

相间功率方向元件动作行为分析

李仲明

(宁夏电力局中心调度所, 宁夏 银川 750001)

【摘要】 地方电网与电力系统并网运行时,为了减少对电力系统继电保护及自动装置的影响,采用低电压闭锁功率方向、功率方向过电流等解列装置的方法是切实可行的有效措施,利用相量图分析的方法重点论证装置中的相间功率方向元件的接线方式及在各种可能的情况下发生各种类型故障短路时的动作行为。

【关键词】 功率方向; 闭锁; 电网; 解列

1 概述

随着用电系统的发展,经常有地方小电厂或小电网与电力系统并网,以加强供电的可靠性和运行的经济性。但是当地方小电网与系统并网后,将对电力系统的继电保护和自动装置产生影响,如图1所示。当大电力系统侧输电线路 L_1 、 D_1 点发生接地短路故障时,靠系统侧保护1动作跳闸。而小电网侧的保护2往往灵敏度不够而有不动作的情况,若该侧变压器 T_1 的中性点不接地,就会使小电网侧成为中性点不接地系统,电压升高 $\sqrt{3}$ 倍,从而对该变压器 T_1 的绝缘构成威胁,此时大系统侧的重合闸也就无法动作,若该侧变压器 T_1 的中性点是接地的,由小电网侧提供的短路电流及变压器 T_1 中性点分布的零序电流作用,也可能使变压器 T_1 越级跳闸,此时系统侧的大电源侧重合闸重合成功后可能为空线路。为了解决上述问题,电力部规定:当地方小电网与电力系统并网时,当大系统侧发生短路时,先将小电网侧解列,在大系统侧使用重合闸。

2 基本概念

目前大多数地方电网与大电力系统并网运行时,理论上讲理想的解列点一般应选在地方电网所

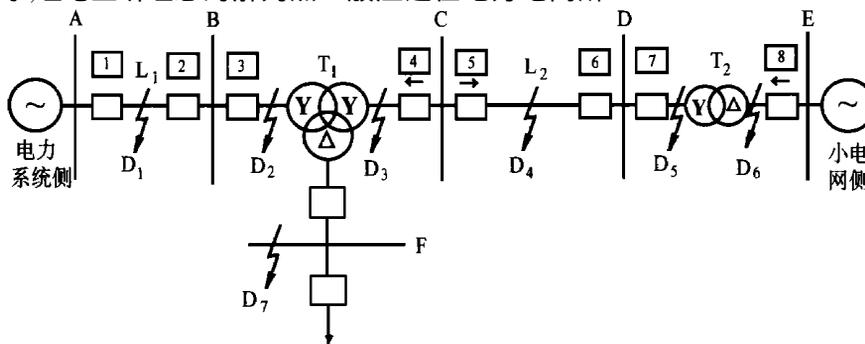


图1 小电网与电力系统并网时的电路图及解列装置的示意图

能带的负荷的功率平衡点上,以保证当大电力系统出现故障时解列点动作后地方电网能带重要的负荷。但是由于地方电网开机方式出力不稳定,何况地方负荷波动性亦大,所谓的理想解列点亦是变化的,况且由于产权及调度管辖范围的限制,所以目前的解列点基本上是在并网线路上,为了保证可靠性,线路两侧均装设低周、低电压及低电压闭锁功率方向和过电流闭锁功率方向等解列装置。

低电压解列装置动作是无选择性的,特别是当PT失电压后会误动作,对用户的正常供电带来很大的影响。当大电力系统发生故障时,周波也不一定低,尤其对于功率过剩的小电源网络或因功率缺额过大,电压降低过快,周波反而上升,因而低周解列装置动作也不可靠,只能作为一种补充装置。本文提出采用低电压闭锁功率方向、过电流闭锁功率方向解列装置可以弥补低电压、低周解列装置的不足。相间功率方向元件采用90°接线方式,所谓90°接线方式是指:三相对称,且功率因数 $\cos\phi = 1$ 时,加入到元件中的电流超前电压之间的夹角为90°。因解列点设置于小电流接地电网,即装设在A、C两相上,A相功率方向元件(后简称为 G_A)加入的电流为: $I_{jA} = I_A$,加入电压为: $\dot{U}_{jA} = \dot{U}_{BC}$;C相功率方向元件(后简称为 G_C)加入的电流为: $I_{jC} = I_C$,加入

