

一种新能源用钳形电流互感器的设计实例

蒋大维

江阴市星火电子科技有限公司

0 背景介绍

0.1 电流互感器在传统电力领域的应用

在传统电力系统中, 电流互感器扮演着至关重要的角色, 它确保二次测量仪表和继电保护装置等设备能够安全、便捷地接入和使用。这些互感器对准确度及过载电流倍数有着严格要求, 导致互感器尺寸较大, 成本较高。随着智能电网和配变自动化技术的普及, 开合式电流互感器逐渐崭露头角, 以其快速安装和较高准确度受到青睐。然而, 这种互感器因铁心结构断开而导致磁导率降低, 为弥补这一不足, 不得不增加铁心截面, 从而提高了成本。

0.2 电流互感器在新能源领域的应用

近年来, 光伏、水能和风能等新能源的快速发展, 使得逆变并网技术成为关键。由于这些新能源系统产生直流电, 而公共电网使用交流电, 因此需要通过逆变器进行转换。在这一过程中, 电流互感器发挥着实时监测电流的重要作用。特别是在我国中低压配电网中, 由于缺乏高级监测装置和智能化控制, 新能源并入电网后可能面临运行故障的风险。因此, 发展智能配电自动化系统和开合式电流互感器成为必然趋势。

0.3 家庭微型逆变以及所用的电流互感器的特点

现在欧美很多家庭都已经有了自己的一套新能源逆变系统, 近年来我国也在不断开发适合家用的微型逆变系统。那么家庭用的微型逆变系统有什么样的特点呢? 它不同于工业使用, 家庭用的逆变器总结起来有 4 点要求: 1、安全可靠: 因为首先微型逆变系统属于民用, 那么首先要安全; 2、功率较低, 准确度要求不高: 同样由于是家用, 不需要太大的功率, 由于自用, 也不需要太高的测量准确度; 3、安装、管理方便: 如果有一定的动手能力完全可以由每个家庭自己来安装, 那么前提是安装和管理需要很方便; 4、尺寸要小, 不占空间: 家庭使用务必尺寸要小, 不占人家的家庭空间。

由于其微型逆变系统的特点, 其所用的电流互感器也相应的有如上的特点, 然而传统的电流互感器在设计和使用上存在一些不足, 如尺寸较大、成本较高、安装不便等。因此, 开发一种适合新能源微逆变系统用的开合式电流互感器具有重要意义。而我们发现, 设计一款结构独特的钳形电流互感器能够完美的解决以上的不足, 所以本文有意探讨设计一款属于新能源微逆变系统用的钳形电流互感器。



图 1：光伏应用场景框图

钳形电流互感器 (CLAMP-ON CURRENT TRANSFORMER) 其特点就如同一个钳子, 用手压合钳体手柄, 其状态就呈打开, 将一次导体套入后, 松开手后, 钳体自然状态闭合, 从而进行测试一次导体的电流测试。原本钳形电流互感器主要应用在测试电表上面, 后发现其安装方便, 适用于狭窄空间的特点使其成为微型逆变系统的理想选择。那么下面首先来探讨下微型逆变用钳形电流互感器的参数要求。

1 钳形电流互感器的产品参数

1.1 参数要求

a) 穿心为绝缘电缆线, 设计内孔为: 20mm; b) 一次电流 200A; c) 二次电流 66.66mA; d) 负载电阻 5Ω。

1.2 性能要求

a) 电流误差线性度 $\leq 0.5\%$ (5%-120% 的额定电流);

b) 角差 $\leq 100'$; c) 设计安全符合安全标准 UL2808-2016 要求。

1.3 设计解读

根据产品参数和性能要求,我们来解读下:首先是在低压侧,主要为电缆绝缘线,部分也有母排线,其设备电压最高不会超过 660V,电流最大控制在 200A 以内,所以考虑互感器的内孔设计在 20mm 左右,这个内孔一方面保证能够穿进大部分的绝缘电缆线,包括一些尺寸较小的母排,同时也能保证钳形电流互感器的尺寸不至于过大,因为内孔越大,其外形结构也会越大。二次电流选定 66.66mA,这个电流值其实不符合电流互感器国家标准 GB/T20840.2 的要求(要求为 5A/1A),但由于其现在数字化传输,已经不需要以往的大功率模拟信号传输,那么我们完全可以设计一个低功率小信号的传输方式,所以将二次电流选定为 66.66mA,再配合一个负载电阻 5Ω,可以将电流信号转换成标准电压信号 0.333V 供后面测量设备使用。

那我们要注意的是其性能要求:a) 电流误差线性度 $\leq 0.5\%$ (5%-120% 的额定电流);那么我们的设计要保证一定的误差等级,那么对我们的铁心的尺寸和设计就有了一定的要求;b) 角差 $\leq 100'$ 这个也没有采用国家标准的要求,那也是考虑到成本以及现在的补偿技术,已经不需要将角差做得很小,也能保证一定的功率测量精度;c) 设计安全符合安全标准 UL2808-2016 要求,这个是美国、加拿大普遍采用的测量设备的安全规定要求,由于我国还未出台对应的标准,为了安全,所以我们考虑采用这项标准要求。那么最后我们还要考虑到设计的钳形电流互感器尺寸要足够得小,足够得方便,才能够让使用者更加方便快捷地使用在微型逆变器中。

