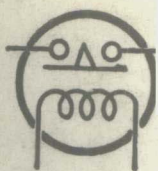


繼電保護裝置叢書

第四冊

電流互感器和電壓互感器

張道民著



水利電力出版社

繼电保护装置丛书

第 四 册

电流互感器和电压互感器

張 道 民著

水利电力出版社

內 容 提 要

本书对电流互感器、电压互感器和对称分量滤过器作了較全面的介紹。此外还介绍了各种电压回路断綫閉鎖裝置，以及分相回路的构成原理和結綫图；对于继电保护技术中常用的电容式电压抽取裝置和复合电流滤过器亦作了适当的敘述。

本书可供从事继电保护裝置設計、运行和調整試驗的初級技術人員以及技工自學，也可作为中等技术学校和技工学校教学参考书。

电 流 互 感 器 和 电 压 互 感 器

張 道 民 著

*

2774D666

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里沟）

北京市书刊出版业营业許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

787×1092 1/32 开本 * 5 印張 * 107 千字 * 定价(第 9 类) 0.54 元

1960 年 6 月北京第 1 版

1960 年 6 月北京第 1 次印刷(0001—6, 270 册)

目 录

第一章 电流互感器	3
第1节 互感器的用途及其分类	3
第2节 电流互感器的基本知识	5
第3节 电流互感器的向量图	7
第4节 电流互感器的误差	10
第5节 对电流互感器准确度的要求	13
第6节 电流互感器的极性	15
第7节 电流互感器电流向量图的绘制	18
第8节 电流互感器的二次负担	19
第9节 电流互感器的10%误差曲线	27
第10节 使用10%误差曲线时, 对电流计算倍数的确定	32
第11节 电流互感器的接线方式	38
第12节 电流互感器的构造	50
第13节 补偿式电流互感器	58
第14节 差动保护装置和接地保护装置对电流互感器的 要求	61
第二章 电压互感器	64
第1节 电压互感器的基本知识	64
第2节 电压互感器的向量图和误差	67
第3节 电压互感器的极性和电压向量图的绘制	74
第4节 电压互感器的构造	77
第5节 电压互感器的接线方式	84
第6节 保险器在电压互感器中的应用	95

第7节	电压互感器二次回路的断线信号装置和 闭锁装置	98
第8节	电容式电压抽取装置	106
第9节	分相回路	112
第三章	对称分量滤过器	118
第1节	对称分量滤过器在继电保护装置中的应用	118
第2节	对称分量滤过器的基本知识	120
第3节	戴维南定理在分析对称分量滤过器时的应用	123
第4节	在滤过器输出电流和电压中消除零序分量的 方法	126
第5节	实现滤过器的基本原理和电流电压的移相方法	129
第6节	负序电压滤过器	134
第7节	由有效电阻和电容阻抗臂构成的负序电流滤过器	141
第8节	电抗变压器式负序电流滤过器	148
第9节	复合电流滤过器	152

第一章 电流互感器

第1节 互感器的用途及其分类

由于电力系统的运行电压很高，流过的电流很大，如将继电保护装置直接装设在一次回路中，将会带来以下的困难：

(1) 继电器的线圈处于被保护电力元件的工作电压之下，继电器的绝缘需要加强。同时在维护检修和试验调整继电器时，必须将被保护电力元件电源侧的断路器切除。但是根据电力系统的实际运行情况，切除一部分电力元件往往是相当困难或者是根本不可能的。

(2) 在发生短路故障时，由于短路电流很大，继电器的线圈要承受很大的热效应和机械应力的作用。如继电器直接动作于断路器跳闸，继电器需要作较大的功。由于上述一些原因，继电器的结构很笨重，因此它们的准确度是不会很高的。

随着电力工业的飞跃发展，继电保护和控制技术日趋复杂，准确度和灵敏度极高的继电器就成为继电保护和控制系统中极重要的元件。所以利用互感器将电路中的高电压和大电流缩小以达到操作继电器的目的，是很重要的。

