



# 树状配电网相间短路的双频法故障诊断

束洪春 陈学允 许承斌

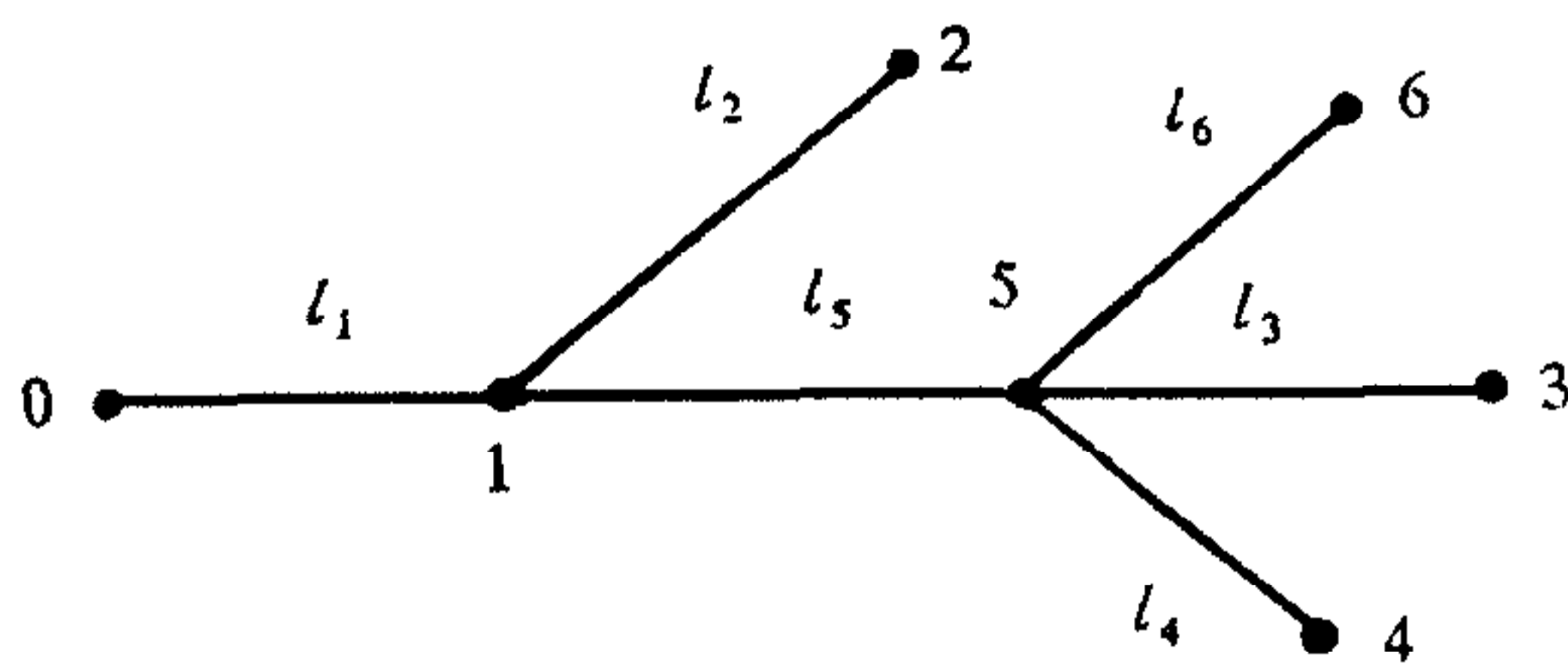
(哈尔滨工业大学电气工程系 哈尔滨 150001)

