

第 1 篇

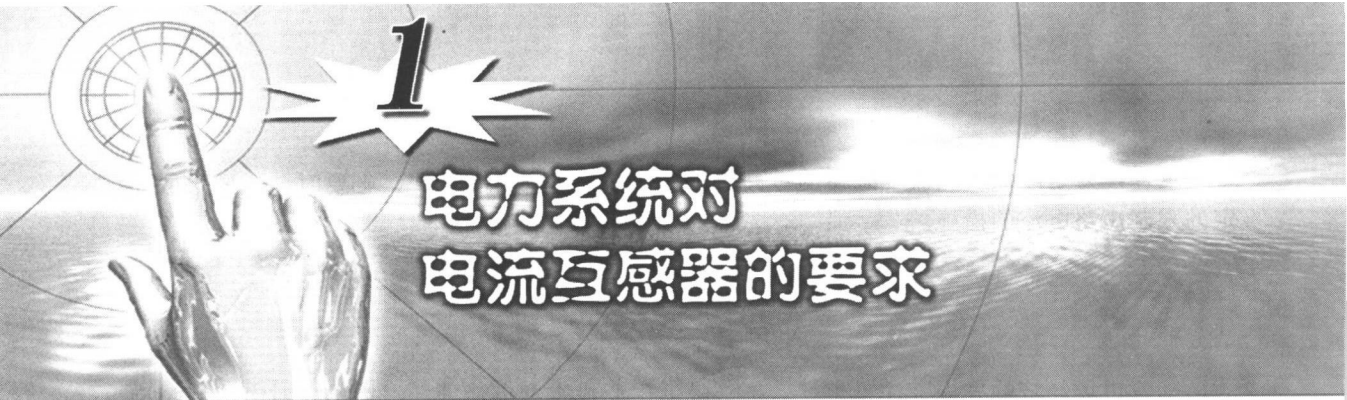
电流互感器

②

%

①





1 电力系统对 电流互感器的要求

1.1 对动稳定性和热稳定性的要求

电力系统容量和发电机组单机容量日益增大，电力系统短路容量也相应增大。我国电力系统网架电压已由 220kV 逐步过渡到 500kV，主力发电机组的单机容量已达到 300 ~ 600MW。目前我国各电压等级的短路电流已达到或已超过以下水平。

(1) 高压和超高压变电站：

- 1) 220 ~ 500kV 40 ~ 63kA
- 2) 60 ~ 110kV 20 ~ 50kA

(2) 中压变电站：

6 ~ 35kV 3.15 ~ 50kA (采取限流措施后可限制在 40kA 以下)

(3) 发电机和厂用电系统 (50 ~ 600MW)：

- 1) 发电机出线 100 ~ 150kA
- 2) 6kV 厂用系统 3.15 ~ 50kA

(4) 用户变电站：

- 1) 10 ~ 35kV 16 ~ 31.5kA
- 2) 60 ~ 220kV 20 ~ 40kA

安装在电网中的电流互感器，不论测量用还是保护用，均应满足装设地点的短路容量要求。这一要求对所有不同大小额定电流的互感器均无例外，但是，额定电流越小的电流互感器越难以满足动热稳定的要求。例如，对于安装在高压变电站或大机组厂用电系统中的 6 ~ 10kV 电流互感器，当其短路电流为 40kA 时，对于额定一次电流为 200A 和 50A 的电流互感器，其动热稳定电流倍数应不低于表 1-1 所示的数值。

表 1-1 同一短路条件下不同额定电流的电流互感器动、热稳定比较

电流互感器额定 一次电流 (A)	系统短路电流 (kA)	要求的热稳定 电流倍数 (1s)	要求的动稳定 电流倍数
200	40	200	354
50	40	800	1414

显然，对于额定电流为 50A 的电流互感器，欲达到热稳定电流 40kA 1s 及动稳定电流 100kA (峰值) 的要求是相当困难的。要达到热稳定 50kA、1s 和动稳定 125kA 就更困难了。

这样，为了降低对电流互感器的过高要求，就必须选择合理接线，必要时，还要采取一定的限制短路电流的措施。

1.2 对准确度的要求

随着市场经济的发展，注重生产效率、降低生产成本和电能消耗，因此，对电能计量准确度的要求也相应提高。

根据 DL/T448-2000 《电能计量装置技术管理规程》的规定，用电负荷按电能计量所计电量的多少和计量对象的重要程度分为五类，各类计量装置所要求的电流互感器和电压互感器的准确等级，如表 1-2 所示。

表 1-2 各类计量装置的准确等级

电能计量装置类别	准确等级			
	有功电能表	无功电能表	电压互感器	电流互感器
I	0.2S 或 0.5S	2.0	0.2	0.2S 或 0.2*
II	0.5S 或 0.5	2.0	0.2	0.2S 或 0.2*
III	1.0	2.0	0.5	0.5S
IV	2.0	3.0	0.5	0.5S
V	2.0	—	—	0.5S

* 0.2 级电流互感器仅指发电机出口电能计量装置中配用

1.2.1 I 类电能计量装置

月平均电量 500 万 kWh 及以上或变压器容量为 10000kVA 及以上的高压计费用户、200MW 及以上发电机、发电企业上网电量、电网经营企业之间的电量交换点、省级电网经营企业与其供电企业的供电关口计量点的电能计量装置。

1.2.2 II 类电能计量装置

月平均用电量 100 万 kWh 及以上或变压器容量为 2000kVA 及以上的高压计费用户、100MW 及以上发电机、供电企业之间的电量交换点的电能计量装置。

1.2.3 III 类电能计量装置

月平均用电量 10 万 kWh 及以上或变压器容量为 315kVA 及以上的高压计费用户、100MW、100MW 以下发电机、发电企业厂（站）用电量、供电企业内部用于承包考核的计量点、考核有功电量平衡的 110kV 及以上的送电线路电能计量装置。

