



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112557810 A

(43) 申请公布日 2021. 03. 26

(21) 申请号 202011248468.4

(22) 申请日 2020.11.10

(71) 申请人 国网天津市电力公司

地址 300010 天津市河北区五经路39号

申请人 国家电网有限公司

(72) 发明人 苏强 范朕宁 张慧颖 朱汉卿

刘扬 张丽娜 赵长伟 张新民

徐科

(74) 专利代理机构 天津盛理知识产权代理有限

公司 12209

代理人 王来佳

(51) Int. Cl.

G01R 31/08 (2006.01)

H02H 7/26 (2006.01)

H02J 3/00 (2006.01)

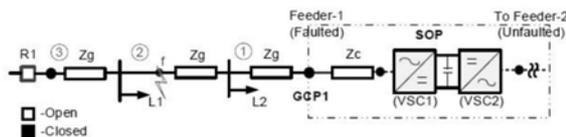
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于柔性开关的配电网故障诊断与定位方法

(57) 摘要

本发明属于配电网电力电子控制技术领域,涉及柔性开关的控制技术,尤其是一种基于柔性开关的配电网故障诊断与定位方法。在电网正常运行时,柔性开关工作在功率控制模式。发生故障后,故障馈线不再连接到主电网,与故障馈线相连接的柔性开关变流器工作在开环模式,并以低调制指数运行。其开环输出电压为电网额定电压的0.1倍,故障馈线的电压会随着柔性开关变流器输出电压的变化而变化,对流经变流器端口的电流和故障馈线的压降进行量化,然后利用电流和电压测量值确定配电网中故障的类型和位置。



1. 一种基于柔性开关的配电网故障诊断与定位方法,包括一个典型的配电网馈线,采用柔性开关将馈线1和馈线2连接在一起, Z_g 表示每个部分的线路阻抗, Z_c 是柔性开关单侧变流器输入/输出阻抗,L1和L2是两个三相负载,R1是断路器,S1是远程操作开关,其特征在于:包括如下步骤:

步骤1:故障检测;

步骤2:确定故障位置;

步骤3:确定故障类型。

2. 根据权利要求1所述的一种基于柔性开关的配电网故障诊断与定位方法,其特征在于:所述步骤1中,在“f”点发生故障后,断路器R1会断开,负载L1和L2失电,此时柔性开关切换到故障诊断模式,连接到有故障的馈线的变流器VSC1充当电压源,在柔性开关的并网点GCP1处测量电压和电流,用于故障诊断;

定义故障指数FI如下:

$$FI_x = \frac{\left(V_{x\text{RMS}}^p - \left(V_{x\text{RMS}}^n + V_{x\text{RMS}}^z \right) \right)}{\left(V_{xN}^p \right)} \quad (1)$$

式中,x代表a、b和c三相, V_{RMS}^p 表示正序电压的均方根值, V_{RMS}^n 表示负序电压的均方根值, V_{RMS}^z 表示零序电压, V_{xN}^p 表示故障诊断模式下VSC1的输出电压的有效值,本专利中设定其为0.1倍电网额定电压。FI的数值小于0.9则表明配电网馈线存在故障。

3. 根据权利要求2所述的一种基于柔性开关的配电网故障诊断与定位方法,其特征在于:所述步骤2中,在故障诊断模式下运行的柔性开关可等效为电压源; V_g 和 I_g 是在并网点GCP1处测得的相电压和线电流;“d”是故障点到GCP1的距离,“D”为馈线总长度; I_f 是故障点f处的故障电流,R是故障电阻, Z_{app} 是从GCP1观察到的正序阻抗,根据基尔霍夫定律,可以采用公式2计算从GCP1观察的阻抗;

$$Z_{\text{app}} = \frac{V_g}{I_g} = dZ_D + R \frac{I_f}{I_g} \quad (2)$$

假设故障电阻很小,公式(2)适用于所有类型的短路故障;因此,故障点到测试点的距离(d)等于故障段线路与总线阻抗($Z_D = Z_{\text{app}} + Z_L$)的比值。