2 产品设计方案

2.1 外形结构设计

根据设计要求,我们设计了一款微型钳形电流互感器,由于其适用直径 20mm 的电缆(最大不超过 21mm,留有一定的安装余量),同时适用 20*3mm 的母排,最大不超过 25*3mm 的母排(如图 2),其外观尺寸图见图 3。由于其适用于 20mm 的电缆,所以我们将命名型号为 S20。



图 2: 微型钳形电流互感器 S20 外观图

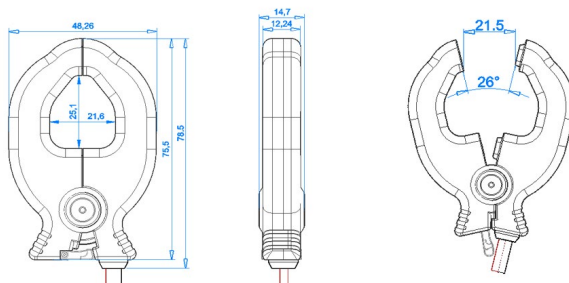


图 3: 微型钳形电流互感器 S20 尺寸图

S20 采用通配电缆和母排两种一次结构的设计,在保证满足 240A (200A 过载 1.2 倍,国家标准要求)。一次电流的条件下,我们设计的产品尺寸要足够得小,这也是经过计算机多次模拟后,得出最佳的尺寸(见图 3),同时我们区别于市面上的钳形电流互感器通常采用常规的圆形、椭圆形、方形钳头的设计(见图 4),我们采用的是“桃型”设计,因为我们发现,如果采用常规的设计,在安装空间较大的地方没有问题,但在狭小的空间区域,比如两侧都有遮挡物的情况下,我们要确保钳头要足够的瘦,否则不利于钳头探进狭小空间,从而去夹住一次导体,所以我们创新的设计出“桃型”钳体来满足狭小的空间区域(如图 5)。



图 4: 市面上常见的钳形电流互感器结构

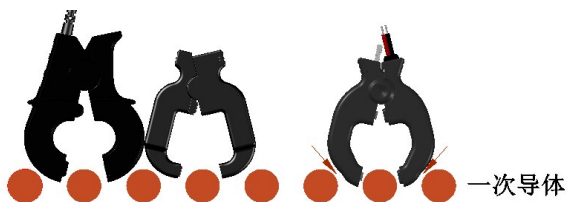


图 5: 本设计和市面钳形电流互感器卡线对比

在图 5, 左面两款是市面上常见的钳形电流互感器结构, 无论是方形还是圆形, 在内孔一致的情况下, 受限于结构很难插进一次电缆中, 而右面的我们设计的 S20, 由于尖端是“桃型”结构, 很容易插进受限的导体, 从而保证在狭小空间内使用。

2.2 铁心设计

接下来在产品的尺寸外形已定, 那么我们根据产品的性能要求我们来确定铁心的参数。我们要保证铁心达到如下要求: a) 能够在 240A 以内不会饱和; b) 要满足 0.5% 的误差线性度要求; c) 铁心配合一次电缆结构。所以我们设计的铁心采用异型结构或者也叫做“桃型”结构, 材质选用硅钢, 牌号为 30P120 的卷绕铁心进行切割制作 (具体尺寸见图 6)。

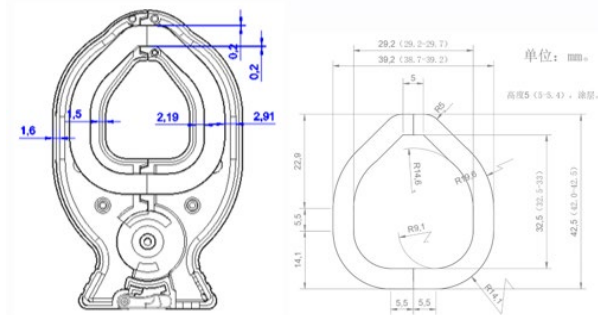
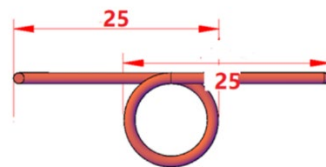


图 6: 铁心与外壳之间的配合, 以及铁心尺寸图

2.3 弹簧设计

弹簧起到开合钳形电流互感器的作用, 弹簧设计的力如果太小, 打开钳形电流互感器虽然比较方便, 但是有可能无法形成有效的闭合, 从而导致测试无法顺利进行或者误差较大; 如果弹簧设计的力太大, 那么钳形电流互感器可能打开不便, 同时批量生产时也不方便, 所以弹簧的结构和力的设计也至关重要, 所以本次弹簧设计采用采用叉簧设计, 可以平展 180 度, 这样能够保证力和性能的平衡, 同时能够保证生产的方便 (见图 7)。



