การออกแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ

THE DESIGN OF A SOLID STATE CIRCUIT BREAKER FOR LOW VOLTAGE POWER SYSTEM

ศุภวัฒน์ คำทิพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การออกแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ

ศุภวัฒน์ คำทิพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ
	The Design of a Solid State Circuit Breaker for Low Voltage System
ชื่อ - นามสกุล	นายศุภวัฒน์ คำทิพย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณฐภัทร พันธ์คง, Ph.D.
ปีการศึกษา	2558

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ทรัพย์สิงห์, Ph.D.)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาคร โพธิ์งาม, วศ.ด.)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณฐภัทร พันธ์คง, Ph.D.)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 19 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ
ชื่อ-นามสกุล	นายศุภวัฒน์ คำทิพย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณฐภัทร พันธ์คง, Ph.D.
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำซึ่งเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ทั่วไปไม่สามารถป้องกันความผิดพร่องได้ทั้งหมด เนื่องจากการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะมีโครงสร้างการป้องกันอยู่ 2 แบบคือแผ่นโลหะคู่ทำหน้าที่ในการตรวจจับกระแสไฟฟ้าโหลดเกินและขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าทำหน้าที่ตรวจจับการลัดวงจร

การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์จึงได้แบ่งขั้นตอนการทำงานคือขั้นตอนการตรวจจับกระแสและแรงดันไฟฟ้า ขั้นตอนการสวิตช์ และขั้นตอนการทำงานเมื่อมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น จึงพบได้ว่าปัญหาการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ยังไม่สามารถแก้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าได้ทั้งหมด ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ศึกษาและออกแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยใช้สวิตช์แบบโซลิดสเตดเป็นตัวตัดต่อวงจรและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลและส่งสัญญาณภายใต้เงื่อนไข แรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว การลัดวงจรและการอาร์ค โดยการตรวจจับเหตุการณ์ แรงดันไฟฟ้าเกิน แรงดันไฟฟ้าตก กระแสไฟฟ้าเกินและกระแสไฟฟ้ารั่วจะใช้วิธีการตรวจจับแบบอาร์เอ็มเอส ส่วนการลัดวงจรจะใช้การตรวจจับค่ายอด และการตรวจจับอาร์คจะใช้วิธีการชี้วัดความแข็งแกร่งของสัญญาณด้านรับ (อาร์เอสเอสไอ)

การจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดขนาดพิกัดกระแสทริป 30 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ จะจำลองการตัดวงจรเมื่อเกิด แรงดันไฟฟ้าเกิน แรงดันไฟฟ้าตก กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว การลัดวงจรและการอาร์ค และสร้างต้นแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดขนาดพิกัดตามที่เสนอและได้ทำการทดสอบการตัดและต่อวงจรในสภาวะผิดปกติ โดยอ้างอิงมาตรฐาน IEC 60898 และ มาตรฐาน UL 1966 ดังนั้นการออกแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดในวิทยานิพนธ์นี้สามารถเป็นต้นแบบและนำไปพัฒนาได้ในอนาคต

คำสำคัญ : เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด ความผิดพร่อง กระแสทริป การอาร์ค อาร์เอสเอสไอ

Thesis Title	The Design of a Solid State Circuit Breaker for Low Voltage System
Name-Surname	Mr. Supawat Kamtip
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Krischonme Bhumkittipich, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Assistant Professor Nathabhat Phankong, Ph.D.
Academic Year	2015

ABSTRACT

This study aims to design a solid state circuit breaker (SSCB) for low voltage system. The general circuit breaker could not protect all faults because the bimetal structure detected excess overload current while the magnetic coil detected the short circuit.

The operation of general circuit breakers can be classified the operation process involved detection of voltage and current, switching process, and abnormal operation process. This circuit breaker could not detect all of power quality problem, so the design of the SSCB is created using IGBTs as switching devices and the microcontroller as the processor under conditions of voltage sag, voltage swell, overload current, leakage current, short circuit, and arcing. By the way, The voltage sag, voltage swell, overload current and leakage current were detected by RMS method while the short circuit was detected by peak detection method and Received Signal Strength Indication (RSSI) method detected arcing phenomena.

The design of the SSCB included 30 AT, 220 V, and 50 Hz and displayed signal voltage and current. It was disconnected in case of voltage sag, voltage swell, overload current, leakage current, short circuit, and arcing. The results revealed that voltage and current signal were disconnected and connected in abnormal conditions by referring to the IEC 60898 and UL1966 standards. Therefor, this SSCB can be created as the principles of SSCB develop in the future.

Keywords: solid state circuit breaker, fault, ampere trip (AT), arcing, RSSI

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดีข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทร พันธ์คง ที่ปรึกษาร่วม ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร โพธิ์งาม ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 5 ท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ประเมินรับรองต้นแบบชิ้นงานวิจัยและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงานที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบใจเพื่อนนักศึกษาระดับปริญญาโทและเอก ทุกคนที่ให้กำลังใจในการดำเนินกิจกรรมการวิจัยจนได้ความสมบูรณ์ของงาน ขอขอบคุณบุคลากร บัณฑิตวิทยาลัยทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย

คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ศุภวัฒน์ คำทิพย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย........ (3)

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ........ (4)

กิตติกรรมประกาศ........ (5)

สารบัญ........ (6)

สารบัญตาราง........ (8)

สารบัญรูป........ (9)

สัญลักษณ์และคำย่อ........ (11)

สารบัญรูป........ (12)

บทที่ 1 บทนำ........ 13

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา........ 13

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย........ 15

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย........ 15

1.4 ขอบเขตของการวิจัย........ 16

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน........ 16

1.6 ข้อจำกัดของวิทยานิพนธ์........ 16

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ........ 16

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง........ 17

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด........ 17

2.2 ความเป็นมาของปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน........ 20

2.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไป........ 23

2.4 เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด........ 26

2.5 วงจรสนับเบอร์........ 30

2.6 การตรวจจับ........ 33

2.7 กรอบของการทำงานวิจัย........ 42

2.8 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง........ 43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด…… 45

3.1 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด…… 46

3.2 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดกรณีที่เกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน…… 48

3.3 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดกรณีที่เกิดแรงดันไฟฟ้าตก…… 49

3.4 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดกรณีที่เกิดกระแสไฟฟ้าเกิน…… 50

3.5 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดกรณีที่เกิดการอาร์ค…… 51

3.6 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดกรณีที่เกิดกระแสไฟฟ้ารั่ว…… 52

3.7 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดกรณีที่เกิดลัดวงจร…… 53

บทที่ 4 การทดสอบการทำงานและผลการวิเคราะห์ข้อมูล…… 54

4.1 ชุดทดสอบของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด…… 54

4.2 การทดสอบการทำงานของการตรวจจับแรงดันและกระแส…… 55

4.3 การทดสอบการตัดและต่อวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด…… 59

4.4 การทดสอบกำลังสูญเสียของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทขณะทำการสวิตช์…… 60

4.5 การทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด…… 62

4.6 เปรียบเทียบและสรุปผล…… 65

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ…… 66

5.1 สรุปผลการวิจัย…… 66

5.2 ข้อเสนอแนะ…… 68

บรรณานุกรม…… 69

ภาคผนวก…… 75

ภาคผนวก ก ข้อมูลต่างๆ…… 76

ภาคผนวก ข การออกแบบและวงจรทดลอง…… 96

ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่…… 105

ประวัติผู้เขียน…… 152

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สาเหตุและผลกระทบของปรากฏการณ์ทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า.................. 20
ตารางที่ 2.2 มาตรฐาน IEEE Std 242-2001 กำหนดค่าการเคลียร์ฟอลต์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์..... 26
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไปกับเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต...... 66
ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบเวลาการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์....................................... 67

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต 14
รูปที่ 2.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์เชิงกล 24
รูปที่ 2.2 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 24
รูปที่ 2.3 ส่วนการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต 26
รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลในอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 28
รูปที่ 2.5 กระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์สวิตซ์ที่ช่วงเวลาต่างๆ 28
รูปที่ 2.6 การทำงานของวงจรสนับเบอร์เริ่มการทำงานของวงจร $t_0 < T < t_1$ 30
รูปที่ 2.7 การทำงานของวงจรสนับเบอร์ $t_1 < T < t_2$ 30
รูปที่ 2.8 การทำงานของวงจรสนับเบอร์ $t_2 < T < t_3$ 31
รูปที่ 2.9 วงจรสนับเบอร์วงจร A และวงจร B 31
รูปที่ 2.10 การทำงานของวงจรสนับเบอร์ $t_3 < T < t_4$ 32
รูปที่ 2.11 รูปคลื่นสัญญาณของไซน์ 33
รูปที่ 2.12 สัญญาณของการควบคุมจากการตรวจจับที่มุมต่างกัน 90 องศาทางไฟฟ้า 37
รูปที่ 2.13 การอาร์ค Line to Line แบบขนาน 39
รูปที่ 2.14 การอาร์คแบบอนุกรม 39
รูปที่ 2.15 การอาร์ค Line to Ground 40
รูปที่ 2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์การอาร์แบบขนาน(1) และอนุกรม(2) 40
รูปที่ 2.17 การประมวลผลของการตรวจจับอาร์ค 41
รูปที่ 2.18 กรอบของการทำงานวิจัย 42
รูปที่ 3.1 โครงสร้างภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต 45
รูปที่ 3.2 การจำลองการต่อวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 47
รูปที่ 3.3 การจำลองรูปคลื่นการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต 48
รูปที่ 3.4 การจำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตขณะแรงดันไฟฟ้าเกิน 49
รูปที่ 3.5 การจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตขณะแรงดันไฟฟ้าตก 50
รูปที่ 3.6 การจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตขณะกระแสไฟฟ้าเกิน 51
รูปที่ 3.7 การจำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตขณะเกิดการอาร์ค 51

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.8 การจำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตขณะกระแสไฟฟ้ารั่ว.............................. 52
รูปที่ 3.9 การจำลองการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบลัดวงจร.. 53
รูปที่ 4.1 โครงสร้างของของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต.. 54
รูปที่ 4.2 แรงดันด้านเข้าและสัญญาณแรงดันเข้าบอร์ด STM32F4…………………................. 55
รูปที่ 4.3 แรงดันด้านเข้าและสัญญาณแรงดันเข้าบอร์ด STM32F เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าตก........... 56
รูปที่ 4.4 แรงดันด้านเข้าและสัญญาณแรงดันเข้าบอร์ด STM32F เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน……. 57
รูปที่ 4.5 กระแสที่โหลดและสัญญาณกระแสเข้าบอร์ด STM32F เมื่อต่อวงจร………………… 58
รูปที่ 4.6 กระแสที่โหลดและสัญญาณกระแสเข้าบอร์ด STM32F เมื่อตัดวงจร........................... 58
รูปที่ 4.7 การอาร์คของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต.. 59
รูปที่ 4.8 การทดสอบการต่อวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต................................. 59
รูปที่ 4.9 การทดสอบการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต................................. 60
รูปที่ 4.10 กำลังสูญเสียในการสวิตช์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตเมื่อตัดวงจร............ 61
รูปที่ 4.11 กำลังสูญเสียในการสวิตช์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตเมื่อต่อวงจร............ 61
รูปที่ 4.12 ทดสอบการลัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต...................................... 62
รูปที่ 4.13 การทดสอบการอาร์คของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต………………………… 63
รูปที่ 4.14 การทดสอบแรงดันเกินของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต……………............ 64
รูปที่ 4.15 การทดสอบแรงดันตกของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต.................................... 64

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
C_S	ตัวเก็บประจุสนับเบอร์
dv/dt	อัตราการเพิ่มของแรงดัน
dv/dt	ตัวเก็บประจุสนับเบอร์
$i(t)$	กระแสที่เกิดขึ้นทันทีทันใด
P_{AV}	กำลังสูญเสียของการสวิตซ์ในขณะที่ทำงาน
P_Q	ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ไอจีบีที
P_R	ตัวต้านทานสนับเบอร์
R_S	ตัวต้านทานสนับเบอร์
T_a	อุณหภูมิแวดล้อม
$T_{j\,max}$	อุณหภูมิการทำงานสูงสุด
$t_{conduct}$	คาบเวลาในการสุ่มข้อมูล
$t_{com(\max)}$	ค่าเฉลี่ยของเวลาในการ Turn off
t_{off}	ช่วงเวลาหยุดนำกระแส (Off)
$t_{s,on}$	ช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (Turn On)
$t_{s,off}$	ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (Turn Off)
$\|V\|$	ขนาดของแรงดันไฟฟ้า
$\angle V$	มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า
$W_{con,loss}$	การสูญเสียขณะนำกระแส
W_{on}	การสูญเสียขณะหยุดนำกระแส
W_{off}	จำนวนของตัวเก็บประจุ
$W_{s,loss}$	การสูญเสียขณะสวิตซ์ชิ่ง
$W_{s_on,loss}$	การสูญเสียช่วงเริ่มนำกระแส
$W_{s_off,loss}$	การสูญเสียช่วงเริ่มหยุดนำกระแส

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

คำย่อ	ความหมาย
AFCIs	Arc Fault Circuit Interrupters
ASD	Adjustable Speed Drive
IEC	Internationnal Electrotechique Commission
KVL	Kirchoff’s voltage law
KCL	Kirchoff’s current law
PWM	Pulse Width Modulated
RMS	Root-mean-square
RSSI	Received Signal Strength Indication
RL	Inductance Load
RC	Capacitance Load
SSCB	Solid State Circuit Breaker
THD	Total Harmonic Distortion
VS	Voltage source
AT	พิกัดกระแส
AF	พิกัดกระแสโครง

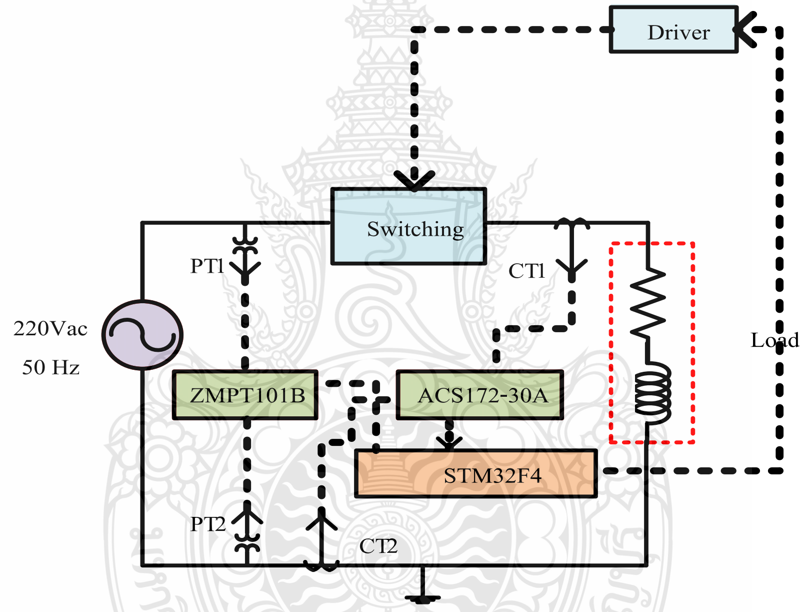
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อกล่าวถึงเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีใช้อยู่ในอดีตและปัจจุบันจะนิยมใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันเบื้องต้นของระบบไฟฟ้า เมื่อระบบเกิดความผิดพร่องอุปกรณ์จะต้องทำงานหรือตัดวงจร เมื่อ เกิดขึ้นซึ่งเมื่อเกิดความผิดพร่องนอกเหนือจากนี้จึงทำระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาวะอันตราย และปัญหาความไวของการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เชิงกล อีกทั้งเมื่อมีการตัดวงจรยังมีปัญหาจากการอาร์คที่เกิดจากการแยกตัวของหน้าสัมผัสดังนั้นจึงมีการใช้เทคนิคมากมายหลายอย่างเช่น การใช้ก๊าซ SF6 ระบบสุญญากาศ ระบบแรงดันอากาศ และการใช้ของเหลว และยังมีอีกหลายอย่าง ดังนั้นการใช้โซลิดสเตดมาแทนทำให้ไม่เกิดการอาร์คเกิดขึ้นระหว่างการสวิตช์[1] อีกทั้งโหลดอินดักทีฟที่ทำให้เกิดแรงดันย้อนกลับ (Restriking Voltage) เมื่อเกิดการตัดวงจรยังมีพลังงานในรูปเส้นแรงแม่เหล็กอยู่ หลังจากนั้นเส้นแรงแม่เหล็กก็จะยุบตัวทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าจ่ายให้กับวงจรอีกครั้ง ดังนั้นการสวิตช์ที่กล่าวถึงยังมีปัญญาที่ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้น[2] ปัญหาของการตรวจจับของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันและอดีตจะสามารถป้องกันในสภาวะที่เกิดการลัดวงจรและกระแสเกินเท่านั้นไม่สามารถที่จะตัดวงจรหรือทำงานเมื่อเกิดเหตุการณ์ความผิดพร่อง อาทิเช่น แรงดันผิดปกติ กระแสรั่ว การเกิดการอาร์คในระบบ[3] ดังนั้นความผิดพร่องที่เกิดในระบบ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันจะไม่สามารถป้องกันและตัดวงจรได้[4] นั้นแสดงให้เห็นว่าระบบไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบันและอดีตมีความเสี่ยงและอันตรายอย่างมาก เพราะว่าไม่สามารถทำงานได้โดยอ้างอิงจากการออกแบบระบบไฟฟ้าเบื้องต้นอีกทั้งการใช้ไฟฟ้ายังใช้กันทั้งประเทศและตลอดเวลา จึงทำให้กล่าวได้ว่าระบบไฟฟ้าที่ไม่ปลอดภัยและมีความเสี่ยงอาจจะกำหนดความเชื่อมั่นของระบบไฟฟ้า

การกล่าวอ้างถึงการป้องกันและปัญหาที่การป้องกันในอดีตที่ไม่สามารถคอบคุมทั้งหมด ดังนั้นการศึกษาอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า เมื่อเกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้าสิ่งที่สำคัญและจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ตรวจจับ[8] อุปกรณ์ป้องกันเพื่อจำกัดพื้นที่ของปัญหาและลดความเสียหายและอันตรายที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า วิทยานิพนธ์นี้มุ่งประเด็นศึกษาระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ กรณีที่แรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว การลัดวงจร การอาร์ค[7]

การศึกษาพฤติกรรมการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน มีเหตุการณ์ที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้อยู่ทั่วไป ไม่สามารถที่จะตรวจจับเมื่อเกิดความผิดพร่องที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงมีการศึกษาหลักการทำงาน การตรวจจับและการตัดต่อเมื่อระบบมีความผิดพร่องเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า การตรวจจับจึงเป็นสิ่งสำคัญอันดับแรกในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ดังนั้นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีใช้ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาใช้เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ และประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีที่สุด สิ่งสำคัญที่ต้องการในระบบไฟฟ้า คือ ความเร็วขณะทำงาน ความถูกต้องแม่นยำ ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า เมื่อมีการทำงาน สามารถทำงานได้หลายครั้งอย่างมั่นใจ รวมทั้งการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า ในช่วงของการตัดและต่อในสภาวะปกติและสภาวะเกิดความผิดพร่องของระบบไฟฟ้าแรงต่ำ



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

ดังรูปที่ 1.1 การศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังมาใช้ในการวิจัย เนื่องจากเป็นที่ทราบกันว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในปัจจุบันมีอัตราการทนแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่สูงมาก งานวิจัยนี้ต้องการนำสภาวะการนำกระแสและหยุดนำกระแสของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง มาใช้แทนในส่วนของหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เรียกว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดเซอร์ โดยการจำลองการทำงานใน Mathlab/Simulink ในการเกิดความผิดพร่องชนิดต่างๆและ เมื่อเกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสามารถที่จะทำงานได้ภายใต้เงื่อนไขการทำงานจากการจำลอง โดยนำไมโครคอลโทรลเลอร์ STM32F4 เข้ามา

ช่วยในประมวลผลการทำงานโดยที่รับค่ากระแสจาก ตัวตรวจวัดกระแส ACS712-30Aและตัวตรวจวัดแรงดัน ZMPT101B จากการตรวจจับความผิดพร่องของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าและรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าโดยทำการผ่านกระบวนการของยกระดับสัญญาณ(Signal Conditioning) ก่อนที่สัญญาณกระแสไฟฟ้าและสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจะเข้าไปยังช่อง อนาล็อกดิจิตอลคอนเวอร์เตอร์โมดูล จากนั้นชุดประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 รับค่าสัญญาณและเข้าไปในชุดการโปรแกรม Waijung Blockset ของ Mathlab/Simulink โดยการกำหนดช่องสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต

ดังนั้นในระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการออกแบบและจำลองความผิดพร่องในกรณีต่างๆของระบบไฟฟ้าเพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันปัญหาในระบบไฟฟ้า ในโครงงานวิจัยนี้ได้เพิ่มในส่วนของการศึกษาการลัดวงจร กระแสไฟฟ้าเกิน แรงดันไฟฟ้าเกิน แรงดันไฟฟ้าตก กระแสไฟฟ้ารั่วและการอาร์ค ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาและนำเอาเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้ซึ่งสามารถที่จะเสริมจุดอ่อนของอุปกรณ์ป้องกันที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยสามารถที่จะตรวจจับสัญญาณไฟฟ้าได้และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลเพื่อตรวจจับความผิดปกติของรูปคลื่นทางไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาปัญหาของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า กรณีของ แรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว การลัดวงจรและการอาร์ค

1.2.2 เพื่อศึกษาและออกแบบการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดขนาดของกระแสทริป 30 แอมแปร์ พิกัดแรงดัน 220 โวลต์ เพื่อป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้า

1.2.3 เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

การทำงานของวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด โดยศึกษาการทำงานของวงจรและสามารถออกแบบการทำงานและกำหนดขนาดของอุปกรณ์ ซึ่งสามารถทนกระแสไฟฟ้าและตัดวงจรเมื่อเกิดปัญหากับระบบไฟฟ้า โดยใช้ไอจีบีทีเป็นตัวสวิตช์และรับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์และนำมาเป็นอุปกรณ์ป้องกัน จะต้องตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องเกิดขึ้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 วิเคราะห์วงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสำหรับระบบจำหน่ายแรงต่ำขนาดของกระแสทริป 30 แอมแปร์ พิกัดแรงดัน 220 โวลต์

1.4.2 จำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสำหรับระบบจำหน่ายแรงต่ำขนาดของกระแสทริป 30 แอมแปร์ พิกัดแรงดัน 220 โวลต์

1.4.3 สร้างต้นแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสำหรับระบบจำหน่ายแรงต่ำขนาดของกระแสทริป 30 แอมแปร์ พิกัดแรงดัน 220 โวลต์

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินการ

1.5.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

1.5.2 ศึกษาการจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

1.5.3 ออกแบบวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

1.5.4 วิเคราะห์การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

1.5.5 ทำการทดลองโดยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.5.6 สรุปผลการจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

1.5.7 สร้างต้นแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

1.5.8 ทดสอบชิ้นงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

1.6 ข้อจำกัดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้จะมีการออกแบบและจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดโดยใช้ไอจีบีทีเป็นวงจรการทำงานตัดและต่อวงจร และนำผลที่ได้จากการศึกษามาออกแบบและทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าแรงต่ำ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 การออกแบบวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

1.7.2 ต้นแบบวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

1.7.3 การเผยแพร่ผลการวิจัยในการประชุมวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า

1.7.4 การส่งเสริมการสร้างความมั่นคงของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยรวมของประเทศ

1.7.5 ผลการศึกษาวิจัยและพัฒนาสามารถนำไปใช้งานได้จริง

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจำลองและการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันเหตุการณ์ดังกล่าวจึงมีการการศึกษาทฤษฎีหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ป้องกันและลดความเสียหายของระบบไฟฟ้าแรงต่ำ ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดในการอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆนำมาประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นการออกแบบ การจำลอง การทดลองและการทดสอบจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณสมบัติที่ดีคือความน่าเชื่อถือและถูกต้องความรวดเร็ว ความสามารถในการตรวจสอบได้และความง่ายในการใช้งาน

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาทฤษฎีหรือการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสำหรับระบบจำหน่ายแรงต่ำ การจำลองและการทดสอบอุปกรณ์การป้องกัน เมื่อเกิดความผิดพร่องของระบบไฟฟ้าการศึกษาทฤษฎีหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ป้องกันและลดความเสียหายของระบบไฟฟ้าแรงต่ำ ที่ทำให้เกิดอันตรายและความเสียหายกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟ จึงมีการศึกษาเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดจากความผิดพร่องของระบบไฟฟ้าแรงต่ำซึ่งมีเหตุการณ์ที่ใช้ทดสอบมีดังนี้ แรงดันไฟฟ้าตกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 190 โวลต์แรงดันไฟฟ้าเกินมากกว่าหรือเท่ากับ 250 โวลต์กระแสไฟฟ้าเกินมากกว่าหรือเท่ากับ 30 แอมแปร์กระแสไฟฟ้ารั่วมากกว่าหรือเท่ากับ 25 มิลลิแอมแปร์และการอาร์ค

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

การทำวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาจากบทความต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีผู้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้ จึงยากต่อการหาเอกสารอ้างอิงสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ สำหรับเอกสารที่ได้ศึกษามา สรุปได้ดังนี้

Kai Ding, K.W.E.Cheng, X.D.Xue, B.P. Divakar, C.D.Xu, Y.B.Che, D.H.Wang และ P.Dong[7] บทความนี้นำเสนอการหาจุดเริ่มต้นและช่วงเวลาของเหตุการณ์ที่เกิดแรงดันตก ได้ทำการวิเคราะห์และแสดงให้เห็นว่าการตรวจจับแรงดันตกมีหลากหลายชนิด ซึ่งแสดงความเร็วในการตรวจจับ ความถูกต้องของแต่ละวิธีของการตรวจจับ ดังนั้นจึงผู้แต่งจึงใช้วิธีการตรวจจับค่ายอดและวิธีการตรวจจับแบบอาร์เอ็มเอส ซึ่งวิธีการตรวจจับทั้ง2แบบนี้ มีข้อเสียจึงต้องหาวิธีการตรวจจับแบบใหม่จึงใช้การตรวจจับแบบเอ็มวี(MV Massing Voltage method)เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดและความซับซ้อนของการใช้งาน และยังหลีกเลี่ยงวิธีการตรวจจับฮิตเตอร์รีซีส ที่มีความช้าแต่แม่นยำสูงเมื่อเปรียบเทียบการตรวจจับแบบอื่น ดังนั้นข้อเสียของการตรวจจับวิธีอาร์เอ็มเอส เมื่อค่าภาวะชั่วครู่

จะมีการเพิ่มขึ้นของค่ายอดทำให้เกิดการตรวจจับที่ผิดพลาดเกิดขึ้นในเครื่องวัด ทำให้ผู้แต่งคิดเทคนิคการตรวจจับแบบ เทคนิคการตรวจจับแรงดันผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งวิธีการนี้สามารถที่จะตรวจจับได้อย่างถูกต้องแม่นยำและยังง่าย รวดเร็ว และสมการคณิตศาสตร์ของอัลกอริทึมที่ใช้เขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่ซับซ้อน

W. S. Moon,J. C. Kim; A. Jo,S. B. Bang และ W. S. Koh[8]บทความนี้นำเสนอมาตรฐาน UL1699 ของการอาร์คเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบการอาร์คที่เกิดขึ้นโดยจะมีอุปกรณ์ตรวจจับเรียกว่า AFCIs (Arc Fault Circuit Interrupters) ในระบบ มี 3 ชนิด คือ แบบ Line to Line แบบขนาน Series arc และแบบ Line to Ground โดยเฉพาะการเกิดการอาร์คแบบอนุกรม เมื่อเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบเชิงกลไม่สามารถตรวจจับได้ เมื่อมีการอาร์คเกิดขึ้นจุดการอาร์คจะทำให้เกิดความร้อนจนเป็นสาเหตุของการเกิดไฟไหม้ ดังนั้นจึงวิเคราะห์ปัญหาของการเกิดการอาค์รแบบอนุกรม โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ Specimen เป็นการสร้างต้นแบบในการทดสอบการอาร์คโดยมีตัวตรวจจับแบบยูวี นำออสซิลโลสโคปมาวัดค่ากระแส แรงดันด้านเข้า แรงดันการเกิดอาร์คและตัวตรวจจับยูวี โดมมีการทดสอบ 2 แบบคือ แบบที่ 1 จ่ายแรงดันด้านปฐมภูมิ 200 โวลต์และด้านออก 15 กิโลโวลต์ โดยทำให้เกิดการอาร์ค จากนั้นลดแรงดันเป็น 7.5 กิโลโวลต์ โดยใช้โหลด 100 วัตต์ แบบที่ 2 จ่ายแรงดัน 220 โวลต์ จากนั้นปรับค่ายอดของกระแสเป็น 5,10,20,30 แอมแปร์ตามลำดับแล้วดูแรงดันที่ตัวตรวจจับ ยูวี สรุปการทำงานเป็นไปตามเงื่อนไขสามารถวัดพลังงานของการอาร์คได้โดยนำแรงดันของการเกิดอาร์คมาคูณกับกระแสด้านเข้าแล้วทำการอินทีเกรด โดยอ้างอิงมาตรฐาน UL1966

Seung Kook Yang, Yeon Su Kim, In-Gun Kim, Taejun Choi และ Ju lee[9]บทความนี้การนำเสนอสถิติสาเหตุการเกิดไฟไหม้ที่เกิดจาก การลัดวงจร กระแสเกิน กระแสรั่ว การเกิดการอาร์คและอัตราส่วนของความผิดพร่องของระบบไฟฟ้าที่ทำให้เกิดไฟไหม้ สรุปคือการเกิดการอาร์คแบบอนุกรมที่ทำให้เกิดไฟไหม้มากที่สุด ดังนั้นจึงมีการตรวจจับอาร์คเกิดขึ้น โดยใช้ตัวตรวจจับ 2 แบบ คือ เอเอฟซีไอ(AFCIArc Fault Circuit Interruptions)และเอเอฟดีดี (AFDD Arc Fault Detection Device) ทั้ง 2 ชนิดเป็นตัวตรวจจับการเกิดการอาร์คที่เป็นสาเหตุของการไฟไหม้ และได้มีการอธิบายวิธีการทำงานของการตรวจจับ โดยใช้สัญญาณกระแสความถี่ต่ำและนำเสนอวิธีการทำงานของการตรวจจับการอาร์คโดยใช้สัญญาณ อินฟาเรดเอฟเอ็ม โดยอาศัยความถี่สูงและความถี่ต่ำของอาร์เอสเอสไอ RSSI(Received Signal Strength Indication) คุณสมบัติของการตรวจจับสามารถตรวจจับการเกิดอาร์คในระบบได้เมื่อเกิดแรงดัน ขั้นตอนในตรวจจับและการทำงานมี 3 ขั้นตอน ดังนี้ 1.วิเคราะห์รูปคลื่นสัญญาณ 2.ใช้สัญญาณรูปคลื่นฮาร์โมนิค 3.ใช้สัญญาณรูปคลื่นความถี่สูง เมื่อได้สัญญาณตามที่

ต้องการได้นำค่ากระแสอาร์คและRSSI มาเข้ากระบวนการทำงานแล้ว ทำการเปรียบเทียบสัญญาณสุดท้ายก็จะเป็นตัวตรวจจับการอาร์คข้อดีของบทความนี้ทำให้รู้พื้นฐานและหลักการของการตรวจจับ

Jonathan Andrea,Partrick Schweitzer และJean-Mary Martel[10]บทความนี้ชนิดการอาร์คที่เป็นสาเหตุของการเกิดไฟไหม้ โดยอ้างอิงชนิดการเกิดในระบบของ ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบรถไฟฟ้า ระบบอากาศยานและระบบไฟฟ้าของที่อยู่อาศัย รวมถึงการเกิดการอาร์คของหน้าสัมผัส โดยอ้างอิงมาตรฐานการเกิดอาร์คของ AFCI UL1996 โดยมีการทดสอบและเปรียบเทียบ 3 ชนิด คือ จีดีอาร์ค(GDARC Generator Device Arcing)การทดสอบระหว่างสายทองแดงการทดสอบสายทองแดงในผงถ่านส่วนการทดสอบ แบบที่ 1 มีการใช้ทดสอบในช่วงแรงดันเกิน การอาร์คจะปรากฏที่ขั้ว อิเลคโทรดเกิดจากความต่างศักย์ทั้งสองขั้ว ที่แรงดัน 65 โวลต์ กระแส 10 แอมแปร์ โดยให้มอสเฟสเป็นตัวจ่ายความถี่ให้กับหม้อแปลง โดยปรับแรงดันกระแสด้านทุติยภูมิ 20 แอมแปร์ แบบที่ 2 หน้าสัมผัสการอาร์คประกอบด้วยขั้วอิเลคโทรดและขั้วอิเลคโทรดเคลื่อนที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.4 มิลลิเมตร โดยการปรับระยะระหว่างขั้วอิเลคโทรดทั้งสอง แบบที 3 จะใช้ลวดตัวนำขนานกันแล้วทำการสับใบมีดขากับตัวนำทั้งสองโดยใช้โหลดขนาด 100 วัตต์โดยอ้างอิงวิธีการทดสอบ UL1966 โดยการปรับระยะระหว่างตัวนำทั้งสอง แรงดันที่ใช้ทดสอบที่ 120 โวลต์ระยะเวลาที่ใช้ทดสอบการอาร์ค 10 วินาที ดังนั้นจึงนำมาปรับวิธีการทดสอบการอาร์คให้เหมาะสมกับวิทยานิพนธ์นี้

F. R. Zaro, M. A. Abido, S. Ameenuddin และ I. M. Elamin[11] บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์และแสดงช่วงเวลาการลัดวงจร ทำให้เกิดช่วงแรงดันค่ายอดไม่ปกติจึงเกิดแรงดันไฟฟ้าตกและเกิน ดังนั้นการตรวจวัดจะมีการคำนวณหาค่าอาร์เอ็มเอสและหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณและอีกวิธีจะใช้ Quadrature เป็นวิธีการตรวจจับที่เร็วกว่าวิธีอาร์เอ็มเอส ซึ่งวิธีการตรวจจับแรงดันตกและแรงดันเกินมีหลากหลายวิธี การจำลองเหตุการณ์แรงดันตกจะมีการเปรียบเทียบการตรวจจับแบบวิธีอาร์เอ็มเอสและวิธี Quadrature ทำให้เห็นว่าผลการจำลองของแรงดันตกวิธีการตรวจจับแบบ Quadrature จะมีการตรวจจับที่เร็วกว่าวิธีอาร์เอ็มเอส และการตรวจจับแรงดันเกินก็มีผลของการตรวจจับแบบ Quadrature เร็วกว่าอาร์เอ็มเอส จึงทำให้วิธีการนี้มีข้อดีคือมีความแม่นยำและรวดเร็วในการตรวจจับ

บทความ[11] นำเสนอมาตรฐานของ IEEE STD 1159-1995 การสังเกตคุณภาพของระบบไฟฟ้า และ มาตรฐาน UL1699 ของการอาร์คเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบการอาร์คที่เกิดขึ้นโดยจะมีอุปกรณ์ตรวจจับเรียกว่า AFCIs (Arc Fault Circuit Interrupters) ในระบบ มี 3 ชนิด คือ แบบ Line to Line แบบขนาน Series arc และแบบ Line to Ground โดยเฉพาะการเกิดการอาร์คแบบอนุกรม เมื่อเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบเชิงกลไม่สามารถตรวจจับได้ เมื่อมีการอาร์คเกิดขึ้นจุดการอาร์คจะทำให้เกิด

ความร้อนจนเป็นสาเหตุของการเกิดไฟไหม้ ดังนั้นจึงเอา AFCIs คือ arc fault circuit interrupters คุณสมบัติของการตรวจจับสามารถตรวจจับการเกิดอาร์คในระบบได้เมื่อเกิดแรงดัน ของ RSSI(Received Signal Strength Indication) ขั้นตอนในตรวจจับและการทำงาน 1.วิเคราะห์รูปคลื่นสัญญาณ 2.ใช้สัญญาณรูปคลื่นฮาร์โมนิค3.ใช้สัญญาณรูปคลื่นความถี่สูง เมื่อได้สัญญาณตามที่ต้องการได้นำค่ากระแสอาร์คและRSSI มาเข้ากระบวนการทำงานแล้ว ทำการเปรียบเทียบสัญญาณสุดท้ายก็จะเป็นตัวตรวจจับการอาร์ค

2.2 ความเป็นมาของปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

ปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น มีผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชิ้นเล็กๆ หรืออุปกรณ์ชิ้นอื่นที่ประกอบอยู่ในอุปกรณ์ไฟฟ้าทำให้อุปกรณ์เหล่านี้เสียหาย หรือไม่สามารถใช้งานได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความรุนแรงหรือชนิดของปัญหาที่เกิดขึ้นดังนั้นสามารถสรุปผลกระทบและสาเหตุของปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 สาเหตุและผลกระทบของปรากฏการณ์ทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า[18]

ชนิดของปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า	สาเหตุ	ผลกระทบ
1. Transients		
1.1 Impulsive Transients	ฟ้าผ่า Electro-Static Discharge สวิตชิ่งของภาระไฟฟ้า สวิตชิ่งของชุดเก็บประจุ	อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย
1.2 Oscillatory Transients	สวิตชิ่งของสายเคเบิ้ล สวิตชิ่งของชุดเก็บประจุ สวิตชิ่งของภาระไฟฟ้า	อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย ฉนวนเสื่อมสภาพหรือสูญเสียความเป็นฉนวน ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วได้ตัดวงจร

