



Development of a Real-time Power Quality Monitoring System for Low-Voltage Transformers Using IoT and Firebase Cloud

Sengphet Chansouk¹, Phutsavanh Thongphanh², Donekeo Lakanchanh³, Xaysamone Dittaphong⁴, Soumek Inthala⁵ and Khamsavad Vongpaxa⁶

¹⁻⁴Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, National University of Laos. ⁵Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, National University of Laos. ⁶Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Champasak University.

Abstract

Currently, low-voltage distribution transformers (22/0.4 kV) frequently encounter overloading and phase unbalance issues. Traditional manual inspections lack continuity, while Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems incur prohibitively high installation costs. This research article aims to develop a real-time three-phase power quality monitoring system for low-voltage distribution transformers using Internet of Things (IoT) technology to overcome the limitations of inspection latency. The system architecture consists of a Schneider PM2230 meter as the primary measurement unit, processed via an Arduino Mega 2560 microcontroller, and transmits data through a SIM7600E module to the Firebase Cloud Database. Laboratory calibration results indicate that the developed system achieves high accuracy, with an average error of only 0.55% for voltage and 0.04% for current compared to a FLUKE 115 standard reference instrument. The highlight of this research is its ability to immediately detect phase unbalance problems at a significantly lower installation cost than standard SCADA systems. By providing real-time alerts, the system successfully reduces the detection time from hours to seconds, which is highly beneficial for the implementation of future predictive maintenance strategies for distribution transformers.

Keywords: Power Quality Monitoring, IoT System, Distribution Transformer, Energy Management.

¹**Correspondence:** Sengphet Chansouk, Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, National University of Laos. E-mail: Sedpheng06@gmail.com

Article Info:
Submitted: April 20, 2026
Revised: May 29, 2026
Accepted: June 26, 2026

1. ພາກສະເໜີ

ໃນສະພາວະປັດຈຸບັນ, ການບໍລິຫານຈັດການພະລັງງານໄຟຟ້າໃນລະບົບຈຳໜ່າຍກຳລັງປະເຊີນກັບສິ່ງທ້າທາຍອັນໃຫຍ່ຫຼວງເນື່ອງຈາກການເພີ່ມຂຶ້ນຢ່າງວ່ອງໄວຂອງຄວາມຕ້ອງການພະລັງງານຕາມການຂະຫຍາຍຕົວຂອງຕົວເມືອງ ແລະ ພາກສ່ວນອຸດສາຫະກຳ (Habibu et al., 2025). ໜ້ແປງໄຟຟ້າແຮງດັນຕ່ຳ (22/0.4 kV) ຖືເປັນຫົວໃຈສຳຄັນທີ່ເຮັດໜ້າທີ່ສົ່ງຈ່າຍໄຟຟ້າໃຫ້ແກ່ຜູ້ໃຊ້ງານໂດຍກົງ, ແຕ່ບັນຫາດ້ານຄຸນນະພາບພະລັງງານ ເຊັ່ນ: ແຮງດັນຕົກ, ກະແສເກີນ ແລະ ຄວາມບໍ່ສົມດຸນຂອງເຟດ ມັກນຳໄປສູ່ການສູນເສຍພະລັງງານໃນລະບົບ ແລະ ຫຼຸດອາຍຸການໃຊ້ງານຂອງໜ້ແປງໄຟຟ້າຢ່າງຫຼວງຫຼາຍ (Ptacek et al., 2019; Shilpa et al., 2024). ຍິ່ງໄປກວ່ານັ້ນ, ການວິເຄາະການໄຫຼຂອງກຳລັງໄຟຟ້າດ້ວຍວິທີການທີ່ທັນສະໄໝ ແມ່ນມີຄວາມຈຳເປັນຢ່າງຍິ່ງເພື່ອຮອງຮັບການບໍລິຫານຈັດການພະລັງງານແບບອັດຕະໂນມັດ (Al Shaltouni & Ismail, 2023). ເຖິງແມ່ນວ່າເຕັກໂນໂລຊີການຕິດຕາມອັດຕະໂນມັດ ເຊັ່ນ ເຄື່ອງຄວບຄຸມໂລຈິກທີ່ສາມາດໂປຣແກຣມໄດ້ ແລະ ການສະແດງຜົນຜ່ານໜ້າຈໍໂຕ້ຕອບ ຈະຖືກນຳໃຊ້ຢ່າງກວ້າງຂວາງເພື່ອເພີ່ມປະສິດທິພາບໃນຂະແໜງອຸດສາຫະ

ກຳອື່ນໆ (Southisombath et al., 2025) ແລະ ມີການສຶກສາເຖິງບັດໄຈດ້ານພຶດຕິກຳຂອງຜູ້ໃຊ້ຕໍ່ການຈັດການພະລັງງານ (Hakawati et al., 2024), ແຕ່ການນຳໃຊ້ເຕັກໂນໂລຊີດັ່ງກ່າວເຂົ້າໃນການຕິດຕາມໜ້ແປງຈຳໜ່າຍໃນວົງກວ້າງຍັງມີຂໍ້ຈຳກັດ.

ໂດຍປົກກະຕິ, ວິທີການຕິດຕາມແບບດັ້ງເດີມທີ່ອາໄສເຈົ້າໜ້າທີ່ລົງກວດກາຕົວຈິງ ແມ່ນຂາດຄວາມຕໍ່ເນື່ອງ ແລະ ບໍ່ສາມາດກວດພົບບັນຫາໄດ້ທັນທີທາງທີ (Ghulam et al., 2023). ເຖິງແມ່ນວ່າຈະມີລະບົບຄວບຄຸມ ແລະ ເກັບກຳຂໍ້ມູນ ເຊັ່ນ: ລະບົບສະກາດາ ທີ່ໃຊ້ໃນສະຖານີໄຟຟ້າແຮງສູງ, ແຕ່ການນຳໃຊ້ມາຕິດຕາມໜ້ແປງຈຳໜ່າຍທຸກໜ່ວຍແມ່ນເປັນເລື່ອງຍາກ ເນື່ອງຈາກຕົ້ນທຶນການຕິດຕັ້ງທີ່ສູງ ແລະ ມີລະບົບສື່ສານທີ່ຊັບຊ້ອນ (Zhang et al., 2024). ດ້ວຍເຫດນີ້, ບົດວິໄຈນີ້ຈຶ່ງໄດ້ນຳສະເໜີການພັດທະນາລະບົບຕິດຕາມຄຸນນະພາບພະລັງງານ ໂດຍນຳໃຊ້ເຕັກໂນໂລຊີອິນເຕີເນັດສັນຍານສິ່ງຂອງ ຮ່ວມກັບຄລາວເຟເບສ. ຄວາມແຕກຕ່າງທີ່ສຳຄັນຂອງງານວິໄຈນີ້ຄື ການເຊື່ອມໂຍງອຸປະກອນວັດແທກລະດັບອຸດສາຫະກຳເຂົ້າກັບແຟລດຟອມຄລາວ ທີ່ມີຄວາມສະຖຽນສູງ ແລະ ນຳໃຊ້ຊຸດອຸປະກອນ ທີ່ມີຕົ້ນທຶນຕ່ຳກວ່າລະບົບມາດຕະຖານຂະໜາດໃຫຍ່. ຈຸດປະສົງຫຼັກ

ແມ່ນເພື່ອສ້າງລະບົບທີ່ສາມາດ ກວດກາ ແລະ ແຈ້ງເຕືອນສະພາວະຜິດປົກກະຕິ (ແຮງດັນ, ກະແສ ແລະ ຄວາມບໍ່ສົມດຸນຂອງຟຸດ) ແບບເວລາຈິງ ເພື່ອໃຫ້ວິສະວະກອນສາມາດນຳເອົາຂໍ້ມູນດັ່ງກ່າວໄປວິເຄາະຍ້ອນຫຼັງ ແລະ ວາງແຜນປັບໂຫຼດໃຫ້ສົມດຸນ ພ້ອມທັງວາງແຜນການບຳລຸງຮັກສາແບບຄາດການໄດ້ຢ່າງທັນຫວ່ງທີ່ ເຊິ່ງຊ່ວຍປົດຊ່ອງຫວ່າງດ້ານການຂາດແຄນຂໍ້ມູນພາກສະໜາມທີ່ລະບົບແບບເກົ່າຍັງບໍ່ສາມາດຕອບໂຈດໄດ້ຢ່າງທົ່ວເຖິງ.

