

传感器式电流、电压互感器简析

1 前言

随着计算机技术、通信技术的迅速发展，电力系统的继电保护与控制已基本实现微机化，设备体积趋向小型化，这也同样要求与继电保护和控制设备接口的外部测量部分小型化和弱电化。传统的保护控制设备由于消耗功率较大，要求外部测量设备具备一定的输出功率，以驱动保护控制设备的运行。随着的微处理机的发展，迫切需要有与之相匹配的直接接口的外部测量设备的存在，经过科学技术应用人员的辛勤工作，找到了一种早已存在的而以前被人们忽视的微电流、电压输出设备，即洛高夫斯基（**Rogowski**）电流传感器和分压器，其输出的几百毫安电流/毫伏电压能直接与微型保护控制设备接口，满足保护控制测量的要求，且基本消除了传统电磁式电流、电压互感器磁饱和的缺点。

2 电流传感器

早在 1912 年，洛高夫斯基通过对电力系统测量的研究，发明了洛高夫斯基线圈测量原理。洛高夫斯基线圈是一个均匀缠绕的线圈，它具有一个非磁性的芯。洛高夫斯基线圈最基本形状是一个环形的空气芯线圈。

洛高夫斯基线圈可通过将导线绕在一个挠性的管子上，然后将管子两端弯曲到一起而构成。见图 1，绕组经过精密制造，具有优良的准确度和稳定性。

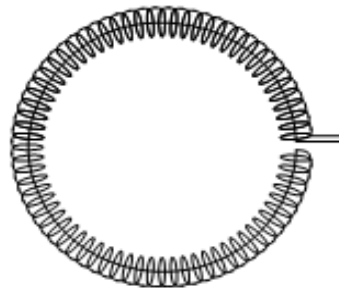


图 1、洛高夫斯基线圈

通过线圈的电流感应产生一个电压 e ，可由以下近似出式给出：

$$e = -u_0 \cdot NA \frac{dI}{dt} = H \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

其中 u_0 = 自由空间的导磁率

N = 缠绕密度，[匝数/米]

A = 单匝截面积[米²]

H = 线圈灵敏度[Vs/A]

洛高夫斯基线圈由于采用非磁性的线圈芯，故没有任何非线性饱和效应。它允许隔离的电流测量，并具有较宽的带宽，最大可达 1 兆赫兹。

洛高夫斯基线圈具有良好的线性特性，且体积小和重量轻。可以认为是理想的电流传感器。

洛高夫线圈不存在饱和性，它可以用来测量从几安培到几百千安的电流，最小值和最大值主要取决于测量的电子元件。

线性带来以下特点：

- 所需要的不同规格的数目减少
- 高故障电流的准确测量（故障定位，断路器的状态监控）

由于洛高夫斯基线圈的输出与电流的时间导数成比例，因此需进行积分。早期使用的模拟式积分器误差较大，应用不理想，现采用数字方法积分，效果较好。

2.1 电流传感器的准确度

影响电流传感器的准确性有如下原因：

- 温度变化
- 装配出差错
- 其他相电流的影响（串扰）
- 初级导体的非无限长度（例如：接近线圈的 90° 角）

通过严格的设计及制造的质量控制，可以降低线圈芯和绕组装配对精确度的影响，目前传感器的准确度可以达到 0.5%。

但 0.5% 的精确度很难满足电力设计规范对计量的 $\pm 2.0\%$ 的要求，针对上述影响电流传感器精确度的因素，可采取如下方法进行解决。

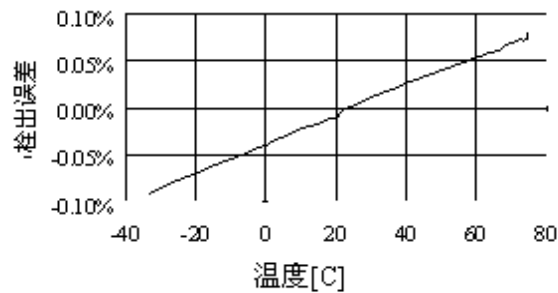


图 2 洛高夫斯基线圈电流传感器与温度的关系。

- 1) 采用对温度反应不敏感的特殊材料，以降低温度对其的影响（见图 2）。
- 2) 测量传感器的温度，然后对温度进行补偿。
- 3) 装配误差可以用适当的机械安装来消除。一般情况下，电流传感器是集成在套管中，这样装配误差就可以降低。
- 4) 串扰（其他相电流对于被测量电流的影响）可以通过传感器的优化设计，从而使串扰影响降到最低。标准传感器的串扰如图 3 所示。在一般保护算法中，相位角的准确度是很重要的。铁芯电流互感器的缺点是相位移随电流而改变，特别是在欠激励或过激励的过程中。而这种情况对洛高夫斯基线圈来说，已不是问题，因为相位移很小，并且不随电流而改变。