2. Short Duration Variations		
2.1 Voltage Dip (Sags)	ความผิดพร่องของระบบไฟฟ้า การเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ขนาดใหญ่	อุปกรณ์ไม่สามารถทำงานได้ เกิดผลเสียทางอ้อม เช่น การผลิตหยุดชะงัก
2.2 Temporary Overvoltages (Swells)	ความผิดพร่องชนิดเฟสเดียวต่อกราวด์ ปลดภาระไฟฟ้าขนาดใหญ่ สวิตซ์ชุดตัวเก็บประจุ	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วได้ และคอมพิวเตอร์ ได้รับความเสียหายอายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง
2.3 Short Interruptions	ความผิดพร่องของระบบไฟฟ้า ความล้มเหลวของอุปกรณ์ ระบบควบคุมทำงานผิดพลาด	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไม่ทำงาน สูญเสียข้อมูล หรือหัวอ่านข้อมูลเสียหาย
3. Long Duration Variations		
3.1 Overvoltage	ปลดภาระไฟฟ้าขนาดใหญ่ สวิตซ์ชุดตัวเก็บประจุ การปรับแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า	อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย และมีอายุการใช้งานลดลง
3.2 Undervoltages	สวิตชิ่งภาระไฟฟ้าขนาดใหญ่ ปลดชุดตัวเก็บประจุ ภาระไฟฟ้าเกิน (Over Load)	อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่สามารถทำงานได้ เกิดความร้อนสูงกับมอเตอร์
3.3 Long Interruptions	อุปกรณ์ป้องกันทำงานดับไฟฟ้าเพื่อการบำรุงรักษาอุบัติเหตุ	อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ทำงาน เกิดผลทางอ้อม คือกระบวนการผลิตเสียหาย

4. Voltage Unbalance	ความไม่สมดุลของภาระไฟฟ้าในแต่ละเฟส ตัวเก็บประจุทำงานผิดพลาด เช่น เกิดฟิวส์ขาดเฟสใดเฟสหนึ่งของชุดตัวเก็บประจุ 3 เฟส	อายุการใช้งานของมอเตอร์และหม้อแปลงสั้นลงเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้น
5. Waveform Distortions		
5.1 DC Offset	การรบกวนของแม่เหล็กโลก (Geomagnetic) ผลจากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น	เพิ่มการอิ่มตัวของหม้อแปลง เพิ่มความเครียดต่อฉนวน
5.2 Harmonics	ภาระไฟฟ้าประเภทไม่เป็นเชิงเส้น เกิดเรโซแนนท์ในระบบ	เกิดความร้อนเกินในสายศูนย์ หม้อแปลง และมอเตอร์
5.3 Interhamonics	ตัวแปลงผันความถี่แบบสถิต (Static Frequency Converter) ตัวแปลงผันแบบไซโคล (Cyclo-Converter) อุปกรณ์ไฟฟ้าจำพวกอาร์ค	เกิดสัญญาณรบกวน ตัวกรองรับภาระไฟฟ้าเกิน การอิ่มตัวของขดลวดกระแส (CT) ทำให้เกิดการมองเห็นแสงกระเพื่อม
5.4 Notching	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทำงานในสภาวะเมื่อกระแสเปลี่ยนจากเฟสหนึ่งไปยังเฟสอื่น ๆ	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการทำงานร่วมกับสัญญาณนาฬิกาทำงานผิดพลาด
5.5 Noise	ฟ้าผ่า การทำงานของเครื่องเชื่อมแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตซ์ ชุดควบคุม SCR สัญญาณรบกวนจากสัญญาณวิทยุหรือโทรทัศน์	ส่งสัญญาณรบกวนไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ไวต่อสัญญาณรบกวน

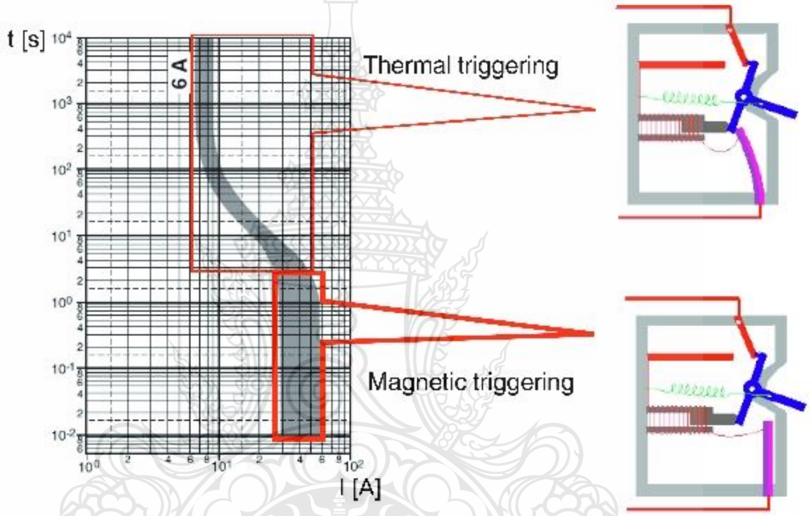
6. Voltage Fluctuations (Voltage Flicker)	การเปลี่ยนแปลงของภาระไฟฟ้า เตาหลอมแบบอาร์ค ภาระไฟฟ้าที่มีองค์ประกอบของ รีแอคทีฟ	ความสว่างของหลอดไฟเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อภาระไฟฟ้าถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันมาก
7. Power Frequency Variations	ความผิดพร่องของระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ ภาระไฟฟ้าขนาดใหญ่หลุดจากระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดเดินเครื่อง	กระทบต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า กระบวนการใด ก็ตามที่ใช้เวลาในการควบคุมการผลิตจากความถี่ไฟฟ้ากำลัง

การแปรเปลี่ยนช่วงระยะเวลาสั้น (Short Duration Variation) คือปรากฏการณ์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันหรือกระแสเพียงช่วงเวลาสั้นๆ ส่วนมากเกิดจากสภาวะความผิดพร่อง ในระบบไฟฟ้า ซึ่งปรากฏการณ์ทางคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่อยู่ในกลุ่มนี้คือ (Voltage Dip)หรือ Voltage Sags) แรงดันเกินชั่วครู่ (Voltage Swells) สำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะมุ่งเน้นไปที่ การตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นของแรงดันและกระแสที่ผิดปกติ

2.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไป

เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้หน้าสัมผัสตัดและต่อวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติของระบบไฟฟ้าดังรูปที่ 2.1 หลักการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินและการลัดวงจร กล่าวคือเมื่อใดก็ตามที่มีการใช้กระแสไฟฟ้าสูงเกินกว่ากำหนด อาจทำความเสียหายต่อสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า รวมถึงเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์จะทำการตัดกระแสไฟฟ้าออกจากระบบโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายที่อาจนำไปสู่การเกิดอัคคีภัยในที่สุด ดังนั้นการเลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ต้องคำนึงถึงค่าความสามารถในการตัดกระแสลัดวงจรต้องสูงกว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของระบบไฟฟ้าที่ตำแหน่งติดตั้งและค่ากระแสพิกัดจะต้องน้อยกว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่สายไฟจะทนได้สำหรับปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรหรือมีกระแสค่าสูงๆ ประมาณ 8-10 เท่าขึ้นไปไหลผ่านกระแสไฟฟ้าจำนวนมาก จะทำให้เกิด สนามแม่เหล็กความเข้มสูง ดึงให้อุปกรณ์การปลดวงจรทำงานได้

รูปที่ 2.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์เชิงกล[5]



รูปที่ 2.2 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์[2]

การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่อาศัยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวดเมื่อได้รับกระแสปริมาณที่มากกว่าตามที่มีการตั้งค่าไว้ จะทำให้เกิดความเข้มสนามแม่เหล็กที่ทำให้เกิดแรง ดันแกนอาร์เมเจอร์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงาน

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

เมื่อ $\vec{B}$ = ความเข้มสนามแม่เหล็ก (T)

μ_0 = ความซึมแม่เหล็ก

= $4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m

I = กระแสไฟฟ้า (A)

a = ระยะห่างจากขดลวด (m)

รูปที่ 2.2 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในช่วงของความร้อนสะสมโดยอาศัยหลักการของการขยายความร้อนของโลหะต่างชนิดกันเมื่อได้รับกระแสมากกว่าพิกัดประมาณ 1.25 เท่าของกระแสโหลดในช่วงระยะเวลาในช่วง 10 -100 วินาที จึงทำอยู่ในสภาวะโหลดเกิน ช่วงการทำงานในช่วงต่อมาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ลดต่ำลงจนเข้าใกล้ศูนย์หรือเกิดการลัดวงจรทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร จึงเกิดการลัดวงจรเกิดขึ้นจะทำให้เกิดกระแสลัดวงจรทำให้ขดลวดภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์เกิดการเหนี่ยวนำ แล้วทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นโดยมีแรงทำให้กลไกลของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานทำการตัดวงจรออกจากระบบหรือจำกัดพื้นที่ไม่ให้เกิดปัญหากระทบกับวงจรอื่น

2.3.1มาตรฐานเซอร์กิตเบรกเกอร์

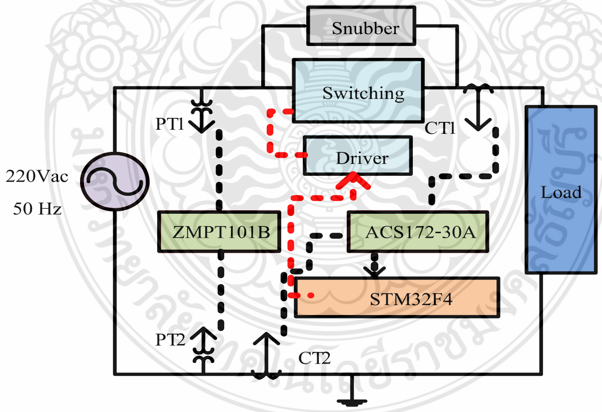
เซอร์กิตเบรกเกอร์ของประเทศไทยที่ใช้กันได้ใช้มาตรฐาน IEC 60898ซึ่งเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐานนี้ใช้สำหรับติดตั้งกับบ้านที่อยู่อาศัยและอาคารทั่วไปซึ่งตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยพ.ศ. 2545เซอร์กิตเบรกเกอร์ MCB แบบ 2 ขั้ว (มาตรฐานว.ส.ท.) ได้กำหนดให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้กับบ้านที่อยู่อาศัยที่มีขนาดกระแสไม่เกิน 125 แอมแปร์ความทนกระแสลัดวงจรไม่เกิน 25 kA และต้องใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐาน IEC 60898 [19]เท่านั้นการตัดวงจรเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจรจากเส้น L ไปเส้น N หรือระหว่างเฟสในระบบไฟฟ้า 3 เฟสโดยมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมากๆเมื่อเทียบกับกระแสใช้งานในภาวะปกติเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจรจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ในปริมาณมากๆถ้าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมีค่ามากกว่าค่ากระแสเกินทริปทันที (Overcurrect Instantaneous Tripping)ของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะตัดวงจรทันทีภายในเวลา 0.1 วินาทีมีค่าความทนกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่กำหนด (Rated Short-Circuit Capacity หรือ I_{cn}) เป็นค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงสุดที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทนได้เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรโดยทั่วไปตามข้อกำหนดเซอร์กิตเบรกเกอร์หลัก ต้องทนกระแสลัดวงจรได้ไม่น้อยกว่า 10 kAอุณหภูมิใช้งานของเซอร์กิตเบรกเกอร์อยู่ที่ -5°C - 40°C อุณหภูมิเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน 35 °C[20]

ตารางที่ 2.2มาตรฐาน IEEE Std 242-2001 กำหนดค่าเมื่อเกิดความผิดพร่องของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรออกจากระบบไฟฟ้าในระยะเวลา[18],[20]

สภาวะการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์	**ขนาดพิกัดกระแส 225–600 A (AT)**
Instantaneous, cycles	2–3
Short time, cycles	30-100
Long time, cycles	Over 100
Ground fault, cycles	10–30

2.4 เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด[30] จำเป็นต้องมีความปลอดภัย ความน่าเชื่อถือ มีคุณภาพและความคงทนต่อการใช้งานเมื่อเกิดความผิดปกติของระบบไฟฟ้า หน้าที่การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดเป็นการนำเทคโนโลยีต่างๆมาใช้ และนำปัญหาของเซอร์กิตเบรกเกอร์เชิงกลที่ไม่สามารถตรวจจับหรือไม่สามารถตัดวงจรเมื่อเกิดปัญหาทางไฟฟ้า



รูปที่ 2.3 ส่วนการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

ส่วนมากจะสรุปมาจากไฟฟ้าลัดวงจรแต่ในทางไฟฟ้าถ้าเกิดการลัดวงจรจริงเซอร์กิตเบรกเกอร์ต้องมีการตัดวงจร ดังภาพที่ 2.3 ส่วนการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ชุดการตรวจจับ ชุดประมวลผลและควบคุมการทำงาน ชุดการสวิตช์การตรวจจับส่วนจะมีการตรวจจับหรือการวัดแบบเวลาจริงของกระแส แรงดัน[12] เพื่อส่งข้อมูลไปให้กับชุดประมวลผลเพื่อทำหน้าที่ตัดสินใจในการต่อหรือตัดวงจรเมื่อเกิดปัญหาของกระแสและแรงดันไฟฟ้า

โครงสร้างภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดประกอบด้วยไอจีบีที[47] ซึ่งจะมีวงจรควบคุมการทำงานของตัวไอจีบีทีโดยจะรับคำสั่งจากตัวประมวลผล ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดจะสั่งให้ไอจีบีทีตัดหรือต่อ การทำงานของไอจีบีทีเป็นไปตามอัลกอริทึมของการตรวจจับของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด ประกอบด้วยตรวจจับแรงดันไฟฟ้าเกิน ตรวจจับแรงดันไฟฟ้าตก ตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่ว ตรวจจับกระแสไฟฟ้าเกิน ตรวจจับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและตรวจจับการอาร์คสัญญาณที่ได้จากการวัดจะส่งข้อมูลสัญญาณมาที่อัลกอริทึมของการตรวจจับจะมีการประมวลผลตามเงื่อนไขของแรงดันไฟฟ้าตกแรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว การลัดวงจรและการอาร์ค ถ้ามีและเป็นไปตามเงื่อนไขจะสั่งให้วงจรขับทำงานวงจรไอจีบีทำการตัดวงจรการทำงานได้มีการกล่าวขั้นตอนของการนำกระแสของไอจีบีทีและช่วงเวลาในการหยุดนำกระแสของไอจีบีที และที่สำคัญคืออัลกอริทึมของการตรวจจับการอาร์คเป็นที่น่าสนใจอย่างมากในการตรวจจับ

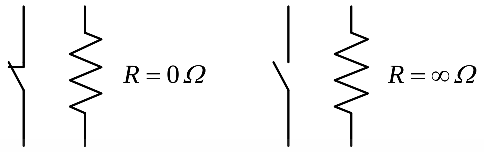
2.4.1 อุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

การสวิตซ์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดจะใช้อิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถแบ่งการทำงานใน 2 สภาวะคือ สภาวะนำกระแส และสภาวะหยุดนำกระแส ทั้งนี้ในเชิงทฤษฎี การสวิตช์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะถูกสมมติให้เป็นสวิตซ์อุดมคติ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์วงจรคุณลักษณะแรงดันและกระแสของอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังแต่ละชนิดมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการนำไปประยุกต์ใช้งาน

อุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังควรมีคุณลักษณะทางอุดมคติดังนี้ สามารถทนแรงดัน Breakdown ได้สูง ซึ่งขึ้นอยู่กับพิกัดแรงดันใช้งานมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำขณะทำการสวิตช์ มีความเร็วสูงในการเปลี่ยนสถานการณ์ทำงาน ทนต่ออุณหภูมิสูงขณะใช้งานและควบคุมได้ง่าย[47]

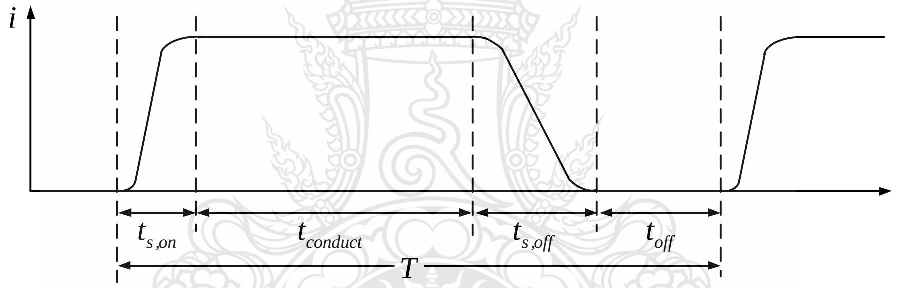
โดยทั่วไปการสวิตซ์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดจะทำงานเป็นสวิตซ์ในวงจร ซึ่งขณะนำกระแส ค่าความต้านทานของอุปกรณ์จะต่ำมาก (ใกล้เคียงศูนย์) และขณะหยุด

นำกระแส ค่าความต้านทานของอุปกรณ์จะสูงมาก (ใกล้เคียงค่าอนันต์)[41],[42] ดังวงจรสมมูลในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลในอุปกรณ์สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

การสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเปลี่ยนสถานะทำงานจะเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าประสิทธิภาพของวงจรโดยรวม ทั้งนี้ช่วงเวลาในการทำงานของสวิตซ์ และกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการทำงานทั้ง 2 สถานะ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์สวิตซ์ที่ช่วงเวลาต่างๆ

เมื่อ $t_{s,on}$ คือ ช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (Turn on)
$t_{conduct}$ คือ ช่วงเวลานำกระแส (On)
$t_{s,off}$ คือ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (Turn off)
t_{off} คือ ช่วงเวลาหยุดนำกระแส (Off)

การสูญเสียที่สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ สูญเสียขณะนำกระแส $\left(W_{con,loss}\right)$ และ ขณะสวิตซ์ชิ่ง $\left(W_{s,loss}\right)$ โดยการสูญเสียขณะสวิตชิ่งแบ่งได้อีกเป็น 2 ส่วนคือ ช่วงเริ่มนำกระแส (turn-on loss: $W_{s_on,loss}$) และช่วงเริ่มหยุดนำกระแส (turn-off loss: $W_{s_off,loss}$)ค่าพลังงานสูญเสียต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.1

$$
\begin{aligned}
W_{con,loss} &= V_d I_d t_{conduct} \\
W_{s_on,loss} &= \frac{1}{2} V_d I_d t_{s,on} \\
W_{s_off,loss} &= \frac{1}{2} V_d I_d t_{s,off}
\end{aligned} \tag{2.1}
$$