**摘要** 基于传输线理论,提出树状配电网相间短路的双频法故障诊断.采用线路始端诊信逐段传递、故障点逐段搜索和双频诊断的方法,实现配电线路的故障分支识别、故障点定位和过渡电阻定值.实际线路的模拟故障测距表明,方法有效.

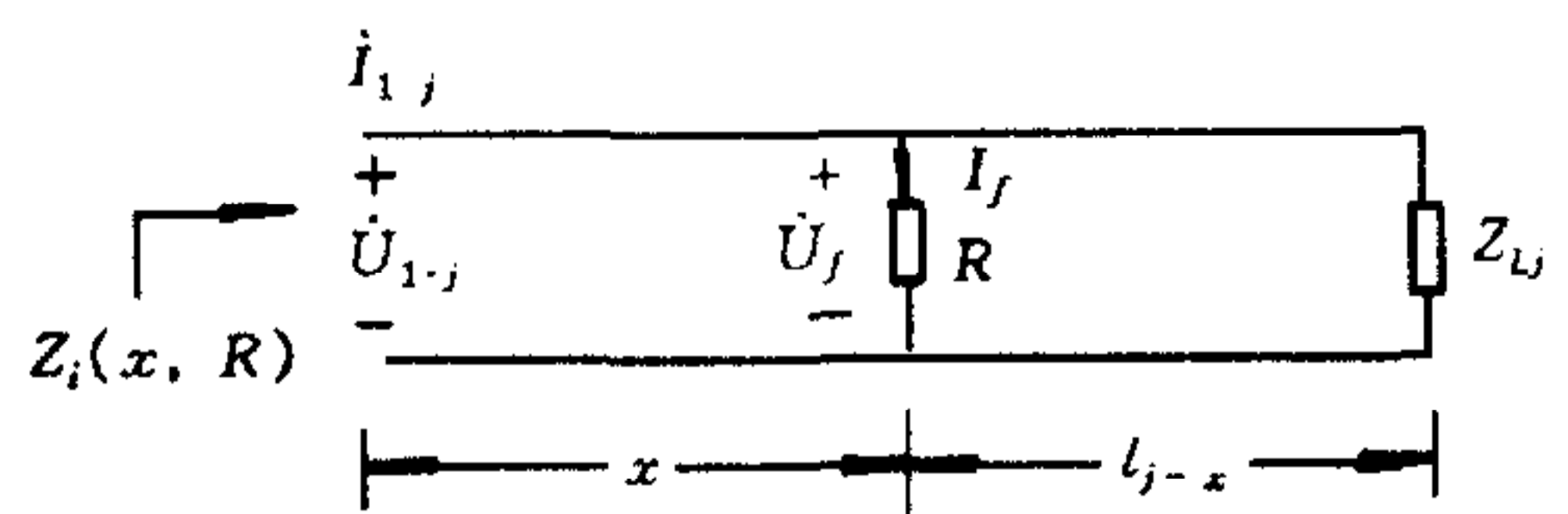
**关键词** 配电线路 故障分支识别 故障测距

## 1 引言

配电线路精确的故障测距业已引起人们重视<sup>[1,2]</sup>.树状配电网(图1(a))发生相间短路时,变电所高压开关切断.离线情况下,于故障线路始端加(0.8~10)kHz 诊信,结合多频激励诊断思想,本文提出相间短路的双频法故障诊断,实现配电线路的故障分支识别、故障点定位和过渡电阻定值.



(a) 树型配电网



(b) 相间短路模型

图1 树网及其故障模型

## 2 测距方程

离线情况下,联结用户的降压变副边油开关自动切断,线路于既定频率的波参数和末端阻抗为已知量.定义树网中被分析或诊断的分支  $b_j$  为当前段.  $b_j$  相间短路故障模型如图1(b),  $x$  为自  $b_j$  始端至故障点距离,  $R$  为过渡电阻,  $l_j$  为  $b_j$  的长度,  $Z_{Lj}$  为  $b_j$  末端等效阻抗.由图1(b)可得

$$R(x) = (\dot{V}_{1,j} \operatorname{ch} \gamma_j x - Z_{c_j} \dot{I}_{1,j} \operatorname{sh} \gamma_j x)(A_j \operatorname{ch} \gamma_j x - B_j \operatorname{sh} \gamma_j x) Z_{c_j}. \quad (1)$$

$$\text{其中 } A_j = D_j(Z_{L_j} \operatorname{ch} \gamma_j l_j + Z_{c_j} \operatorname{sh} \gamma_j l_j), \quad (2a)$$

$$B_j = D_j(Z_{c_j} \operatorname{ch} \gamma_j l_j + Z_{L_j} \operatorname{sh} \gamma_j l_j), \quad (2b)$$

$$D_j = 1/[Z_{c_j}(\dot{I}_{1,j} Z_{L_j} - \dot{V}_{1,j}) \operatorname{ch} \gamma_j l_j + (Z_{c_j}^2 \dot{I}_{1,j} - Z_{L_j} \dot{V}_{1,j}) \operatorname{sh} \gamma_j l_j]. \quad (2c)$$

