

高压电网各类高频保护的综合同整定计算实用程序

东北电力学院 王静茹

摘要

本文着重介绍220kV及以上线路的主保护(包括相差高频、方向高频、距离高频保护)采用计算机进行综合整定计算的方法,并按此方法编制了FORTRAN语言的源程序,在VAX-11/750机上调通,代入例题试算结果正确。

程序的特点是采用了占用内存少的稀疏导纳阵,计算中考虑了零序互感的影响。程序中短路电流、相差高频保护整定、方向高频保护整定、距离高频保护整定计算的子程序分别独立,适应性强,运用灵活,使用方便。特别是相差高频保护中的九族灵敏度曲线、方向高频保护中的负序动作功率曲线已全部编入程序中,可在程序中自动校验灵敏度,从而减小了人工校验的麻烦。程序可适用于220kV及以上的电力系统,能满足多方面的要求。计算速度快。

概 述

高频保护的特点是动作速度快,因它不需要与相邻元件相配合故可实现全线速动,在电力系统中作为超高压线路的主保护,具有举足轻重的地位。

本文是在原有相差、方向高频保护整定计算程序的基础上,为适应500kV系统的需要,又增加了距离高频保护的整定计算程序,并完善了原有程序,即将相差高频保护的九族灵敏度曲线及方向高频保护的负序动作功率曲线编入程序中,这样可利用该曲线在程序中自动校验其灵敏度。至此,高压电网的高频保护整定计算程序已趋完整,可以在220kV及以上电力系统中推广使用。

程序的特点:

(1)程序可进行各种类型的短路电流计算(包括三相短路、两相短路、两相接地短路和单相接地短路)计算结果用表格输出。

参考文献

- 1.《大型机组继电保护理论基础》 王维俭 侯炳蕴 水电出版社 1982年
- 2.《同步电机定子绕组故障瞬变全过程数字仿真及其微机继电保护新原理的研究》 尹项根 华中理工大学博士论文 1989年
3. T.S.Sidhu M.S.Sachdev H C wood "DETECTING TRANSFORMER WINDING FAULTS USING NON-LINEAR MODELS OF TRANSFORMERS"
IEE Fourth International Conference on DEVELOPMENTS IN POWER SYSTEM PROTECTION P 70 1989
- 4.《同步电机定子绕组不对称状态的研究》 张龙照 清华大学博士论文 1989年

(2) 程序中考虑了零序互感的影响。在距离高频保护中断相邻支路采用支路追加法。在相差高频保护中, 断相邻支路采用补偿法。断互感支路不仅考虑了相邻线路切除的运行方式, 而且考虑该线路切除后又在两端接地的运行方式, 并在程序中自动比较两种情况下被保护线路的最小零序电流以校验灵敏度。

(3) 相差高频保护起动元件的灵敏度一般是人工校验, 即计算出 I_2 与 $3I_0$ 之后, 在九族灵敏度曲线中找出对应的灵敏度。本程序已将九族灵敏度曲线编入, 可在程序中自动进行校验, 从而减小了人工校验灵敏度的麻烦。同理, 方向高频保护用的负序动作功率曲线也编入程序中, 自动校验负序功率方向元件的灵敏度。

(4) 距离高频保护的整定计算分为两个子程序, 距离 I、II 段为一个子程序, 距离 III 段为一个子程序。因为距离高频保护中只用 I、II 段。若距离保护同时作为后备保护, 需用 III 段。整定计算分为两个子程序, 可根据需要调用, 使用灵活。

本程序的相差高频保护整定计算部分, 曾被东北电力设计院、吉林省电力局调度局、吉林省电力局水力勘测设计院、甘肃省电力设计院等单位所移植。

1 数学模型

1.1 短路电流计算

1.1.1 三相短路

$$I_{df} = (Z_{dd} - Z_{df}) / (Z_{dd} \cdot Z_{df})$$

式中: Z_{dd} —d 点自阻抗;

Z_{df} —df 支路三相短路电流;

Z_{df} —df 节点间互阻抗;

