



A Comparative Study of Speed Control Performance for Three-Phase AC Induction Motors between V/f Control and Field Oriented Control (FOC) Techniques using PLC and HMI

Maysavanh Doungchanthip¹, Phutsavanh Thongphanh², Donekeo Lakanchanh³, Kham onh Chansulimath⁴, Souksamai Insankeovilay⁵ and Souliya Sengmany⁶

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

Abstract

¹**Correspondence:** Maysavanh Doungchanthip, Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, National University of Laos. Email: doungchanthipmaysavanh@gmail.com

Article Info:
Submitted: May 04, 2026
Revised: June 05, 2026
Accepted: June 26, 2026

Currently, three-phase AC induction motor control in industrial sectors still faces significant challenges regarding speed accuracy and high energy losses under varying load conditions, which traditional Scalar (V/f) control cannot adequately address. Therefore, this research aims to compare the performance of inverter control systems for a 0.37 kW three-phase AC induction motor between Scalar (V/f Control) and Vector (Field Oriented Control - FOC) techniques. The experiments were monitored and recorded using a Programmable Logic Controller (PLC) and an HMI NS5-SQ-11V2 interface under various load conditions and speed levels up to the rated speed of 1,410 RPM. The results demonstrate that FOC significantly outperforms V/f Control in all aspects: 1) Accuracy: FOC maintains a speed error of less than 0.5%, whereas V/f reaches an error of 7.8% at full load; 2) Dynamic Response: FOC exhibits an under-shoot of only 0.2% and a settling time of 0.5 seconds, which is approximately four times faster than V/f; 3) Energy Efficiency: FOC reduces current consumption by up to 21.6% and provides a higher power factor and overall system efficiency. These findings confirm that FOC is a highly effective control method capable of addressing these limitations, making it suitable for industrial applications requiring high precision and sustainable energy conservation.

Keywords: Three-phase AC motor, V/f Control, Vector Control, Energy efficiency, Control System.

1. ພາກສະໜີ

ພະລັງງານໄຟຟ້າເປັນປັດໄຈພື້ນຖານທີ່ຂັບເຄື່ອນການຂະຫຍາຍຕົວທາງດ້ານເສດຖະກິດ ແລະ ສັງຄົມຂອງ ສປປ ລາວ ຢ່າງບໍ່ຍຸດຍັງ. ອີງຕາມແຜນພັດທະນາເສດຖະກິດ-ສັງຄົມແຫ່ງຊາດ (NSED), ພາກອຸດສາຫະກຳ ແລະ ການຄ້າແມ່ນກຳລັງຫຼັກໃນການສ້າງລາຍຮັບໃຫ້ປະເທດ (Ministry of Industry and Commerce, 2024). ຄວາມຕ້ອງການຊົມໃຊ້ພະລັງງານທີ່ເພີ່ມຂຶ້ນນີ້ ສົ່ງຜົນໃຫ້ລັດວິສາຫະກິດໄຟຟ້າລາວຕ້ອງເພີ່ມຂີດຄວາມສາມາດໃນການສະໜອງ ແລະ ບໍລິຫານຈັດການພະລັງງານໃຫ້ມີປະສິດທິພາບສູງສຸດ (Électricité du Laos, 2023). ເພື່ອຕອບສະໜອງຕໍ່ຍຸດທະສາດການພັດທະນາພະລັງງານສະອາດ ແລະ ການອະນຸລັກພະລັງງານ ໄດ້ກຳນົດຍຸດທະສາດການປ່ຽນແປງພິດເຮືອນແກ້ວໃຫ້ເປັນສູນ (Net Zero Emissions) ເຊິ່ງເນັ້ນການເພີ່ມປະສິດທິພາບການຊົມໃຊ້ພະລັງງານໃນທຸກຂະແໜງການ.

ເຖິງຢ່າງໃດກໍຕາມ, ໃນພາກອຸດສາຫະກຳຕົວຈິງ, ມໍເຕີໄຟຟ້າກະແສສະຫຼັບສາມເຟດ (Three-Phase AC Induction Motor) ເຊິ່ງເປັນອຸປະກອນຂັບເຄື່ອນຫຼັກ (Dubey, 2012) ຍັງປະສົບບັນຫາສຳຄັນດ້ານການສູນເສຍພະລັງງານສູງ ແລະ ຄວາມບໍ່ແມ່ນຍຳຂອງຄວາມໄວຮອບໃນສະພາວະໂຫຼດທີ່ມີການປ່ຽນແປງ (Hughes et al., 2020). ຂໍ້ຈຳກັດນີ້ເກີດຈາກການຄວບຄຸມຄວາມໄວແບບ Scalar (V/f Control) ດັ່ງເດີມທີ່ບໍ່ສາມາດຕອບສະໜອງຕໍ່ການປ່ຽນແປງຂອງແຮງບິດໄດ້ຢ່າງທັນທ່ວງ (Mohan, 2017).

ເພື່ອແກ້ຂັບບັນຫາດັ່ງກ່າວ, ການສຶກສາທີ່ກ່ຽວຂ້ອງຈຶ່ງໄດ້ນຳສະເໜີເຕັກນິກການຄວບຄຸມແບບ Vector ຫຼື Field-Oriented Control (FOC) ເຊິ່ງສາມາດຄວບຄຸມແຮງບິດ ແລະ ສະໜາມແມ່ເຫຼັກໄດ້ຢ່າງອິດສະຫຼະ (Bimal, 2018; Wang & Li, 2018). ການຄົ້ນຄວ້າຂອງ Chen & Wang (2020) ຍັງຢືນຢັນວ່າ FOC ໃຫ້ການຕອບສະໜອງແບບເຄື່ອນໄຫວ (Dynamic Response) ທີ່ດີກວ່າໃນລະບົບຂັບເຄື່ອນອຸດສາຫະກຳ. ພ້ອມດຽວກັນນັ້ນ, ການນຳໃຊ້ Programmable Logic Controller (PLC) ແລະ Human Machine Interface (HMI) ກໍ

ໄດ້ຖືກນຳມາປະຍຸກໃຊ້ເພື່ອເພີ່ມຄວາມແມ່ນຍຳໃນການຕິດຕາມ ແລະ ຄວບຄຸມ (Thongphanh, 2022; Omron Corporation, n.d.). ເຕັກໂນໂລຊີການຄວບຄຸມອັດຕະໂນມັດເຫຼົ່ານີ້ ໄດ້ຮັບການພິສູດແລ້ວວ່າມີປະສິດທິພາບສູງໃນຫຼາຍຂະແໜງການ ເຊັ່ນ: ການຄວບຄຸມຄວາມໄວມໍເຕີກະແສກົງ (Liu & Zhang, 2021) ແລະ ລະບົບຄວບຄຸມອັດຕະໂນມັດໃນໂຮງງານ (Southisombath & Thongphanh, 2025; Parmanee et al., 2024).

ຈາກບັນຫາຄວາມບໍ່ສະໝໍ່າສະເໝີຂອງຄວາມໄວ ແລະ ການສູນເສຍພະລັງງານໃນລະບົບຂັບເຄື່ອນແບບດັ້ງເດີມທີ່ກ່າວມານັ້ນ, ການວິໄຈຄັ້ງນີ້ຈຶ່ງໄດ້ອອກແບບ ແລະ ພັດທະນາລະບົບຄວບຄຸມອຸປະກອນປ່ຽນຄວາມຖີ່ (Inverter) Lenze 8200 vector ໂດຍມີຈຸດປະສົງຫຼັກເພື່ອສຶກສາປຽບທຽບປະສິດທິພາບຂອງລະບົບຄວບຄຸມອຸປະກອນປ່ຽນຄວາມຖີ່ (Inverter) ສຳລັບມໍເຕີກະແສ ສະຫຼັບສາມເຟດຂະໜາດ 0.37 kW ລະຫວ່າງເຕັກນິກການຄວບຄຸມແບບ Scalar (V/f Control) ແລະ Vector (Field Oriented Control - FOC). ຜົນການວິໄຈນີ້ຈະເປັນແນວທາງ ແລະ ວິທີການແກ້ໄຂບັນຫາໂດຍກົງ ໃນການປັບປຸງລະບົບຂັບເຄື່ອນໄຟຟ້າໃຫ້ມີຄວາມຊັດເຈນສູງ ແລະ ບັນລຸເປົ້າໝາຍການອະນຸລັກພະລັງງານໃນພາກອຸດສາຫະກຳຢ່າງແທ້ຈິງ.