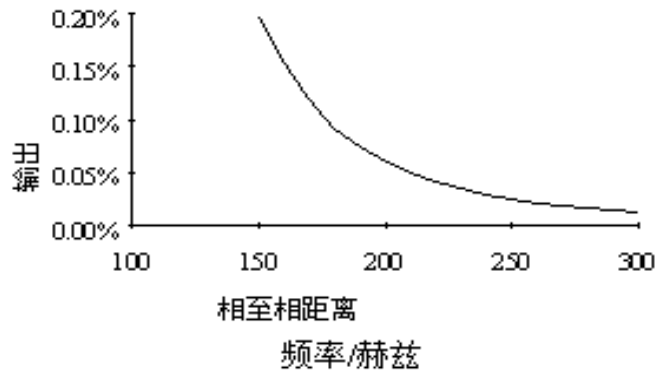


图 3 串扰影响

2.2 频率范围

电力系统工频为 50 赫兹，而洛高夫斯基线圈的频率范围为从几赫兹到 10000 赫兹以上。故对于保护、监控和电力测量来说，完全满足要求。图 4 表示了洛高夫斯基线圈与频率的关系。

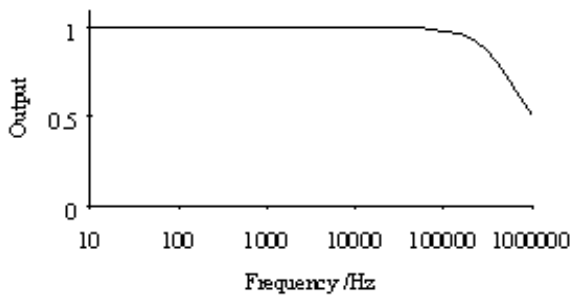


图 4 洛高夫斯基线圈/频率关系

3. 电压传感器

测量电压所用的电压传感器是阻抗式的（电阻式或电容式）分压器（见图 5）。与磁电压互感器相比，其有优点如下：

- 无饱和，线性
- 体积小，重量轻
- 不会引起铁磁谐振

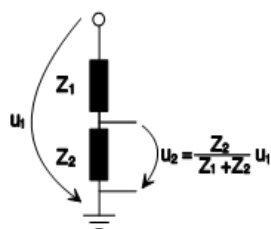


图 5 阻抗式分压器的原理

在电网中，磁谐振是一个问题。这种结果在许多情况下是：如果在相线和地线之间连接一个普通的电流互感器，将可能发生热过载和损坏。电阻式电压传感器，由于不存在电感，因此不会引起磁共振。它可在这种特殊情况下被用于测量相线至地线的短路电流。

电阻式分压器必须能够承受各种正常情况和故障情况的电压，以及试验电压。这对分压器提出了较高的要求。在实际中，这就意味着分压器的电阻值必须很高。此时应重点处理杂散电容问题。

3.1 电阻式电压传感器的准确度

电阻式电压传感器的准确度取决于电阻的准确度，或更准确地说，取决于分压比的准确度。两个电阻都允许改变，如果在同方向改变的话。不准确性的主要来源是：

- 电阻温度系数
- 电阻电压系数
- 电阻器的漂移（电压、温度）
- 杂散电容
- 相邻相线的影响（串扰）

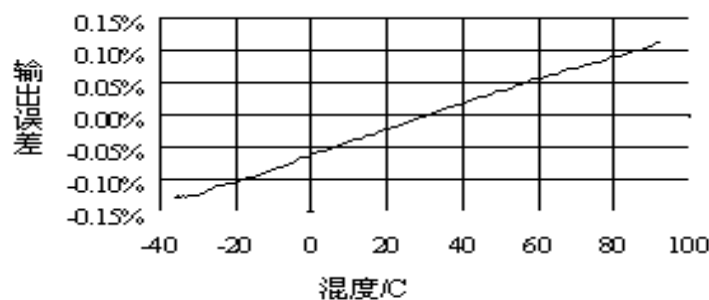


图 6 电阻式分压器与温度关系。

电阻式电压传感器的精确度与电流传感器的精确度一样，可以达到 $\pm 0.5\%$ 的准确度。但不满足计量中 $\pm 0.2\%$ 准确度的要求。

可采用如下优化措施：

- 1) 通过采用高质量的材料，以及优化的设计，补偿温度的影响和电阻电压系数。
- 2) 降低相邻相和分压器之间的电容

3.2 电容式电压传感器的准确度

准确度主要取决于介电常数对温度的依赖关系，环氧树脂的介电常数对温度的依赖性在 -40°C 至 $+70^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内为 1% 。其他影响准确性原因为：

