



(21)申请号 201810001445.X

(22)申请日 2018.01.02

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108303606 A

(43)申请公布日 2018.07.20

(73)专利权人 国网江西省电力有限公司电力科学研究所

地址 330096 江西省南昌市民营科技园民强路88号

专利权人 国家电网公司

(72)发明人 安义 王华云 邓才波 刘蓓
邓志祥 蔡木良

(74)专利代理机构 南昌市平凡知识产权代理事务所 36122

代理人 姚伯川

(51)Int.Cl.

G01R 31/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 106970999 A, 2017.07.21,

RU 2237254 C1, 2004.09.27,

CN 102393494 A, 2012.03.28,

张红先等.一种诊断变压器容量的测试装置.《仪器仪表用户》.2008,第15卷(第4期),

袁静等.一种配电变压器容量测试的新方法.《计量与测试技术》.2012,第39卷(第8期),

包玉树.变压器绕组变形检测技术在江苏电网的应用.《江苏电机工程》.2005,第24卷(第4期),

李天云等.变压器故障的相关系数分析法.《变压器》.1996,

审查员 奚芳华

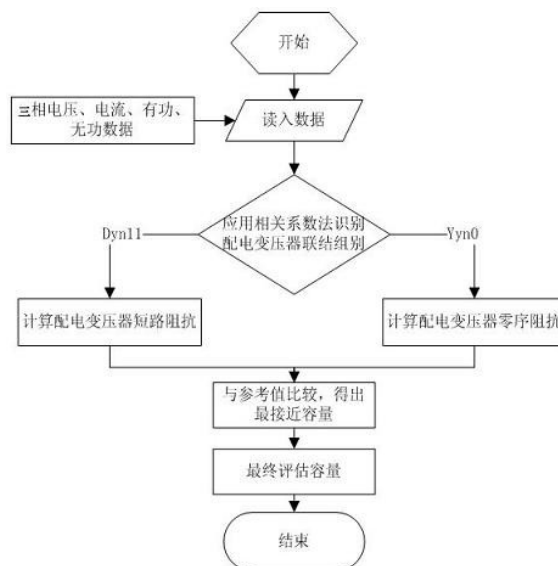
权利要求书3页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

一种配电变压器容量在线评估方法

(57)摘要

一种配电变压器容量在线评估方法,所述方法采用相关系数法实现配电变压器联结组别的自动识别;进而计算Dyn11配电变压器短路阻抗和Yyn0配电变压器零序阻抗,并与标准参考值进行比较;最终得出配电变压器评估容量。本发明根据配电变压器运行电压数据,应用相关系数法,实现配电变压器联结组别自我标识;本发明在无法获取配电变压器一次侧电气量的情况下,通过Dyn11配电变压器容量在线评估方法可准确评估配电变压器额定容量;本发明考虑Yyn0配电变压器中性点会产生偏移的情况下,通过Yyn0配电变压器容量在线评估方法能准确评估配电变压器额定容量。



1. 一种配电变压器容量在线评估方法,其特征在于,所述方法采用相关系数法实现配电变压器联结组别的自动识别;进而计算Dyn11配电变压器短路阻抗和Yyn0配电变压器零序阻抗,并与标准参考值进行比较;最终得出配电变压器评估容量;

所述配电变压器联结组别的自动识别方法如下:

两种配电变压器在三相负荷不平衡的情况下,三相电压曲线变化不一样,Yyn0配电变压器每个采集点三相电压基本不相等,而Dyn11配电变压器每个采集点三相电压之间基本一致;采取相关系数法对配电变压器三相电压数据进行相关性计算,取A相与B相,B相与C相,A相与C相三个电压序列相关系数最小值,设置相关系数阈值,大于阈值则判断为Dyn11型,小于阈值则判断为Yyn0型,用以来区分两种不同联结组别配电变压器,相关系数公式为:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

其中, $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 为电压向量; x_i 、 y_i 为每个采集点电压值;

所述Dyn11配电变压器短路阻抗由下式计算:

$$\begin{bmatrix} U_A(t2) + U_B(t1) - U_A(t1) - U_B(t2) \\ U_A(t2) + U_C(t1) - U_A(t1) - U_C(t2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} - a_{21} - a_{31} + a_{41} & a_{12} - a_{22} - a_{32} + a_{42} \\ a_{11} - a_{21} - a_{51} + a_{61} & a_{12} - a_{22} - a_{52} + a_{62} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_k \\ X_k \end{bmatrix}$$

其中, $a_{11} = I_a(t1)\cos(\varphi_a(t1))$; $a_{21} = I_a(t2)\cos(\varphi_a(t2))$; $a_{31} = I_b(t1)\cos(\varphi_b(t1))$; $a_{41} = I_b(t2)\cos(\varphi_b(t2))$; $a_{51} = I_c(t1)\cos(\varphi_c(t1))$; $a_{61} = I_c(t2)\cos(\varphi_c(t2))$; $a_{12} = I_a(t1)\sin(\varphi_a(t1))$; $a_{22} = I_a(t2)\sin(\varphi_a(t2))$; $a_{32} = I_b(t1)\sin(\varphi_b(t1))$; $a_{42} = I_b(t2)\sin(\varphi_b(t2))$; $a_{52} = I_c(t1)\sin(\varphi_c(t1))$; $a_{62} = I_c(t2)\sin(\varphi_c(t2))$;