2. ອຸປະກອນ ແລະ ວິທີການ

2.1 ການທົດລອງ

ອຸປະກອນວັດແທກຫຼັກແມ່ນ Schneider PM2230 ເຊິ່ງມີຄວາມຊັດເຈນສູງ. ການອອກແບບລະບົບຕິດຕາມ 3 ເຟດ ໂດຍນຳໃຊ້ IoT ນີ້ ແມ່ນສອດຄ່ອງກັບແນວທາງການພັດທະນາຫົວໜ່ວຍຕິດຕາມຄຸນນະພາບຜະລິງງານທີ່ເນັ້ນຄວາມຊັດເຈນຂອງຂໍ້ມູນ (Prasetyo et al., 2024). ນອກຈາກນີ້, ການຕິດຕາມຜະລິງງານທົດແທນ ເຊັ່ນ: ຜະລິງງານແສງອາທິດ ກໍມີການນຳໃຊ້ລະບົບຕິດຕາມເພື່ອປຽບທຽບປະສິດທິພາບລະຫວ່າງລະບົບຄົງທີ່ ແລະ ລະບົບໝູນຕາມແສງ (Thaxaiya et al., 2024). ລະບົບຮາດແວຣ໌ໄດ້ຖືກອອກແບບມາເພື່ອຮອງຮັບການວັດແທກໄຟຟ້າ 3 ເຟດ 4 ສາຍ ທີ່ມີຄວາມຊັບຊ້ອນ ໂດຍມີອົງປະກອບຫຼັກດັ່ງທີ່ສະແດງໃນ ຮູບທີ 1 ແຜນຜັງລະບົບວັດແທກ. ການອອກແບບລະບົບໄດ້ມຸ່ງເນັ້ນຄວາມທົນທານ ແລະ ຄວາມຊັດເຈນໃນການວັດແທກ ໂດຍແບ່ງອອກເປັນ 3 ສ່ວນຫຼັກ:

1. Sensing Unit: ນຳໃຊ້ Current Transformer (CT) ຂະໜາດ 400/5A ແລະ Power Meter Schneider PM2230 ເຊິ່ງມີຄວາມຊັດເຈນໃນລະດັບ Accuracy Class 0.5S ຕາມມາດຕະຖານ IEC 62053-22. ລະບົບໃຊ້ຫຼັກການຄິດໄລ່ຄ່າແບບ Root Mean Square (RMS) ດັ່ງສົມຜົນລຸ່ມນີ້:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^2} \quad (1)$$

2. Processing Unit: ໃຊ້ Arduino Mega 2560 ເປັນຕົວຄວບຄຸມຫຼັກ ເພື່ອອ່ານຂໍ້ມູນຜ່ານໂປຣໂຕຄອນ Modbus RS485 ແລະ ສື່ສານກັບໂມດູນ SIM7600 (3G/4G) ສຳລັບການສົ່ງຂໍ້ມູນໄຮ້ສາຍ.
3. Power Supply & Protection: ປະກອບດ້ວຍຊຸດຈ່າຍໄຟ Switching Power Supply (AC 220V to DC 12V/5V) ພ້ອມລະບົບ DC UPS ເພື່ອສຳຮອງໄຟໃຫ້ລະບົບ IoT ເຮັດວຽກໄດ້ຕໍ່ເນື່ອງ.

2.2 ເຄື່ອງມືຊອບແວ

ໃນພາກສ່ວນຊອບແວຣ໌, ລະບົບໄດ້ຖືກພັດທະນາຂຶ້ນເພື່ອໃຫ້ມີຄວາມໝັ້ນຄົງສູງ:

- Arduino IDE: ໃຊ້ຂຽນ Code ເພື່ອຈັດການຂໍ້ມູນ ໃຫ້ຢູ່ໃນຮູບແບບ JSON.

- Firebase Real-time Database: ໃຊ້ເປັນແຜລດຟອມໃນການຈັດເກັບຂໍ້ມູນແບບ NoSQL ທີ່ຮອງຮັບການເຂົ້າເຖິງແບບ Real-time (Parmanee et al., 2024).
- Web Dashboard: ພັດທະນາດ້ວຍ HTML/JavaScript ເພື່ອສະແດງຜົນໃນຮູບແບບ Dashboard ທີ່ເຂົ້າໃຈງ່າຍ.

2.3 ການອອກແບບການຄວບຄຸມ

ລະບົບມີລະບົບການເຮັດວຽກທີ່ເປັນເອກະລາດ ດັ່ງທີ່ສະແດງໃນຮູບທີ 2 ຜັງການຕໍ່ວົງຈອນຮາດແວຣ໌ ແລະ ການເຊື່ອມຕໍ່ອຸປະກອນ. ຈຸດເດັ່ນຂອງ Logic ນີ້ຄືການກວດສອບການເຊື່ອມຕໍ່ເຄືອຂ່າຍ; ຫາກພົບວ່າສັນຍານອິນເຕີເນັດຂັດຂ້ອງ (Bounnady et al., 2022), ລະບົບຈະປ່ຽນໄປໃຊ້ "Local Storage Mode" ໂດຍການບັນທຶກຂໍ້ມູນລົງ SD Card ໂດຍອັດຕະໂນມັດ ເພື່ອປ້ອງກັນຂໍ້ມູນສູນຫາຍ (Ismail & Sahari, 2024). ຈາກ ຮູບທີ 2 ສະແດງໃຫ້ເຫັນເຖິງຂັ້ນຕອນການເຮັດວຽກຂອງລະບົບ:

1. System Initialization: ເລີ່ມຕົ້ນລະບົບໂດຍການກວດສອບການເຊື່ອມຕໍ່ກັບ RTC, Schneider PM2230 ຜ່ານ RS485 ແລະ SIM7600 (3G/4G) ຜ່ານ UART.
2. Data Acquisition: ໂມງເວລາຈິງ (RTC) ຈະບັນທຶກເວລາປະຈຸບັນ. ຈາກນັ້ນ, Arduino ຈະສົ່ງຄຳສັ່ງ ທຸກໆ 1 ວິນາທີ ຜ່ານ RS485 ໄປຫາ Schneider PM2230 ເພື່ອດຶງຄ່າແຮງດັນ (V), ກະແສ (I), Frequency (f), Power Factor (PF), ແລະ ກຳລັງໄຟຟ້າ (P, Q, S).
3. Data Conversion & Packaging: Arduino ຈະປະມວນຜົນຂໍ້ມູນ ແລະ Packaging ຂໍ້ມູນໃຫ້ຢູ່ໃນຮູບແບບ JSON ກ່ອນສົ່ງຂຶ້ນ Cloud.
4. Network Status and Sync Control: ກວດສອບສະຖານະການເຊື່ອມຕໍ່. ຫາກສັນຍານອິນເຕີເນັດຂັດຂ້ອງ, ລະບົບຈະປ່ຽນໄປໃຊ້ Buffer Mode ໂດຍການບັນທຶກຂໍ້ມູນລົງໃນ Micro SD Card ໃນຮູບແບບ CSV File. ເມື່ອສັນຍານກັບຄືນມາ, ລະບົບຈະທຳການ "Sync" ຫຼື ສົ່ງຂໍ້ມູນທີ່ຄ້າງຢູ່ນັ້ນຂຶ້ນ Cloud ທັນທີ ເພື່ອບໍ່ໃຫ້ເກີດຊ່ອງວ່າງຂອງຂໍ້ມູນ ໃນເສັ້ນສະແດງ (Ismail & Sahari, 2024).

ຜັງການໄຫຼຂອງການເຮັດວຽກນີ້ ສະແດງໃຫ້ເຫັນເຖິງການອອກແບບ Logic ທີ່ເນັ້ນຄວາມຄົບຖ້ວນ ແລະ ຄວາມໝັ້ນຄົງຂອງຂໍ້ມູນ ເພື່ອໃຫ້ສາມາດຕິດຕາມຄຸນນະພາບຜະລິງງານຂອງໝໍ້ແປງໄຟຟ້າຈຳໜ່າຍແຮງດັນຕ່ຳ (22/0.4kV) ໄດ້ຢ່າງມີປະສິດທິພາບ.

