

「互感器」

互感器常用电气参数简介

文/西安西电开关电气有限公司 王兆军 白妮 张健
西安西电国际工程有限责任公司 李彬彬

电流互感器和电压互感器是电力系统中常用的设备，它们是将大电流和高电压变换为可以测量的小电流、低电压。介绍了互感器的一些常用电气参数的意义和经常选用的值。

互感器分为电压互感器和电流互感器，它们是在电网中将高电压和大电流变换为可以测量的低电压、小电流，供给仪表和继电保护装置实现测量、计量、保护等作用。互感器的变比误差、角度误差、铁心饱和特性等性能的好坏将直接影响保护装置动作特性和测量系统的测量精度等二次设备的性能。

本文介绍了互感器的一些常用电气参数的意义和经常选用的值，希望能够对读者在使用互感器方面有所帮助。

电流互感器的额定值

按照不同用途可以将电流互感器分为测量和保护两大类，测量、监控回路应选用测量级电流互感器，保护回路应选用保护级电流互感器。保护级电流互感器按其性能、用途不同可以分为用于稳态保护的P级、PR级、PX级、PXR级和用于暂态保护的TPX级、TPY级、TPZ级。

1. 额定一次电流和额定连续热电流

额定一次电流 (I_{pr}) 是电流互感器性能基准的一次电流。一次电流标准值为：10 A、12.5 A、15 A、20 A、25 A、30 A、40 A、50 A、60 A、75 A以及它们十进位倍数或小数。有下划线者为优先值。

电流互感器额定一次电流的选择宜满足正常运行的实际负荷电流达到额定值的60%，且不应小于30% (S级为20%) 的要求，也可选用较小变流比或二次绕组带抽头的电流互感器。

额定连续热电流 (I_{cth}) 是指在二次绕组接有额定负荷情况下，一次绕组能够连续通过且温升不超过规定值的一次电流值。额定连续热电流的标准值为额定一次电流。准确级为0.1~1级的测量级电流互感器也可以选择扩大电流额定值，此时额定连续热电流等于额定一次电流的120%、150%和200%。额定连续热电流与一次设备的额定电流概念相似，均是指设备允许长期通过的电流值。

2. 额定二次电流

额定二次电流 (I_{sr}) 是作为电流互感器性能基准的二次电流，标准额定二次电流为1 A或5 A。对于暂态特性保护用电流互感器，额定二次电流为1 A。110 kV及以上的新建变电站宜选择1 A，扩建变电站与原设备保持一致。

3. 额定短时热电流

额定短时热电流 (I_{th}) 是指在二次绕组短路的情况下，电流互感器在1 s内能承受且无损伤的最大一次电流方均根值 (有效值)，其标准值有 (kA)：6.3、8、10、12.5、16、20、25、31.5、40、50、63、80、100等。与其相关的还有额定动稳定电流，用一次最大峰值电流来表示，一般其值为额定短时热电流的2.5倍。额定短时热电流应当与系统短路电流相匹配。

4. 准确级

各种电流互感器的误差限值见表1~表3。测量级电流互感器使用额定电流下比值误差来标称，常用的准确级有0.2S、0.2、0.5级。0.2S和

0.5S级是特殊用途的测量用电流互感器，可以用于小电流的测量。从表1可以看出0.2S和0.5S级的电流互感器增加了在1%的额定电流下的误差要求，同时5%和20%额定电流下的误差要求也要高于0.2和0.5级。在工作电流变化范围较大情况下作准确计量时可选用S类电流互感器，当因动热稳定要求无法选择小变流比电流互感器时也可选用S类电流互感器以满足测量精度的要求。

P级和PR级电流互感器是依据额定准确限值一次电流条件下最大允许复合误差来标称，常用的准确级有5P、10P、5PR和10PR级。

5. 额定仪表限值一次电流和仪表保安系数

额定仪表限值一次电流 (I_{PL}) 是指在额定二次负荷下电流互感器复合误差大于或等于10%时的最小一次电流，其值与额定一次电流的比值称为仪表保安系数 (FS)，其标准值为5和10，习惯上与准确度一起表示，如0.2FS10。

