



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107276097 B

(45)授权公告日 2018.10.09

(21)申请号 201710544978.8

(22)申请日 2017.07.05

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107276097 A

(43)申请公布日 2017.10.20

(73)专利权人 长沙理工大学

地址 410004 湖南省长沙市雨花区万家丽南路二段960号

(72)发明人 曾祥君

(74)专利代理机构 长沙市融智专利事务所

43114

代理人 颜勇

(51)Int.Cl.

H02J 3/12(2006.01)

(56)对比文件

CN 105044560 A,2015.11.11,全文.

CN 103293446 A,2013.09.11,全文.

CN 103219714 A,2013.07.24,全文.

CN 102738813 A,2012.10.17,全文.

张健等.基于寻优控制的配电网单相接地故障有源消弧方法.《广东电力》.2017,第30卷(第2期),第129-136页.

审查员 陈新红

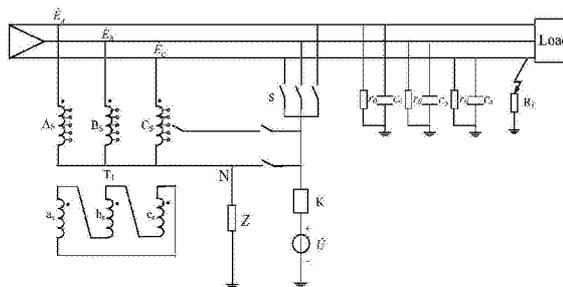
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法

(57)摘要

本发明公开了一种非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法,应用于中性点非有效接地发电机或配电网的接地故障安全运行:发生单相接地故障时,在非有效接地系统侧的母线与地,或线路与地,或中性点与地,或变压器非有效接地系统侧绕组的分接抽头与地之间外加电压源,降低故障相电压,使故障点电压低于接地电弧持续燃烧的电压,满足接地故障消弧及长时间不停电安全运行要求.本发明操作手段及控制方法简单可靠,能够消除瞬时性单相接地故障;抑制永久性单相接地故障电流,限制非故障相电压的上升幅值,降低非故障相绝缘击穿的风险,降低人身设备安全隐患,有效防止停电事故的发生,大大提高供电可靠性和安全性。



1. 一种非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法,应用于中性点非有效接地发电机或配电网的接地故障安全运行,其特征在于:发生单相接地故障时,在非有效接地系统侧的母线与地,或线路与地,或中性点与地,或变压器非有效接地系统侧绕组的分接抽头与地之间外加电压源,电压源输出电压 $\dot{U}$ 为: $\dot{U} = \dot{U}_1 + \Delta\dot{U}_0$ ,使故障相电压降低,实现接地故障的电压消弧与主动降压运行;其中 $\dot{U}_1$ 是正常电网电压源未接入条件下的接入点正常电压,零序电压变化量 $\Delta\dot{U}_0$ 由公式 $\Delta\dot{U}_0 = \dot{U}_{03} - \dot{U}_{01}$ 或 $\Delta\dot{U}_0 = \dot{U}_{\phi 1} - \dot{E}_{\phi}$ 计算, $\dot{U}_{03}$ 为主动降压后的零序电压, $\dot{U}_{01}$ 为正常运行条件下的零序电压, $\dot{E}_{\phi}$ 为接地故障相的电源电压, $\dot{U}_{\phi 1}$ 为外加电压源之后的故障相电压,其取值范围为 $[0, U_{\phi 0})$ , $U_{\phi 0}$ 为外加电压源之前的故障相电压。

2. 根据权利要求1所述的非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法,其特征在于:降压运行过程中,测量计算电压源注入的电流 $\dot{i}$ ,调控外加电压源输出电压 $\dot{U}$ 的大小和相位,使公式 $\dot{i} = \Delta\dot{U}_0 \cdot \Sigma Y_0$ 成立,即实现故障点电弧熄灭,其中 $\Sigma Y_0$ 为非有效接地系统正常运行时的对地零序导纳。

3. 根据权利要求1所述的非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法,其特征在于:降压运行过程中,测量计算非有效接地系统或接地故障线路的阻尼率 $d = \frac{g}{\omega C} = \frac{U_0 g}{U_0 \omega C} = \frac{I_{0R}}{I_{0C}} = \frac{P_0}{Q_0} = \cot \alpha_0$ ;如果阻尼率 $d$ 大于整定值,则调控电压源输出电压 $\dot{U}$ 的大小和相位,使故障相电压进一步降低,抑制故障电弧,直到 $d$ 小于或等于整定值,即判断为故障熄弧,实现接地故障相主动降压安全运行;其中 $g$ 为三相对地电导, $\omega$ 为系统角频率, $C$ 为三相对地电容, $U_0$ 为零序电压, $I_{0R}$ 为零序有功电流, $I_{0C}$ 为零序电容电流, $P_0$ 为零序有功功率, $Q_0$ 为零序无功功率, $\alpha_0$ 为零序导纳角。

