

[智能电气仪表]

基于组态软件和PLC技术的智能电气仪表远程控制方法研究

文/瞿斌
四川广虹霖工程咨询有限公司

为提高控制工作的时效性与准确度，基于组态软件和可编程逻辑控制器（PLC）技术，开展智能电气仪表远程控制方法的设计。将PLC作为上位机，以PC机为核心，使用MCGS联机配置控制程序，进行基于组态软件的控制界面组态设计；引进小波分析法，进行智能电气仪表状态信号的去噪处理；根据PC端反馈的智能电气仪表状态信号，应用PLC技术，设计电气仪表的自动化控制。对比实验结果表明，设计的方法应用后，不仅可以实现对智能电气仪表频率的精确控制，还能在降低远程控制时延的基础上，降低控制偏差，以此达到提高控制准确度的目的。

工业自动化水平的不断提高，对控制方法的性能提出更高要求。在对控制系统软件进行设计时，应简化流程，提高可靠性和实时性，达到更好的人机互动效果。现有的方法仅依赖计算机编程设计控制软件或程序，存在控制效率与反应周期长、通用性差和开发成本高等显著缺陷。现有问题的存在，极大地制约相关技术的开发和应用。

郭强^[1]等人以提高变流器运行特性为目标，提出一种多模态控制策略。该方法可在多种工况下进行柔性切换，使得变流器具有较强的自适应能力，可在提高电能转化效率的前提下，提升系统的稳定性与动态响应性能。但在该方法设计中，由于多模切换逻辑比较复杂，需要较高的硬件性能以及相应的软件算法，会导致系统成本上升，同时也带来了开发的困难。此外，在切换过程中，由于开关过程中的电压、电流等参数的变化，会对系统的供电品质产生一定的影响。李彦君^[2]等人以电力系统为研究对象，建立以深度学习为基础的电力系统控制策略模型。该方法发挥深度学习在数据处理、模式识别等方面的优势，对电力系统运行数据进行深度

挖掘与分析，以达到精确的无功电压优化控制。深度学习模型所需数据量巨大，其采集与标记代价高昂，数据质量与完整性难以保障，严重制约了模型的训练效率与推广性能。此外，基于深度学习的决策过程不具有可解释性，使得运营人员很难对模型的决策结果进行充分的了解与信赖，从而制约该方法的规模化应用。

为解决现有方法在应用中的不足，深化智能电气仪表的应用，本文将基于组态软件与PLC技术的应用，开展智能电气仪表远程控制方法的设计。

基于组态软件的控制界面组态设计

在智能电气仪表的远程控制中，为满足控制过程的可视化，利用组态软件，进行控制界面的组态设计。设计中，将PLC作为上位机，负责底层的控制工作。在此基础上，以PC机为核心，以MCGS联机配置控制程序运行。组态软件既作为底层PLC的监测和配置平台，又利用TCP/IP的特点，实现对电气仪表状态数据的采集和发布。客户端只需要运行一般浏览器，即可以通过无线局域网执行控制程

序。设计终端如图1所示。

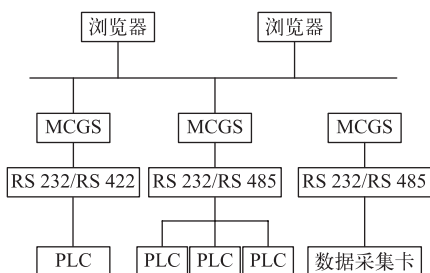


图1 基于组态软件的控制终端设计

整个结构底层覆盖通过RS 232/RS 422转换器和PC机之间进行通信，通过PLC将数据传送到PC机，通过MCGS上位机监测PLC工作状态。在上述内容的基础上，在MCGS在线平台上进行控制界面的组态设计。设计内容见表1。

表1 基于组态软件的控制界面组态构成

序号	工控界面组态构成	内容
1	主控窗口	菜单栏
		工程属性设计
2	设备窗口	添加工程设备
		连接设备变量
		注册设备驱动
3	用户窗口	创建动态界面显示
		设置设备运行预警窗口
		人机交互界面
4	实时数据	定义数据变量
5	运行控制	编写控制程序
		集成功能构件