2. ອຸປະກອນ ແລະ ວິທີການ

2.1 ອຸປະກອນທີ່ນຳໃຊ້

ໃນການຄົ້ນຄວ້ານີ້ໄດ້ຄັດເລືອກອຸປະກອນມາດຕະຖານອຸດສາຫະກຳເພື່ອໃຫ້ໄດ້ຂໍ້ມູນທີ່ມີຄວາມໜ້າເຊື່ອຖືສູງ (Thongphanh, 2022). ລາຍລະອຽດເຕັກນິກຂອງອຸປະກອນຫຼັກທີ່ນຳໃຊ້ໃນການທົດລອງ ໄດ້ສະແດງໄວ້ໃນ ຕາຕະລາງທີ 1.

2.2 ການອອກແບບລະບົບ

ລະບົບຄວບຄຸມມໍເຕີໃນການຄົ້ນຄວ້ານີ້ ຖືກອອກແບບໃຫ້ມີຄວາມຍືດຫຍຸ່ນໃນການປ່ຽນຮູບແບບການຄວບຄຸມລະຫວ່າງ Scalar (V/f) ແລະ Vector (FOC) ໂດຍຜ່ານການປັບແຕ່ງທັງພາກສ່ວນຮາດແວ ແລະ ຊອບແວ. ໂຄງສ້າງການເຮັດວຽກຂອງລະບົບໂດຍລວມແມ່ນອີງໃສ່ຫຼັກການຄວບຄຸມແບບປິ່ນກັບ (Closed-loop control) ເຊິ່ງມີແບບຈຳລອງການເຊື່ອມຕໍ່ລະບົບສະແດງໄວ້ໃນ ຮູບທີ 1. ຈາກແບບຈຳລອງໃນຮູບທີ 1, ລະບົບຈະຮັບສັນຍານປິ່ນກັບ (Feedback) ຈາກ Encoder ທີ່ຕິດຕັ້ງຢູ່ເພື່ອສູ່ Inverter ເພື່ອປະມວນຜົນຄຳຄວາມໄວ ແລະ ຕຳແໜ່ງໃນຮູບແບບ FOC. ເຕັກນິກນີ້ຊ່ວຍໃຫ້ສາມາດຄວບຄຸມແຮງບິດ ແລະ ຄວາມໄວໄດ້ຢ່າງອິດສະຫຼະ ແລະ ມີຄວາມແມ່ນຍຳສູງ (Bimal, 2018).

ນອກຈາກການເຊື່ອມຕໍ່ທາງກາຍະພາບແລ້ວ, ການກຳນົດຄ່າພື້ນຖານ ໃນ Inverter ກໍເປັນສ່ວນສຳຄັນເພື່ອຮັບປະກັນຄວາມປອດໄພ ແລະ ຄວາມໝັ້ນຄົງຂອງລະບົບໄຟຟ້າຕາມມາດຕະຖານເຕັກນິກ (Marzougui et al., 2021). ລາຍລະອຽດການຕັ້ງຄ່າຫຼັກໄດ້ສະແດງໄວ້ໃນ ຕາຕະລາງທີ 2.

2.3 ວິທີການດຳເນີນງານ

ການທົດລອງໄດ້ຖືກກຳນົດຂຶ້ນເພື່ອປຽບທຽບການເຮັດວຽກຂອງລະບົບຄວບຄຸມທັງສອງຮູບແບບ ພາຍໃຕ້ສະພາວະການເຮັດວຽກທີ່ແຕກຕ່າງກັນ (Wang & Li, 2018). ໂດຍແບ່ງອອກເປັນ 2 ໄລຍະຫຼັກ ດັ່ງລາຍລະອຽດໃນ ຕາຕະລາງທີ 3 ດັ່ງນີ້:

1. ການທົດສອບສະພາວະຄົງທີ່: ເນັ້ນການວັດແທກຄວາມຖີ່ຕ້ອງຂອງຄວາມໄວ ແລະ ປະສິດທິພາບພະລັງງານ ໂດຍການກຳນົດຄວາມໄວແຕ່ລະດັບ 25% ຈົນເຖິງ 100% ຂອງຄວາມໄວພິກັດ ແລະ ປ່ຽນແປງລະດັບໂຫຼດ (No-load, Half-load, Full-load).
2. ການທົດສອບການຕອບສະໜອງແບບເຄື່ອນໄຫວ: ເນັ້ນການສຶກສາຄວາມໝັ້ນຄົງຂອງລະບົບ ເມື່ອມີການປ່ຽນແປງໂຫຼດກະທັນຫັນ ແລະ ການປ່ຽນແປງຄວາມໄວແບບ Step response ເພື່ອວິເຄາະຫາຄ່າ Settling time ແລະ Under-shoot (Chen & Wang, 2020).

2.4 ການເກັບກຳຂໍ້ມູນ

ການເກັບກຳຂໍ້ມູນໃນການທົດລອງຄັ້ງນີ້ ໄດ້ນຳໃຊ້ລະບົບການບັນທຶກຂໍ້ມູນແບບອັດຕະໂນມັດ ຜ່ານໜ້າຈໍ HMI NS5-SQ11-V2 ທີ່ເຊື່ອມຕໍ່ກັບ PLC CPIL-EM ເພື່ອໃຫ້ໄດ້ຂໍ້ມູນທີ່ເປັນ Real-time ແລະ ມີຄວາມຖືກຕ້ອງສູງ ໂດຍແບ່ງອອກເປັນ 2 ສ່ວນຫຼັກດັ່ງນີ້:

1. ການເກັບຂໍ້ມູນດ້ານໄຟຟ້າ: ຂໍ້ມູນກະແສໄຟຟ້າ (I), ແຮງດັນ (V), ແລະ ຕົວປະກອບກຳລັງ ($\cos \phi$) ແມ່ນຖືກວັດແທກໂດຍກົງຈາກ Power Analyzer ທີ່ຕິດຕັ້ງຢູ່ລະຫວ່າງຕົວປ່ຽນຄວາມຖີ່ ແລະ ມໍເຕີ. ຂໍ້ມູນດັ່ງກ່າວຈະຖືກສົ່ງຜ່ານສັນຍານສື່ສານອະນາລັອກ ຫຼື ການສື່ສານແບບ Serial ເຂົ້າສູ່ PLC ເພື່ອປະມວນຜົນ ແລະ ສົ່ງຕໍ່ໄປສະແດງຜົນຜ່ານທັງບັນທຶກລົງໃນໜ່ວຍຄວາມຈຳຂອງ HMI.
2. ການເກັບຂໍ້ມູນດ້ານກົນຈັກ: ຄວາມໄວຮອບຂອງມໍເຕີ (RPM) ແມ່ນຖືກອ່ານຄ່າຈາກ Encoder ທີ່ຕິດຕັ້ງຢູ່ເພື່ອສູ່ Inverter ເພື່ອປະມວນຜົນຄຳຄວາມໄວຕົວຈິງ ແລ້ວຈຶ່ງສົ່ງຂໍ້ມູນຜ່ານລະບົບເຄືອຂ່າຍການສື່ສານ Modbus RTU ເຂົ້າສູ່ PLC ເພື່ອຈັດເກັບຂໍ້ມູນຕາມໄລຍະເວລາທີ່ກຳນົດ.