1.2.4 IV 类电能计量装置

负荷容量为 315kVA 以下的计费用户、发供电企业内部经济技术指标分析、考核用的电能计量装置。

1.2.5 V 类电能计量装置

单相供电的电力用户计费用电能计量装置。



1.3 对额定一次电流及准确度的综合要求

根据互感器的选择原则，电流互感器的额定一次电流应满足电力负荷的要求，同时在规定的负荷范围内还应满足准确等级的要求。但上述要求并不是在任何情况下都能协调一致的。下列情况下，两者是矛盾的。

(1) 系统间联络线，负荷不固定，互感器额定电流往往按最大负荷电流或输电线路、断路器的额定电流选择，电流互感器不可能在全范围内满足准确级要求。

(2) 电力馈线的远景负荷和近期负荷相差悬殊，而互感器按远景最大负荷选择，电流互感器的准确级不能满足近期负荷的要求。

(3) 特殊负荷，如电气化铁路、轧钢等电力馈线电流互感器额定一次电流按短时最大负荷选择，而在正常工况下通过互感器的负荷电流很小，无法满足准确度要求。

继电保护装置和测量、计量装置对互感器额定一次电流和准确度要求不同。继电保护用电流互感器，要求其在额定电流和准确限值电流情况下，满足误差限值的要求，而且更为注重在准确限值一次电流条件下输出符合要求的二次电流，保证保护装置正确可靠动作（或不动作）。由于一般情况下，准确限值电流越大，额定电流下越易满足规定误差要求。所以继电保护用电流互感器希望选择足够大的额定一次电流。额定一次电流越大，准确限值系数可以相应降低。

与保护用电流互感器不同，测量或计量用电流互感器要求在正常工作范围内保证其准确度，所以测量或计量用电流互感器的额定一次电流应尽量接近正常负荷电流，且互感器应满足仪表保安系数（FS）的要求。

所以，要求电流互感器额定一次电流同时满足负荷的要求，继电保护的要求和测量、计量仪表的要求，并在额定一次电流的规定变化范围内，满足准确度的要求往往存在着较大的矛盾。

表 1-3 为继电保护用电流互感器的误差限值，表 1-4 为测量用和 S 级测量用电流互感器的误差限值。

表 1-3 继电保护用电流互感器的误差限值

准确度级	比误差 ($\pm\%$ ，在额定一次电流时)	角误差 (在额定一次电流时)		复合误差 ($\pm\%$ ，在额定准确限值一次电流时)
		\pm (')	\pm Card	
5P	1	60	1.8	5
10P	3	—	—	10

对于负荷较稳定的回路，为满足保护装置和测量、计量仪表准确度的要求，电流互感器的额定一次电流宜取回路负荷电流的 1.5~2 倍，对于负荷波动范围较大、保护准确限值系数较大或系统短路容量较大的情况，为满足负荷和测量、计量仪表的要求，电流互感器宜采用 S 测量级，额定一次电流宜取回路负荷电流的 4~5 倍。

例如，某 10kV 配电系统，配电负荷波动范围为 300 ~ 1000kW，其正常负荷电流为 20 60A，系统短路电流为 20kA，如果选用变比为 60/5A 的电流互感器，其动、热稳定电流无法满足要求，准确限值系数也受到限制，且低负荷时，互感器的准确等级也难以满足要求。如果采用变比为 200/5，测量级为 S 的多次级互感器，不仅动、热稳定电流可满足要求，准确限值一次电流可提高到 3 倍多，且在低负荷时，准确等级也可基本满足要求。

表 1-4 测量、计量用电流互感器误差限值

准确级	在下述电流百分数下的比误差 (%)					在下述电流百分数下的角误差 ± (')				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0.2	—	0.75	0.35	0.2	0.2	—	30	15	10	10
0.2S	0.75	0.35	0.2	0.2	0.2	30	15	10	10	10
0.5	—	1.5	0.75	0.5	0.5	—	90	45	30	30
0.5S	1.5	0.75	0.5	0.5	0.5	90	45	30	30	30
1.0	—	3	1.5	1.0	1.0	—	180	90	60	60

对多次级电流互感器，不同功能的次级，可以采用不同的变化，保护用次级额定一次电流可为正常负荷电流的 2 ~ 5 倍，测量、计量用次级额定一次电流宜取正常负荷电流的 1.5 ~ 3 倍左右。如上例中，保护次级可取 400/5；计量次级可取 150/5 或 200/5。

表 1-5 列出了普通测量用电流互感器和 S 级测量用电流互感器的技术指标比较，由于在选择时，普通型互感器的一次电流选得接近实际负荷，相应变比较小，而 S 级互感器一次电流选得较大，相应变比较大，从而，前者热稳定电流、动稳定电流、准确限值系数均较大，而后者较小。

表 1-5 普通测量用电流互感器和 S 级电流互感器的技术指标比较

序号	系统短路电流/负荷电流	测量、计量铁芯型式	额定一次电流	1S 热稳定电流倍数	动稳定电流倍数	准确限值系数	准确限值一次电流
1	I_{sc}/I_{LD}	普通	$I_{n1} = \frac{I_{LD}}{K_1}$	$K_1 K_{th}$	$K_1 K_{dy}$	$K_1 F_{al}$	$F_{al} I_{LD}/K_1$
2		S 级	$I_{n2} = \frac{I_{LD}}{K_2}$	$K_2 K_{th}$	$K_2 K_{dy}$	$K_2 F_{al}$	$F_{al} I_{LD}/K_2$

