

相位比较式对称分量选相元件

西安交通大学 葛耀中 索南加乐 李兵

一 前 言

在传统保护装置中选相元件的作用是在单相接地短路时选出故障相实现单相跳闸，在两相和三相短路时实现三相跳闸，因此选相元件是综合重合闸装置的重要元件。目前广泛采用的有阻抗选相元件，对称分量选相元件和两相电流差的突变量选相元件[1,2,3]。

微处理机保护在电力系统中的应用对选相元件提出了更高的要求，即不仅要准确地判别出单相故障的相别并且还要准确判别相间故障的相别，选相元件的作用不仅为自动重合闸服务，同时也供保护装置的测量元件(如距离元件)需用，此外还为打印出故障类型所必需。传统的选相元件不能满足上述要求，因此研制新的选相元件有重要价值。

本文利用正序故障分量，负序分量和零序分量的相位关系提出两种相位比较式对称分量选相元件。研究表明，这种新型选相元件简单可靠，基本上不受负荷及过渡电阻的影响，能准确地选出故障相别，明显优于现有选相元件。

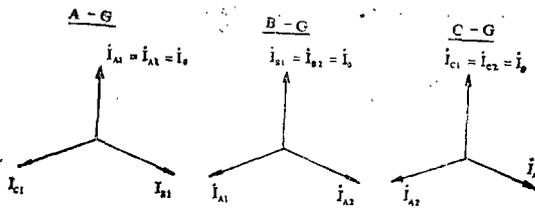
二 选相元件的基本原理及程序框图

(一) 比较量的选择

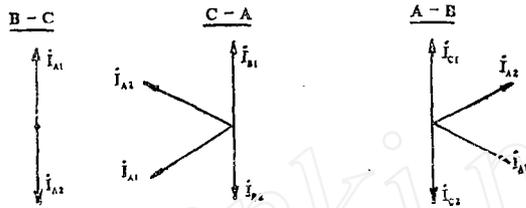
本选相元件按比较对称分量的相位关系实现，这里首先需要确定采用什么对称分量进行相位比较最为合理，理想的选相元件应满足以下条件：(1)不受负荷电流的影响；(2)能具有适应较大过渡电阻的能力；(3)动作迅速，灵敏度高；(4)简单可靠。根据上述要求，在全面分析研究正序、负序、零序分量的各自特点及其相互关系的基础上，提出采用正序故障分量与负序分量进行相位比较实现选相。此外，为了适应各种运行方式的需要进一步提出了电流相位比较和电压相位比较两种不同的选相元件。

(二) 电流选相元件

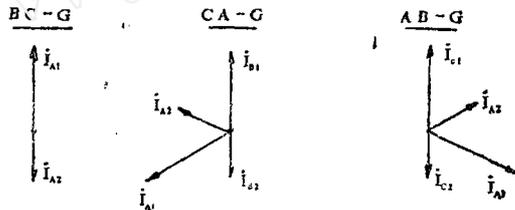
电流选相元件是根据比较正序故障分量的电流和负序电流的相位关系构成。为了说明其选相原理在图1中给出了在不同短路条件下，故障点的正序故障分量的电流和负序电流之间的相位关系。在保护装设处的正序故障分量的电流为 $C_1 \dot{I}_1$ ，负序电流为 $C_2 \dot{I}_2$ ，其中 C_1 和 C_2 为正序和负序电流分布系数，通常 $C_1 = C_2$ ，故保护装设处的正序故障分量电流与负序电流之间的相位关系可以认为与故障点处一样，而零序电流分布系数与正、负序不同，这也说明了采用正、负序电流比较相位较为优越。



(a) 单相接地短路



(b) 两相短路



(c) 两相接地短路

图 1 电流向量关系

1. 电流选相元件的动作断据

根据图 1 可看出在不同短路故障条件下，正序故障分量电流 \dot{I}_{A1} 和负序电流 \dot{I}_{A2} 之间的相位关系具有以下特征：

- (1) 在 A 相单相接地时 \dot{I}_{A1} 、 \dot{I}_{A2} 的相位差为零。
- (2) 在 B 相单相接地时 \dot{I}_{A2} 超前 \dot{I}_{A1} 120° 。
- (3) 在 C 相单相接地时 \dot{I}_{A2} 滞后 \dot{I}_{A1} 120° 。
- (4) 在 BC 两相短路或两相短路接地时， \dot{I}_{A1} 与 \dot{I}_{A2} 的相位差为 180° 。
- (5) 在 CA 两相短路或两相短路接地时 \dot{I}_{A2} 滞后 \dot{I}_{A1} 60° 。
- (6) 在 AB 两相短路或两相短路接地时 \dot{I}_{A2} 超前 \dot{I}_{A1} 60° 。