4. 根据权利要求1所述的非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法,其特征在于:配电网降压运行过程中,测量接地故障线路的零序电流,如果大于整定值,则调控电压源输出电压 $\dot{U}$ 的大小和相位,使故障相电压进一步降低,抑制故障电流,直到接地故障线路的零序电流小于或等于整定值,实现接地故障相主动降压安全运行。

5. 根据权利要求1所述的非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法,其特征在于:检测到接地故障后,外加电压源延续一段时间,然后,断开电压源,再检测接地故障是否存在,如果故障不存在,则判断为瞬时接地故障已经消弧,恢复正常运行;否则,重新外加电压源,继续实现接地故障相主动降压运行。

6. 根据权利要求1所述的非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法,其特征在于:所述电压源为采用电力电子元件实现的幅值和相位可调的电压源,或外加单相变压器输出的电压源。

7. 根据权利要求3所述的非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法,其特征在于:阻尼率 $d$ 的整定值设定为该系统或该线路正常运行状态下阻尼率的 $K_3$ 倍;系数 $K_3$ 取值范围为 $(1, 5]$ 。

8. 根据权利要求1-7任意一项所述的非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法,其特征在于:电压源的输入电压来源于非有效接地系统变压器的二次侧电压,且该电压相位与故障相电源电压相位一致。

9. 根据权利要求1-7任意一项所述的非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法,其特征在於:电压源回路安装一单相调压器,调控电压幅值。

10. 根据权利要求1-7任意一项所述的非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法,其特征在於:在电压源的输出回路中设置保护装置,防止流经大电流损坏设备。

## 非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及非有效接地系统单相接地故障抑制技术领域,特别涉及一种非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法。

### 背景技术

[0002] 国内外发电机组和配电网普遍采用中性点非有效接地方式,所构成的非有效接地系统占我国6kV及以上电压等级电网的95%以上。近70%停电事故由该系统故障引发。造成全国停电损失年均上千亿元。非有效接地系统不同于输电系统,接地故障电阻可高达数十千欧姆,感知和保护困难。带故障长时间运行,危及人身、设备安全,造成严重的社会经济损失。接地故障易引发触电事故,每年死亡人数高达上千人次,仅次于交通事故。接地故障易产生弧光过电压,造成设备烧毁,甚至引发“火烧连营”事故。大型机组接地故障不能及时消弧,电弧电流易造成铁芯和绕组烧损,造成事故扩大,甚至机毁人亡;接地故障跳闸停电将降低供电可靠性,直接关系工业生产、人民生活水平。非有效接地系统接地故障安全运行对电网安全乃至国家安全至关重要。

[0003] 现有非有效接地系统接地故障处理与运行模式主要包括故障抑制和故障切除两大类。

[0004] 接地故障抑制主要通过改造或调控电网一次系统中性点接地方式,调控中性点接地阻抗,抑制故障点电压和电流,实现非有效接地系统的接地故障抑制,但只能短时间1~2h运行,且易产生过电压,存在安全隐患。

[0005] 接地故障切除主要是在系统发生接地后尽快选出故障线路、切除故障点,以保证系统安全运行。例如,从传统的人工逐条线路“试拉”,到利用故障选线装置和故障指示器选线,再到馈线自动化技术快速隔离故障,但故障切除技术导致停电时间过长、投资成本高,严重降低了配电系统供电可靠性。

[0006] 为此,国内外开始研究抑制故障点电流和电压的有源消弧方法,如2015年瑞典中立公司发表的《接地故障中和器全补偿技术及应用》一文,公开了一种有源电流消弧方法,发生接地故障时,以接地残流为控制目标,通过残流补偿器往中性点注入电流,补偿接地故障全电流(包括无功分量及有功分量残流),同时将故障点电压降至为零,由此达到接地故障电流全补偿目的。由于故障残流无法直接测量且线路零序有功电流分量精确测量困难,该方法难以实际应用。

[0007] 本发明人曾于2011年提出了一种配电网接地故障消弧和保护方法(专利申请号201110006701.2),该方法通过向配电网注入一定电流,强制故障相电压为零和接地故障电流为零,可实现瞬时故障的100%消弧及永久故障的快速隔离,解决了电流消弧方法消弧效果差,传统保护方法可靠性低的技术难题。但该方法会导致非故障相电压升高 $\sqrt{3}$ 倍,长时间运行对电气绝缘造成威胁,易导致非故障相绝缘薄弱位置击穿,进而发展成为相间短路事故,影响供电可靠性。

[0008] 总之,现有技术无法兼顾非有效接地系统的供电可靠性及安全性。

## 发明内容

[0009] 为了克服上述现有技术的缺陷,本发明提出了一种非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法。

[0010] 本发明的发明目的是通过下述技术方案实现的:

[0011] 一种非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法,应用于中性点非有效接地发电机或配电网的接地故障安全运行,发生单相接地故障时,在非有效接地系统侧的母线与地,或线路与地,或中性点与地,或变压器非有效接地系统侧绕组的分接抽头与地之间外加电压源,电压源输出的电压为: $\dot{U} = \dot{U}_1 + \Delta\dot{U}_0$ ,使故障相电压降低,实现接地故障的电压消弧与主动降压运行;其中 $\dot{U}_1$ 是正常电网电压源未接入条件下的接入点正常电压,零序电压变化量 $\Delta\dot{U}_0$ 由公式 $\Delta\dot{U}_0 = \dot{U}_{03} - \dot{U}_{01}$ 或 $\Delta\dot{U}_0 = \dot{U}_{\varphi 1} - \dot{E}_\varphi$ 计算, $\dot{U}_{03}$ 为主动降压后的零序电压, $\dot{U}_{01}$ 为正常运行条件下的零序电压, $\dot{E}_\varphi$  ( $\varphi = A$ 或B或C)为接地故障相 $\varphi$ 的电源电压, $\dot{U}_{\varphi 1}$ 为外加电压源之后的故障相电压,其取值范围为 $[0, U_{\varphi 0})$ , $U_{\varphi 0}$ 为外加电压源之前的故障相电压。

[0012] 为了更好地实现发明目的,本发明可进一步采用如下技术手段:

[0013] 降压运行过程中,测量计算电压源注入的电流 $\dot{I}$ ,调控外加电压源 $\dot{U}$ 的大小和相位,使公式 $\dot{I} = \Delta\dot{U}_0 \cdot \Sigma Y_0$ 成立,即实现故障点电弧熄灭,其中 $\Sigma Y_0$ 为非有效接地系统正常运行时的对地零序导纳。

[0014] 进一步地,降压运行过程中,测量计算非有效接地系统或接地故障线路的阻尼率 $d = \frac{g}{\omega C} = \frac{U_0 g}{U_0 \omega C} = \frac{I_{0R}}{I_{0C}} = \frac{P_0}{Q_0} = \cot \alpha_0$ ;如果阻尼率 $d$ 大于整定值,则调控电压源输出电压 $\dot{U}$ 的大小和相位,使故障相电压进一步降低,抑制故障电弧,直到 $d$ 小于或等于整定值,即判断为故障熄弧,实现接地故障相主动降压安全运行;其中 $g$ 为三相对地电导, $\omega$ 为系统角频率, $C$ 为三相对地电容, $U_0$ 为零序电压, $I_{0R}$ 为零序有功电流, $I_{0C}$ 为零序电容电流, $P_0$ 为零序有功功率, $Q_0$ 为零序无功功率, $\alpha_0$ 为零序导纳角。

[0015] 进一步地,配电网降压运行过程中,测量接地故障线路的零序电流,如果大于整定值,则调控电压源输出电压 $\dot{U}$ 的大小和相位,使故障相电压进一步降低,抑制故障电流,直到接地故障线路的零序电流小于或等于整定值,实现接地故障相主动降压安全运行。零序电流整定值按故障线路长时间带单相接地故障安全运行允许的故障电流选取,取值范围通常为 $[1A, 30A]$ ,或者按接地故障电流抑制率选取,取值范围通常为 $[0.001I_0, I_0)$ ,其中 $I_0$ 为外加可调电流源之前的接地故障线路的零序电流。

[0016] 进一步地,检测到接地故障后,外加电压源延续一段时间,然后,断开电压源,再检测接地故障是否存在,如果故障不存在,则判断为瞬时接地故障已经消弧,恢复正常运行;否则,重新外加电压源,继续实现接地故障相主动降压运行。所述外加电压源延续一段时间的取值范围通常为 $(0.1s, 60s)$ 。

[0017] 进一步地,所述电压源为采用电力电子元件实现的幅值和相位可调的电压源,或外加单相变压器输出的电压源。

[0018] 进一步地,阻尼率 $d$ 的整定值设定为该系统或该线路正常运行状态下阻尼率的 $K_3$

倍;系数 $K_3$ 取值范围为(1,5]。

[0019] 进一步地,电压源的输入电压来源于非有效接地系统变压器的二次侧电压,且该电压相位与故障相电源电压相位一致;这样,调控电压源时无需调控相位,只需调控幅值,实现简便、经济。

[0020] 进一步地,电压源回路安装一单相调压器,调控电压幅值。

[0021] 进一步地,在电压源的输出回路中设置保护装置,防止流经大电流损坏设备。

[0022] 进一步地,所述变压器为与非有效接地系统连接的Z型接地变压器或Y/ $\Delta$ 接线变压器或Y/Y/ $\Delta$ 接线变压器。

[0023] 另需说明的是,非有效接地系统的单相接地故障的检测手段及故障选相技术在目前已经非常成熟,且可供选择的技术手段非常多,本发明不再就发生故障如何检测予以赘述,通常情况下,如果系统零序电压变化量超过整定值时,就判定发生了接地故障。

[0024] 此外,本发明人首创性地提出了非有效接地系统接地故障相降压运行理论,并在该理论的基础上,本发明首次提出在非有效接地系统侧的母线与地,或线路与地,或中性点与地,或变压器非有效接地系统侧绕组的分接抽头与地之间外加可调电压源的技术方案,该技术方案大大简化了故障抑制的控制方法。

[0025] 本发明的有益效果在于:

[0026] 1、操作手段及控制方法简便可靠。本发明以故障相电压为控制目标,无需精确测量系统对地参数,避免了传统电流消弧方法因系统对地参数测量误差所带来的抑制效果不佳的问题,使抑制精度显著提高80%。

