

树型电力网单故障分支识别的 零泛器替代法

那文波 许承斌

(哈尔滨工业大学, 哈尔滨, 150006)

摘要 本文提出一种树型电力网单一故障分支的识别方法——零泛器替代法。这种方法的特点是诊断所需要的端口变量易于测量,对于短路和断线故障都适用,测后计算量较少。适用于多分支的树型电力网单一故障分支的识别。经计算机模拟,证明了所提识别方法是有效的。

关键词 树型电力网;故障分支;故障诊断

一、引言

树型电力网,由于其结构的复杂性,原有的输电线故障的检测方法不甚有效^[1]。而10kV配电网通常是由多段输电线组成树型结构,如图1所示。这种电力网分布面广,故障概率高,其故障检测问题有待进一步解决。

文献[2]提出了解决这一问题的另一途径,即借鉴模拟电路故障诊断的理论,建立树型电力网的故障诊断方法。这类方法与原有的检测方法相比,虽然增加了测前和测后的计算工作量,但仍是一种很有前途的方法,因为微电子技术的发展提供了足够的计算和检测所需要的硬件条件。

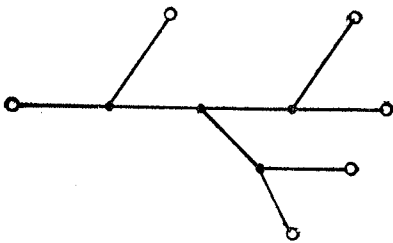


图 1

本文也是借鉴了模拟电路故障诊断的理论^[3,4],提出了树型电力网单一故障分支识别的零泛器替代法。这种诊断方法需要对故障电网外加

正弦电源,适当选取电源频率,使得信号的半波长略长于线长。在这种频率下,树型电力网成为分布参数电路,每一分支则为一条均匀线。从这种意义上说,本文所讨论的问题为树型分布参数电路单一故障分支的识别法。电力网均为三相制,本文先通过双线分布参数电路模型研究故障诊断的原理,最后再讨论在三相电力网中的应用。

二、故障分支识别的零泛器替代法

为了直观地讨论故障诊断的原理,又不失一般性,设树型电力网由三个分支组成,如

图 2 所示。已知各分支线长 l_i 和参数 R_{oi} , L_{oi} , G_{oi} 和 C_{oi} , $i = 1, 2, 3$ 。诊断时所用的正弦电压源 \dot{U} , 经电阻 R_1 加在端口 $11'$ 上。端口 $22'$ 和 $33'$ 可以开路、短路, 也可以接参数确定的负载。各分支相互联接的各个端口(图 2 中 $44'$ 联接的三个端口)均为不可测端口。诊断时需要测量电源电压和端口 $11'$ 的电压有效值及其相位差, 并用电压相量 \dot{U}_1 和 \dot{U}_2 表示。由于端口 $22'$, $33'$ 与端口 $11'$ 相距甚远, 难于测量它们之间的相位差, 所以只要求测量其电压有效值 U_2 和 U_3 。

设有故障的电力网为 N , 为了识别故障分支, 以某一不可测端口为界, 将 N 分为两个子网, 记作 N_F 和 \bar{N}_F 。假设 N_F 和 \bar{N}_F 分别为有故障和无故障子网, 且 \bar{N}_F 应包括电压源 \dot{U}_1 。在图 2 中把分支 3 划归 N_F , 其余部分均为 \bar{N}_F 。根据 \bar{N}_F 为无故障的假设, 其中参数是已知的, 若能设法利用测试量 \dot{U}_1 和子网 \bar{N}_F 的参数计算出端口电压 U_2 , 便可比较 U_2 的测试量和计算所得的模拟量, 从而检验 \bar{N}_F 为无故障的假设是否成立。

