

Mini AVR

เครื่องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ ในสภาวะวิกฤตสำหรับชุดควบคุมหม้อแปลง AVR ในระบบจำหน่าย 22kV

นายพร้อมรบ คำธาร¹, นายเกรียงไกร พันกันทะ², นายภูวนดิษ กอหลาง²

¹กองปฏิบัติการ ฝ่ายปฏิบัติการและบำรุงรักษา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต1 (ภาคเหนือ) จ.เชียงใหม่ Promrob.kam@pea.co.th

²กองบำรุงรักษา ฝ่ายปฏิบัติการและบำรุงรักษา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต1 (ภาคเหนือ) จ.เชียงใหม่ Fantasaiiii@hotmail.com

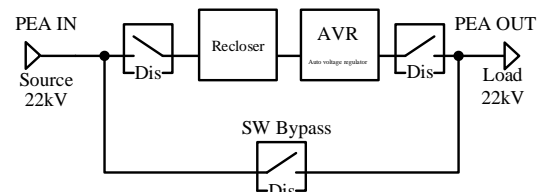
บทคัดย่อ

กฟน.1 ภาคเหนือมี หม้อแปลง AVR ติดตั้งในระบบจำหน่าย 22 kV ทั้งสิ้น 33 ตัว ซึ่งพบปัญหาเบรกเกอร์ควบคุมมอเตอร์ปรับแทป หม้อแปลง AVR ในระบบจำหน่าย หรือ Q1 Trip จากสาเหตุการถ่ายเทโหลดกลุ่มใหญ่ ซึ่งทำให้หม้อแปลง AVR ไม่สามารถควบคุมการทำงานได้ตามปกติ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพแรงดันไฟฟ้า และผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นบริเวณกว้าง บทความนี้ได้นำเสนอการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยนวัตกรรม Mini AVR ซึ่งสามารถช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยเทคนิคการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้ชุดควบคุมมอเตอร์ ของชุดหม้อแปลง AVR ในระบบจำหน่าย ซึ่งนวัตกรรม Mini AVR สามารถต่อใช้งานร่วมกับชุดหม้อแปลง AVR ได้ปกติ และสามารถแก้ไขปัญหา Q1 Trip ได้

คำสำคัญ: หม้อแปลง AVR ในระบบจำหน่าย 22kV, Mini AVR, เบรกเกอร์ Q1 Trip, ถ่ายเทโหลดกลุ่มใหญ่, แรงดันต่ำ

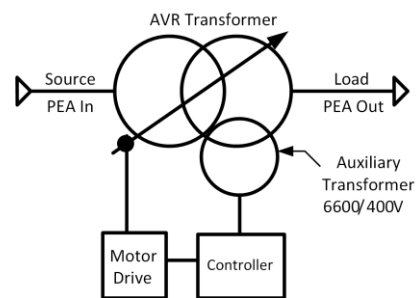
บทนำ

หม้อแปลง AVR (Auto Voltage Regulator Transformer) เป็นอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแรงกลาง 22 kV แบบอัตโนมัติ เพื่อแก้ปัญหาคุณภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแก่กลุ่มโหลดที่อยู่ห่างไกล



รูปที่ 1 ลักษณะและวงจรชุดหม้อแปลงรักษาระดับแรงดัน 22kV อัตโนมัติ หรือชุดหม้อแปลง AVR : Auto voltage regulator

บ่อยครั้งพบว่าหากกรณีชุดควบคุมหม้อแปลง AVR ไม่ทำงาน จะส่งผลให้แรงดัน ในระบบจำหน่าย 22kV (V_{out}) จะเปลี่ยนแปลงตามโหลดในระบบจำหน่าย (Disturbance) เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น แรงดันจะลดลง หรือโหลดลดลง แรงดันจะเพิ่มขึ้น ซึ่งกรณีดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ ส่วนมากเกิดจากการทำงานผิดพลาดของชุดหม้อแปลง AVR หรือ Controller วงจรชุดควบคุมหม้อแปลง AVR แสดงดังภาพที่ 2