R_k 为短路电阻; X_k 为短路电抗; $I_a(t1)$ 、 $I_b(t1)$ 、 $I_c(t1)$ 为t1时刻的三相电流; $I_a(t2)$ 、 $I_b(t2)$ 、 $I_c(t2)$ 为t2时刻的三相电流; $U_a(t1)$ 、 $U_b(t1)$ 、 $U_c(t1)$ 为t1时刻的三相电压; $U_a(t2)$ 、 $U_b(t2)$ 、 $U_c(t2)$ 为t2时刻的三相电压; $\varphi_a(t1)$ 、 $\varphi_b(t1)$ 、 $\varphi_c(t1)$ 为t1时刻电压与电流的夹角; $\varphi_a(t2)$ 、 $\varphi_b(t2)$ 、 $\varphi_c(t2)$ 为t2时刻电压与电流的夹角;

所述Yyn0配电变压器零序阻抗计算方法如下:

(1) 建立零序阻抗复数方程组

$$\begin{cases} \dot{E}_a = \dot{U}_a + Z_a \dot{I}_a + \dot{U}_n \\ \dot{E}_b = \dot{U}_b + Z_b \dot{I}_b + \dot{U}_n \\ \dot{E}_c = \dot{U}_c + Z_c \dot{I}_c + \dot{U}_n \\ \dot{I}_0 = -(\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c) \\ \dot{U}_n = Z_0 \dot{I}_0 \end{cases}$$

其中, R_a 、 R_b 、 R_c 、 X_a 、 X_b 、 X_c 分别为配电变压器短路阻抗的线圈直流电阻和漏抗; R_n 、 X_n 分别为零序阻抗中的电阻分量和电抗分量; $z_a = R_a + jX_a$; $z_b = R_b + jX_b$;

z_c 为 C 相阻抗, $z_c = R_c + jX_c$; $\dot{U}_a$ 、 $\dot{U}_b$ 、 $\dot{U}_c$ 分别为三相电压; $\dot{U}_n$ 为零序电压;
 $\dot{I}_a$ 、 $\dot{I}_b$ 、 $\dot{I}_c$ 、 $\dot{I}_0$ 分别为三相电流和零序电流; z_0 为零序阻抗, $z_0 = R_n + jX_n$; $\dot{E}_a$ 、 $\dot{E}_b$ 、 $\dot{E}_c$
 分别为三相电压源;

(2) 将零序阻抗复数方程组标量化

设三相测量点电压与电压源的夹角分别 α_a 、 α_b 、 α_c , 夹角关系为:

$$\alpha_a + \alpha_b + \alpha_c = 0$$

三相测量点电压与电流之间的夹角分别为 θ_a 、 θ_b 、 θ_c ,

$$R_a = R_b = R_c = R_k$$

$$X_a = X_b = X_c = X_k$$

根据零序阻抗复数方程, 中性点电流分解成实部和虚部分量:

$$I_n(re) = -(b_{11} + b_{12} + b_{13})$$

$$I_n(im) = -(b_{21} + b_{22} + b_{23})$$

其中: $b_{11} = I_a \cos(\alpha_a - \theta_a)$; $b_{12} = I_b \cos(\alpha_b - \theta_b)$; $b_{13} = I_c \cos(\alpha_c - \theta_c)$; $b_{21} = I_a \sin(\alpha_a - \theta_a)$; b_{22}
 $= I_b \sin(\alpha_b - \theta_b)$; $b_{23} = I_c \sin(\alpha_c - \theta_c)$

相应的中性点电压实部和虚部分量分别为:

$$\begin{bmatrix} U_n(re) \\ U_n(im) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_n(re) & -I_n(im) \\ I_n(im) & I_n(re) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_n \\ X_n \end{bmatrix}$$

A 相阻抗电压实部和虚部分量分别为:

$$\begin{bmatrix} U_{at}(re) \\ U_{at}(im) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & -b_{21} \\ b_{21} & b_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_a \\ X_a \end{bmatrix}$$

A 相电压回路方程实部和虚部分别为:

$$E_a \cos(0) = U_a \cos(\alpha_a) + U_{at}(re) + U_n(re)$$

$$E_a \sin(0) = U_a \sin(\alpha_a) + U_{at}(im) + U_n(im)$$

同理求出 B、C 相电压回路方程实部和虚部等式, 最终得到零序阻抗非线性方程组:

$$\begin{cases} E_a \cos(0) - (U_a \cos(\alpha_a) + U_{at}(re) + U_n(re)) = 0 \\ E_a \sin(0) - (U_a \sin(\alpha_a) + U_{at}(im) + U_n(im)) = 0 \\ E_b \cos(-120) - (U_b \cos(\alpha_b) + U_{bt}(re) + U_n(re)) = 0 \\ E_b \sin(-120) - (U_b \sin(\alpha_b) + U_{bt}(im) + U_n(im)) = 0 \\ E_c \cos(120) - (U_c \cos(\alpha_c) + U_{ct}(re) + U_n(re)) = 0 \\ E_c \sin(120) - (U_c \sin(\alpha_c) + U_{ct}(im) + U_n(im)) = 0 \end{cases}$$

假定三相电压源值相等 $E_a = E_b = E_c = E$, 采用遗传算法进行求解, 将零序阻抗非线性方程组求解问题转化适应度函数优化问题, 进而便可求 E 、 R_n 、 X_n 、 α_a 、 α_b 、 α_c 6 个未知数。

2. 根据权利要求 1 所述的一种配电变压器容量在线评估方法, 其特征在于, 所述零序阻抗非线性方程组求解问题转化成如下优化问题, 将零序阻抗非线性方程组分别取绝对值, 再将 6 个公式相加, 便得适应度函数; 将求解零序阻抗问题转换成适应度函数最优问题, 通过遗传优化算法便可求解:

$$\min_{(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)} F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = \sum_{i=1}^6 |f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)|$$

求解非线性方程组转化成求一组值 $x^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*, x_6^*)$, 使得 $F(x^*) = 0$ 成立, 即求使函数 $F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ 取得最小值为0的一组数, 其中 $F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ 为适应度函数。

3. 根据权利要求1所述的一种配电变压器容量在线评估方法, 其特征在于, 所述评估方法步骤如下:

- (1) 读入三相变压器三相电压、电流、有功、无功数据;
- (2) 应用相关系数法识别配电变压器联结组别;
- (3) 计算Dyn11配电变压器短路阻抗; 计算Yyn0配电变压器零序阻抗;
- (4) 与参考值比较, 得出最接近容量; 并进行最终容量评估。

一种配电变压器容量在线评估方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种配电变压器容量在线评估方法,属变压器运行技术领域。

背景技术

[0002] 在电力系统中,因特殊需求存在配电变压器“以小充大”或“以大充小”的问题,部分生产厂家为了节约成本采用小容量变压器冒充大容量变压器,专变用户为了少交基本电费采用大容量变压器冒充小容量变压器,因此有必要准确掌握配电变压器实际容量来保证配电网安全经济运行。

[0003] 目前,配电变压器容量判断主要通过测量空负载损耗或阻抗电压值与国标参考值进行比较来判断配电变压器实际容量,但在容量测试过程中往往需要离线进行,从而影响了配电网的供电可靠性,现有配电变压器容量在线检测的方法因实际挂网运行的配电变压器数量巨大无法实用化,如江西公司在运配电变压器数量超过20万台,若采用仪器进行逐台单独测量,耗时费力,不适用于大规模使用。

发明内容

[0004] 本发明的目的是,根据现有配电变压器容量判断存在的问题,提出一种配电变压器容量在线评估方法。无需考虑配电变压器一次侧电气量,充分利用配电变压器二次侧运行数据,首先利用相关系数法有效区分不同联结组别配电变压器,在此基础上,通过计算Dyn11型配电变压器短路阻抗和Yyn0型配电变压器零序阻抗,并与标准参考值进行比较,从而达到配电变压器容量评估的目的。

[0005] 本发明实现的技术方案如下:

[0006] 一种配电变压器容量在线评估方法,所述方法采用相关系数法实现配电变压器联结组别的自动识别;进而计算Dyn11配电变压器短路阻抗和Yyn0配电变压器零序阻抗,并与标准参考值进行比较;最终得出配电变压器评估容量。

[0007] 所述配电变压器联结组别的自动识别方法如下:

[0008] 两种配电变压器在三相负荷不平衡的情况下,三相电压表现不一样,Yyn0配电变压器每个采集点三相电压基本不相等,而Dyn11配电变压器第i个采集点三相电压之间基本一致;采取相关系数法对配电变压器三相电压数据进行相关性计算,取A相与B相,B相与C相,A相与C相三个电压序列相关系数最小值,设置相关系数阈值,大于阈值则判断为Dyn11型,小于阈值则判断为Yyn0型,用以来区分两种不同联结组别配电变压器,相关系数公式为:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

[0009]

[0010] 其中,x、y为电压向量;x_i、y_i为每个采集点电压值。

[0011] 所述Dyn11配电变压器短路阻抗由下式计算：

$$[0012] \quad \begin{bmatrix} U_A(t2)+U_B(t1)-U_A(t1)-U_B(t2) \\ U_A(t2)+U_C(t1)-U_A(t1)-U_B(t2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}-a_{21}-a_{31}+a_{41} & a_{12}-a_{22}-a_{32}+a_{42} \\ a_{11}-a_{21}-a_{51}+a_{61} & a_{12}-a_{22}-a_{52}+a_{62} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_k \\ X_k \end{bmatrix}$$

[0013] 其中, $a_{11}=I_A(t1)\cos(\varphi_a(t1))$; $a_{21}=I_A(t2)\cos(\varphi_a(t2))$; $a_{31}=I_B(t1)\cos(\varphi_b(t1))$; $a_{41}=I_B(t2)\cos(\varphi_a(t2))$;

$a_{51}=I_C(t1)\cos(\varphi_c(t1))$; $a_{61}=I_C(t2)\cos(\varphi_c(t2))$; $a_{12}=I_A(t1)\sin(\varphi_a(t1))$; $a_{22}=I_A(t2)\sin(\varphi_a(t2))$;

$a_{32}=I_B(t1)\sin(\varphi_b(t1))$; $a_{42}=I_B(t2)\sin(\varphi_a(t2))$; $a_{52}=I_C(t1)\sin(\varphi_c(t1))$; $a_{62}=I_C(t2)\sin(\varphi_c(t2))$;

[0014] R_k 为短路电阻; X_k 为短路电抗; $I_A(t1)$ 、 $I_A(t1)$ 、 $I_C(t1)$ 为t1时刻的三相电流; $I_A(t2)$ 、 $I_B(t2)$ 、 $I_C(t2)$ 为t2时刻的三相电流; $U_A(t1)$ 、 $U_B(t1)$ 、 $U_C(t1)$ 为t1时刻的三相电压; $U_A(t2)$ 、 $U_B(t2)$ 、 $U_C(t2)$ 为t2时刻的三相电压; $\varphi_A(t1)$ 、 $\varphi_B(t1)$ 、 $\varphi_C(t1)$ 为t1时刻电压与电流的夹角; $\varphi_A(t2)$ 、 $\varphi_B(t2)$ 、 $\varphi_C(t2)$ 为t2时刻电压与电流的夹角。

[0015] 所述Yyn0配电变压器零序阻抗计算方法如下：

[0016] (1) 建立零序阻抗复数方程组

$$[0017] \quad \begin{cases} \dot{E}_a = \dot{U}_a + Z_a \dot{I}_a + \dot{U}_n \\ \dot{E}_b = \dot{U}_b + Z_b \dot{I}_b + \dot{U}_n \\ \dot{E}_c = \dot{U}_c + Z_c \dot{I}_c + \dot{U}_n \\ \dot{I}_0 = -(\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c) \\ \dot{U}_n = Z_0 \dot{I}_0 \end{cases}$$