根据上述相位特征，当以 \dot{I}_{A1} 为基准时可划定在复数平面上的动作区如图 2 所示，图 2 (a) 为单相接地故障时的选相元件动作区，图 2 (b) 为两相短路或两相短路接地

故障时选相元件的动作区，该动作区的范围均为 120° ，亦即当 I_{A2} 落在所示范围内，该选相元件动作。

从图 2 所划分的选相元件动作区可以看出必需解决以下两个矛盾：

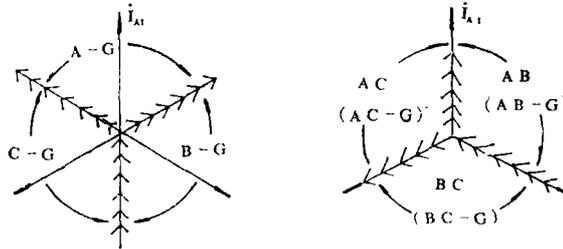


图 2 各种短路故障下，选相元件的动作区

(1) 两相短路与两相短路接地的特征完全相同，因此任意两相短路和两相短路接地必须进一步区分，显而易见的方法是附加鉴别有无 I_0 来区分是否为接地短路。

(2) 单相接地与两相接地短路也有重叠区，实际上，在复数平面上只能判别出 3 个 120° 的动作范围，因此任何一种 \dot{I}_{A1} 和 \dot{I}_{A2} 的相位关系都会判定为一种单相接地和一种两相接地短路，为此附加鉴别 $|\dot{I}_{A1}| - |\dot{I}_{A2}| < \varepsilon$ 的判别条件，在单相接地时 $|\dot{I}_{A1}| - |\dot{I}_{A2}|$ 接近零值，而在两相接地短路时该差值远大于零。

在上述讨论基础上可拟定电流选相元件的动作判据的相位比较部分如下：

$$\text{A 相单相接地 - DAG: } -60^\circ < \arg \frac{\dot{I}_{A1}}{\dot{I}_{A2}} < 60^\circ \quad (1)$$

$$\text{B 相单相接地 - DBG: } -180^\circ < \arg \frac{\dot{I}_{A1}}{\dot{I}_{A2}} < -60^\circ \quad (2)$$

$$\text{C 相单相接地 - DCG: } 60^\circ < \arg \frac{\dot{I}_{A1}}{\dot{I}_{A2}} < 180^\circ \quad (3)$$

$$\text{BC 两相短路 - DBC: } 120^\circ < \arg \frac{\dot{I}_{A1}}{\dot{I}_{A2}} < 240^\circ \quad (4)$$

(或接地) (DBC-G)

$$\text{AC 两相短路 - DAC: } 0 < \arg \frac{\dot{I}_{A1}}{\dot{I}_{A2}} < 120^\circ \quad (5)$$

(或接地) (DAC-G)

$$\text{AB 两相短路 - DAB: } -120^\circ < \arg \frac{\dot{I}_{A1}}{\dot{I}_{A2}} < 0^\circ \quad (6)$$

(或接地) (DAB-G)

2. 电流选相元件的原理程序框图

基于比较正序故障分量电流与负序电流之间相位的选相元件的程序框图如图 3 所示，该图只是选相元件的原理框图，图中所有电流 \dot{I}_{A1} ， \dot{I}_{A2} ， \dot{I}_0 均为以 A 相为基准计算