4. 根据权利要求3所述的一种基于柔性开关的配电网故障诊断与定位方法,其特征在于:所述步骤3中,故障馈线中的电压和电流取决于故障类型,故障类型可通过线电流和相电压的不同组合形式来表征。

5. 根据权利要求4所述的一种基于柔性开关的配电网故障诊断与定位方法,其特征在于:所述步骤3中,依据故障类型划分为单相故障,相间故障和三相故障,故障类型可通过线电流和相电压的不同组合形式来表征;根据相应的电压和电流特征来作为故障类型的判定标准,并测量GCP1处的电压和电流特征。

6. 根据权利要求5所述的一种基于柔性开关的配电网故障诊断与定位方法,其特征在于:所述步骤3中,单相故障以 L_a -G表示,相间故障以 L_a - L_b 表示,三相故障以 L_a - L_b - L_c 表示;

其中,单相故障 L_a -G中, $V_a = 0$, $I_b = I_c = 0$,GCP1处的电压为 V_a ,电流为 $I_a + \left(\frac{Z_D^z - Z_D^p}{3Z_D^p} \right) I_g^z$;

相间故障 L_a-L_b 中, $V_a=V_b, I_a=-I_b; I_c=0$;GCP1处的电压为 V_a-V_b ,电流为 I_a-I_b ;三相故障 $L_a-L_b-L_c$ 中, $V_a=V_b=V_c, I_a+I_b+I_c=0$;GCP1处的电压为 V_a-V_b ,电流为 I_a-I_b ;

上式中, Z_D^z 表示零序线阻抗, Z_D^p 表示正序线阻抗;

在柔性开关正常运行期间,柔性开关运行在功率控制模式,通过计算FI值来判断馈线是否存在故障;在故障发生后,故障馈线侧连接的柔性开关变流器迅速切断输出电压和电流,保持阻断状态,直到断路器断开故障馈线;柔性开关在断路器断开后切换到故障诊断模式,并确定故障类型和故障位置。

一种基于柔性开关的配电网故障诊断与定位方法

技术领域

[0001] 本发明属于配电网电力电子控制技术领域,涉及柔性开关的控制技术,尤其是一种基于柔性开关的配电网故障诊断与定位方法。

背景技术

[0002] 现有文献中提出了多种算法来确定电力网络中的故障位置,常用的方法包括阻抗法、行波法和使用数字故障记录仪的方法。在故障诊断模式下,可采用距离继电器通过测量网络的视在阻抗来判断故障位置。基于阻抗计算法的电网故障诊断方法易于实现,不需要任何通信或远程测量手段就可以提供合理准确的结果。但是这些方法都需要在配电网中安装特定设备来实现故障诊断功能,经济投入大。

[0003] 现有研究和实际工程应用中,柔性开关一般只用于电网正常运行时的功率控制,一旦电网发生故障,柔性开关和断路器协作切除故障馈线,等到故障清除后再投入运行。实际上,可将柔性开关用于电网馈线的故障诊断、故障类型分类和故障定位,实现“一机多用”,既能提高检测精度,又能降低经济成本。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现有技术的不足,提供一种将柔性开关用于电网馈线的故障诊断和故障定位,实现“一机多用”,既能提高检测精度的基于柔性开关的配电网故障诊断与定位方法。

[0005] 本发明采取的技术方案是:

[0006] 一种基于柔性开关的配电网故障诊断与定位方法,包括一个典型的配电网馈线,采用柔性开关将馈线1和馈线2连接在一起, Z_g 表示每个部分的线路阻抗, Z_c 是柔性开关单侧变流器输入/输出阻抗,L1和L2是两个三相负载,R1是断路器,S1是远程操作开关,其特征在于:包括如下步骤:

[0007] 步骤1:故障检测;

[0008] 步骤2:确定故障位置;

