

继电保护整定计算中断相加 短路故障的分块算法

曹国臣 东北电力学院(132012) 谈杏全 安徽省电力中调所(230061)

【摘要】 本文提出了继电保护整定计算中断相加短路故障的分块算法。用这种算法进行继电保护整定计算具有可扩大解题规模、无需修改原网子系统群各序节点阻抗阵、各种简单故障和断相加短路故障计算方法统一等特点。

【关键词】 继电保护 整定计算 分块算法

引言

继电保护整定计算中,常采用节点阻抗阵做为电力系统的数学模型。为扩大解题规模,文献^[1-2]提出了继电保护整定计算中短路故障和非全相振荡的分块算法,但对于采用单相重量合闸的线路还需考虑断相加短路故障,因而有必要研究继电保护整定计算中断相加短路故障的分块算法,并应把各种简单故障和断相加短路故障的分块算法统一起来,以便编制继电保护整定计算通用软件。本文基于分块理论和补偿法,建立起网络结构变更时各种简单故障和断相加短路故障分块计算的统一数学模型,在不修改原子系统群各序节点阻抗阵的条件下,推导出继电保护整定计算中故障分析所需的全部公式,并用算例证明了文中算法的正确性和有效性。

1 计算模型的建立

1.1 网络结构变更时系统的分块模型

设独立节点数为 n 的大型网络分割成 $A, B, \dots, M$ 个相互间无电磁联系的子系统,当不计联络线影响时,全网节点电压方程为:

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ \vdots \\ V_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_A & & & \\ & Z_B & & \\ & & \ddots & \\ & & & Z_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ \vdots \\ I_M \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{简记为: } V = Z^0 I \quad (2)$$

式中 $Z_A, \dots, Z_M$ 分别为各子系统的节点阻抗阵。

设子系统群中,因元件切投、参数变化、互感线路挂检等造成的网络拓扑结构变化涉及到的支路为: $p_k - q_k$ ($k = 1, 2, \dots, m$)。

根据支路追加法,计及网络结构变更时电力系统的分块模型可用图 1 来描述。图中: Z_c 是模拟子系统群结构参数变化的等值支路阻抗阵,其取值情况由子系统群结构参数变化的类型决定^[3]; Z_l 为子系统群间联络线组的支路阻抗阵,其取值情况与系统分割方法有关。本文中设:

$$Z_t = \begin{bmatrix} Z_{s_1 s_2} & & & \\ & Z_{s_3 s_4} & & \\ & & \ddots & \\ & & & Z_{s_{m-1} s_m} \end{bmatrix}$$

1.2 故障计算的统一模型

设在图 1 所示的网络中, 互感支路 $i-j$ 的 i 侧发生非全相断相相距 i 母线 α 百分点处又发生短路故障, 相应的等值网络见图 2, 图中: $I^{(d)}$ 为故障网络的注入电流列向量; $p-q$ 代表一组与支路 $i-j$ 有互感的支路, 其故障前的分块支路导纳阵为:

$$\begin{bmatrix} I_{ij} \\ I_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{ij-ij} & Y_{ij-pq} \\ Y_{pq-ij} & Y_{pq-pq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ij} \\ V_{pq} \end{bmatrix} \quad (3)$$

对正序、负序网或支路 $i-j$ 无互感时, 只需令 Y_{ij-pq} 和 Y_{pq-ij} 为零矩阵即可。

为避免计算中修改原网子系统群各序节点阻抗阵, 将图 2 等效变形形成图 3。

由图 3 可见, 为同时反映系统分块、子系统拓扑结构变化及故障, 只需向原子系统群接入新的等值支路阻抗阵 Z_c 。 Z_c 的取值为:

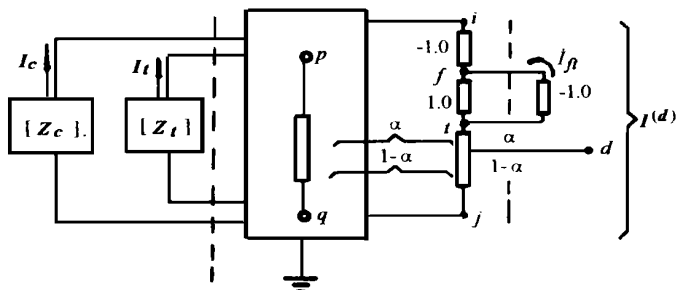


图 3 等值网络的变形

$$Z_c \triangleq \begin{bmatrix} Z_c & \\ & Z_t \\ & & -1 \quad 0 \end{bmatrix}$$

