

自适应零序电流继电保护研究

刘娟¹, 胡徐胜²

(1. 马鞍山职业技术学院 电气工程系, 安徽 马鞍山 243030;

2. 皖江工学院 马鞍山市无线传感网与智能感知工程技术研究中心, 安徽 马鞍山 243031)

摘要: 针对实际电力系统进行了常规零序电流保护与自适应零序电流保护的整定和灵敏度计算。由于自适应零序电流保护能够自动跟踪系统的运行状态, 因此计算结果表明, 与传统零序电流保护相比自适应零序电流保护其保护范围更大、灵敏度更稳定。

关键词: 传统零序电流; 自适应零序电流; 继电保护; 整定计算

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-349X(2020)03-0027-05

DOI: 10.16160/j.cnki.tsxyxb.2020.03.006

Research on Adaptive Zero-Sequence Current Relay Protection

LIU Juan¹, HU Xu-sheng²

(1. Department of Electrical Engineering, Ma'anshan Technical College, Ma'anshan 243030, China;

2. Ma'anshan Engineering Technology Research Center for Wireless Sensor Network and IntelliSense, Wanjiang University of Technology, Ma'anshan 243031, China)

Abstract: The setting and sensitivity calculation of conventional zero-sequence current protection and adaptive zero-sequence current protection setting calculation are carried out for the actual power system. Since the adaptive zero-sequence current protection can automatically track the running state of the system, the calculated results show that compared with the traditional zero-sequence current protection, the adaptive zero-sequence current protection has larger protection range and more stable sensitivity.

Key Words: Traditional zero-sequence current protection; adaptive zero-sequence current; relay protection; setting calculation

自适应零序电流保护是根据运行中电力系统实时的状态、故障类型自动调整动作值和整定值, 做出相应保护的过程^[1]。这一过程是自动的不需要人工参与, 这得益于微机技术的发展, 使得保护范围扩大、可靠性更强。

1 保护系统

设电力系统为双侧电源, 并且系统两侧中性点均为接地, 以保护1处为例(P处有故障), 如

图1所示, 来分析传统零序电流和自适应零序电流在线路上的整定原理及整定方法的特点。

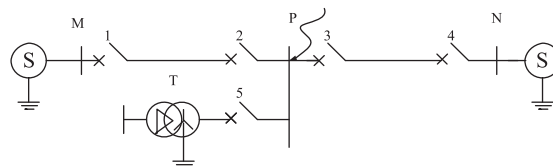


图1 P处故障系统接线图

基金项目: 2018年安徽省高校省级自然科学研究重点项目(KJ2018A0618); 2019年安徽省高校省级自然科学研究重点项目(KJ2019A1275)

作者简介: 刘娟(1982—), 女, 山东章丘人, 讲师, 硕士, 主要从事电气自动化、智能控制研究。

根据系统两侧 M 侧系统、N 侧系统运行方案的不同,设系统各阻抗值如表 1 所示。

表 1 运行方案

运行方案	M 侧系统	N 侧系统	变压器 T	阻抗值/ Ω
方案一	最小运行方式	最小运行方式	接地	$Z_{M1}=Z_{N1}=Z_{M2}=Z_{N2}=35.5,$ $Z_{M0}=Z_{N0}=37.73,$ $Z_{MP1}=Z_{NP1}=Z_{MP2}=Z_{NP2}=19,$ $Z_{MP0}=Z_{NP0}=56, Z_{T0}=Z_{T1}=28.5$
方案二	最小运行方式	最大运行方式	接地	$Z_{M1}=Z_{M2}=35.5, Z_{M0}=37.73,$ $Z_{N0}=18.9, Z_{N1}=Z_{N2}=17.7,$ $Z_{MP1}=Z_{NP1}=Z_{MP2}=Z_{NP2}=19,$ $Z_{MP0}=Z_{NP0}=56, Z_{T0}=Z_{T1}=28.5$
方案三	最大运行方式	最小运行方式	接地	$Z_{M1}=Z_{M2}=17.7, Z_{M0}=18.9,$ $Z_{N0}=37.73, Z_{N1}=Z_{N2}=35.5,$ $Z_{MP1}=Z_{NP1}=Z_{MP2}=Z_{NP2}=19,$ $Z_{MP0}=Z_{NP0}=56, Z_{T0}=Z_{T1}=28.5$
方案四	最大运行方式	最大运行方式	接地	$Z_{M1}=Z_{N1}=Z_{M2}=Z_{N2}=17.7,$ $Z_{M0}=Z_{N0}=18.9,$ $Z_{MP1}=Z_{NP1}=Z_{MP2}=Z_{NP2}=19,$ $Z_{MP0}=Z_{NP0}=56, Z_{T0}=Z_{T1}=28.5$