式(1) $R(x)$ 在定义域 $[0, l_j]$ 上为复数,若记 $R(x) = |R(x)| \exp(i\theta(x))$ ,  $i^2 = -1$ ,则 $\theta(x)$ 值域为 $(-\pi/2, \pi/2)$ ,仅于故障点 $x_f$ 上有 $\theta(x) = 0$ 成立.籍此建构测距方程

$$\operatorname{Im}(R(x)) = 0. \quad (3)$$

其中, $\operatorname{Im}(\cdot)$ 为取虚部算子.由 $b_j$ 的始端条件 $(U_{1,j}, I_{1,j})$ 即可迭代求取故障距离 $x_f$ ,将此代回式(1)即可求取过渡电阻 $R_f$ .大量计算表明,在线长小于四分之一波长前提下, $R(x) - x$ 曲线于 $[0, l]$ 上单调,因此,测距方程(3)绝对收敛,无伪故障问题.

### 3 测距方程输入参数

测距方程(3)的输入参数分二类,其一是 $b_j$ 的始端条件 $(U_{1,j}, I_{1,j})$ ,其二是 $b_j$ 的元件参数集合 $\hat{L}_{pj}$ ,隶属于 $\hat{L}_{pj}$ 的有 $l_j, \gamma_j, Z_{c_j}$ 和 $Z_{L_j}$ . $l_j, \gamma_j, Z_{c_j}$ 均为实测参数.当 $b_j$ 为网络末端时, $Z_{L_j}$ 亦为实测参数,当 $b_j$ 为网络始段或中间段时, $Z_{L_j}$ 为 $b_j$ 的等值负载阻抗.恒假定树网始段为 $b_1$ ,则 $(U_{1,1}, I_{1,1})$ 即为实测参数,而 $(U_{1,j}, I_{1,j})|_{j=2 \sim b}$ ( $b$ 为树网支路总数)则由 $(U_{1,1}, I_{1,1})$ 沿树网始端逐段向树网各末段始节点传递所得.可见在求取 $Z_{L_j}$ 和 $(U_{1,j}, I_{1,j})$ 时涉及求树网作化简运算.树网化简运算类似梯形集中参数电路的运算.化简运算包括入端等效和节点上等效负载阻抗求取两种运算.求取 $(U_{1,j}, I_{1,j})$ 时作如下假定,即除 $b_j$ 分支及其 $b_j$ 分支的后续线路以外的分支均无故障.

### 4 双频法故障诊断

配电线路一般为闭环结构、开环运行方式,通常在变电所设人值班,即本文研究的树网假定线路仅始端(或称根节点)可测.采用将树网始端测信 $(U_{1,1}, I_{1,1})$ 逐段传递、故障点逐段搜索和双频诊断的策略,实现树状线路的故障分支识别、短路点定位和过渡电阻定值.

当前段 $b_j$ 存在两种可能,或故障或正常,若 $b_j$ 有故障为真,则传递所得 $(U_{1,j}, I_{1,j})$ 亦为真,自然满足诊断方程(3),其解描述的是真故障 $(x_f, R_f)$ .若 $b_j$ 及其后续线路正常,则传递所得的 $(U_{1,j}, I_{1,j})$ 为假,由方程(3)求解,若有定义域内的解 $(x'_f, R'_f)$ ,显然 $(x'_f, R'_f)$ 与 $b_j$ 正常的事实不符,称 $(x'_f, R'_f)$ 为伪故障.诊断 $b_j$ 出现伪故障的原因,或是 $b_j$ 的始端条件 $(U_{1,j}, I_{1,j})$ 不真实(图2),或是 $b_j$ 的后续网对 $b_j$ 的等效负载 $Z_{L_j}$ 不真实(图3).图2中, $I_{1,j-1}$ 代表在 $U_{1,j}$ 前提下 $b_{j-1}$ 分支正常时的始端电流, $I_{1,j}$ 代表在 $U_{1,j}$ 前提下 $b_j$ 分支正常时的始端电流, $(I_{1,j} + I_0)$ 代表在 $U_{1,j}$ 前提下 $b_{j-1}$ 事实上的故障而被认为正常去诊断 $b_j$ 所用的始端电流.图3中, $Y_j$ 代表后续网正常时对 $b_j$ 的等效导纳, $(Y_j + \Delta Y)$ 代表 $b_j$ 后续网故障后对 $b_j$ 的等效导纳.若 $b_j$ 后续网事实上的故障而被认为正常去诊断 $b_j$ ,其 $Z_{L_j}$ 应为 $1/(Y_j + \Delta Y)$ 而诊断所用却为 $1/Y_j$ .本文采用双频激励诊断将真故障与伪故障区分开来.