通常在高压线路采用直接测量线路电气量的仪表，在制造方面往往很难满足灵敏度和准确度的要求。如用互感器将电路内的高电压和大电流缩小以后，就可以用低电压和小电流的测量仪表进行测量。

互感器按其用途的不同可以分成电流互感器和电压互感

器两种：

1) 电流互感器能将电力回路的大电流按一定比例缩小到便于测量仪表测量和操作继电器适用的数值。测量仪表和继电器的电流线圈是同电流互感器的二次线圈(小电流线圈)串联的, 所以测量仪表和继电器可以作得小巧精密, 并且彼此间的联接可以用细的导线或控制电缆。

2) 电压互感器能将电力回路中的高电压按一定比例缩小, 测量仪表和继电器的电压线圈是同电压互感器的二次线圈(低电压线圈)并联的, 因此对测量仪表和继电器绝缘的耐

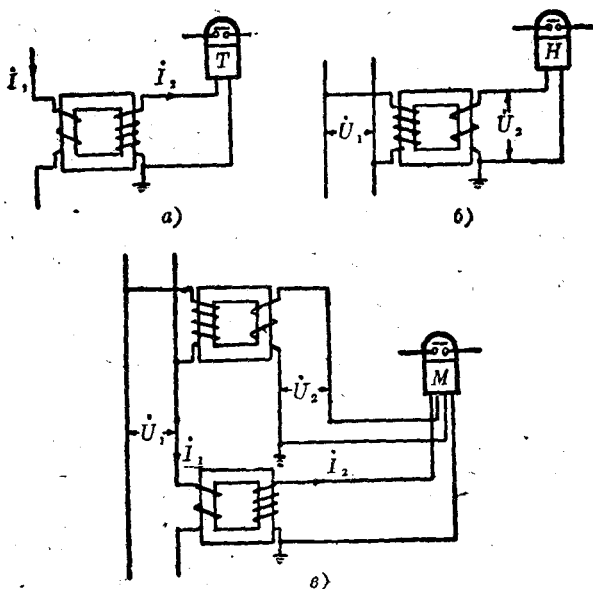


图 1-1 继电器与电流互感器和电压互感器的接线示意图

a—接有电流继电器的电流互感器； b—接有电压继电器的电压互感器； c—接有方向继电器的电流互感器和电压互感器。

压要求可以比一次电力回路中高压电力元件絕緣的耐压要求低得多。

在图1-1中示出继电器綫圈与电流互感器和电压互感器的結綫示意图。

第2节 电流互感器的基本知識

电流互感器的一次綫卷是直接和电力回路串联的。因此电流互感器的一次綫卷必需具有电力回路同一电压等級的絕緣水平；此外一次綫卷的容量應該滿足在电力回路中长期通过最大可能的負荷电流时，不致使一次綫卷的温升超过容許值。

在发生短路时，由于短路电流較正常的負荷电流一般要大很多倍，这样大的短路电流会产生很大的机械应力和热效应，这对电流互感器是有危害的。因此通常在选择电流互感器时，除了容量和絕緣水平需要滿足要求以外，还需要校驗在短路时的机械应力和热效应是否超过电流互感器的允許保証值。

电流互感器的二次綫卷，根据实际需要，可以做成单綫卷或者多綫卷的。电流互感器二次綫卷的額定电流一般是5安，但是目前在超高压和大电流电力回路中，为了增加电流互感器允許二次負担，減少二次回路联接导綫的截面和电力損耗，二次綫卷的額定电流也有作成1安的。当互感器的結構参数和一次綫卷額定电流相同时，二次綫卷額定电流为1安的电流互感器允許的二次負担比二次綫卷額定电流为5安的电流互感器大25倍。

当电流互感器一次綫卷与二次綫卷間的絕緣被击穿时，在二次綫卷的回路內会出现高电压，这对继电器和測量仪表

的絕緣以及操作运行人員的人身安全是有危害的。因此，为了保證安全起見，电流互感器二次綫卷的一端經常是直接接地的，如图1-2所示。在电流互感器的实际运行中，二次綫卷是不允許开路的，如果二次綫卷开路会使电流互感器大大地过負荷，并且在二次綫卷的两端也会出現高电压。因此通常在电流互感器二次綫卷的出口接入了特殊的試驗端子H，如图1-2中所示。当需要調整試驗或檢查继电器或測量仪表时，可将試驗端子的盒盖去掉，此时試驗端子自动将电流互感器二次綫卷的两端短路。