简单地说，当发生短路时一次电流增长到额定一次电流的几倍到几十倍。在一次电流小于额定仪表限值一次电流时，测量级电流互感器的二次电流能够保证误差；当一次电流大于额定仪表限值一次电流时，电流互感器的复合误差超过10%，说明铁心已开始趋于饱和，二次电流的上升不再与一次电流成线性，上升非常缓慢，从而保护测量级电流互感器的二次回路中的仪器仪表的安全。

DL866—2015中规定：“为在故障时一次回路

短时通过大短路电流不致损坏测量仪表，测量用电流互感器宜采用具有仪表保安限值的互感器，仪表保安系数宜选择10，也可选择5。”“仪表保安系数 (FS) 仅适用于测量级的电流互感器，主要作用是在系统故障电流通过电流互感器时，互感器二次电流不再严格按比例增长，以避免二次仪表受到大电流的冲击而损坏，FS越小，二次仪表越安全，但制造难度增大，价格增加，因此在工程设计中，应根据实际需要选择FS数值。互感器仪表保安系数的大小取决于二次仪表的过载能力。”

DL866推荐选择仪表保安系数10，这是因为目前使用的数字采样式仪表都是电子式仪表，不存在损坏仪表的问题，因此可以不要求仪表保安系数。但是考虑到对“互感器二次电流不再严格按比例增长”需要有一个限值，而不宜完全不要求，所以DL866推荐选择仪表保安系数10。

6. 额定准确限值一次电流和准确限值电流倍数

额定准确限值一次电流是保护类电流互感器确定准确度性能的依据，它是指在额定二次负荷下保证电流互感器复合误差要求的最大一次电流值，其值与额定一次电流的比值称为准确限值电流倍数。准确限值电流倍数用ALF表示，其标准值为5、10、15、20和30，一般与准确度一起表示，如5P20等。对于暂态特性互感器，额定准确限值一次电流称为额定一次短路电流，准确限值电流倍数称为额定对称短路电流倍数，并用 K_{ssc} 表示。

表1 部分测量级电流互感器误差限值

准确级	在额定电流百分数下的电流比值误差 (±%)					在额定电流百分数下的相位差/± (′)				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0.1	—	0.4	0.2	0.1	0.1	—	15	8	5	5
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

表2 P级和PR级电流互感器误差限值

准确级	额定电流下的电流比值误差 (±%)	额定电流下的相位差/± (′)	额定准确限值一次电流下的复合误差 (%)
5P和5PR	1	60	5
10P和10PR	3	—	10

表3 暂态保护用电流互感器误差限值

准确级	额定电流下的电流比值误差 (±%)	额定电流下的相位差/± (′)	额定准确限值一次电流下的瞬时峰值误差 (%)
TPX	0.5	30	10
TPY	1.0	60	10

通常按照远景最大短路电流除以额定一次电流的值选择准确限值电流倍数。例如某220 kV变电站远景最大短路电流为29 kA，电流比2 000/1。 $29 \text{ kA} \div 2\,000 \text{ A} = 14.5$ ，所以准确限值电流倍数可以选择15或20。

7. 暂态保护用电流互感器工作循环

暂态保护用电流互感器的工作循环分为单循环C-O和双循环C-O-C-O。有重合闸要求的回路使用双循环电流互感器，没有重合闸要求的回路可以使用单循环电流互感器。第一次故障持续时间（ t' ）是指C-O工作循环的持续时间或C-O-C-O工作循环的第一次故障持续时间，第二次故障持续时间（ t'' ）是指C-O-C-O工作循环的第二次故障持续时间。故障的准确限值规定时间是指在通电时间应保持规定准确度的时间。例如TPY级电流互感器常见的工作循环为C-100(40)-O-800-C-100(40)-O，意思为第一次故障持续时间为100 ms，其中前40 ms应保持规定准确度，经过800 ms的无电流时间后第二次故障持续时间为100 ms，其中前40 ms应保持规定准确度。