วัตถุประสงค์ของการออกแบบอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังคือค่าที่น้อยที่สุดของการสูญเสียขณะนำกระแสและการสูญเสียขณะสวิตชิ่งรวมกัน (อยู่ในรูปของความร้อน) เพราะอุณหภูมิการทำงานสูงสุด $T_{j\,max}$ จะต้องถูกจำกัดเพื่อป้องกันอุณหภูมิเบรกดาวน์

ดังนั้นกำลังสูญเสียสูงสุดหาได้จาก

$$
P_{AV\,max} \le \frac{T_{j\,max} - T_a}{R_{thja}} \tag{2.2}
$$

เมื่อ $T_{j\,max}$ คือ อุณหภูมิสูงสุดที่จุดต่อ

T_a คือ อุณหภูมิแวดล้อม

R_{thja} คือ คามต้านทานความร้อนระหว่างจุดต่อของสารกึ่งตัวนำและสภาพแวดล้อม

อุณหภูมิการทำงานสูงสุด $T_{j\,max}$ จะลดลงด้วยอุปกรณ์ป้องกันแรงดัน กำลังสูญเสียของอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในขณะที่ทำงานที่ความถี่ f สามารถหาได้จาก

$$
P_{AV} = \psi I_{on} V_{on} + f\left(W_{on} + W_{off}\right) \tag{2.3}
$$

เมื่อ I_{on} คือ กระแสในขณะนำกระแส

V_{on} คือ แรงดันขณะนำกระแส

W_{on} คือ การสูญเสียขณะนำกระแส

W_{off} คือ การสูญเสียขณะหยุดนำกระแส

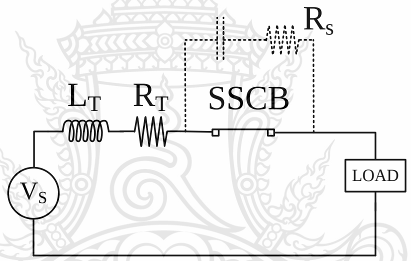
ψ คือ duty cycle

จากสมการที่ 2.2 และ 2.3 เป็นข้อจำกัดสำหรับการนำอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังไปประยุกต์ใช้งาน พิกัดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังและการประยุกต์ใช้งาน

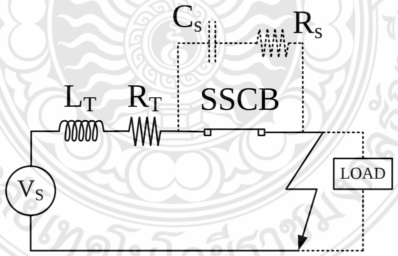
การพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันสามารถพัฒนาไปที่พิกัดสูงขึ้นมา ขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ใช้10 kVA ความถี่สวิตชิ่ง 20 kHz สำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาเลือกใช้IGBT เป็นอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์[12]

2.5 วงจรสนับเบอร์

เมื่อมีการควบคุมของอุปกรณ์โดยใช้ไอจีบีทีเป็นตัวตัดและต่อวงจร ซึ่งเป็นโหลด RL โดยหลักการทำงานกระแสและแรงดันมุมเฟสจะไม่ตรงกัน ดังนั้นการจึงเกิดความไม่แน่นอนของไอจีบีทีทีตัดวงจร เพราะว่าเมื่อยังมีกระแสไหลกลับเข้าไปยังอุปกรณ์สวิตช์ที่ทำให้เกิดความเสียหายเกิดขึ้น โดยวงจรสนับเบอร์จะต่อขนานกับอุปกรณ์สวิตซ์ โดยใช้สนับเบอร์แบบ RC สำหรับการควบคุมแรงดันชั่วขณะ การออกแบบวงจรสนับเบอร์จำเป็นต้องมีการปรับปรุงความทนทานต่อแรงดันชั่วขณะเริ่มต้น การวิเคราะห์หน้าที่การทำงานของวงจรสนับเบอร์ดังภาพที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การทำงานของวงจรสนับเบอร์เริ่มการทำงานของวงจร $t_0 < T < t_1$



รูปที่ 2.7 การทำงานของวงจรสนับเบอร์ $t_1 < T < t_2$

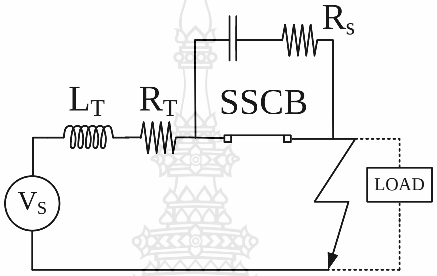
เมื่อเวลาเริ่มต้น $t_1 < T < t_2$

โดย
$$v_s - i_s(R_T + R_L) = 0\,, i_0 = \frac{v_s}{R_T + R_L} \tag{2.4}$$

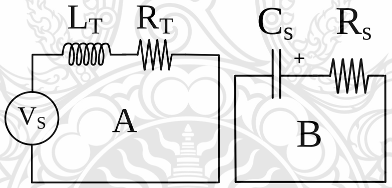
เมื่อ $(t_1 < T < t_2)$

โดยที่ $$v_s = L_T \frac{di_s(t)}{dt} + R_T i_s(t) \, , \frac{di_s(t)}{dt} = \frac{v_s}{L_T} \qquad (2.5)$$

โดยให้ $$i_s(t) = i_f(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) - i_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \, , \tau = \frac{L_T}{R_T} \, , i_f = \frac{v_s}{R_T} \qquad (2.6)$$



รูปที่ 2.8 การทำงานของวงจรสนับเบอร์ทำงานของวงจร $t_2 < T < t_3$



รูปที่ 2.9 วงจรสนับเบอร์วงจรA และวงจร B

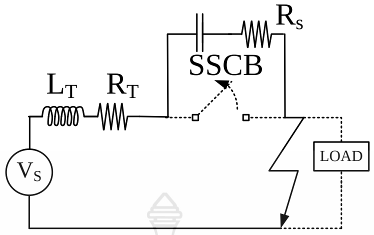
เมื่อ $(t_2 < T < t_3)$

ดังนั้นวงจร A $$v_s = L_T \frac{di_s(t)}{dt} + R_T i_s(t) \, , \, v_{pre} + L_c C_c \frac{d^2 v_c(t)}{dt^2} = 0 \qquad (2.8)$$

โดยให้ $$\frac{di_c(t)}{dt} = \frac{-v_c(t)}{L_c} \, , \, i_{cm} = v_{pre}\sqrt{\frac{C_c}{L_c}} \, , \, \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_c C_c}}$$

ดังนั้นวงจร B $$i_s(t) = i_B(t) + i_c(t) \, , \, i_s(t) = i_f(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + i_{St} e^{-\frac{t}{\tau}} \qquad (2.9)$$

โดยที่ $$v_c(t) = v_{pre}\sin(\omega_1 t) \text{ , } i_c(t) = \alpha_1 \sin(\omega_1 t) \text{ , } \alpha_1 = -\frac{V_{pre}}{\omega_1 L_c} \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.10 การทำงานของวงจรสนับเบอร์ $t_3 < T < t_4$

เมื่อ $(t_3 < T < t_4)$

จะได้ $$C_c L_{tot}\frac{d^2 v_c(t)}{dt^2} + C_c R_{tot}\frac{dv_c(t)}{dt^2} + v_c(t) - v_s(t) = 0 \quad (2.11)$$

โดเมนเวลาของกระแส $$C_c L_{tot}\frac{d^2 i_s(t)}{dt^2} + C_c R_{tot}\frac{di_s(t)}{dt^2} + i_s(t) = 0 \quad (2.12)$$

โดยที่ $$v_c(t) = v_s - e^{-\alpha_2 t}\left[b\cos(\beta_2 t) - c\sin(\beta_2 t)\right] \quad (2.13)$$

และ $$i_s(t) = e^{-\alpha_2 t}\left[b\cos(\beta_2 t) - c\sin(\beta_2 t)\right] \quad (2.14)$$

โดยให้ $$a = \frac{i_s, t3}{C_c} \text{ , } b = v_{ct3} - v_s \text{ , } c = \frac{1}{\beta_2}\left(\alpha_2 b + a\right) \text{ , }$$

และ $$d = \frac{1}{\beta_2}\left(\frac{b}{Ltot} + \alpha i_{s}, _{t3}\right) \text{ , } \alpha_2 = \frac{R_{tot}}{2L_{tot}} \text{ , } \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_{tot} C_c}}$$

ดังนั้น $$\beta_2 = \sqrt{\omega_2^2 - \alpha_2^2} \quad V_{cf} = V_s + e^{\frac{\alpha_2}{\beta_2}}\left[b\cos\left(\frac{-\gamma}{\beta_2}\right) - b\sin\left(\frac{-\gamma}{\beta_2}\right)\right]$$

เมื่อ (2.4)-(2.14) เป็นการพิสูจน์ให้เห็นการทำงานของวงจรสนับเบอร์จะทำงานเมื่อมีการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้เป็นสมการคณิตศาสตร์ กระแสและแรงดันแต่ละช่วงของโดเมนเวลา[32]

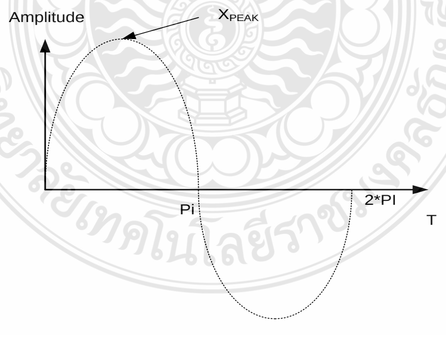
เมื่อมีการควบคุมของอุปกรณ์โดยใช้ไอจีบีที[40]เป็นตัวตัดและต่อวงจร ซึ่งเป็นโหลด RL[26] โดยหลักการทำงานกระแสและแรงดันมุมเฟสจะไม่ตรงกัน ดังนั้นการจึงเกิดความไม่แน่นอนของไอจีบีทีทีตัดวงจร เพราะว่าเมื่อยังมีกระแสไหลกลับเข้าไปยังอุปกรณ์สวิตช์ที่ทำให้เกิดความเสียหายเกิดขึ้น ดังนั้นจำเป็นต้องใช้วงจรสนับเบอร์เข้ามาใช้วงจรสนับเบอร์ (Snubber Circuit)[29] ขณะเริ่มนำและเริ่มหยุดนำกระแส

2.6 การตรวจจับ

จากการศึกษาวิธีการตรวจจับแรงดันด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อสั่งการให้อุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้าทำงานได้ถูกต้องแม่นยำจะใช้วิธีการตรวจจับแรงดันแบบ RMS[8]เป็นวิธีการตรวจจับแรงดัน และกระแสฟ้า โดยผ่านชุดตรวจจับทำหน้าที่ ตรวจจับสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันแปลงซึ่งเมื่อทำการผ่านวงจรยกระดับสัญญาณ แรงดันที่วัดได้ 311 โวลต์ สัญญาณออกไม่กิน 3.3 โวลต์ ก่อนที่จะนำสัญญาณเข้าตัวควบคุมการประมวลผล STM32F4 เพื่อทำการโปรแกรมสัญญาณเข้าไปใน Mathlab/Simulinkสั่งการให้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดทำงาน[40]

2.6.1 การตรวจจับแบบอาร์เอ็มเอส

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{0}^{f} x(t)dt} \qquad (2.15)$$



รูปที่ 2.11 รูปคลื่นสัญญาณของไซน์

$$x(t) = x_{peak}\sin(t\frac{2\pi}{T}) \qquad (2.15)$$

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^f x_{peak}{}^2 \sin^2(t\frac{2\pi}{T})dt} \quad (2.16)$$

$$\sin^2 u = \frac{1-\cos(2u)}{2} \quad (2.17)$$

$$= \sqrt{\frac{x^2_{peak}}{2t}\left[t\Big|_0^T - \sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right)\frac{T}{4\pi}\Big|_o^T\right]} \quad (2.18)$$

$$= \sqrt{\frac{x^2_{peak}}{2T}.T} \quad (2.19)$$

$$x_{rms} = \frac{x_{peak}}{\sqrt{2}} \quad (2.20)$$

จากการศึกษาวิธีการตรวจจับแรงดันด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อสั่งการให้อุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้าทำงาน การตรวจจับกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโดยวิธีการตรวจจับแรงดันจะเป็นแบบ Hall effect และใช้การ Isolate เพื่อทำการแยกกราวด์ ของชุดการตรวจจับ ชุดโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32f4 และวงจรกำลัง ดังนั้นวิธีการตรวจจับแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อนำไปสั่งการให้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดทำงานจึงมีหลายวิธีในการตรวจจับและแปลงค่าสัญญาณของกระแสและแรงดัน[12]

$$v_i^{rms} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{i+N-1} v_j^2} \quad (2.22)$$

เมื่อ N คือค่าสุ่มคาบเวลาต่อ 1 ไซเคิล

v_j คือ ค่าสุ่มเวลาของสัญญาณแรงดัน

v_i^{rms} คือ ค่าสุ่มเวลาของสัญญาณแรงดันอาร์เอ็มเอส

v_{rms} คือค่าการหน่วงเวลาของสัญญาณแรงดัน

2.6.2 การตรวจจับแบบค่ายอด

การตรวจจับแบบค่ายอดจะใช้การตรวจจับของความผิดพร่อง จากการลัดวงจรและแรงดันเกิน โดยการอ้างอิงสัญญาณกระแสและแรงดันเข้าไปในไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ $v_i(t)$ คือแรงดันของสัญญาณด้านเข้า

$$v_i(t) = v_p \sin^2(\omega t) \tag{2.23}$$

เมื่อ v_p คือค่ายอดของสัญญาณด้านเข้า ถ้า $v_i(t)$ มีการเลื่อนมุม 90 องศา จะได้ $v_i(t)$

$$v'_i(t) = v_p \sin(\omega t + 90^\circ) \tag{2.24}$$

$$v'_i(t) = v_p \cos(\omega t) \tag{2.25}$$

โดยทั้งสองสัญญาณ $v_i(t)$ และ $v'_i(t)$ จะเป็นฟังชั่นตั้งฉากและแยกเป็น

$$v_{01}(t) = kv_p^2 \sin^2(\omega t) \tag{2.26}$$

$$v_{02}(t) = kv_p^2 \cos^2(\omega t) \tag{2.27}$$

เมื่อค่า k คือค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปร ระหว่าง $v_{01}(t)$ และ $v_{02}(t)$ จะได้สมการดังนี้

$$v_{oa}(t) = v_{01}(t) + v_{02}(t) \tag{2.28}$$

$$= kv_p^2 \sin^2(\omega t) + kv_p^2 \cos^2(\omega t) \tag{2.29}$$

การวัดค่ายอดของสัญญาณ $v_{oa}(t)$ คือค่ารากของวงจร เพราะฉะนั้นจะได้แรงดันที่ออก

$$v_o(t) = k_1 v_p \tag{2.30}$$

ดังนั้นสามารถนำสมการที่ได้นำมาเขียนใน Waijung Blocksetเพื่อให้ได้สัญญาณที่มาจากการวัดสามารถอ้างอิงการใช้งานดังสมการที่ 2.30 จะเห็นได้ว่าเมื่อสัญญาณกระแสและแรงดันเข้าไปในไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำตัวประมวลผลทางคณิตศาสตร์มาทำการหาค่าสัมบูรณ์ ทำให้ค่าสัญญาณไม่ติดลบ จึงเป็นข้อดีคือสามารถตรวจจับได้เร็วขึ้น

2.6.3 การตรวจจับแบบเปรียบเทียบอาร์เอ็มเอส

การตรวจจับกระแสรั่วจะใช้หลักการ การเปรียบเทียบสัญญาณของกระแสเข้าและกระแสออก โดยจะนำกระแสให้เป็นค่าอาร์เอ็มเอส จากนั้นเข้าตัวประมวลผลทางคณิตศาสตร์ เมื่อเกิดการรั่วไหลของกระแสชุดประมวลผลจะทำงาน ดังสมการ(2.31)

$$i_{com} = i_{in} - i_{out} > 25\,\text{mA} \tag{2.31}$$

เมื่อ i_{com} คือ สัญญาณกระแสอาร์เอ็มเอสของชุดประมวลผล

i_{in} คือ สัญญาณกระแสอาร์เอ็มเอสด้านเข้า

i_{out} คือ สัญญาณอาร์เอ็มเอสด้านออก

ถ้าสัญญาณกระแสอาร์เอ็มเอสด้านเข้าลบสัญญาณกระแสอาร์เอ็มเอสด้านออกมีค่ามากกว่า 25 มิลลิแอมแปร์ สัญญาณกระแส i_{com} จะสั่งให้ชุดประมวลผลทำงาน ตัดวงจร อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60898

2.6.4 การตรวจจับแบบQuadrature

การตรวจจับวิธีนี้จะมีการตรวจจับแบบอาร์เอ็มเอสแต่จะใช้การตรวจจับ 2 ตัวซึ่งจะมีความแต่งต่างของมุม 90 องศาทางไฟฟ้าดังรูปที่ 2.12[8]

$$v(t) = v_p \sin(\omega t) \tag{2.32}$$

จะได้สมการ

$$s_1 = v_p \sin(\theta) \tag{2.33}$$

และ

$$s_2 = v_p \sin(\theta + \pi / 2) \tag{2.34}$$

แปลงค่ามุม

$$s_2 = v_p \cos(\theta) \tag{2.35}$$

นำ $s_1^2 + s_2^2$ จะได้

$$s_1^2 + s_2^2 = v_p^2(\sin^2(\theta) + \cos^2(\theta)) \tag{2.35}$$

$$s_1^2 + s_2^2 = v_p^2 \tag{2.36}$$

$$\sqrt{s_1^2 + s_2^2} = v_p \tag{2.37}$$

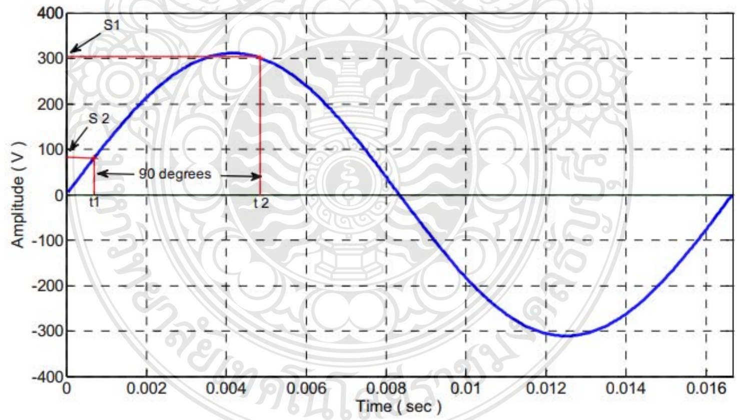
คำตอบจะได้คือ

$$vrms = \frac{v_p}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{s_1^2 + s_2^2}}{\sqrt{2}} \tag{2.38}$$