[0018] 其中, R_a 、 R_b 、 R_c 、 X_a 、 X_b 、 X_c 分别为配电变压器短路阻抗的线圈直流电阻和漏抗; R_n 、 X_n 分别为零序阻抗中的电阻分量和电抗分量; z_a 为A相阻抗,

[0019] $z_a=R_a+jX_a$; z_b 为B相阻抗, $z_b=R_b+jX_b$; z_c 为C相阻抗, $z_c=R_c+jX_c$; $\dot{U}_a$ 、 $\dot{U}_b$ 、 $\dot{U}_c$ 分别为三相电压; $\dot{U}_n$ 为零序电压; $\dot{I}_a$ 、 $\dot{I}_b$ 、 $\dot{I}_c$ 、 $\dot{I}_0$ 分别为三相电流和零序电流; z_0 为零序阻抗, $z_0=R_n+jX_n$; $\dot{E}_a$ 、 $\dot{E}_b$ 、 $\dot{E}_c$ 分别为三相电压源;

[0020] (2) 将零序阻抗复数方程组标量化

[0021] 设三相测量点电压与电压源的夹角分别 α_a 、 α_b 、 α_c , 夹角关系为:

[0022] $\alpha_a+\alpha_b+\alpha_c=0$

[0023] 三相测量点电压与电流之间的夹角分别为 θ_a 、 θ_b 、 θ_c ,

[0024] $R_a=R_b=R_c=R_k$

[0025] $X_a=X_b=X_c=X_k$

[0026] 根据零序阻抗复数方程, 中性点电流分解成实部和虚部分量:

[0027] $I_n(\text{re}) = -(b_{11}+b_{12}+b_{13})$

[0028] $I_n(\text{im}) = -(b_{21}+b_{22}+b_{23})$

[0029] 其中: $b_{11}=I_a\cos(\alpha_a-\theta_a)$; $b_{12}=I_b\cos(\alpha_b-\theta_b)$; $b_{13}=I_c\cos(\alpha_c-\theta_c)$; $b_{21}=I_a\sin(\alpha_a-\theta_a)$; $b_{22}=I_b\sin(\alpha_b-\theta_b)$; $b_{23}=I_c\sin(\alpha_c-\theta_c)$

[0030] 相应的中性点电压实部和虚部分量分别为:

$$[0031] \quad \begin{bmatrix} U_n(re) \\ U_n(im) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_n(re) & -I_n(im) \\ I_n(im) & I_n(re) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_n \\ X_n \end{bmatrix}$$

[0032] A相阻抗电压实部和虚部分量分别为:

$$[0033] \quad \begin{bmatrix} U_{at}(re) \\ U_{at}(im) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & -b_{21} \\ b_{21} & b_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_a \\ X_a \end{bmatrix}$$

[0034] A相电压回路方程实部和虚部分别为:

$$[0035] \quad E_a \cos(0) = U_a \cos(\alpha_a) + U_{at}(re) + U_n(re)$$

$$[0036] \quad E_a \sin(0) = U_a \sin(\alpha_a) + U_{at}(im) + U_n(im)$$

[0037] 同理求出B、C相电压回路方程实部和虚部等式,最终得到零序阻抗非线性方程组:

$$[0038] \quad \begin{cases} E_a \cos(0) - (U_a \cos(\alpha_a) + U_{at}(re) + U_n(re)) = 0 \\ E_a \sin(0) - (U_a \sin(\alpha_a) + U_{at}(im) + U_n(im)) = 0 \\ E_b \cos(-120) - (U_b \cos(\alpha_b) + U_{bt}(re) + U_n(re)) = 0 \\ E_b \sin(-120) - (U_b \sin(\alpha_b) + U_{bt}(im) + U_n(im)) = 0 \\ E_c \cos(120) - (U_c \cos(\alpha_c) + U_{ct}(re) + U_n(re)) = 0 \\ E_c \sin(120) - (U_c \sin(\alpha_c) + U_{ct}(im) + U_n(im)) = 0 \end{cases}$$

[0039] 假定三相电压源值相等 $E_a = E_b = E_c = E$,考虑非线性方程组直接求解非常困难,可采用应遗传算法进行求解,将零序阻抗非线性方程组求解问题转化适应度函数优化问题,进而便可求 E 、 R_n 、 X_n 、 α_a 、 α_b 、 α_c 6个未知数。

[0040] 所述零序阻抗非线性方程组求解问题转化成如下优化问题,将零序阻抗非线性方程组分别取绝对值,再将6个公式相加,便得适应度函数;将求解零序阻抗问题转换成适应度函数最优问题,通过遗传优化算法便可求解:

$$[0041] \quad \min_{(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)} F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = \sum_{i=1}^6 |f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)|$$

[0042] 求解非线性方程组转化成求一组值 $x^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*, x_6^*)$,使得 $F(x^*) = 0$ 成立,即求使函数 $F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ 取得最小值为0的一组数,其中 $F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ 为适应度函数。

[0043] 本发明的有益效果是,本发明提出的一种配电变压器容量在线评估方法,不需要获取配电变压器一次侧运行数据,考虑PMS2.0系统配电变压器联结组别准确性不高的情况,先分析两种配电变压器运行电压的差异性,应用相关系数法对配电变压器联结组别自动识别,进而针对Dyn11配电变压器,通过计算出配电变压器短路阻抗与标准参考值进行比较,进而有效计算出Dyn11配电变压器评估容量,针对Yyn0配电变压器,通过计算出配电变压器零序阻抗与标准参考值进行比较,进而有效计算出Yyn0配电变压器评估容量,最终实现了配电变压器容量在线评估。

