

电子式互感器原理及工程应用

王军伟

(鞍山市信息中心, 辽宁 鞍山 114046)

摘要: 电子互感器是将电路中的强电流或者高电压, 通过一定的方式转换为弱电流或者低电压, 从而实现对电路的测量或者应用。近年来, 随着光纤通信技术和传感技术在互感器中的应用, 电子式互感器发展迅速。由于电子式互感器具有体积小、频带响应宽和抗电磁干扰性能佳等优点, 其在仪器测量和数字化变电站等领域中应用广泛。本文简要介绍了电子式互感器的特征、分类, 研究了有源电子式互感器和无源电子式互感器及其原理, 并探讨了它们在工程中的应用。

关键词: 电子式互感器; 原理; 分类; 工程应用

中图分类号: TM45

文献标识码: A

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2022.24.034

互感器又称为仪用变压器, 主要是用于电路中电流或电压的测量, 或者是在将电流或电压转换成一定的额定值之后, 应用于设备的保护或自动化设备控制中。依据测量内容的不同, 主要分为电流互感器和电压互感器。

1 电子式互感器及其特征和分类

电子式互感器 (Electronic Instrument Transformer) 是在传统的电磁式互感器的基础上, 引入传感技术和光纤通信技术, 连接原始电路并通过二次转换器, 将数据传递给传感元件和数据处理元件, 进而测量电流、电压^[1]。电子式互感器相比电磁式互感器, 主要优化部分体现在信号输出端。虽然也是测量高压或者中压电路的电流、电压, 但是电磁式互感器输出的是模拟信号, 需要在端口再行接入信号转换元件或者装置, 将模拟信号转换成数字信号, 然后再输入仪器仪表中进行测量; 而在光电技术的推动下, 电子式互感器则可以在信号输出端直接使用光电子器件输出数字信号, 数字信号直接输入仪器仪表中, 进行直接测量^[2]。

电子式互感器在性能、稳定性等方面超过了传统的电磁式互感器, 具有较多优点。

一是保持良好的绝缘性能。电磁式互感器的测量电路与二次线圈之间采用铁芯磁耦合的结构方式, 这种结构复杂, 造价随着测量电路的电压呈现指数级关系, 且由于是铁芯磁耦合结构方式, 二次线圈存在被击穿的风险; 而电子式互感器的二次线圈采用光学性能元件, 测量电路的高压与低压端完全隔离, 绝缘性能良好, 不存在被击穿的风险。

二是良好的抗电磁干扰性能。电磁式互感器在测量端输出的是模拟信号, 在信号的传输和继电保护上都是使用电缆进行

传输, 当存在多种信号或者不同装置传输同一信号时, 相互之间会受到电磁场的干扰; 而电子式互感器由于在测量端输出的是数字信号, 可以不受干扰地进行数字化通信, 从而避免了电磁场的干扰。

三是动态范围大, 且测量精度较高。电磁式互感器中采用的是铁芯磁耦合结构, 这会不可避免地出现磁饱和、铁磁谐振等现象, 从而导致测量动态范围受到较大的影响, 对于测量的精度也产生了一定的影响; 而电子式互感器由于是采用光学性能元件, 不含铁芯, 因此也不存在磁饱和、铁磁谐振等问题, 从而可以提高测量的动态范围, 提高测量的精度。

四是安全性高, 且重量和体积较小。传统的电磁式互感器有被击穿的风险, 而且一般来说, 电路的电压越高, 电磁式互感器的测量端被击穿的风险越大, 为了保证互感器的安全, 就需要在测量端附加更多的安全设备, 如采用绝缘油进行保护等, 但这又带来另一个问题, 即体积大、重量大, 安装和使用均不太方便; 而电子式互感器由于采用光学性能元件, 理论上不存在被击穿的风险, 安全性能大为提高, 为之配套的安全设备也会相应减少很多, 因此这类互感器的体积和重量均较小, 安装和使用较为方便。

电子式互感器按照一般分类, 分为电子式电流互感器和电子式电压互感器; 根据高压侧有无供电电源, 可以分为无源式互感器和有源式互感器。具体分类及各自原理如表 1 所示。

表 1 电子式互感器分类及其原理

	电压互感器	电流互感器
有源式	电阻分压器原理、电容分压器原理、串联感应分压器原理	Rogowski线圈、低功耗铁芯线圈
无源式	Pockels效应、逆压电效应	Farraday效应

2 有源电子式互感器及其原理

有源电子式互感器可以分为有源电子式电压互感器和有源电子式电流互感器。

2.1 有源电子式电压互感器及其原理

按照电压分压方式，有源电子式电压互感器可分为电容分压互感器和电阻分压互感器。有源电子式电阻分压电压互感器可以应用于中低压的测量，电压范围主要位于 10 ~ 35kV 的区间；而有源电子式电容分压电压互感器可以应用于高压的测量。