เมื่อ $v(t)$ คือ สัญญาณของแรงดันไฟฟ้า

v_p คือ แรงดันค่ายอดของสัญญาณของแรงดันไฟฟ้า

s_1 และ s_2 คือ ค่าสัญญาณของการควบคุมจากการตรวจจับที่มุมต่างกัน 90 องศาทางไฟฟ้า



รูปที่ 2.12 สัญญาณของการควบคุมจากการตรวจจับที่มุมต่างกัน 90 องศาทางไฟฟ้า

2.6.5 การตรวจจับแบบดีเอฟที(Discrete Fourier Transform)

การใช้งานของการแปรฟูริเย เป็นการตรวจจับมุมเฟสและค่ายอดของสัญญาณ ดังสมการ 2.39

$$v(t)=\frac{a_0}{2}+\sum_{n=0}^{\infty}a_n\cos n\omega_o t+\sum_{n=0}^{\infty}b_n\sin n\omega_o t \tag{2.39}$$

เป็นการแยกจำนวนจริงกับจำนวนจินตภาพ

$$a_1=\frac{2}{T}\int_0^T v(t)\cos\omega_o tdt \tag{2.40}$$

$$b_1=\frac{2}{T}\int_0^T v(t)\sin\omega_o tdt \tag{2.41}$$

นำสมการ จะได้

$$a_1=\frac{\sqrt{2}}{N}\sum_{i=0}^{N}v\left(t-i\frac{T}{N}\right)\cos\left(2\pi\frac{i}{N}\right) \tag{2.42}$$

$$b_1=\frac{\sqrt{2}}{N}\sum_{i=0}^{N}v\left(t-i\frac{T}{N}\right)\sin\left(2\pi\frac{i}{N}\right) \tag{2.43}$$

ได้ค่าแรงดัน

$$V=\sqrt{a_1^2+b_1^2} \tag{2.44}$$

2.6.6 การตรวจจับอาร์ค

การเกิดการอาร์คเป็นการเกิดจากความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ของตัวนำ ดังนั้นชนิดของการเกิดการอาร์คแบ่งได้เป็น 3 ชนิด Line to Line แบบขนาน Series arc และ Line to ground

การอาร์ค Line to Line แบบขนานโดยเกิดจากสายไฟ 2 เส้นเกิดการลัดวงจรแบบไม่สมบูรณ์ดังรูป การอาร์คแบบอนุกรมเป็นเกินในสายลวดตัวนำ โดยจะมีแหล่งจ่ายไฟแล้วผ่านการจุดอาร์คและผ่านไปยังโหลด การอาร์คชนิดนี้เป็นเหตุผลเบื้องตนของการเกิดอัคคีภัยสมการคณิตศาสตร์ของการเกิดการอาร์คดังสมการ 2.25[9]

เมื่อ U_{arc}คือ ค่าของแรงดันเมื่อเกิดการอาร์ค

I_{arc}คือ ค่ากระแสเริ่มต้นเมื่อเกิดการอาร์ค

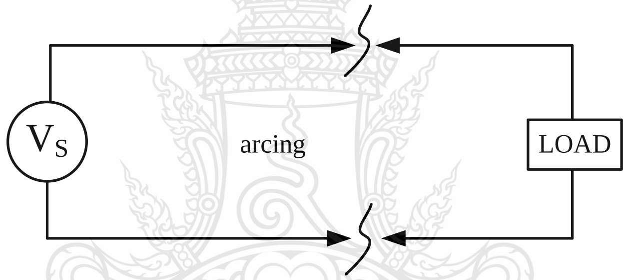
g_mคือ ค่าพลวัตต์ของตัวนำของลำอาร์ค

T คือ ค่าคงตัวของเวลาในการอาร์ค

P คือ พลังงานที่เกิดการอาร์ค

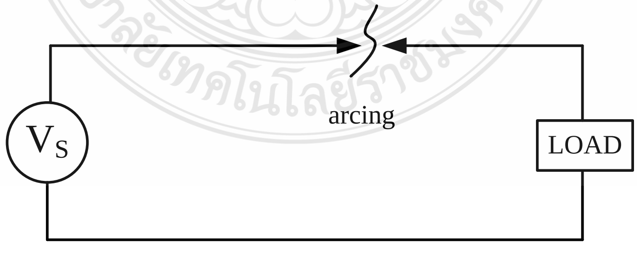
$$\frac{1}{g_m} = \int \frac{1}{T}\left(\frac{u_{arc} i_{arc}}{P_o} - 1\right) dt \qquad (2.25)$$

$$\frac{1}{g_m} = \int \frac{1}{T}\left(\frac{u^2_{arc}}{u_0^2} - 1\right) dt \qquad (2.26)$$



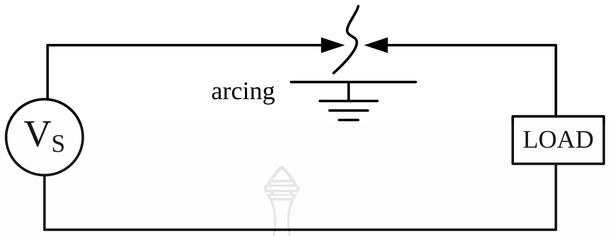
รูปที่ 2.13 การอาร์ค Line to Line แบบขนาน

การอาร์ค Line to Line แบบขนานภาพที่ 2.13 เป็นการอาร์คแบบการอาร์ค 2 จุดเมื่อดูจากวงจรโดยกระแสจะมากจาก Vs ผ่านจุดอาร์คจุดที่ 1 ผ่านโหลด หลังจากนั้นผ่านจุดอาร์คจุดที่ 2 กลับเข้าสู่ Vs



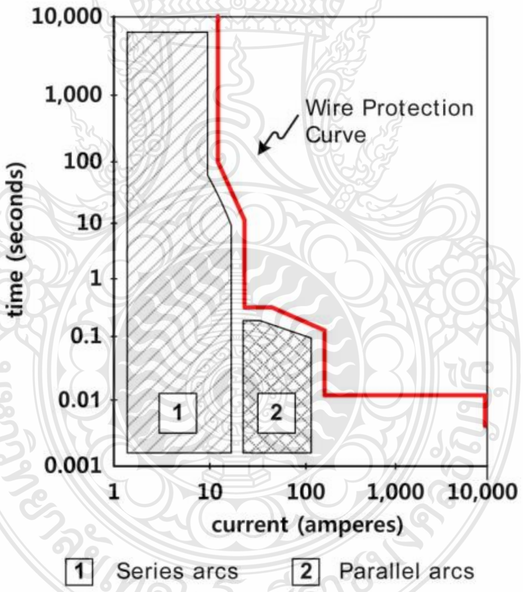
รูปที่ 2.14 การอาร์คแบบอนุกรม

การอาร์คแบบอนุกรมจะเป็นที่เกิดขึ้นเป็นลำดับแรกที่ทำให้เกิดไฟไหม้ ภาพที่ 2.14 เป็นการอาร์คแบบอนุกรม จากวงจรโดยกระแสจะมากจาก Vs ผ่านจุดอาร์คจุดที่ 1 ผ่านโหลด หลังจากนั้นสู่ Vs



รูปที่ 2.15 การอาร์ค Line to Ground

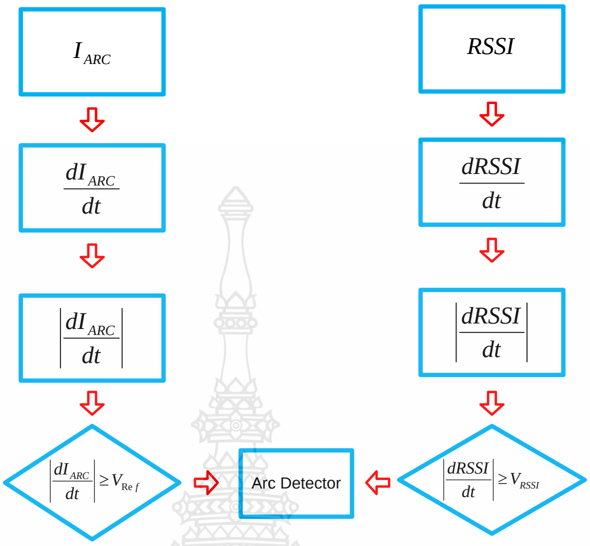
ภาพที่ 2.15 การอาร์ค Line to ground เป็นการอาร์คแบบการอาร์ค 1 จุดมื่อดูจากวงจร โดยกระแสจะมากจาก Vs ผ่านจุดอาร์คจุดที่ 1 ลงกราวด์ ผ่านโหลด หลังจากนั้นผ่านเข้าสู่ Vs



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์การอาร์แบบขนาน(1) และอนุกรม(2)

รูปที่ 2.16 กราฟแสดงคุณสมบัติช่วงเวลาและกระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ สามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน อ้างอิงจากการป้องกันสายไฟ ส่วนที่ 1 และ2 เซอร์กิตเบรคเกอร์ไม่สามารถตรวจจับและป้องกันในส่วนของการเกิดการอาร์คทั้งแบบขนานและแบบอนุกรม โดยเฉพาะการอาร์คแบบ

อนุกรมเพราะว่าเมื่อเกิดจะมีกระแสที่ต่ำ เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้นทำให้เกิดความร้อนจุดที่เกิดการอาร์คเป็นสาเหตุให้เกิดเพลิงไหม้ได้

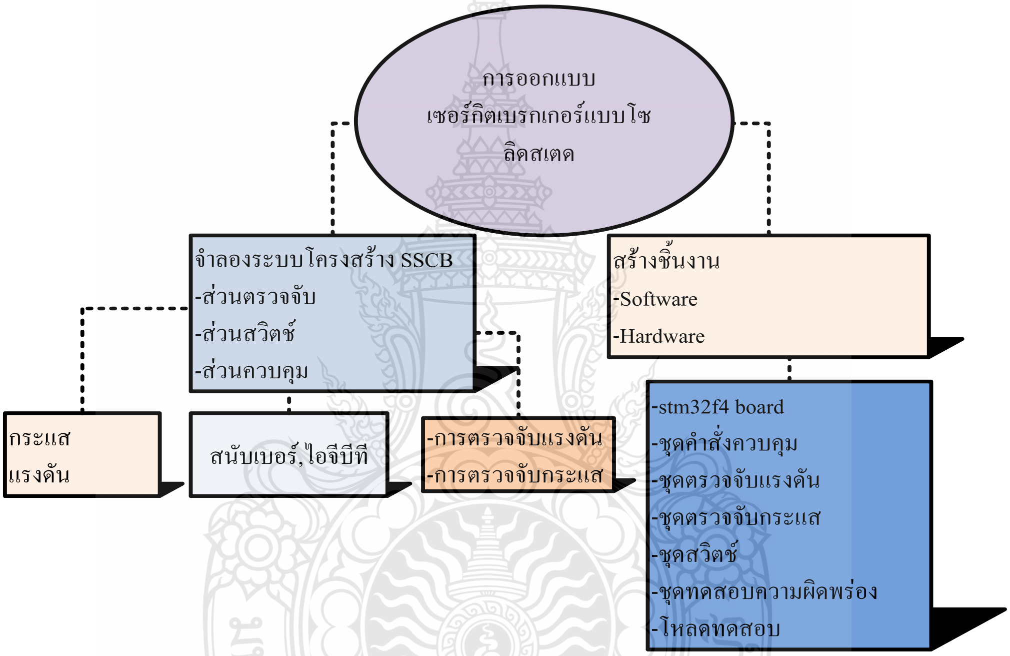


รูปที่ 2.17 การประมวลผลของการตรวจจับอาร์ค

รูปที่ 2.17 จะแยกเป็นการตรวจจับ 2 ส่วน การตรวจจับการอาร์คคือเริ่มจากจะมีการวัดกระแสอาร์ครูปคลื่นไซน์แล้วมาทำการหาค่าอนุพันธ์ จากนั้นหาค่าสัมบูรณ์ ทำการเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง[9]และอีกส่วนจะทำการวัดค่า RSSI ทำการหาอนุพันธ์ของสัญญาณ แล้วทำการหาค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณ RSSI นำค่ามาเปรียบเทียบสัญญาณแรงดัน RSSI เมื่อเกิดการอาร์คเกิดขึ้นจะมีการรับค่าและเปรียบเทียบ

2.7 กรอบของการทำงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการออกแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสำหรับระบบจำหน่ายแรงต่ำ เป็นกรอบการทำงานและแนวทางการวางแผนก่อนการปฏิบัติจะมีการศึกษามีขั้นตอนการทำงานอยู่ 3 ขั้นตอนของการทำงาน คือการจำลองจะทำควบคู่กับการศึกษาส่วนของการศึกษาการทำชิ้นงาน และส่วนต่อมาที่ทำการจำลองการทำงานจะทำควบคู่กับการเตรียมชุดทดสอบสำหรับการทดสอบการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด



รูปที่ 2.18 กรอบของการทำงานวิจัย

เริ่มต้นการทำงานดังรูปที่ 2.18 จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือจะมีการจำลองโครงสร้างเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดและชิ้นงาน การจำลองโครงสร้างจะแบ่งเป็นส่วนตรวจจับ ส่วนสวิตช์และส่วนควบคุม ส่วนการตรวจจับจะแบ่งการทำงานได้ 2 ส่วน การตรวจจับกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า การจำลองการตรวจวัดสามารถวัดค่าโดยการใช้เครื่องมือของ Matlab/Simulink โดยทำการอนุกรมเพื่อวัดกระแสไฟฟ้า และขนานเพื่อวัดแรงดันไฟฟ้า ส่วนการสวิตช์จะมีการออกแบบและใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาพิสูจน์และแสดงการทำงานของสนับเบอร์ในแต่ละช่วงของเวลาการทำงานจะมีความสัมพันธ์กับส่วนการตัดและต่อจะใช้ไอจีบีที ร่วมกับวงจรสนับเบอร์ และส่วนควบคุมจะรับค่า

การตรวจจับกระแสไฟฟ้าและการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าแล้วจำลองการทำงานความผิดปกติ ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

สร้างชิ้นงาน จะแบ่งเป็น 2 ชนิด ซอฟแวร์จะใช้ Mathlab/Simulink เป็นตัวเชื่อมต่อกับบอร์ด STM32F4 โดยผ่าน Waijung Blocksets โดยการกำหนดช่อง ADC พิกัดไม่เกิน 3.3 โวลต์รับค่าจาก ตัวตรวจจับกระแสจะใช้แบบ Hall Effect รุ่น ASC172-30A และตรวจจับแรงดันจะใช้ ZMPT101B Single Phase AC Voltage Transformer Sensor Module(AC Volt Senser)โดยการโปรแกรมจะนำกระแสและแรงดันที่ได้มาทำการ Signal Conditioning แล้วแปลงให้เป็นในรูปของสัญญาณ จากนั้นเข้าสมการคณิตศาสตร์ของ Blockset ประมวลผล ถ้าเกิดสัญญาณผิดปกติจะมีชุดคำสั่งตัดวงจรตามที่โปรแกรมไว้ส่งสัญญาณจากการวัดกระโดยผ่านชุดขับ TLP250 เพื่อให้ไอจีบีทีทำงานส่วนการทดสอบแรงดันไฟฟ้าตกและแรงดันไฟฟ้าเกินจะใช้ จะใช้ตัวปรับแรงดันแรงดันไฟฟ้า 0-250 โวลต์ โดยการปรับแรงดันตกคือแรงดันปกติ 220 โวลต์ทำการปรับแรงดัน ใช้ได้190 โวลต์ การทดสอบแรงดันเกินคือแรงดันปกติ 220 โวลต์ทำการปรับแรงดัน ใช้ได้ 250โวลต์ การอาร์คจะมีการทดสอบ โดยใช้โหลดหลอดไฟ 200 วัตต์ ชุดการทดสอบการอาร์คจะใช้สายไฟ 1 เส้นและทำการตัดออกเป็น 2 ด้าน ใช้ตะไบทำให้แหลมต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแล้วใช้น้ำเป็นตัวกลางในการทดสอบการอาร์คโดยช่องว่างระหว่างตัวนำสามารถปรับระยะการอาร์คได้ กระแสไฟฟ้าเกินจะใช้หลอดไฟ ขนาด 1,000 วัตต์จำนวน 5 หลอด ต่อหลอดไฟเพิ่ม 10 หลอด เพื่อให้ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรลดลง

2.8สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสำหรับระบบจำหน่ายแรงต่ำ พบว่า เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าสิ่งที่สำคัญและจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ตรวจจับและอุปกรณ์ป้องกันเพื่อจำกัดพื้นที่ของปัญหาและลดความเสียหายและอันตรายที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ กรณีที่แรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน การอาร์ค

การทำงานของวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเชิงกลและแบบโซลิดสเตด[1]-[4] เป็นการเปรียบเทียบการทำงานข้อดีและข้อเสียของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้กันทั่วไปกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีออกแบบและการจำลองผล เมื่อเกิดความผิดพร่องในระบบ ดังนั้นเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้น จะมีการใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์ แสดงให้เห็นในช่วงพลวัตต์ในการปิดและเปิดวงจร จากนั้น การจำลองผลของการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดจะใช้โปรแกรม Matlab/Simulink

เป็นตัวแสดงผลการทำงานในการตรวจสอบตัดและต่อวงจรขณะเกิดความผิดพร่องแสดงให้เห็นพฤติกรรมของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าและความสัมพันธ์ของตัวตรวจสอบความผิดปกติ

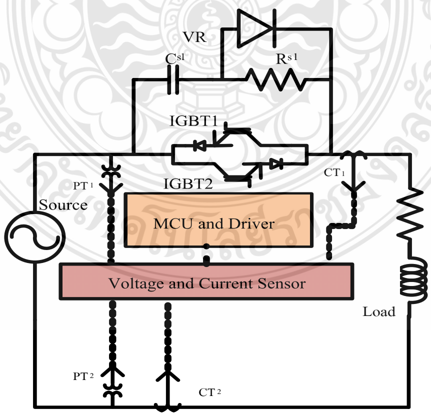
การออกแบบวงจรไอจีบีทีที่อยู่ภายในตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ 1 เฟสขณะทำการสวิตช์ตัดและต่อจะใช้วงจรสนับเบอร์เพื่อลดค่าของ di/dt และ dv/dt เมื่อโหลดเป็นอินดักทีฟ และยังกล่าวถึง มาตรฐาน IEC60898และมาตรฐานกUL1966

การจำลองและทดสอบการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด และอัลกอริทึมการตรวจจับแรงดันไฟฟ้า,กระแสไฟฟ้าและการอาร์คของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดโดยการจำลองและทดสอบซึ่งประกอบด้วยเงื่อนไขการทดสอบ แรงดันไฟฟ้าเกิน แรงดันไฟฟ้าตก กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่วและการอาร์ค