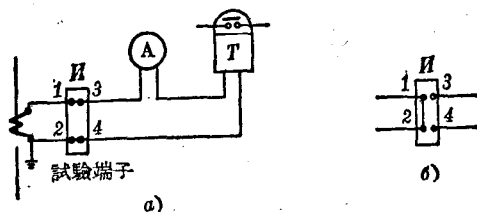


图 1-2 电流互感器的连接图

a—电流互感器的连接图；b—去掉試驗盒盖后的試驗端子。

在很多情况下电流互感器适于安装在断路器和母綫之間，如图1-3a所示。这样当断路器发生故障，綫路保护装置也能动作。如果故障发生在断路器靠母綫外側的套管上，还可以不断开母綫就能处理事故。但是，当电流互感器較断路器更容易发生故障时，上述优点就不存在，此时电流互感器的故障将造成更为严重的母綫事故。当母綫上装設有母綫差动保护装置时，常常将断路器亦包括在母綫差动保护装置的保護範圍以內，此时又希望将电流互感器安装在断路器靠綫路的一側。在大型油断路器的套管中，通常都裝有特殊的套管型电流互感器（一般是每一套管中装設两个），这为联接綫路

保护和母线差动保护装置提供了有利的条件,如图 1-36 所示。

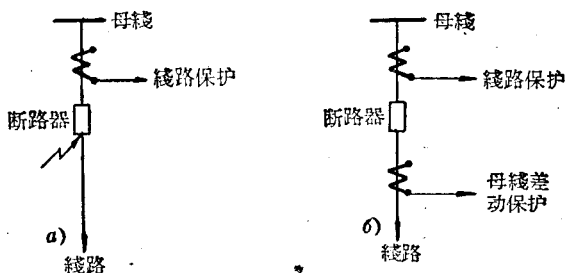


图 1-3 电流互感器的安装位置图

a—电流互感器联接在母线和断路器之间; b—套管型电流互感器安装在断路器的两侧。

如果断路器(例如空气断路器)上安装有两套电流互感器时,则最好在断路器的每一侧安装一套电流互感器。

第 3 节 电流互感器的向量图

电流互感器的工作原理大致与变压器相同。所不同的是在变压器的铁芯内,交变主磁通是由一次线卷两端所加交流电压的电流产生;而电流互感器铁芯内的交变主磁通是由一次线卷内通过的电流所产生。铁芯内的交变主磁通在电流互感器或变压器的二次线卷内感应出相应的二次电势 E_2 。图 1-4 中分别表示出电流互感器的原理图和等价回路图。

在图 1-4 中 i_1 、 i_2 ——流过电流互感器一次线卷和二次线卷的电流;

w_1 、 w_2 ——电流互感器一次线卷和二次线卷的匝数;

$Z_n = r_n + jx_n$ ——负荷阻抗;