有源电子式电容分压电压互感器是使用电容作为分压电路，与所需测量的一次侧电压形成一定的比例关系，然后将电容部分的信号输入合并单元进行光电转换之后，获得信号输入测量仪器，从而完成对高压电路的测量。其基本构建如图 1 所示。

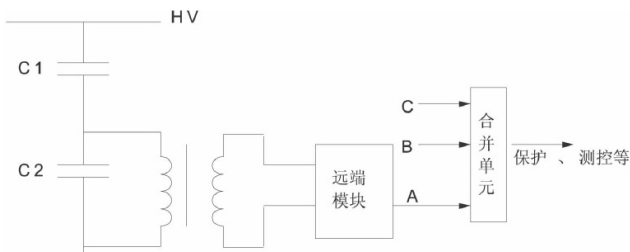


图1 有源电子式电容分压电压互感器结构示意图

有源电子式电阻分压电压互感器的基本原理、结构构建和有源电子式电容分压电压互感器的基本相似，主要区别是一个采取电阻进行分压，一个采取电容进行分压。虽然原理和结构较为相似，但是由于分压所采用的方式不同，导致两者的性能有一定的差异^[3]。

有源电子式电阻分压电压互感器主要存在的问题是测量精度不高，所测量的电压也不高。主要是因为使用电阻作为分压器件，虽然没有像电容那样存在磁饱和等问题，但是会存在一定的杂散电容问题，这样就导致其测量的精度受到影响。而且如果是测量高压，那么对电阻的要求就非常高，也要求其稳定性比较高，但是由于电阻在较高的高压情况下，其稳定性和安全性都存在较大的隐患，因此其性能难以保障，也就不适合进行较高的高压测量。当前，随着电子式互感器技术的发展，已经出现了将电阻和电容结合的有源电子式阻容分压电压互感器，其既融合了两者的优势，又规避了各自的缺点。

2.2 有源电子式电流互感器及其原理

有源电子式电流互感器主要构成分别是电源模块、传感器模块和数据处理模块。其基本原理是利用 Rogowski 线圈原理，将一次侧的高压电源经过线圈后获得二次电压，将二次电压进行处理，转变为光信号，然后将光信号传输给数据处理模块，

经过光电信号转换后输入测量模块或者传递给自动化设备作为源数据信号。

其中，Rogowski 线圈结构如图 2 所示。Rogowski 线圈是一个均匀缠绕在非铁磁性材料上的空心线圈，由于其不包含铁芯，因此也不存在磁滞效应和磁饱和现象。由于 Rogowski 线圈是根据磁场感应而获得电动势，因此与被测的电流之间不存在直接的联系，故而安全性比较有保障，也可以不受被测电流的大小限制，理论上可以测出任何大小的电流，实践当中一般应用于大安倍电流的测量。根据电磁感应定律，可以推出 Rogowski 线圈的感应电动势：

$$e(t) = -\frac{d\phi}{dt} = -M \frac{di(t)}{dt} = -\frac{NS}{l} \mu_0 \frac{di(t)}{dt}$$

其中， $i(t)$ 为一次侧电流， ϕ 代表交链于线圈的磁链， M 为线圈互感， μ_0 为真空磁导率。

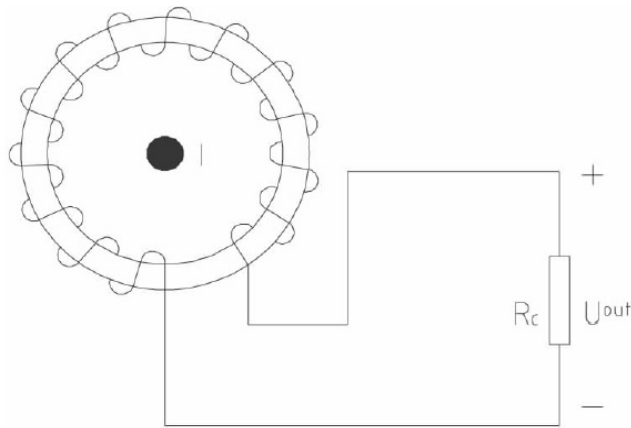


图2 Rogowski 线圈测量原理图

3 无源电子互感器原理及其应用

无源电子式互感器可以分为无源电子式电压互感器和无源电子式电流互感器。

3.1 无源电子式电压互感器及其原理

无源电子式电压互感器主要是基于 pockels 效应，也就是光电效应进行测量的电压互感器。光电效应是指施加电压在一些无对称中心的晶体上，外加的电压与这些晶体的折射率呈现出一定的线性关系。无源电子式电压互感器的测量基本结构如图 3 所示。