根据补偿法, 将 Z_c 对原网子系统群的影响用在相应节点注入的补偿电流 $I_c \triangleq [I_c I_{f_t}]^T$ 模拟后, 便建立起继电保护整定计算中断相加短路故障的分块计算模型图 4。

由图 3 可见, 在图 4 中, 令 $I_{f_t} = 0$, $I^{(d)} = [0, \dots, 0, I_d]^T$, 既得到支路 $i-j$ 上距 i 母线 α 百分点处短路时的分块计算模型 ($\alpha = 0$ 或 1 表示母线短路); 令 $I^{(d)} = [0, \dots, 0, I_d]^T$, 既得到支路 $i-j$ 上距 i 母线 α 百分点处短路且 i 侧断路器三相先跳开时的分块计算模型; 令:

$$I^{(d)} = [0, \dots, 0, I_{it}, 0, \dots, 0, -I_{it}]^T$$

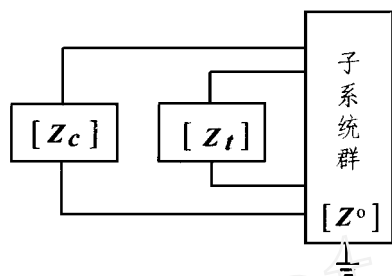


图 1 分块模型

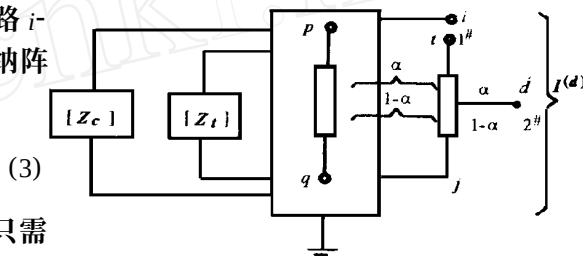


图 2 等值网络示意图

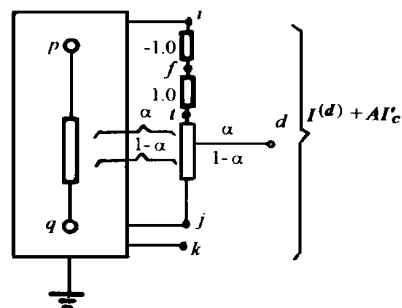


图 4 分块计算模型

(4)

既得到支路 $i-j$ 上 i 侧非对称断相时的分块计算模型。

2 补偿电流的计算

根据欧姆定律, 由图 3, 等值支路组 Z_c 两端的电压:

$$V_c \triangleq -Z_c I_c'$$

根据迭加原理, 由图 4:

$$V_c \triangleq A^T Z (I^{(d)} + A I_c)$$

由上面两式, 可求得补偿电流:

$$I_c \triangleq -[A^T Z A + Z_c]^{-1} A^T Z I^{(d)} \quad (5)$$

式中 A 为图 4 所示网络中注入有补偿电流的节点及故障点 d 与 Z_c 的关联矩阵;

Z 为图 4 所示网络中注入有补偿电流的节点及故障点所构成的节点阻抗阵, 其中与原子系统节点 $p_1, q_1, \dots, p_m, q_m, s_1, \dots, s_m$ 有关的阻抗元素等于 Z^0 阵中相应的元素; 与新增节点 f, t, d 有关的阻抗元素可由 Z^0 阵中相应的元素求得。 Z 阵的具体形成方法参见文献^[1]。

3 各序网故障口参数的计算

3.1 断相口 1 的自阻抗

根据自阻抗的物理意义:

$$Z_{11(r)} = V_{it(r)}^{(i)} \quad (r = 0, 1, 2)$$

根据迭加原理, 仅在断相口 1 加入单位电流时, 任意节点 k 的电压为:

$$V_{k(r)}^{(i)} \triangleq V_{k(r)}^{(i)} + V_{k(r)}^{(f)} I_{ft(r)}^{(i)} + V_{k(r)}^c I_{c(r)}^{(i)} + V_{k(r)}^t I_{tr}^{(i)} \quad (r = 0, 1, 2) \quad (6)$$