รูปที่ 2 วงจรชุดควบคุมหม้อแปลง AVR ในระบบจำหน่าย 22kV

จากการตรวจสอบสาเหตุการทำงานผิดพลาดของชุดหม้อแปลง AVR หรือ Controller พบว่าเกิดจากการ Trip ของเบรกเกอร์ Q1 เมื่อทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการ Trip คือ Q1 Trip จาก กระแสลัดวงจร ในตู้ควบคุม, กระแสเกิน พิกัด, Phase sequence, Unbalance Voltage, Over/Under Voltage

จากการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่าเกิดจากแรงดันต่ำ Under Voltage เมื่อตรวจพบแรงดันต่ำกว่า 20kV จากการถ่ายเทโหลดกลุ่มใหญ่จะทำให้มอเตอร์ขับเคลื่อนชุดควบคุม AVR ขนา

1Hp 3Phase 400V/230V กระแสสูงเกินพิกัดเมื่อพิจารณาจากสมการที่ (1)

$$\% Eff = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ามี $P_{OUT} [W]$ คือกำลังงานทางกล ประกอบด้วยแรงบิด $[T:N-m]$ และความเร็วรอบ $[\omega:red/sec]$ ที่เพลาลูก $P_{IN} [W]$ คือกำลังไฟฟ้า 3 เฟส เขียนสมการใหม่ดังนี้

$$\% Eff = \frac{T \cdot \omega}{\sqrt{3} V_{L-L} I \cos \theta} \times 100 \quad (2)$$

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าจัดเรียงสมการใหม่ได้ดังนี้ [1]

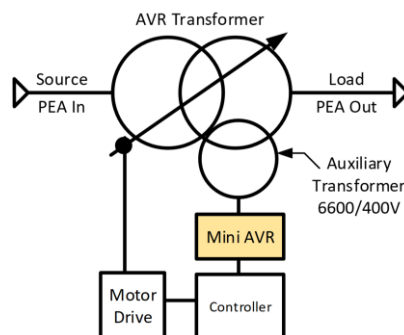
$$I = \frac{T \cdot \omega \times 100}{\% Eff \cdot \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cos \theta} = \frac{K \cdot T \cdot \omega}{V_{L-L}} \quad (3)$$

จากสมการที่ 4 พบว่า ปริมาณกระแสเมื่อมอเตอร์ขับเคลื่อนควบคุม AVR จะแปรผันตรงกับแรงบิดที่เพลาลูก $[T:N-m]$ และความเร็วรอบที่เพลาลูก $[\omega:red/sec]$ แต่จะแปรผกผันกับปริมาณแรงดัน $[V_{L-L}:Volt]$ ดังนั้นเมื่อแรงดันลดลงจะส่งผลให้ปริมาณกระแสเพิ่มขึ้นดังสมการที่ 3 และเป็นสาเหตุให้เบรกเกอร์ควบคุมมอเตอร์ หรือ Q1 Trip ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้หม้อแปลง AVR ไม่สามารถควบคุมการทำงานได้ตามปกติ

โดยทั่วไปสามารถแก้ไขได้โดยพนักงาน กฟผ. ในเขตรับผิดชอบต้องเดินทางไปตรวจสอบ ณ จุดติดตั้งชุดหม้อแปลง AVR และสั่งการปรับแรงดันไฟฟ้าแบบ Manual และรีเซ็ตเบรกเกอร์ Q1 เพื่อให้ AVR ในระบบจำหน่ายทำงานได้ตามปกติ โดยการดำเนินการทั้งกระบวนการต้องใช้ระยะเวลาแก้ไขนาน และส่งผลกระทบต่อคุณภาพแรงดันไฟฟ้าเป็นบริเวณกว้าง