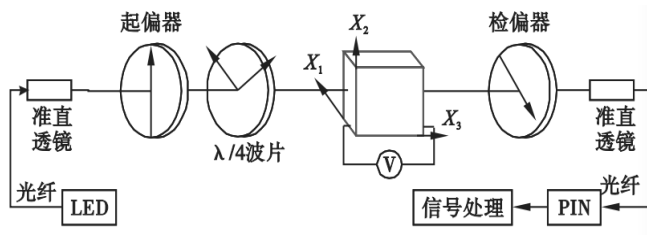


图3 无源电子式电压互感器结构图

无源电子式电压互感器所使用的晶体称之为感应晶体。当光线经过起偏器之后,会成为线偏振光。如果光线经过 $\lambda/4$ 波片后,会形成 x 方向和 y 方向的偏光。当将一次侧的电压施加给感应晶体后,就会使感应晶体的折射率发生变化,从而引起两个偏光之间产生一定的相位差。通过检偏器之后,能够通过一定的计算公式,获得两个偏光的相位差,进而测算出一次侧的电压。相位差公式可以简单表述为:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} n_0^3 \gamma E d = \frac{2\pi}{\lambda_0} n_0^3 U$$

其中, δ 为相位差, E 为电场强度, λ 为波长, γ 为感应晶体的线性电光系数, n 为感应晶体的折射率, U 为外加电压。

3.2 无源电子式电流互感器及其原理

无源电子式电流互感器的工作原理是 Faraday (法拉第) 磁光效应。法拉第磁光效应是指,在外部施加一个磁场,当偏振光通过某种光学介质的时候,会发生一定的角度变化。在无源电子式电流互感器测量一次侧电流的时候,可以将电流通过磁场设备形成外加磁场。光源发出的光,在经过偏振器时会被转化为偏振光,当偏振光进入感应晶体时,因为外部磁场的作用,使偏振角度产生一定的变化。检偏器在测量这种变化之后,就可以获得偏振角度的数值,从而计算出一次侧电流的大小。

4 电子式互感器的工程应用及发展前景

无论是有源电子互感器还是无源电子互感器,都能够有效解决磁饱和、铁磁谐振等问题,相比传统电磁式互感器,其具有良好的绝缘性能、良好的抗电磁干扰性能、动态范围大且测量精度较高、安全性较好等优点。近年来,有源电子互感器已经具备了工程应用能力,在实践中获得了广泛的应用,目前主要是应用于智能电站中。无源电子互感器也已经在理论层面达到了实际应用水平,目前主要在光学器件上还需要进一步探索,其应用前景十分广阔^[4]。

随着能源革命的不断推进,我国智能电站和数字化变电站等将迎来快速发展的建设高潮,电子互感器将会得到广泛的应用和发展。而且,由于电子互感器可以将一次侧的高压转化为低压信号或者光学信号,未来在智能设备控制等方面也将有十分广泛的应用前景,这将成为未来数字化互感器技术发展的重要方向。

但是在当前的技术条件下,也需要对电子互感器在工程

应用中的缺点有所了解,以便更好地控制其不足,发挥其长处。对于有源电子互感器而言,主要存在的不足有:一是光电转换回路仍可能受到电磁干扰,虽然有源电子互感器将输出信号转换为光信号,但在光电转换回路中,需要对信号进行滤波等处理,这些设备也可能受到一次侧高压的电磁干扰,从而对其精度造成一定的影响;二是存在精度问题,由于使用的是 Rogowski 线圈,虽然能计算出理论上的一次侧电压,但是由于 Rogowski 线圈在工程实现及制造过程中会存在一定测量误差,从而对传感器回路所测算的电压精度造成影响。

对于无源电子互感器而言,主要存在的不足有:一是环境温度会对测量精度产生影响,无源电子互感器主要原理是基于 Faraday 磁光效应,当环境温度发生变化时,感应晶体的折射率也会发生细微的变化,所以会对测量的精度造成一定的影响;二是稳定性尚不能完全保障,在进行测量时,如果发光光源进行持续工作,那么其发出光线的稳定性可能不能得到保障,这样在测算相位差等方面也会对测量结果产生影响^[5]。

5 结语

总体而言,电子互感器是当前互感器领域的前沿技术,对于 GIS 设备、特高压输电等技术具有重要的促进作用。目前,电子互感器更是朝着结构组合化、传感无源化等方向发展,这将会给电子互感器带来更多的应用领域和应用场景。

参考文献:

- [1] 余屹林. 电子式互感器在数字变电站的校验技术应用[J]. 上海节能, 2020, (07): 800-803.
- [2] 辛丹凤. 电子式互感器检测中存在的问题及改进策略[J]. 通信电源技术, 2019, 36(08): 153-154.
- [3] 董雪婷, 杨娜, 于承扬. 电子式互感器校准方法与技术[J]. 知识文库, 2019, (16): 222.
- [4] 邸志刚, 孙腾飞. 电子式电流互感器发展现状与应用前景[J]. 仪表技术, 2019, (05): 37-40, 44.
- [5] 胡伟曦, 谭建成. 电子式互感器原理及关键技术综述[J]. 电气开关, 2018, 56(03): 7-12.

作者简介: 王军伟(1983-),男,辽宁鞍山人,硕士研究生,高级工程师,主要从事信息化发展中电子设备的应用与格新方向的研究。