[0044] (1) 根据配电变压器运行电压数据,应用相关系数法,实现配电变压器联结组别自我标识。

[0045] (2) 在无法获取配电变压器一次侧电气量的情况下,通过Dyn11配电变压器容量在线评估方法准确评估配电变压器额定容量。

[0046] (3) 考虑Yyn0配电变压器中性点会产生偏移的情况下,通过Yyn0配电变压器容量在线评估方法准确评估配电变压器额定容量。

附图说明

- [0047] 图1为配电变压器容量在线评估流程图；
 [0048] 图2为Dyn11配电变压器电气向量图；
 [0049] 图3为Yyn0配电变压器电气向量图；
 [0050] 图4为遗传算法流程图。

具体实施方式

- [0051] 本发明具体实施方式如图1所示。
 [0052] 本实施例一种配电变压器容量在线评估方法包括以下步骤：
 [0053] (1) 读入三相变压器三相电压、电流、有功、无功数据；
 [0054] (2) 应用相关系数法识别配电变压器联结组别；
 [0055] (3) 计算Dyn11配电变压器短路阻抗；计算Yyn0配电变压器零序阻抗；
 [0056] (4) 与参考值比较，得出最接近容量；并进行最终容量评估。
 [0057] 本实施例具体实施如下：
 [0058] 配电变压器联结组别自动识别：
 [0059] 两种配电变压器在三相负荷不平衡的情况下，三相电压表现不一样，Yyn0配电变压器每个采集点三相电压基本不相等，而Dyn11配电变压器第个采集点三相电压之间基本一致。因此可考虑采取相关系数法对配电变压器三相电压数据进行相关性计算，取A相与B相，B相与C相，A相与C相三个电压序列相关系数最小值，设置相关系数阈值，大于阈值则判断为Dyn11型，小于阈值则判断为Yyn0型，用以来区分两种不同联结组别配电变压器，相关系数公式为：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

- [0061] Dyn11配电变压器容量在线评估方法：
 [0062] 对于Dyn11配电变压器，三相电压源电压值相等，在三相负荷不平衡的情况下，不存在中性点电压偏移情况，Dyn11配电变压器电气向量图如图2所示。
 [0063] 配电变压器短路电阻 R_k 和短路电抗 X_k 为待求量， φ 为电压与电流的夹角，当电压超前电流为正，反之为负，可通过用电采集信息系统三相对应的有功和无功即可求出：
 [0064] $\theta_a = \arctan(Q_a/P_a)$
 [0065] $\theta_b = \arctan(Q_b/P_b)$
 [0066] $\theta_c = \arctan(Q_c/P_c)$ (2)
 [0067] t_1 和 t_2 两时刻的电压源与测量点电压之间差值见公式(3)所示。

$$[0068] \quad \begin{bmatrix} E_A(t1) \\ E_A(t2) \\ E_B(t1) \\ E_B(t2) \\ E_C(t1) \\ E_C(t2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_A(t1) \\ U_A(t2) \\ U_B(t1) \\ U_B(t2) \\ U_C(t1) \\ U_C(t2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \\ a_{41} & a_{42} \\ a_{51} & a_{52} \\ a_{61} & a_{62} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_k \\ X_k \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0069] 其中： $a_{11}=I_A(t1)\cos(\varphi_a(t1))$ ； $a_{21}=I_A(t2)\cos(\varphi_a(t2))$ ； $a_{31}=I_B(t1)\cos(\varphi_b(t1))$ ； $a_{41}=I_B(t2)\cos(\varphi_a(t2))$ ；
 $a_{51}=I_C(t1)\cos(\varphi_c(t1))$ ； $a_{61}=I_C(t2)\cos(\varphi_c(t2))$ ； $a_{12}=I_A(t1)\sin(\varphi_a(t1))$ ； $a_{22}=I_A(t2)\sin(\varphi_a(t2))$ ；
 $a_{32}=I_B(t1)\sin(\varphi_b(t1))$ ； $a_{42}=I_B(t2)\sin(\varphi_a(t2))$ ； $a_{52}=I_C(t1)\sin(\varphi_c(t1))$ ； $a_{62}=I_C(t2)\sin(\varphi_c(t2))$ ；

[0070] 将公式 (3) 每相两时刻相减得：

$$[0071] \quad \begin{bmatrix} \Delta E_A \\ \Delta E_B \\ \Delta E_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_A(t2)-U_A(t1) \\ U_B(t2)-U_B(t1) \\ U_C(t2)-U_C(t1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}-a_{21} & a_{12}-a_{22} \\ a_{31}-a_{41} & a_{32}-a_{42} \\ a_{51}-a_{61} & a_{52}-a_{62} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_k \\ X_k \end{bmatrix} \quad (4)$$

[0072] t1和t2时刻三相电源引起的压降相等,即:

$$[0073] \quad \Delta E_A = \Delta E_B = \Delta E_C \quad (5)$$

[0074] 将公式 (4) A相分别与B、C相减得：

$$[0075] \quad \begin{bmatrix} U_A(t2)+U_B(t1)-U_A(t1)-U_B(t2) \\ U_A(t2)+U_C(t1)-U_A(t1)-U_C(t2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}-a_{21}-a_{31}+a_{41} & a_{12}-a_{22}-a_{32}+a_{42} \\ a_{11}-a_{21}-a_{51}+a_{61} & a_{12}-a_{22}-a_{52}+a_{62} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_k \\ X_k \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0076] t1和t2时刻三相电压、电流、有功、无功值已知,根据公式 (6) 便可求出短路电阻和短路电抗,在求解之前需验证方程组是否有解,若无解,需重新选取配电变压器运行数据,直到方程有解为止,如公式 (7) 所示。

$$[0077] \quad \begin{vmatrix} a_{11}-a_{21}-a_{31}+a_{41} & a_{12}-a_{22}-a_{32}+a_{42} \\ a_{11}-a_{21}-a_{51}+a_{61} & a_{12}-a_{22}-a_{52}+a_{62} \end{vmatrix} \neq 0 \quad (7)$$