จากปัญหาดังกล่าวพบว่าสามารถแก้ไขได้หลายเทคนิคเช่น การเลือกใช้เบรกเกอร์พิกัดกระแสสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้มอเตอร์ชำรุดในระยะยาว และมอเตอร์หาอุปกรณ์ทดแทนได้ยาก, การใช้ อินเวอร์เตอร์ หรือ VSD ควบคุมมอเตอร์, การใช้ 3 Phase Stabilizer ซึ่งมีขายตามท้องตลาดทั่วไป แต่อุปกรณ์ดังกล่าวมีขนาดใหญ่ ราคาแพง ไม่เหมาะกับงานภายนอก และไม่สามารถซ่อมแซม แก้ไขได้เอง

จากปัญหาและข้อจำกัดต่างๆ จึงเกิดแนวคิดสร้างชุดควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับชุด Motor Drive ควบคุมหม้อแปลง AVR เพื่อให้สามารถทำงานได้ในสภาวะแรงดันวิกฤติ โดยจะติดตั้งอยู่ระหว่างหม้อแปลงเสริม ของ AVR (Auxiliary Transformer) กับชุดควบคุม (Controller) แสดงดังภาพที่ 3



รูปที่ 3 แนวคิดสร้างนวัตกรรม Mini AVR ติดตั้งใช้งานร่วมกับ หม้อแปลง AVR ในระบบจำหน่าย 22kV

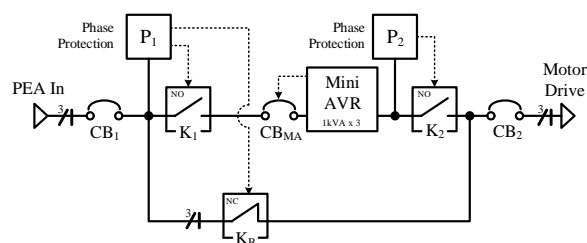
โดยบทความนี้จะนำเสนอแนวคิดสร้างนวัตกรรมเครื่องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ ในสภาวะวิกฤติ สำหรับชุดควบคุมหม้อแปลง AVR ในระบบจำหน่าย 22kV หรือ Mini AVR การออกแบบ จำลอง สร้าง ทดสอบ ติดตั้งใช้งาน และการติดตามผล ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไปตามลำดับ

การออกแบบ

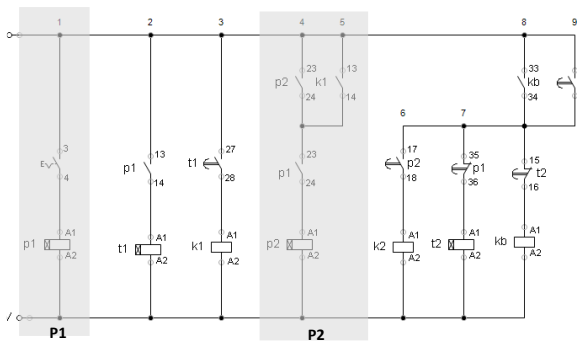
การออกแบบนวัตกรรมเครื่องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ ในสภาวะวิกฤติสำหรับชุดควบคุมหม้อแปลง AVR ในระบบจำหน่าย 22 kV หรือ Mini AVR บนพื้นฐานวิศวกรรมศาสตร์ และความปลอดภัยเพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์หรือ Motor drive unit ของชุดหม้อแปลง AVR ในสภาวะแรงดันในระบบจำหน่ายวิกฤติ โดยหลักการของนวัตกรรมทำตัวเป็น Stabilizer และ ATS : Auto Transfer Switch โดยถูกออกแบบบนเงื่อนไขเบื้องต้นคือ

- ทนทาน การบำรุงรักษาน้อย
- วงจรไม่ซับซ้อน สามารถแก้ไข ซ่อมแซม และหาอะไหล่/อุปกรณ์ ทดแทนได้ง่าย
- มีเสถียรภาพ สามารถทำงานได้แม้ในกรณีชำรุด