2.4 ຂັ້ນຕອນການທົດລອງ ແລະ ການເກັບກຳຂໍ້ມູນ

1. ວິທີການເກັບກຳຂໍ້ມູນ

ການເກັບກຳຂໍ້ມູນໃນງານວິໄຈນີ້ ຖືກອອກແບບມາເພື່ອຮັບປະກັນທັງ "ຄວາມຖືກຕ້ອງໃນຫ້ອງທົດລອງ" ແລະ "ປະສິດທິພາບໃນການໃຊ້ງານຈິງ", ໂດຍແບ່ງອອກເປັນ 2 ໄລຍະຫຼັກ:

- ໄລຍະທີ 1: ການເກັບກຳຂໍ້ມູນເພື່ອການສອບທຽບ: ວິທີການ: ເກັບກຳຄ່າແຮງດັນ, ກະແສໄຟຟ້າ ແລະ ຄ່າອື່ນໆ

ຈາກລະບົບ IoT ທີ່ພັດທະນາຂຶ້ນ ປຽບທຽບກັບຄ່າທີ່ອ່ານໄດ້ຈາກເຄື່ອງມືວັດແທກມາດຕະຖານ FLUKE 115. ຈຸດປະສົງ: ເພື່ອຫາຄ່າ Parameter ທີ່ຊັດເຈນ ແລະ ກວດສອບຄວາມຜິດດ່ຽງຂອງເຊັ່ນເຊີ ກ່ອນນຳໄປຕິດຕັ້ງຈິງ (ອ້າງອີງຕາມແນວທາງຂອງ Priya & Chekuri, 2017).

- ໄລຍະທີ 2: ການເກັບກຳຂໍ້ມູນພາກສະໜາມ: ວິທີການ: ຕິດຕັ້ງລະບົບໃສ່ໜ້າແປງໄຟຟ້າຈົງຂະໜາດ 400 kVA ເປັນເວລາ 10 ວັນ. ຂໍ້ມູນຈະຖືກສົ່ງຜ່ານໂມດູນ SIM7600E ໄປຈັດເກັບໄວ້ທີ່ Firebase Cloud Database ແບບ Real-time ທຸກໆວິນາທີ. ການສຳຮອງຂໍ້ມູນ: ຫາກສັນຍານອິນເຕີເນັດຂັດຂ້ອງ, ລະບົບຈະເກັບຂໍ້ມູນລົງໃນ SD Card ເພື່ອປ້ອງກັນຂໍ້ມູນສູນຫາຍ.

2. ວິທີການວິເຄາະຂໍ້ມູນ

ເມື່ອໄດ້ຂໍ້ມູນມາແລ້ວ, ຈະນຳມາຜ່ານຂະບວນການວິເຄາະດັ່ງນີ້:

- ການວິເຄາະຄວາມຖືກຕ້ອງ: ນຳຂໍ້ມູນຈາກໄລຍະທີ 1 ມາຄິດໄລ່ຫາຄ່າຜິດດ່ຽງສ່ວນຮ້ອຍ ເພື່ອຢັ້ງຢືນຄຸນນະພາບຂອງອຸປະກອນ ໂດຍໃຊ້ສູດ:

$$\%Error = \left| \frac{V_{ref} - V_{meas}}{V_{ref}} \right| \times 100\% \quad (2)$$

- ການວິເຄາະພຶດຕິກຳການໃຊ້ໄຟຟ້າ: ນຳຂໍ້ມູນ 10 ວັນ ຈາກ Cloud ມາສ້າງເປັນເສັ້ນສະແດງ ເພື່ອວິເຄາະຫາ: Peak Demand: ຊ່ວງເວລາທີ່ມີການໃຊ້ໄຟສູງສຸດ ແລະ Phase Unbalance: ວິເຄາະຄວາມບໍ່ສົມດຸນຂອງແຕ່ລະເຟດ (L1, L2, L3) ເພື່ອປະເມີນຄວາມສ່ຽງຂອງໜ້າແປງ.
- ການວິເຄາະຄວາມສະຖຽນຂອງລະບົບ: ວິເຄາະຄວາມຕໍ່ເນື່ອງຂອງຂໍ້ມູນ ໂດຍການປຽບທຽບຂໍ້ມູນລະຫວ່າງ Cloud ແລະ SD Card ເພື່ອເບິ່ງວ່າລະບົບສາມາດເຮັດວຽກໄດ້ທົນທານຕໍ່ສະພາບແວດລ້ອມຕົວຈິງໄດ້ໜ້ອຍຫຼາຍພຽງໃດ (ຄ້າຍກັບການທົດສອບຄວາມທົນທານໃນງານວິໄຈຂອງ Outhaile et al., 2025).

ໃນການວິເຄາະຂໍ້ມູນ, ຜູ້ນຳສະເໜີໄດ້ນຳໃຊ້ຊອບແວ Microsoft Excel ໃນການປະມວນຜົນຂໍ້ມູນທີ່ໄດ້ຈາກ Firebase Cloud ໂດຍການຄິດໄລ່ຫາຄ່າຜິດດ່ຽງສ່ວນຮ້ອຍ (% Error) ແລະ ສ້າງເສັ້ນສະແດງພຶດຕິກຳການໃຊ້ໄຟຟ້າ ເພື່ອວິເຄາະຫາຊ່ວງເວລາທີ່ມີການໃຊ້ໄຟສູງສຸດ ແລະ ກວດສອບຄວາມບໍ່ສົມດຸນຂອງເຟດຢ່າງລະອຽດ.

3. ຜົນໄດ້ຮັບ

3.1 ຄວາມຖືກຕ້ອງທາງດ້ານເຕັກນິກ ແລະ ການຢັ້ງຢືນ

ຜົນການທົດສອບຄວາມຖືກຕ້ອງ ໃນຫ້ອງທົດລອງ (ຮູບທີ 4 ແລະ ຮູບທີ 5) ໂດຍການປຽບທຽບລະຫວ່າງລະບົບ IoT ແລະ ເຄື່ອງມືອ້າງອີງ FLUKE 115 ພົບວ່າມີຄວາມສອດຄ່ອງກັນສູງ (ດັ່ງສະແດງໃນຕາຕະລາງທີ 1). ຄ່າຜິດດ່ຽງສ່ວນຮ້ອຍ (% Error) ແມ່ນຄິດໄລ່ຕາມ

ສົມຜົນ (2). ເຊິ່ງເຫັນວ່າຜົນຂອງການທົດສອບເຊັ່ນເຊີວັດແທກແຮງດັນໄຟຟ້າກ່ອນ ແລະ ຫຼັງການປັບຖືກ. ພົບວ່າຄ່າແຮງດັນກ່ອນການປັບຖືກມີຄວາມແຕກຕ່າງ ແລະ ຄາດເຄື່ອນຈາກຄ່າອ້າງອີງຢ່າງເຫັນໄດ້ຊັດເຈນ ເນື່ອງຈາກຂໍ້ຈຳກັດດ້ານຄວາມບໍ່ເປັນເສັ້ນຊື່) ຂອງເຊັ່ນເຊີອານາລັອກ ແລະ ຄ່າຄວາມຜິດພາດລະບົບ ຂອງຕົວອຸປະກອນເອງ ເຊິ່ງຖືວ່າເປັນຄ່າທີ່ຍັງບໍ່ທັນສາມາດນຳໄປໃຊ້ງານຈິງໄດ້. ແນວໃດກໍຕາມ, ພາຍຫຼັງທີ່ໄດ້ນຳໃຊ້ສົມຜົນຄຳນວນປັບຄ່າ ທີ່ສ້າງຂຶ້ນ, ຄ່າແຮງດັນທີ່ໄດ້ຮັບການປັບຖືກແລ້ວແມ່ນມີຄວາມຖືກຕ້ອງ, ແມ້ນຍຳ ແລະ ມີແນວໂນ້ມທັບຊ້ອນກັບຄ່າອ້າງອີງຈາກເຄື່ອງມືມາດຕະຖານຢ່າງສົມບູນ.