2 传统零序电流保护

2.1 传统零序电流速断保护

2.1.1 零序电流计算

在图 1 中,先求得 P 处故障点在各种运行方式下的零序电流值,用来作为零序电流速断保护整定值的计算依据。首先需要计算故障点 P 的正序等值阻抗和零序等值阻抗,通常情况下,发电机的正序等值阻抗和负序等值阻抗相等^[2],因此,可以利用负序网络来计算等值系统的正序阻抗。P 处故障系统负序网络和零序网络如图 2 和图 3 所示。

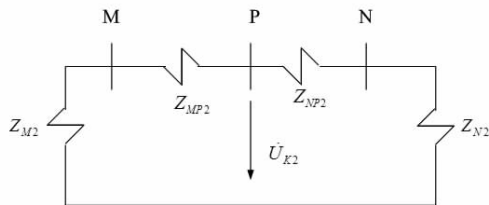


图 2 P 处故障系统负序网络图

(a) P 故障处零序电流计算

单相接地时 P 故障处零序电流:

$$3I_{0,P}^{(1)} = \frac{E}{2Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 0}} \quad (1)$$

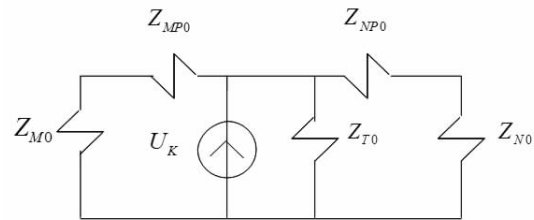


图 3 P 处故障系统零序网络图

两相接地时 P 故障处零序电流:

$$3I_{0,P}^{(1,1)} = \frac{E}{Z_{\Sigma 1} + 2Z_{\Sigma 0}} \quad (2)$$

(b) 保护 1 处零序电流计算

单相接地时保护 1 处零序电流:

$$3I_0^{(1)} = C_{0m} 3I_{0,p}^{(1)} \quad (3)$$

两相接地时保护 1 处零序电流:

$$3I_0^{(1,1)} = C_{0m} 3I_{0,p}^{(1,1)} \quad (4)$$

式(1)~(4)中, E 为系统等效电源的相电势, 200 V; $Z_{\Sigma 1}$ 为故障点 P 的正序等值阻抗; $Z_{\Sigma 0}$ 为故障点 P 的零序等值阻抗; C_{0m} 为实际的零序电流分布系数。

$$Z_{\Sigma 1} = Z_{\Sigma 2} = (Z_{M2} + Z_{MP2}) // (Z_{NP2} + Z_{N2}), \quad (5)$$

$$Z_{\Sigma 0} = (Z_{M0} + Z_{MP0}) // [Z_{T0} // (Z_{NP0} + Z_{N0})], \quad (6)$$

$$C_{0m} = \frac{Z_{T0} // (Z_{NP0} + Z_{N0})}{(Z_{MP0} + Z_{M0}) + Z_{T0} // (Z_{NP0} + Z_{N0})} \quad (7)$$