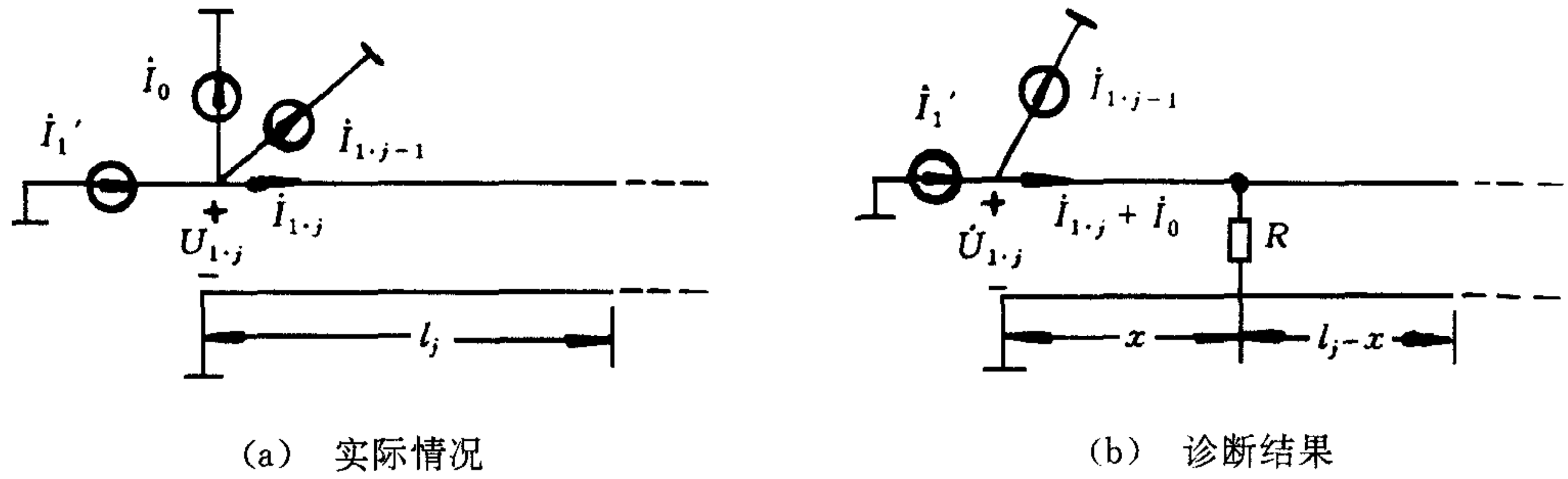


图 2 起端条件不真实

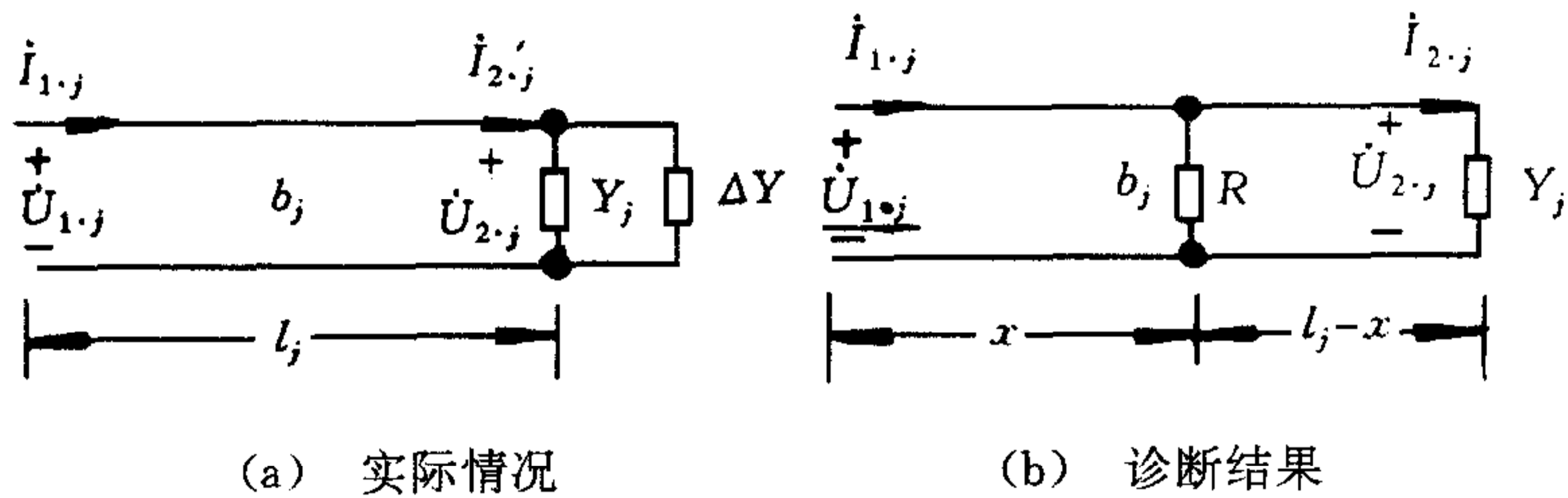


图 3  $Z_{Lj}$ 不真实

**判据** 在相异千赫芝的诊信频率下,真故障的值不变,伪故障的值不同。

证明冗长,仅作如下说明.相异频率下,真故障的值不变,是显然的,因为故障与诊信频率无关.伪故障的值不同,可参见图 4.某分支输入阻抗模值和辐角在满足线长小于四分之一波长线前提下是单调的.伪故障于不同频率下对分支始端观测者是不同的。