表中 K_1 、 K_2 为通过互感器的一次电流与互感器额定一次电流的比值称为电流比例系数。

即 $K_1 = \frac{I_{LD}}{I_{n1}}$ ， $K_2 = \frac{I_{LD}}{I_{n2}}$ 。

通常 K_1 取 0.5 ~ 0.7， K_2 取负荷电流的 0.15 ~ 0.25 倍，由此可以得出，在负荷电流和系统短路电流一定的情况下，采用加大额定一次电流的 S 级电流互感器，其动热稳定电流倍数为普通互感器的 1/3 ~ 1/5，准确限值系数也相应减小。显然，这样组合的电流互感器，误差限值在允许范围之内，保证了测量、计量准确度，满足了测量、计量仪表的要求；降低了动热稳定性和准确限值的要求，易于满足继电保护装置的要求。反过来，在相同性能参数

的条件下，S级互感器承受系统的短路强度大大增加。这样组合，测量、计量用铁芯较普通测量铁芯性能提高，造价增加，但对整个互感器而言，由于动热稳定性的要求降低，尺寸减小，总的成本降低，综合造价减小了。

1.4 继电保护和测量功能的要求

电流互感器作为测量仪表、计量装置和继电保护的电流源，由于各自的功能不同，准确等级不同，对额定电流范围要求也不相同，从而要求电流互感器具有不同功能的二次绕组，通常，每个二次绕组，都有独立的铁芯。

通常电流互感器应具备测量用、计量用和继电保护用二次绕组，由于继电保护功能的不同，尚需设置多个保护用二次绕组，当计量装置的准确等级较低时，也可将测量和计量仪表合用一个二次绕组。当某一类功能的二次负荷过大或有特殊要求时，也可设置专用的互感器，如计量专用互感器等。

不同的保护功能，要求不同的电流互感器二次绕组。母线、线路以及发电机、变压器、电抗器、电容器等主设备的继电保护，有主保护、后备保护和辅助保护，一些 220kV 及以上的母线、线路以及大型发电机、变压器，还要装设双重快速保护。这样，继电保护用电流互感器二次绕组的数目，要视被保护对象的种类、所要装设的保护类型、以及对可靠性的要求等方面的情况而定。例如，6kV 线路，只要装 1 个；而 500kV 线路，要装 5~6 个。

测量用电流互感器二次绕组，一般每个元件设 1 个。

按照 DL/T448-2000 《电能计量装置技术管理规定》的规定，Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ贸易结算用电能计量应按计量点配置计量专用电压，电流互感器或者专用的二次绕组。这样，计量装置至少要求 1 个独立的二次绕组。

综上所述，不同电压等级所配置的电流互感器绕组数量应满足表 1-6 的规定。对于特殊要求的线路或变压器，根据需要可增加或减少二次绕组数量，必要时还可设置专用的电流互感器。

表 1-6 不同电压等级电流互感器的准确等级和二次绕组组合要求

电压等级 (kV)	二次绕组数量/准确等级		
	保护及自动装置绕组	测量用绕组	计量用绕组
0.4~0.6	1/10P	或 1/0.5	或 1/0.5, 0.5S, 0.2, 0.2S
3~10	1/5P, 10P	1/0.5, 0.5S	或 1/0.5, 0.5S, 0.2, 0.2S
35~63	1~2/5P, 10P	1/0.5, 0.5S	1/0.2, 0.2S
110	2~3/5P, 10P	1/0.5, 0.5S	1/0.2, 0.2S
220	3~4/5P, 10P	1/0.5, 0.5S	1/0.2, 0.2S
330~500	4~6/5P, 10P, TP 或 4~6/TP	1/0.5, 0.5S	1/0.2, 0.2S

电能计量仪表是电力用户进行电量计度、经济核算的主要手段和依据，要求准确可靠。单独设置二次绕组虽然增加了绕组数量，但便于管理维护，能保证计量绕组的准确等级。



1.5 合理确定互感器额定容量

1.5.1 误差限值条件

由表 1-3 和表 1-4 可知，保证电流互感器误差限值的条件是：

- (1) 二次负荷在额定负载的 25% ~ 100% 范围内；
- (2) 频率为额定频率；
- (3) 二次负荷的功率因数为 0.8（滞后）或 1。

显然，对互感器误差限值影响最大的条件是二次负荷。

由于现代电子器件的广泛应用，作为互感器二次负载的保护装置和测量仪表发生了显著的变化。这些装置或仪表由于采用电子元器件，从而其负载由以前的数十伏安减少到 1VA 左右。如仍要求互感器二次负荷按数十伏安来设计，则由于实际负载不到额定负载的 25%，将极大地影响到互感器的误差限值。

1.5.2 测量、计量仪表对互感器二次输出容量的要求

反映电流或电流量有关的电测量仪表主要有电流表、有功功率表、无功功率表。

(1) 测量仪表功耗：测量仪表通常有两种类型：常规仪表，即直接接入式仪表；经变送器接入的间接式仪表。对于自动化水平较高的发电工程，通常采用经变送器接入的仪表。对于采用计算机监控的电力工程，一般不再装设常规测量仪表。