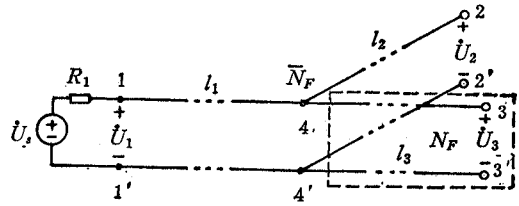


图 2

为了分析只含有 \bar{N}_F 的参数网络, 必须解决两个问题。第一, 用什么元件等效代替故障子网 N_F ? N_F 为假设的故障子网, 从端口 $44'$ 视入的端口电压和电流均为未知。第二是在端口 $11'$ 间应接入什么元件, 既能保持端口 $11'$ 的电压相量等于测试量 \dot{U}_1 , 又不经该元件向节点 1 注入电流。

利用零泛器可同时解决上述两个问题。零泛器是一种理想的二端口电路元件。其电路图符号如图 3 所示。图中端口 $11'$ 为零器端口, 端口 $22'$ 为泛器端口。零泛器的端口特性如下:

零器端口 $\dot{U}_1 = 0, \dot{I}_1 = 0$

泛器端口 \dot{U}_2 和 \dot{I}_2 均为任意值

零泛器是一种二端口元件, 其零器和泛器端口成对地存在于电路中是电路有解的必要条件。

在图 2 中假设 N_F 为故障子网, 其端口电压和电流不定, 因此 N_F 可用泛器来代替, 而在端口 $11'$ 上可接入一条由电压源和零器串联组成的支路, 如图 4 所示。由零泛器的端口特性可知, 图 4 所示电路与图 2 中的电网 N 等效。前者是一个含有零泛器的线性分布参数电路, 从中可求出 U_2 的模拟量, 再与其测试量比较, 便能判断 \bar{N}_F 是否有故障。对于

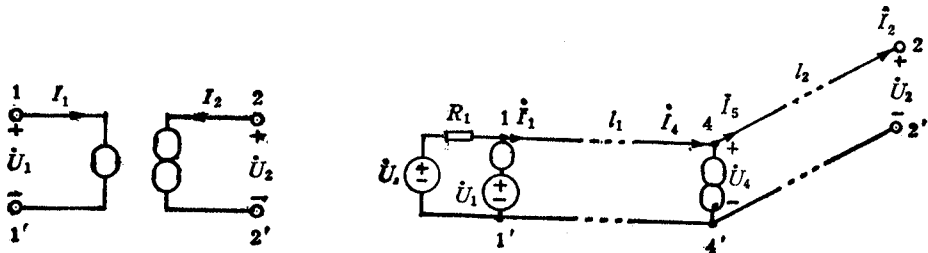


图 3

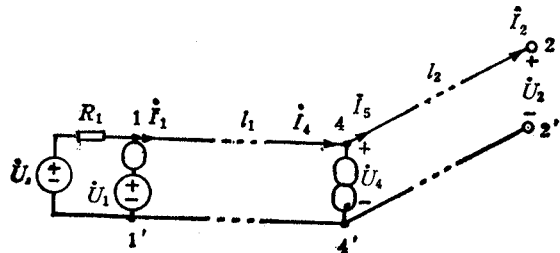


图 4

本文所讨论的树型电力网,据根文献[3,4]可提出如下定理。

定理 在 \bar{N}_F 和 N_F 之间有不可测联接端口时,判断 \bar{N}_F 无故障的必要条件是:

- (1) \bar{N}_F 中可测端口数大于 1;
- (2) 含有零泛器的网络有解;
- (3) 可测端口电压有效值的测试量与模拟量相等。

此定理的证明可简述如下: 条件(1)是能够比较可测端口电压模拟量和测试量的充要条件。条件(2)和(3)的含义是,在对零泛器电路进行模拟时,泛器端口的电压和电流决定于除泛器以外的整个网络的结构和参数,而与泛器代替的 N_F 的故障情况无关。同理,零泛器电路中所有的电压和电流(包括可测端口电压)都是如此。当可测端口电压的测试量与模拟量相等时,则表明零泛器网络的结构和参数保持正常,即 \bar{N}_F 中无故障。实际上各可测端口相距甚远,测量各端口电压之间的相位差有困难,所以只要求测试和比较可测端口电压有效值的测试量和模拟量。显然,有效值相等只是 \bar{N}_F 无故障的必要条件。但是在对树型电力网进行故障分支识别时仍可作为判别 \bar{N}_F 有无故障的条件来使用。因为当电路结构或参数改变时不影响某电压有效值的情况只是在具有特定结构和参数的电路中(如阻容移相桥)才能出现。

