

目 录

符号	1
前言	7
第一章 基本知识	9
第一节 电力线路的参数及其等值电路	9
第二节 电力线路的短路和接地	13
小结	23
第二章 ZGT型探测仪的结构和构成原理	25
第一节 仪口的结构	25
第二节 仪口的构成原理	28
小结	36
第三章 选测回路	39
第一节 测量回路	39
第二节 起动选相回路	45
小结	44
第四章 计测回路	66
第一节 电流变换回路	66
第二节 电压变换回路	69
第三节 比较回路(又称 t_0 检出回路)	80

第四章	线性变换及模拟电路	96
第五节	控制电路	99
第六节	辅助回路	103
小结		106
第五章	直流电流及接地开关控制回路	110
第一节	直流电流	112
第二节	接地开关控制回路	114
第六章	使用和调试	117
第一节	使用方法	117
第二节	调试方法	120
小结		143
第七章	仪口故障及检修	146
附录 1	各种导线的单位电阻和电抗	145
附录 2	8FC3 集成电路参数	156

符 号

符 号	说 明
A	A 相
A	常数
A	运标放大四开环增益
AO	运标放大四
B	B 相
B	磁通密度
B_{max}	最大磁通密度
C	C 相
C	电容
C_i	电流回路寄存电容
C_u	电压回路寄存电容
C_A	线性变换回路储存电容
D	二极管
D_{pj}	导线间几何平均距离
E	感应电势
E	直流电流电压
e	自然对数底

f	电抗频率
f_r	谐振频率
FET	场效应晶体管
G	三极管
H	磁场强度
H_{max}	最大磁场强度
I	电流
I_K	短路电流
I_A	A相电流
I_B	B相电流
I_C	C相电流
I_o	零相电流
I_c	集电极电流
I_b	基极电流
I_e	发射极电流
I_s	场效应管源极电流
I_F	反馈电流
I_{sr}	输入电流
J	继电器
J	座轴单位矢量 (符号)

故障回路参数表

K	比例常数
K_i	电流回路比例常数
K_u	电压回路比例常数
K	故障系数
K_f	相敏系数
K_z	系数
L	距离
M	常数
N_L	电流互感器变比
N_V	电压互感器变比
R	电阻
R_i	电流回路放电电阻
R_u	电压回路放电电阻
R_A	线性变换回路放电电阻
R_c	集电极电阻
r	半径
S	截面积
T	时间常数
T_i	电流回路放电时间常数
T_u	电压回路放电时间常数

T_A	线性变换回路放电时间常数
t	时间
U	电压
U_i	C_i 电容上的测量电压
U_u	C_u 电容上的测量电压
U_A	基准电压
U_o	C_A 剩余电压
U_{sr}	输入电压
U_{sc}	输出电压
U_s	移相电压
U_{φ}	相敏整流输出电压
U_c	电容上的压降
U_R	电阻上的压降
V_K	短路电压
V_A	A相电压
V_B	B相电压
V_C	C相电压
V_{AB}	AB相电压
V_{BC}	BC相电压
V_{CA}	CA相电压

U	电压互感器二次电压
X	线路电抗 (正序电抗)
X_0	单位正序电抗
X_L	自感电抗
X_M	互感电抗
Z	线路阻抗 (正序阻抗)
Z_0	单位正序阻抗
Z_L	自感阻抗
Z_M	互感阻抗
α	乘幂
β	晶体管共射极电流增益
θ	相角
μ	导磁率
π	3.1416
ϕ	磁通
φ	相角
ω	角频率

[illegible]

前 言

顾名思义，电力线路故障检测仪是用来测量电力线路故障的仪仗。

在线路发生故障后，迅速、准确地确定故障点的位置，是供电部门保证可靠供电的一项重要技术措施。它不仅大大地节省人力和物力，减轻工人的繁重体力劳动，而且可及时地发现线路的缺陷，预防和减少事故。