Z_{df} —df 支路阻抗。

1.1.2 二相接地短路

$$I_{df1} = (Z_{dd1} + Z_{dd0}) (Z_{dd1} - Z_{df1}) / (Z_{dd1} + 2Z_{dd1} \cdot Z_{dd0}) Z_{df1}$$

$$I_{df2} = (Z_{dd1} - Z_{df1}) Z_{dd0} / (Z_{dd1} + 2Z_{dd1} \cdot Z_{dd0}) \cdot Z_{df1}$$

无互感支路零序电流计算公式如下:

$$I_{df0} = (Z_{dd0} - Z_{df0}) / (Z_{dd1} + 2Z_{dd0}) Z_{df0}$$

有互感支路零序电流计算公式如下:

$$I_{df0} = [Y_{df-df} (U_d - U_f) + Y_{df-pq} (U_p - U_q)] I_{d0} \quad (1.1)$$

1.1.3 单相接地:

$$I_{df} = I_{df2} = (Z_{dd1} - Z_{df1}) / (2Z_{dd1} + Z_{dd0}) Z_{df1}$$

无互感支路零序电流:

$$I_{df0} = (Z_{dd0} - Z_{df0}) / (2Z_{dd1} + Z_{dd0}) Z_{df0}$$

有互感支路零序电流:

$$I_{df0} = [Y_{df-df} (U_d - U_f) + Y_{df-pq} (U_p - U_q)] \cdot I_d$$

1.1.4 断相邻支路 ij 时修正阻抗列向量的方法

1) 相邻支路为无互感支路

根据运行方式要求,当轮流切除相邻一条支路或一个元件时,要重新修正阻抗列向量,再进行短路电流计算;这里采用补偿原理进行阻抗列向量的修正。例如切除ij支路时,利用公式:

$$U = U^{(0)} + I_{ij} \cdot U^{(ij)}$$

即: $U_i = U_i^{(0)} + I_{ij} U_i^{(ij)}$

$$U_j = U_j^{(0)} + I_{ij} U_j^{(ij)}$$

2) 相邻支路为有互感支路

第一步,按单端切除互感支路方法,即先将ij支路从原网中切除,其修正公式为:

$$U^0 = U^{(0)} + I_{ij}^{(0)} \cdot U^{(kij)}$$

第二步,按两端切除互感支路并接地方法即将切除后的支路i'j'两端接地,其修正公式为:

$$U = U^0 + U^{i'j'} \cdot I_{i'j'}$$

最后求出阻抗修正公式为:

$$U_i = U_i^0 + U^{i'j'} \cdot I_{i'j'}$$

互阻抗修正公式为:

$$U_j = U_j^0 + U^{i'j'} \cdot I_{i'j'}$$

在程序中进行两种方法比较后输出断相邻线路后的最小零序电流。

1.2 相差高频保护的整定计算

1.2.1 不对称起动元件

不对称起动元件采用 $I_2 + KI_0$,一般情况下仅使用 I_2 ,当灵敏度不够时才投入 KI_0 。

用两个起动元件QFJ、QTJ。由于两个起动元件灵敏度的配合在继电器内部已经固定。所以只对不灵敏元件QTJ进行整定计算。其整定原则为:

1) 躲最大负荷状态下的负荷不平衡电流:

$$I_{2dz} = 2.5 \times 0.02 \times I_{fhmax} / n_L$$

式中: I_{fhmax} —线路最大负荷电流;

n_L —电流互感器变比。

2) 躲线路一侧充电时非同期合闸的最大负序电容电流:

$$I'_{2dz} = 2 \times L \times I_{2c} / n_L$$

其中: $I_{2c} = [b_1 \cdot b_1 / (2b_1 + b_0)] U_\phi \times 10^{-8}$ (按两相投入考虑)

$I_{2c} = [b_1 \cdot b_0 / (b_1 + 2b_0)] U_\phi \times 10^{-8}$ (按一相投入考虑)