ລັກສະນະການສະແດງຜົນ ແລະ ການຈັດເກັບຂໍ້ມູນທັງໝົດໃນຮູບແບບກຣາຟ ແລະ ຕົວເລກ ໄດ້ສະແດງໄວ້ໃນ ຮູບທີ 2.

2.5 ການວິເຄາະຂໍ້ມູນ

ຂໍ້ມູນທີ່ໄດ້ຈາກການທົດລອງຈະຖືກນຳມາປະມວນຜົນໂດຍໃຊ້ຫຼັກການທາງວິສະວະກຳໄຟຟ້າ ແລະ ສະຖິຕິ (Dubey, 2012) ເພື່ອປະເມີນ ປະສິດທິພາບຂອງລະບົບ ດັ່ງນີ້:

1. ການຄຳນວນກຳລັງໄຟຟ້າ ແລະ ພະລັງງານ:

ກຳລັງໄຟຟ້າທີ່ເຄື່ອງປັບອາກາດຊົມໃຊ້ (P) ສາມາດຄຳນວນໄດ້ຈາກສົມຜົນ:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \theta \quad (1)$$

ໂດຍທີ່: V ແມ່ນ ແຮງດັນໄຟຟ້າ (Volt), I ແມ່ນ ກະແສໄຟຟ້າ (Ampere) ແລະ $\cos \theta$ ແມ່ນ ຄ່າຕົວປະກອບກຳລັງ (Power Factor).

2. ການວິເຄາະຄວາມຄາດເຄື່ອນ:

ເພື່ອຢັ້ງຢືນຄວາມຖືກຕ້ອງຂອງລະບົບຄວບຄຸມ, ໄດ້ນຳໃຊ້ການຊອກຫາເບີເຊັນຄວາມຄາດເຄື່ອນ (%Error) ຂອງຄວາມໄວຕົວຈິງທຽບ ກັບຄ່າທີ່ກຳນົດ (Set-point):

$$\%Error = \left| \frac{RPM_{measured} - RPM_{setpoint}}{RPM_{setpoint}} \right| \times 100\% \quad (2)$$

3. ການວິເຄາະການປະຢັດພະລັງງານ

ຂໍ້ມູນຈະຖືກນຳມາປຽບທຽບເພື່ອຫາຄ່າຄວາມແຕກຕ່າງຂອງການຊົມໃຊ້ພະລັງງານລະຫວ່າງ V/f ແລະ FOC ໃນແຕ່ລະສະພາວະໂຫຼດ (IEA, 2021; Thaxaiya et al., 2024).

3. ຜົນໄດ້ຮັບ

3.1 ຜົນການທົດສອບການຄວບຄຸມຄວາມໄວຮອບ

ອີງຕາມຂໍ້ມູນຈາກ Nameplate ຂອງມໍເຕີກະແສສະຫຼັບສາມຟേດຂະໜາດ 0.37 kW ທີ່ໃຊ້ໃນການທົດລອງ, ຄວາມໄວຝັກດຈາກ ໂຮງງານ ແມ່ນ 1,410 RPM ທີ່ຄວາມຖີ່ 50 Hz. ເມື່ອນຳມໍເຕີມາທົດສອບຄວບຄຸມຄວາມໄວໃນສະພາວະຄົງທີ່ ໂດຍກຳນົດຄ່າ Setpoint ໄວ້ຢູ່ 3 ລະດັບຄື: ຄວາມໄວຕ່ຳ (500 RPM), ຄວາມໄວປານກາງ (1,000 RPM) ແລະ ຄວາມໄວຝັກດ (1,410 RPM) ພົບວ່າ:

- ໂໜດ V/f Control (ແບບດັ້ງເດີມ): ເມື່ອບໍ່ມີໂຫຼດ (No-load) ສາມາດເຮັດຄວາມໄວໄດ້ໃກ້ຄຽງກັບຄ່າທີ່ຕັ້ງໄວ້, ແຕ່ເມື່ອຈ່າຍໂຫຼດ ເຕັມ (Full-load) ຄວາມໄວຮອບຈະຕົກລົງຢ່າງຊັດເຈນ ເນື່ອງຈາກບໍ່ມີການຊົດເຊີຍຄ່າ Slip ໂດຍສະເພາະທີ່ຄວາມໄວຝັກດ 1,410 RPM ຄວາມໄວຕົກເຫຼືອພຽງ 1,300 RPM ຄິດເປັນເບີເຊັນຄວາມຄາດເຄື່ອນ (% Error) ສູງເຖິງ 7.8%.
- ໂໜດ FOC (ວິທີທີ່ພັດທະນາ): ລະບົບມີການດັດປັບ (Tune) ຄ່າພາລາມີເຕີພາຍໃນ Inverter ໃຫ້ສອດຄ່ອງກັບຄ່າຄວາມຕ້ານທານ ແລະ ຄ່າຄວາມໜ່ວງນຳຂອງໂລເຕີ. ເມື່ອລະບົບໄດ້ຮັບສັນຍານປ່ຽນກັບຈາກ Encoder, ມັນຈະທຳການຊົດເຊີຍຄວາມໄວອັດຕະໂນມັດ ສົ່ງຜົນໃຫ້ສາມາດຮັກສາຄວາມໄວໄດ້ຄົງທີ່ຢູ່ທີ່ 1,408 RPM ເຖິງແມ່ນວ່າຈະຢູ່ໃນສະພາວະໂຫຼດເຕັມກໍຕາມ ໂດຍມີຄ່າ % Error ຕ່ຳ ກວ່າ 0.5% (ດັ່ງສະແດງໃນ ຕາຕະລາງທີ 4).

3.2 ຜົນການວິເຄາະການຊົມໃຊ້ພະລັງງານ ແລະ ປະສິດທິພາບ

ອີງຕາມມາດຕະຖານການຊົມໃຊ້ພະລັງງານຂອງມໍເຕີຈາກໂຮງງານ ທີ່ສະພາວະໂຫຼດເຕັມ ຈະມີອັດຕາການກິນກະແສໄຟຟ້າຢູ່ທີ່ 1.1 A ແລະ ມີຄ່າຕົວປະກອບກຳລັງ ປະມານ 0.68. ຈາກການທົດສອບປຽບທຽບລະຫວ່າງສອງລະບົບ ພົບວ່າ:

- ການປະຢັດພະລັງງານ: ໃນໂໜດ V/f Control ມໍເຕີຊົມໃຊ້ກະແສໄຟຟ້າສູງເຖິງ 1.25 A ເນື່ອງຈາກມີການສູນເສຍຄວາມຮ້ອນສູງ, ໃນ ຂະນະທີ່ໂໜດ FOC ທີ່ນຳໃຊ້ເຕັກນິກການແຍກຄວບຄຸມກະແສສ້າງສະໜາມແມ່ເຫຼັກ (i_d) ແລະ ກະແສສ້າງແຮງບິດ (i_q) ສາມາດຄວບ ຄຸມໃຫ້ມໍເຕີກິນກະແສໄຟຟ້າພຽງ 0.98 A. ຜົນໄດ້ຮັບນີ້ຊີ້ໃຫ້ເຫັນວ່າ ລະບົບການຄວບຄຸມແບບ FOC ທີ່ພັດທະນາຂຶ້ນ ສາມາດປະຢັດ ພະລັງງານໄຟຟ້າໄດ້ເຖິງ 21.6% ເມື່ອທຽມກັບລະບົບ V/f Control ແບບດັ້ງເດີມ.
- ຕົວປະກອບກຳລັງ ແລະ ປະສິດທິພາບ: ທີ່ສະພາວະໂຫຼດເຕັມ ລະບົບ FOC ໃຫ້ຄ່າ Power Factor ສູງເຖິງ 0.75 (ສູງກວ່າຄ່າຈາກ ໂຮງງານ) ແລະ ມີປະສິດທິພາບລວມຂອງລະບົບ ຢູ່ທີ່ 75%, ເຊິ່ງສູງກວ່າແບບ V/f ທີ່ຢູ່ລະດັບ 65% (ດັ່ງສະແດງໃນ ຕາຕະລາງທີ 5).

