

[调压控制]

基于PLC的有载调压变压器自动调压控制方法

文/方晓贝
杭州江言电力建设有限公司

针对现有控制方法在实际应用中无法实现对有载调压变压器升压或降压的稳定控制，控制时效性较差的问题，引入可编程逻辑控制器（PLC）开展有载调压变压器自动调压控制方法研究。构建有载调压变压器数学模型，结合电压与无功功率相关性，对有载调压变压器综合自动调压模糊控制策略进行设计，最后利用PLC实现有载调压变压器综合自动调压模糊控制。

随着电力系统的发展和负载的不断变化，电压稳定性成为保证电力质量的关键因素。有载调压变压器作为电力系统中重要的电压调节设备，能够在线路运行过程中调整电压，以适应不同负载需求和电网电压波动。然而，传统的有载调压变压器调压控制方法往往依赖人工操作，响应速度慢，调压准确度有限，难以满足现代电力系统对高电压稳定性和快速响应的需求。因此，研究有载调压变压器的自动调压控制方法，以实现电压的实时监控和自动调整，提高电力系统的运行效率和电压质量，成为电力工程领域的一个重要研究方向。

在现有的调压控制方法中，徐志^[1]等人提出基于移相变压器+调压变压器的10 kV配电网合环控制装置及控制方法。在实际应用中，这种方式不仅效率低下，而且在面对复杂多变的电网环境时，难以快速准确地响应电压波动，从而可能导致电网电压失稳，影响设备安全和供电质量。张利^[2]采用STM32F103C8T6单片机，结合ATT7022CU电能采集模块和步进电机驱动器DM2282，实现对变压器输出电压的闭环控制。但是在实际应用中，该方法无法实现对有载调压变压器升压或降压的稳定控制。本文将可编程逻辑控制器（Programmable

Logic Controller, PLC）应用于有载调压变压器的自动调压控制中，实现对电网电压的实时监控和快速响应，以此提高调压准确度和效率。

构建有载调压变压器数学模型

为实现对有载调压变压器的自动化调压控制，首要构建一个精确的数学模型，该模型能够准确地反映有载调压变压器的运行特性，从而便于后续PLC进行高效且准确地识别。通过这一数学模型，还能深入分析有载调压过程中的各种动态特性。

在建模过程中，考虑到励磁支路的复杂性及其与其他部分的交互影响，暂时将其视为一个“黑盒子”来进行处理。这样做可以简化建模过程，同时也不会对整体模型的准确性和有效性产生显著影响。在上述假设基础上，得出以下方程

$$u = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

$$e = \alpha Ri + \alpha L \frac{di}{dt} + \alpha u \quad (2)$$

$$i = \frac{i_0}{\alpha} i' \quad (3)$$

式中， u 为变压器一次侧电压； R 为等效漏电阻； i 为

变压器一次侧电流； L 为串联支路负载； e 为励磁支路电压； α 为电压比； u 为二次侧电压； i_0 为励磁支路电流； i' 为二次侧电流。

通过上述公式的联立可以描述变压器中铁心磁滞、磁饱和以及涡流损失的影响，将上述联立的公式作为有载调压变压器数学模型。

基于PLC的有载调压变压器综合自动调压模糊控制

结合电压与无功功率相关性，对有载调压变压器综合自动调压模糊控制策略进行设计。在无功调整准则中，引入电压状态，保证无功和电压调整之间的协调，使得电容器的投切阈值是一个模糊的、受到电压影响的界限。结合这一思想，将上述建立的数学模型代入，针对变压器投切判据建立下述数学公式

$$Q = \alpha \frac{u - u_n}{n_n} + \alpha \frac{Q_1}{Q_0} \quad (4)$$

式中， Q 为实时无功功率值； u_n 为标准电压； Q_0 为每组变压器容量； Q_1 为电容输入鉴别量。

根据上述公式，得出：当 $u = u_n$ ，且 $Q \geq 1.5 Q_0$ 时，可以投入一组电容，用于调节变压器。当 $u = 1.05 u_n$ ，且 $Q \geq 2.0 Q_0$ 时，可以投入一组电容，用于调节变压器。在这一过程中，投入一组电容器的动作条件应满足 $Q \geq 1$ 。在此基础上，提出一种无功投切准则，并对其进行了电压/无功分区。该控制方案的一个显著特点是，将传统的固定无功功率上、下限边界转变为与电压变化相关联的模糊边界。这种模糊边界的斜率可以根据不同的时间段和负荷水平进行灵活调整，从而提高无功补偿的精确性和适应性。