灵敏度校验: $K_{1m} = I_{2min} / (I_{2dz} \cdot n_L) \geq 4$

I_{2min} —被保护线路末端不对称短路时流过保护装置的最小负序电流,若 $K_{1m} < 4$ 时,应加入零序电流起动。

$$I_{2dz} = 2 \times L (I_{2c} + 3 I_{0c}) U_\phi \times 10^{-8} / n_L$$

式中: $I_{0c} = [b_1 \cdot b_0 / (2b_1 + b_0)] U_\phi \times 10^{-8}$ (按两相投入)

$$I_{d2} = [b_1 \cdot b_0 / (b_1 + 2b_0)] U_0 \times 10^{-3} \text{ (按一相投入)}$$

由 I_{d2} 确定 BLH₂ 抽头。当 $n_L \leq 120$ 时, BLH₀ 抽头应在大于 1 的位置。由 BLH₁ 和 BLH₀ 的抽头确定采用哪一族灵敏度曲线, 然后由 I_0 找出对应的 K_{1m2} , 这一计算全部在程序中自动进行。

1.2.2 对称起动元件

$$I_{dz(L1)} = 1.25 I_{1i.max} / 0.85$$

$$I_{dz(L2)} = 1.6 \times I_{dz(L1)}$$

$$K_{1m} = I_{d.min} / I_{dz(L2)} \geq 2$$

当 $K_{1m} > 2$ 时, 采用低电压继电器代替阻抗继电器。

当 $K_{1m} > 2$ 时, 采用阻抗继电器

$$U_{dz} = 0.9 \times U_n / (1.15 \times 1.2)$$

$$K_{1m} = U_{dz} / (1.5 \times I_{dz(L1)} \cdot X_1) \quad X_1 = 0.4L$$

式中 U_n —额定线电压

当 $K_{1m} < 1.5$ 时, 仍采用阻抗继电器

$$Z_{dz} = 2 \times 0.4 \times L \times n_L / n_Y$$

式中 n_Y —电压互感器变比

为了在最大负荷状态下切除外部短路后, 低阻抗起动元件能保证可靠返回, 阻抗继电器的动作特性还要按躲线路负荷阻抗影响来计算。

$$Z_{dz} = Z_{1i.min} / 1.2 / 1.1 / n_Y$$

$$Z'_{dz} \geq Z_{dz} \times 0.55 \{ \cos [\sin^{-1} (0.818 \times \sin(0.855))] + 0.818 \cos(0.855) \}$$