将表1中的数据代入以上对应公式,整理得出保护1处的零序电流如表2所示。

表2 保护1处的零序电流 A

运行方案	单相接地	两相接地
方案一	548.0	631.3
方案二	591.5	644.7
方案三	740.3	806.8
方案四	814.0	848.8

2.1.2 传统零序电流速断保护整定计算

假设带有0.1 s延时的传统零序电流速断保护,躲开断路器三相不同期合闸时间,速断保护的動作电流按躲开下一线路出口处单相或两相接地时出现的最大零序电流 $3I_{0,max}$ 来整定^[3],以图1中保护1处为例,则传统零序电流速断保护整定值为:

$$I_{act,1}^I = K_{rel}^I 3I_{0,max}, \quad (8)$$

式中, K_{rel}^I 为可靠系数,取1.2~1.3; $I_{act,1}^I$ 为保护1处的零序电流速断保护的動作值。

据表2中数据,躲开下一线路出口处单相接地故障或者两相接地故障时可能出现的最大零序电流 $3I_{0,max} = 848.8$ A,将此数代入式(8), K_{rel}^I 取1.2,则整定零序电流速断保护的動作电流为1018.56 A。

2.1.3 传统零序电流速断保护的保護范围计算

假设系统G处发生故障,如图4所示,其负序网络和零序网络图如图5和图6所示。

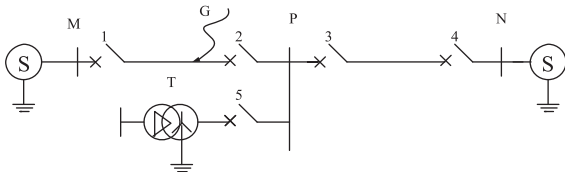


图4 G处故障系统接线图

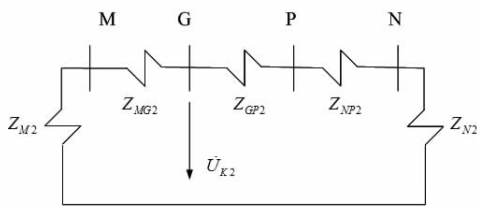


图5 G处故障系统负序网络图

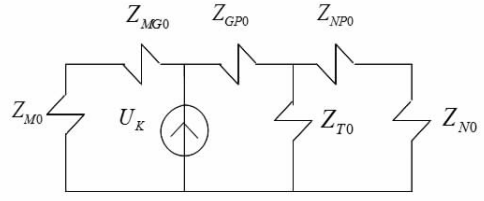


图6 G处故障系统零序网络图

$$Z_{\Sigma 1} = Z_{\Sigma 2} = (Z_{M2} + Z_{MG2}) // (Z_{GP2} + Z_{NP2} + Z_{N2}), \quad (9)$$

$$Z_{\Sigma 0} = (Z_{M0} + Z_{MG0}) // [Z_{GP0} + Z_{T0} // (Z_{NP0} + Z_{N0})], \quad (10)$$

$$C_{0m} = \frac{Z_{GP0} + Z_{T0} // (Z_{NP0} + Z_{N0})}{(Z_{M0} + Z_{MG0}) + [Z_{GP0} + Z_{T0} // (Z_{NP0} + Z_{N0})]} = \frac{Z_{GP0} + Z_{T0} // (Z_{NP0} + Z_{N0})}{(Z_{M0} + Z_{MP0}) + Z_{T0} // (Z_{NP0} + Z_{N0})} \quad (11)$$

设 $Z_{MG2} = x$, 则 $Z_{GP2} = Z_{MP2} - Z_{MG2}$, $Z_{MG0} = 3x$, $Z_{GP0} = Z_{MP0} - Z_{MG0}$, 则保护范围为 $\frac{x}{19} \times 100\%$ 。

将表1中的数据代入式(9)~(11)求解,再将求解值和零序电流速断保护的動作电流1018.56 A代入式(8),求得 x 后,代入保护范围公式得到传统零序电流速断保护范围,如表3所示。

表3 传统零序电流速断保护范围(%)