ด้วยเงื่อนไขดังกล่าวทำให้นวัตกรรม Mini AVR เลือกใช้ระบบแบบ Analog ซึ่งมีความทนทาน วงจรไม่ซับซ้อน และอุปกรณ์สามารถหาได้ตามท้องตลาดทั่วไป และเนื่องจากใช้หน้าสัมผัส NC สำหรับสวิตช์ Bypass จึงทำให้สามารถทำงานได้แม้ในกรณีชำรุด และช่วยยืดอายุการใช้งานนวัตกรรม จากเงื่อนไขข้างต้นนำไปสู่การออกแบบวงจรกำลัง และวงจรควบคุมแสดงดังรูปที่ 4 และ รูปที่ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 4 วงจรกำลัง Mini AVR

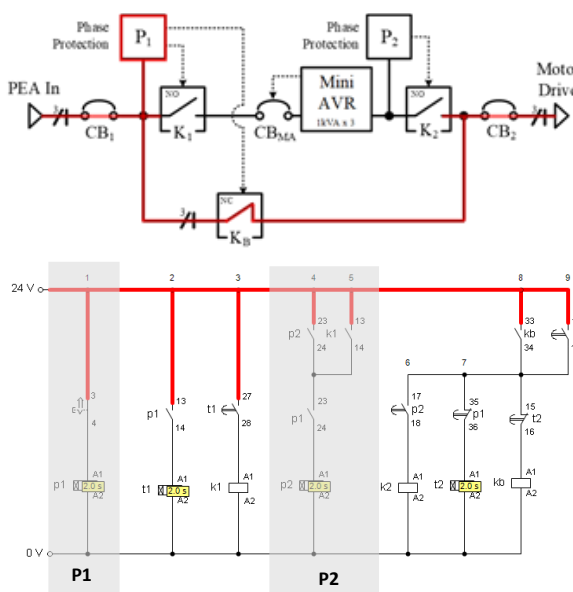


รูปที่ 5 วงจรควบคุม Mini AVR

การจำลอง และขั้นตอนการทำงาน Mini AVR

สถานะที่ 1 สภาวะปกติ

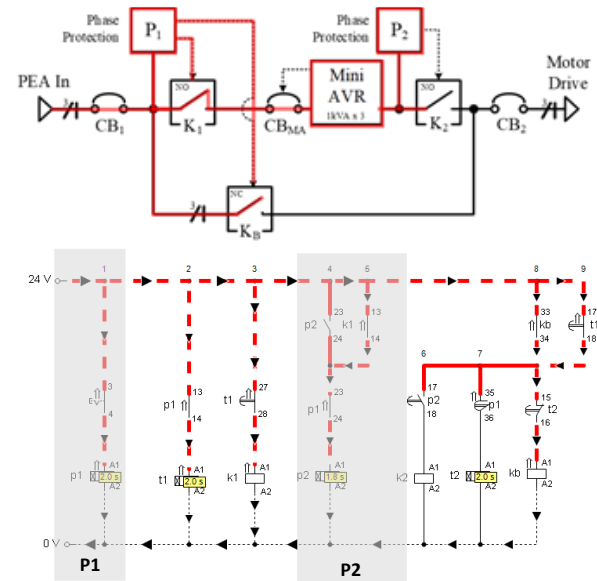
ในสภาวะปกติแรงดันจะอยู่ระหว่าง 20.9kV – 23.1kV [2] ซึ่งทำให้แรงดันด้านแรงต่ำของหม้อแปลงอยู่ระหว่าง 209V-231V ในสภาวะดังกล่าวอุปกรณ์ในระบบจำหน่าย และอุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าทำงานได้ปกติ ในสภาวะนี้แสดงการทำงานดังรูปที่ 6 การทำงานสภาวะปกติ