常规指示仪表和变送器的电流回路功耗一般如表 1-7 所示。

表 1-7 测量仪表及变送器电流回路功耗

名 称	电流表	功率表		变送器（电流、有功功率、无功功率）
		有功	无功	
每个绕组功耗（VA）	0.7	0.5 ~ 1	0.5 ~ 1	< 0.5 ~ 1

由表 1-7 可知，无论常规指示仪表或变送器，其电流回路功耗很小。所以，对户外绕线式电流互感器，互感器连线负载将起决定作用。而对户内或安装于开关柜内的环氧树脂浇注式电流互感器，由于连线很短，电流回路功耗很小，要求互感器测量绕组的额定容量也很小，一般取 5VA 或更小一些即可满足要求。

(2) 计量仪表功耗：用作计量电能的电能表包括有功电能表、无功电能表以及各种特种电能表。

按照电能表的结构、用途、准确等级、接线方式等分类，电能表有数十种类型，通常采用的是 0.5 级及以下的感应式单相、三相普通电能表。目前，由于电子技术的提高，抗干扰能力、环境温度适应性的增强、高稳定性、长寿命和高准确级的电子式电能表被广泛应用。

用于用户计费的电能表，通常采用单相、三相三线或三相四线电能表，根据用户负荷大小，可选用 0.5 级、1.0 级或 2.0 级准确等级，根据计费自动化的要求，电能表还应具有数据远传或脉冲输出功能和分时计费功能。计费电能表通常要求采用准确度不低于 0.5 级的、具有数据远传功能和复费率计量的多功能电能表。

用于系统内部或电厂、变电所内部电能考核的电能表，通常采用 1.0 级电能表。常用电能表电流回路的功率消耗如表 1-8 所示。

表 1-8 电能表电流回路的功耗

电 能 表 种 类		电能表电流回路功耗 (VA/每元件)			
		0.5	1.0	2.0	
机 电 式	有功电能表		6	4	2.5
	无功电能表	直通式	5		
		经互感器接通式	2.5		
电子式电能表		0.5 ~ 1			

由表 1-8 可知，当采用机电一体式电能表时，考虑有功和无功计量，每套计量装置（含有功、无功电能表各 1 只）电流回路功耗最大不超过 8.5VA，实测量通常为 5~7VA。若采用双套计量装置，则功耗可能达到 15VA 左右，再考虑连线负载，其功耗将明显增大。所以在计量绕组回路中，为了保证计量准确度，一般不应串联非计量仪表，特别是不允许装设功能重复的多套计量装置。

为了保证计量装置的准确度，除了要求计量绕组具有足够的额定容量外，还要求尽量减少二次连线长度。为此，在条件许可的情况下，可采用计量仪表设在配电装置处的就地计量方式。

如果采用电子式电能表，则回路负载主要由连线电阻决定。

1.5.3 继电保护、自动装置对互感器二次输出容量的要求

电流互感器二次绕组的技术性能对继电保护、自动装置的正确工作至关重要，其特性参数在任何情况下，都应满足系统短路容量和继电保护、自动装置动作特性的要求。

按照保护和自动装置的发展过程，目前广泛采用的种类有电磁型、晶体管分立型、整流型、集成电路型和微机型。在中小型电厂和变电站中，大多采用电磁型或整流型；在高压、超高压变电站中，大容量发电厂以及采用综合自动化的中小型变电站中，大多采用集成电路或微机型保护装置。

各类保护和自动装置的电流回路功耗如表 1-9 所示。

表 1-9 保护和自动装置电流回路功耗

保护或自动装置类别		电流回路功耗 (VA)
电磁型 (EM)	电流元件	1 ~ 15
	功率元件	6 ~ 10/相
	阻抗元件	4 ~ 10/相
	负序电流	15
整流型 (RT)	电流元件	~ 1
	功率元件	2/相
	阻抗元件	5/相
	负序电流	2 ~ 5
集成电路型 (IC)	全 套	≤ 1.0/相
微机型 (DP)	全 套	≤ 1.0/相

各类设备的保护和自动装置电流回路最大功耗如表 1-10。

表 1-10 各类设备的保护和自动装置电流回路最大功耗

设备及其保护自动装置类型		回路最大功耗 (VA)
500kV 线路	主保护	10 (RT), 1 (IC), 1 (DP)
	后备保护	20 (RT), 2 (IC), 2 (DP)
220kV 线路	主保护	10 (EM), 5 (RT), 1 (IC), 1 (DP)
	后备保护	30 (EM), 15 (RT), 2 (IC), 2 (DP)
60 ~ 110kV 线路	主保护	10 (EM), 5 (RT), 1 (IC), 1 (DP)
	后备保护	20 (EM), 10 (RT), 2 (IC), 2 (DP)
10 ~ 35kV 线路	主保护	10 (EM), 5 (RT), 0.5 (IC), 0.5 (DP)
	后备保护	20 (EM), 10 (RT), 1 (IC), 1 (DP)
300 ~ 600MW 发电机	主保护	5 (RT), 1 (IC), 1 (DP)
	后备保护	60 (RT), 2 (IC), 3 (DP)
100 ~ 200MW 发电机	主保护	20 (EM), 5 (RT), 1 (IC), 1 (DP)
	后备保护	30 (EM), 50 (RT), 3 (IC), 3 (DP)
50MW 及以下发电机	主保护	10 (EM), 5 (RT), 1 (IC), 1 (DP)
	后备保护	15 (EM), 10 (RT), 2 (IC), 2 (DP)

注 EM—电磁型保护, RT—整流型保护, IC—集成电路型保护, DP—微型保护

综上所述,当继电保护、自动装置和测量计量仪表均采用电子式时,互感器的二次负载主要取决于二次连线阻抗。由此考虑到实际的导线截面和长度,各电压等级电流互感器二次额定容量宜按表 1-11 确定。