电压为: $\dot{U}_{jC} = \dot{U}_{AB}$,并假定功率方向元件的内角 $\alpha = 30^\circ$,为分析问题方便起见,忽略负荷电流,设短路阻抗角 $\phi_d = 70^\circ$,由于功率方向元件多为整流型和晶体管型,在各种短路故障情况下其灵敏度较高,在此不必校验灵敏度。

对Y/Y-12(包括中性点接地或不接地),/Y-12联接的变压器,正序分量电压、电流和负序

分量电压、电流通过时,只在数值大小上有变化,而相位不变。对 $Y/\text{—}11$ (或 $Y_0/\text{—}11$) 联接的变压器时:正序(或负序)分量电压或电流由 Y 侧变换到 侧时, 侧正序(或负序)分量电压或电流超前(或滞后) Y 侧 30° ;而当正序(或负序)分量电压或电流由 侧变换到 Y 侧时, Y 侧的正序(或负序)分量电压或电流要滞后(或超前) 侧 30° 。

3 动作行为的分析

为了使讨论问题带有普遍性和适用性,对解列点装设的功率方向元件在输电线路或经变压器后的正方向和反方向发生各种短路故障时进行其动作行为的分析。如图 1 所示,由于地方小电厂要经 $Y/\text{—}11$ 接线的变压器升压后再通过较高电压的输电线路 L_2 送至 C 母线上,所带部分用户负荷的设备产权和调度管辖范围是属于地方电网,而大电力系统经较高电压输电线路 L_1 后再通过 $Y/Y/\text{—}12\text{—}11$ 接线的变压器降压亦连接至 C 母线并网,带 C 母线上的部分用户负荷的设备产权和调度管辖范围是隶属于电力系统管辖和调度。鉴于上述情况,根据不同的季节和地方电网的运行方式把解列装置装设在 C 母线上的开关 4 与开关 5 上,只须用其中一个开关的一组 CT 和一套功率方向元件,经倒换其 CT 的极性和跳闸回路等可以根据不同的运行方式在事故情况下做到只解列开关 4 或开关 5 的功能,具体电路图在此省略,功率方向元件整定动作方向对开关 4 由 C 母线指向变压器 T_1 ,对开关 5 即由 C 母线指向线路 L_2 ,这样尽可能满足解列点设置在小电网所能带动的负荷功率平衡点上。

不对称故障时,经变压器变换后各序电流、电压分量的分析计算及相量作图方法可归纳为:首先求出短路处的各序电流、电压分量,并找出这些分量间的关系,然后画出短路侧的电压、电流相量图;根据变压器的联接组别及短路发生在变压器哪一侧确定各序对称分量经变压器后的相位变换关系;利用计算公式或者相量作图法,将变换后的各序分量按对称分量法的合成关系进行叠加,求出变换后这一侧的各相电流和电压。为了比较不对称故障时变压器两侧电流的分布情况,把各相的电流都以故障相的电流来表示。

3.1 三相短路

如图 1 所示,对开关 4 装设相间功率方向继电器的解列装置,当 D_1, D_2 点三相短路时的电压、电流通过 $Y/Y\text{—}12$ 变换后其相位不变,与 D_3 点三相短

路时的电压、电流的相位相一致,由于三相短路是对称的故只须分析一相即可,若以母线 C 电压为参考相量,母线电压和电流的相量图如图 2 所示。由相量图可知, $I_{jA} = I_A$ 且落入动作区内,能够保证 G_A 可靠动作,同理在反方向 D_4, D_5 点三相短路时,由相量图 2 可知 $I_{jA} = I_A$ 落入制动区内可靠不动作。