[0009] 步骤3:确定故障类型。

[0010] 进一步的,所述步骤1中,在“f”点发生故障后,断路器R1会断开,负载L1和L2失电,此时柔性开关切换到故障诊断模式,连接到有故障的馈线的变流器VSC1充当电压源,在柔性开关的并网点GCP1处测量电压和电流,用于故障诊断;

[0011] 定义故障指数FI如下:

$$[0012] \quad FI_x = \frac{\left(V_{x\text{RMS}}^p - \left(V_{x\text{RMS}}^n + V_{x\text{RMS}}^z \right) \right)}{\left(V_{x\text{N}}^p \right)} \quad (1)$$

[0013] 式中,x代表a、b和c三相, V_{RMS}^p 表示正序电压的均方根值, V_{RMS}^n 表示负序电压的均方根值, V_{RMS}^z 表示零序电压, $V_{x\text{N}}^p$ 表示故障诊断模式下VSC1的输出电压的有效值,本专利中设定

其为0.1倍电网额定电压。FI的数值小于0.9则表明配电网馈线存在故障。

[0014] 进一步的,所述步骤2中,在故障诊断模式下运行的柔性开关可等效为电压源; V_g 和 I_g 是在并网点GCP1处测得的相电压和线电流;“d”是故障点到GCP1的距离,“D”为馈线总长度; I_f 是故障点f处的故障电流,R是故障电阻, Z_{app} 是从GCP1观察到的正序阻抗,根据基尔霍夫定律,可以采用公式2计算从GCP1观察的阻抗;

$$[0015] \quad Z_{app} = \frac{V_g}{I_g} = dZ_D + R \frac{I_f}{I_g} \quad (2)$$

[0016] 假设故障电阻很小,公式(2)适用于所有类型的短路故障;因此,故障点到测试点的距离(d)等于故障段线路与总线阻抗($Z_D = Z_{app} + Z_1$)的比值。

[0017] 进一步的,所述步骤3中,故障馈线中的电压和电流取决于故障类型,故障类型可通过线电流和相电压的不同组合形式来表征。

[0018] 进一步的,所述步骤3中,依据故障类型划分为单相故障,相间故障和三相故障,故障类型可通过线电流和相电压的不同组合形式来表征;根据相应的电压和电流特征来作为故障类型的判定标准,并测量GCP1处的电压和电流特征。

[0019] 进一步的,所述步骤3中,单相故障以 L_a-G 表示,相间故障以 L_a-L_b 表示,三相故障以 $L_a-L_b-L_c$ 表示;

[0020] 其中,单相故障 L_a-G 中, $V_a = 0, I_b = I_c = 0$,GCP1处的电压为 V_a ,电流为 $I_a + \left(\frac{Z_D^E - Z_D^P}{3Z_D^P} \right) I_g^E$;相间故障 L_a-L_b 中, $V_a = V_b, I_a = -I_b; I_c = 0$,GCP1处的电压为 $V_a - V_b$,电流为 $I_a - I_b$;三相故障 $L_a-L_b-L_c$ 中, $V_a = V_b = V_c, I_a + I_b + I_c = 0$;GCP1处的电压为 $V_a - V_b$,电流为 $I_a - I_b$;

[0021] 上式中, Z_D^E 表示零序线阻抗, Z_D^P 表示正序线阻抗;

[0022] 在柔性开关正常运行期间,柔性开关运行在功率控制模式,通过计算FI值来判断馈线是否存在故障;在故障发生后,故障馈线侧连接的柔性开关变流器迅速切断输出电压和电流,保持阻断状态,直到断路器断开故障馈线;柔性开关在断路器断开后切换到故障诊断模式,并确定故障类型和故障位置。

[0023] 本发明的优点和积极效果是:

[0024] 本发明中,使用柔性开关进行配电网馈线故障诊断能够克服常规故障诊断方案的缺点,具备如下优势:

[0025] (1) 响应速度快:柔性开关的正常运行模式和故障诊断模式通过功率器件开关执行,无需担心机械开关中存在的开关触点介电强度问题。同时,故障恢复时间没有限制,可以根据网络需求选择合适的故障恢复时间。

[0026] (2) 降低经济损失:柔性开关的正常运行模式和故障诊断模式可连续无缝切换,能够缩短故障恢复时间,降低相关经济损失。

[0027] (3) 避免设备损坏和相邻馈线的电压波动:柔性开关在故障诊断模式下可将故障馈线的电压和电流维持在正常范围内,避免了传统方法反复投入/切除故障造成的设备损坏和相邻馈线的电压波动。

[0028] (4) 无需安装专用故障诊断设备:柔性开关正常运行时作为能量转换装置,故障发生后作为故障诊断装置,无需在配电网中重复安装特定的故障诊断设备。

附图说明

- [0029] 图1为本发明中故障诊断模式下连接到柔性开关的配电网馈线的示意图；
 [0030] 图2为图1中故障馈线的等效单线图；
 [0031] 图3为柔性开关工作模式切换示意图；
 [0032] 图4为含柔性开关的配电网馈线简化拓扑图；
 [0033] 图5为柔性开关在故障诊断模式下的电网馈线图；
 [0034] 图6为柔性开关故障诊断方法验证模型；
 [0035] 图7为 L_a -G故障的电压和电流相量图；
 [0036] 图8为 L_a - L_b 故障的电压和电流相量；
 [0037] 图9为 L_a - L_b - L_c 故障的电压和电流相量。

具体实施方式

[0038] 下面结合实施例,对本发明进一步说明,下述实施例是说明性的,不是限定性的,不能以下述实施例来限定本发明的保护范围。

[0039] 一种基于柔性开关的配电网故障诊断与定位方法,包括一个典型的配电网馈线,采用柔性开关将馈线1和馈线2连接在一起, Z_g 表示每个部分的线路阻抗, Z_c 是柔性开关单侧变流器输入/输出阻抗,L1和L2是两个三相负载,R1是断路器,S1是远程操作开关,本发明的创新在于,包括如下步骤:

[0040] 步骤1:故障检测;

[0041] 步骤2:确定故障位置;

[0042] 步骤3:确定故障类型。

[0043] 本实施例中,所述步骤1中,在“f”点发生故障后,断路器R1会断开,负载L1和L2失电,此时柔性开关切换到故障诊断模式,连接到有故障的馈线的变流器VSC1充当电压源,在柔性开关的并网点GCP1处测量电压和电流,用于故障诊断;

[0044] 定义故障指数FI如下:

$$[0045] \quad FI_x = \frac{\left(V_{x\text{RMS}}^p - \left(V_{x\text{RMS}}^n + V_{x\text{RMS}}^z \right) \right)}{\left(V_{xN}^p \right)} \quad (1)$$

[0046] 式中,x代表a、b和c三相, V_{RMS}^p 表示正序电压的均方根值, V_{RMS}^n 表示负序电压的均方根值, V_{RMS}^z 表示零序电压, V_{xN}^p 表示故障诊断模式下VSC1的输出电压的有效值,本专利中设定其为0.1倍电网额定电压。FI的数值小于0.9则表明配电网馈线存在故障。

[0047] 进一步的,所述步骤2中,在故障诊断模式下运行的柔性开关可等效为电压源; V_g 和 I_g 是在并网点GCP1处测得的相电压和线电流;“d”是故障点到GCP1的距离,“D”为馈线总长度; I_f 是故障点f处的故障电流,R是故障电阻, Z_{app} 是从GCP1观察到的正序阻抗,根据基尔霍夫定律,可以采用公式2计算从GCP1观察的阻抗;

$$[0048] \quad Z_{\text{app}} = \frac{V_g}{I_g} = dZ_D + R \frac{I_f}{I_g} \quad (2)$$