若不满足, 则取 $Z_{dz} = Z'_{dz} / \cos(0.855)$

1.2.3 操作滤波器中K值的选择

$$|I_1 / I_2| \text{按两相接地短路来选择。}$$

1.2.4 闭锁角的整定,

$$\phi_{BS} = 37^\circ + 0.06^\circ L$$

1.3 方向高频保护的整定计算

主要考虑高频闭锁负序功率方向保护的整定计算, 其中起动元件采用正向, 反向功率方向继电器和负序电流继电器

1.3.1 正向负序功率方向元件P⁺的整定

采用相敏负序功率元件时, 正向负序功率元件的整定可简化为按负序电流进行计算。

1) 保证被保护线路末端故障时有足够的灵敏度。

$$I_{dz}(+) = I_{2i.min} / K_{1m}$$

式中: $I_{2i.min}$ —被保护线路末端短路时, 流经本侧的最小负序电流。

K_{1m} —灵敏度系数, 一般取 1.5~2。

2) 躲空载线路二相先合时出现的稳态负序电容电流。

$$I_{dz}(+) = K_k \cdot I_{2c} \cdot L$$

式中, K_k —考虑负序电容电流暂态过程的可靠系数, 一般取2.5~3,

L —线路长度, 单位: 公里,

I_{2c} —线路一侧投入电源时, 由于三相触头不同时合闸引起的负序电容电流每公里长度的稳态值。两者取大者为定值。

1.3.2 反向功率方向元件 P^- 的整定

$$I_{dz}(-) = I_{dz}(+) / K_k$$

式中, K_k —可靠系数, 一般取1.5~2

1.3.3 负序电流元件的整定

1) 应比本侧正向负序功率元件的动作电流 $I_{dz}(+)$ 更灵敏。

$$\text{即: } I_{dz.2} = I_{dz}(+) / K_{I.m}$$

式中, $K_{I.m}$ —灵敏系数, 取1.5~2

2) 应躲开线路在最大负荷电流 $I_{fh.max}$ 下的不平衡电流 I_b ,

即: $I_{dz.2} = (K_k \cdot I_b) / n_L = (0.02 I_{fh.max}) K_k / n_L$

式中, K_k —可靠系数, 取1.5。

1.3.4 负序功率方向元件灵敏度校验

$$K_{I.m} = P_{2.min} / P_{dz.2}$$

式中: $P_{2.min}$ —被保护线路末端短路时, 流过本侧保护的最小负序功率。

$$P_{2.min} = U_2 \cdot I_2$$

$P_{dz.2}$ —根据程序中的 $P_2 = f(I_2)$ 曲线自动输出。

1.4 距离高频保护整定计算

$$Z_{dz} = K_k \cdot Z_L$$

$$Z_{dz} = K_k \cdot Z_L + K_k \cdot K_{fz.min} \cdot Z'_{dz}$$

$$\text{或 } Z_{dz} = K_k \cdot Z_L + K_k \cdot K_{fz.min} \cdot Z_B$$

$$K_{L.m} = (Z_{dz} / Z_L) \geq 1.5$$

式中: $K_{fz.min}$ —最小分支系数, Z'_{dz} —被配合线路距离 I 段定值,

Z_B —被配合变压器阻抗。

若 $K_{L.m}$ 不满足要求, 则与相邻线路距离 II 段配合。

距离 III 段的整定按躲线路最小负荷阻抗。

对全阻抗

$$Z_{dz} = Z_{fh.min} / (K_k \cdot K_h \cdot K_{xq}) = 0.9 U_e / (K_k \cdot K_h \cdot K_{xq} \cdot I_{fh.max})$$

对方向阻抗

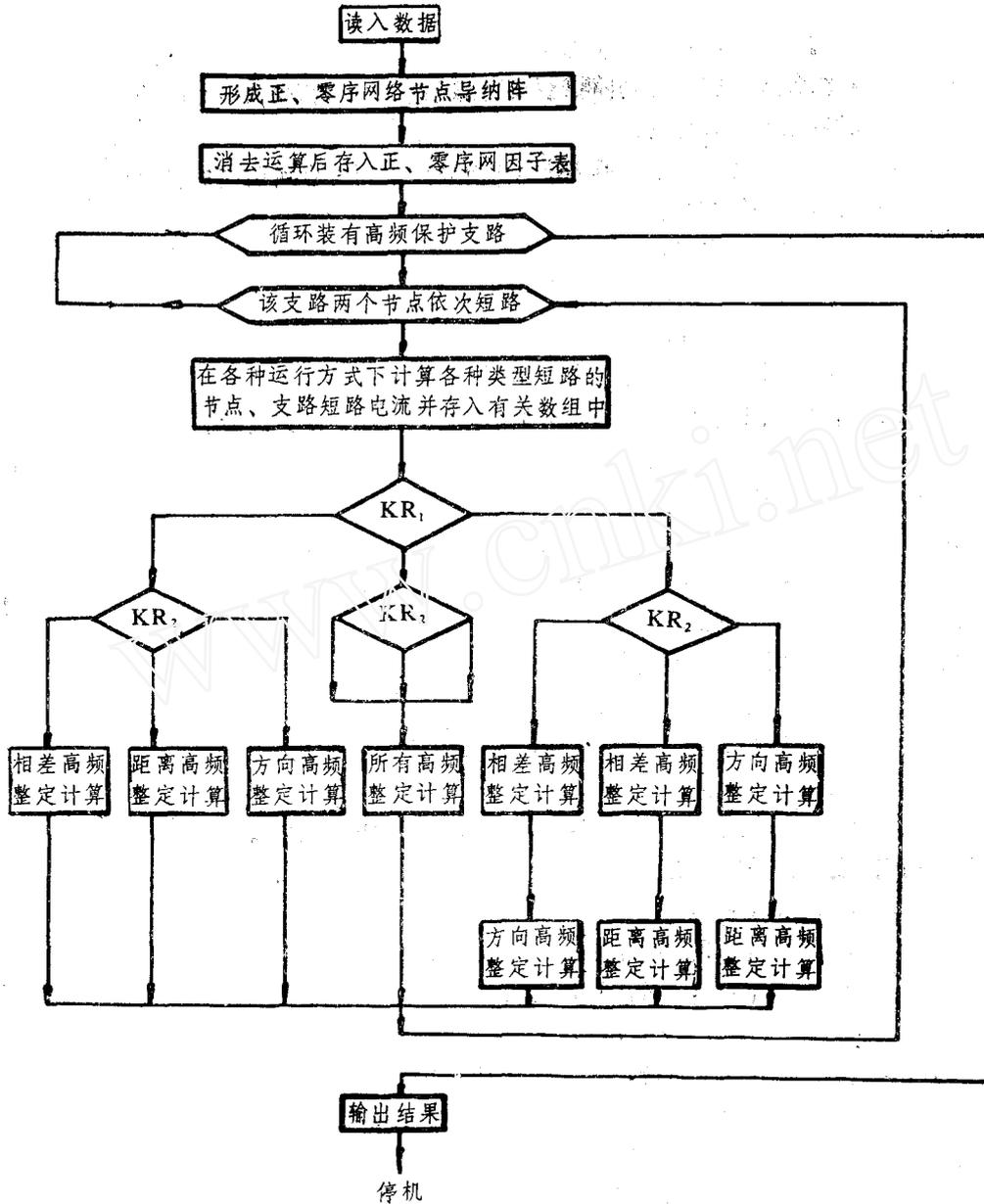
$$Z_{dz} = 0.9 U_e \cdot \cos(\phi_d - \phi_{L.m}) / (K_k \cdot K_h \cdot K_{xq} \cdot I_{fh.max} \cos(\phi_{L.m} - \phi_{fh}))$$