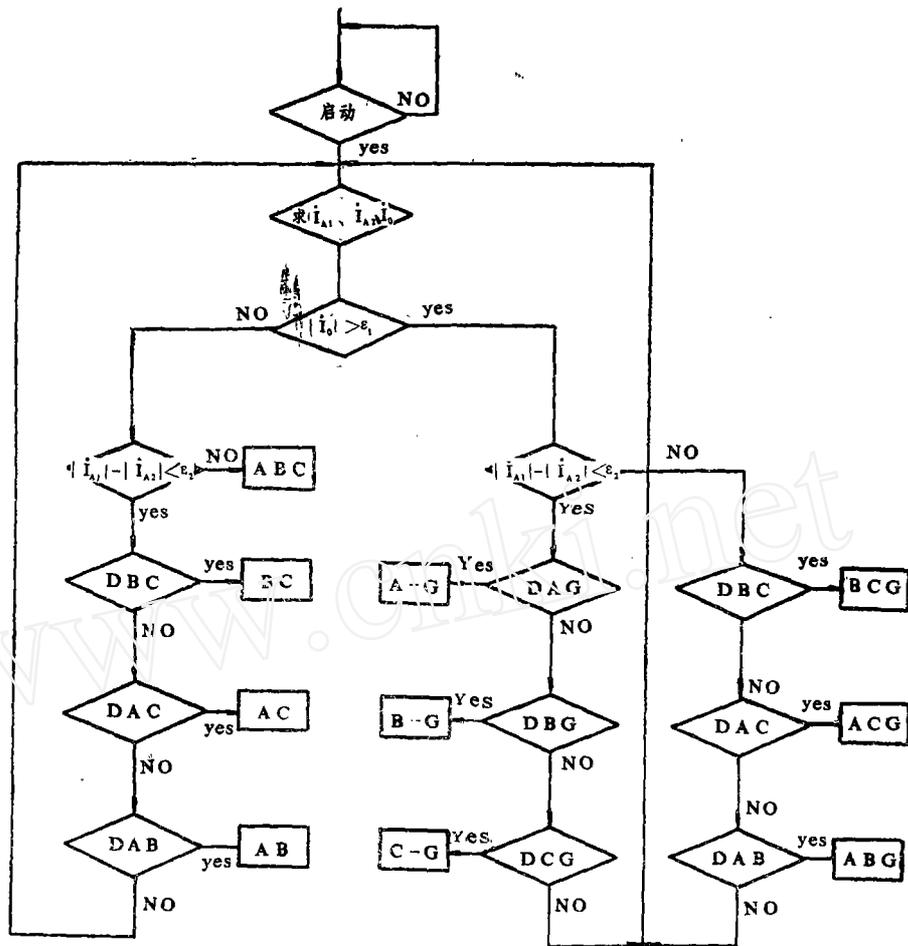


图3 电流选相元件的程序框图

出的各序分量，并且都是工频分量，图中未示出数字滤波部分，程序框图中零序电流的门坎值 ϵ_1 后根据相间短路时可能出现的最大不平衡电流决定，以防止在相间短路时引起错误选相，而门坎值 ϵ_2 亦可由两相短路和单相接地条件下可能出现的最大差值 $|\dot{I}_{A1}| - |\dot{I}_{A2}|$ 决定，也可由保证三相短路和两相接地短路时有足够的灵敏度的条件决定。

(三) 电压选相元件

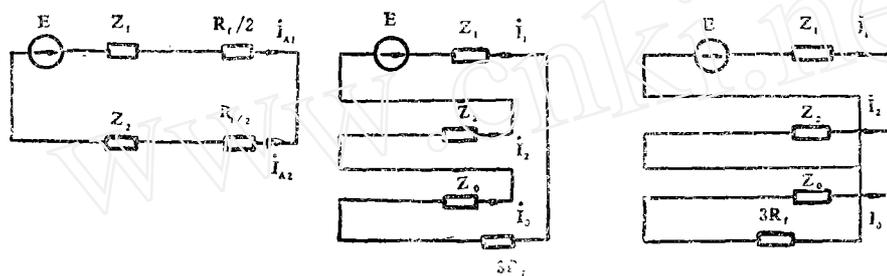
电压选相元件是根据比较保护装设处的正序故障分量的电压和负序电压的相位关系构成，由于保护装设处的正序故障分量电压和负序电压分别由保护装设处的正序故障分量电流和负序电流在由保护装设处背后的系统综合正序阻抗上的压降决定(假设 $Z_1 = Z_2$)⁽⁴⁾，因此，正序故障分量的电压 \dot{U}_{A1} 和负序电压 \dot{U}_{A2} 之间的相位关系与 \dot{I}_{A1} 和 \dot{I}_{A2} 的相位关系相同。因此可以推论，电流选相元件的判据及程序框图对电压选相元件完全适用。

电压选相元件与电流选相元件的主要性能指标大体相同，但值得指出的是，电压选相元件在线路的弱电源，小系统或单端供电线路的负荷侧有更高的灵敏度，因此电压选相元件与电流选相元件可以互相补充或互相结合以构成完善的选相元件。