3.3 ຜົນການຈັດເກັບຂໍ້ມູນ, ສະຖິຕິ ແລະ ການດັດປັບລະບົບອັດຕະໂນມັດ

ຂໍ້ມູນການຕອບສະໜອງແບບເຄື່ອນໄຫວ ທັງໝົດ ເຊັ່ນ: ຄວາມໄວຮອບ, ກະແສໄຟຟ້າ ແລະ ແຮງດັນ ຈະຖືກສົ່ງຈາກ Inverter ຜ່ານ PLC ເຂົ້າໄປ ຈັດເກັບໄວ້ໃນໜ່ວຍຄວາມຈຳ (Internal Memory/SD Card) ຂອງໜ້າຈໍ HMI NS5-SQ-11V2 ໃນຮູບແບບຟັງຊັນ Data

Logging ໂດຍກຳນົດໄລຍະເວລາການເກັບ ທຸກໆ 100 ມິນລິວິນາທີ (ms). ຂໍ້ມູນເຫຼົ່ານີ້ຖືກນຳໃຊ້ເພື່ອວັດແທກສະຖິຕິຄວາມໝັ້ນຄົງຂອງລະບົບ ແລະ ວິເຄາະພຶດຕິກຳຂອງມໍເຕີໃນສະພາວະຊົ່ວຄາວ.

ໃນສ່ວນຂອງການດັດປັບລະບົບ, ເມື່ອມີການປ່ຽນແປງຂອງໂຫຼດ (ໂຫຼດເພີ່ມຂຶ້ນ ຫຼື ຫຼຸດລົງກະທັນຫັນ):

- ລະບົບ V/f ບໍ່ມີກົນໄກການປັບຕົວ ເຮັດໃຫ້ເກີດຄ່າ Under-shoot (ຄວາມໄວຕົກ) ສູງເຖິງ 5% ແລະ ໃຊ້ເວລາເຖິງ 2.0 ວິນາທີ ຈຶ່ງ ກັບເຂົ້າສູ່ຄວາມໄວເດີມ.
- ລະບົບ FOC ທີ່ເຊື່ອມຕໍ່ກັບ PLC ຈະມີກົນໄກການດັດປັບຄື: ເມື່ອເຊັນເຊີ Encoder ກວດຈັບໄດ້ວ່າຂໍ້ມູນຄວາມໄວຫຼຸດລົງຈາກຄ່າ Setpoint, ລະບົບການຄວບຄຸມແບບ PI Controller ພາຍໃນ Inverter ຈະທຳການ ດັດປັບເພີ່ມຄ່າກະແສແຮງບິດ (i_q) ຂຶ້ນ ອັດຕະໂນມັດແບບ Real-time ເພື່ອຊີດເຊີຍແຮງບິດທີ່ຂາດຫາຍໄປ. ສິ່ງຜິດໃຫ້ FOC ມີຄ່າ Under-shoot ພຽງ 0.2% ແລະ ໃຊ້ເວລາ ເຂົ້າສູ່ສະພາວະຄົງທີ່ ພຽງ 0.5 ວິນາທີ ເຊິ່ງໄວກວ່າແບບ V/f ເຖິງ 4 ເທົ່າ (ດັ່ງສະແດງໃນ ຮູບທີ 3).

4. ວິພາກຜົນ

4.1 ປະສິດທິພາບຂອງການຄວບຄຸມ ແລະ ຄວາມແມ່ນຍຳ

ຈາກຜົນການທົດລອງເຫັນວ່າ ການຄວບຄຸມແບບ FOC ມີຄວາມແມ່ນຍຳສູງກວ່າແບບ V/f Control ຢ່າງເຫັນໄດ້ຊັດເຈນ ແລະ ມີ ຄວາມແຕກຕ່າງທາງສະຖິຕິທາງວິສະວະກຳ, ໂດຍສະເພາະໃນສະພາວະທີ່ມີໂຫຼດເຕັມ (Full-load). ສິ່ງນີ້ສາມາດອະທິບາຍໄດ້ວ່າ ເນື່ອງຈາກ FOC ເປັນການຄວບຄຸມແບບວົງຈອນປິດ ທີ່ໃຊ້ Encoder ໃນການສົ່ງສັນຍານບ່ອນກັບ, ເຮັດໃຫ້ລະບົບສາມາດຊີດເຊີຍຄ່າຄວາມໄວທີ່ຕົກລົງໄດ້ທັນທີ (Bimal, 2018). ໃນຂະນະທີ່ແບບ V/f ເປັນການຄວບຄຸມແບບວົງຈອນເປີດ, ເມື່ອໂຫຼດເພີ່ມຂຶ້ນຈະເຮັດໃຫ້ເກີດ Slip ສູງ ແລະ ຄວາມໄວຮອບ ຕົກລົງໂດຍທີ່ Inverter ບໍ່ສາມາດປັບຕົວໄດ້ເອງ (Wang & Li, 2018). ສອດຄ່ອງກັບການຄົ້ນຄວ້າຂອງ Chen & Wang (2020) ທີ່ລະບຸ ວ່າການຄວບຄຸມແບບ Vector ໃຫ້ປະສິດທິພາບດ້ານຄວາມນຶ່ງຂອງຄວາມໄວທີ່ເໝືອນກວ່າໃນວຽກງານອຸດສາຫະກຳ.

4.2 ການຕອບໂຈດດ້ານການບໍລິຫານຈັດການພະລັງງານ

ຜົນການວິເຄາະດ້ານພະລັງງານຊີ້ໃຫ້ເຫັນວ່າ ການຄວບຄຸມແບບ FOC ຊ່ວຍໃຫ້ມີຄ່າຕົວປະກອບກຳລັງ (Power Factor: PF) ທີ່ ສູງກວ່າແບບ V/f. ດ້ານເຕັກນິກ, ຄ່າ PF ພາຍໃນມໍເຕີແມ່ນບໍ່ສາມາດປັບແຕ່ງໂດຍກົງຈາກພາຍນອກໄດ້ ເພາະຂຶ້ນກັບຄຸນລັກສະນະທາງກາຍະ ພາບຂອງຂີດລວດ, ແຕ່ເຕັກນິກ FOC ສາມາດບໍລິຫານຈັດການຄ່າ PF ຂອງລະບົບລວມໃຫ້ດີຂຶ້ນໄດ້ ໂດຍການແຍກການຄວບຄຸມ ກະແສສ້າງສະ ໜາມແມ່ເຫຼັກ (Magnetizing current, i_d) ແລະ ກະແສສ້າງແຮງບິດ (Torque-producing current, i_q) ອອກຈາກກັນ. ໂດຍການປັບຄ່າ ກະແສ i_d ໃຫ້ເປັນສູນ (Zero i_d -axis current control) ໃນສະພາວະປົກກະຕິ ເພື່ອຫຼຸດຜ່ອນການສູນເສຍ Reactive Power, ສິ່ງຜິດໃຫ້ ປະສິດທິພາບລວມຂອງລະບົບສູງກວ່າການຄວບຄຸມແບບ Scalar (Mohan, 2017).