最后讨论含零泛器的树型网络解的存在性问题。图 4 所示电路中含电压源 \dot{U}_1 的支路和两条均匀线的方程如下:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_1 - R_1 \dot{I}_1 \quad (1)$$

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_4 \text{ch}(\gamma_1 l_1) + \dot{I}_4 Z_{c1} \text{sh}(\gamma_1 l_1) \quad (2)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_4 \text{ch}(\gamma_1 l_1) + (\dot{U}_4 / Z_{c1}) \text{sh}(\gamma_1 l_1) \quad (3)$$

$$\dot{U}_4 = \dot{U}_2 \text{ch}(\gamma_2 l_2) + \dot{I}_2 Z_{c2} \text{sh}(\gamma_2 l_2) \quad (4)$$

$$\dot{I}_5 = \dot{I}_2 \text{ch}(\gamma_2 l_2) + (\dot{U}_2 / Z_{c2}) \text{sh}(\gamma_2 l_2) \quad (5)$$

式中 $Z_{ci} = \sqrt{(R_{oi} + j\omega L_{oi}) / (G_{oi} + j\omega C_{oi})}$ 和 $\gamma_i = \sqrt{(R_{oi} + j\omega L_{oi})(G_{oi} + j\omega C_{oi})}$ 分别为第 i 条均匀线的波阻抗和传播常数。在(1)~(5)式中电压 \dot{U}_1 和 \dot{U}_1 为已知量, $\dot{I}_2 = 0$, 还剩下 5 个待求量,由 5 个互相独立的线性方程可以得解。不难看出,在图 4 所示电路中,每当增加一条分支便增加两个未知量,即该分支的起端电流和终端电压(终端开路,电流为零),同时增加该分支的两个均匀线方程,仍可得解。图 4 中节点 4 与泛器相联,对这种节点不列节点电流方程。对于仅由均匀线相联形成的节点还应列出节点电流方程。

三、诊断方法和算例

故障诊断可分为测前和测后两个子过程。测前工作在正常的电力网上进行。首先选取正弦电源的频率,使信号半波长长于树型电力网从电源端到最远端的距离。在选定的频率下测定各条均匀线的波阻抗 Z_c 和传播常数 γ 。电力输电线均为三相制,但诊断时将在一相对地和两相间分别加电压进行诊断。因此, Z_c 和 γ 也要在同样的条件下测定。有了 Z_c 和 γ 便可列出各条均匀线的方程,待诊断时使用。

发生故障之后分别在一相与地之间和两相之间加电压 \dot{U}_1 (参见图 2)、测量电源电压

和端口 11' 的电压有效值以及这两个电压的相位差, 以电压相量 \dot{U}_1 和 \dot{U}_1 表示。同时测量端口 22' 和 33' 的电压有效值 U_2 和 U_3 。

测后计算比较简便。下面举例说明搜寻故障分支的过程。

算例 图 5 所示树型电力网由 5 条分支组成。各分支的序号和线长均在图中标明。设各分支的参数相同, 当电源频率为 8000 Hz 时 $R_0 = 1.26 \Omega/\text{km}$, $G_0 = 0$, $L_0 = 2.16 \times 10^{-3} \text{H}/\text{km}$, $C_0 = 5.14 \times 10^{-9} \text{F}/\text{km}$ 。取电压源 $\dot{U}_1 = 50 \angle 0^\circ \text{V}$, 电阻 $R_1 = 100 \Omega$ 。