表 1-11 保护用电流互感器绕组要求容量

电压等级 (kV)	不同保护类型要求容量 (VA)		备注
	整流型	集成电路或微型	
500	50	40	保护装置就地布置时, 宜为 20 ~ 30VA
220	40	30	
110	30	20	
35 ~ 60	30	20	
3 ~ 24	30	10	
0.4 ~ 0.6		10	

表 1-12 列出了高、中压电流互感器的参数推荐值。

表 1-12 高、中压电流互感器的主要参数推荐值

电压等级 (kV)	额定一次电流 (A)	准确级次组合	准确级及准确限值系数	额定二次容量 (VA)
220	50 ~ 300 300 ~ 2500	5P/5P/5P/5P/0.5/0.2, 5P/5P/5P/5P/0.5S/0.2 5P/5P/5P/5P/0.2/0.2S	5P20 ~ 5P40 0.2, 0.2S 0.5, 0.5S	30 ~ 40
110	50 ~ 300 300 ~ 2000 (2500)	5P/5P/5P/5P/0.5/0.2, 5P/5P/5P/0.5S/0.2S 5P/5P/5P/0.2/0.2S	5P20 ~ 5P40 0.2, 0.2S 0.5, 0.5S	20 ~ 30
35 ~ 66	50 ~ 200 200 ~ 1000 1000 以上	10P/10P/0.5/0.2 10P/10P/0.5S/0.2S 10P/10P/0.2/0.2S	10P10 ~ 10P20 0.2, 0.2S 0.5, 0.5S	20 ~ 30
3 ~ 24	10 ~ 50 50 ~ 200 200 ~ 1000 1000 以上	10P/0.5/0.2 10P/0.5S/0.2S 10P/0.2/0.2S	10P10 ~ 10P20 0.2, 0.2S 0.5, 0.5S	10 ~ 20
3 ~ 10	10 ~ 50 50 ~ 200 200 ~ 1000 1000 以上	1P/0.5, 10P/10P 10P/0.5S 10P/0.2	10P10 ~ 10P20 0.2, 0.2S 0.5, 0.5S	5 ~ 15
0.4 ~ 0.6		10P 0.5, 0.2	10P10 ~ 10P20 0.2 0.5	5 ~ 10

1.6 超高压电网对电流互感器暂态特性的要求

1.6.1 超高压电网的特点

(1) 系统容量大，一次电路时间常数大（80 ~ 100ms 或更大），短路电流的非周期分量将使 TA 铁芯易于饱和。

(2) 传输功率大，输电线路采用分裂导线，相间距离大，导线截面增加；采用大容量发电机（单台机为 30 万 kW 及以上）和变压器（每组 36 ~ 80 万 kVA），使一次系统时间常数可增大到 50 ~ 100ms 以上，短路电流的非周期分量衰减缓慢，在铁芯饱和后，二次侧电流及励磁电流的波形严重畸变，导致暂态误差增大。

(3) 超高压系统已逐步成为我国电力主网，对继电保护的可靠性、选择性、速动性和灵敏度要求更高，要求 TA 在短路后的暂态过程中正确传变短路电流。

为此，超高压系统中，保护用电流互感器要有良好的暂态特性，以保证自短路瞬间开始，到保护动作的一段时间内，以及重合后遇永久性故障，保护装置再次动作的一段时间内的暂态过程中，保证保护装置可靠工作。

1.6.2 超高压电网一次系统时间常数

在 220kV 及以下的电力系统中，其暂态过程的影响较小，一般在保护装置内部或在二

次回路中采取措施。例如：提高定值、动作回路中加电阻，计算二次连接导线时考虑短路电流非周期分量的系数 1.5~2.0 等等。

一次系统时间常数，等于发生短路故障系统的等值电感与等值电阻的比值。此比值与短路故障的种类、地点、网络结构、运行方式、弧光电阻、接地电阻以及网络中的设备参数等因素有关。所以，欲准确地计算各种情况下的一次时间常数往往是很困难的，而且也无此必要。一般根据电网规划和运行方式，按较严重短路故障估算可能最大的一次系统时间常数，且只计电网元件的参数和相间短路的情况，不计入弧光电阻及接地电阻的影响。表 1-13 列出了部分大容量发电机、变压器及超高压输电线路的时间常数。

表 1-13 部分大容量发电机、变压器及输电线路的时间常数

名称	汽轮发电机		水轮发电机		变压器	输电线路	
	200~300	600	125~170	200~300		500kV	220kV
额定容量 (MW 或 MVA)	200~300	600	125~170	200~300	240~270		
时间常数 (ms)	250~300	350	170~230	300~400	160~180	30~50	10~25

表 1-14、表 1-15 列出了部分大容量发电机—变压器组高压侧和距升压变电站不同距离的线路上发生金属性相间短路时的时间常数。

表 1-14 500kV 系统相间短路时的时间常数 (T_p)

短路点位置 发电机容量 (MW)	变压器 高压侧	短路点与升压站的距离 (km)					
		100	150	200	250	300	400
2×200	210	123	106	94	85	79	70
4×200	210	93	78	70	63	59	53
6×200	210	79	66	59	54	52	47
1×300	220	145	127	115	104	97	85
2×300	220	115	97	85	77	72	62
4×300	220	85	72	63	58	55	50
1×600	250	125	104	91	82	75	66
2×600	250	90	74	66	60	56	50
4×600	250	66	56	51	47	45	42

注 本表及表 1-15，是根据发电机—变压器组参数的平均值，500、220kV 线路，分别按 4 (LGJQ-300)、GLJ-240 导线的参数计算求得。

表 1-15 220kV 系统相间短路时的时间常数 (T_p)