บทที่ 3
เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

การออกแบบการศึกษาการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดมีการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า การสวิตช์และการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ภายใต้เงื่อนไขแรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว ลัดวงจรและการอาร์คจำเป็นต้องมีการออกแบบ การจำลอง การทดลองและการทดสอบ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ใช้โปรแกรม Matlab/Simulink จำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสำหรับระบบจำหน่ายแรงต่ำ มีการจำลองเหตุการณ์ของการเกิดความผิดพร่องภายใต้เงื่อนไขแรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว การลัดวงจรและการอาร์ค ที่เกินในระบบไฟฟ้าเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ในสถานการณ์ของการเกิดความผิดปกติต่าง ๆ โดยค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าวัดได้จะเป็นสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเพื่อทำการศึกษาการทำงานของ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดและนำค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการจำลอง หาอุปกรณ์อิเล็กรอนิกส์ที่นำมาใช้ในการสร้างวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้เพื่อออกแบบและการศึกษาการทำงาน วิธีการนำสัญญาของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการวัดมาเข้าอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4ดังเหตุการณ์ต่าง ๆ ของความผิดพร่องเช่นแรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว กระแสไฟฟ้าเกิน การลัดวงจรและการอาร์ค



รูปที่ 3.1 โครงสร้างภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

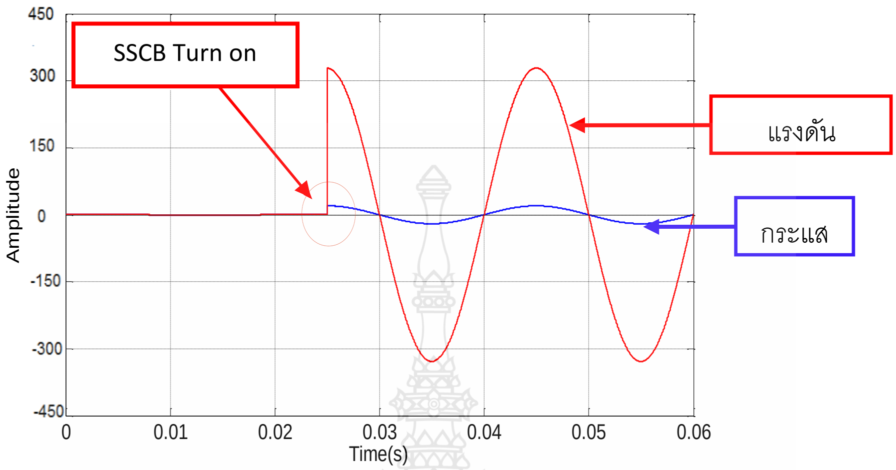
ขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ใช้ในการออกแบบและจำลองคือ กระแสทริป 30 แอมแปร์ พิกัดแรงดัน 220 โวลต์ เพื่อป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดปกติภายใต้เงื่อนไขแรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว ลัดวงจรและการอาร์คในระบบไฟฟ้าอีกทั้งเป็นการศึกษาแนวทางการพัฒนาเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดดังรูปที่ 3.1 โครงสร้างภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

ชุดการตรวจจับกระแสจะใช้แบบ Hall Effect แบบ ACS712-30A Current Sensor Module ชนิดกระแส 30-40 แอมแปร์ ความไว 66 มิลลิโวลต์ต่อแอมแปร์ การตอบสนอง 5 ไมโครวินาที แบนวิดธ์ 80 กิโลเฮิรตซ์ สัญญาณออกเป็นแบบอนาล็อก ส่วนชุดการตรวจจับแรงดันจะใช้ AC Volt Senser เบอร์ZMPT101B Sigle Phase AC Voltage Transformer sensor Module ส่วนตัววงจรควบคุม จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ STM32F4 โดยทำงานร่วมกับ Matlab/Simulink จะใช้ในการจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด แรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว การลัดวงจรและการอาร์ค การจำลองการทำงานและการกำหนดพิกัดในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด เมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติเกิดขึ้น และสามารถโปรแกรมโดยใช้ Waijung Blocksets ในการต่อร่วมกับโปรแกรม Matlab/Simulinkโครงสร้างภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดประกอบด้วยไอจีบีที 2 ตัว ทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้า ตัดและต่อวงจรซึ่งจะมีวงจรควบคุมการทำงานของตัวไอจีบีทีโดยจะรับคำสั่งจากตัวประมวลผล ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดจะสั่งให้ไอจีบีทีตัดวงจร การทำงานของไอจีบีทีจะทำงานเป็นไปตามอัลกอริทึมของการตรวจจับของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด ประกอบด้วยตรวจจับแรงดันไฟฟ้าตรวจจับกระแสไฟฟ้าและส่งสัญญาณมาที่ไปยังไมโครคอนโทรเลอร์ ประมวลผล อัลกอริทึมของการตรวจจับดังรูปที่ 3.2 จะมีการตรวจจับ โดยรับค่าจากสัญญาณที่เกิดจากการวัดความผิดปกติ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของระบบ และประมวลผลตามเงื่อนไข ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขจะสั่งให้วงจรขับทำงานของไอจีบีทำการตัดวงจร

3.1 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

การจำลองการทำงานของวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดใช้การวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของการนำสารกึ่งตัวนำมาเป็นสวิตช์ในการต่อวงจรไฟฟ้า วงจรสมมูล 1 เฟส เพื่อการนำเสนอให้เห็นแรงดันจากแหล่งจ่ายและความต้านทานในระบบแรงต่ำ แสดงวงจรอุดมคติเมื่อเกิดความผิดพร่องในระบบแรงต่ำ ในช่วงเวลาที่เกิดความผิดปกติในระบบรูปคลื่นของแรงดันตกคร่อมโหลด และกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม กับรูปคลื่นกระแสที่ไหล

ผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายกระแสสลับ ส่วนวงจรกำลัง ส่วนวงจรควบคุม และ โหลดทดสอบ

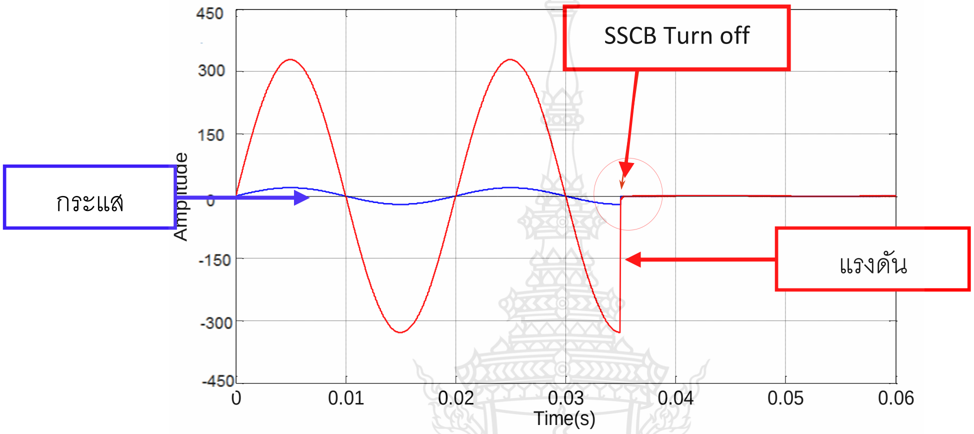


รูปที่ 3.2 การจำลองการต่อวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

รูปคลื่นกระแสและแรงดันของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดในระบบไฟฟ้า 1 เฟสแสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาปกติ กระแสสามารถไหลผ่านโซลิดสเตดเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้ปกติเมื่อในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าแบบกระแสเกินจะตัดวงจรออกทันที จากผลการทดลองเบื้องต้นจากการใช้โปรแกรม Mathlab/Simulink จำลองการตัดวงจรของระบบไฟฟ้าที่ช่วงเวลา 2.5 มิลลิวินาทีดังรูปที่ 3.2

การจำลองวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดใช้การวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของการนำสารกึ่งตัวนำมาเป็นสวิตช์ในการตัดวงจรไฟฟ้าส่วนการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด ของแต่ละส่วนจะมีส่วนประกอบ ส่วนตรวจจับความผิดพร่อง ส่วนประมวลผลการทำงาน และส่วนตัดต่อ การนำเสนอจะเป็นการจำลองการทำงานของให้เห็นแรงดันจากแหล่งจ่ายและกระแสที่ผ่านโหลด แสดงวงจรอุดมคติเมื่อเกิดความผิดพร่องในระบบในช่วงเวลาที่เกิดความผิดพร่องในระบบรูปคลื่นของแรงดันตกคร่อมเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดและกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดเพิ่มขึ้นและรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดลดลงเกิดสภาวะตรงกันข้ามกันรูปคลื่นการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดในระบบไฟฟ้า 1 เฟสแสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาปกติกระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้ปกติเมื่อในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าแบบทันทีทันใดจะตัดวงจรออกทันที จากผลการทดลองเบื้องต้นจาก

การใช้โปรแกรม Mathlab/Simulink จำลองการเกิดความผิดปกติของระบบไฟฟ้าที่ช่วงเวลา ในการตัดวงจรการจำลองโดยใช้โครงสร้างของไอจีบีทีในการสวิตซ์มาจำลองและวิเคราะห์เพื่อความเป็นไปได้ในการสร้างเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดเป็นการจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดในกรณีที่เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินโดยระบบจะเริ่มช่วงเวลาที่ 0 มิลลิวินาทีถึง 6 มิลลิวินาที ดังรูปที่ 3.3



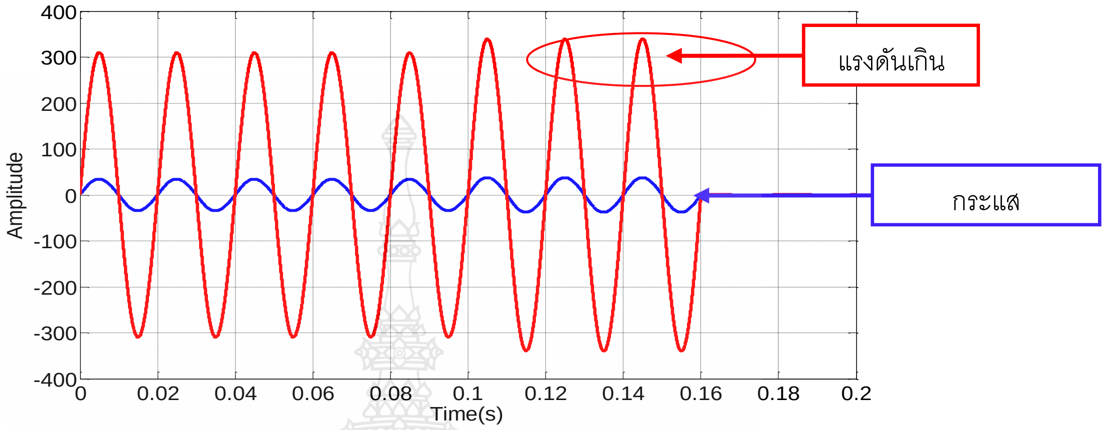
รูปที่ 3.3 การจำลองรูปคลื่นการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

เริ่มจำลองตัดวงจรในช่วงเวลาในการจำลองที่ 3.5 มิลลิวินาทีเริ่มทำให้ระบบเกินในค่าแรงดันของระบบเป็น 250 โวลต์ เมื่อมีความผิดปกติจะมีการตรวจจับความผิดปกติเกิดขึ้นจะมีเวลาในการประมวลผล 3 ลูกคลื่นหรือ 60 มิลลิวินาทีจึงมีการตัดวงจรโดยใช้ ไอจีบีทีเป็นตัดวงจรการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด เมื่อแรงดันไฟฟ้าของระบบกลับสู่สภาวะปกติประมาณ 220 โวลต์ต่อวงจรอีกครั้งที่เวลา 240 มิลลิวินาที จนสิ้นสุดการจำลองที่ 500 มิลลิวินาที

3.2 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดกรณีที่เกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน

การจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดในกรณีที่เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินโดยระบบจะเริ่มช่วงเวลาที่ 0 มิลลิวินาทีถึง 200 มิลลิวินาที เริ่มจำลองการเกิดความผิดปกติในกรณีแรงดันตกในช่วงเวลาในการจำลองที่ 100 มิลลิวินาที เริ่มทำให้ค่าแรงดันปกติของระบบเป็น 250 โวลต์ เมื่อมีความผิดพร่องจะมีการตรวจจับความผิดปกติเกิดขึ้นจะมีเวลาในการประมวลผล 3 ลูกคลื่นหรือ 60 มิลลิวินาทีจึงมีการตัดวงจรโดยใช้ ไอจีบีทีเป็นตัดวงจรการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด 160 มิลลิวินาที สิ้นสุดการจำลองที่ 200 มิลลิวินาทีดังรูปที่3.4

สรุปผลการจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตั้งค่าการตรวจจับค่าอาร์เอ็มเอสมาก-กว่าหรือเท่ากับ250 โวลต์ของMathlab/Embadded ทำการปรับค่าแรงดันของแหล่งจ่ายมากกว่า 250 โวลต์ ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจร

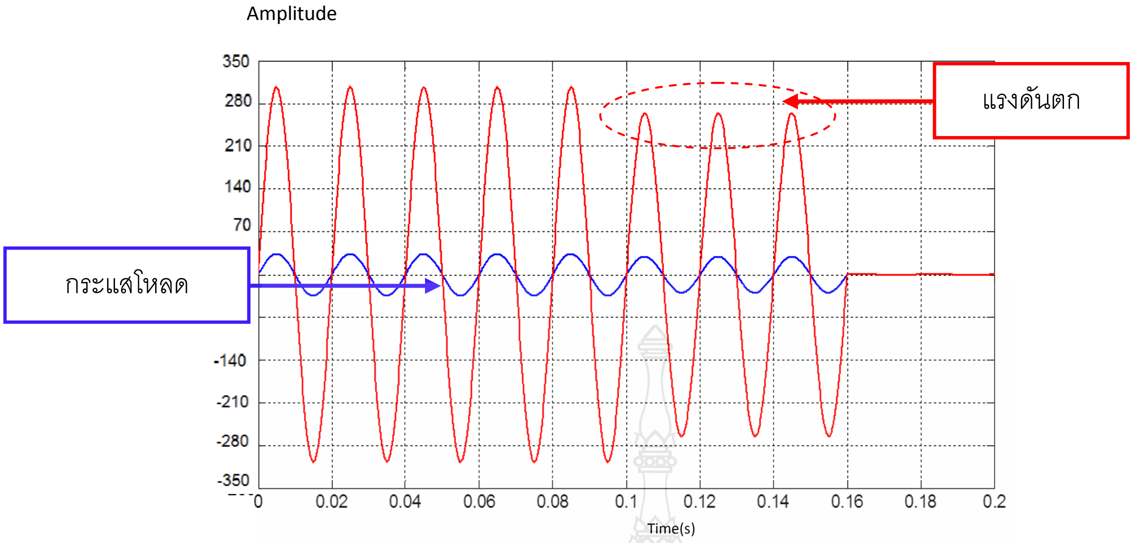


รูปที่ 3.4การจำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตขณะแรงดันไฟฟ้าเกิน

3.3 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตกรณีที่เกิดแรงดันไฟฟ้าตก

การจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตในกรณีที่เกิดแรงดันไฟฟ้าตก โดยระบบจะเริ่มช่วงเวลาที่ 0 มิลลิวินาทีถึง 200 มิลลิวินาที เริ่มจำลองการเกิดความผิดปกติในกรณีแรงดันไฟฟ้าตกในช่วงเวลาในการจำลองที่ 100 มิลลิวินาที เริ่มทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบเป็น 190 โวลต์ เมื่อมีความผิดปกติจะมีการตรวจจับความผิดปกติเกิดขึ้นจะมีเวลาในการประมวลผล 3 ลูกคลื่นหรือ 60 มิลลิวินาทีจึงมีการตัดวงจร โดยใช้ ไอจีบีทีเป็นตัดวงจรการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต 160 มิลลิวินาที สิ้นสุดการจำลองที่ 200 มิลลิวินาที

สรุปผลการจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตั้งค่าการตรวจจับค่าอาร์เอ็มเอสน้อยกว่าหรือเท่ากับ190 โวลต์ของMathlab/Embadded ทำการปรับค่าแรงดันของแหล่งจ่ายน้อยกว่า 190 โวลต์ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรดังรูปที่3.5

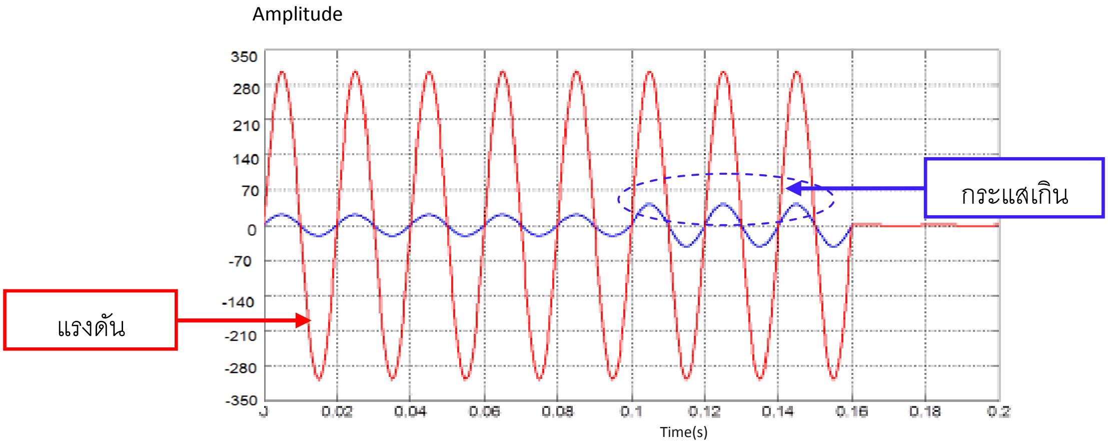


รูปที่ 3.5 การจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดขณะแรงดันไฟฟ้าตก

3.4 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดกรณีที่เกิดกระแสไฟฟ้าเกิน

การจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดในกรณีที่กระแสไฟฟ้าเกินโดยระบบจะเริ่มช่วงเวลาที่ 0 มิลลิวินาทีถึง 200 มิลลิวินาที เริ่มจำลองการเกิดความผิดปกติในกรณีกระแสเกินในช่วงเวลาในการจำลองที่ 100 มิลลิวินาที เริ่มทำให้ค่ากระแสของระบบเป็น 30 แอมแปร์ เส้นสีน้ำเงินคือค่ากระแส เมื่อมีความผิดปกติจะมีการตรวจจับความผิดปกติเกิดขึ้นจะมีเวลาในการประมวลผล 3 ลูกคลื่นหรือ 60 มิลลิวินาที การตัดวงจรโดยใช้ ไอจีบีทีเป็นตัดวงจรการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด 160 มิลลิวินาที สิ้นสุดการจำลองที่ 200 มิลลิวินาที

สรุปผลการจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตั้งค่าการตรวจจับค่าอาร์เอ็มเอสมากกว่าหรือเท่ากับ30 แอมแปร์ของMathlab/Embadded ทำการต่อความต้านทานที่โหลดทำเกิดกระแสไฟฟ้าเกินสามารถวัดกระแสของโหลดดังรูปที่3.6

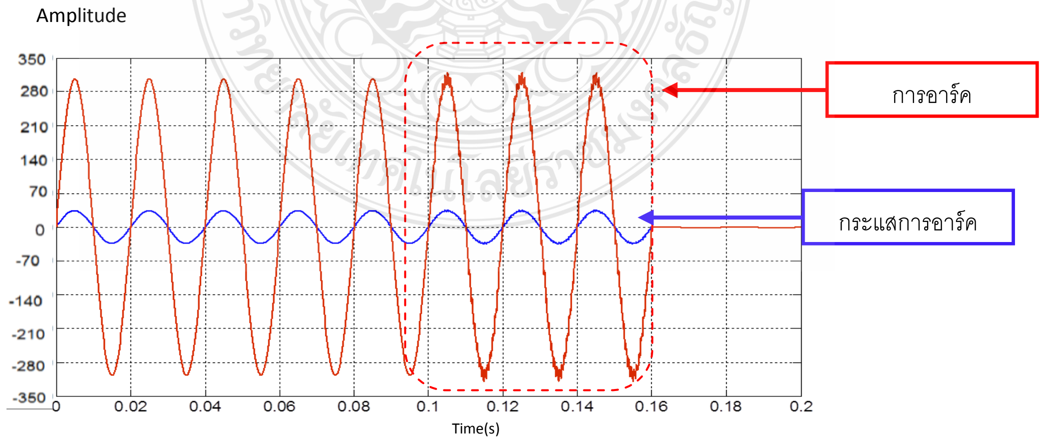


รูปที่ 3.6 การจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดขณะกระแสเกิน

3.5 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดกรณีที่เกิดการอาร์ค

การจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดในกรณีที่เกิดการอาร์คโดยระบบจะเริ่มช่วงเวลาที่ 0 มิลลิวินาทีถึง 200 มิลลิวินาที เริ่มจำลองการเกิดความผิดปกติในกรณีเกิดการอาร์คในช่วงเวลาในการจำลองที่ 100 มิลลิวินาที เริ่มทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบเป็น 220 โวลต์และจะมีการมอดูเลตสัญญาณความถี่ค่ายอดต่ำกับสัญญาณแรงดัน 220 โวลต์ทำให้เกิด มีความผิดปกติเกิดขึ้น จะมีการตรวจจับความผิดปกติเกิดขึ้นจะมีเวลาในการประมวลผล 3 ลูกคลื่นหรือ 60 มิลลิวินาที จึงมีการตัดวงจรโดยใช้ ไอจีบีทีเป็นตัดวงจรการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด 160 มิลลิวินาที สิ้นสุดการจำลองที่ 200 มิลลิวินาที

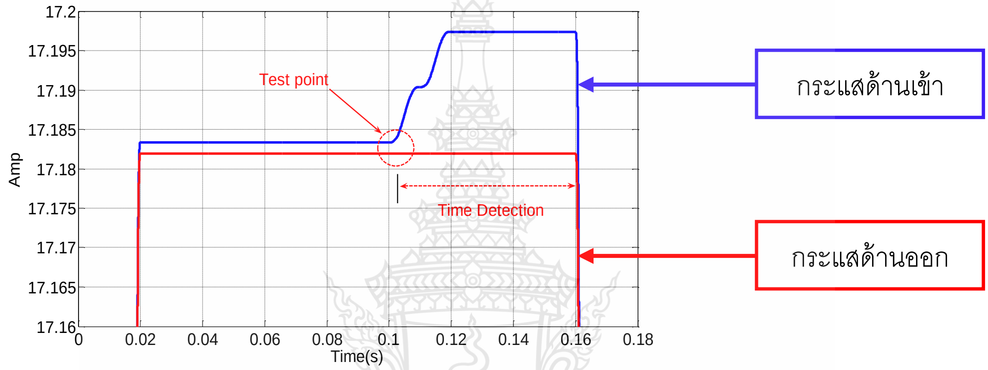
สรุปผลการจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตั้งค่าการตรวจจับค่าการอาร์คโดยใช้วิธีอาร์เอสเอสไอ โดยการนำสัญญาณกระแสไฟฟ้ามาทำการอนุพันธ์ จากนั้นทำการหาค่าสัมบูรณ์และเปรียบเทียบแรงดันอ้างอิง ทำการเปรียบเทียบผลโดยใช้ฟังชั่นการทำงานของMathlab/Embadded สามารถวัดกระแสอาร์คที่โหลดดังรูปที่3.7



รูปที่ 3.7การจำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดขณะเกิดการอาร์ค

3.6 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดกรณีที่เกิดกระแสไฟฟ้ารั่ว

การจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดในกรณีที่เกิดการกระแสไฟฟ้ารั่วโดยระบบจะเริ่มช่วงเวลาที่ 2 มิลลิวินาทีถึง 16 มิลลิวินาที เริ่มจำลองการเกิดความผิดปกติในกรณีเกิดการรั่วไหลของกรแสไฟฟ้า ช่วงเวลาในการจำลองที่ 10 มิลลิวินาทีเริ่มทำการตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่ว มีความผิดปกติเกิดขึ้น จะมีการตรวจจับความผิดปกติเกิดขึ้นจะมีเวลาในการประมวลผล 14 มิลลิวินาทีจึงมีการตัดวงจรโดยใช้ ไอจีบีทีเป็นตัดวงจรการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด ดังรูปที่ 3.8



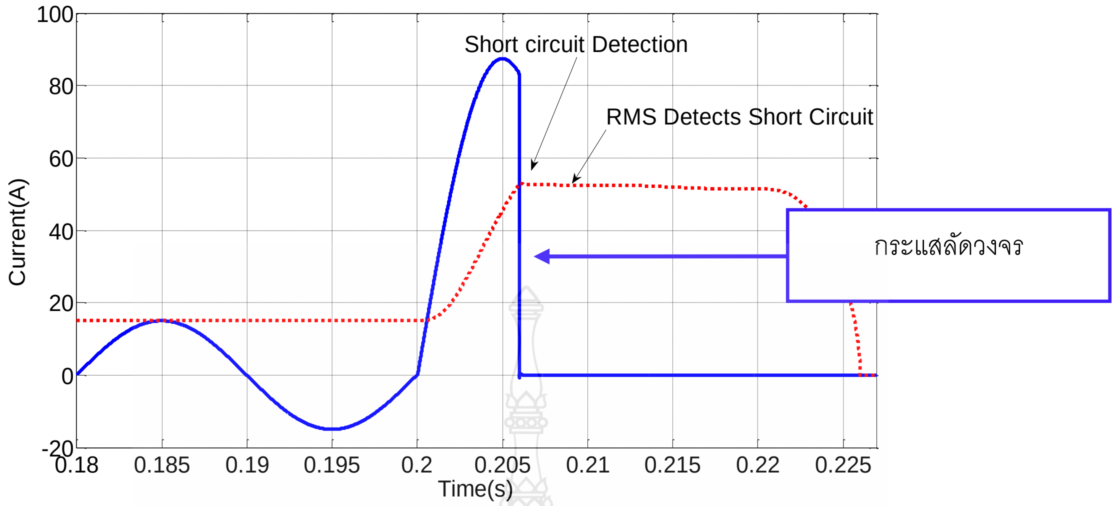
รูปที่ 3.8การจำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดขณะกระแสไฟฟ้ารั่ว

การจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดในกรณีที่เกิดการการลัดวงจรโดยระบบจะเริ่มช่วงเวลาที่ 20 มิลลิวินาที ถึง 20.5 มิลลิวินาที เริ่มจำลองการเกิดความผิดปกติในกรณีเกิดการลัดวงจรในช่วงเวลาในการจำลองที่ 20 มิลลิวินาที

สรุปผลการจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตั้งค่าการตรวจจับค่าอาร์เอ็มเอสมาก-กว่าหรือเท่ากับ25 มิลลิแอมแปร์ของMathlab/Embadded ทำการต่อความต้านทานที่โหลดทำเกิดกระแสรั่วสามารถวัดกระแสที่ด้านเข้าและด้านออกของโหลด

3.7 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดกรณีที่เกิดการลัดวงจร

เริ่มทำให้ปรับค่ากระแสไฟฟ้าของวงจรโดยการลดค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร การประมวลผลการทำงานเริ่มที่ 20.5 มิลลิวินาทีจึงมีการตัดวงจรโดยใช้ ไอจีบีทีเป็นตัดวงจรการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การจำลองการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบลัดวงจร

สรุปผลการจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตั้งค่าการตรวจจับค่ายอดของการลัดวงจรมากกว่าหรือเท่ากับ 80 แอมแปร์ของ Mathlab/Embadded ทำการลัดวงจรที่โหลดสามารถวัดกระแสที่โหลด

3.8 สรุปการออกแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต

การออกแบบและการจำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตผลการจำลองนั้น สรุปได้ว่า หลักการทำงานของโซลิดสเตตเซอร์กิตเบรคเกอร์มีส่วนประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนการตรวจจับ ส่วนการสวิตช์และส่วนการควบคุม ซึ่งส่วนการตรวจจับจะใช้หลักการแปลงกระแสและแรงดันให้เป็นสัญญาณและได้ทำการ ยกระดับสัญญาณเพื่อจะเข้าไมโครคอนโทลเลอร์ STM32F4 ผลการจำลองการทำงานของโซลิดสเตตเซอร์กิตเบรคเกอร์จะมีการจำลองความผิดปกติของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าดังเช่น กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว การลัดวงจร แรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกิน การอาร์ค พิกัดของของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต ขนาดอัตราการทนกระแสทริป 30 แอมแปร์ พิกัดแรงดัน 220 โวลต์ เพื่อเป็นอุปกรณ์ป้องกันจากระบบไฟฟ้าที่มีความผิดปกติเกิดขึ้น

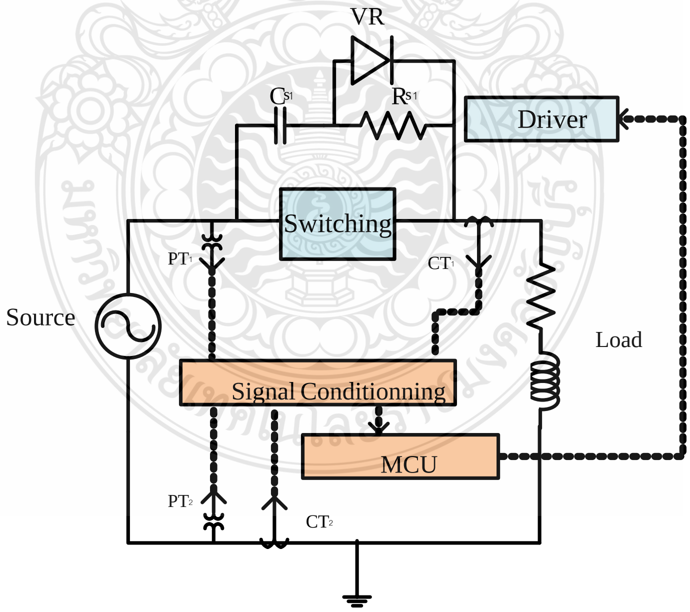
บทที่ 4

การทดสอบการทำงานและผลวิเคราะห์ข้อมูล

บทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างทางด้านฮาร์ดแวร์ทั้งระบบและค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ถูกใช้ทดสอบการทำงานจริง รวมทั้งผลการทดสอบการทำงานของระบบ ซึ่งการทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด ในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ ต่อวงจรไฟฟ้า 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ความถี่ที่ 50 เฮิรตซ์ การทดสอบแรงดันไฟฟ้าผิดปกติ ทดสอบที่พิกัดแรงดันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 190 โวลต์ แรงดันเกินทดสอบที่พิกัดแรงดันมากกว่าหรือเท่ากับ 250 โวลต์กระแสเกิน ทดสอบที่พิกัดกระแสไฟฟ้าเกินมากกว่าหรือเท่ากับ 30 แอมแปร์กระแสไฟฟ้ารั่วทดสอบที่พิกัดกระแสมากกว่าหรือเท่ากับ 30 มิลลิแอมแปร์ การลัดวงจรที่กระแสไฟฟ้า 80 แอมแปร์และการอาร์คทดสอบที่ความต่อเนื่องของการอาร์ค

4.1 ชุดทดสอบของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

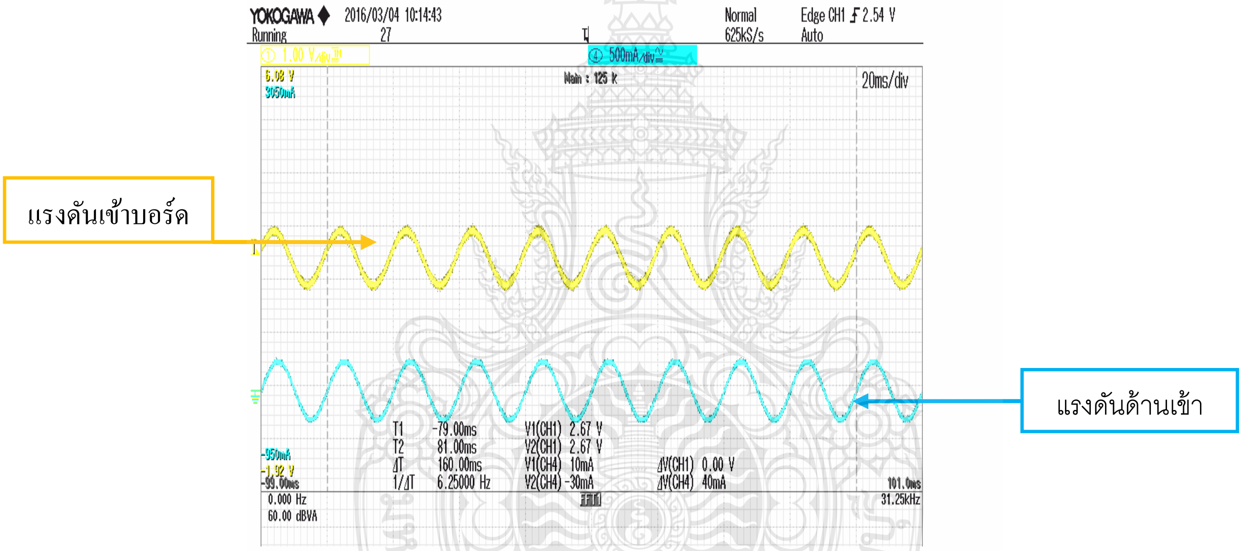
โครงสร้างของเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยรวมของฮาร์ดแวร์แสดงดังภาพที่ 4.1 ประกอบด้วยวงจรการตัดต่อวงจรร่วมกับวงจรสนับเบอร์ ชุดการตรวจจับกระแสและแรงดัน ชุดไมโครคอนโทลเลอร์ STM32F4 ขนาดพิกัด 30 แอมแปร์ 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ และ อินดักทีฟโหลด



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

4.2การทดสอบการทำงานของการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

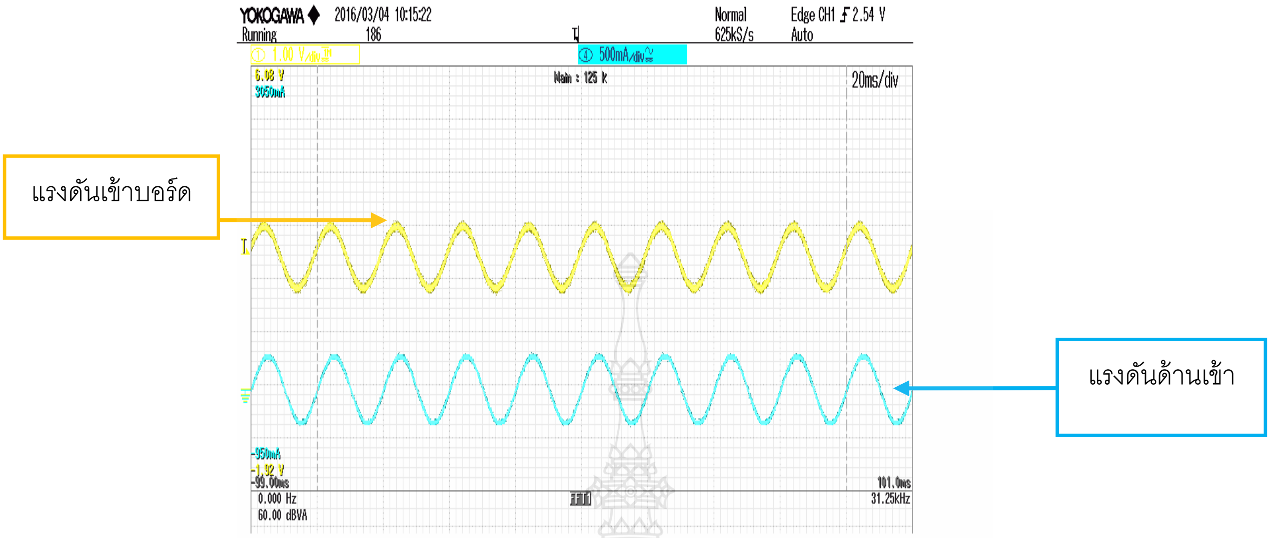
วัดสัญญาณจากออสซิลโลสโคป(YOKOGAWA DLM2024 2.5GS/s 200MHz Mixed Signal Oscilloscope) ดังรูป 4.2 สีฟ้ามีขนาดแรงดันประมาณ 220 โวลต์ ความถี่ 50 Hz โดยผ่านการวัดจากตัววัดสัญญาณแรงดัน(Differential Probe Sapphire Instruments Sl-9110 500mA/div) สีเหลืองเป็นสัญญาณที่ออกจากตัวตรวจวัดแรงดันซึ่งทำการยกระดับ(Signal Conditionning)แล้วสามารถที่จะผ่านเข้าไปในไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ ขนาดแรงดันด้านเข้าจะมีมุมเฟสที่ตรงกับแรงดันด้านออกจาก ตัวตรวจจับแรงดันแต่จะต้องใช้โหมดการเชื่อมต่อกระแสสลับ(AC coupling Mode) และค่ายอดจะต่างกันโดยพิกัดแรงดัน 0-3.3 โวลต์ ดังรูป 4.2