三 过渡电阻对选相元件动作影响的分析

在实际的电力系统中，故障点往往经过一定的过渡电阻短路，相间短路可能经过电弧短路，接地短路除电弧外还经过铁塔短路，而塔基电阻有时会高达数百欧。

为了说明过渡电阻对 \dot{I}_{A1} 与 \dot{I}_{A2} 之间相位关系的影响，在图4中给出了两相短路，单相接地短路和两相接地短路三种经过渡电阻 R_f 短路或接地的复合序网（均以A相为基准）。



(a) 两相短路 (b) 单相接地短路 (c) 两相接地短路

图4 经过渡电阻短路或接地的复合序网

由复合序网不难看出，在单相接地和两相短路条件下，过渡电阻不会对 \dot{I}_{A1} 和 \dot{I}_{A2} 之间的相位关系造成影响，而两相短路经过渡电阻 R_f 接地时，过渡电阻在零序网中的存在将引起负序电流 \dot{I}_{A2} 对 \dot{I}_{A1} 的相位偏移。

由图4(c)的复合序网可以得出故障点处的正、负、零序电流分别为：

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{Z_1 + \frac{Z_1(Z_0 + 3R_f)}{Z_1 + Z_0 + 3R_f}} \quad (7)$$

$$\dot{I}_2 = -\dot{I}_1 \cdot \frac{Z_0 + 3R_f}{Z_1 + Z_0 + 3R_f} \quad (8)$$

$$\dot{I}_0 = -\dot{I}_1 \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_0 + 3R_f} \quad (9)$$

设 $C_1 = C_2 = \frac{Z_1}{Z_{1m}}$, $C_0 = \frac{Z_0}{Z_{0m}}$ (9)

则保护装置处的各序电流分别为：

$$\dot{I}_{1m} = C_1 \dot{I}_1 \quad (10)$$

$$\dot{I}_{2m} = C_2 \dot{I}_2 = -C_1 I_1 \cdot \frac{Z_0 + 3R_f}{Z_1 + Z_0 + 3R_f} = -\dot{I}_{1m} \cdot \frac{Z_0 + 3R_f}{Z_1 + Z_0 + 3R_f} \quad (11)$$

$$\dot{I}_{0m} = C_0 I_0 = -C_0 I_1 \cdot \frac{Z_0}{Z_1 + Z_0 + 3R_f} = -\dot{I}_{1m} \cdot \frac{Z_0 \cdot C_0 / C_1}{Z_1 + Z_0 + 3R_f} \quad (12)$$

由此可得出保护装设处的正序与负序或零序电流之间的相位关系如式(13)、(14)所示。

$$\theta_2 = \arg \left[\frac{\dot{I}_{2m}}{\dot{I}_{1m}} \right] = \arg \left(\frac{Z_0 + 3R_f}{Z_1 + Z_0 + 3R_f} \right) \quad (13)$$

$$\theta_0 = \arg \left[\frac{\dot{I}_{0m}}{\dot{I}_1} \right] = \arg \left(\frac{Z_0 \cdot C_0 / C_1}{Z_1 + Z_0 + 3R_f} \right) \quad (14)$$

由此(14)可以看出,随着 R_f 的增大, θ_2 是单调增大,假定 Z_0 为纯电抗,则 θ_0 的极值为 90° , θ_2 随 R_f 增大的变化规律较为复杂。为便于分析,假定 Z_1 和 Z_0 均为纯电抗,并设式(13)中的 $Z_1 + Z_0 = K Z_0 = K j X_0$,于是有:

$$\theta_2 = \text{arctg} \frac{X_0}{3R_f} - \text{arctg} \frac{K X_0}{3R_f} \quad (15)$$

对式(15)求导数,并令:

$$\frac{d\theta_2}{dR_f} = 0 \quad \text{可得:}$$

$$R_f = \frac{K}{3} Z_0 \quad (16)$$

将式(16)代入式(15)可得出 θ_2 的最大值为:

$$\theta_{2max} = \text{arc} \frac{1}{K} - 45^\circ \quad (17)$$

由此可见, θ_2 的极值为 45° ,即 θ_2 受过渡电阻的影响远较 θ_0 为小,这也说明采用正序故障分量的电流与负序电流比较相位的选择是正确合理的。

综上所述,可定性地作出 R_f 对 θ_2 和 θ_0 的影响如图5所示。

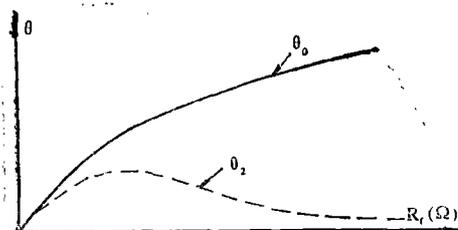


图5 过渡电阻对 θ_2 和 θ_0 的影响

不难看出,当采用 $\dot{I}_{20m} = \dot{I}_{2m} + \dot{I}_{0m}$ 与 \dot{I}_{1m} 比较相位时,会进一步减小过渡电阻的影响,其相位关系可表示为:

$$\theta_{20m} = \arg \left| \frac{\dot{i}_{20m}}{\dot{i}_{f\#}} \right| = \arg \left(\frac{Z_0 + Z_1 \cdot c_0 / c_1 + 3R_f}{Z_0 + Z_1 + 3R_f} \right) \quad (18)$$