短路点位置 发电机容量 (MW)	变压器 高压侧	短路点与升压站的距离 (km)				
		30	50	100	150	200
2×200	210	144	120	88	72	61
4×200	210	112	88	61	50	43
2×300	220	132	108	77	62	53

一般情况下，一次系统时间常数 T_p 受输电线路故障点距电源的距离、电源单机容量以及装机台数的影响。距离越长，单机容量越大，台数越少， T_p 越大。

通过电网计算，各类电压系统一次时间常数通常采用的推荐值如表 1-16 所示。

表 1-16 电网一次系统时间常数 T_p 推荐值

电压等级或地点 时间常数 (ms)	500kV	220kV	200 ~ 600MW 机组出口	500kV 变 低压侧	备 注
T_p 范围	80 ~ 150	40 ~ 80	250 ~ 350	200 ~ 300	500kV 联络变考虑 220kV 系统的影响
T_p 推荐值	100 ~ 120	50 ~ 60	200 ~ 300	100 ~ 200	



1.7 电流互感器暂态特性对继电保护装置的影响

继电保护主要有线路保护、母线保护、主变压器保护、并联电抗器保护和断路器失灵保护等。继电保护装置所采用的组件种类主要有五大类型：机电型、整流型、晶体管型、集成电路型和微机型。目前广泛采用微机型继电保护装置，其特点是：体积小、质量轻、功耗小、互换性强、测量精度高、动作速度快、可靠性较高。

保护装置所反应的电气量通常为短路电流和短路电压的幅值、平均值、比值、相位或增量等。而这些量经过电流互感器、电压互感器变换后，若互感器暂态特性不良，则将使变换程度不同地发生畸变导致误差过大，不能正确反映一次短路电流、短路电压的数值和特性，严重时将使保护装置拒动或误动。下面简述各类继电器受互感器暂态过程的影响情况。

(1) 电流元件：这类元件受互感器二次电流幅值影响，当互感器的铁芯饱和时，由于二次电流波形缺损，幅值减小，可能使电流元件延缓动作或拒动。

(2) 电流增量或电流突变量元件：这类元件一般动作速度快，且具备有记忆回路，所以受暂态过程影响较小。在故障开始时，互感器铁芯不会立即饱和，电流增量或电流突变量元件能够及时反应而动作。如动作慢，则可能拒动。

(3) 电流比相元件：这类元件反应被保护线路两侧电流的相位，所以与两侧电流互感器的特性有关，无论在区内或区外故障时，都可能出现下述情况之一：两侧互感器铁芯相同饱和度，均不严重饱和或均严重饱和；两侧互感器铁芯不同饱和度，均不严重饱和或一侧严重饱和和另一侧不饱和。显然，当互感器铁芯具有相同饱和度且均不严重饱和时，保护装置能正确动作，当严重饱和时，由于两侧二次电流波形严重畸变，可能使保护装置无法形成正负半波的对称方波，进而使动作角减小，当动作角小于闭锁角时，保护装置拒动或动作后复归。而当一侧严重饱和，另一侧未饱和或未严重饱和时，有可能使正负半波的积分角都大大减小，进而导致整套保护拒动或动作后复归。上述情况说明，用于反应线路两侧电流相位的保护装置，其电流互感器铁芯在短路暂态过程中不应饱和或开始饱和的时间大于保护动作时间，同时两侧互感器铁芯的暂态特性不宜相差悬殊。

(4) 阻抗元件：这类元件中包括绝对值比较方式、方波比相方式和交流幅值相位比较方式。其基本量都是反应短路电压和短路电流的比值，因此这类元件均受电压互感器二次暂

态电压和电流互感器二次暂态电流的影响。电容式电压互感器的暂态过程的特点是，在短路瞬间，电压不能突变，之后随时间衰减。这一暂态电压中含有大量的高次谐波。而电流互感器的暂态过程的特点是短路瞬间铁芯未饱和，短路电流能被如实传变，当铁芯达到饱和和时间时，短路电流严重畸变、波形缺损、幅值大大减小，待系统直流分量衰减到一定程度时，互感器的传变能力可能又恢复正常。由此可知，考虑了电流、电压互感器的暂态过程对阻抗元件的综合影响，是短路开始阶段，主要受电压互感器的影响，而在短路 2~3 周波之后主要是受电流互感器的影响。显然，如果两者的暂态过程都很严重，可能使阻抗元件不能起动，如果电压互感器暂态过程不严重，电流互感器饱和后就可能使保护装置动作后又复归；反之可能使保护装置延缓动作。上述影响对区内末端短路时影响最大（因为动作值处于整定值的边缘）。在接近整定值的区外短路时，由于暂态电压的影响，将存在暂态超越现象，所以电容式电压互感器的暂态过程也应引起足够重视。一般情况下，在系统阻抗比不是很大的情况下，电容式电压互感器暂态特性应满足如下要求：

在其一次端短路后，二次电压在 1 个周期时间（20ms）内应降低到短路前峰值的 5%~10% 以下，额定电压下，1 个周期后（20ms）也不应再出现高于该数值的情况，如果系统阻抗比较大，则更应注意电容式电压互感器的暂态特性。

总之，互感器暂态过程对阻抗元件的影响主要有以下几点：保护范围内的延缓动作或动作后复归；超范围动作。前者主要是电流互感器暂态过程引起，后者主要是电容式电压互感器暂态过程引起。

1.8 继电保护对互感器暂态特性的要求

1.8.1 线路保护及综合重合闸对电流互感器暂态特性的要求

超高压线路均须配置两套主保护，两套后备保护和一套综合重合闸装置。两套主保护或为两套类型不同而工作原理相同的保护装置，或为类型相同而工作原理不同的保护装置，它们均能反应接地故障和相间故障，全线速动，它们在接线上互相独立，以便互为补充，发挥各自特点，提高保护装置动作的可靠性。