运行方案	单相接地	两相接地
方案一	52.1	50.5
方案二	60.5	54.7
方案三	81.6	81.4
方案四	86.3	84.7

2.2 传统零序电流限时速断保护

2.2.1 零序电流计算

零序电流限时速断的動作值与下一条线路的零序电流速断相配合,因此设N处有故障,如图7所示,其负序网络和零序网络图如图8和图9所示。

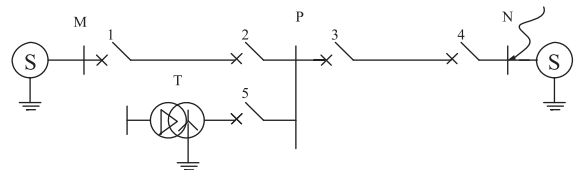


图7 N处故障系统接线图

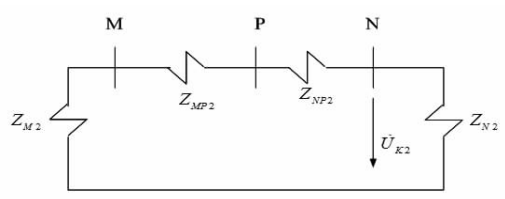


图 8 N 处故障系统负序网络图

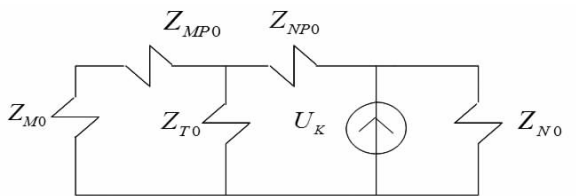


图 9 N 处故障系统零序网络图

故障 N 处的单相接地短路零序电流 $3I_{0,N}^{(1)}$ 和两相接地短路零序电流 $3I_{0,N}^{(1,1)}$ 仍按式(1)(2)计算,只是下标不同,用以区分故障点。

同理,保护 2 处的单相接地短路零序电流和两相接地短路零序电流仍按式(3)(4)计算,也只是下标不同,用以区分保护处。

对应图 8 和图 9,阻抗及分布参数则变为:

$$Z_{\Sigma 1} = Z_{\Sigma 2} = (Z_{M2} + Z_{MP2} + Z_{NP2}) // Z_{N2}, \quad (12)$$

$$Z_{\Sigma 0} = [(Z_{M0} + Z_{MP0}) // Z_{T0} + Z_{NP0}] // Z_{N0}, \quad (13)$$

$$C_{0m} = \frac{Z_{N0}}{[(Z_{M0} + Z_{MP0}) // Z_{T0} + Z_{NP0}] + Z_{N0}}. \quad (14)$$

经计算得到保护 2 处的零序电流如表 4 所示。

表 4 保护 2 处的零序电流 A

运行方案	单相接地	两相接地
方案一	887.1	868.6
方案二	889.6	870.7
方案三	957.3	909.6
方案四	937.6	900.5

2.2.2 传统零序电流限时速断保护整定计算

零序电流限时速断的动作值与下一条线路的零序电流速断相配合,所以保护 2 处零序电流限时速断的动作值为:

$$I_{act,1}^{II} = \frac{k_{rel}^{II}}{K_{o,br}} I_{act,2}^I, \quad (15)$$

式中, $I_{act,1}^{II}$ 为保护 1 的零序电流限时速断动作值; $I_{act,2}^I$ 为保护 2 处的零序电流速断动作值;

$K_{o,br}$ 为零序电流分支系数,按照选择性的要求,其必须取最小值。

$$\text{则 } K_{o,br} = \frac{I_{PN0}}{I_{MP0}} = \frac{Z_{M0} + Z_{MP0} + Z_{T0}}{Z_{T0}} = \frac{18.9 + 56 + 28.5}{28.5} = 3.63。$$

据表 4 有 $3I_{0,max} = 957.3$ A,则整定值为:

$$I_{act,2}^I = k_{rel}^I 3I_{0,max} = 1.2 \times 957.3 = 1148.8 \text{ A}。$$

$$I_{act,1}^{II} = \frac{k_{rel}^{II}}{K_{o,br}} I_{act,2}^I = \frac{1.1}{3.63} \times 1148.8 = 348.1 \text{ A}。$$