[0027] 2、提升系统供电可靠性。本发明首次实现对故障相电压柔性调控,故障发生后,在确保熄弧的情况下,使故障相电压降低运行在 $[0, U_{\phi 0})$ 之间, $U_{\phi 0}$ 为外加电压源之前的故障相电压。减少非故障相电压的上升幅值,降低非故障相绝缘击穿的风险,可有效避免非故障相的绝缘被击穿,同时可有效延长非有效接地系统单相接地故障后带故障运行时间。

[0028] 3、实施成本低廉。本发明无需增加多套一次设备组成的消弧系统来实现消弧功能,相比传统消弧方法可大大减少设备及装置的安装投资。

## 附图说明

[0029] 图1为采用Y/ $\Delta$ 接线变压器的非有效接地配电网接地故障相降压消弧的安全运行原理示意图。

[0030] 图2为发生接地故障时,非有效接地系统零序等值电路图。

[0031] 图3为非有效接地系统接地故障相降压消弧运行范围相量图。

[0032] 图4为非有效系统阻尼率或线路阻尼率的测量原理图。

[0033] 图5为采用Z型接地变压器的非有效接地配电网接地故障相降压消弧的安全运行原理示意图。

[0034] 图6为非有效接地发电机接地故障相降压消弧的安全运行原理示意图。

## 具体实施方式

[0035] 以下结合附图对本发明的内容作进一步的说明和解释。

[0036] 如图1所示,在非有效接地配电网中, $\dot{E}_A$ 、 $\dot{E}_B$ 、 $\dot{E}_C$ 分别为系统三相电源电动势,

$C_0$ 为系统对地电容,  $r_0$ 为系统对地泄漏电阻,  $A_s$ 、 $B_s$ 、 $C_s$ 为Y/△接线变压器非有效接地系统侧绕组,  $S$ 为开关,  $K$ 为保护装置(可以是过流保护装置,也可以是熔断器), 变压器非有效接地系统侧绕组的一端引出线直接与非有效接地系统A、B、C三相连接, 变压器非有效接地系统侧绕组做星形接线后引出中性点N再经阻抗 $Z$ 接地;  $a_s$ 、 $b_s$ 、 $c_s$ 为变压器低压侧绕组, 低压侧绕组采用三角形接线。发生单相接地故障时, 接地电阻为 $R_f$ , 此时故障相 $\varphi$ 的电压为 $\dot{U}_{\varphi 0}$  ( $\varphi = A$ 或B或C), 在非有效接地系统侧的母线与地, 或线路与地, 或中性点与地, 或变压器 $T_1$ 绕组的分接抽头与地之间外加电压源 $\dot{U}$ , 将导致整个配电系统的对地电压同时升高或降低, 变化量为 $\Delta\dot{U}_0$ , 则:  $\dot{U} = \dot{U}_1 + \Delta\dot{U}_0$ , 且零序电压变化量 $\Delta\dot{U}_0$ 也可由公式 $\Delta\dot{U}_0 = \dot{U}_{03} - \dot{U}_{01}$ 或 $\Delta\dot{U}_0 = \dot{U}_{\varphi 1} - \dot{E}_{\varphi}$ 计算; 其中 $\dot{U}_1$ 是正常电网电压源未接入条件下的接入点正常电压,  $\dot{U}_{03}$ 为主动降压后的零序电压,  $\dot{U}_{01}$ 为正常运行条件下的零序电压,  $\dot{E}_{\varphi}$ 为接地故障相的电源电压,  $\dot{U}_{\varphi 1}$ 为外加电压源之后的故障相电压, 其取值范围为 $[0, U_{\varphi 0})$ ,  $U_{\varphi 0}$ 为外加电压源之前的故障相电压。

[0037] 图1所对应的非有效接地系统中的零序等值电路, 即发生接地故障时非有效接地系统零序等值电路, 如图2所示。根据基尔霍夫电流方程, 电压源 $\dot{U}$ 注入的电流 $\dot{I}$ 为:

$$[0038] \quad \dot{I} = j3\dot{U}_0\omega C_0 + \frac{3\dot{U}_0}{r_0} + \frac{\dot{U}_0}{R_f} + \frac{\dot{U}_0}{Z} = \dot{U}_0 \Sigma Y_0 + \dot{U}_0 Y_f \quad (1)$$

[0039] 式(1)中, 配电网对地零序导纳 $\Sigma Y_0 = \frac{1}{Z} + j3\omega C_0 + \frac{3}{r_0} = Y + j\omega C + g$ , 中性点接地导纳 $Y = \frac{1}{Z}$ , 三相对地电导 $g = \frac{3}{r_0}$ , 三相对地电容 $C = 3C_0$ , 故障对地电导 $Y_f = \frac{1}{R_f}$ ,  $\dot{U}_0$ 为零序电压。