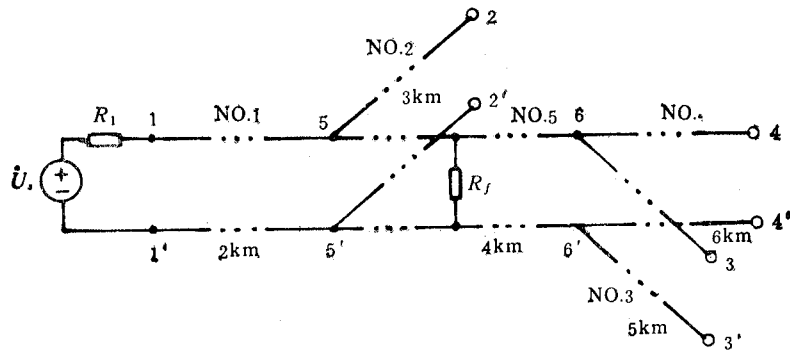


图 5

设分支 5 的中点发生短路, 短路接触电阻 $R_f = 10 \Omega$ 。用计算机模拟此故障的树型电力网代替实测所得到的起端电压相量和各终端电压有效值列入表 1 中第 1 行。

表 1

电压 (V) / 可测端口	$\dot{U}_{11'}$	$U_{22'}$	$U_{33'}$	$U_{44'}$
条件				
模拟的测量值	$48.32 + j8.18$	32.37	23.55	29.41
用泛器代替 No. 2			47.89	59.80
用泛器代替 No. 3, 4, 5		32.37		
用泛器代替 No. 4			43.76	
用泛器代替 No. 3				54.64

第 1 步假设分支 2 故障, 用泛器代替分支 2。解零泛器网络求得分支 3 和 4 终端电压列入表 1 的第 2 行。它们与测量值不同, 根据本文提出的定理可知分支 2 无故障。第 2 步用泛器代替分支 3, 4, 5。求得分支 2 的终端电压, 其值与测量值相等, 表明故障在分支 3, 4 或 5 中。第 3 和第 4 步, 先后用泛器代替分支 4 和 3, 所得可测终端电压均与测量值不同, 分支 4 和 3 无故障。因此分支 5 为故障分支, 与假设的故障一致。

四、结 论

本文提出的树型电力网故障分支识别的零泛器替代法具有下列特点:

(1) 预先在正常的均匀线上测定诊断所需要的参数 Z_0 和 γ , 因此不存在一般模拟电

路故障诊断中参数容差影响的问题。

(2) 要求检测电源电压和起端电压有效值及其相位差, 而各终端电压只需检测其有效值, 在工程中这种要求易于实现。

(3) 测后只需求解线性联立方程组, 计算量较少。

(4) 本诊断方法与故障类型无关, 既可用于短路也可用于断线的诊断。

本文未涉及某分支上的故障究竟发生在什么位置, 即故障点定位问题。对此作者也进行了研究, 所得结果将另文发表。

参 考 文 献

- [1] 秦履多, 谢源清, 北京邮电学院学报, 13(1990)1, 59—66.
- [2] 侯自立, 彭兰芳, 电子科学学刊, 12(1990)6, 641—645.
- [3] 邵毓琳, 熊炳焜, 模拟电路故障定位的新方法——电位锁定法, 中国电子学会电路与系统学会第七届年会论文集, 深圳, 1987年, 第10-1—10-4页.
- [4] 赵文伟, 张耀升, 模拟电路故障诊断的零泛器方法, 中国电子学会电路与系统学会第八届年会论文集, 成都, 1989年, 第195—201页.

A METHOD OF SINGLE BRANCH-FAULT IDENTIFICATION THROUGH NULLOR SUBSTITUTION ON TREE TYPE POWER NETWORK

Na Wenbo Xu Chengbin

(Harbin Institute of Technology, Harbin 150006)

Abstract A new method is presented based on nullor substitution, which is suitable for detecting single faulty branch with short-circuit or open-circuit on tree type power network. The required current and voltage values of each port are easy to be measured, and the proposed method needs less computations after measurement. It is feasible for single faulty-branch location on tree type powered network with several branches. Simulation by computer shows satisfactory results.

Key words Tree type power network; Fault branch; Fault diagnosis