由式(18)可见,当 $c_0 = c_1$ 时, R_f 时的存在不会对角度 θ_{20m} 产生影响,当 c_0 与 c_1 的比值偏离1越大时,影响也增大。

四 数字模拟实验

为了检验所提出新型相位比较式选相元件的正确性,选用了一条500kV线路模型,线路长度为300km,数字模拟的实验方法是利用国际上广泛采用的EMTP电磁暂态程序计算出故障后线路电流的暂态值,然后通过数字滤波和对称分量计算等环节得到图3程序框图国所需的正序故障分量电流、负序电流和零序电流,最后利用选相元件的判据选出故障相别并打印输出。

模拟实验是在线路不同地点经过不同过渡电阻的条件进行的,故障地点选取60km, 120km, 180km, 240km, 过渡电阻为20Ω, 50Ω, 100Ω, 200Ω。实验结果表明,在各种故障下的选相结果全部正确。现将模拟实验的结果输出打印示于表4—1到4—3中。

表4—1 单相接地

故障点 接地电阻	60			120			180			240		
	A-G	B-G	C-G									
20Ω	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
50Ω	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
100Ω	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
200Ω	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C

表4—2 两相短路

故障点 R	60			120			180			240		
	A-B	A-C	B-C									
20Ω	AB	AC	BC									
50Ω	AB	AC	BC									

表4—3 两相短路接地

故障点 R ₁ R ₂ R _d	60			120			180			240		
	AB-G	AC-G	BC-G									
10, 10~20	AB	AC	BC									
20, 20~40	AB	AC	BC									
50, 50~100	AB	AC	BC									

有互感的线路上零序电流保护定值整定计算中 特殊情况的研究

湖北省电力中心调度所 王珍珍

内容摘要

本文通过电路分析方法把有互感网络化为无互感等价网络,对各种有互感的线路在发生接地故障时电流的变化进行分析研究,得出在有些复杂而又特殊互感分布情况下,不能完全按常规的故障位置及运行方式进行计算整定零序电流保护的定值,而应按本文分析法整定零序保护的定值,才能满足保护动作的选择性。

众所周知,零序电流保护装置简单可靠,动作时间快,它对保护电网安全运行的作用是显著的,但不足的是整定计算工作是非常复杂麻烦的,特别是在多环网和有零序互感线路上如何正确对零序保护进行整定计算是当前研究的课题之一。

零序保护速动段的动作电流亦是按电网中预定选定点(一般不越过本线末段)发生接地短路时避越流过保护装置的最大短路电流(零序电流)整定的,因此在被保护范围外发生接地短路时保护装置不动作,从而保证了动作的选择性,下面就双回有互感线路上零序保护值的整定计算方法进行分析研究。

(一) 双回平行线路全线之间有互感耦合

五 结 论

1. 本文提出了利用正序故障分量和负序分量进行相位比较的原理,实现了相位比较式电流选相元件和电压选相元件。

2. 本文提出的两种选相元件均有灵敏可靠,动作准确,不受负荷影响并具有耐受大过渡电阻能力的特点。

3. 相位比较式电流选相元件在大电源侧灵敏度高,相位比较式电压选相元件在小电源侧及无电源侧灵敏度高,二者可配合或结合使用。

4. 本选相元件整定计算简单。

参考文献

1. “高压电网继电保护原理与技术” 朱声石
2. “美国GE SLYP-SLCN 继电器实现单相跳闸方案的说明和应用” 北京电力设计院 1981 3
3. “JZC-21A型静态重合闸装置研制总结” 东北电力设计院 1987
4. “故障信息与继电保护” 葛耀中 王安定 全国高校电力系统及其自动化专业第二届学术年会论文集 1986
5. “同样双回线路故障选相元件的研究” 索南 西安交大硕士学位论文 1988
6. “利用故障分量的微机距离保护” 李兵 西安交大硕士学位论文 1988