[0078] 将计算短路阻抗与标准参考短路阻抗进行比较,差值绝对值最小所对应的额定容量为配电变压器评估容量,不同容量标准短路阻抗值见表 (1) 所示。

[0079] 表1不同容量标准短路阻抗参考值

[0080]

序号	额定容量 (kVA)	负载损耗 (W)	阻抗电 压(%)	短路电阻 (Ω)	短路电抗 (Ω)	短路阻 抗(Ω)
1	30	630	4	121.24	196.55	230.94
2	50	910	4	63.05	123.39	138.56
3	63	1090	4	47.57	99.15	109.97
4	80	1310	4	35.45	79.01	86.60
5	100	1580	4	27.37	63.65	69.28
6	125	1890	4	20.95	51.31	55.43
7	160	2310	4	15.63	40.38	43.30
8	200	2730	4	11.82	32.56	34.64
9	250	3200	4	8.87	26.26	27.71
10	315	3830	4	6.69	20.95	21.99
11	400	4520	4	4.89	16.61	17.32
12	500	5410	4	3.75	13.34	13.86
13	630	6200	4.5	2.71	12.07	12.37
14	800	7500	4.5	2.03	9.53	9.74
15	1000	1030	4.5	0.18	7.79	7.79

[0081] Yyn0配电变压器容量在线评估方法:

[0082] a) 零序阻抗复数方程组

[0083] 配电变压器短路阻抗由线圈直流电阻和漏抗组成,分别计为 R_a 、 R_b 、 R_c 、 X_a 、 X_b 、 X_c ,零序阻抗中的电阻分量和电抗分量分别计为 R_n 、 X_n ;Yyn0配电变压器电气向量图如图3所示。

[0084] 根据图3建立含零序阻抗复数方程:

$$\begin{cases} \dot{E}_a = \dot{U}_a + Z_a \dot{I}_a + \dot{U}_n \\ \dot{E}_b = \dot{U}_b + Z_b \dot{I}_b + \dot{U}_n \\ \dot{E}_c = \dot{U}_c + Z_c \dot{I}_c + \dot{U}_n \\ \dot{I}_0 = -(\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c) \\ \dot{U}_n = Z_0 \dot{I}_0 \end{cases} \quad (8)$$

[0086] b) 零序阻抗标量方程组

[0087] 实际配电变压器运行数据均为标量值,将公式(8)复数方程标量化。

[0088] 设三相测量点电压与电压源的夹角分别 α_a 、 α_b 、 α_c ,夹角关系为:

$$[0089] \quad \alpha_a + \alpha_b + \alpha_c = 0 \quad (9)$$

[0090] 三相测量点电压与电流之间的夹角分别为 θ_a 、 θ_b 、 θ_c ,可根据公式(3)求出。配电变压器短路电阻 R_k 和短路电抗 X_k 均采用表2所列值。

$$[0091] \quad R_a = R_b = R_c = R_k \quad (10)$$

$$[0092] \quad X_a = X_b = X_c = X_k \quad (11)$$

[0093] 根据公式(8),中性点电流分解成实部和虚部分量:

$$[0094] \quad I_n(re) = -(b_{11}+b_{12}+b_{13}) \quad (12)$$

$$[0095] \quad I_n(im) = -(b_{21}+b_{22}+b_{23}) \quad (13)$$

[0096] 其中: $b_{11}=I_a \cos(\alpha_a-\theta_a)$; $b_{12}=I_b \cos(\alpha_b-\theta_b)$; $b_{13}=I_c \cos(\alpha_c-\theta_c)$; $b_{21}=I_a \sin(\alpha_a-\theta_a)$; $b_{22}=I_b \sin(\alpha_b-\theta_b)$; $b_{23}=I_c \sin(\alpha_c-\theta_c)$ 。

[0097] 相应的中性点电压实部和虚部分量分别为:

$$[0098] \quad \begin{bmatrix} U_n(re) \\ U_n(im) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_n(re) & -I_n(im) \\ I_n(im) & I_n(re) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_n \\ X_n \end{bmatrix} \quad (14)$$

[0099] A相阻抗电压实部和虚部分量分别为:

$$[0100] \quad \begin{bmatrix} U_{at}(re) \\ U_{at}(im) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & -b_{21} \\ b_{21} & b_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_a \\ X_a \end{bmatrix} \quad (15)$$

[0101] A相电压回路方程实部和虚部分别为:

$$[0102] \quad E_a \cos(0) = U_a \cos(\alpha_a) + U_{at}(re) + U_n(re) \quad (16)$$

$$[0103] \quad E_a \sin(0) = U_a \sin(\alpha_a) + U_{at}(im) + U_n(im) \quad (17)$$

[0104] 同理求出B、C相电压回路方程实部和虚部等式,最终得到方程组:

$$[0105] \quad \begin{cases} E_a \cos(0) - (U_a \cos(\alpha_a) + U_{at}(re) + U_n(re)) = 0 \\ E_a \sin(0) - (U_a \sin(\alpha_a) + U_{at}(im) + U_n(im)) = 0 \\ E_b \cos(-120) - (U_b \cos(\alpha_b) + U_{bt}(re) + U_n(re)) = 0 \\ E_b \sin(-120) - (U_b \sin(\alpha_b) + U_{bt}(im) + U_n(im)) = 0 \\ E_c \cos(120) - (U_c \cos(\alpha_c) + U_{ct}(re) + U_n(re)) = 0 \\ E_c \sin(120) - (U_c \sin(\alpha_c) + U_{ct}(im) + U_n(im)) = 0 \end{cases} \quad (18)$$