ການມີຄ່າ PF ທີ່ສູງຂຶ້ນນີ້ ສົ່ງຜົນດີຕໍ່ການຫຼຸດຜ່ອນການສູນເສຍພະລັງງານໃນລະບົບສາຍສົ່ງ ແລະ ຫຼຸດຜ່ອນຄ່າປັບໃໝຈາກການມີຄ່າ PF ຕ່ຳໃນພາກອຸດສາຫະກຳ ເຊິ່ງອີງຕາມກົດລະບຽບຂອງລັດວິສາຫະກິດໄຟຟ້າລາວ (Électricité du Laos, 2023), ຫາກໂຮງງານອຸດສາຫະກຳມີຄ່າ PF ຕ່ຳກວ່າ 0.85 ຈະຕ້ອງໄດ້ເສຍຄ່າປັບໃໝ Reactive Power (ຄ່າ kVARh) ຕາມອັດຕາຊົມໃຊ້ຕົວຈິງ. ດັ່ງນັ້ນ, ການທີ່ FOC ດຶງຄ່າ PF ຈາກ 0.65 (ໃນລະບົບ V/f) ຂຶ້ນໄປຮອດ 0.75 ພາຍໃຕ້ການເຮັດວຽກຮ່ວມກັບ Capacitor Bank ຂອງໂຮງງານ ຈະຊ່ວຍຫຼຸດຜ່ອນຄ່າປັບໃໝ ດັ່ງກ່າວລົງໄດ້ຢ່າງຫຼວງຫຼາຍ.

ສິ່ງນີ້ສອດຄ່ອງກັບຍຸດທະສາດການອະນຸລັກພະລັງງານ ແລະ ການຫຼຸດຜ່ອນການປ່ອຍອາຍພິດເຮືອນແກ້ວຂອງ Ministry of Energy and Mines (2020). ໂດຍວິທີການຄວບຄຸມແບບ FOC ທີ່ພັດທະນາຂຶ້ນນີ້ ສາມາດຫຼຸດຜ່ອນການຊົມໃຊ້ກະແສໄຟຟ້າຂອງມໍເຕີລົງໄດ້ເຖິງ 21.6%, ເຊິ່ງເມື່ອຄິດໄລ່ເປັນການຫຼຸດຜ່ອນການຊົມໃຊ້ພະລັງງານໄຟຟ້າ (kWh) ໃນໄລຍະຍາວ ຈະສົ່ງຜົນໃຫ້ສາມາດຫຼຸດຜ່ອນການປ່ອຍກາສຄາ ບອນໄດອອກໄຊ (CO₂ Emission) ຈາກຂະບວນການຜະລິດໄຟຟ້າ ແລະ ການສູນເສຍໃນລະບົບສາຍສົ່ງໄດ້ໂດຍກົງ. ນອກຈາກນີ້, ຜົນການທົດ ລອງດັ່ງກ່າວຍັງໄດ້ຮັບການຢັ້ງຢືນໂດຍ International Energy Agency (2021) ແລະ United Nations Development Programme (2020) ທີ່ລະບຸວ່າ ການເພີ່ມປະສິດທິພາບພະລັງງານໃນລະບົບຂັບເຄື່ອນໄຟຟ້າ ແມ່ນວິທີການທີ່ຄຸ້ມຄ່າທີ່ສຸດໃນການຫຼຸດຜ່ອນຜົນກະທົບຕໍ່ ສິ່ງແວດລ້ອມໃນໄລຍະຍາວ. ຄວາມຄຸ້ມຄ່າຂອງວິທີການ FOC ແມ່ນສະແດງອອກໃນຮູບແບບຂອງຈຸດຄຸ້ມທຶນ (Payback Period) ທີ່ຕ່ຳ, ເພາະ ເຖິງແມ່ນວ່າຈະມີຕົ້ນທຶນຮາດແວສູງຂຶ້ນໃນຕອນຕົ້ນ, ແຕ່ຜົນປະໂຫຍດຈາກການປະຢັດຄ່າໄຟຟ້າ ແລະ ການຫຼຸດຄ່າບຳລຸງຮັກສາມໍເຕີໃນໄລຍະຍາວ ຈະສາມາດຄຸ້ມທຶນໄດ້ພາຍໃນໄລຍະເວລາອັນສັ້ນ.

ຍິ່ງໄປກວ່ານັ້ນ, ການນຳໃຊ້ HMI NS5-SQ-11V2 ໃນການຕິດຕາມຂໍ້ມູນແບບ Real-time ຍັງຊ່ວຍໃຫ້ຜູ້ບໍລິຫານຈັດການພະລັງງານ ສາມາດວິເຄາະ ແລະ ວາງແຜນການຊົມໃຊ້ໄຟຟ້າໄດ້ຢ່າງມີປະສິດທິພາບ, ສອດຄ່ອງກັບແນວທາງການພັດທະນາລະບົບອັດຕະໂນມັດໃນໂຮງງານ ອຸດສາຫະກຳຢູ່ ສປປ ລາວ (Southisombath and Thongphanh, 2025; Parmanee et al., 2024).

4.3 ຂໍ້ຈຳກັດ ແລະ ສິ່ງທີ່ຄວນພັດທະນາ

ເຖິງແມ່ນວ່າ FOC ຈະມີປະສິດທິພາບສູງ, ແຕ່ກໍມີຄວາມຊັບຊ້ອນໃນການຕັ້ງຄ່າ Parameter ແລະ ຕ້ອງການອຸປະກອນເສີມເຊັ່ນ Encoder ເຊິ່ງເຮັດໃຫ້ຕົ້ນທຶນການຕິດຕັ້ງສູງກວ່າແບບ V/f (Hughes et al., 2020). ໃນການຄົ້ນຄວ້າຄັ້ງຕໍ່ໄປ, ຄວນມີການສຶກສາການຄວບຄຸມແບບ Sensorless Vector Control ເພື່ອຫຼຸດຜ່ອນການນຳໃຊ້ Encoder ແຕ່ຍັງຄົງຮັກສາຄວາມແມ່ນຍຳໄວ້. ນອກຈາກນີ້, ການປະຍຸກໃຊ້ລະບົບ IoT ເພື່ອສົ່ງຂໍ້ມູນຂຶ້ນ Cloud ເຊັ່ນດຽວກັບການຄົ້ນຄວ້າຂອງ Parmanee et al. (2024) ຈະຊ່ວຍໃຫ້ການຕິດຕາມຜົນຈາກໄລຍະໄກມີຄວາມສະດວກຍິ່ງຂຶ້ນ.

5. ສະຫຼຸບ

ການສຶກສາ, ອອກແບບ ແລະ ພັດທະນາລະບົບຄວບຄຸມອຸປະກອນປ່ຽນຄວາມເຖີ (Inverter) ສຳລັບມໍເຕີກະແສສະຫຼັບສາມເຟດ ຂະໜາດ 0.37 kW ເພື່ອປຽບທຽບປະສິດທິພາບລະຫວ່າງ ເຕັກນິກການຄວບຄຸມແບບ Scalar (V/f Control) ແລະ Vector (Field Oriented Control - FOC) ໂດຍການເຮັດວຽກຮ່ວມກັບ PLC ແລະ HMI ສາມາດສະຫຼຸບຜົນການດຳເນີນງານທີ່ຕອບໂຈດການແກ້ໄຂບັນຫາຂອງຫົວຂໍ້ວິໄຈໄດ້ດັ່ງນີ້:

1. ດ້ານຄວາມສາມາດໃນການຄວບຄຸມຄວາມໄວຮອບ: ລະບົບການຄວບຄຸມແບບ FOC ທີ່ໄດ້ຮັບການພັດທະນາ ໂດຍການດັດປັບຄ່າພາລາມີເຕີຟາຍໃນໃຫ້ສອດຄ່ອງກັບຄຸນລັກສະນະຂອງມໍເຕີ ແລະ ນຳໃຊ້ສັນຍານປ້ອນກັບຈາກ Encoder ມີຄວາມສາມາດໃນການຄວບຄຸມທີ່ເໝືອນກວ່າແບບ V/f ຢ່າງຊັດເຈນ. ລະບົບ FOC ສາມາດຂັບເຄື່ອນ ແລະ ຮັກສາລະດັບຄວາມໄວຮອບໃຫ້ເປັນໄປຕາມຄ່າ Setpoint ທີ່ກຳນົດ ໂດຍມີຄ່າຄວາມຄາດເຄື່ອນ (% Error) ຕໍ່າກວ່າ 0.5% ໃນທຸກສະພາວະໂຫຼດ, ໃນຂະນະທີ່ການຄວບຄຸມແບບ V/f ດັ່ງເດີມບໍ່ມີກົນໄກຊົດເຊີຍຄວາມໄວເຮັດໃຫ້ຄວາມໄວຮອບຕົກລົງ ແລະ ມີຄວາມຄາດເຄື່ອນສູງເຖິງ 7.8% ພາຍໃຕ້ສະພາວະໂຫຼດເຕັມ.