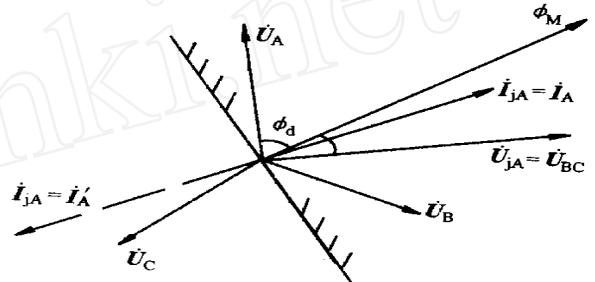


图 2 三相短路时电流、电压相量图及功率方向继电器的动作区

如图 1 所示,对开关 4 装设的 G 解列装置,当 D_7 点三相短路时,若以 F 母线电压为参考相量,其短路电压、电流通过 $Y/\text{—}11$ 变换后,两侧电流、电压相量图和 G_A 的动作区如图 3 所示,由于三相短路是对称的故只须 G_A 的动作行为,显而易见 $I_{jA} = I_A$ 落入动作区内 G_A 可靠动作,同理在反方向 D_6 点三相短路时,由相量图 3 可知 $I_{jA} = I_A$ 落入制动区内可靠不动作。

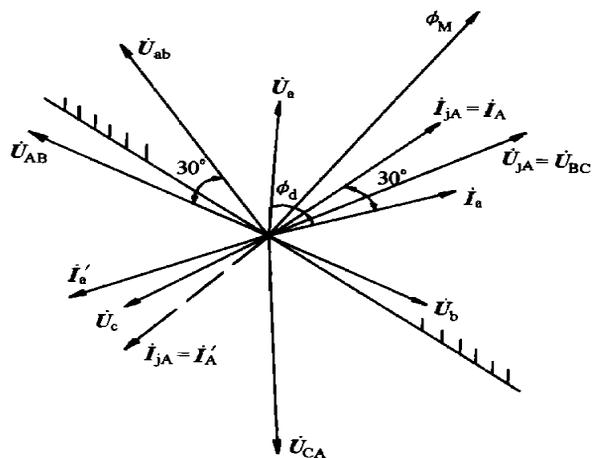


图 3 $Y/\text{—}11$ 侧三相短路时两侧电流、电压相量图和功率方向继电器的动作区

3.2 两相短路

3.2.1 一般两相短路

如图 1 所示,对开关 4 装设的 G 解列装置,当 D_1, D_2 点 B、C 两相短路时的电压、电流通过其 $Y/Y\text{—}12$ 变换后其相位不变,与 D_3 点 B、C 两相短路时的电压、电流的相位相一致,为了分析方便起见,近

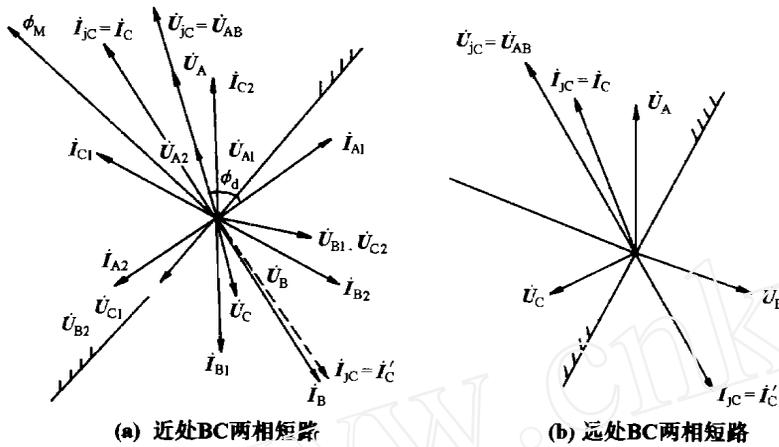


图4 BC两相短路时电流、电压的相量图及功率方向继电器的动作区
 处D₃点B、C两相短路,若以母线C电压为参考相量,短路点的边界条件为: $\dot{I}_A = 0, \dot{I}_{A1} = -\dot{I}_{A2}, \dot{U}_{A1} = \dot{U}_{A2} = \frac{1}{2}\dot{U}_A$,其电压和电流的相量图如图4(a)所示可知 $\dot{I}_{jC} = \dot{I}_C$ 落入动作区内, G_C 可靠动作,同理在反方向D₄点两相短路时, $\dot{I}_{jC} = \dot{I}_C$ 落入制动区内可靠不动作。当短路点距解列点在很远处D₁点发生BC两相短路时,母线C三相电压近似对称,其电流、电压相量图如图4(b)所示,由分析可知 G_C 能正确动作,而在反方向很远处D₅点B、C两相短路时 $\dot{I}_{jC} = \dot{I}_C$ 落入制动区内可靠不动作。