在PLC的基础上，利用RS 485网络建立PLC的虚拟控制程序，实现PC和多个PLC的1:N通信。以MCGS组态软件为基础，对已有驱动器的智能电气仪表进行虚拟控制，对未配置驱动器的设备，通过编写驱动或“软通道”的方式通信。

智能电气仪表状态信号去噪处理

在上述内容的基础上，引进小波分析法，进行智能电气仪表状态信号的去噪处理。小波分析既保留小波变换的多分辨率特性，又可用于现场求解各个系数。该算法只需要相当于输入容量，不需要额外的附加空间，即可实现对信号的处理，避免信号中的噪声影响智能电气仪表的控制效果。在此过程中，选取小波基，对信号拆分后将其重组，得到性能更佳的小波。在此过程中，采用多相位、多项式

小波的提升技术，结合对偶原理及交替原理，使用滤波器进行双轨滤波，进行小波的提升。

此过程共分为三个阶段，分别为分解、预测和更新。分解过程是指将原信号分解成两个独立且不交叠的子集合。此过程计算公式为

$$M_0(a) = M(2a+1) \quad (1)$$

$$M_e(a) = M(2a) \quad (2)$$

式中， M_0 、 M_e 为分解后的奇数信号集、偶数信号集； a 为子集； M 为原始信号。

在此基础上，提取信号中的细节信号，根据信号的波形，按照下述公式，进行信号变化趋势的预测。此过程计算公式为

$$D(a) = M_0(a) - Q(M_e(a)) \quad (3)$$

式中， D 为信号变化趋势的预测结果； Q 为示预测函数。

完成上述处理后，引进更新算子，将其代入预测后信号，迭代偶数信号集合，通过此种方式，获得原始信号的逼近信号。此过程计算公式为

$$G(a) = M_e(a) + Y(D(a)) \quad (4)$$

式中， $G(a)$ 为原始信号的逼近信号； Y 为更新函数。

将得到的逼近信号重复上述操作，实现数据信号的分解。对分解后的信号进行重新合成，合成的过程滤除噪声信号。此过程计算公式为

$$M_0'(a) = G(a) - Y(D(a)) \quad (5)$$

$$M_e'(a) = D(a) - Q(M_e(a)) \quad (6)$$

式中， $M_0'(a)$ 、 $M_e'(a)$ 为去噪后的智能电气仪表状态信号。

基于PLC技术的智能电气仪表自动化控制

完成上述设计后，根据PC端反馈的智能电气仪表状态信号，引进PLC技术，设计电气仪表的自动化控制。此项技术可以将逻辑运算、时序控制等多种功能模块结合，对智能电气仪表的开闭、运行等指令进行智能控制。PLC控制器的本质是一种可编辑的逻辑控制技术，控制器可以将比例控制、积分控制和微分控制结合，在设计工况误差超零的情况下，表明该电气仪表的作业状况发生异常。此时，可以直接在远端断开，对应的控制指令为1。在运

行工况误差小于设计值的情况下，该控制指令为-1。对此过程进行描述，计算公式为

$$Z = \begin{cases} 1, E \neq 0 \\ -1, E = 0 \end{cases} \quad (7)$$

式中，Z为智能电气仪表自动化控制指令；E为智能电气仪表工况偏差；-1表示继续执行仪表运行指令；1表示出现偏差后的控制指令。

当出现偏差后，根据其多项控制参数的拟合，进行偏差的修正。此过程计算公式为

$$U = K_p \delta + K_I \delta + K_D \delta \quad (8)$$

式中，U为偏差的修正； K_p 、 K_I 、 K_D 为控制参数； δ 为控制补偿量。

在此基础上，PLC控制器利用USB接口，向智能电气仪表控制终端传送补偿控制量，对其运行中的工况误差进行补偿，并启动控制程序后，PLC控制器产生并执行控制指令。通过将式（7）和式（8）进行集成，实现以PLC技术为基础的智能电气仪表远程端自动控制逻辑^[9]。此过程计算公式为

$$Z(t) = \begin{cases} 1, E \neq 0 \\ -1, E = 0 \\ 0, U = K_p \delta + K_I \delta + K_D \delta \end{cases} \quad (9)$$