在此基础上，通过引入PLC技术，提升变压器的自动化控制水平。在选型时，选择四路输入的EM231 A/D转换模块，该模块具备高达12位的转换准确度，其测量范围涵盖了双极性（-32 000 ~ +32 000）和单极性（0 ~ 32 000）两种模式，确保广泛的适用性。首先，利用PLC实时采集电网电压和负载电流信号；然后，根据预设的控制策略计算出所需的分接开关调节位置；接着，发送控制信号给步进电动机驱动器，驱动步进电机带动变压器分接开关旋转至指定位置；最后，通过PLC持续监控

电压和负载变化，实现对变压器输出的实时调节，确保电压稳定。这种方法提高了调压控制的自动化水平和准确度，增强电力系统的稳定性和可靠性。

1) 信号采集。PLC连接到电压互感器和电流互感器，实时采集变压器输入端的电网电压和输出端的负载电流。

2) 控制策略编程。在PLC中编写控制程序，定义如何处理采集到的电压和电流数据。控制策略包括设置电压基准值、启用反馈控制环路，以及定义调压动作的触发条件和步骤。

3) 计算调节需求。PLC内的程序根据当前的电压和设定的基准电压，计算出所需的电压调节量。

4) 执行机构控制。PLC向步进电动机驱动器发送数字信号，以控制步进电动机的旋转。

5) 分接开关调节。步进电动机的旋转通过机械连接带动变压器的分接开关。调节、改变变压器的匝数比，从而调整输出电压。

6) 反馈监控。调压过程中，PLC持续监控输出电压，并将实际电压与设定电压进行比较。如果实际电压偏离设定值，PLC会调整步进电动机的控制信号，以使输出电压恢复到设定值。

7) 系统稳定性和保护。控制程序还包括保护逻辑，以防止超过变压器的最大工作电压或电流，以及在发生故障时立即停止调压动作，保护变压器和整个电力系统。

对比实验

在上述论述基础上，为验证所提控制方法的实际应用效果，将基于移相变压器+调压变压器的控制方法设置为对照A组，将基于单片机的控制方法设置为对照B组，将本文上述提出的基于PLC的控制方法设置为实验组，利用三种控制方法对相同有载调压变压器进行调压控制。

所选有载调压变压器为2 000 kV·A有载调压干式变压器，该变压器电压组合为6 ~ 11 ± 2 × 2.5%/0.4 kV，空载电流为2.1%，空载损耗为190 W，短路阻抗为4.0%，总重量为2 618 kg，冷却方式为AN/AF。此次实验，利用三种方法完成对该变压器的降压控制，将三种控制方法的控制结果绘制成图1~图3所示。