国内外大多数是采用脉冲式检测仪。早期是脉冲示波型检测仪，用以探测永久性故障，后来又出现了脉冲磁鼓型和脉冲数字型检测仪，这些都是根据脉冲反射原理构成的。由于结构复杂，附属设备较多，使用不方便。而且在线路分支点较多，线路损耗很大的低压电力系统中使用，尚有不足之处。为此我们研制了电抗型的故障检测仪。它是利用故障时的电压和电流，测得线路的短路电抗来确定故障点位置的。它的结构比较简单，使用比较方便，而且可适用各种不同的线路。1973年首先在我国电气化铁路27.5千伏接触网上使用，型号为DTG—1型接触网故障点检测仪。运行结果证明，仪仗性能良好，测量误差在1公里以内，尤其在高阻性故障时，保证了测量精度，达到了满意的效果。现已正式推广使用。在它的基础上，我们又研制了ZGT型电力线路故障检测仪，用来探测三相电力线路上各种故障。它不仅可以测量短路而且可以测量单相接地故障点；不仅可以测量永久性短路故障而且可以测量瞬时性短路故障。测量精度为5%。ZGT型检测仪经过了上千次的实测考验，达到了较好的效果。现已投入生产和使用。

近二年来，一些工业比较先进的国家（德、法、日）也都

研制了电抗型的故障探测仪。由于结构简单使用方便而引起
了人们的极大兴趣，国外评价它“是故障定位的新哲学”。

ZGT型电力线路故障探测仪，主要用于铁路自动闭塞的
10千伏电力线路上，也可用于类似的其他线路。在35千伏线
路上也可用来测量各种短路故障点，至于能否测量35千伏线
路单相接地故障点，还有待实践经验，有待探讨。

第一章 基本知识

第一节 电力线路的参数和等值电路

电力线路即输电线路，为了与110千伏以上的超高压输电线路区别，对10千伏系统，我们称其为电力线路。

我们知道，电力线路的参数主要由线路电阻（用符号 R 表示）和线路电抗（用符号 X 表示）组成。二者的向量和，称线路阻抗（用符号 Z 表示）。这些参数不同于一般的电阻和电抗，它们是随着线路的长度而变化的分布参数。对于一条均匀的电力线路（导线类型相同、悬挂方式相同）来说，分布参数常用一个单位参数来表示。设每公里的电阻用 r_0 表示，每公里的电抗用 x_0 表示，每公里阻抗用 z_0 表示。如有 L 公里的线路，它的电阻、电抗和阻抗则为：

$$R = r_0 L \quad (1-1)$$

$$X = x_0 L \quad (1-2)$$

$$Z = z_0 L \quad (1-3)$$

这样，只有分布参数的电线路就可用一个集中参数的等值电路来描绘，如图1所示：

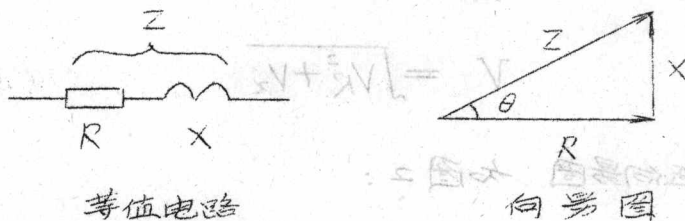


图1 电力线路简化等值电路和向量图

图中 θ 为线路阻抗角，由直角三角形关系可知：

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{X}{R} = \frac{X_0}{r_0} \quad (1-4)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (1-5)$$

$$R = Z \cos \theta \quad (1-6)$$

$$X = Z \sin \theta \quad (1-7)$$

假设流过线路的电流为 I ，线路电阻上的压降为 V_R ，线路电抗上的压降为 V_X ，线路的总阻抗为 Z ，则

$$V_R = I \cdot R \quad (1-8)$$

$$V_X = I \cdot X \quad (1-9)$$

$$V = I \cdot Z \quad (1-10)$$

在电工原理中已经讲过，电阻上的压降与电流同相，电抗上的压降引前电流 90° ，而全电压为这两部分压降的向量和。

因此，在感性电路中 V 就引前 i 一个相角 θ ，则

$$V_R = V \cos \theta \quad (1-11)$$

$$V_X = V \sin \theta \quad (1-12)$$

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_X^2} \quad (1-13)$$

电压向量图，如图2：

图2 电压向量图

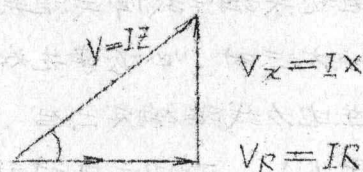


图2 电压相量图

根据(1-1) ~ (1-13)式,可以得到:

$$l = \frac{V_R}{I} \cdot \frac{1}{Z_0} = \frac{1}{Z_0} \cdot \frac{V \cos \theta}{I} \quad (1-14)$$

$$l = \frac{V_x}{I} \cdot \frac{1}{X_0} = \frac{1}{X_0} \cdot \frac{V \sin \theta}{I} \quad (1-15)$$

$$l = \frac{V}{I} \cdot \frac{1}{Z_0} = \frac{1}{Z_0} \cdot \frac{V}{I} \quad (1-16)$$

由(1-14)或(1-15)、(1-16)式都可确定线路的长度。为了测量电力线路故障点的距离,也就是确定线路始端至故障点的线路长度,最准确的方法是采用(1-15)式,即测量此段线路的电抗 X ($X = V \sin \theta / I = X_0 l$)。这是因为在线路发生故障时,除金属性短路外,尚存在着故障点的弧光电阻,这个电阻与故障点的距离无关,是由故障的形式所确定的。然而,它却影响到故障回路的电阻分量,当然也影响到回路的总阻抗。所以,采用(1-14)和(1-16)式来测量故障点的距离,在高阻性故障时,必然带来较大的误差。而线路的电抗分量却不受弧光电阻的影响,仅与故障点的距离成正比。

用测量线路电抗来确定故障距离的方法，我们称作“电抗法”。运用这一方法时，必须事先知道线路的每公里电抗 X_0 （欧/公里）。在电力线路确定之后，可由电力设计手册查出 X_0 的值（见附录1），或由下式计算：

$$X_0 = 2\pi f (4.619 \frac{D_{pj}}{r} + 0.5\mu) \times 10^{-4} \quad (1-17)$$

式中 f —— 电流频率，即50周/秒；

r —— 导线半径，毫米；

D_{pj} —— 三相导线的几何平均距离，毫米 $D_{pj} = \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{CA}}$ ，

D_{AB}, D_{BC}, D_{CA} 分别为三相导线间的距离；

μ —— 导线材料的相对导磁率，对于有色金属 $\mu = 1$ 。

将上述数据代入后得到：

$$X_0 = 0.144 \lg \frac{D_{pj}}{r} + 0.016 \quad (\text{欧/公里}) \quad (1-18)$$

架空线路的单位电抗，一般在0.25~0.4欧/公里左右；电缆线路的单位电抗，约0.08欧/公里；导线材料的导线（铁线）单位电抗值是随着通过它的电流大小而变化的，不是常数，请看附录2。所以，在测量铁线区段的故障距离时，必须配合测量故障时的电流值来确定，这是铁线区段故障测量的一个特点。

第二节 电力线路短路和接地

在三相电力线路中，由于故障的相别不同可能有下列几种故障形式：

- (1) A、B、C三相短路（接地或不接地）；
- (2) AB相、BC相、CA相短路（接地或不接地）；
- (3) A相、B相、C相接地。

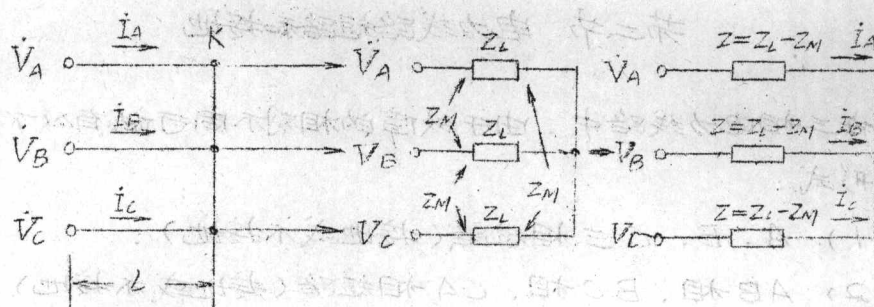
(1)、(2)两种故障为短路故障，将引起继电保护动作跳闸。对于这类故障，故障检测仪必须进行瞬时测量。