รูปที่ 6 สถานะที่ 1 สภาวะปกติ

สถานะที่ 2 เมื่อเริ่มตรวจสอบพบแรงดันผิดปกติ

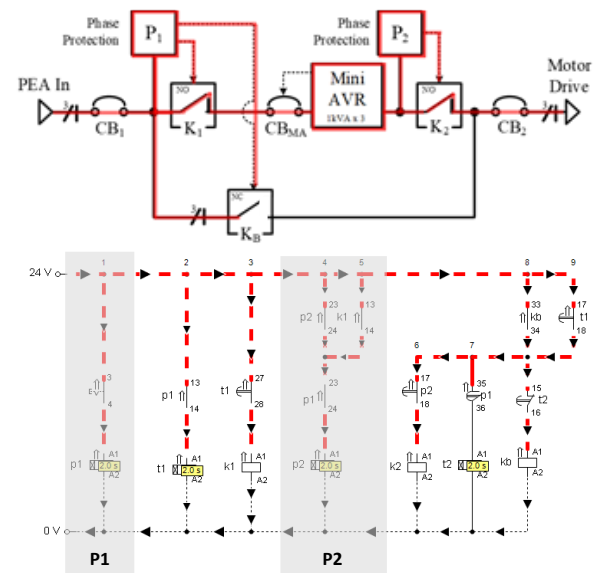
ในสภาวะแรงดันผิดปกติ แรงดันจะอยู่นอกช่วง 20.9kV – 23.1kV หรือกรณีฉุกเฉินแรงดันจะอยู่นอกช่วง 19.8kV – 24.2kV [2] ส่วนมากจะเกิดแรงดันต่ำกว่าปกติ จากการถ่ายเทโหลดกลุ่มใหญ่ ในสภาวะดังกล่าว Phase protection P1 จะตรวจพบแรงดันผิดปกติ จะสั่ง K1 ทำงานเพื่อจ่ายไฟให้ อุปกรณ์ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ เพื่อปรับแรงดันให้พร้อมทั้ง 3 เฟส และสั่งปลด KB โดยกระบวนการดังกล่าวจะถูกหน่วงเวลาจาก T2 6 วินาที แสดงสภาวะการทำงานดังรูปที่ 7 การทำงานสภาวะที่ 2



รูปที่ 7 สถานะที่ 2 พบแรงดันผิดปกติ ทำการสลับแหล่งจ่าย

สถานะที่ 3 Mini AVR จ่ายไฟให้วงจรควบคุมหม้อแปลง AVR

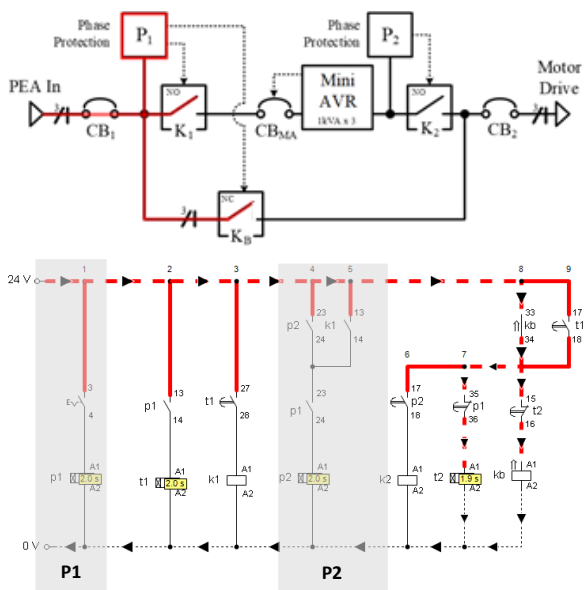
จากภาพด้านล่างเป็นสภาวะที่แรงดันในระบบจำหน่าย 22kV มีปริมาณแรงดันผิดปกติ ซึ่งต้องได้รับแหล่งจ่ายไฟผ่านอุปกรณ์ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ โดยมี P2 ตรวจสอบแล้วว่าปริมาณแรงดันที่ออกมาแล้วปกติ สามารถจ่ายให้ชุดควบคุมหม้อแปลง AVR ได้อย่างปลอดภัย ภาพการทำงานในสภาวะที่ 3 แสดงดังรูปที่ 8 การทำงานสภาวะที่ 3