2. ດ້ານການຕອບສະໜອງແບບເຄື່ອນໄຫວຂອງລະບົບ: ໃນດ້ານພຶດຕິກຳການຄວບຄຸມສະພາວະຊົ່ວຄາວ ເມື່ອລະບົບປະເຊີນກັບການປ່ຽນແປງໂຫຼດກະທັນຫັນ, ກົນໄກການປະມວນຜົນແບບ Real-time ຂອງ FOC ສາມາດສັງເກດເຫັນການດັດປັບກະແສໄຟຟ້າເພື່ອຊົດເຊີຍແຮງບິດໄດ້ທັນທີ ສົ່ງຜົນໃຫ້ມີຄ່າ Under-shoot ຕໍ່າພຽງ 0.2% ແລະ ໃຊ້ເວລາເຂົ້າສູ່ສະພາວະຄົງທີ່ ພຽງ 0.5 ວິນາທີ ເຊິ່ງຕອບສະໜອງໄດ້ໄວກວ່າລະບົບ V/f ດັ່ງເດີມເຖິງ 4 ເທົ່າ.

3. ດ້ານປະສິດທິພາບພະລັງງານ ແລະ ກົນໄກການເຮັດວຽກ: ຜົນສຳເລັດດ້ານການອະນຸລັກພະລັງງານຂອງລະບົບ FOC ທີ່ສາມາດຫຼຸດຜ່ອນການຊົມໃຊ້ກະແສໄຟຟ້າລົງໄດ້ 21.6% ແລະ ເພີ່ມປະສິດທິພາບລວມຂອງລະບົບຂຶ້ນເປັນ 75% ນັ້ນ ແມ່ນເກີດມາຈາກເຕັກນິກການແຍກຄວບຄຸມອົງປະກອບກະແສ ໂດຍການກຳນົດຄ່າກະແສສ້າງສະໜາມແມ່ເຫຼັກ (i_d) ໃຫ້ເປັນສູນ ແລະ ປັບແຕ່ງກະແສສ້າງແຮງບິດ (i_q) ໃຫ້ຜັນປ່ຽນໄປຕາມໂຫຼດຕົວຈິງ ຜ່ານລະບົບ PI Controller ພາຍໃນ Inverter. ກົນໄກນີ້ຊ່ວຍຫຼຸດຜ່ອນການສູນເສຍພະລັງງານໄຟຟ້າສະເໝືອນ ທີ່ບໍ່ຈຳເປັນ ແລະ ເຮັດໃຫ້ຄ່າຕົວປະກອບກຳລັງສູງຂຶ້ນ ເຊິ່ງເປັນວິທີການແກ້ໄຂບັນຫາການສູນເສຍພະລັງງານໃນພາກອຸດສາຫະກຳຢ່າງກົງຈຸດ.

4. ດ້ານການບໍລິຫານຈັດການຂໍ້ມູນ (Data Management): ການປະຍຸກໃຊ້ລະບົບອັດຕະໂນມັດ PLC ແລະ ໜ້າຈໍ HMI NS5-SQ-11V2 ບໍ່ພຽງແຕ່ເຮັດໜ້າທີ່ສັງເກດ, ແຕ່ຍັງເປັນເຄື່ອງມືໃນການຈັດເກັບຂໍ້ມູນ (Data Logging) ທີ່ຊ່ວຍໃຫ້ສາມາດຕິດຕາມ ແລະ ວິເຄາະພຶດຕິກຳທາງໄຟຟ້າຂອງລະບົບໄດ້ຢ່າງຖືກຕ້ອງ ໝັ້ນຄົງ.

ສະຫຼຸບລວມແລ້ວ, ລະບົບການຄວບຄຸມຄວາມໄວມໍເຕີດ້ວຍເຕັກນິກ Vector (FOC) ທີ່ນຳສະເໜີໃນບົດວິໄຈສະບັບນີ້ ຄືວິທີການ ແລະ ແນວທາງທີ່ມີປະສິດທິພາບສູງ ທີ່ສາມາດແກ້ໄຂຂໍ້ຈຳກັດດ້ານຄວາມບໍ່ແມ່ນຍຳ ແລະ ການສູນເສຍພະລັງງານຂອງລະບົບຂັບເຄື່ອນແບບ Scalar ດັ່ງເດີມໄດ້ຢ່າງແທ້ຈິງ, ເໝາະສົມແກ່ການນຳໄປປະຍຸກໃຊ້ເປັນຕົ້ນແບບໃນການປັບປຸງເຄື່ອງຈັກໃນພາກອຸດສາຫະກຳ ເພື່ອການປະຢັດພະລັງງານຢ່າງຍືນຍົງ.

6. ຂໍ້ຂັດແຍ່ງ

ຜູ້ສຶກສາວິໄຈຂໍຢັ້ງຢືນວ່າ ບົດຄົ້ນຄວ້າວິໄຈນີ້ ບໍ່ມີຜົນປະໂຫຍດທັບຊ້ອນໃດໆ ທີ່ກ່ຽວຂ້ອງກັບການຄົ້ນຄວ້າ, ການຂຽນ ແລະ ການເຜີຍແຜ່ບົດຄວາມວິຊາການສະບັບນີ້.

7. ເອກະສານອ້າງອີງ

Bimal, K. (2018). *Modern power electronics and AC drives*. John Wiley & Sons.

Chen, H., & Wang, Q. (2020). Dynamic performance analysis of Field-Oriented Control for industrial permanent magnet synchronous motors. *Journal of Industrial Automation and Control Systems*, 15(2), 112–125.

Dubey, G. K. (2012). *Fundamentals of electrical drives*. Alpha Science International.

Électricité du Laos. (2023). *Annual report 2023*.

https://edlgen.com.la/uploads/lx/2024/en/Annual_Report_2023_EN.pdf

Hughes, A., Drury, B., & Drury, B. R. (2020). *Electric motors and drives: Fundamentals, types and applications* (5th ed.). Elsevier.