ນອກຈາກນີ້, ງານວິໄຈນີ້ໄດ້ເນັ້ນໃສ່ການອອກແບບໃຫ້ເປັນລະບົບຕິດຕາມ ແລະ ແຈ້ງເຕືອນສະພາວະຜິດປົກກະຕິ (ແບບເວລາຈິງ) ໂດຍມີຈຸດປະສົງເພື່ອໃຫ້ຂໍ້ມູນແກ້ວິສະວະກອນໃນການວາງແຜນ ແລະ ຕັດສິນໃຈ ໂດຍບໍ່ໄດ້ມີການເພີ່ມລະບົບຕັດໄຟອັດຕະໂນມັດ ຢູ່ຕົວອຸປະກອນພາກສະໜາມ. ເຫດຜົນຍ້ອນວ່າ ການນຳໃຊ້ລະບົບຕັດໄຟອັດຕະໂນມັດໃນລະດັບໜ້າແປງຈຳໜ່າຍ ຫາກເກີດຄວາມຜິດພາດຈາກການປະມວນຜົນ ຫຼື ຄວາມກວນຂອງສັນຍານ ຈະສົ່ງຜົນໃຫ້ເກີດສະພາວະໄຟດັບເປັນວົງກວ້າງ ແລະ ກະທົບຕໍ່ຄວາມສະຖຽນຂອງລະບົບຈ່າຍໄຟ. ດັ່ງນັ້ນ, ການແຈ້ງເຕືອນເພື່ອໃຫ້ເຈົ້າໜ້າທີ່ເຕັກນິກເຂົ້າກວດກາ ແລະ ແກ້ໄຂຈຶ່ງເປັນວິທີການທີ່ມີຄວາມປອດໄພສູງສຸດໃນພາກປະຕິບັດຕົວຈິງ.

3.2 ຜົນການວິເຄາະພາກສະໜາມ

ຈາກການຕິດຕັ້ງທົດສອບພາກສະໜາມ (ຮູບທີ 3) ແລະ ບັນທຶກຂໍ້ມູນຜ່ານລະບົບ IoT, ເສັ້ນສະແດງພຶດຕິກຳການໃຊ້ໄຟຟ້າ ໃນຮູບທີ 6 ສາມາດຈຳແນກປະເພດສາຄັນໄດ້ດັ່ງນີ້:

- Peak Demand: ລະບົບກວດພົບຊ່ວງເວລາທີ່ມີການໃຊ້ໄຟຟ້າສູງສຸດລະຫວ່າງ 10:00 – 16:00 ໂມງ (ຄ່າກະແສຢູ່ທີ່ 120A - 135A). ຮູບແບບນີ້ສະທ້ອນໃຫ້ເຫັນເຖິງການເຮັດວຽກຂອງເຄື່ອງຈັກ ຫຼື ອຸປະກອນໄຟຟ້າໃນພາກສ່ວນອຸດສາຫະກຳ/ທຸລະກິດໃນຊ່ວງເວລາປະຕິບັດງານຫຼັກ.
- Phase Unbalance: ພົບສະພາວະຄວາມບໍ່ສົມດຸນຂອງເຟດໂດຍເຟດ L1 ມີການໄຫຼດສູງກວ່າເຟດອື່ນໆສະເລ່ຍ 15%. ຂໍ້ມູນນີ້ຊ່ວຍໃຫ້ວິສະວະກອນສາມາດລະບຸຈຸດທີ່ມີຄວາມສ່ຽງຕໍ່ການເກີດຄວາມຮ້ອນສະສົມໃນຂົດລວດຂອງໜ້າແປງ ແລະ ສາມາດວາງແຜນປັບປ່ຽນການຕໍ່ໂຫຼດ ເພື່ອຫຼຸດຜ່ອນການສູນເສຍພະລັງງານໃນສາຍ Neutral.

4. ວິພາກຜົນ

1. ຄວາມຊັດເຈນ ແລະ ຄວາມຄຸ້ມຄ່າດ້ານຕົ້ນທຶນ: ຜົນການທົດສອບຄວາມຖືກຕ້ອງໃນຫ້ອງທົດລອງໃນຕາຕະລາງທີ 1 ສະແດງໃຫ້ເຫັນວ່າ ລະບົບມີຄ່າຜິດດ່ຽງ ຂອງແຮງດັນພຽງ 0.55% ແລະ ກະແສໄຟຟ້າ 0.04% ເມື່ອທຽບກັບເຄື່ອງມືອ້າງອີງມາດຕະຖານ FLUKE 115. ຄ່າຜິດດ່ຽງທີ່ຕໍ່ານີ້ຖືວ່າຢູ່ໃນເກນມາດຕະຖານອຸດສາຫະກຳໄຟຟ້າທີ່ຍອມຮັບໄດ້ ແລະ ສອດຄ່ອງກັບການວິໄຈຂອງ Abubakar et al. (2017) ທີ່ຊີ້ໃຫ້ເຫັນວ່າ ການນຳໃຊ້ບອດປະມວນຜົນຮ່ວມກັບ

ອຸປະກອນວັດແທກລະດັບອຸດສາຫະກຳ ສາມາດໃຫ້ຄວາມຊັດເຈນສູງ ທຽບເທົ່າເຄື່ອງມືລາຄາແພງ. ຈຸດເດັ່ນທີ່ສຳຄັນແມ່ນ "ຄວາມຄຸ້ມຄ່າ" ເນື່ອງຈາກລະບົບນີ້ໃຊ້ເກີນທຶນຕໍ່າກວ່າລະບົບສະຄາດາ (SCADA) ມາດຕະຖານຫຼາຍເທົ່າ, ແຕ່ຍັງສາມາດໃຫ້ຂໍ້ມູນທີ່ມີຄວາມລະອຽດສູງ ເໝາະສຳລັບການຕິດຕັ້ງໃນໜ້າແຜ່ງຈຳໜ່າຍຈຳນວນຫຼາຍທີ່ລະບົບສະຄາດາແບບເດີມເຂົ້າບໍ່ເຖິງ ເຊິ່ງຊ່ວຍປົດຊ່ອງຫວ່າງດ້ານການຂາດແຄນຂໍ້ມູນໃນລະບົບແຮງດັນຕໍ່າໄດ້.

2. ການວິເຄາະຄວາມບໍ່ສົມດຸນຂອງເຟດ ແລະ ຄວາມປອດໄພ: ຈາກການຕິດຕາມແບບເວລາຈິງ, ລະບົບສາມາດກວດພົບສະພາວະຄວາມບໍ່ສົມດຸນຂອງເຟດໄດ້ທັນທີ ໂດຍສະເພາະໃນຊ່ວງເວລາທີ່ມີການໃຊ້ໄຟຟ້າສູງ. ຕາມທິດສະດີໄຟຟ້າສາມເຟດ, ບັນຫານີ້ສົ່ງຜົນໃຫ້ເກີດກະແສໄຟຟ້າໄຫຼໃນສາຍ Neutral (I_N) ຕາມສົມຜົນ:

$$I_N = \sqrt{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 - (I_A I_B + I_B I_C + I_C I_A)} \quad (3)$$

ບ່ອນທີ່ I_A, I_B, I_C ແມ່ນຄ່າກະແສໄຟຟ້າຂອງແຕ່ລະເຟດ. ການທີ່ວິສະວະກອນສາມາດຕິດຕາມຄ່າ I_N ທີ່ສູງຜິດປົກກະຕິຜ່ານເວັບແດນຊຸບອດ ຈະຊ່ວຍໃຫ້ສາມາດວາງແຜນການປັບສົມດຸນໂຫຼດ ໄດ້ທັນທີ, ເຊິ່ງເປັນການປ່ຽນຈາກການບຳລຸງຮັກສາແບບຕັ້ງຮັບ ໄປສູ່ການວິເຄາະແບບທັນສະໄໝ ແລະ ບຳລຸງຮັກສາແບບຄາດການ (Al Shaltouni & Ismail, 2023). ນອກຈາກນີ້, ການແຈ້ງເຕືອນແບບ SMS Alert ຍັງເປັນກົນໄກສຳຄັນໃນການຫຼຸດຜ່ອນຄວາມສ່ຽງຈາກອຸບັດຕິເຫດໄຟຟ້າ ແລະ ປ້ອງກັນໜ້າແຜ່ງໄໝ້ (Shameera et al., 2024).