式中 $V_{k(r)}^{(i)} = V_{it(r)}^{(i)} = 0$;

$$V_{k(r)}^{(f)} = V_{k(r)}^{(f)} - V_{k(r)}^{(i)};$$

$$V_{k(r)}^c = [V_{k(p)}^{(p_1 q_1)}, \dots, V_{k(p)}^{(p_m q_m)}];$$

$$V_{k(r)}^t = [V_{k(s)}^{(s_1 s_2)}, \dots, V_{k(s)}^{(s_m s_m)}];$$

$I_{ft(r)}^{(i)}, I_{c(r)}^{(i)}, I_{tr}^{(i)}$ 可由式 5 求得。

将式 6 代入 $Z_{11(r)}$ 表达式中, 经整理可得:

$$Z_{11(r)} = I_{ft(r)}^{(i)} \quad (r = 0, 1, 2) \quad (7)$$

在上面和下面的公式中, 未加说明的符号符合如下规定:

$V_m^{(i)}$ 为在图 4 任意节点 i 加入单位电流时, 任意节点 m 的 r 序电压, 即: $V_m^{(i)}$ 等于子系统群原网节点阻抗阵或 Z 阵中第 i 行第 m 列元素 $Z_{im(r)}$; $V_m^{(ij)} = V_m^{(i)} - V_m^{(j)}$; $V_{pq(r)} = V_p^{(ij)} - V_q^{(ij)}$ 。

3.2 断相口 1 与短路口 2 的互阻抗

根据互阻抗的物理意义:

$$Z_{12(r)} = Z_{21(r)} = V_{it(r)}^{(d)} \quad ((r = 0, 1, 2))$$

根据迭加原理, 仅在短路口 2 加入单位电流时, 任意节点的电压:

$$V_{k(r)}^{(d)} \triangleq V_{k(r)}^{(d)} + V_{k(r)}^{(f)} I_{ft(r)}^{(d)} + V_{k(r)}^c I_{c(r)}^{(d)} + V_{k(r)}^t I_{tr}^{(d)} \quad (r = 0, 1, 2) \quad (8)$$

式中 $V_{k(r)}^c = [V_{k(p)}^{(p_1 q_1)}, \dots, V_{k(p)}^{(p_m q_m)}];$

$$V_{k(r)}^t = [V_{k(s)}^{(s_1 s_2)}, \dots, V_{k(s)}^{(s_m s_m)}];$$

$I_{ft(r)}^{(d)}, I_{c(r)}^{(d)}, I_{tr}^{(d)}$ 可由式 5 求得。

将式 8 代入 $Z_{12(r)}$ 表达式中, 经整理可得:

$$Z_{12(r)} = Z_{21(r)} = I_{f(r)}^{(d)} \quad (r=0, 1, 2) \quad (9)$$

3.3 短路口 2 的自阻抗

根据自阻抗的物理意义:

$$Z_{22(r)} = \dot{V}_{d(r)}^{(d)'} \quad (r=0, 1, 2) \quad (10)$$

式中 $\dot{V}_{d(r)}^{(d)'}$ 可由式 8 求得。

在式 7、9、10 中, 令 Y_{ij-pq} 为零矩阵, 即得到正序、负序或零序无互感支路故障口 Z 参数计算公式

上面介绍了故障口 Z 参数的计算方法, 故障口的 Y 参数、H 参数可通过 Z 参数求得^[4]。

4 各序网故障口电流的计算

仅以串—串型故障为例:

由简化后的复合序网口阻抗方程^[4], 可求得故障口的零序电流:

$$I_{it(0)} = \frac{-Z_{22} \dot{h}_{1(1)} \dot{V}_{z1} + Z_{12} \dot{h}_{2(1)} \dot{V}_{z2}}{Z_{11} \dot{Z}_{22} - Z_{12} \dot{Z}_{21}'} \quad (11)$$

$$I_{d(0)} = \frac{Z_{21} \dot{h}_{1(1)} \dot{V}_{z1} - Z_{11} \dot{h}_{2(1)} \dot{V}_{z2}}{Z_{11} \dot{Z}_{22} - Z_{12} \dot{Z}_{21}'} \quad (12)$$

由式 11、12 求出故障口零序电流后, 根据故障点的边界条件方程:

$$\begin{bmatrix} n_{1(1)} \\ n_{2(1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{it(1)} \\ \dot{I}_{d(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_{1(2)} \\ n_{2(2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{it(2)} \\ \dot{I}_{d(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{it(0)} \\ \dot{I}_{d(0)} \end{bmatrix} \quad (13)$$