[0049] 假设故障电阻很小,公式(2)适用于所有类型的短路故障;因此,故障点到测试点

的距离(d)等于故障段线路与总线阻抗($Z_D=Z_{app}+Z_1$)的比值。

[0050] 本实施例中,所述步骤3中,故障馈线中的电压和电流取决于故障类型,故障类型可通过线电流和相电压的不同组合形式来表征。

[0051] 本实施例中,所述步骤3中,依据故障类型划分为单相故障,相间故障和三相故障,故障类型可通过线电流和相电压的不同组合形式来表征;根据相应的电压和电流特征来作为故障类型的判定标准,并测量GCP1处的电压和电流特征。

[0052] 本实施例中,所述步骤3中,如表1所示,单相故障以 L_a-G 表示,相间故障以 L_a-L_b 表示,三相故障以 $L_a-L_b-L_c$ 表示;

[0053] 表1故障类型判定标准

故障类型	故障类型判定标准	
	电压	电流
L_a-G	$V_a = 0$	$I_b = I_c = 0$
L_a-L_b	$V_a = V_b$	$I_a = -I_b; I_c = 0$
$L_a-L_b-L_c$	$V_a = V_b = V_c$	$I_a + I_b + I_c = 0$

[0055] 表2各类故障下GCP1处的电压和电流

故障类型	GCP1 处的电压和电流	
	V_g	I_g
L_a-G	V_a	$I_a + \left(\frac{Z_D^Z - Z_D^P}{3Z_D^P} \right) I_g^Z$
L_a-L_b	$V_a - V_b$	$I_a - I_b$

[0057] 表2中, Z_D^Z 表示零序线阻抗, Z_D^P 表示正序线阻抗;

[0058] 在柔性开关正常运行期间,柔性开关运行在功率控制模式,通过计算FI值来判断馈线是否存在故障;在故障发生后,故障馈线侧连接的柔性开关变流器迅速切断输出电压和电流,保持阻断状态,直到断路器断开故障馈线;柔性开关在断路器断开后切换到故障诊断模式,并确定故障类型和故障位置。

[0059] 本发明的使用过程是:

[0060] 本发明如图6所示,采用6MVA容量的柔性开关将馈线1和馈线2连接在一起。馈线1有三段,每段长度为1km。馈线2(图中未显示)与馈线1相同。线路参数取自11kV通用配电网。 Z_g 表示线阻抗。每1km线路的正序阻抗(Z_g^P)值和负序阻抗(Z_g^N)值分别为 $0.164+j0.321 \Omega$ 和 $0.542+j0.426 \Omega$ 。 L_1 和 L_2 是两个3MVA的三相平衡负载,功率因数为0.9。 $R1$ 是断路器,用于断开电网故障。 $S1$ 是远程操作开关。

[0061] 1、应用以上模型对本发明所述的配电网故障诊断与定位方法对馈线1中不同类型的故障进行了仿真验证。

[0062] 2、故障类型识别

[0063] 图7、8和9用于故障类型识别的电网连接点的电压和电流相量,针对每种故障情况,在位置f(即图6模型中的第②部分)处仿真故障。将各故障的电流值和电压值与标准值进行比较。可以观察到,在任何故障类型下,故障馈线的电流和电压都不为零,这是由于负载的存在,会引起小的电流($\approx 27A/相$)和GCP1处的低电压。

[0064] 3、故障检测和故障定位

[0065] 表3列出了第①、②和③段不同故障类型下的FI值。FI数值在0.11-0.29之间表示接地故障,在0.09-0.23之间表示相间故障,在0.09-0.23之间表示平衡故障。FI数值远低于0.9时适用于各种类型的故障。在清除故障后,FI数值远高于上述阈值。