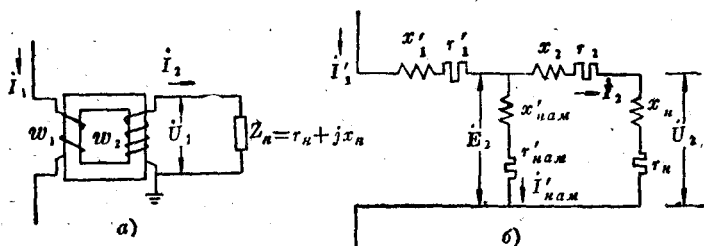


图 1-4 电流互感器的原理图和等价回路图

a—电流互感器的原理图；b—归算到电流互感器二次绕组匝数的等价回路图。

x_1' 、 r_1' ——归算到电流互感器二次绕组匝数的一次绕组的漏抗和电阻；

x_2 、 r_2 ——电流互感器二次绕组的漏抗和电阻；

x_{nam}' 、 r_{nam}' ——归算到电流互感器二次绕组匝数的励磁电抗和电阻；

i_1' 、 i_{nam}' ——分别为归算到电流互感器二次绕组匝数的一次电流和励磁电流。

电流互感器的向量图有两种绘制方法，如图 1-5 所示。为了统一起见，以下的说明和公式推导是以图 1-5b 为准的。如果 Z 表示电流互感器二次回路的总阻抗，从图 1-4 中可以看出二次侧电势

$$\begin{aligned} \dot{E}_2 &= i_2 (\dot{Z}_2 + \dot{Z}_N) = i_2 [(r_2 + r_N) + j(x_2 + x_N)] \\ &= i_2 \dot{Z}. \end{aligned} \quad (1-1)$$

(1-1) 式表明当电流互感器的铁芯未饱和时， $\dot{E}_2$ 是与 i_2 和 Z 成正比的， i_2 滞后 $\dot{E}_2$ 的角度等于：

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{x_2 + x_N}{r_2 + r_N}. \quad (1-2)$$

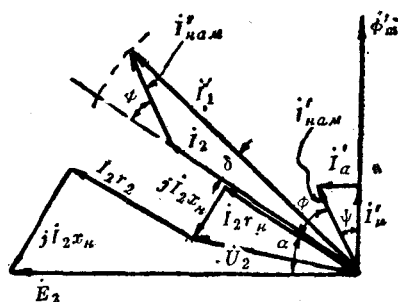
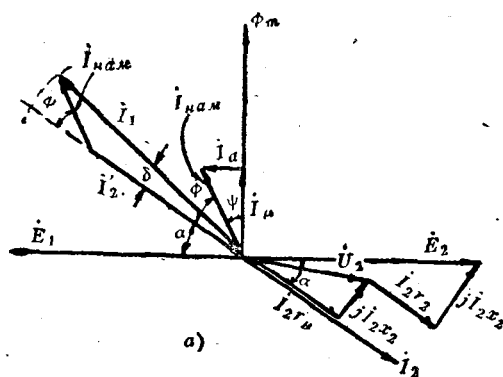


图 1-5 电流互感器的向量图

a —归算前的向量图； b —一次绕组的电气量归算到二次绕组匝数后的向量图(电流与电压的方向旋转了 180°)。

$\dot{E}_2$ 为由交变主磁通产生的二次电势。产生 $\dot{\phi}'_m$ 的磁化电流 $\dot{I}'_\mu$ 与 $\dot{\phi}'_m$ 同相, 供给电流互感器铁芯中的涡流损耗和磁滞损耗的铁损电流 $\dot{I}'_a$ 与 $\dot{E}_2$ 同相。所以励磁电流 $\dot{I}'_{naM} = \dot{I}'_\mu + \dot{I}'_a$, $\dot{I}'_{naM}$ 超前 $\dot{\phi}'_m$ 的角度为:

$$\psi = \tan^{-1} \frac{I'_a}{I'_\mu}. \quad (1-3)$$

归算到二次绕组匝数的一次电流 $\dot{I}'_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}'_{\mu a m}$ 。

第4节 电流互感器的误差

在理想的电流互感器中，励磁损耗电流 $\dot{I}_{\mu a m} = 0$ ，设一次绕组和二次绕组被同一交变主磁通所交链，则在数值上一次绕组和二次绕组的安培匝数相等，并且 $\dot{I}'_1$ 与 $\dot{I}_2$ 的相位相同，即：

$$\dot{I}_1 w_1 = \dot{I}_2 w_2,$$

所以
$$\dot{I}_2 = \frac{w_1}{w_2} \dot{I}_1 = \dot{I}'_1.$$

但是在实际的电流互感器中，由于有励磁电流存在，所以 $\dot{I}_2$ 与 $\dot{I}'_1$ 不仅在数值上不相等，并且相位上也不相同，因此实际的电流互感器通常具有电流数值上的误差和角度误差。