[0040] 考虑非有效接地系统正常运行条件下的三相对地参数不对称产生的零序电压影响, 式(1)中的零序电压 $U_0$ 用零序电压变化量 $\Delta\dot{U}_0$ 代替; 并考虑故障消弧后, 故障点对地导纳 $Y_f = 0$ , 则式(1)可简化为:

$$[0041] \quad \dot{I} = \Delta\dot{U}_0 \cdot \Sigma Y_0 = (\dot{U}_{03} - \dot{U}_{01}) \cdot \Sigma Y_0 = (\dot{U}_3 - \dot{U}_1) \cdot \Sigma Y_0 \quad (2)$$

[0042] 因此, 在降压运行过程中, 测量计算电压源注入的电流 $\dot{I}$ , 调控外加电压源 $\dot{U}$ 的大小和相位, 使公式 $\dot{I} = \Delta\dot{U}_0 \cdot \Sigma Y_0$ 成立, 即实现故障点电弧熄灭, 其中 $\Sigma Y_0$ 为非有效接地系统正常运行时的对地零序导纳。

[0043] 以上可知, 系统发生接地故障后, 采取外加可调电压源实现主动降压熄弧, 电压源输出电压由故障相降压的目标值唯一确定, 且从非有效接地系统侧的母线, 或线路, 或中性点, 或变压器非有效接地系统侧绕组的分接抽头外加可调电压源, 均可实现该目的。

[0044] 以下进一步讨论故障电弧熄灭的故障相降压运行范围, 如图3所示, 系统正常运行时, 中性点电压为零, A相电压向量为 $\overrightarrow{OA}$ 、B相电压向量为 $\overrightarrow{OB}$ 、C相电压向量为 $\overrightarrow{OC}$ ; 以C相发生接地故障为例, 设确保故障相电弧熄灭的故障相最大运行电压幅值为 $CC''$ , 则故障相熄弧的条件为: 零电位点在以C为圆心 $CC''$ 为半径的圆内; 另外, 为防止非故障相电压过高发生绝缘击穿, 要求非故障相电压小于线电压, 即: 零电位点应在以A点为圆心 $AC$ 为半径的圆内, 和

以B点为圆心BC为半径的圆内。因此,为确保非有效接地系统故障相降压后长时间安全运行,本发明的故障相降压后的零电位点的范围为:上述三个圆的交集内。

[0045] 以下进一步讨论通过测量阻尼率判断故障熄弧的方法,如图4所示,在降压消弧运行过程中,通过测量系统的零序电流 $\dot{I}_{0S}$ 和零序电压,计算系统的阻尼率,或测量故障线路m的零序电流 $\dot{I}_{0m}$ 和零序电压,计算故障线路m的阻尼率。非有效接地系统的阻尼率或线路的

阻尼率的计算公式为: $d = \frac{g}{\omega C} = \frac{U_0 g}{U_0 \omega C} = \frac{I_{0R}}{I_{0C}} = \frac{P_0}{Q_0} = \cot \alpha_0$ ,并设定阻尼率d的整定值为该系

统或该线路正常运行状态下阻尼率的 $K_3$ 倍;系数 $K_3$ 取值范围为(1,5];如果阻尼率d大于整定值,则调控电压源输出电压 $U$ 的大小和相位,使故障相电压进一步降低,抑制故障电弧,直到d小于或等于整定值,即判断为故障熄弧,实现接地故障相主动降压安全运行;其中 $g = \frac{3}{r_0}$

为三相对地电导, $\omega$ 为系统角频率, $C = 3C_0$ 为三相对地电容, $U_0$ 为零序电压; $I_{0R}$ 为零序有功电流, $I_{0C}$ 为零序电容电流; $P_0$ 为零序有功功率, $Q_0$ 为零序无功功率, $\alpha_0$ 为零序导纳角。

[0046] 以上详细介绍了本发明应用于非有效接地配电网时的技术原理,该技术原理同样适用于本发明应用于非有效接地发电机的情形;以下进一步介绍本发明应用于非有效接地配电网和发电机的具体情况:

[0047] 如图5所示,在非有效接地10kV配电网中, $E_A, E_B, E_C$ 分别为系统的三相电源电动势, $E_A = E_B = E_C = 10/\sqrt{3} \text{ kV}$ ,线路对地泄漏电阻 $r_0 = 4.7 \text{ k}\Omega$ 、线路对地电容值 $C_0 = 8.36 \mu\text{F}$ ,K为保护装置(可以是过流保护装置,也可以是熔断器),设定接地故障线路零序电流整定值为10A,中性点N接地阻抗 $Z = j121 \Omega$ , $A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, C_2$ 为Z型接地变压器非有效接地系统侧绕组,KM1、KM2、KM3为接触器,变压器非有效接地系统侧绕组的一端引出线直接与非有效接地系统A、B、C三相连接,变压器非有效接地系统侧绕组做Z型连接后的另一端引出中性点N再经阻抗Z接地; $a_1, b_1, c_1$ 为Z型接地变压器低压侧绕组,低压侧绕组采用星形接线,引出端用a、b、c、n表示, $T_1$ 为可以提供中性点的Z型接地变压器, $T_2$ 为外加单相变压器输出的电压源,连接在中性点与地之间,单相变压器的输入电压来源于接地变压器 $T_1$ 的二次侧电压,且该电压相位与故障相电源电压相位一致,输出电压幅值可调。如C相发生单相接地故障,接地电阻用 $R_f$ 表示, $R_f = 1 \text{ k}\Omega$ , $\dot{U}_{C1}$ 为故障相电压。发生故障后,未加外加电压源之前,测得故障相电压为 $U_{C0} = 2.60 \text{ kV}$ ,设维持接地电弧持续燃烧的临界电压为1.90kV,此时,在非有效接地配电网中性点与地之间外加可调电压源 $\dot{U}$ ,正常电网电压源未接入条件下的接入点正常电压 $U_1 = 0 \text{ V}$ ,此时有:

$$[0048] \quad \dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{E}_C + \dot{U}_{C1} \quad (3)$$