[0066] 将GCP1处测得的电流和电压值代入方程,计算得到视在阻抗(Z_{app}),然后使用方程估计故障位置(d)。由于假设馈线各部分阻抗相等,因此①、②和③段的实际故障位置分别为0.33、0.66和0.99倍的馈线总长。故障估计位置与实际位置的误差以百分比表示,表4总结了馈电线①、②和③段的视在阻抗、故障位置和故障位置估计误差。从表中可以看出,估计的故障位置最大误差为3%,此位置精度足以确定馈线中的故障区段。

[0067] 表3故障发生时和排除后的指数值

故障区段	故障类型	FI (故障期间)	FI (故障排除后)
区段 1	L_a-G	0.29	0.98
	L_a-L_b	0.23	0.98
	$L_a-L_b-L_c$	0.23	0.98
区段 2	L_a-G	0.21	0.98
	L_a-L_b	0.16	0.98
	$L_a-L_b-L_c$	0.17	0.98
区段 3	L_a-G	0.11	0.98
	L_a-L_b	0.09	0.98
	$L_a-L_b-L_c$	0.09	0.98

[0069] 表4视在阻抗计算值、估计位置及位置估计误差

故障区段	故障类型	$*Z_{app}(\Omega)$	估计故障位置 $d(pu)$	误差(%)
区段 1	L_a-G	$0.36 \angle -118$	0.337	2
	L_a-L_b	$0.20 \angle -118$	0.330	0
	$L_a-L_b-L_c$	$0.21 \angle -118$	0.337	2
区段 2	L_a-G	$0.724 \angle -118$	0.680	3
	L_a-L_b	$0.709 \angle -118$	0.668	1.2
	$L_a-L_b-L_c$	$0.710 \angle -118$	0.669	1.3
区段 3	L_a-G	$1.08 \angle -119$	1.01	2
	L_a-L_b	$1.06 \angle -118$	1	1
	$L_a-L_b-L_c$	$1.06 \angle -118$	1	1

[0071] 本发明中,使用柔性开关进行配电网馈线故障诊断能够克服常规故障诊断方案的缺点,具备如下优势:

[0072] (1) 响应速度快:柔性开关的正常运行模式和故障诊断模式通过功率器件开关执行,无需担心机械开关中存在的开关触点介电强度问题。同时,故障恢复时间没有限制,可以根据网络需求选择合适的故障恢复时间。

[0073] (2) 降低经济损失:柔性开关的正常运行模式和故障诊断模式可连续无缝切换,能够缩短故障恢复时间,降低相关经济损失。

[0074] (3) 避免设备损坏和相邻馈线的电压波动:柔性开关在故障诊断模式下可将故障馈线的电压和电流维持在正常范围内,避免了传统方法反复投入/切除故障造成的设备损坏和相邻馈线的电压波动。

