该故障需要保护，并触发相应的保护动作。保护动作包括断开故障电路、切除故障源、切换备用电源等，以防止故障进一步蔓延，保护电力系统的安全运行。

3.2 程序的实现

程序实现步骤如下：

步骤 1：在故障发生时，保护装置的故障启动程序将启动保护动作判别程序，以确定是否需要触发保护动作。

步骤 2：保护程序会抽取一个或半个周期的保护级电压和电流采样数据，并使用傅里叶算法计算该抽取周期内的三相电压和电流相量。

步骤 3：采用相序转换算法计算抽取周期内的负序电压、电流相量和零序电压、电流相量，从而得到保护装

置位置的负序电压、零序电压以及通过该线路的负序电流和零序电流。

步骤 4：保护装置使用公式（1）和（2）来计算系统的负序阻抗和系统的零序阻抗。

步骤 5：将系统的负序阻抗赋值给系统的正序阻抗。

步骤 6：根据预先输入到装置中的线路单位长度阻抗、线路长度、系统电势和保护整定可靠系数，计算从保护装置位置到线路末端的线路阻抗、线路末端发生三相短路时的短路电流以及线路末端发生接地短路时的短路电流。

步骤 7：根据公式(7)和(10)计算保护的实时整定值。

步骤 8：将实时计算得到的整定值与步骤 3 中计算得到的电流相量进行对比，以确定保护装置是否需要触发保护动作。如果对比结果表明需要保护动作，保护装置的电流速断保护将跳闸。如果对比结果表明不需要保护动作，则进入步骤 9。

步骤 9：查询故障启动程序是否返回。如果返回，表示故障判别程序已完成其任务，程序结束。如果未返回，则回到步骤 2，继续采集和计算电压和电流数据，以及计算阻抗和短路电流等参数。

结语：本文研究了一种自适应电流继电保护算法，该算法能够根据故障后系统的阻抗实时计算结果进行保护整定，并实现对相间电流和零序电流的保护。通过实验验证，该算法表现出较高的保护可靠性和灵活性，能够有效提高电力系统的保护性能。未来的研究方向可以在进一步优化算法的计算效率和精度，以及考虑更复杂的系统结构和负荷特性方面展开。

参考文献：

- [1]程秀芝,程军,关付生等.基于距离保护的输电线路继电保护设计研究[J].能源技术与管理,2023,48(05):36-38+55.
- [2]曹磊,葛飞,高山等.基于柔性限流器的直流配电网继电保护研究[J].微型电脑应用,2023,39(10):110-113.
- [3]习莉,梁庆光.基于数值计算的过电流继电保护整定值获取研究[J].自动化技术与应用,2023,42(10): 28-32+49.
- [4]邱平.电力系统继电保护常见故障检修技巧与方法[J].光源与照明,2023(08):153-155.
- [5]蔡颢.一种提高电流互感器饱和状态下继电保护可靠性的方法[J].电气开关,2023,61(05):70-72+79.
- [6]丁宝华,杨爱新.高压变频电动机电气控制和继电保护设计优化[J].自动化应用,2023,64(18):92-94.