3.2.2 Y/—11 侧bc两相短路

如图1所示,对开关4装设的G解列装置,当D₇点b、c两相短路时,为了简化分析,假定变压器变比 $N_B = 1$ (以后分析亦假定为 $N_B = 1$),Y侧发生bc两相短路时边界条件为: $\dot{I}_{a1} = \dot{I}_{a2}, \dot{I}_a = 0, \dot{U}_{a1} = \dot{U}_{a2} = \frac{1}{2}\dot{U}_a, \dot{I}_b = -\dot{I}_c = \dot{I}_b^{(2)}$,根据上述条件可以作出如图5(a)、(b)所示的两侧电流的分布和侧各序的电流、电压相量图。然后将侧各对称分量变换到Y侧,并将正、负序分量按照上述原则迭加后,即可求出Y侧各相电压与电流,如图5(c)所示,由相量图分析得知,在变压器侧发生bc两相短路时,Y侧三相均有

电流,其值为: $\dot{I}_A = \dot{I}_B = \frac{1}{\sqrt{3}}\dot{I}_b^{(2)}, \dot{I}_C =$

$-\frac{2}{\sqrt{3}}\dot{I}_b^{(2)}$,其电压 $\dot{U}_{c1} = \dot{U}_{c2}$,即 $\dot{U}_c = 0$, G_C 的动作情况,由于 $\dot{U}_{jC} = \dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B, \dot{I}_{jC} = \dot{I}_C$,由图5(d)可见, \dot{I}_{jC} 落在动作区内,即可靠动作,同理可分析在反方向D₆点bc两相短路时 $\dot{I}_{jC} = \dot{I}_C$ 落入制动区内可靠不动作。

3.2.3 Y/—11Y侧BC两相短路

如图1所示,若有对开关8装设的G解列装置,其整定动作方向由母线E指向变压器T₂时,当在Y侧发生BC两相短路时边界条件、两侧电流的分布及电流、电压相量图和G_C的正、反方向发生BC两相短路时的动作行为的分析如图6所示。由图6可见,变压器Y侧发生BC两相短路时,侧三相均有电流,其值为: $\dot{i}_a = \dot{I}_c = -\frac{1}{\sqrt{3}}\dot{I}_B^{(2)},$

$\dot{I}_b = \frac{2}{\sqrt{3}}\dot{I}_B^{(2)}$,其电压 $\dot{U}_{b1} = \dot{U}_{b2}, \dot{U}_b = 0$