为了确定保护最不利的情况下传统零序电流限时速断保护的整定值,需要进行灵敏度校验,校验应按本线路末端最小零序电流来计算。

$$K_{sen} = \frac{3I_{0,min}}{I_{act,1}^{II}} = \frac{548.0}{348.1} = 1.57。$$

灵敏度值大于 1.3~1.5,满足灵敏度要求。由此可确定,传统零序电流限时速断保护的整定值为 348.1 A。

2.2.3 传统零序电流限时速断保护的灵敏度计算

灵敏度 = 本线路末端故障流过保护安装处的零序电流/零序电流限时速断保护的整定值。

例如运行方案二中单相接地时灵敏度为:

$$K_{sen} = \frac{3I_{0}^{(1)}}{I_{act,1}^{II}} = \frac{591.5}{348.1} = 1.70。$$

根据表 2 计算各种运行方案下传统零序电流限时速断保护的灵敏度,结果见表 5。

表 5 传统零序电流限时速断保护的灵敏度

运行方案	单相接地	两相接地
方案一	1.57	1.81
方案二	1.70	1.85
方案三	2.13	2.32
方案四	2.34	2.44

3 自适应零序电流保护

3.1 自适应零序电流保护整定计算

当判断出系统发生接地短路及其短路类型后,自适应零序电流保护按照具体的短路类型和系统运行方式以及接地中性点的分布来整定保护动作值^[4-6]。

自适应零序电流速断保护的動作值按躲开

下一线路出口处单相或两相接地时出现的零序电流 $3I_0$ 来整定,这里以保护 1 处为例。

单相接地时保护 1 处的零序电流速断整定值为:

$$I_{act,1}^I = k_{rel}^I 3I_0^{(1)} = k_{rel}^I C_{0m} 3I_{0,p}^{(1)} \quad (16)$$

两相接地时保护 1 处的零序电流速断整定值为:

$$I_{act,1}^I = k_{rel}^I 3I_0^{(1,1)} = k_{rel}^I C_{0m} 3I_{0,p}^{(1,1)} \quad (17)$$

取 $k_{rel}^I = 1.2$, 将表 2 中数据代入式 (16) (17), 求得自适应零序电流速断保护整定值, 见表 6。

表 6 自适应零序电流速断保护整定值 A

运行方案	单相接地	两相接地
方案一	657.6	757.6
方案二	709.8	773.6
方案三	888.4	968.2
方案四	976.8	1018.6

3.2 自适应零序电流速断保护的保护区计算

假设 G 处发生故障, 如图 4-6 所示。自适应零序电流速断保护范围的计算方法与传统零序电流速断保护范围的计算方法一样。

经计算整理得到自适应零序电流速断保护范围如表 7 所示。

表 7 自适应零序电流速断保护范围 (%)

运行方案	单相接地	两相接地
方案一	84.2	80.0
方案二	87.9	83.2
方案三	89.5	85.3
方案四	88.9	84.7

3.3 自适应零序电流限时速断保护计算

自适应零序电流限时速断的动作值与下一线路的零序电流配合, 整定仍按式 (15) 进行, 但是分支系数 $K_{0,br}$ 取实际数值, 而不是取最小值。

$$K_{0,br} = \frac{I_{PN0}}{I_{MP0}} = \frac{Z_{M0} + Z_{MP0} + Z_{T0}}{Z_{T0}},$$

代入数据求得 $K_{0,br}$ 值为 4.3。

将表 4 保护 2 处的零序电流代入上述公式, 可得表 8 自适应零序电流限时速断保护整定值。

表 8 自适应零序电流限时速断保护整定值 A

运行方案	单相接地	两相接地
方案一	272.3	266.6
方案二	273.1	267.3
方案三	348.1	330.7
方案四	340.9	327.5

3.4 自适应零序电流限时速断保护的灵敏度计算

自适应零序电流限时速断保护的灵敏度的计算公式与传统零序电流限时速断保护的灵敏度的计算公式一样, 只是自适应零序电流限时速断保护的整定值视运行方案自动整定。

例如: 运行方案一的自适应零序电流限时速断保护的灵敏度:

$$\text{单相接地时 } K_{sen} = \frac{3I_0^{(1)}}{I_{act,1}^I} = \frac{548.0}{272.3} = 2.01。$$

$$\text{两相接地时 } K_{sen} = \frac{3I_0^{(1,1)}}{I_{act,1}^I} = \frac{631.3}{266.6} = 2.37。$$