3. ເພື່ອແກ້ໄຂບັນຫາໃນເຂດທີ່ສັນຍານເຄືອຂ່າຍອິນເຕີເນັດບໍ່ສະດຽມ, ລະບົບໄດ້ຖືກອອກແບບໃຫ້ມີການຈັດການຂໍ້ມູນແບບສອງທາງ ເຊິ່ງຜ່ານການທົດສອບແລ້ວວ່າສາມາດປ້ອງກັນຂໍ້ມູນສູນຫາຍໄດ້ຢ່າງມີປະສິດທິພາບ (Ismail & Sahari, 2024). ໃນສະພາວະປົກກະຕິ, ໄມໂຄຣຄອນໂທຣລເລີຈະສົ່ງຂໍ້ມູນຄຸນນະພາບພະລັງງານຂຶ້ນໄປຈັດເກັບຢູ່ເທິງຖານຂໍ້ມູນເວລາຈິງຂອງຄລາວເຟບເສ. ແນວໃດກໍຕາມ, ຫາກລະບົບກວດພົບວ່າສັນຍານອິນເຕີເນັດຂັດຂ້ອງ, ລະບົບຈະປ່ຽນໂໜດໄປບັນທຶກຂໍ້ມູນລົງໃນກາດຄວາມຈຳ ຢູ່ທີ່ຕົວອຸປະກອນພາກສະໜາມທັນທີ. ເມື່ອສັນຍານເຄືອຂ່າຍກັບຄືນມາເປັນປົກກະຕິ, ລະບົບຈະທຳການຊົງໂຄຣໄນ ເອົາຂໍ້ມູນທີ່ບັນທຶກສຳຮອງໄວ້ນັ້ນຂຶ້ນສູ່ລະບົບຄລາວອັດຕະໂນມັດ. ໃນດ້ານຄວາມປອດໄພຂອງລະບົບ, ໄດ້ມີການກຳນົດກົດຄວາມປອດໄພຂອງຄລາວເຟບເສ ເພື່ອຈຳກັດສິດການເຂົ້າເຖິງຖານຂໍ້ມູນ. ລະບົບໄດ້ກຳນົດໃຫ້ມີພຽງແຕ່ເຈົ້າໜ້າທີ່ເຕັກນິກ ຫຼື ວິສະວະກອນທີ່ໄດ້ຮັບອະນຸຍາດ ແລະ ຜ່ານການຢັ້ງຢືນຕົວຕົນ ເທົ່ານັ້ນທີ່ມີສິດເຂົ້າເຖິງ, ອ່ານ ຫຼື ຂຽນຂໍ້ມູນໃນເວັບແດນຊຸບອດໄດ້. ການກຳນົດຄ່ານີ້ຊ່ວຍຫຼຸດຜ່ອນຄວາມສ່ຽງຈາກການໂຈມຕີທາງໄຊເບີ ທີ່ມັກເກີດຂຶ້ນກັບລະບົບອິນເຕີເນັດສັນຍານສິ່ງຂອງ (IoT) ໃນປັດຈຸບັນ.

5. ສະຫຼຸບ

ງານວິໄຈນີ້ໄດ້ປະສົບຜົນສຳເລັດໃນການພັດທະນາລະບົບຕິດຕາມຄຸນນະພາບພະລັງງານສາມເຟດແບບເວລາຈິງ ສຳລັບໜ້າແຜ່ງ

ໄຟຟ້າຈຳໜ່າຍແຮງດັນຕໍ່າ ໂດຍນຳໃຊ້ເຕັກໂນໂລຊີອິນເຕີເນັດສັນຍານສິ່ງຂອງ ຮ່ວມກັບຄລາວເຟບເສ ໂດຍເນື້ອຫາສາມາດສະຫຼຸບໄດ້ຕາມຈຸດປະສົງດັ່ງນີ້:

1. ດ້ານການພັດທະນາ ແລະ ຄວາມຖືກຕ້ອງຂອງລະບົບ: ລະບົບຮາດແວຣ໌ ແລະ ຊອບແວຣ໌ທີ່ພັດທະນາຂຶ້ນ ມີຄວາມຊັດເຈນສູງໃນການວັດແທກ ໂດຍມີຄ່າຜິດດ່ຽງສະເລ່ຍຂອງແຮງດັນພຽງ 0.55% ແລະ ກະແສໄຟຟ້າ 0.04% ເມື່ອທຽບກັບເຄື່ອງມືວັດແທກມາດຕະຖານ ປັດໄຈນີ້ຍັງຢືນຢັນວ່າລະບົບມີຄວາມຖືກຕ້ອງຫຼາຍກວ່າ 99% ເຊິ່ງຢູ່ໃນເກນມາດຕະຖານອຸດສາຫະກຳໄຟຟ້າທີ່ຍອມຮັບໄດ້.

2. ດ້ານຕົ້ນທຶນ ແລະ ຄວາມຄຸ້ມຄ່າ: ລະບົບອຸປະກອນຕົ້ນແບບທີ່ພັດທະນາຂຶ້ນມີຕົ້ນທຶນສະເພາະຊຸດອຸປະກອນປະມານ 2.5 ລ້ານກີບ ເຊິ່ງມີລາຄາຕໍ່າກວ່າຊຸດອຸປະກອນພາກສະໜາມຂອງລະບົບສະຄາດາມາດຕະຖານຂະໜາດໃຫຍ່ຢ່າງຫຼວງຫຼາຍ ໂດຍສາມາດຫຼຸດຕົ້ນທຶນດ້ານຮາດແວຣ໌ລົງໄດ້ຫຼາຍກວ່າ 90% ເຮັດໃຫ້ມີຄວາມເໝາະສົມສູງໃນການນຳໄປຕິດຕັ້ງເພື່ອເກັບກຳຂໍ້ມູນກັບໜ້າແຜ່ງຈຳໜ່າຍຈຳນວນຫຼາຍໃນວົງກວ້າງ.

3. ດ້ານການນຳໄປໃຊ້ປະໂຫຍດ ແລະ ຄວາມປອດໄພ: ຜົນການທົດສອບພາກສະໜາມ ພົບວ່າ ລະບົບສາມາດກວດພົບບັນຫາຄວາມບໍ່ສົມດຸນຂອງເຟດໄດ້ທັນທີ ແລະ ສາມາດຈັດການຂໍ້ມູນຜ່ານລະບົບຈັດການຂໍ້ມູນແບບໄຮບຣິດເພື່ອປ້ອງກັນຂໍ້ມູນສູນຫາຍໃນເຂດສັນຍານບໍ່ສະດຽມ ພ້ອມທັງມີລະບົບຄວາມປອດໄພທີ່ໜ້າເຊື່ອຖື. ຂໍ້ມູນເວລາຈິງເຫຼົ່ານີ້ຈະເປັນຖານຂໍ້ມູນຜື້ນຖານທີ່ສຳຄັນໃຫ້ແກ່ວິສະວະກອນໃນການວາງແຜນປັບສົມດຸນໂຫຼດ ແລະ ວາງແຜນບຳລຸງຮັກສາໜ້າແຜ່ງໄຟຟ້າແບບຄາດການ ເພື່ອຢືດອາຍຸການໃຊ້ງານຂອງໜ້າແຜ່ງໄຟຟ້າໃນໄລຍະຍາວ.

ສຳລັບການພັດທະນາໃນອະນາຄົດ, ສາມາດຂະຫຍາຍຜົນງານວິໄຈນີ້ໄດ້ໂດຍການນຳໃຊ້ບັນຍາຍປະດິດເຂົ້າມາຊ່ວຍໃນການພະຍາກອນແນວໂນ້ມການໃຊ້ໄຟຟ້າ ພ້ອມທັງຄວນເພີ່ມເຊັນເຊີວັດແທກອຸນຫະພູມຂອງນ້ຳມັນໜ້າແຜ່ງ ເພື່ອໃຫ້ການວິເຄາະສະພາບຄວາມພ້ອມ ແລະ ຄວາມສະດຽມຂອງໜ້າແຜ່ງໄຟຟ້າມີຄວາມສົມບູນແບບ ແລະ ຄົບຖ້ວນຍິ່ງຂຶ້ນ.