式中， $Z(t)$ 为智能电气仪表远程端自动控制逻辑； t 为时间系数。

对比实验

1. 实验准备

完成上述设计后，为实现对该方法在应用中效果的检验，搭建如图2所示的智能电气仪表远程控制测试现场。

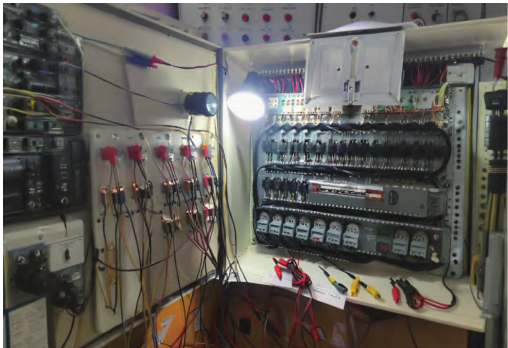


图2 智能电气仪表远程控制测试现场

根据实验需求，对本次实验用智能电气仪表的规格参数进行分析，见表2。

表2 实验用智能电气仪表的规格参数

序号	项目	参数
1	参比电压/V	380
2	电源性质/V	AC/DC 220
3	基本电流/A	1~5
4	频率/Hz	50
5	相数	三相
6	准确度等级	0.5 s级
7	通信接口	RS 485接口
8	型号	PZ96L-E4/2C2MK
9	外形尺寸/mm	62×80×71.2
10	功耗/W	3

在此基础上，引进文献[1-2]提出的方法，将其作为对照，进行智能电气仪表远程控制方法的测试。

2. 智能电气仪表频率控制效果检验

智能电气仪表频率控制效果测试，是为了检测其调频准确度和稳定性。在工业生产和电力系统等领域，对频率的稳定性要求很高。

检测过程中，需要根据实验用智能电气仪表的额定频率指标，应用本文方法、文献[1]和文献[2]方法，进行仪表的远程控制，观测智能仪表是否能够迅速、精确地将实际频率调节到额定值。确保在负载波动、电源波动等扰动下，智能电气仪表仍能保持频率的稳定。