- 电容器的漂移（绝缘的考化）

● 杂散电容

● 相邻相位的影响（串扰）

由于温度影响，一般准确度为 3%。当要求更高的准确度时，需采用电阻式分压器。

3.3 频率范围

由于电阻式分压器的高阻抗水平，频率响应没有象洛高夫斯基线圈的频率响应那样宽。然而可以测量到高达几千赫兹频率（见图 7）。这对于监控，保护和电力质量测量是足够的。

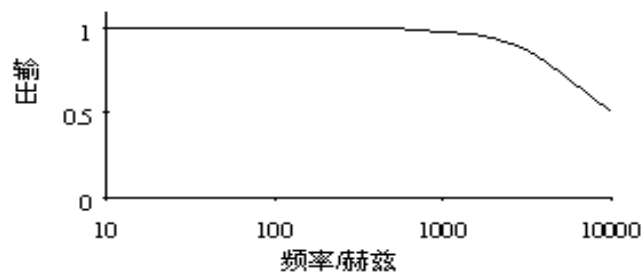


图 7 典型的电阻式分压器的频率响应

4 标准的制定

目前 IEC TC38 工作组 (WG23 和 WG27) 在现有的仪用互感器的基础上，已考虑了传感器技术的特殊要求 (电磁兼容性等)，草拟了 IEC60044-7 [3] 标准。已于 1999 年 12 月发表，IEC60044-8 [4] 的草案已于 2000 年中发表。这两个标准都包括了电压和电流传感器的模拟输出的规定。IEC60044-8 还包括对多达 7 个电流信号和 5 个电压信号数字点对点输出的规定。

IEEE (电气与电子工程师学会) 电力系统继电委员会发表了一个传感器标准的建议。 [5]

5 传感器性能的比较

传感器式电流和电压互感器与传统电流和电压互感器性能对比

性能	传统电流和电压互感器	传感器式电流和电压互感器
信号	5A/100V	150mv/2: V
次级负载	1-50VA	≥4 光欧
准确度	测量: 0.2%-1% 保护: 5%-10%	多用途 1%
动态范围	40'In/1.9'Un	无限制
线性	非线性	完全线性
饱和	输出信号畸变	不存在
铁磁畸变	破坏性 (电压互感器)	不存在
温度系数	无影响	受补偿
电磁兼容性	无影响	屏数
短路的次级	破坏性 (电压互感器)	无伤害
开路的次级	破坏性 (电流互感器)	无伤害

重量	40kg（电流、电压互感器）	8kg（组合传感器）
寿命期成本	高	低
覆盖所有应用的不同型式	种类繁多	2种

6 电压传感器，电流电流传感器

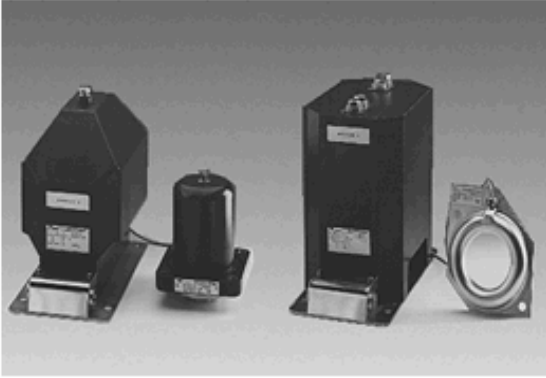


图 8 电压传感器，电流电流传感器（自左至右）



图 9 电流电压组合式传感器

上述电压传感器，电流电流传感器已应用于广州地铁二号线 33kV GIS 交流开关柜中，实现与保护控制设备的直接弱电接口。

方舟电子网址：www.888sx.com

邮箱地址：17003404@163.com

联系人：李竟

QQ：565088099

联系电话：13880648615