6. ຂໍ້ຂັດແຍ່ງ

ຂ້າພະເຈົ້າໃນນາມຜູ້ຄົນຄວາວິທະຍາສາດ ຂໍປະຕິຢາມຕົນວ່າ ຂໍ້ມູນທັງໝົດທີ່ມີໃນບົດຄວາມວິຊາການດັ່ງກ່າວນີ້ ແມ່ນບໍ່ມີຂໍ້ຂັດແຍ່ງທາງຜົນປະໂຫຍດກັບພາກສ່ວນໃດ ແລະ ບໍ່ໄດ້ເອື້ອປະໂຫຍດໃຫ້ກັບພາກສ່ວນໃດພາກສ່ວນໜຶ່ງ, ກໍລະນີມີການລະເມີດ ໃນຮູບການໃດໜຶ່ງ ຂ້າພະເຈົ້າມີຄວາມຍິນດີ ທີ່ຈະຮັບຜິດຊອບແຕ່ພຽງຜູ້ດຽວ.

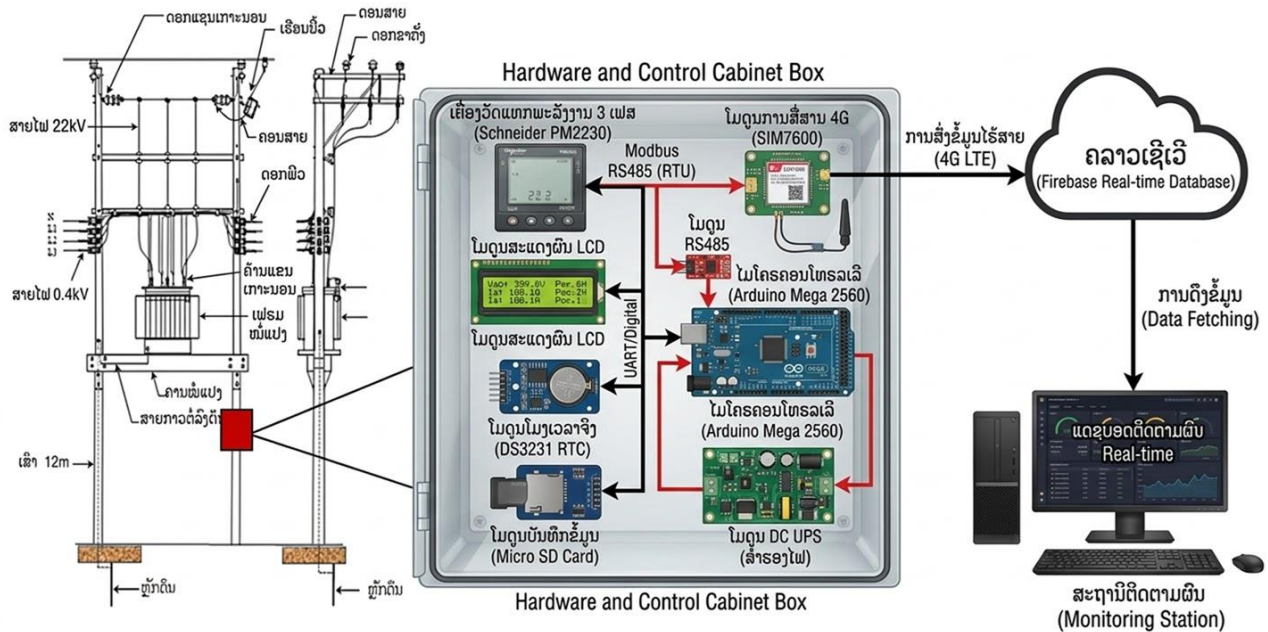
7. ເອກະສານອ້າງອີງ

Abubakar, I., Khalid, S. N., Mustafa, M. W., Shareef, H., & Mustapha, M. (2017). Calibration of ZMPT101B voltage sensor module using polynomial regression for accurate load monitoring. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(4), 1076–1084.

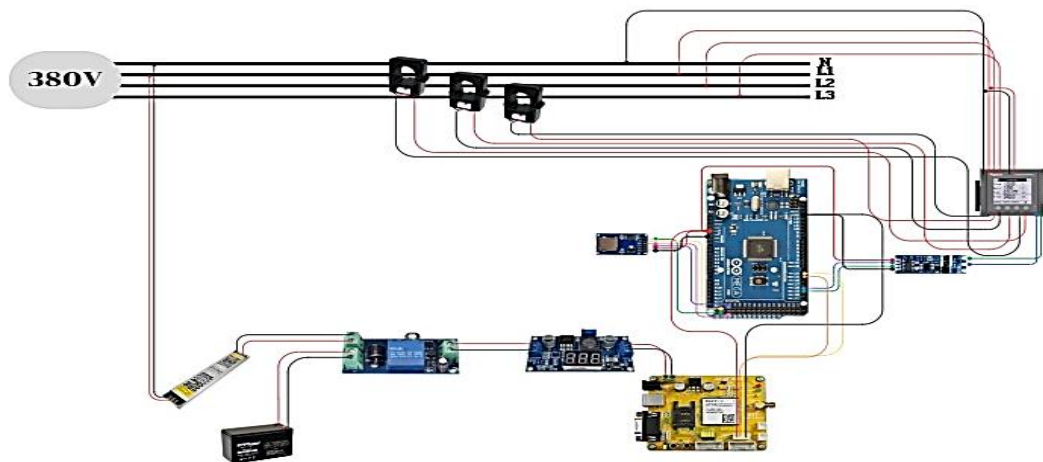
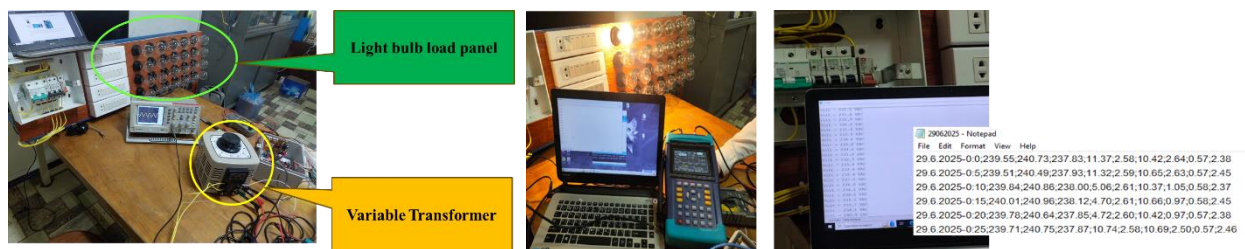
- Al Shaltouni, A., & Ismail, A. (2023). Smart load flow analysis using conventional method and modern method. *International Journal of Automation and Digital Transformation*, 1(1), 60–86.
- Bounnady, K., Thepphasolath, S., Chanthaminavong, S., & Louangvilay, X. (2022). Automatic nutrient control system base on internet of things for hydroponics crops. *Souphanouvong University Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 8(4), 361–370.
- Ghulam, A., Ahmad, S., Ali, H., Khan, M. A., & Rashid, M. (2023). IoT-based smart monitoring and distribution transformer protection system. *IEEE Access*, 11, 12450–12462.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3241516>
- Habibu, M. A., Sivakumar, S., Kanagachidambaresan, G. R., & Mwanandiye, E. S. (2025). An effective IoT-based demand response for energy-efficient smart homes. *Energy Informatics*, 8(1), 1–35.
<https://doi.org/10.1186/s42162-025-00590-w>
- Hakawati, B., Mousa, A., & Draidi, F. (2024). Smart energy management in residential buildings: The impact of knowledge and behavior. *Scientific Reports*, 14, Article 13542.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-64458-1>
- Ismail, M. L., & Sahari, N. (2024). Real time energy monitoring & current spikes detection system for enhanced energy conservation in residential area. *Progress in Engineering Application and Technology*, 5(1), 79–87.
<https://doi.org/10.30880/peat.2024.05.01.008>
- Outhaile, C., Thongphanh, P., Sihalath, K., Dittaphong, X., & Vongpaxa, K. (2025). Experimental study on hydraulic pressure requirements for stamping aluminum sheets of 2-3 mm thickness. *Souphanouvong University Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 11(3), 194–200.
<https://doi.org/10.69692/SUJMRD1103194>
- Parmanee, T., Khongsomboun, K., Thongphanh, P., Dittaphong, X., & Outhailutsadee, A. (2024). The station system measures the water level and amount of rain that can save the data and online through web server. *Souphanouvong University Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 10(3), 163–171.
<https://doi.org/10.69692/SUJMRD100163>
- Prasetyo, H., Sugiarto, Y., Raharja, A. B., Rachmawan, A. O., Mahadi, B. D., & Pratama, F. P. (2024). Design of IoT enabled three phase power quality monitoring unit based on EmonLibCM library. *KONSTELASI: Konvergensi Teknologi dan Sistem Informasi*, 4(2), 1–14.
- Priya, J., & Chekuri, S. (2017). Water level monitoring system using IoT. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(12), 1813–1817.
- Ptacek, M., Vycital, V., Toman, P., & Vaculik, J. (2019). Analysis of dense-mesh distribution network operation using long-term monitoring data. *Energies*, 12(18), 3562.
<https://doi.org/10.3390/en12183562>
- Shameera, S., Geetanjali, J., Meghana, M., & SivaKumari, G. (2024). IoT based three phase power lines monitoring with SMS alert integration for real time failure detection. *TIJER - International Research Journal*, 11(3), 445–452.
- Shilpa, S. K., Bharadwaj, G. M. P., Karthik, V. G., & Monika, D. (2024). IoT based monitoring of distribution transformer. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(2), 1516–1519.
<https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.2.0571>
- Southisombath, P., Thongphanh, P., Larkanchan, D., Luangxaysana, K., Inthala, S., & Suliyavong, P. (2025). PLC and Hmi based control and monitoring system of the Xeno drinking water factory. *Souphanouvong University Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 11(3), 254–261.
<https://doi.org/10.69692/SUJMRD1103254>
- Thaxaiya, V., Panthongsy, P., Thongphanh, P., & Dittaphong, X. (2024). Study on comparing solar energy between fixed and sun-tracking systems. *Souphanouvong University Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 10(2), 211–223.
- Zhang, Y., Wang, L., & Grid, M. (2024). Limitations of conventional SCADA and the rise of low-cost IoT solutions for distribution grid monitoring. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 155, 109–118.
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2023.109118>