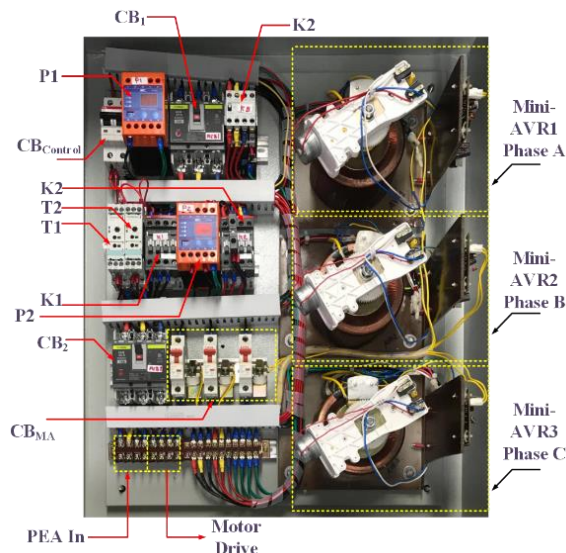
รูปที่ 8 สถานะที่ 3 Mini AVR จ่ายไฟให้ชุดควบคุมหม้อแปลง AVR

สถานะที่ 4 เมื่อตรวจพบว่าแรงดันจาก PEA In ปกติ หน่วงเวลาเพื่อคืนสภาพ

เมื่อ P1 ตรวจพบว่าแรงดันในระบบ 22kV กลับคืนสู่สภาวะปกติ T1 จะหน่วงเวลา 10 วินาที หลังจากนั้นจึงสั่งปลด K1 ซึ่งส่งผลให้ K2 ถูกปลดออกเช่นกันดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 สภาวะที่ 4 เมื่อตรวจพบว่าแรงดันจาก PEA In ปกติ และช่วงเวลาเพื่อคืนสภาพ



รูปที่ 10 ส่วนประกอบภายในตู้ Mini AVR

สภาวะที่ 5 คืบสภาพจ่ายไฟปกติ

เมื่อ P1 พบแรงดันปกติอยู่ในช่วงแรงดันจะอยู่ระหว่าง 20.9kV – 23.1kV ซึ่งทำให้แรงดันต่ำอยู่ระหว่าง 209V-231V หรือกรณีฉุกเฉิน 19.8kV – 24.2kV เมื่อ K1 และ K2 ถูกปลดออก หลังจากนั้น 4 วินาที KB จะถูกสับเข้ามาตามลำดับ จบขั้นตอนการทำงานคืบสภาพจ่ายไฟปกติโดยเงื่อนไขการทำงานแสดงดังตารางที่ 1

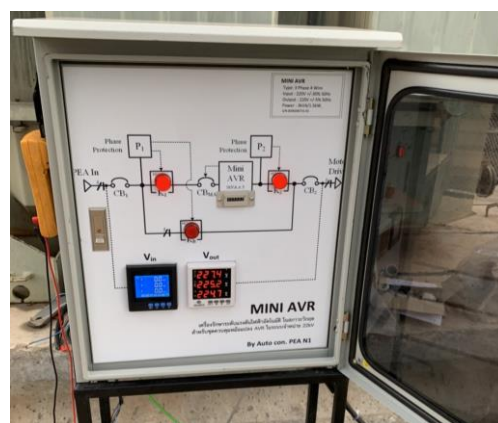
ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทำงาน นวัตกรรม Mini AVR

แรงดันไฟฟ้าด้าน Load ของหม้อแปลง AVR	แรงดันไฟฟ้าด้าน Low Volt ของหม้อแปลง Auxiliary	การทำงานของ Mini Auto Voltage Regulator
1. แรงดันไฟฟ้าช่วงปกติ 20-24 kV	200 V < L1 < 240 V 200 V < L2 < 240 V 200 V < L3 < 240 V	ไม่ทำงาน อยู่ใน Mode Standby
2. แรงดันไฟฟ้าตก < 20 kV	L1 < 200 V L2 < 200 V L3 < 200 V	เพิ่มแรงดันไฟฟ้าโดยการปรับเพิ่มจำนวนขดลวดด้านทุติยภูมิ เพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้า 220 V
3. แรงดันไฟฟ้าเกิน > 24kV	L1 > 240 V L2 > 240 V L3 > 240 V	ลดแรงดันไฟฟ้าโดยการปรับลดจำนวนขดลวดด้านทุติยภูมิ เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าให้เหลือ 220 V