可求得故障口的正序和负序电流。

公式 11、12 中的 Z_{ij} ($i=j=1, 2$) 为复合序网口阻抗参数, 可由各序网故障口 Z 参数求得^[4]; $\dot{V}_{z1}$ 和 $\dot{V}_{z2}$ 为正序网中故障口 1、2 均开路时故障口 1 和 2 的开路电压, 见图 5。图中设子系统群中 1, 2, ..., s 号母线为发电机母线, $\dot{E}_m$ 、 Z_m 分别为第 m 台发电机的电势和正序等值阻抗, A_c 、 A_t 分别为 Z_c 和 Z_t 与正序子系统群的关联矩阵。

根据迭加原理, 由图 5:

$$\dot{V}_{z1} = \sum_{m=1}^s \dot{V}_{it(1)}^{(m)} \frac{\dot{E}_m}{Z_m} \quad (14)$$

$$\dot{V}_{z2} = \sum_{m=1}^s \dot{V}_{d(1)}^{(m)} \frac{\dot{E}_m}{Z_m} \quad (15)$$

式中 $\dot{V}_{it(1)}^{(m)'} = \dot{V}_{m(1)}^{(it)'}$ 、 $\dot{V}_{d(1)}^{(m)'} = \dot{V}_{m(1)}^{(d)'}$ 可分别由式

6、8 求得。

5 各序网任意母线电压的计算

根据迭加原理, 由图 2:

$$\dot{V}_{k(r)}' = \dot{V}_{k(r)}^{(it)'} + \dot{V}_{k(r)}^{(d)'} \quad (r=0, 1, 2) \quad (16)$$

式中 $\dot{V}_{k(r)}^{(it)'}$ 、 $\dot{V}_{k(r)}^{(d)'}$ 可分别由式 6、8 求得。

对正序网来讲, 由式 16 求出的仅为正序电压的故障分量 $\Delta \dot{V}_{k(1)}'$, 实际电压应为故障前 k 母线电压 $\dot{V}_k^{[0]}$ 和 $\Delta \dot{V}_{k(1)}'$ 之和, 即:

$$\dot{V}_{k(1)}' = \dot{V}_k^{[0]'} + \Delta \dot{V}_{k(1)}' \quad (17)$$

式中 故障前 k 母线电压 $\dot{V}_k^{[0]'}$ 可根据迭加原理, 由图 5 求得:

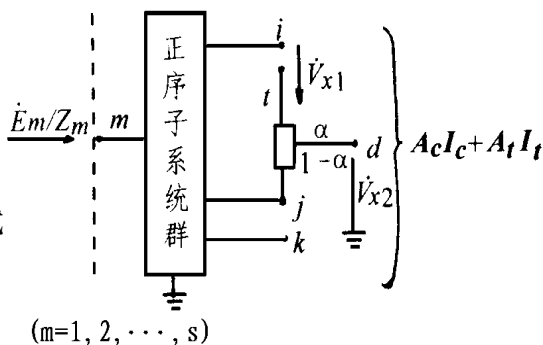


图 5 计算 $\dot{V}_{z1}$ 和 $\dot{V}_{z2}$ 的等值电路

$$\overset{\circ}{V}_k^{[0]'} = \sum_m^s \overset{\circ}{V}_{k(1)}^{(m)} \frac{\overset{\circ}{E}_m}{Z_m}$$

(18)

其中 $\overset{\circ}{V}_{k(1)}^{(m)}$ 可在式 8 中令 $\alpha=1$ 、 $d=m$ 求得。

求出各序网任意母线电压之后,进而可求得任意支路电流。

由图 3 可见,在上面公式中适当选取 $\overset{\circ}{I}_f$ 、 $\overset{\circ}{I}^{(d)}$ 和 α 的数值就可计算各种简单故障。

6 算例

系统如图 6,其参数为 $S_b=100\text{MVA}$ 下的标么值,图中:分子上的数字为正序或负序电抗,分母上的数字为零序电抗。试计算当线路 B—F 切除后, F_1 处 A、B 两相断线加 F_2 处 B 相接地点短路时,母线 B、C 的电压和故障线路 B—C 的电流。

主要计算步骤如下:

- (1)选支路 C—D 为联络线,将独立节点数为 F 的系统分割成 1、2 两个子系统。
- (2)分别形成子系统 1 和子系统 2 的节点阻抗阵 Z_1 和 Z_2 。
- (3)在断相口 F_1 和短路口 F_2 分别注入单位电流,根据式 5 计算补偿电流 $\overset{\circ}{I}_c$ 、 $\overset{\circ}{I}_t$ 和 $\overset{\circ}{I}_f$ 。
- (4)根据式 7、9、10 计算故障口参数 Z_{11} 、 Z_{12} 、 Z_{22} 。
- (5)根据式 11、12、13 计算故障口电流 $\overset{\circ}{I}_{B1}$ 、 $\overset{\circ}{I}_{d0}$ 。
- (6)根据式 16、17 计算母线 B、C 电压 $\overset{\circ}{V}_B'$ 、 $\overset{\circ}{V}_C'$ 。
- (7)根据故障线路 B—C 的结构,计算故障线路电流 $\overset{\circ}{I}_{td}$ 、 $\overset{\circ}{I}_{dc}$ 。

相应的计算结果见表 1。

表 1 算例计算结果

序分量		正 序	负 序	零 序
电气量				
补偿电流	$\overset{\circ}{I}_c^{(\beta)}$	1.336	1.336	0.825
	$\overset{\circ}{I}_f^{(\beta)}$	0.109	0.109	0.283
	$\overset{\circ}{I}_t^{(\beta)}$	j0.113	j0.113	j0.258
	$\overset{\circ}{I}_c^{(d)}$	-0.736	-0.736	-0.625
	$\overset{\circ}{I}_t^{(d)}$	-0.509	-0.509	-0.500
	$\overset{\circ}{I}_f^{(d)}$	-j0.509	-j0.509	-j0.150
故障口参数	Z_{11}	j0.113	j0.113	j0.258
	$Z_{12}=Z_{21}$	-j0.059	-j0.059	-j0.150
	Z_{22}	j0.167	j0.167	j0.208
故障口电流	$\overset{\circ}{I}_{B1}$	0.465∠-144.9	0.465∠95.1	0.465∠-24.9
	$\overset{\circ}{I}_d$	1.945∠105.0	1.945∠225.0	1.945∠-15.0
B、C 母线电压	$\overset{\circ}{V}_B'$	0.820∠19.0	0.203∠-47.4	0.110∠74.0
	$\overset{\circ}{V}_C'$	0.742∠16.6	0.276∠-42.8	0.211∠76.6
故障线路电流	$\overset{\circ}{I}_{td}$	0.465∠35.1	0.465∠-84.9	0.465∠155.1
	$\overset{\circ}{I}_{dc}$	2.150∠93.3	2.272∠-126.0	1.488∠-11.9

(下转 31 页)

$$X_0 = K\lambda \quad (5)$$

$$dX_0 = Kd\lambda \quad (6)$$

显然式 5 呈线性关系, 其特性曲线见图 3b。由于电位器 W_R 的阻值线性连续可调, 只要选择合适的反馈电阻 R_F 和 W_R 的全阻值 R , 这种整定电路可以做到大范围准线性连续可调。它无需附加其他电阻, 由于定值电位器 W_R 及其刻度指示器体积小, 便于装在插件面板上, 使得保护装置结构简单, 现场整定方便、直观、准确, 整定误差不大于 5%。

ZDB-10 型集成电路成套保护装置投放市场后, 经实践证明了它的优越性, 得到用户的认可和欢迎。

参考文献

- 1 梁懋. 集成运算放大器型保护原理及应用. 水电出版社, 1990. 9
- 2 李清泉. 集成运算放大器原理及应用. 科学出版社, 1980. 2

(上接 12 页)