ຕາຕະລາງທີ 1: ຜົນການຢັ້ງຢືນຄວາມຊັດເຈນຂອງລະບົບ IoT

ພາລາມິຕີ (Parameters)	ຄ່າອ້າງອີງ (Vref/Fluke)	ຄ່າຈາກລະບົບ (Vmeas/IoT)	ຄ່າຜິດດ່ຽງ (Absolute Error)	ເປີເຊັນຜິດດ່ຽງ (% Error)
Voltage (V)	235.5 V	234.2 V	1.3 V	0.55%
Current (A)	100.0 A	99.96 A	0.04 A	0.04%
Power Factor (PF)	0.95	0.94	0.01	1.05%
Frequency (Hz)	50.00 Hz	50.01 Hz	0.01 Hz	0.02%



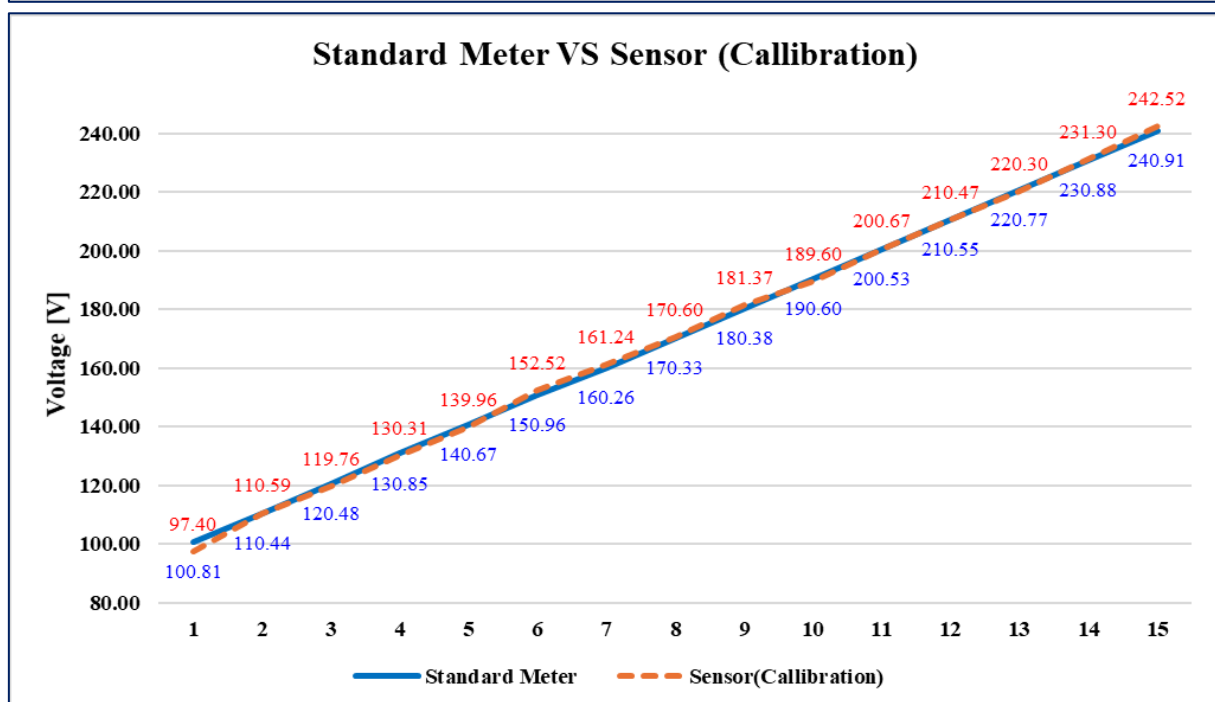
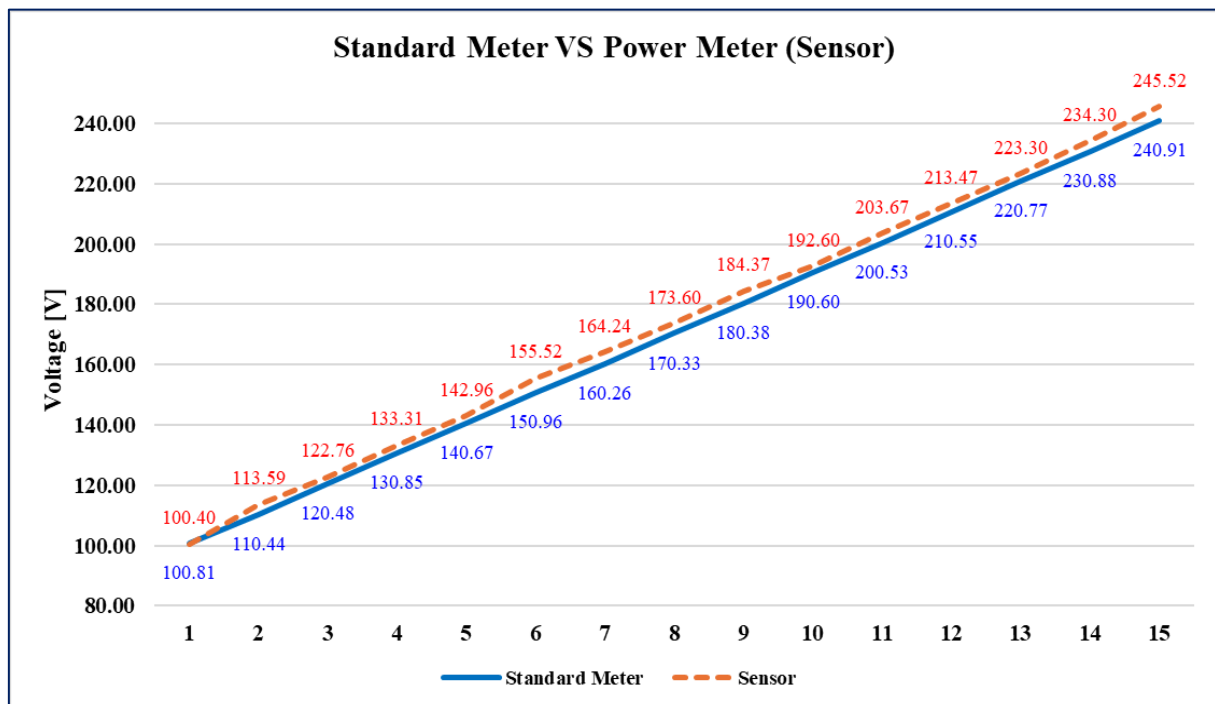
ຮູບທີ 1: ແຜນຜັງລະບົບວັດແທກ ແລະ ຕິດຕາມການຈ່າຍໄຟຟ້າຂອງໝໍ້ແປງຈຳໜ່າຍ