3.3 单相接地短路

3.3.1 Y₀/Y—12 Y₀侧A相接地短路

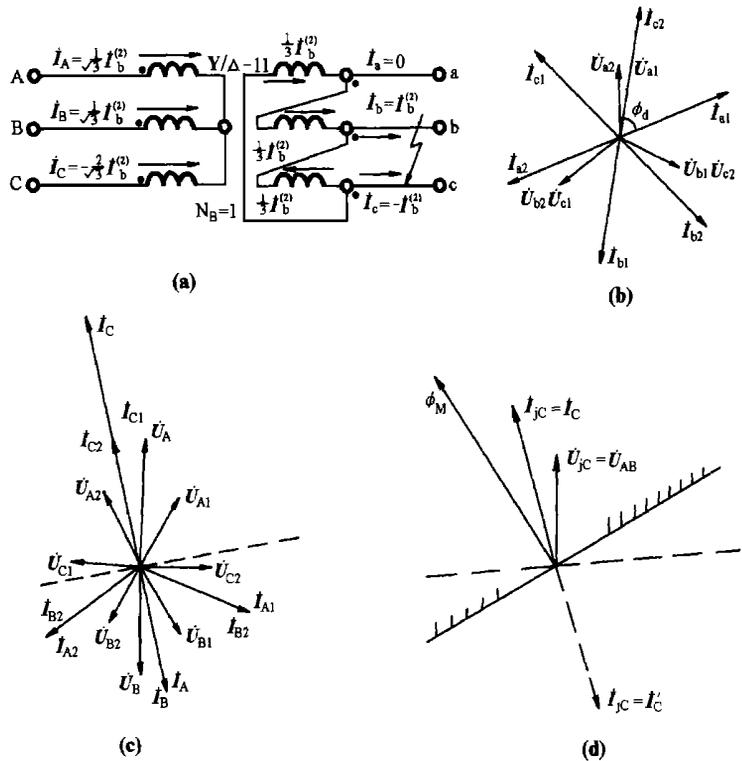


图5 Y/—11 侧bc两相短路电流分布及电流、电压的相量图和功率方向继电器的动作区

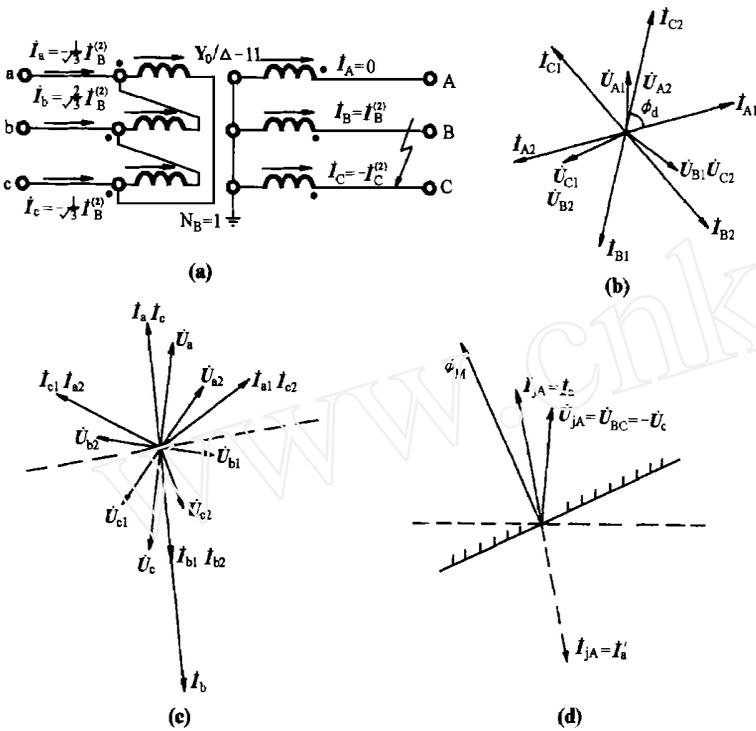


图6 Y₀ /-1Y₀(或Y)侧发生BC两相短路时两侧电流分布及电流、电压的相量图和功率方向继电器的动作区

如图1所示,对开关4装设的G解列装置当在D₁、D₂点即Y₀侧A相接地短路时,根据短路点的边界条件有 $\dot{U}_A = \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0} = 0$, 或有 $\dot{U}_{A1} = -$

$(\dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0})$, $\dot{I}_{A1} = \dot{I}_{A2} = \dot{I}_{A0} = \frac{1}{3} \dot{I}_A^{(1)}$, $\dot{I}_b = \dot{I}_c = 0$, 由于对称分量经Y₀侧变换到Y侧后相位不变,同时Y侧的 $\dot{I}_0 = 0$, 但 \dot{U}_0 不为零,当考虑变压器压降时,Y侧各相电压相量图与Y₀侧有所不同。根据上述条件可以作出Y₀/Y-12Y₀侧A相接地短路时两侧电流分布及电流、电压相量图和G_A的 $\dot{I}_{jA} = \dot{I}_a$ 落在动作区内能可靠动作,而在反方向A相接地短路时则 $\dot{I}_{jA} = \dot{I}_a$ 落入制动区内保证可靠不动作,如图7所示。