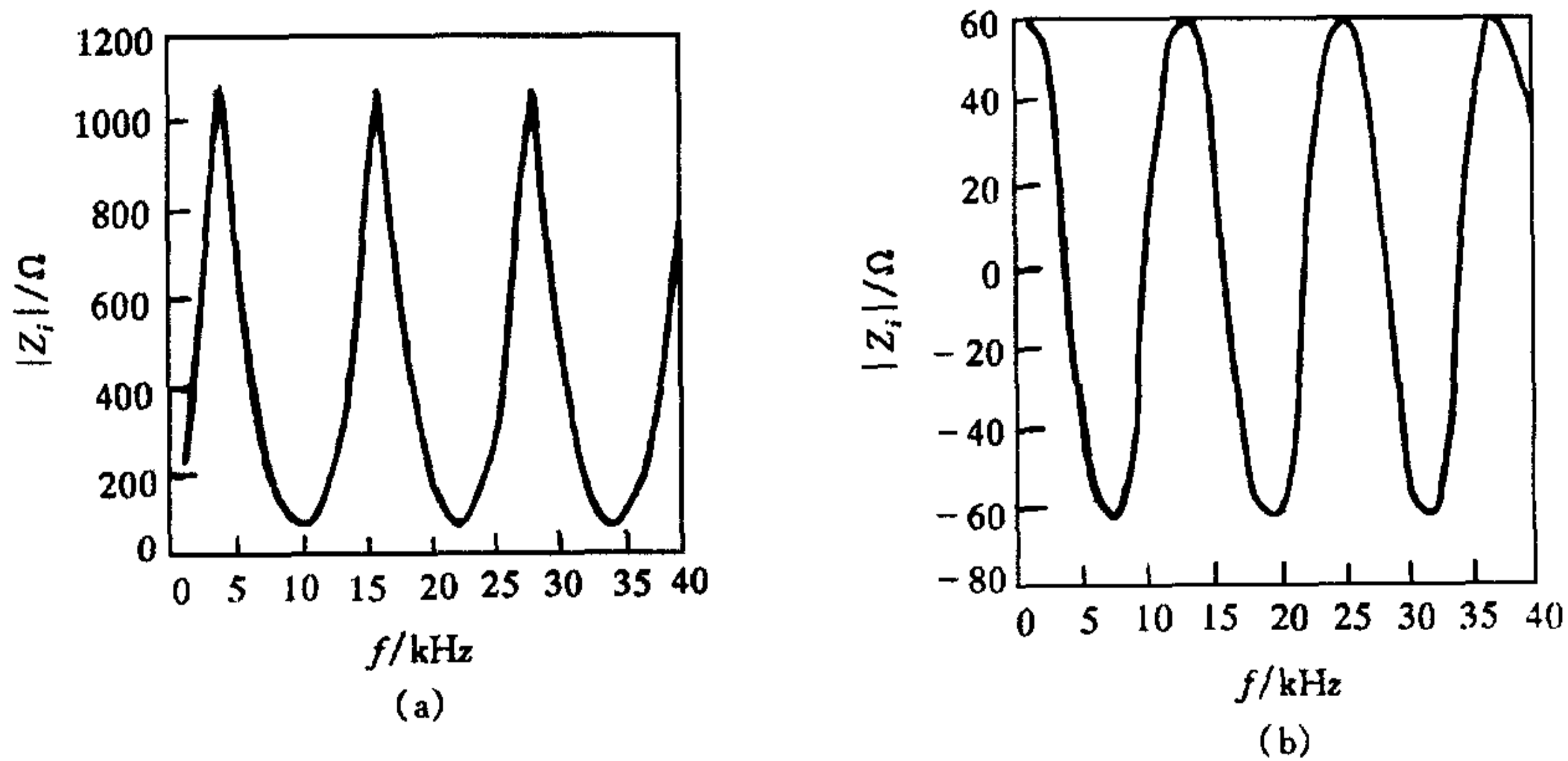


图 4 分支输入阻抗频率特性

### 5 算例

以图 1(a)线路为例.线路各分支为 LJ120 导线,为三角形架线,线距为 0.8m,高度 8m.各分支长  $l_{1-6} = (6, 6, 4, 1, 6, 10)$ km.依次于各分支上设故障点  $x_f = (5.0, 2.0, 3.0,$

0.8, 5.0, 5.0)km, 过渡电阻均为  $R_f = 500\Omega$ . 双频法诊断过程和结论示于表 1. 诊断过程中的每一横栏中, 只有一个是真故障, 其余为伪故障. “—”表示诊断时无故障.

表 1 故障诊断的计算机仿真(单位:m)

频率 (kHz)	诊断过程						
	$l_1$ 上	$l_2$ 上	$l_3$ 上	$l_4$ 上	$l_5$ 上	$l_6$ 上	
$f_1 = 1.0$	5000.0	—	—	—	—	—	
	—	2000.0	—	—	1884.4	—	
	—	—	3000.0	—	—	3005.9	
	—	—	—	800.0	—	—	
	—	—	—	—	5000.0	—	
	—	—	—	—	—	800.0	
$f_2 = 5.0$	5000.0	—	407.5	—	—	—	
	—	2000.0	1690.4	—	1314.7	—	
	—	—	3000.0	—	3139.37	4692.3	
	5244.2	1136.5	697.7	800.0	—	5244.2	
	2365.2	5850.5	—	—	5000.0	—	
	—	—	1866.6	—	1536.8	800.0	
结 论	$l_j$ $x_f$	$l_1$ 5000.0	$l_2$ 2000.0	$l_3$ 3000.0	$l_4$ 800.0	$l_5$ 5000.0	$l_6$ 5000.0

## 6 结论

本文方法得到实际配电线路验证. 方法特点:(1)只要求树网根节点可测;(2)原则上不受网络规模限制;(3)缺点是需输入线路诸种参数.

## 参 考 文 献

- [1] 那文波, 许承斌. 树型电力网单故障分支识别的零泛器替代法. 电子科学学刊, 1992, 14(3): 276—280.  
 [2] Ebron S et al. A Neural network approach to the detection of incipient faults on power distribution feeders. *IEEE Trans* 1990, PWRD—5(2): 905—914.

## DOUBLE-FREQUENCY EXCITED METHOD TO LOCATE LINE-TO-LINE FAULT ON POWER DISTRIBUTION NETWORK WITH TREE STRUCTURE

SHU HONGCHUN CHEN XUEYUN XU CHEGNBIN

(Dept. of Electrical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

**Abstract** On the basis of transmission line theory, double-frequency excited method to locate line-to-line fault on power distribution network with tree structure is presented. The fault branch identification, the fault location and the fault value are completed by means of the detection signal transmitted from the start end to the terminals, searching fault, sectionally, and bi-frequency excited diagnosis. The tests of fault location on actual lines demonstrate that the method is effective.

**Key words** power distribution network, fault branch identification, fault location.