[0049] 调控外加电压源 $\dot{U}$ ,使故障相电压 $U_{C1}$ 降低到低于接地电弧持续燃烧的电压,即: $U_{C1} < 1.90 \text{ kV}$ ,实现接地故障熄弧。本例中设要使故障相电压 $U_{C1}$ 降压消弧运行在1.82kV,可先调控电压源输出电压幅值为: $U = 3.95 \text{ kV}$ ,再合上接触器KM2,即可将故障相电压降低到1.82kV,满足故障相电压运行范围[0,2.60kV),此时,非故障相电压为8.51kV,小于线电压10kV,既实现了接地故障相消弧,同时非故障相电压未升高至线电压,实现降压消弧安全运

行。

[0050] 降压运行过程中,测量接地故障线路零序电流,如果大于整定值10A,则继续调控电压源输出电压的幅值,使故障相电压进一步降低,抑制故障电流,直到接地故障线路的零序电流小于或等于整定值10A,实现接地故障相降压消弧安全运行。

[0051] 如图6所示,在20kV非有效接地发电机中,三相电源分别为 $E_A=E_B=E_C=20/\sqrt{3}$  kV,发电机定子对地泄漏电阻 $r_0=20$  k $\Omega$ 、发电机定子对地电容值 $C_0=1.81$   $\mu$ F,K为保护装置(可以是过流保护装置,也可以是熔断器),中性点N接地阻抗 $Z=j600$   $\Omega$ ,在该配电网中C相发生接地故障,接地故障电阻 $R_f=2$  k $\Omega$ ,发生故障后,未加外加电压源之前,测得故障相电压 $U_{c0}=2.76$  kV,设维持接地电弧持续燃烧的临界电压为2.20kV,此时,在非有效接地发电机中性点与地之间外加可调电压源,正常发电机电压源未接入条件下的接入点正常电压 $U_1=0$  V,此时有: $\dot{U}=\dot{U}_1-\dot{E}_C+\dot{U}_{C1}$ ,调控外加电压源 $\dot{U}$ ,使故障相电压 $U_{c1}$ 降低到低于接地电弧持续燃烧的电压,即: $U_{c1}<2.20$  kV,实现接地故障熄弧。本例中设要使故障相电压 $U_{c1}$ 降压消弧运行在2.13kV,可先调控电压源输出电压幅值为: $U=9.41$  kV,再合上接触器KM2,即可将故障相电压降低到2.13kV,满足故障相电压运行范围[0,2.76kV),此时,非故障相电压为18.27kV,小于线电压20kV,既实现了接地故障相消弧,同时非故障相电压未升高至线电压,实现降压消弧安全运行。

[0052] 作为本实施例的改进,检测到接地故障后,外加电压源延续一段时间,然后,断开电压源,再检测接地故障是否存在,如果故障不存在,则判断为瞬时接地故障已经消弧,恢复正常运行;否则,重新外加电压源,继续实现接地故障相主动降压运行;所述外加电压源延续一段时间的取值范围为(0.1s,60s)。

[0053] 为了验证本发明非有效接地系统接地故障相降压消弧的安全运行方法的可行性,在PSCAD仿真软件中对图1所示的10kV非有效接地配电网接地故障相降压消弧的安全运行方法进行了仿真分析:仿真时间0.12s,0.04s时刻系统发生单相接地故障,0.08s时刻闭合开关将外加电压源加至中性点与地之间;非有效接地配电系统单相接地故障(接地过渡电阻1k $\Omega$ )时的故障前后仿真结果数据如表1所示。

[0054] 表1

[0055]

故障电流 (A)		故障相电压 (kV)		非故障相电压 (kV)	电压源电压 (kV)
故障时	降压后	故障时	降压后	降压后	
2.71	0	2.60	1.82	8.51	3.95

[0056] 综合分析表1中的数据可知,发生接地故障并加入电压源后,故障相电压降低运行在1.82kV,在 $[0, U_{\varphi 0})$ 的范围内, $U_{\varphi 0}=2.60$  kV为外加电压源之前的故障相电压,此时非故障相电压为8.51kV,小于线电压10kV。仿真结果表明,本发明既降低了故障相电压,满足长时间不停电安全运行要求,又降低了非故障相绝缘击穿的风险,大大提高了供电可靠性和安全性。