จะเห็นว่าอุปกรณ์จะทำงานในช่วงสภาวะแรงดันวิกฤตตามข้อ 2) และ 3) เท่านั้นหากแรงดันอยู่ในช่วงปกติตามข้อ 1) อุปกรณ์จะอยู่ใน Mode Stand by หรือไม่มีการทำงานของ Magnetic ,Timer และชุดควบคุมแรงดันอัตโนมัติ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของวงจร เพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์

การประดิษฐ์ และรายละเอียดโครงสร้าง

จากวงจรกำลัง และวงจรควบคุม Mini AVR ที่ถูกออกแบบมาสู่การสร้างชุดต้นแบบโดยมีรายละเอียดโครงสร้างและอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 10 และ รูปที่ 11 ตามลำดับ



รูปที่ 11 โครงสร้าง และลักษณะหน้าตู้ Mini AVR

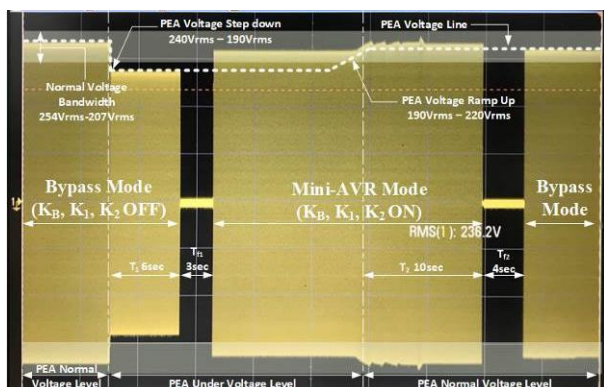
นอกเหนือจากนี้ Mini AVR ได้ติดตั้งเครื่องวัดปริมาณแรงดันฝั่งเข้า และฝั่งออก พร้อมติดตั้งหลอดไฟแสดงสถานะไว้บนโต๊ะแกมวงจรกำลัง Mini AVR และติดตั้ง Counter เพื่อนับจำนวนครั้งการทำงานทุกครั้งที่ K2 มีการทำงาน โดยอุปกรณ์ทั้งหมดถูกบรรจุลงกล่องเหล็กกันน้ำ วางอยู่บนขาตั้งเหล็ก แสดงดังภาพ สำหรับรายละเอียดหรือ Name Plate ของนวัตกรรม Mini AVR แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Name Plate นวัตกรรม Mini AVR

พารามิเตอร์	พิกัด
เฟส/สาย	3 เฟส 4 สาย
พิกัดแรงดันด้านเข้า V_{input_L-N}	220V +/-30% 50Hz
พิกัดแรงดันด้านออก V_{output_L-N}	220V +/-5% 50Hz
พิกัดกำลัง	3kVA / 1.5kW
ระดับการป้องกันน้ำและฝุ่น IP	IP55 ตู้ 2 ชั้นกันน้ำ
ขนาดตู้	ส69cmxส57cmxล25cm
ขาดูสูงจากพื้น	53cm
น้ำหนัก	22.8kg

การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

จากหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงการออกแบบ จำลองการทำงาน และการสร้าง รายละเอียดของ Mini AVR ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดสอบ Mini AVR ในห้องปฏิบัติการ เพื่อยืนยันผลการออกแบบที่ได้กล่าวไปข้างต้น



รูปที่ 12 การทดสอบ Mini AVR ในห้องปฏิบัติการ

จากรูปที่ 12 แสดงผลของแรงดันด้านออกหรือ V_{out} (รูปคลื่นสีเหลือง) และ แรงดันด้านเข้า V_{in} (เส้นสีขาว) แลว สีขาวแสดงช่วงแรงดันปกติ จากผลการทดลอง Mini AVR ในห้องปฏิบัติการ เมื่อทำการทดลองลดแรงดันลงทันทีที่ทันใดจาก 240V เป็น 190V พบว่า