- International Energy Agency. (2021). *Energy efficiency 2021*. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021>
- Lenze SE. (n.d.). *8200 vector: Frequency inverter for controlled motion*. Retrieved July 4, 2025, from <https://www.lenze.com/en-de/products/inverters/previous-products-inverters/8200-vector>
- Liu, M., & Zhang, Y. (2021). PLC and HMI based control system design for DC motor speed regulation. *International Journal of Automation and Robotics Engineering*, 8(1), 45–53.
- Ministry of Energy and Mines. (2020). *An energy sector roadmap to net zero emissions for Lao PDR*. ASEAN Centre for Energy. <https://aseanenergy.org/wp-content/uploads/2025/04/An-Energy-Sector-Roadmap-to-Net-Zero-Emissions-for-Lao-PDR-Report.pdf>
- Ministry of Industry and Commerce. (2024). *Draft 9th MTR NSEDP - Date 9 Feb 2024*. <https://rtm.org.la/wp-content/uploads/2024/02/draft-9th-MTR-NSEDP-Date-9-Feb-2024-1-1.pdf>
- Mohan, N. (2017). *Power electronics: A first course*. John Wiley & Sons.
- Omron Corporation. (n.d.). *CP1L/CP1E CPU units: Getting started guide*. Retrieved July 4, 2025, from https://files.omron.eu/downloads/latest/manual/en/w461_cp1e_cp1l_getting_started_guide_en.pdf?v=1
- 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>
- Southisombath, P., & Thongphanh, P. (2025). PLC and HMI Based Control and Monitoring System of the Xeno Drinking Water Factory. *Souphanouvong University Journal Multidisciplinary Research and Development*, 11(03), 254–261. <https://doi.org/10.69692/SUJMRD1103254>
- Thongphanh, P. (2022). *Programmable Logic Controller*. Vientiane, Laos.
- United Nations Development Programme. (2020). *Energy efficiency and renewable energy in industry*. <https://www.undp.org/energy>
- Wang, R., & Li, S. (2018). A review on industrial motor drive control strategies: V/f control and vector control. *Journal of Power Electronics and Drives*, 6(4), 210–225.

ຕາຕະລາງທີ 1: ລາຍລະອຽດເຕັກນິກຂອງອຸປະກອນໜຶ່ງທີ່ນຳໃຊ້ໃນການຄົ້ນຄວ້າ

ລຳດັບ	ອຸປະກອນ	ລາຍລະອຽດເຕັກນິກ (Specifications)	ແຫຼ່ງອ້າງອີງ
1	Inverter	Lenze 8200 vector, 0.37-90 kW, Support V/f & Vector control	(Lenze SE, n.d.)
2	AC Motor	3-Phase Induction Motor, Power: 0.37 kW, Voltage: 220/380V	(Hughes et al., 2020)
3	PLC	Omron CP1L-EM, 24 Inputs/16 Outputs	(Omron Corporation, n.d.)
4	HMI	Omron NS-series (NS5-SQ-11-V2), 5-inch TFT LCD	(Liu & Zhang, 2021)
5	Power Analyzer	Measurement of V, I, P, and Power Factor (cosφ)	(Shilpa et al., 2024)

ຕາຕະລາງທີ 2: ການກຳນົດຄ່າ Parameter ຫຼັກສໍາລັບການເລືອກໂໝດການຄວບຄຸມໃນ Inverter

ລຳດັບ	Parameter Code	Function	V/f Control Setting	FOC (Vector) Setting	Note
1	C0014	Control Mode Selection	0: Linear V/f	4: Vector Control	ການເລືອກຮູບແບບການຄວບຄຸມ
2	C0007	Fixed Speed (Setpoint)	0 - 100%	0 - 100%	ກຳນົດຄວາມໄວຜ່ານ PLC/HMI
3	C0410	Encoder Configuration	Not Required	Incremental Encoder	ໃຊ້ສະເພາະໂໝດ Vector
4	C0081	Motor Rated Power	0.37 kW	0.37 kW	ກຳນົດຕາມ Nameplate ມໍເຕີ

ຕາຕະລາງທີ 3: ແຜນຜັງການທົດລອງປຽບທຽບລະບົບຄວບຄຸມ V/f ແລະ FOC

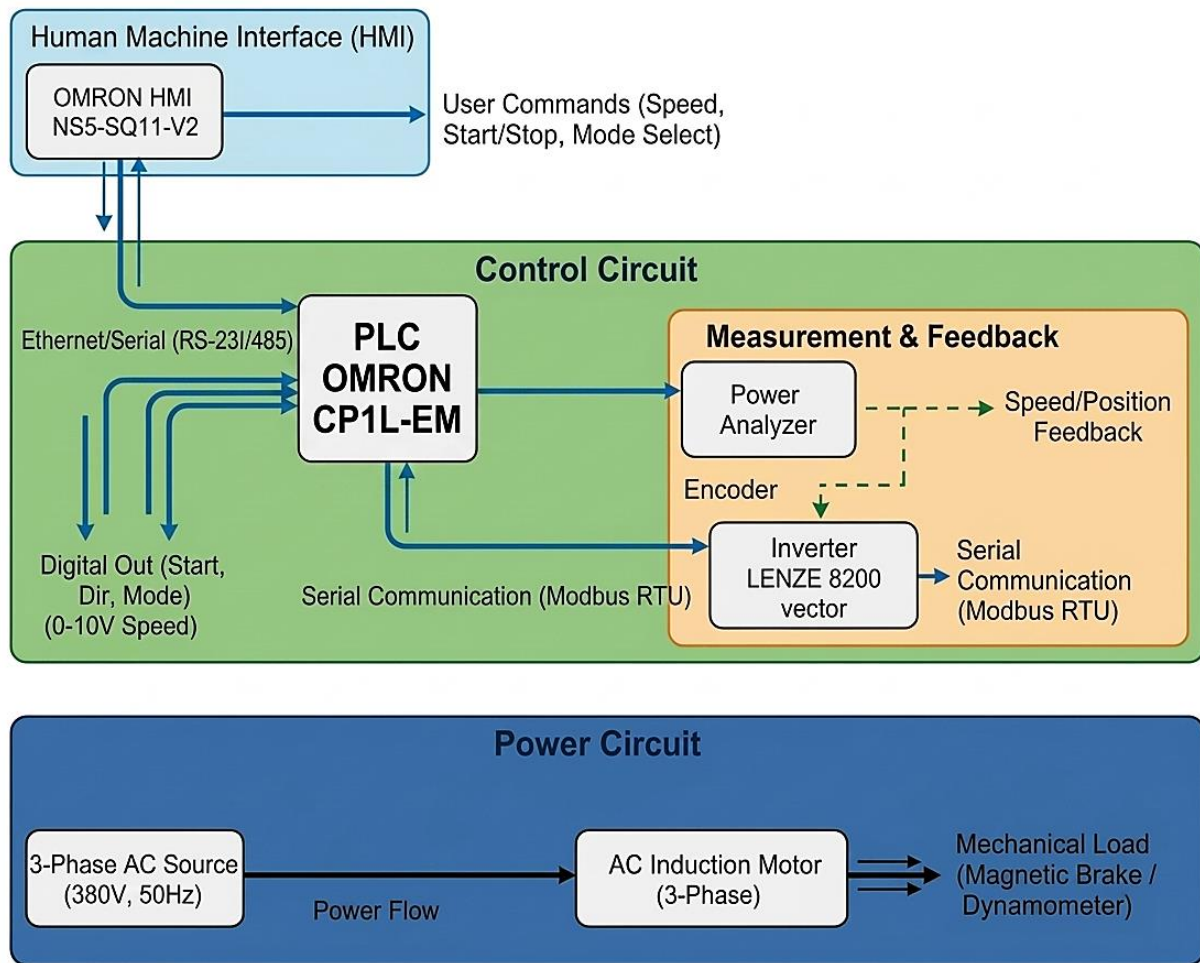
ໄລຍະການທົດສອບ	ຕົວແປທີ່ທົດສອບ	ເງື່ອນໄຂ/ລະດັບທີ່ກຳນົດ	ຈຸດປະສົງການວັດແທກ
1. Steady State	ຄວາມໄວ (Speed)	25%, 50%, 75%, 100%	ຄວາມຜິດພາດຄວາມໄວ (% Error)
	ໂຫຼດ (Load)	No-load, Half-load, Full-load	ປະສິດທິພາບ ແລະ Power Factor
2. Dynamic Response	ໂຫຼດກະທັນຫັນ	No-load, Full-load	Under-shoot / Over-shoot
	ຄວາມໄວກະທັນຫັນ	50%, 100% (Step)	Settling Time (ວິນາທີ)