[0075] (4) 无需安装专用故障诊断设备:柔性开关正常运行时作为能量转换装置,故障发生后作为故障诊断装置,无需在配电网中重复安装特定的故障诊断设备。

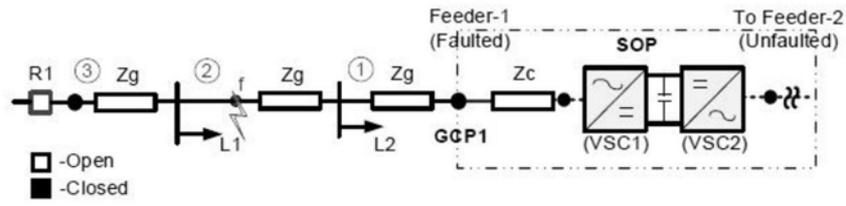


图1

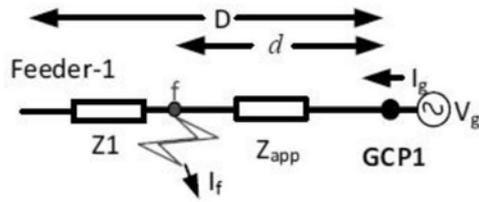


图2

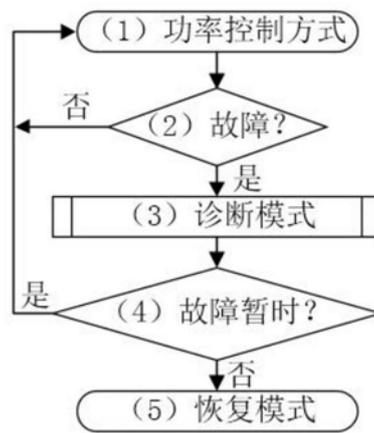


图3



图4