1. 电流互感器的电流误差

从图 1-56 中可看出 $\dot{I}'_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}'_{\mu a m}$ ，由于 φ 角较小，在数值上可近似地认为：

$$\begin{aligned} \dot{I}'_1 &= \dot{I}_2 + \dot{I}'_{\mu a m} \cos \varphi = \dot{I}_2 + \dot{I}'_{\mu a m} \cos [90^\circ - (\psi + \alpha)] \\ &= \dot{I}_2 + \dot{I}'_{\mu a m} \sin (\psi + \alpha). \end{aligned} \quad (1-4)$$

通常电流误差是以百分数 $f_1\%$ 表示，其定义是：二次电流 $\dot{I}_2$ 与归算到二次侧的一次电流 $\dot{I}'_1$ 之差对 $\dot{I}'_1$ 的百分数，即：

$$f_1\% = \frac{\dot{I}_2 - \dot{I}'_1}{\dot{I}'_1} 100\%,$$

将(1-4)式代入上式的分子，则得：

$$f, \% = - \frac{\dot{I}'_{нам}}{\dot{I}_1} \sin(\psi + \alpha) \cdot 100\%$$

将上式分子分母同乘以 w_2 ，可求出：

$$f, \% = - \frac{Aw_{нам} \sin(\psi + \alpha)}{Aw_1} \cdot 100\%, \quad (1-5)$$

式中 Aw_1 和 $Aw_{нам}$ 分别为一次綫卷安匝数和励磁安匝数，

在数值上 $Aw_1 = \dot{I}'_1 w_2 = \frac{w_1}{w_2} \dot{I}_1 w_2 = w_1 \dot{I}_1$ ；

同理 $Aw_{нам} = \dot{I}'_{нам} w_2 = w_1 \dot{I}_{нам}$ 。

从图 1-46 知 $\dot{I}'_{нам} = \frac{\dot{E}_2}{Z'_{нам}} = \frac{\dot{I}_2 (\dot{Z}_2 + \dot{Z}_н)}{Z'_{нам}}$ ， $Z'_{нам}$ 随着

鉄芯中的磁通密度 $B_{макс}$ 和二次电势 E_2 而改变。

当 $B_{макс} \leq 6,000$ 高斯时， $Z'_{нам}$ 可按下式计算：

$$Z'_{нам} = \frac{3.9 E_2^{0.4} w_2 f^{0.6} q^{0.6}}{m l_{cp}}, \quad (1-6)$$

式中 f ——交流频率；

q ——鉄芯中鉄的淨面积，厘米²；

l_{cp} ——磁路的平均长度，厘米；

m ——与鉄芯种类有关的系数，根据苏联工厂的数据

$$m = 0.0023 \sim 0.0045.$$

电流互感器額定一次电流 $I_{1ном}$ 和額定二次电流 $I_{2ном}$ 之比叫做电流互感器的額定变流比：

$$\Pi_m = \frac{\dot{I}_{1ном}}{\dot{I}_{2ном}}.$$

从(1-5)式中可得出結論：如果电流互感器的額定变流比 Π_m 等于比值 w_2/w_1 ，由于励磁电流損耗的影响，电流互感器的二次电流 I_2 在数值上永远小于归算到二次側的一次

电流的数值，即：

$$i_2 < i'_1 = \frac{w_1}{w_2} i_1 = \frac{1}{\Pi_m} i_1,$$

所以电流误差是负数。实际上为了补偿励磁电流所引起的误差，可将电流互感器二次线卷的实际匝数 w_2 较额定匝数 w_{2n} 减少1~3匝，在这种情况下，当一次电流和二次负载较小时，电流误差 $f, \%$ 可能是正数。考虑到二次线卷的校正的实际电流误差可按下式计算：

$$f, \% = \left(-\frac{Aw_{na.m}}{Aw_1} \sin(\psi + \alpha) + \frac{w_{2n} - w_2}{w_{2n}} \right) \cdot 100\%. \quad (1-7)$$