$$K_{L.m}(\text{近}) = Z_{dz} / Z_L \geq 1.5$$

$$K_{L.m}(\text{远}) = Z_{dz} / (Z_L + K_{fz.min} \cdot Z_L) \geq 1.2$$

式中, K_k —可靠系数, K_h —返回系数, K_{xq} —自起动系数。

程序中计算最大、最小分支系数时, 不仅考虑正常运行方式, 而且考虑与被配合的相邻



主程序框图

支路的邻近线路的正常检修方式。

2 保护整定计算的程序说明

本保护由一个主程序及十七个子程序组成，28个数组，公用变量8个，约1500条语句，输出全部采用表格化。

基于单片机构成相间距离保护的研究

山东工业大学 曹秉浩

摘要

本文介绍以单片机为核心构成相间距离保护的方法和技术措施。分析了电路结构原理,程序结构特点与调试开发步骤。文中还详细阐述了提高可靠性的几种方法。最后分析了保护动作行为。

一 引言

由于单片机所具有的独特的优点,使它越来越多的被应用于各种控制领域。单片机集成度高,功能齐全接口方便,有丰富的条件转移指令,便于实现各种控制逻辑和出口闭锁逻辑操作。继电保护装置作为一种专用控制设备而言,选取较小计算机系统显然是一个值得考虑的途径。由单片机构成的电路就是一个较小计算机系统,硬件结构大为简化。作为微机保护所具备的某些功能,单片机保护同样能够实现。通过程序设计可以赋予它自检功能,打印功能;系统发生故障时,保护各部分顺序记录功能,以及程序出格

在主程序中有七个判断:

- 当 $KR_1 = 1$, $KR_2 = 1$ 时, 只作相差高频保护的整定计算;
- 当 $KR_1 = 1$, $KR_2 = 0$ 时, 只作方向高频;
- 当 $KR_1 = 1$, $KR_2 = 2$ 时, 只作距离高频;
- 当 $KR_0 = 0$, $KR_2 = 1$ 时, 作相差、方向高频计算;
- 当 $KR_1 = 0$, $KR_2 = 2$ 时, 作相差和距离高频计算;
- 当 $KR_1 = 0$, $KR_2 = 0$ 时, 作方向和距离高频计算;
- 当 $KR_1 = 2$, KR_2 任意时, 全部都作计算。

参考文献

1. 《电力系统继电保护原理》天津大学 编 电力工业出版社 1985年
2. 《电力系统计算》五校一所 合编 水力电力出版社 1978年
3. 《高频相差保护装置检验规程》东北电力局编 1973年
4. 《110~220千伏电网继电保护与安全自动装置运行条例》电力工业生产司 编1979年
5. 《DJ S-6机高频保护整定计算语言程序》吉祥祺 电力工业部西南电力设计院
6. 《操作互感电路的导纳计算方法》魏家鼎 吉林电力技术 1981年
7. 《电力系统继电保护设计原理》吕继绍 华中工学院 1986年