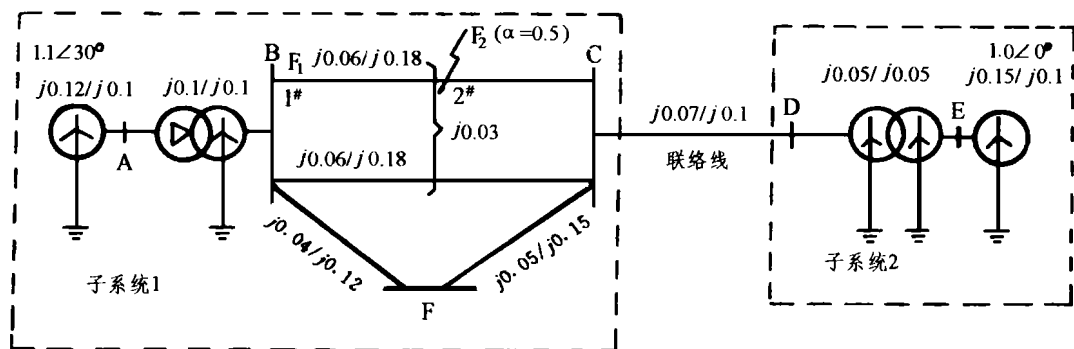


图 6 算例系统接线图

7 结论

- (1) 本文提出的继电保护整定计算分块算法, 可以扩大解题规模。
- (2) 本文算法能适应因系统分块、系统运行方式变化和故障造成的网络拓扑结构变化, 避免了修改原网子系统群各序节点阻抗阵, 因而计算速度快。
- (3) 本文对各种简单故障和断相加短路故障有统一的分块算法, 易于编制继电保护整定计算通用软件。

参考文献

- 1 曹国臣等. 继电保护整定计算中短路故障的分块算法. 继电器, 1995. 4
- 2 曹国臣等. 继电保护整定计算中非全相振荡的分块算法. 继电器, 1996. 4
- 3 米麟书等. 电力系统故障的计算机辅助分析. 重庆大学出版社, 1992
- 4 西安交大等校合编. 电力系统计算. 北京: 水利电力出版社, 1978

RELAY

Vol 25 No. 1

February 1997

CONTENTS AND ABSTRACTS (Partial)

THEORETICAL STUDY AND CALCULATION

The Main Protection Scheme of Internal Short Circuit for Generator Transformer Bank of Three Gorges Hydroelectric Power Station Wang Weijian, Liu Junhong (5)

Based on the theoretical analysis and test research of the main protections for Long Yang Xia station and Er Tan station, the main protection schemes of Three Gorges station are put forward in this paper. The first main protection for generator is the unit transverse differential relay with high sensitivity, the second main protection is the incomplete differential relay. For transformer, the differential relay with the restraint of scalar product of fault component may be used as the first main protection, and the incomplete differential relay for generator-transformer is the second main protection. The differential relay of transformer is restrained by harmonic of square sum of three phase current.

Key words: Three Gorges Station Generator-Transformer bank Internal short circuit Main protection

Sectional Algorithm for Open-Conductor Plus Short Circuit Fault in Protective Relay Setting Calculation

..... Cao Guochen, Tan Xingquan (8)

This paper presents a sectional algorithm for open-conductor plus short circuit fault in protective relay setting calculation. The algorithm has the following characteristics:

- 1) Storage requirements can be reduced
- 2) The nodal impedance matrices of each original sequence subsystems do not need to be modified
- 3) Any type of simple fault can be solved as a special issue of open-conductor plus short circuit fault

Key Words: Protective relays Setting calculation Sectional algorithm

Analysis and Prediction of Random Variable about the Reclose Time of Adaptive Recloser

..... Fang Xingyan, et al (13)

Adaptive recloser can discriminate permanent fault and transient fault of power system to decide reclosing or not, thus avoiding unnecessary impact on the system. The adaptive recloser also should be able to select the best reclose time automatically. This paper made a prediction of random variable about the reclose time of adaptive recloser and presented a algorithm of advancing to send closing impulse.

Key words: Adaptive reclose Random analysis

NEW TECHNOLOGY RESEARCH AND APPLICATION

A Way of Quickly Enabling Distance Protection in Fault During Swing Blocking ... Zhao Zhihua, et al (18)

This paper introduces a way of enabling distance protection in fault during swing blocking condition, discusses the change of electrical quantity during swing condition, summarises some swing blocking schemes home and abroad, and presents a realizing way of swing blocking based on the feature of electrical quantity in fault during swing blocking condition in order to ensure enabling the distance protection in fault during swing blocking condition to quickly cut off the fault selectively.

Key Words: Distance protection Swing blocking condition

A New Scheme of Data Collection System for Microprocessor-Based Protection Zhang Keyuan (22)

A new scheme of data collection system of microprocessor-based protection basing on pulse width measurement (PWM) is presented. The theoretical analysis and test result have proved that the data collection system has the advantages of high resolution, high anti-interference ability, simple and reliable connections, low cost, and broad range of sampling rate, and can completely satisfy the requirement of microprocessor-based protection.

Key words: Microprocessor-based protection Data collection system PWM Triangle wave generator

A Calculating Method of Power System Frequency Based on Digital Sampling Li Ruisheng (26)

A method of calculating frequency and its rate of variation by sampling the bus voltage of power system is introduced. The method of minimizing its error is also discussed to reduce one input circuit of measuring level.