[0106] 假定三相电压源值相等 $E_a=E_b=E_c=E$,考虑非线性方程组直接求解非常困难,可采用应遗传算法进行求解,将零序阻抗非线性方程组求解问题转化适应度函数优化问题,进而便可求 E 、 R_n 、 X_n 、 α_a 、 α_b 、 α_c 6个未知数。

[0107] 将公式18组成的方程组求解问题转化成如下优化问题:将公式(18)分别取绝对值,再将6个公式相加,便得适应度函数,将求解零序阻抗问题转换成适应度函数最优问题,通过遗传优化算法便可求解。

$$[0108] \quad \min_{(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)} F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = \sum_{i=1}^6 |f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)| \quad (19)$$

[0109] 则求解非线性方程组转化成求一组值 $x^*=(x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*, x_6^*)$,使得 $F(x^*)=0$ 成立,即求使函数 $F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ 取得最小值为0的一组数,其中 $F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ 为适应度函数,求解过程如图4所示。

[0110] 同理,将计算零序阻抗与标准参考零序阻抗进行比较,差值绝对值最小所对应的额定容量为配电变压器评估容量,不同容量标准零序阻抗值见表2所示。

[0111] 表2不同容量标准零序阻抗参考值

[0112]

序号	额定容量(kVA)	零序电阻(Ω)	零序电抗(Ω)	零序阻抗(Ω)
1	30	413.99	589.05	719.98
2	50	382.19	536.15	658.43
3	63	362.62	504.30	621.14
4	80	338.29	465.50	575.44
5	100	312.00	425.00	527.23
6	125	280.44	377.11	469.96
7	160	240.00	318.00	398.40

[0113]

8	200	204.00	268.00	336.81
9	250	162.00	216.00	270.00
10	315	122.00	174.00	212.51
11	400	84.20	135.76	159.75
12	500	58.00	110.00	124.35
13	630	40.00	84.00	93.04
14	800	36.00	60.00	69.97