通过采集系统在调频时的动态响应曲线和稳态误差等信息，对仪器调频算法进行综合分析，判定其是否能够满足不同场合对调频的需求，保证系统稳定高效运行。其结果如图3所示。

从图3所示的结果可以看出，在设计条件下，只有应用本文设计的方法，进行智能电气仪表频率控制，才能确保控制后仪表运行频率在排除外界干扰的条件下达到并稳定在设计值。

3. 智能电气仪表远程控制时延检验

智能电气仪表远程控制时延检验的关键是对控制命令下达到实际执行之间的时间间隔，时延的大小对远程控制方法的时效性具有较大影响。

测试时，需要建立稳定的远距离通信环境，仿真控制情景，记录在不同控制距离时，控制指令传送和执行时间的间隔。

通过对时延指标的分析，对控制方法的实时性、可靠性进行评价。如延迟过大，会造成控制指令无法有效执行，从而影响整个仪表的正常工作。

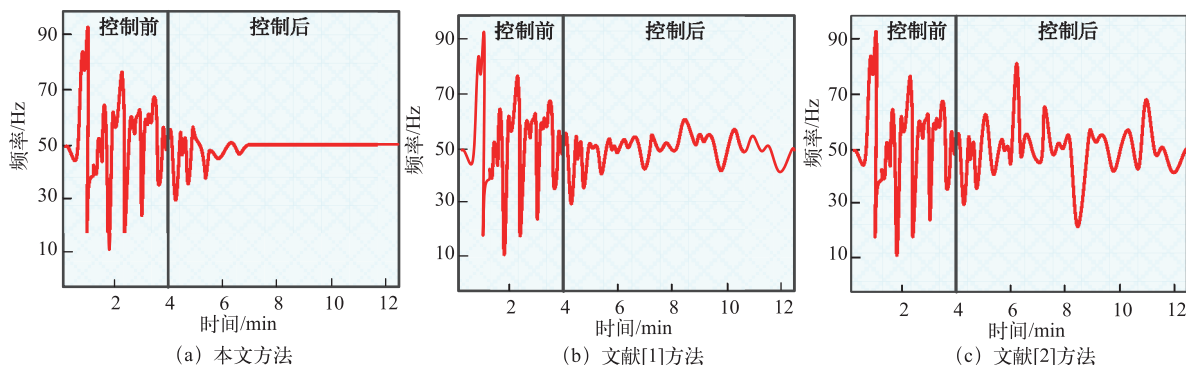


图3 智能电气仪表频率控制效果检验

因此，此项检测对于保证控制方法的高效、安全具有非常重要的意义。其结果如图4所示。

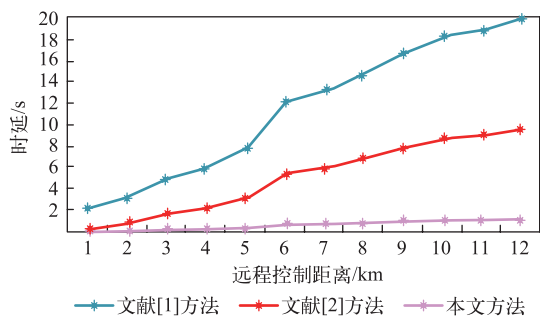


图4 智能电气仪表远程控制时延检验

从图4所示的结果可以看出，设计的方法在应用后，可以保证在远程控制中，将其时延稳定在较低的数值。而文献[1]、文献[2]方法在远程控制中的时延则相对较高。

4. 控制偏差检验

控制偏差测试是用于测量智能电表输出和期望偏差的核心指标，在智能电气仪器控制中，期望输出是根据预先设定控制对象或者生产过程决定的。

实验中，对实际控制过程中的仪表状态数据进行实时获取，得到控制结果与预期值的偏离值。误差越小，说明控制的准确度越高。以此为依据，对实验结果进行分析，如图5所示。

从图5所示的结果可以看出，以额定电压作为控制表，设计的方法应用后，输出电压的偏差极小，基本稳定在 $\pm 3\%$ 范围内，而文献[1]、文献[2]方法控制后的输出电压存在偏差较大的现象，容易影响智能电气仪表的运行效果。

综合上述分析可以看出，三种方法应用后，本文方法的远程控制效果最佳。

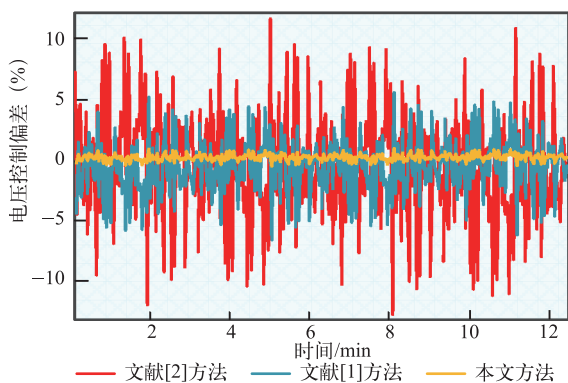


图5 控制偏差检验

结束语

PLC控制方法能够极大地提高工业生产的效率和智能化水平，降低劳动消耗，改善生产的灵活性和响应性，对推动工业自动化的发展具有重大意义。为实现对研究的深化，本文通过基于组态软件的控制界面组态设计、智能电气仪表状态信号去噪处理和基于PLC技术的智能电气仪表自动化控制，完成了此次设计。设计的方法经过对比测试后，证明其可用性，以此种方式，实现对仪表运行的定期规范化管理。EA

(收稿日期：2025-06-10)

参考文献

- [1] 郭强, 张帆云, 李海啸, 等. 高效四开关Buck-Boost变换器多模式控制策略[J]. 仪器仪表学报, 2024, 45(11): 101-116.
- [2] 李彦君, 刘友波, 冉金周, 等. 深度学习驱动的电网无功-电压优化控制策略模型[J]. 电测与仪表, 2023, 60(11): 165-173.