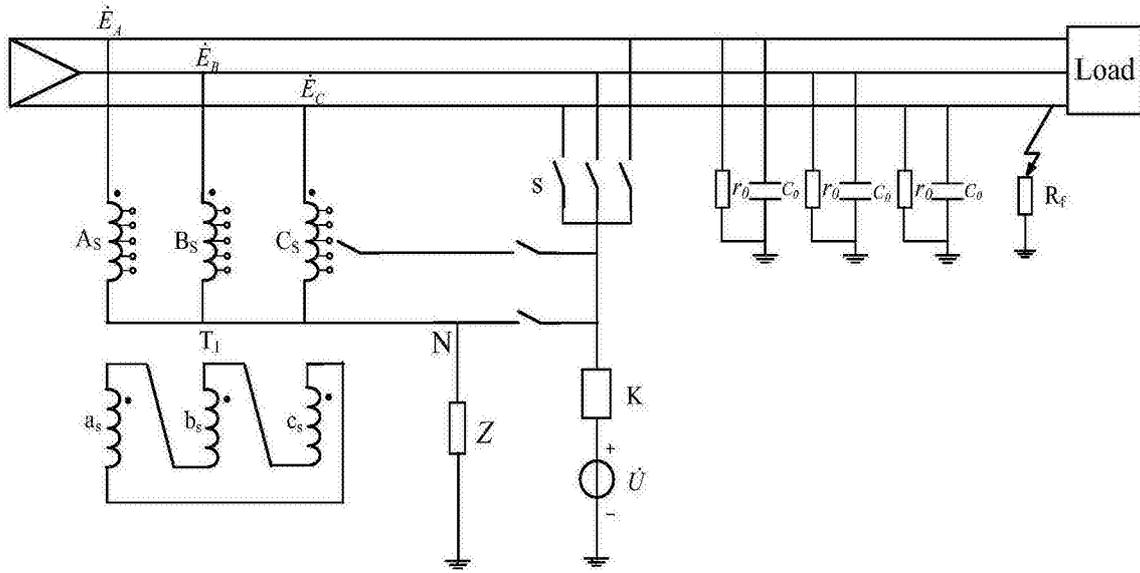


图1

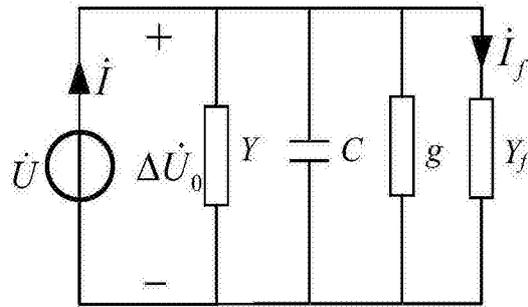


图2

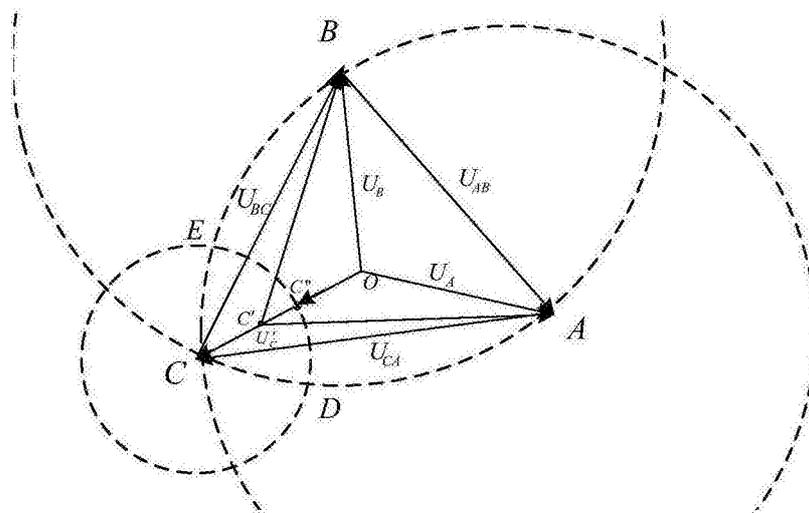


图3