2. 电流互感器的角度误差

电流互感器的角度误差是以 i'_1 和 i_2 的相位差 δ 表示的，通常 δ 的数值很小，因此在计算中可以不用三角函数，而令 $\delta \approx \sin \delta$ 。从图1-56中可看出：

$$\begin{aligned} \delta \approx \sin \delta &= \frac{i'_{na.m} \sin \varphi}{i'_1} = \frac{i'_{na.m}}{i'_1} \cos(\psi + \alpha) \\ &= \frac{Aw_{na.m}}{Aw_1} \cos(\psi + \alpha). \end{aligned} \quad (1-8)$$

(1-8)式中 δ 是以“弧度”为单位的，由于 δ 很小，实际上多以“分”^①为单位。弧度与分的关系可近似地认为：

1 弧度 = 3440 分； 1 分 = 0.00029 弧度。

所以(1-8)式可写成：

$$\delta \approx 3440 \frac{Aw_{na.m}}{Aw_1} \cos(\psi + \alpha) \text{ 分}.$$

① “分”与“度”的关系为：1度 = 60分。

第5节 对电流互感器准确度的要求

电流互感器一般分成不同的准确级，每一准确级规定出电流互感器的电流误差和角度误差的范围，如果电流互感器的二次负担不超过规定值，则所产生的电流误差和角度误差即能在相应准确级规定的范围以内。同一电流互感器随着二次负担的大小不同，可以工作在不同准确级以内。

通常电流互感器是按照0.2；0.5；1；3；10和Ⅱ准确级制造的。在电流互感器的设备型录中也列出了每一准确级的额定二次负担。在表1-1中列出了苏联通用标准所规定的电流互感器的准确级及其相应的最大误差，以供参考。

表 1-1

准确级	一次绕组通过电流， (以额定电流的百分数计) %	误差最大值	
		电流误差，%(±)	角度误差，分 (+)
0.2	120~100	0.20	10
	20	0.35	15
	10	0.50	20
0.5	120~100	0.50	40
	20	0.70	50
	10	1.0	60
1	120~100	1.0	80
	20	1.5	100
	10	2.0	120
3	120~50	3.0	没有标准
10	120~50	10.0	

表 1-1 的数值是按照以下二次负担条件规定的：二次负担在额定值 25~100% 的范围内，负担功率因数 $\cos\varphi=0.8$ 。当电流互感器的额定二次电流为 5 安时，其二次负担最小值不应低于 0.15 欧；当电流互感器的额定二次电流为 1 安时，其二次负担最小值不应低于 1.5 欧。实际的误差曲线不会超出由连接各规定误差值的点的斜线所组成的折线范围。电流互感器的容量可以用额定伏安 $P_{ном}$ 表示，即

$$P_{ном} = U_2 \cdot I_2.$$

U_2 和 I_2 分别为电流互感器二次绕组端子的电压和二次电流。考虑到 $U_2 = I_2 Z_{ном}$ ，所以

$$P_{ном} = I_2^2 \cdot Z_{ном}. \quad (1-9)$$

一般电流互感器的额定容量是在额定二次电流 $I_{2ном}$ 的情况下表示的，此时电流互感器的额定二次负担 $Z_{ном}$ 可从 (1-9) 式得出：

$$Z_{ном} = \frac{P_{ном}}{I_{2ном}^2}. \quad (1-10)$$

如电流互感器是用在测量仪表的回路中，电流互感器工作的准确级是根据测量仪表的准确度来选择的。但当电流互感器用在继电保护装置回路中时，电流互感器工作的准确度与短路电流的数值有很大的关系，上述电流互感器准确级就不能作为选择给继电保护装置供电的电流互感器的根据。

通常保护装置用的电流互感器是根据最大一次电流 $I_{1, макс}$ 和二次负担 Z_n 的大小来选择的。运行经验和理论分析指出，保护装置允许电流误差不超过 10%，角度误差不超过 7° (相当于 420 分)。所以在选择保护装置用的电流互感器时，是根据所谓 10% 误差曲线进行的。在表 1-2 中列出苏联