线路保护均有故障检测记忆回路，起动元件和测量元件的动作时间一般为几个毫秒，整套保护装置的动作时间约为 20ms 左右。

综合重合闸装置对于线路上发生的各类瞬时性故障均能有效地重合成功，从而提高了供电的可靠性和系统运行的稳定性。当综合重合闸重合至永久故障线路时，电流互感器处于重复励磁状态，线路保护也须在 20~30ms 内可靠动作，切除永久故障且不再重合。

(1) 在最严重的情况，当线路出口发生永久性故障时，要求电流互感器满足饱和倍数和暂态误差的要求。

若选用 TPX 型或 TPY 型时，当 $K \geq \frac{K_{ssc} K_{td}}{1 - K_r} = K_r K_{ssc} K_{td}$ （或 $K_r K_{ssc} K_{td}$ ）时，满足要求，可保证在两次主保护动作时，TA 铁芯不饱和且准确传变一次电流。

若选用 TPZ 型，可按单次励磁 C-O 计算暂态倍数 K_{td} ，可不考虑静态剩磁（ $K_r = 1$ ）的影响。当 $K \geq K_{ssc} K_{td}$ 时满足要求。

(2) 对于一个半开关接线，相邻元件出口短路或串内保护范围外短路时，为了防止线

路主保护动作，要求用于线路保护的电流互感器满足饱和倍数和暂态误差的要求。

1.8.2 线路后备保护对电流互感器的要求

线路后备保护通常是采用阶段式相间距离保护和接地距离保护或阶段式零序电流保护组成，动作时间一般为 $0.3 \sim 0.5\text{s}$ 。后备保护与综合重合闸配合实现永久故障后加速切除。当在保护范围内故障时，两套主保护因故拒动时，后备保护 I 段能快速动作切除故障；在后备段发生故障时，由于故障是远离保护安装处，短路电流倍数 K_m 大大减小， T_p 也大大减小，因此饱和倍数要求值大大降低。当在保护范围外故障时，由于动作时间长，且短路电流减小，故对 TA 不考虑暂态要求。如果主保护与后备保护共接在一组 TA 上，则 TA 要满足主保护的暂态要求。

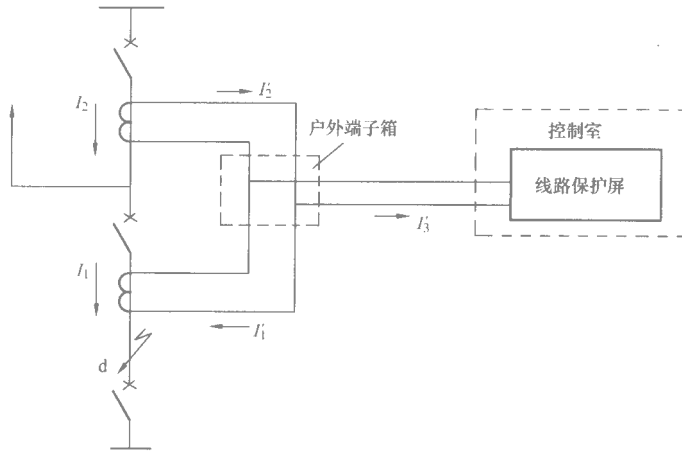


图 1-1 一个半开关接线线路外部短路示意图

1.8.3 母线保护对电流互感器的要求

母线上发生短路故障的概率较小，但母线短路若不能快速切除，对整个电力系统可能产生非常严重的后果，所以超高压系统中母线均须配置性能良好、动作快速的母线差动保护。

目前应用较多的为高阻抗差动保护、中阻抗差动保护或数字式差动保护。高阻抗差动继电器反应内部故障灵敏度高，在外部发生最大穿越性短路故障而电流互感器完全饱和的情况下也不会发生误动作，但是为了可靠起见，高阻抗差动继电器构成的母线保护一般选用具有一定暂态特性的低漏磁电流互感器。

(1) 高阻抗母线保护基本工作原理：高阻抗差动继电器母线保护通常采用图 1-2 接线。

差动继电器的电阻 R_d 根据继电器不同而各异，阻值在数百欧至数千欧之间，远大于 TA 二次电阻及二次连线电阻 ($R_d \gg R_L + R_{TA}$)。继电器的起动电压为 U_{op} ，当继电器的输入电压 U 超过起动电压时便开始动作，继电器附设有非线性电阻回路 (图 1-2 中未表示)，以限制输入电压值。