第(3)种故障形式为单相接地，对于中性点接地系统也将引起跳闸，也是一种短路形式。但对于中性点不接地的系统，因为单相接地点和电流间没有短路回路，所以流过的电流不是短路电流，而是系统的电容电流之和。在发生单相接地后，三相电压仍保持平衡状态，线路尚可继续运行。由于单相接地后，非故障相电压将要升高，所以运行时间不能超过二小时。对于这类故障，故障检测仪是无法直接进行测量的，需要采取特殊措施，使单相接地点和电流回路之间构成瞬时短路回路，在未造成断路器跳闸之前，检测仪进行测量，并迅速解除电流短路回路。这是测量单相接地点的特殊的地方。详细介绍，请见后。

为了测量各种形式的故障，故障检测仪必须正确地选择故障的相别和对应相的电流和电压。这是根据下述的理论分析所确定的。要掌握仪表的原理、使用 and 调试，首先必须熟练地掌握和领会下述分析的结果。

一、三相短路

三相短路如图3所示：



(a) 三相短路

(b) 等值电路

图 3 三相短路及其等值电路

图中K为短路点，L为短路点离开电源的距离，很显然，三相短路是一种对称短路形式，即短路后的各相电压和电流仍保持着三相对称关系，可用下式表示：

$$\dot{V}_A + \dot{V}_B + \dot{V}_C = 0 \quad (1-19)$$

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0 \quad (1-20)$$

图3(b)表示了三相短路情况下的等值电路， Z_L 是每相的自阻抗， Z_M 为两相间的互阻抗，各相电压分别由下列三式表示：

$$\dot{V}_A = \dot{I}_A Z_L + \dot{I}_B Z_M + \dot{I}_C Z_M \quad (1-21)$$

$$\dot{V}_B = \dot{I}_B Z_L + \dot{I}_A Z_M + \dot{I}_C Z_M \quad (1-22)$$

$$\dot{V}_C = \dot{I}_C Z_L + \dot{I}_A Z_M + \dot{I}_B Z_M \quad (1-23)$$

由(1-20)式可知：

$$\dot{I}_B + \dot{I}_C = -\dot{I}_A \quad (1-24)$$

$$\dot{I}_A + \dot{I}_C = -\dot{I}_B \quad (1-25)$$

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B = -\dot{I}_C \quad (1-26)$$

代入(1-21)、(1-22)、(1-23)式, 得到:

$$\dot{V}_A = \dot{I}_A (Z_L - Z_M) = \dot{I}_A Z \quad (1-27)$$

$$\dot{V}_B = \dot{I}_B (Z_L - Z_M) = \dot{I}_B Z \quad (1-28)$$

$$\dot{V}_C = \dot{I}_C (Z_L - Z_M) = \dot{I}_C Z \quad (1-29)$$

式中 $Z = Z_L - Z_M$, 称线路正序阻抗, 即附录1中所给出的数据。

则线电压

$$\dot{V}_{AB} = \dot{V}_A - \dot{V}_B = (\dot{I}_A - \dot{I}_B) Z \quad (1-30)$$

$$\dot{V}_{BC} = \dot{V}_B - \dot{V}_C = (\dot{I}_B - \dot{I}_C) Z \quad (1-31)$$

$$\dot{V}_{CA} = \dot{V}_C - \dot{V}_A = (\dot{I}_C - \dot{I}_A) Z \quad (1-32)$$

由图1知道:

$$Z = R + jX \quad (1-33)$$

j 表示 X 引前 R 90° , 则(1-30)式写成:

$$\dot{V}_{AB} = (\dot{I}_A - \dot{I}_B) R + j(\dot{I}_A - \dot{I}_B) X \quad (1-34)$$

由电压向量图2, 又知

$$\dot{V}_{AB} = V_{AB} \cos \theta + j V_{AB} \sin \theta \quad (1-35)$$

可见 $V_{AB} \sin \theta = (\dot{I}_A - \dot{I}_B) X \quad (1-36)$