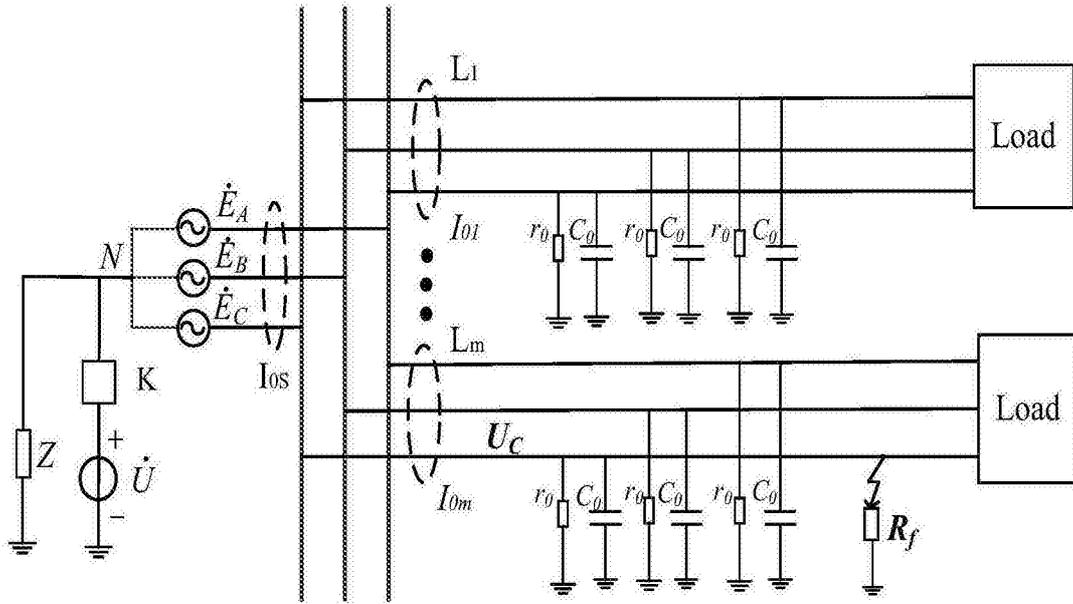


图4

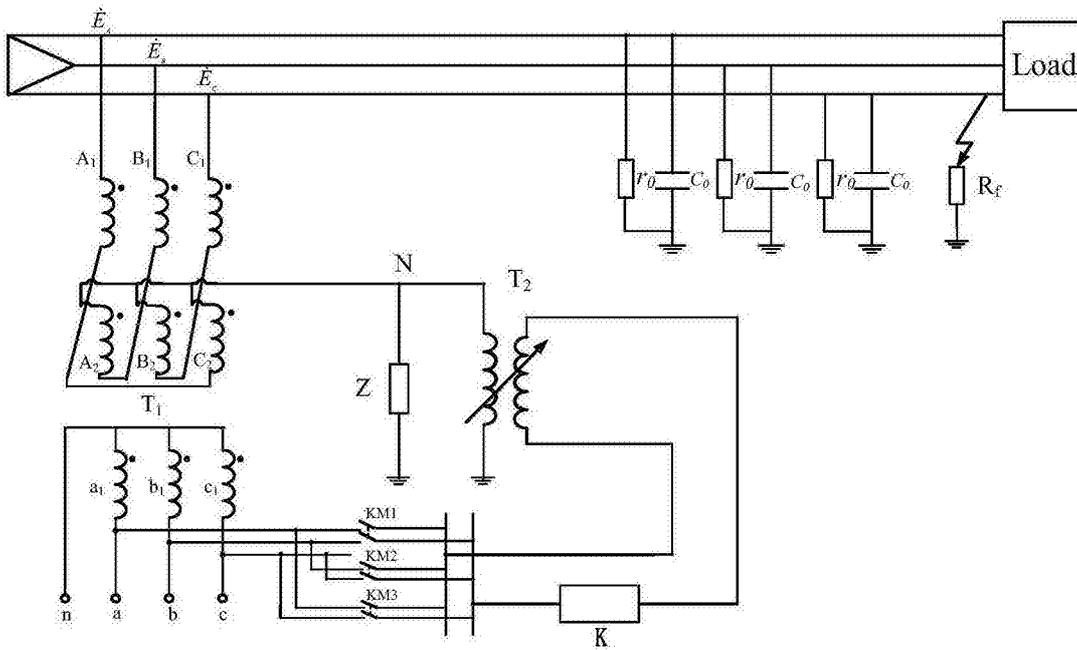


图5

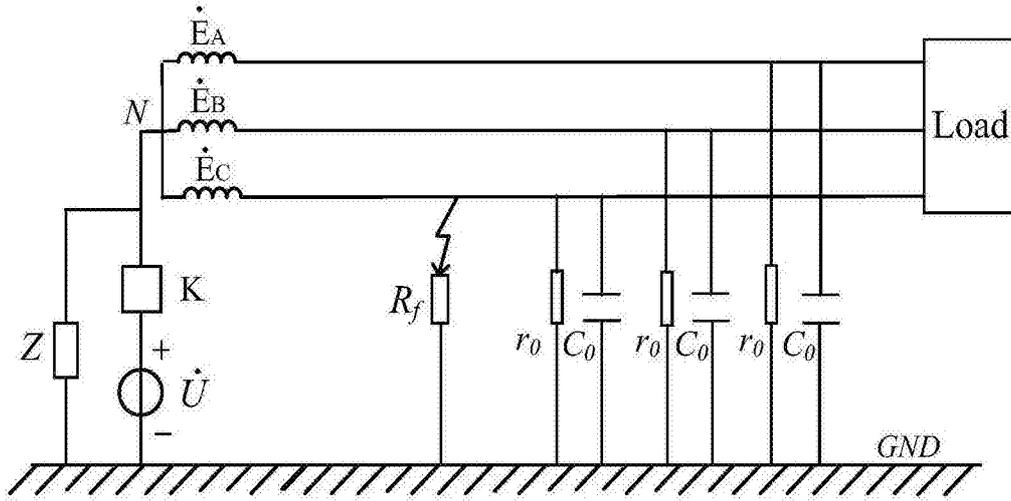


图6