1) 正常运行时，各电流互感器的二次电流之和近于零，即 $I_d \approx 0$ ，电压 U 很小，差动继电器不动作。

2) 外部 d 点故障时，故障元件 TA 可能深度饱和，非故障元件 TA 可能不饱和或轻度饱和。外部 d 点故障母差保护二次回路等值电路如图 1-3 所示。

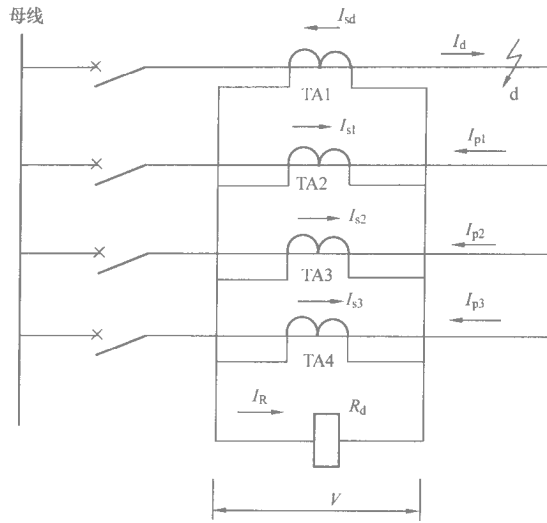


图 1-2 高阻抗差动继电器接线

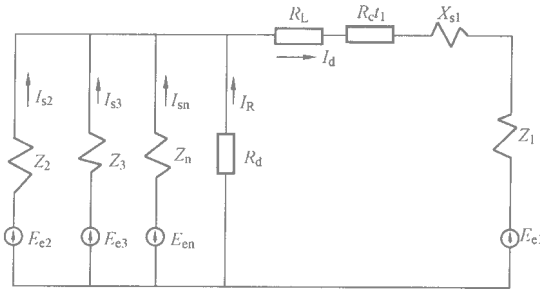


图 1-3 d 点外部短路时二次回路等值电路

图中 R_L 为故障元件 TA 至差动继电器的连线电阻； R_{TA} 为 TA1 的二次绕组电阻； X_s 为 TA 二次绕组漏抗， Z_1 因深度饱和近似为短路， $Z_2 \sim Z_n$ 分别为 TA2, TA3, ..., TAn 的励磁阻抗； R_d 为差动继电器的电阻， I_d 为外部故障电流； K_n 为电流互感器的变比。

此时差动继电器的输入电压为

$$U = \frac{I_d}{K} (R_L + R_{TA} + jX_{S1}) \quad (1-1)$$

当采用低漏磁 TA， $X_{S1} \approx 0$ ，式 (1-1) 可写成

$$U = \frac{I_d}{K_n} (R_L + R_{TA}) \quad (1-2)$$

由于继电器的动作电压为

$$U_{opl} = K_k U_{max} = K_k I_{dmx} (R_{TA} + K_{cr} R_{Lm}) \quad (1-3)$$

式中 K_k 为可靠系数，大于 1； U_{max} 为外部故障最大输入电压（按最大外部故障电流 I_{dmx} 和最大连线电阻 R_{Lm} 整定）。

所以 $U < U_{opl}$ ，差动继电器不动作。

3) 母线故障时, 设 TA1 ~ TAn 的电流比相同且为 K_n , 流入继电器的电流为

$$I_d \approx I_{d\Sigma} / K_n > U_{op2} \quad (14)$$

其继电器整定值按最小内部短路电流整定

$$U_{op2} = I_{dmn} \frac{R_d \cdot Z_e / n}{R_d + Z_e / n} = I_{dmn} \frac{R_d Z_e}{n R_d Z_e}$$

此电流在 R_d 上产生的电压 $U > U_d$, 差动继电器动作。

由此, 继电器最小整定值为 U_{op1} , 最大整定值为 U_{op2} , 在正常和外部故障时, 继电器电压小于最小整定值, 而在内部故障时, 大于最大整定值, 从而保证继电器正确动作。由于要求继电器内阻 R_d 较大, 故称为高阻母线保护。

(2) 中阻差动保护: 这类差动保护是带有制特性的比例式差动保护。由于制动特性的作用, 差动回路电阻不需很高, 即称为中阻差动保护, 如图 1-4 所示。

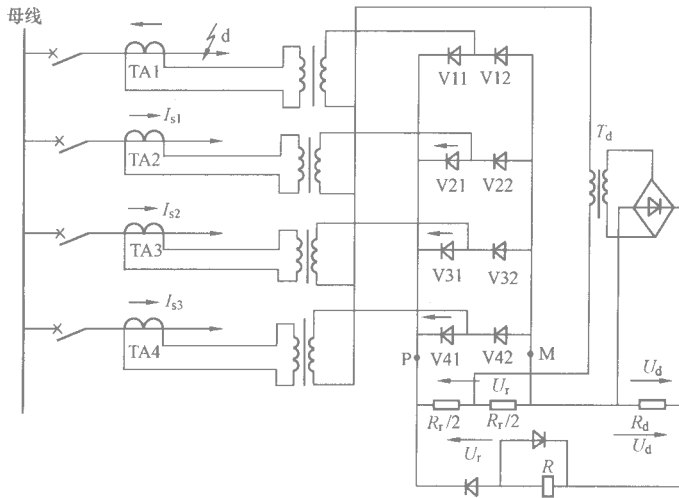


图 1-4 中阻差动保护原理示意图

图中, V 和 R_r 构成制动回路, T_d 、 R_d 为动作回路。

外部故障时, 两个半制动回路和动作回路均有电流流动, 取适当阻值 R_r , 即可使 $|U_d| < |U_r|$, 继电器不动作。

内部故障时, 仅一个半制动回路和动作回路流动电流, $|U_d| > |U_r|$, 继电器动作。

显然, 由于制动作用, 并不需要继电器 R 、电阻 R_d 阻值很大。

(3) 数字式母线保护: 数字式母线保护一般也是比例式差动保护, 为了防止区外故障, 电流互感器饱和而导致差流过大, 使保护误动, 通常利用计算机软件来减少互感器饱和的影响。电流互感器饱和时, 其输出电流具有下述特征。

1) 由于饱和需要一定的时间, 所以故障发生后, 总存在一个线性传变区, 这一区间历时约几个毫秒, 在此区间内, 互感器可正确传变一次电流。

2) 由非周期分量引起的互感器铁芯饱和, 二次电流和励磁电流波形都相对于横轴发生偏移, 造成正负半波波形不对称。

3) 互感器铁芯饱和后, 二次电流、励磁电流中出现某些谐波, 导致正、负半波不对