经计算得到各运行方案下的自适应零序电流限时速断保护的灵敏度如表 9 所示。

表 9 自适应零序电流限时速断保护的灵敏度

运行方案	单相接地	两相接地
方案一	2.01	2.37
方案二	2.17	2.41
方案三	2.13	2.44
方案四	2.39	2.59

4 结论

通过对比可看出, 传统零序电流速断保护和限时速断保护因其动作值分别固定为 1018.56 A, 348.1 A, 整定值不变, 所以面对运行方式变化的电力系统, 无法进行很好的保护。而自适应零序电流保护的动作值和整定值可随运行过程和故障类型改变而调整, 可以较好地适应变化的电力系统, 使系统更加稳定。自适应零序电流速断保护较传统零序电流速断保护扩大了保护范围, 例如在运行方案一下, 发生两相接地故障时传统零序电流速断保护范围仅为 50.5%, 而采取自适应零序电流速断保护时其保护范围为 80.0%。自适应零序电流限时速断保护灵敏度也较传统零序电流(下转第 46 页)

5 结论

(1)采用非监督分类、监督分类与面向对象分类三种方法对遥感影像地物信息进行分类提取,经过对比分析发现,面向对象分类方法对矿区地物信息进行了较好的提取,精度更高,在实际工作中应选用此方法对遥感影像地物信息进行分类提取。

(2)总体而言,三种方法的分类精度都没有预想的高,原因是遥感数据本身的空间分辨率和光谱分辨率不高,影像中还是存在着同物异谱和同谱异物的现象,而且影像中有几类地物的几何信息和纹理信息也很相似,致使在分类过程中出现错分,降低了分类的精度;另外,在使用 ENVI 软件进行地物信息提取的过程中,试验次数不够充分,设置参数没有达到最优化,也使得最后的分类精度没有预想中的高。

参考文献:

- [1] 孙天天,邓文彬,马琳.基于面向对象分类的城市土地利用变化检测[J].地理空间信息,2018,16(9):95-98.
- [2] 陈俊任,周晓华,卢兴.基于分层次多尺度

分割的面向对象地物分类方法[J].江西测绘,2018(4):26-29.

- [3] 曹应举,张永彬,郭力娜,等.面向对象的密云县土地利用类型遥感分类方法[J].华北理工大学学报(自然科学版),2018,40(3):19-25.
- [4] 张洁,熊永合,程璐.基于面向对象分类法和高分一号影像的露天矿区分类技术研究[J].青海大学学报,2018,36(1):94-100.
- [5] 于海若,燕琴,董春,等.基于决策树分类的大屯矿区地物信息提取及矿区污染分析[J].测绘与空间地理信息,2016,39(4):67-69.
- [6] 袁定波,刘成林,汪国斌.面向对象的矿区信息提取方法的应用与研究[J].遥感信息,2013,28(2):110-115.
- [7] 朱元峰,况润元,张刚华.基于资源一号 02C 卫星影像的稀土矿区地物提取研究[J].江西理工大学学报,2018,39(3):40-47.
- [8] 王国玺.高分影像在矿山利用现状信息提取中的应用研究[D].武汉:中国地质大学,2015.

(责任编辑:李秀荣)

(上接第 31 页)限时速断保护灵敏度普遍提高,而且前者受运行方式变化和接地短路类型变化的影响不大。综上,自适应零序电流继电保护值得在工程实际中推广。

参考文献:

- [1] 李娟.基于集成保护的自适应线路保护研究[D].北京:北京交通大学,2012.
- [2] 郭倩雯,莫文雄,郑方晴,等.高压内置型变压器空投导致零序电流保护误动分析及对策[J].电力系统保护与控制,2018,46(22):164-170.
- [3] 王友怀,张浩,周虎兵,等.计及涌流影响的

零序电流保护风险评估[J].电力系统保护与控制,2019,47(10):120-126.

- [4] 纪思,李天权,杨桥伟,等.一种基于零序电流的输电线路行波保护雷击干扰识别方法[J].电瓷避雷器,2019(5):37-44,49.
- [5] 曾德辉,王钢,李海锋,等.小电阻接地配电网多回线故障分析与自适应零序电流保护[J].电力自动化设备,2019,39(5):45-52.
- [6] 林志超,刘鑫星,王英民,等.基于零序电流比较的小电阻接地系统接地故障保护[J].电力系统保护与控制,2018,46(22):15-21.

(责任编辑:夏玉玲)