内圈 8.5, 外圈 10.9, 线径 1.2, 线圈 4 圈, 高度不超过 6-6.5mm。

图 7: 采用插簧设计

2.4 误动作设计

目前市面上的钳形电流互感器在卡主一次电缆线后, 没有进行铅封保护, 也没有螺丝等结构进行压紧。这样一来, 钳形电流互感器的弹簧可能会由于时间长远而疲劳松动, 或者由于设备产生振动、又或者人为误动都有可能造成钳口打开, 那么就有可能造成测量失败。因此我们也给本次设计的 S20 设计了一个误动装置, 保证无论弹簧失效、振动或者误动的情况下, 钳口不会打开, 从而保证产品的性能 (见图 8)。

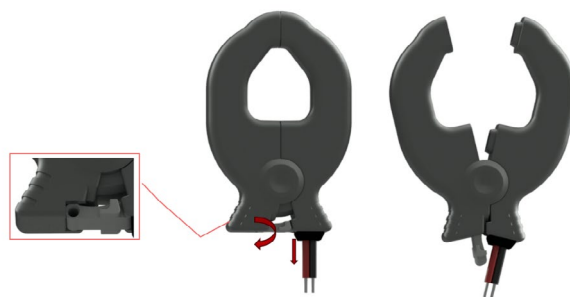


图 8: 钳形电流互感器误动作设计

误动作设计采用小卡件旋转开合, 打开就可以使钳形电流互感器开合, 一旦闭上, 小卡件和外壳之间有一定的阻尼设计, 合上之后非人为打开, 钳形就无法误动作自行脱落, 这样就能避免钳形电流互感器的误动作情况的发生。

2.5 产品装配设计

以上设计完成, 整个产品即可宣布完成, 接下来就是产品的装配设计, 具体方案如下: 两边铁心绕线包, 线包通过外壳下通道连接, 并接上电阻, 引出二次侧电线即可 (见图 9)。



图 9：钳形电流互感器装配示意图

3 产品设计计算单

根据以上设计参数和产品结构，我们利用设计计算单来模拟下产品的准确度（见表 1，具体计算方法参见作者之前文章，这里不再赘述）。

数据如上表，可见线性度误差满足 0.5%，其角差也在 100' 以内。

4 产品实测数据

模拟完数据分析，还要经过数据实测，我们制作了 15 只样品，经过测试，数据如表 2，完全满足设计要求。

表 1:200A/66.67mA, 负载 5Ω, 采用 30P120 卷绕对切铁心

200.00A/66.67mA	准确度 :5, 满足要求! 负载电阻 (RB, Ω) :1	环形 KCT 计算单		结论:	本次设计能满足 准确度要求!	
铁心内径 (ID ₁ , mm)	铁心外径 (OD ₁ , mm)	铁心高度 (HD ₁ , mm)	选择铁心材质 ↓	选择铁心绝缘 ↓	二次输出 (I ₂ , A)	匝数 (N ₂ , T)
34	44	5	30P120DF	铁心绝缘 - 大护壳	0.06667	3000
热电流倍数	选择需求准确度 ↓	选择二次负 荷形式 ↓	负载电阻 (RB, Ω)	功率因素 (cos)	漆包线线径 (d, mm)	1 股漆包线 并绕
1.2	5	负载电阻 (RB, Ω)	1	1	0.19	1
带绝缘 (ID ₂ , mm)	带绝缘 (OD ₂ , mm)	带绝缘 (HD ₂ , mm)	铁心绝缘厚度 (Hj, mm)	铁心质量 (M _F , g)	截面 (S _C , cm ²)	磁路 (L _C , cm)
29	49	10	2.5	24.1	0.245	12.246
线包内径 (ID ₃ , mm)	线包外径 (OD ₃ , mm)	线包高度 (HD ₃ , mm)	排绕系数	叠绕系数	平均匝长 (L _c , mm)	线包需排绕 13 层 ↓
23	52.6	16	1.2	1.25	51.856	13
单线长度 (L, m)	铜线质量 (Mg, g)	铜阻 (r ₀ , Ω)	线径流密 (J, A/mm ²)	输出功率 (S, VA)	30P120DF 设计 Bmax(Gs)	可过载倍数
155.568	39.300	96.070	2.36	0.004444889	1200	3
负载阻量 (R _B , Ω)	估算漏抗 (X ₀ , Ω)	负载感量 (X _B , Ω)	总感抗 (X ₂ , Ω)	总电阻 (R ₂ , Ω)	总阻抗 (Z, Ω)	阻抗角 (°)
1	0.05	0	0.05	97.070	97.070	0.030
电流倍数	-	5%	20%	100%	120%	过载: 120%
电动势 (E, V)	-	0.32	1.29	6.47	7.77	7.77
磁密 (B, GS)	-	198.50	794.00	3970.00	4764.00	4764.00

下转188页