8. 额定输出

额定输出是指在额定二次电流、规定功率因数下输出给二次回路的视在功率。额定输出表示电流互感器能够带二次负荷的大小。测量级、P级和PR级电流互感器的额定输出一般以伏安（VA）表示，标准值有2.5 VA、5.0 VA、10 VA、15 VA、20 VA、25 VA和30 VA。暂态保护用电流互感器额定输出用电阻性负荷的欧姆数表示，标准值有0.5 Ω 、1 Ω 、2 Ω 和5 Ω 。有下划线者为优先值。

测量级电流互感器连接的实际二次负荷，不应超过电流互感器的额定二次负荷，也不应小于额定二次负荷的25%。由文所做的试验可以得知，容量并非越大越好。当实际二次负荷小于额定二次负荷的25%时误差有超过标准要求的可能，因此应尽量避免这种情况。

根据国网公司做的调查，220~500 kV变电站的电流互感器实际二次负荷绝大多数在5 VA以内，而额定负荷大多在10~50 VA，额定容量选择偏大。选择过大的二次绕组额定容量，将严重影响互感器计量、测量、保护等性能，同时导致互感器体积和重量过于偏大，造价偏高，不符合环保和绿色电力的要求，而且造成互感器的综合特性变差，包括电气性能和机械性能下降。

9. 具有二次绕组抽头的电流互感器

具有二次绕组抽头的电流互感器是指在二次绕组中有多个端子引出，通过接入不同的抽头可以获得不同的电流比。电流互感器二次绕组所接入的负荷，应保证实际二次负荷在25%~100%额定二次负荷范围内，但是在实际工程中很难做到。运行初期传输功率可能非常小，此时一、二次电流都非常小，二次负荷远远低于额定二次负荷的25%。所以测量、计量用电流互感器通常需要带抽头。在实际二次负荷远远低于额定二次负荷的情形，就应更换抽头。

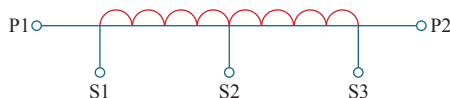


图1 二次绕组有中间抽头电流互感器

对二次绕组带抽头的多变流比电流互感器，精度要求指的是最高变流比的情况，所标的负载容量也是指最高抽头。但是在工程应用中，通常认为每个变流比都应满足容量的要求，所以电流互感器厂家通常是按照最小变流比满足额定输出容量来设计和制造的。每个变流比的额定输出容量实际与二次绕组匝数成正比。

GB20840.2中规定“二次绕组带有抽头的电流互感器准确度性能：对所有的准确级，除非另有规定，其准确度要求是指最大的变流比。当用户有要求时，制造方应给出各较低变流比的准确度性能的有关信息。”DL866中规定“二次绕组抽头方式：二次绕组抽头理论上可以在起末端之间的任意部位，一般常用中间抽头。一般二次绕组抽头方式仅用在测量用电流互感器。保护级采用抽头获得的电流比会降低保护性能，因此，保护级不采用二次抽头方式获得更小的电流比。”由以上可以看出，标准认为保护级电流互感器不适合二次绕组抽头，测量和计量用电流互感器使用二次绕组抽头，二次绕组抽头的输出容量若没有特别指明则默认抽头容量不作要求，输出容量是指最大变流比的容量，抽头的容量与匝数应当成比例减少。

例如某110 kV变电站，系统短路电流18.2 kA，线路间隔的电流互感器参数为600-1200/1 5P20 20 VA，600/1档的额定准确限值一次电流仅为600 A $\times$ 20 = 12 kA，1 200/1档的额定准确限值一次电流为1 200 A $\times$ 20 = 24 kA。若容量按照20 VA设计制