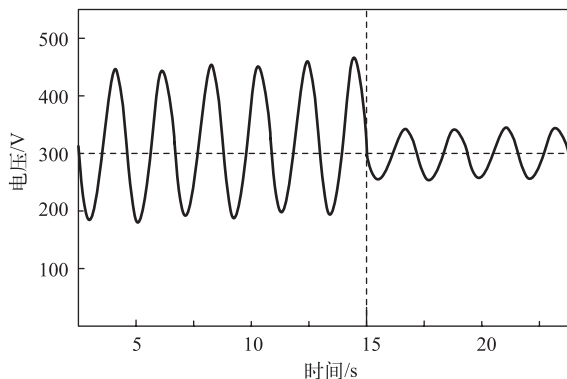


图1 实验组变压器降压控制效果图

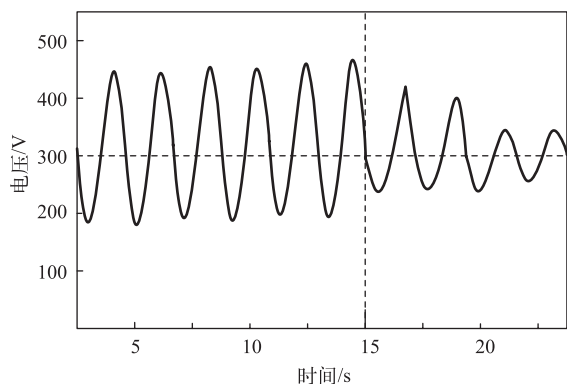


图2 对照A组变压器降压控制效果图

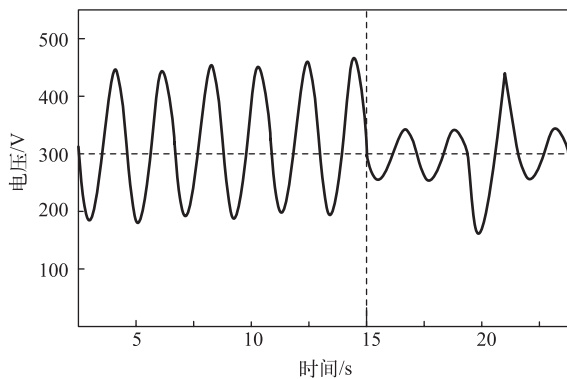


图3 对照B组变压器降压控制效果图

通过对比图1~图3的详细数据,可以清晰地看到这三种控制方法在15 s这一关键时间点对变压器降压控制的影响。

首先,分析图1所展示的实验组控制方法的效果。在这一控制方法下,变压器在15 s时刻几乎立即响应,迅速达到预期的降压目标。更为显著的是,一旦达到目标电压后,变压器便能够维持在一个非常稳定的状态,几乎没有出现任何明显的波动。这种迅速且稳定的响应不仅证明实验组控制方

法的高效性,也显示出在保证变压器运行稳定性方面的优越性。

接下来,分析对照A组控制方法。从图2中可以看出,当在15 s时刻启动降压控制时,虽然变压器开始逐步降低其运行电压,但这一过程显得相对缓慢。这意味着对照A组的控制方法在确保降压控制的时效性上存在明显不足。尤其是在当今需要快速响应和高效率的工业环境中,这种延迟可能会带来不必要的风险和损失。

最后,分析对照B组控制方法。虽然该方法在15 s时刻也能够使变压器开始降压,但随后出现的电压波动却是一个不容忽视的问题。从图3中可以看出,这些波动不仅幅度大,而且频繁出现,这无疑对变压器的整体运行稳定性构成严重威胁。这种不稳定性可能导致变压器在运行过程中出现各种故障,甚至可能对整个电力系统造成不良影响。

综上所述,通过对三种不同控制方法的深入对比和分析,可以明确地得出结论:实验组控制方法不仅能够在15 s时刻迅速实现降压控制,而且能够确保变压器在降压后保持稳定运行状态。这种高效且稳定的控制效果无疑使实验组控制方法成为三种控制方法中最理想的选择。

结束语

本文探讨了基于PLC的有载调压变压器自动调压控制方法,旨在通过PLC的强大逻辑处理能力和高可靠性,提高有载调压变压器的调压准确度和效率,确保电网电压的稳定性和供电质量。尽管在实际应用中还存在一些挑战和问题,但随着技术的不断发展和研究的深入,相信这些问题将得到有效解决。**EA**

(收稿日期:2024-06-03)

参考文献

- [1] 徐志,刘静佳,蒋羽鹏,等.基于移相变压器+调压变压器的10 kV配电网合环控制装置及控制方法[J].南方电网技术,2023,17(03):85-96.
- [2] 张利.基于单片机的变压器有载调压控制器设计[J].装备制造技术,2023,(03):81-84.