- ใช้เวลา 6 วินาทีในการปลด K_b
- ใช้เวลาอีก 3 วินาทีในการสลับแหล่งจ่ายผ่าน Mini AVR ในสถานะคืนสภาพจ่ายไฟ
- ใช้ระยะเวลา 10 วินาทีในการปลด Mini AVR
- ใช้เวลาอีก 4 วินาทีในการสับ K_b หรือสลับแหล่งจ่ายเป็นแรงดันจาก PEA

จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่าชุด Mini AVR สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขการออกแบบที่กำหนดซึ่งเป็นเครื่องยืนยันความถูกต้อง เพื่อความมั่นใจในการติดตั้งใช้งาน

การทดลองติดตั้งใช้งานและผลการติดตั้ง

จากผลการทดลองขยายผลติดตั้งใช้งานนวัตกรรม Mini AVR จำนวน 7 แห่ง ที่พบปัญหามากที่สุด ในเขตพื้นที่ กปน.1 (จากจำนวนทั้งสิ้น 33 แห่ง) ระยะเวลาทดสอบติดตั้งใช้งานร่วมกับ AVR ในระบบจำหน่าย ทั้งสิ้น 1 เดือน ตั้งแต่วันที่ 20 กรกฎาคม 2564 ถึง 20 สิงหาคม 2564 ดังตารางที่ 3



รูปที่ 13 ตัวอย่างการติดตั้งใช้งานนวัตกรรม Mini AVR ร่วมกับหม้อแปลง AVR ในระบบจำหน่าย 22kV

ตารางที่ 3 พื้นที่ติดตั้งทดลองใช้งานขยายผล และจำนวนการทำงาน หลังการติดตั้งระยะเวลา 1 เดือน

ลำดับ	จุดติดตั้ง	การทำงาน (ครั้ง)
1	AVR ฮอด-บ่อหลวง F8	28
2	AVR จอมทอง-แม่แจ่ม	94
3	AVR ขุนยวม-แม่แจ่ม	12
4	AVR ภูซาง-เทิง	68
5	AVR พร้าว-เชียงดาว	18
6	AVR พร้าว-เวียงป่าเป้า	35
7	AVR แม่ฮ่องสอน	12

จากการติดตามผลพบว่า นวัตกรรม Mini AVR สามารถใช้งานร่วมกับหม้อแปลง AVR ในระบบจำหน่ายได้ปกติ จากการสอบถาม พนักงาน กฟผ. ที่ดูแลรับผิดชอบ AVR ในแต่ละพื้นที่ ไม่พบการทำงานที่ผิดปกติของ AVR ในระบบจำหน่าย

สรุป

นวัตกรรม Mini AVR หรือเครื่องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ ในสภาวะวิกฤตสำหรับชุดควบคุมหม้อแปลง AVR ในระบบจำหน่าย 22kV สามารถทำงานได้ตามฟังก์ชันที่ออกแบบไว้ แสดงให้เห็นดังผลการจำลองและการทดสอบ Mini AVR ในห้องปฏิบัติการ อีกทั้งยังใช้งานร่วมกับ AVR ในระบบจำหน่ายได้จริง ซึ่งช่วยแก้ไขปัญหาคุณภาพแรงดันไฟฟ้าในวงกว้างได้จากการทำงานผิดปกติของ AVR โดยป้องกันกร Tripping ของเบรกเกอร์ Q1 สาเหตุจากการถ่ายเทโหลดกลุ่มใหญ่ โดยได้แสดงให้เห็นจากผลการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- [1] P.C.Sen "Principles of Electric Machines and Power Electronics," Second Edition, Induction Machines, 1997, pp. 238-241.
- [2] กองระบบงานองค์กร ฝ่ายนโยบายและยุทธศาสตร์ สายงานยุทธศาสตร์, "มาตรฐานคุณภาพบริการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พ.ศ. 2563," มาตรฐานแรงดันไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์, หน้า 31-37