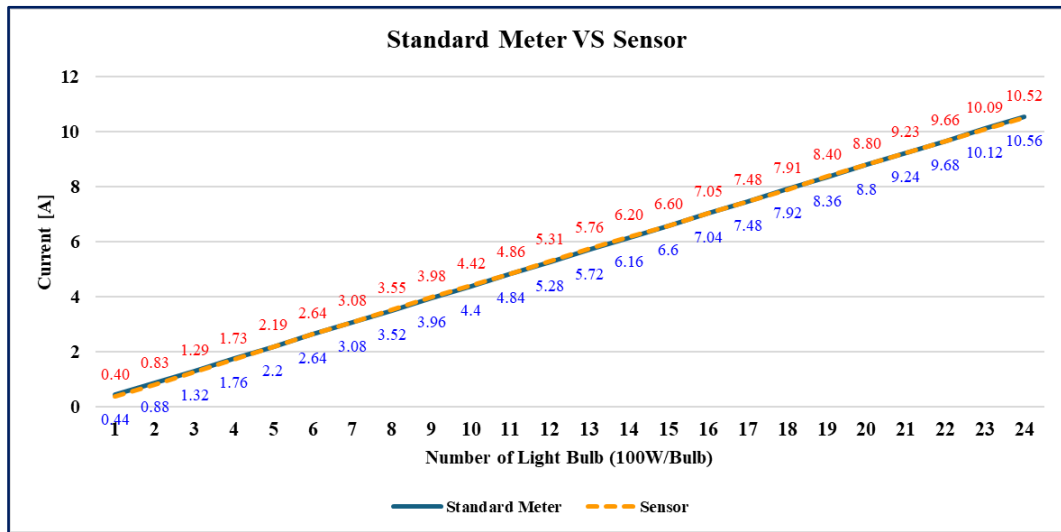
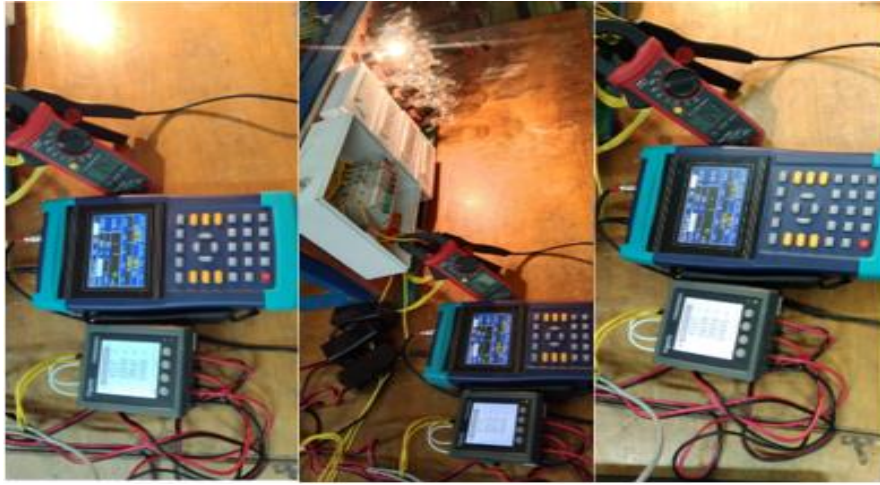
ຮູບທີ 2: ການທົດສອບ Power Meter ສຳລັບການວັດແທກກະແສ ແລະ ແຮງດັນໄຟຟ້າ



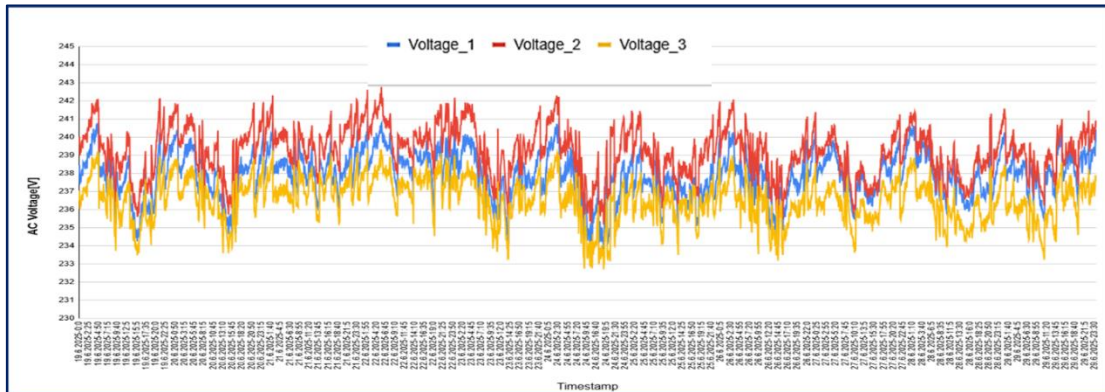
ຮູບທີ 3: ການຕິດຕັ້ງລະບົບວັດແທກໃສ່ໝໍ້ແປງຈຳໜ່າຍ 22/0.4 kV



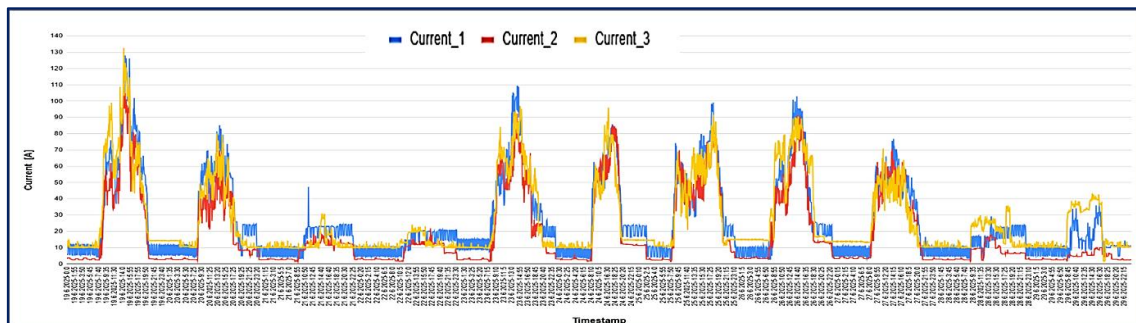
ຮູບທີ 4: ຜົນຂອງການທົດສອບເຊັ່ນເຊີວັດແທກແຮງດັນໄຟຟ້າ ກ່ອນ ແລະ ຫຼັງການ Calibration



ຮູບທີ 5: ຜົນຂອງການທົດສອບເຊັ່ນເຊີວັດແທກກະແສໄຟຟ້າ



ຮູບທີ 6: ການວັດແທກ ແລະ ຕິດຕາມການຈ່າຍກະແສໄຟຟ້າ



ຮູບທີ 7: ຜົນການສະແດງຊ່ວງເວລາຂອງການຈ່າຍກະແສຕໍ່າສຸດ ແລະ ສູງສຸດຂອງແຕ່ລະ Phase