3.3.2 Y₀/-1Y₀侧A相接地短路

如图1所示,对开关8所装设的G装置,其整定动作方向由母线E指向变压器T₂时,当在Y₀侧的D₃、D₄、D₅点发生A相接地短路时,同理根据上述的分析方法:由短路的边界条件可得知两侧电流的分布及电流、电压

的相量图和G_A、G_C在Y₀/-1Y₀侧正方向发生A相接地短路时 $\dot{I}_{jA} = \dot{I}_a, \dot{I}_{jC} = \dot{I}_c$ 落在动作区内可靠动作,而在反方向A相接地短路时则 $\dot{I}_{jA} = \dot{I}_a, \dot{I}_{jC} = \dot{I}_c$ 落入制动区内保证可靠不动作,如图8所示,由相量图可见,变压器侧即解列点处的三相电压 $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$ 近似对称, $\dot{I}_a = -\dot{I}_c = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{I}_A^{(1)}, \dot{I}_b = 0$

4 结论与建议

4.1 由上述分析可得出结论,相间功率方向继电器采用90接线,且电压电流均取自变压器的同一侧时:A相: $\dot{I}_A \dot{U}_{BC}$ 、B相: $\dot{I}_B \dot{U}_{CA}$ 、C相: $\dot{I}_C \dot{U}_{AB}$,在正方向发生任何形式的短路时,G都能保证可靠的动作,而当反方向短路时则可靠不动作。

4.2 有时为了满足提高动作的可靠性和灵敏度,防止死区,将电流接在Y/-1变压器的Y侧,而电压接在侧;A相: $\dot{I}_A \dot{U}_B$ 、B相: $\dot{I}_B \dot{U}_C$ 、C相: $\dot{I}_C \dot{U}_A$;或电流接在Y/-1变压器的侧,而电压接在Y侧;A相: $\dot{I}_A (-\dot{U}_C)$ 、B相: $\dot{I}_B (-\dot{U}_A)$ 、C相: $\dot{I}_C (-\dot{U}_B)$,仿照电