ຕາຕະລາງທີ 4: ປຽບທຽບຄວາມຜິດພາດຄວາມໄວ (%Error) ລະຫວ່າງ V/f ແລະ FOC ທີ່ 1,500 RPM

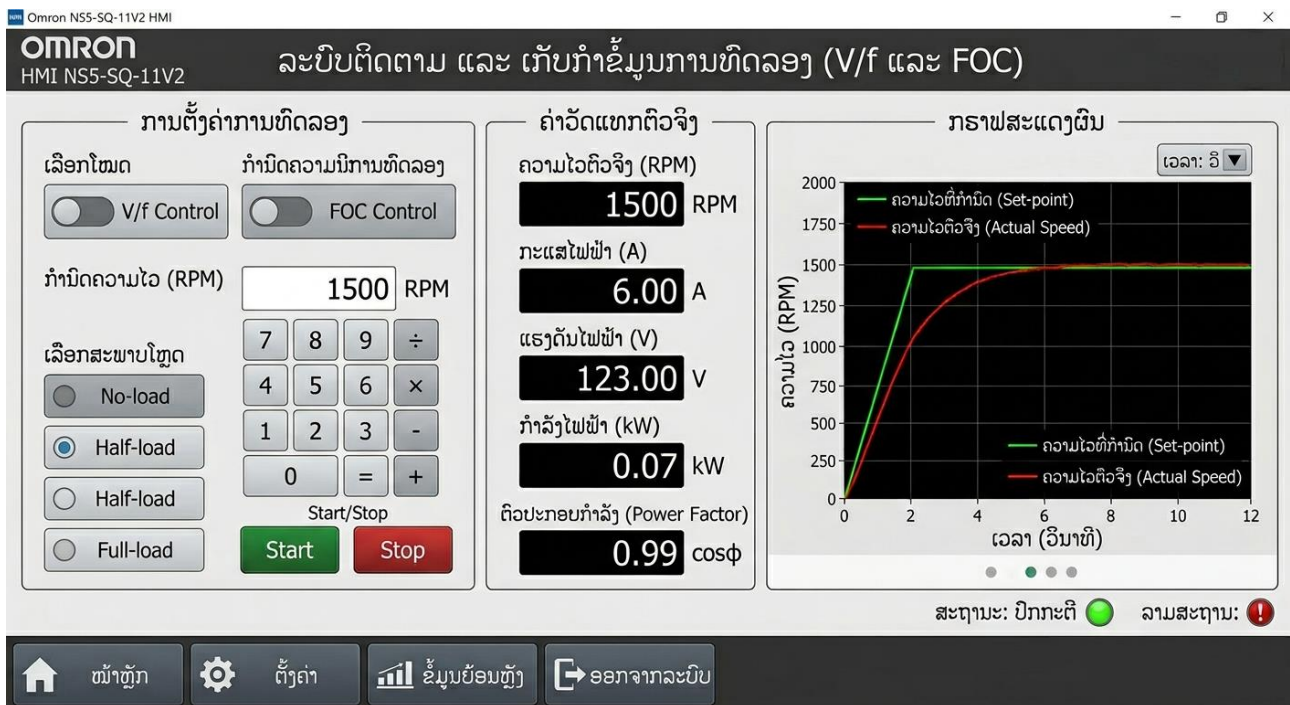
ລຳດັບ	Load Condition	V/f Speed (RPM)	V/f Error (%)	FOC Speed (RPM)	FOC Error (%)
1	No-load	1,495	0.33%	1,499	0.07%
2	Half-load	1,450	3.33%	1,498	0.13%
3	Full-load	1,383	7.80%	1,495	0.33%

ຕາຕະລາງທີ 5: ປຽບທຽບຄ່າ Power Factor ແລະ ປະສິດທິພາບ (η)

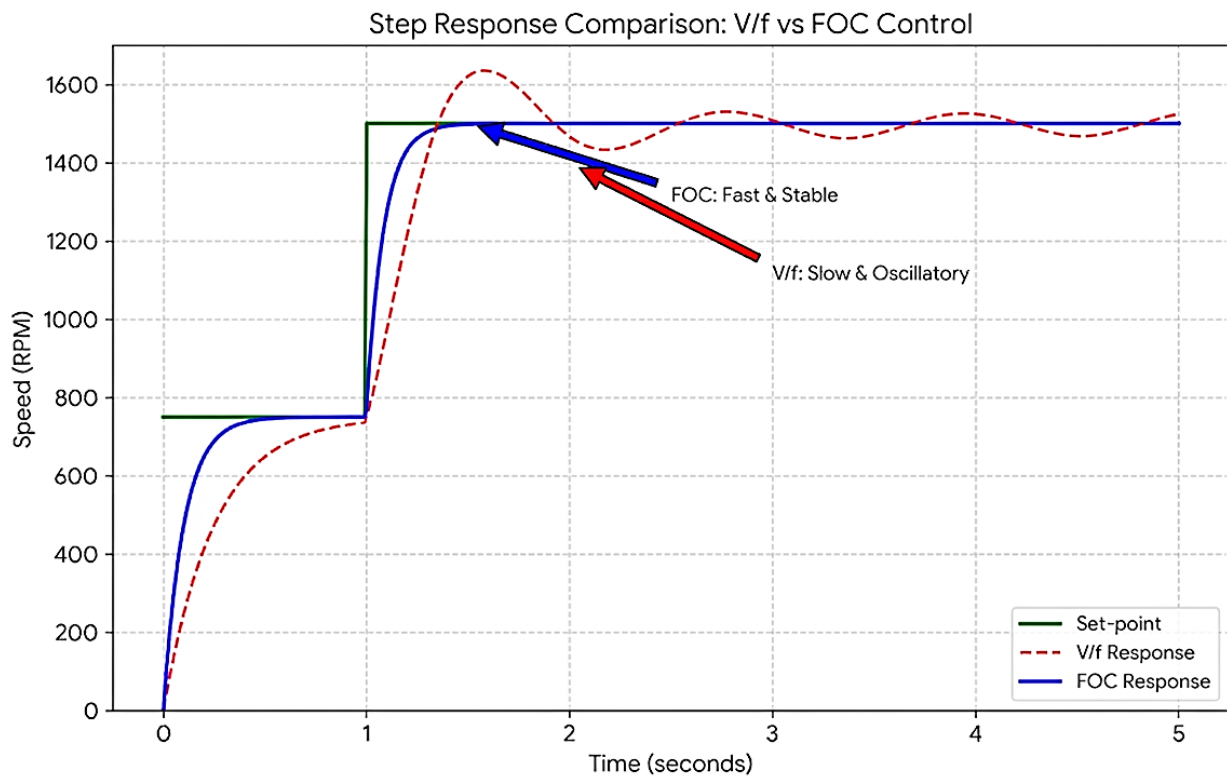
ລຳດັບ	Control Mode	PF (No-load)	PF (Full-load)	Efficiency (Full-load)
1	V/f Control	0.25	0.68	65%
2	FOC Control	0.4	0.82	75%



ຮູບທີ 1. ແຜນວາດໂຄງສ້າງການເຊື່ອມຕໍ່ລະບົບ (System Block Diagram) ລະຫວ່າງ PLC, Inverter ແລະ ມໍເຕີ.



ຮູບທີ 2. ໜ້າຈໍສະແດງຜົນ (HMI Interface) ສຳລັບການຕິດຕາມ ແລະ ເກັບກຳຂໍ້ມູນການທົດລອງ



ຮູບທີ 3. ກາຣາຟປຽບທຽບການຕອບສະໜອງຄວາມໄວ (Step Response) ລະຫວ່າງ V/f ແລະ FOC.