。

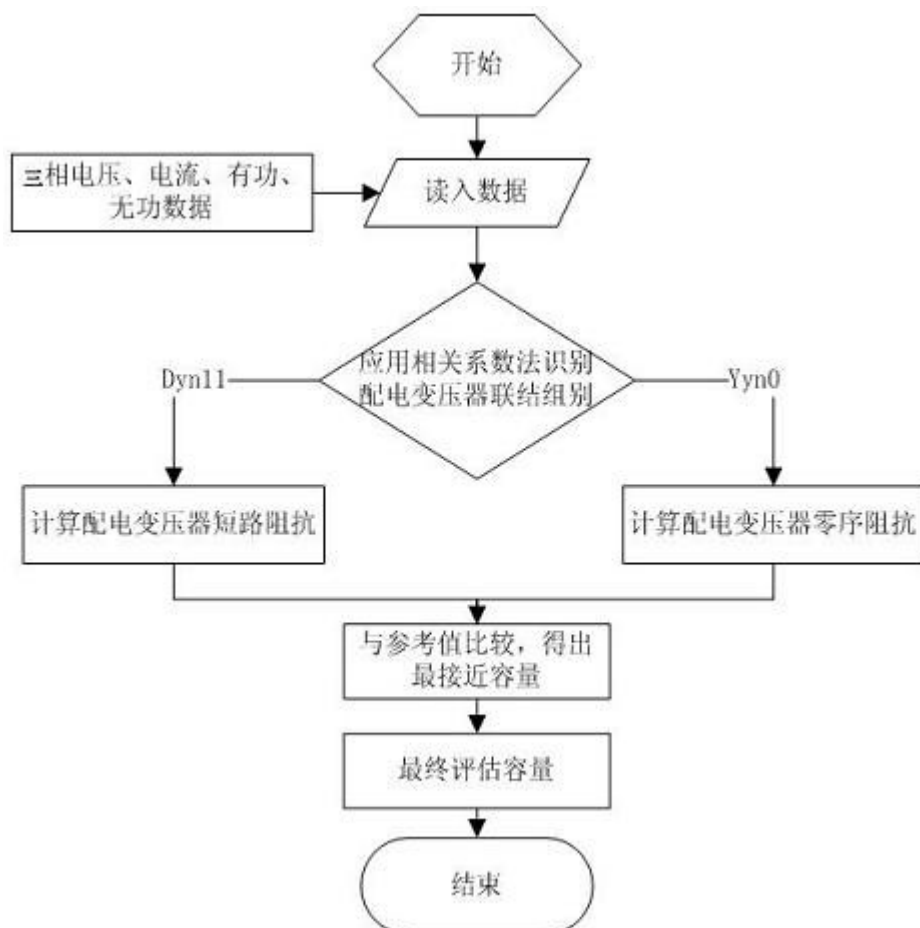


图1

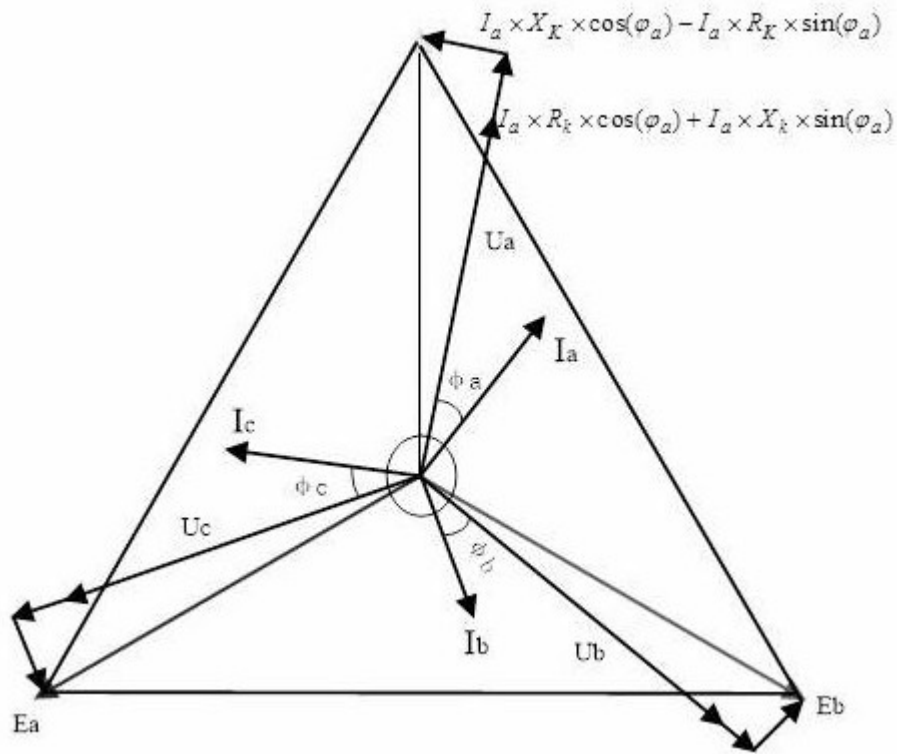


图2

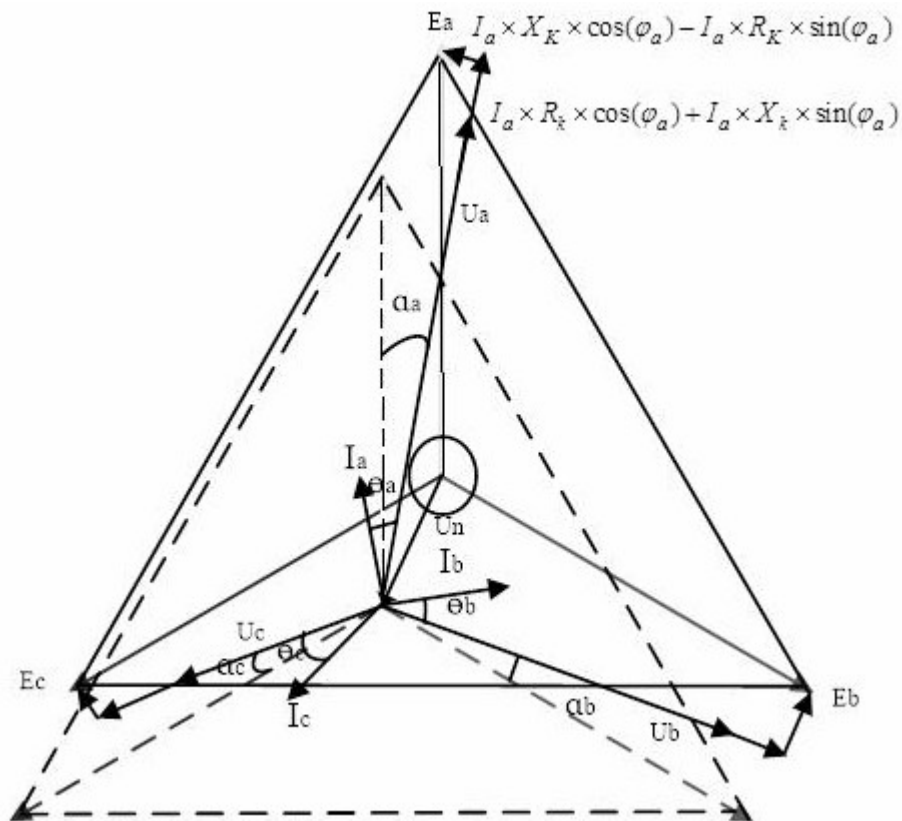


图3

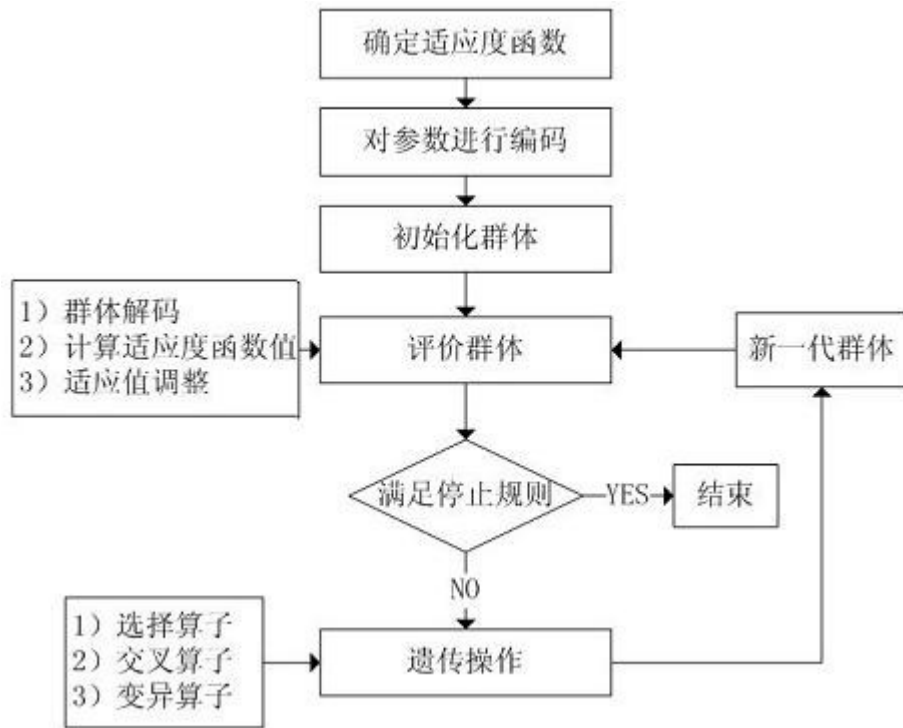


图4