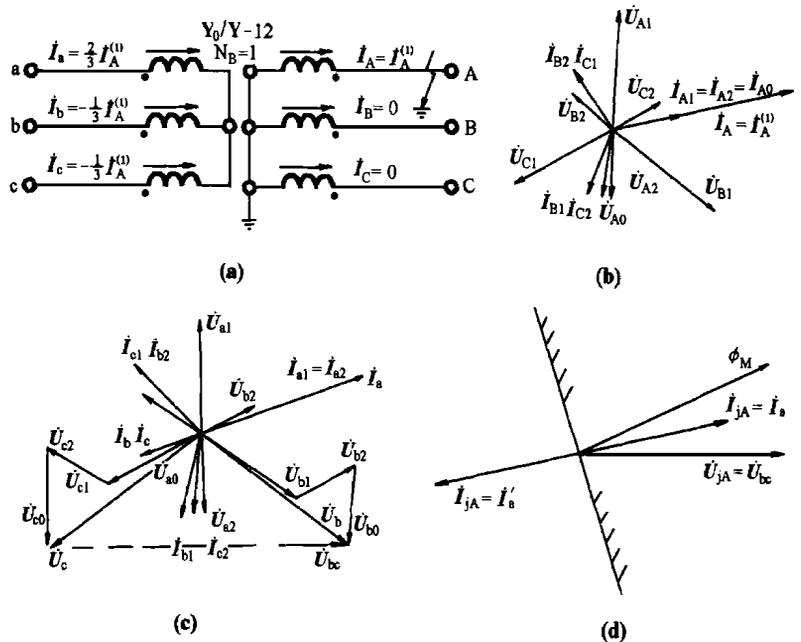


图7 Y₀/Y-12Y₀侧A相接地短路时两侧电流分布及电流、电压相量图和功率方向继电器的动作区

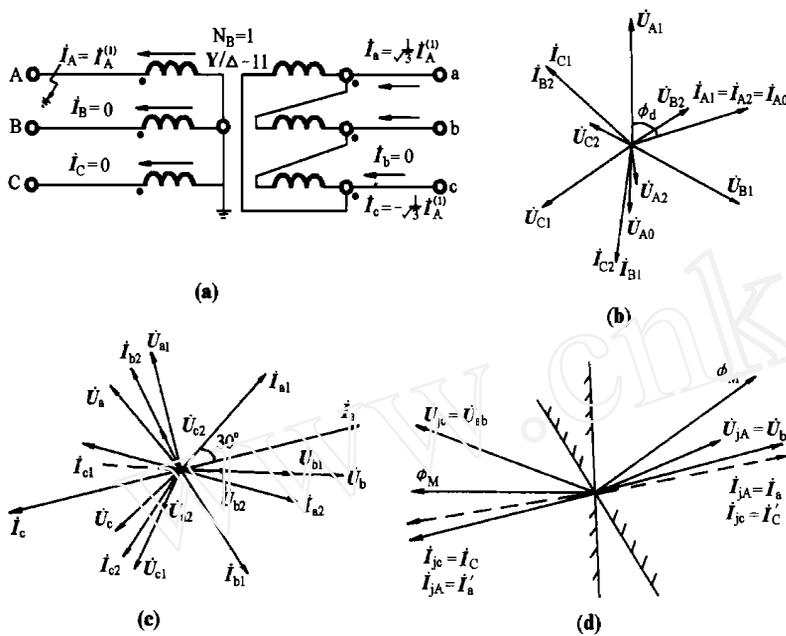


图 8 Y/Δ-11 侧 A 相接地时两侧电流分布及电流、

电压的相量图和功率方向继电器的动作区
压电流均取自变压器的同一侧的分析方法验证上述
接线的准确性,亦能正确地判断短路功率的方向性。
请自行画相量图等分析,在此不赘述。

4.3 在正常运行情况下,应明确规定当发生电压互

感器一相断线时,应用上述的分析方法,G 是会误动作的,这给处理和分
析事故带来麻烦,所以必须停用 G 解
列装置。

4.4 地方电网接入电力系统,虽容量
不大,电压等级低,复杂性却大为增
大,已引起足够的重视,但是对我们电
力系统的如原来在 1958 年~1965 年
之间建立的电厂,一般装机容量小,电
压等级亦不高,相对目前电力系统的大
机组超高压比较之下又变为相当于小
电厂低电压的地方电网中的电厂,往
往每当电力系统如 110kV 线路发生故
障时,把小电厂自然压垮,如电压崩溃
瓦解、周波过高或过低等,导致全厂
停电的重大事故,已屡见不鲜,追究其
原因,为小电厂容量小、无足轻重,每
次重大事故后以不了了之,不足引起
人们的足够重视。

收稿日期:1998—10—20

作者简介:李仲明(1938-),男,高级工程师,长期从事电力系统继电保护的研究。

ANALYSIS ON THE OPERATING CHARACTERISTIC OF PHASE TO PHASE
DIRECTIONAL POWER ELEMENT

LI Zhong-ming

(Central Dispatch Institute of Ningxia Electric Power Bureau, Yinchuan 750001, China)

Abstract When regional power network connects with power system, in order to reduce the influence on relay protection and automation devices of power system, using the disconnecting device based on the principle of undervoltage-blocking power direction and power direction overcurrent is practical and effective measures. The wiring mode of the phase to phase directional power element in the device and its operating characteristic in all kinds of fault short-circuits and different conditions are discussed by means of phasor diagram analysis.

Keywords power direction; blocking; power network; disconnection

(上接第 24 页)

项目基金:煤炭科学基金资助项目

作者简介:牟龙华(1963-),男,博士,副教授,研究方向为供电安全及微机保护; 刘建华(1972-),男,在读硕士生。

BASIC WORK PRINCIPLE OF CABLE FAULT LOCATION

MU Long-hua, LIU Jian-hua

(China University of Mining & Technology, Jiangsu Xuzhou 221008, China)

Abstract Based on the overview of methods of cable fault location at home and abroad, this paper analyzes in detail the work-principle of pulse current detection. Some methods of improving location accuracy are presented.

Keywords cable; fault location; pulse current detection