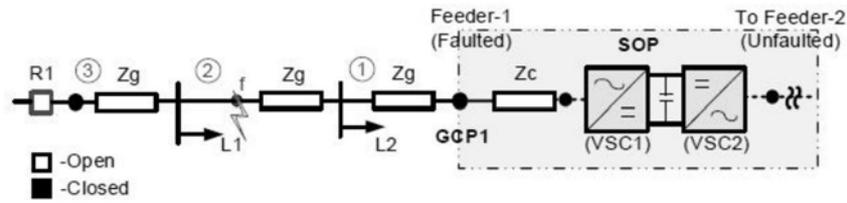


图5

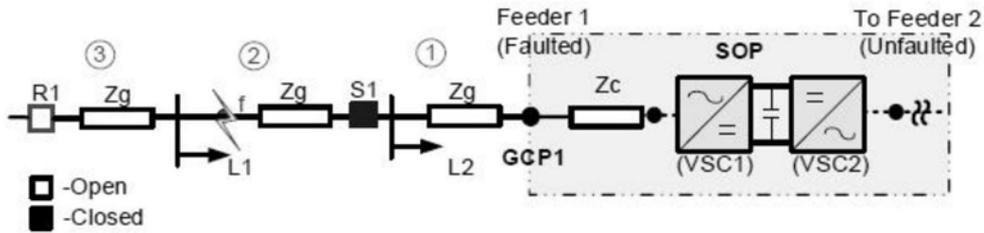


图6

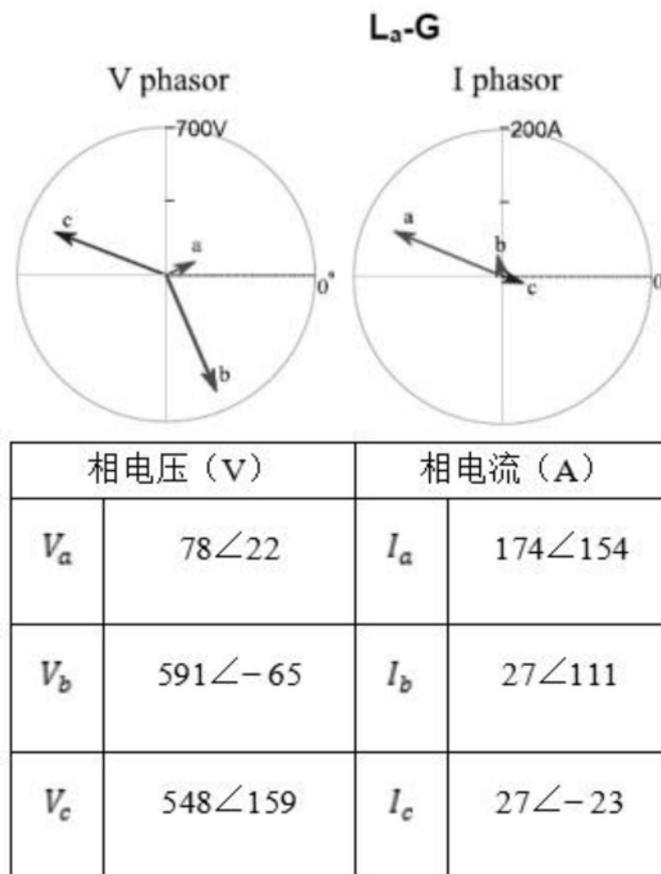


图7

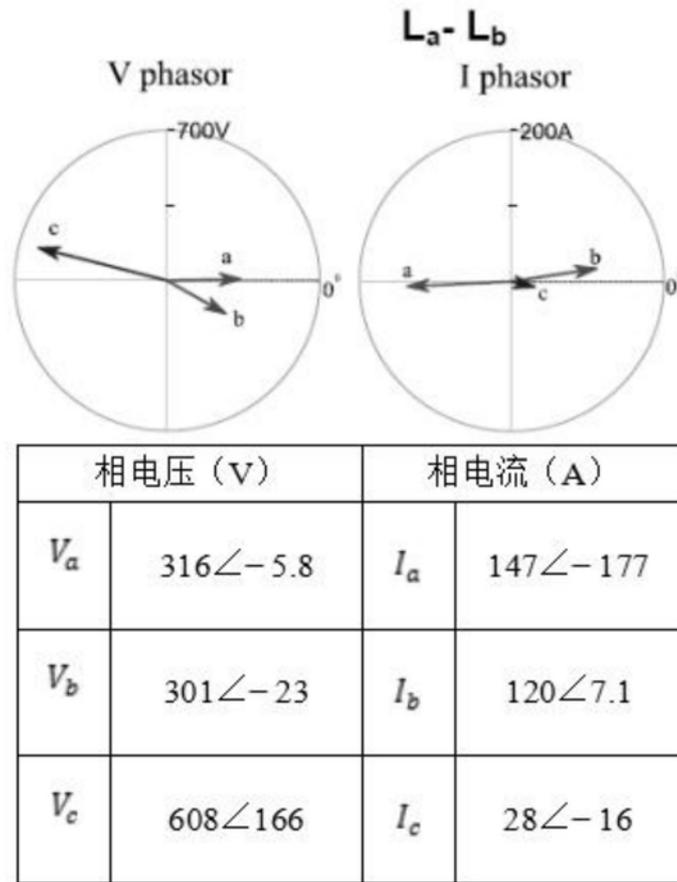


图8

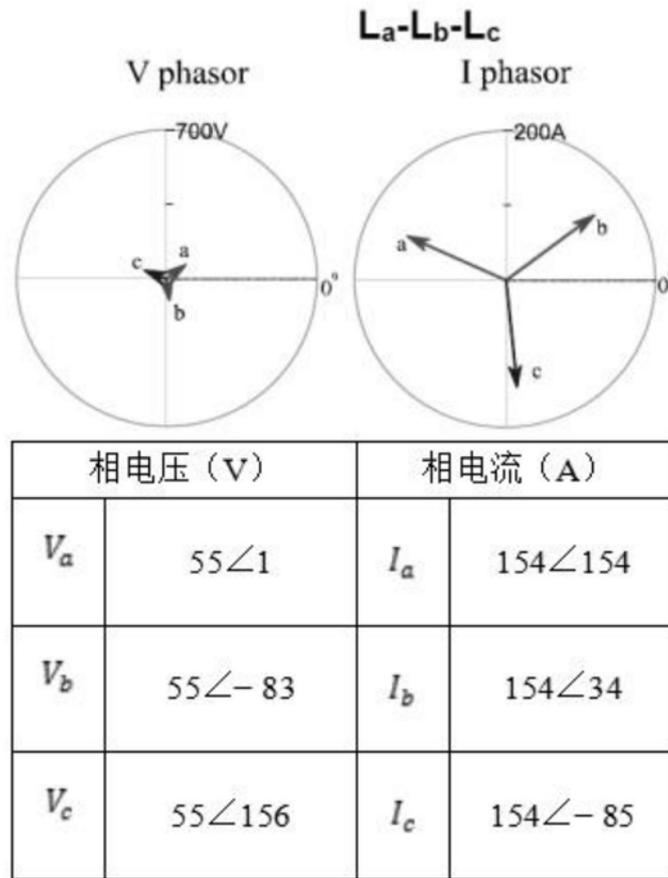


图9