造, 1 200/1档的容量实际为40 VA。电流互感器的准确度是在额定二次输出容量下测量的, 此时1 200/1档的容量远远大于实际二次负荷的容量, 造成了浪费。且600/1抽头的额定准确限值一次电流仅为1 200/1档的一半, 额定准确限值一次电流小于一次短路电流。因此在设计中可以按照最大抽头满足额定输出容量, 中间抽头输出容量按标称容量的一半来设计。

电压互感器的额定值

电压互感器是一种特殊的容量很小的变压器。一次绕组与高压回路并联。二次负荷是仪表、保护装置。二次负荷阻抗很大, 二次电流很小。不同的二次负荷并联在一起。二次绕组不允许短路。

1. 额定一次电压

额定一次电压 (U_{pr}) 是作为电压互感器性能基准的一次电压值。额定一次电压大多为系统额定相电压 (相-地接线) 或系统额定线电压 (相-相接线), 也有发电厂选择系统最高相电压作为额定一次电压。

2. 额定二次电压

额定二次电压 (U_{sr}) 是作为电压互感器性能基准的二次电压值。二次绕组的额定二次电压为 $100/\sqrt{3}$ V (相-地接线) 或 100 V (相-相接线), 剩余绕组的额定二次电压为 100 V (有效接地系统) 或 $100/3$ V (非有效接地系统)。

3. 额定电压因数

额定电压因数 (FV) 是电压互感器满足性能条件下的最高运行电压与额定一次电压的比值。额定电压因数的标准值见表4。

表4 电压互感器的额定电压因数标准值

额定电压因数	额定时间	一次绕组连接方式和系统接地条件
1.2	连续	任一电网中的相间 任一电网中的变压器中性点与地之间
1.2 1.5	连续 30 s	中性点有效接地系统中的相与地之间
1.2 1.9	连续 30 s	带有自动切除对地故障的中性点非有效接地系统中的相与地之间
1.2 1.9	连续 30 s	无自动切除对地故障的中性点绝缘系统中的相与地之间

4. 准确级

电压互感器的误差限值见表5。准确级是以在

表5 电压误差和相位误差限值

用途	准确等级	误差限值		适用运行条件			
		比值差 $\pm\%$	相位差 $\pm(')$	电压 (%)	频率范围 (%)	负荷 (%)	负荷功率 因数
测量	0.1	0.1	5				
	0.2	0.2	10				
	0.5	0.5	20	80~120	99~101		
	1.0	1.0	40			25~100	0.8 (滞后)
	3.0	3.0	未规定				
保护	3P	3.0	120	5~150			
	6P	6.0	240	或 5~190	96~102		
剩余	6P	6.0	240	5~190			

额定电压和额定负荷下所规定的最大允许电压误差百分数来标称。测量绕组常用0.2和0.5级, 保护绕组和剩余绕组常用3P级。

5. 额定输出与热极限输出

额定输出是指电压互感器在输出额定二次电压和接有额定负荷时电压互感器所供给二次电路的视在功率值 (在规定功率因数下的伏安数)。以伏安表示的功率因数为1.0的额定输出标准值为1.0 VA、1.5 VA、2.5 VA、3.0 VA、5.0 VA、7.5 VA、10 VA。以伏安表示的功率因数为0.8 (滞后) 的额定输出标准值为10 VA、15 VA、20 VA、25 VA、30 VA、40 VA、50 VA、75 VA、100 VA。有下划线者为优选值。

热极限输出是指在额定电压下二次绕组所能供给而温升不能超过规定限值的视在功率值。在额定二次电压下及功率因数为1.0时, 其标准值应为25 VA、50 VA、100 VA及其十进制倍数。额定输出与热极限输出的区别是两者的二次负荷不同。额定输出是在额定负荷下输出的功率值; 热极限输出是能够带的最大负荷下的输出功率值。

结束语

本文介绍了电流互感器的额定电流、准确级、额定输出、仪表保安系数、准确限值系数和工作循环, 电压互感器的额定电压、准确级、额定输出和额定电压因数等常见电气参数的意义和经常选用的值, 希望能够对读者在使用互感器方面有所帮助。EA

(收稿日期: 2017.08.17)

(编辑: 白文亭)