รูปที่ 4.2 แรงดันด้านเข้าและสัญญาณแรงดันเข้าบอร์ด STM32F4

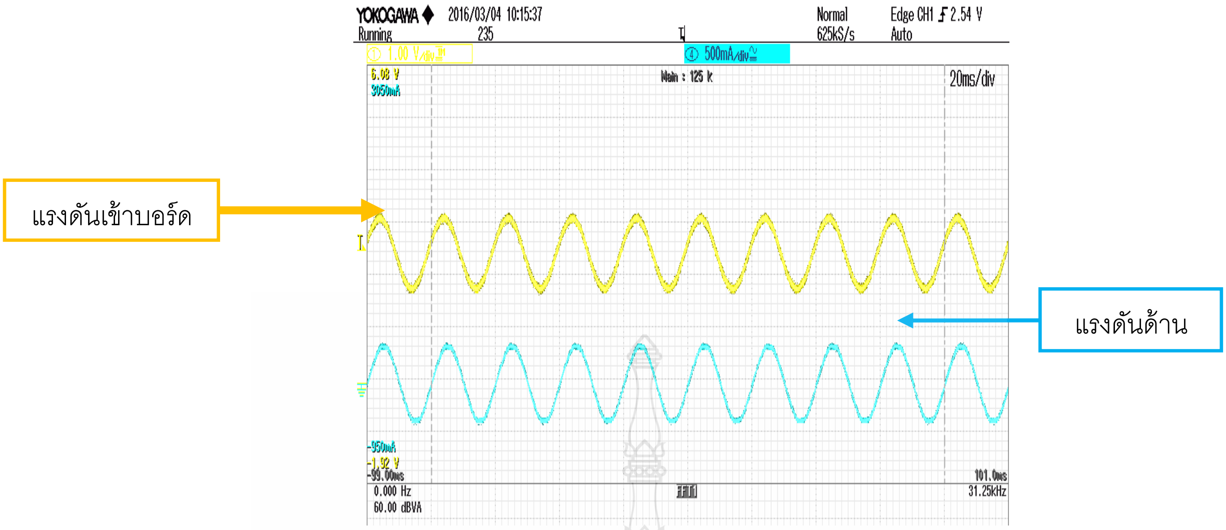
ผลที่ได้จากการวัดสรุปได้ว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้ามีการวัดค่ายอดประมาณ 310 โวลต์และนำมาเข้าตัวตรวจจับแรงดัน ZMPT101B Signal Phase AC Voltage Transformer Sensor Module สามารถที่จะปรับค่ายอดของสัญญาณและยกระดับสัญญาณก่อนที่จะเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 และสามารถปรับค่าแรงดันโดยใช้ Voltage Regulator Input 220 Volt/50-60 Hz, Output 0-250 Volt ได้ โดยแรงดันที่วัดออกมาจาก ZMP101B ประมาณ 2.67 โวลต์

เริ่มทำการปรับแรงดัน 0-220 โดยใช้ตัวปรับแรงดัน(Voltage Regulator โมเดล TDGC2-1KVA)ใช้มัลติมิเตอร์เป็นตัววัดค่าแรงดันที่ออกจากตัวปรับแรงดัน



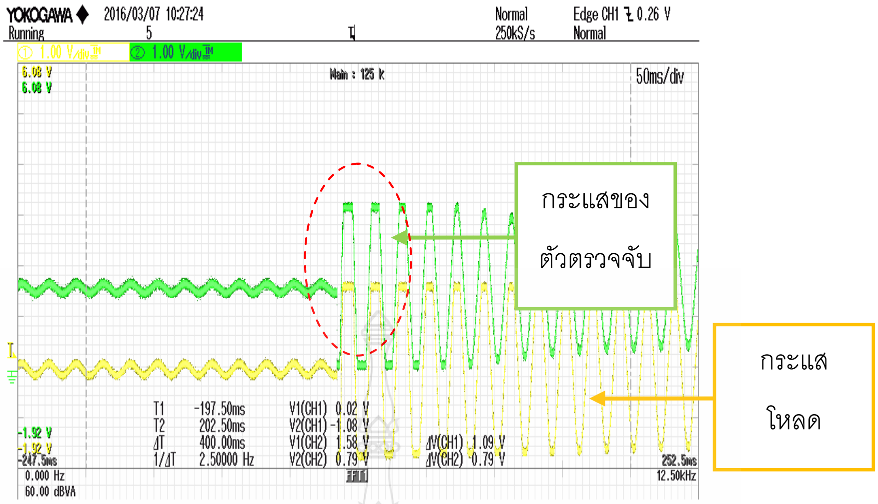
รูปที่ 4.3 แรงดันด้านเข้าและสัญญาณแรงดันเข้าบอร์ด STM32F เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าตก

ทำการลดระดับแรงดัน 190 โวลต์ จะได้สัญญาณอนาล็อกที่จะเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูป 4.3 โดยใช้ตัวปรับแรงดัน(Voltage Regulator โมเดล TDGC2-1KVA)และใช้มัลติมิเตอร์(Digital Multimeter CD771 Auto Power Off SANWA)เป็นตัววัดค่าแรงดันที่ออกจากตัวปรับแรงดันจะเห็นว่าค่ายอดของแรงดันจะมีการเปลี่ยนแปลงลดลง เมื่อเทียบกับแรงดันใช้งาน ดังรูป 4.4 ผลที่ได้จากการวัดสรุปได้ว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้ามีการวัดค่ายอด 269 โวลต์และนำมาเข้าตัวตรวจจับแรงดัน ZMPT101B Signal Phase AC Voltage Transformer Sensor Module สามารถที่จะปรับค่ายอดของสัญญาณลดลงและยกระดับสัญญาณก่อนที่จะเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 และสามารถปรับค่าแรงดันโดยใช้ Voltage Regulator Input 220 Volt/50-60 Hz, Output 0-250 Volt ได้ โดยแรงดันที่วัดออกมาจาก ZMP101B ประมาณ 2.42 โวลต์วัดสัญญาณจากออสซิลโลสโคป สีฟ้ามีขนาดแรงดันประมาณ 250 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์โดยผ่านการวัดจากโดยผ่านการวัดจากตัววัดสัญญาณแรงดันสีเหลืองเป็นสัญญาณที่ออกจากตัวตรวจวัดแรงดันซึ่งทำการยกระดับสัญญาณแล้วสามารถที่จะผ่านเข้าไปในไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ ขนาดแรงดันด้านเข้าจะมีมุมเฟสที่ตรงกับแรงดันด้านออกจาก ตัวตรวจจับแรงดันแต่จะต้องใช้ โหมดเชื่อมต่อกระแสสลับ(Couping Mode AC)และค่ายอดจะต่างกันโดยพิกัดแรงดัน 0-3.3 โวลต์ดังรูป 4.4

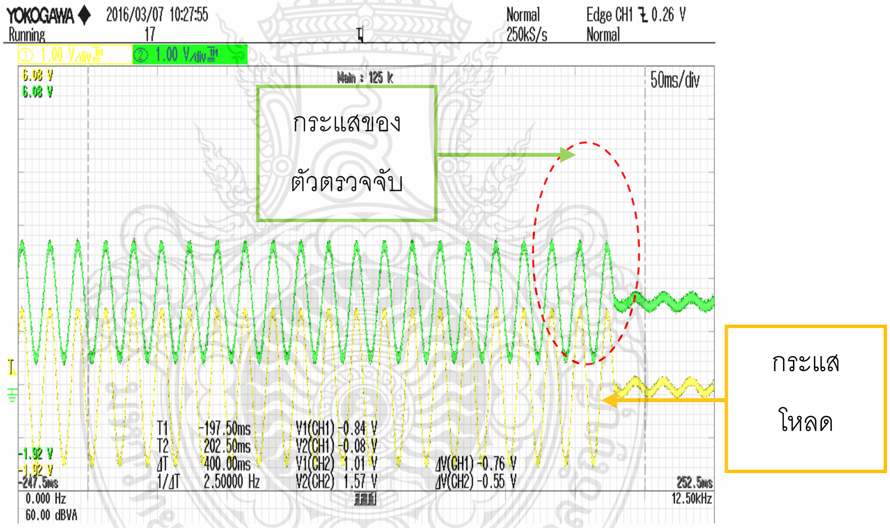


รูปที่ 4.4 แรงดันด้านเข้าและสัญญาณแรงดันเข้าบอร์ด STM32F เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน

ผลที่ได้จากการวัดสรุปได้ว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้ามีการวัดค่ายอด 354 โวลต์และนำมาเข้าตัวตรวจจับแรงดัน ZMPT101B Signal Phase AC Voltage Transformer Sensor Module สามารถที่จะปรับค่ายอดของสัญญาณเพิ่มขึ้นและยกระดับสัญญาณก่อนที่จะเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 และสามารถปรับค่าแรงดันโดยใช้ Voltage Regulator Input 220 Volt/50-60 Hz, Output 0-250 Volt ได้ โดยแรงดันที่วัดออกมาจาก ZMP101B ประมาณ 3.2 โวลต์ และไม่ให้เป็นอันตรายต่อบอร์ดควรมีการปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมไม่ให้เกินพิกัดก่อนที่จะเข้าบอร์ด การตรวจวัดสัญญาณกระแส โดยปกติจะมีการวัดค่ากระแสที่โหลดประมาณ 10 แอมแปร์ หลังจากนั้นจะมีการเพิ่มกระแสของโหลดให้เกิน 30 แอมแปร์ เพื่อที่จะทำให้อยู่ในช่วงกระแสเกิน เพื่อไปปรับแต่งค่าสัญญาณก่อนเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์สีเขียวคือสัญญาณของกระแสที่ผ่านการยกระดับสัญญาณก่อนจะเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ สีเหลืองคือการวัดสัญญาณกระแสโหลดดังรูป 4.6 กระแสที่โหลดและสัญญาณกระแสเข้าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อต่อวงจรกระแสที่โหลดและสัญญาณกระแสเข้าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อตัดวงจรดังรูปที่ 4.5ผลที่ได้จากการวัดสรุปได้ว่าเมื่อกระแสไฟฟ้ามีการวัดค่าประมาณ10 แอมแปร์ และนำมาเข้าตัวตรวจจับกระแส ACS172-30Aสามารถที่ยกระดับสัญญาณก่อนที่จะเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 และสามารถปรับค่ากระแส โดยการต่อโหลดเพิ่มเป็น 30 แอมแปร์ โดยใช้ปรับค่าให้เหมาะสมประมาณ 3 โวลต์ก่อนที่จะเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4

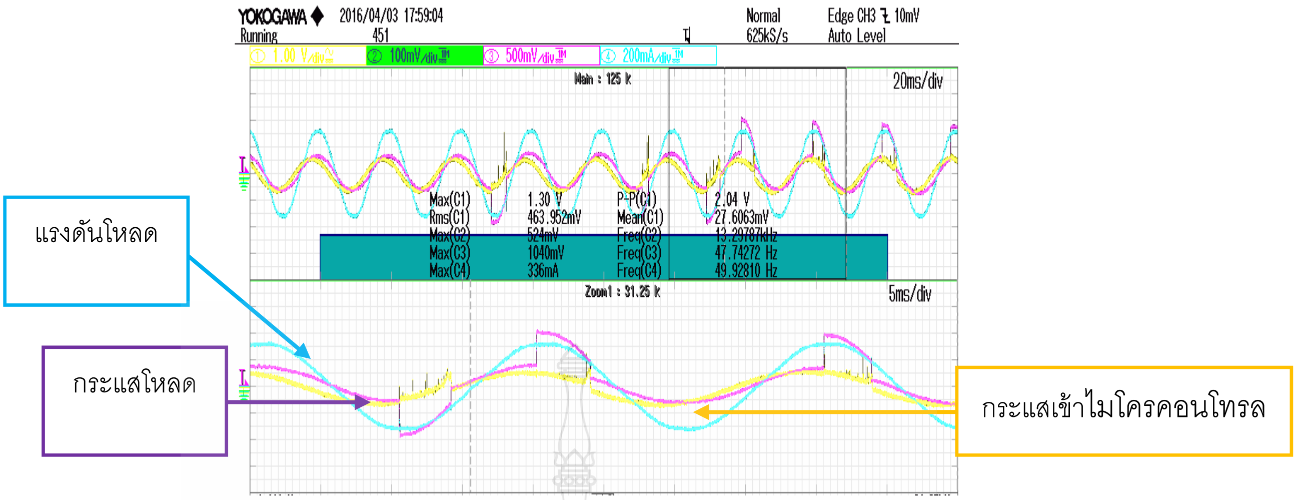


รูปที่ 4.5 กระแสที่โหลดและสัญญาณกระแสเข้าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อวงจร



รูปที่ 4.6 กระแสที่โหลดและสัญญาณกระแสเข้าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อตัดวงจร

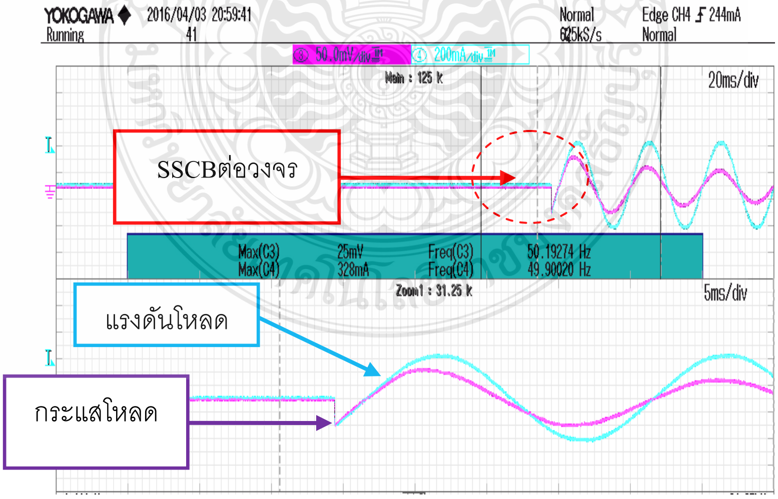
การทดสอบสัญญาณการอาร์คของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด การทดสอบและวัดค่าเส้นสัญญาณก่อนที่จะเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์สีม่วงแสดงการวัดค่ากระแสโหลดทดสอบที่พิกัด 5 แอมแปร์ สีฟ้าวัดแรงดันที่ตกคร่อมโหลดพิกัด 220 โวลต์ความถี่ 50 เฮิรตซ์ สีเหลืองแสดงกระแสเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การอาร์คของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

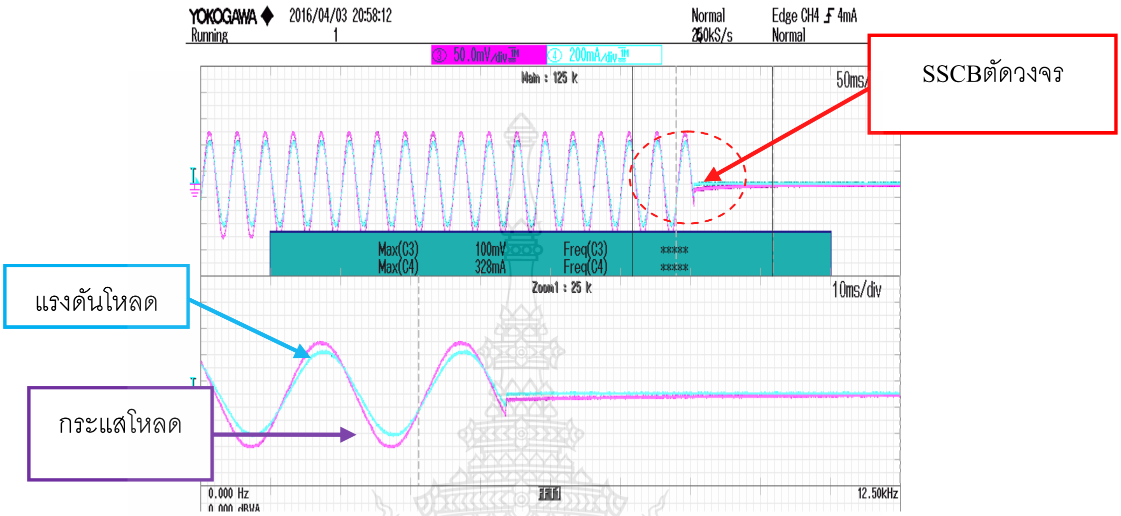
ผลที่ได้จากการวัดสรุปได้ว่าเมื่อเกิดการอาร์คเกิดขึ้น รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าจะมีรูปคลื่นที่ผิดเพี้ยน และนำมาเข้าตัวตรวจจับกระแส ACS172-30Aสามารถที่ยกระดับสัญญาณก่อนที่จะเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

4.3 การทดสอบการตัดและต่อวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด



รูปที่ 4.8 การทดสอบการต่อวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

การทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดในสภาวะปกติเริ่มทำการทดสอบและวัดค่าเส้นสัญญาณสีม่วงแสดงการกระแส 5 แอมแปร์ สีฟ้าแสดงแรงดันพิกัด 220 โวลต์ความถี่ 50 เฮิรตซ์ รูปที่ 4.8

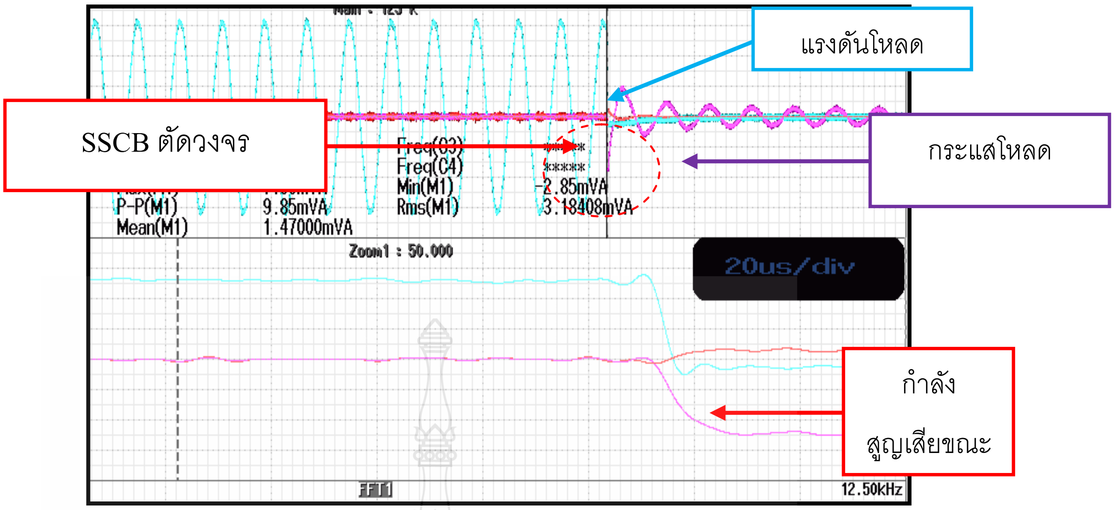


รูปที่ 4.9 การทดสอบการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

รูปที่ 4.9การทดสอบการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดในสภาวะปกติการทดสอบและวัดค่าเส้นสัญญาณสีม่วงแสดงการกระแส 5 แอมแปร์ สีฟ้าแสดงแรงดันพิกัด 220 โวลต์ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ผลที่ได้จากการวัดสรุปได้ว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสามารถที่จะตัดและต่อวงจรได้เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีการวัดค่ายอด 310 โวลต์ที่กระแสโหลด 5 แอมแปร์ โดยกดสวิตช์เปิดปิดและสามารถรีเซตการทำงานได้

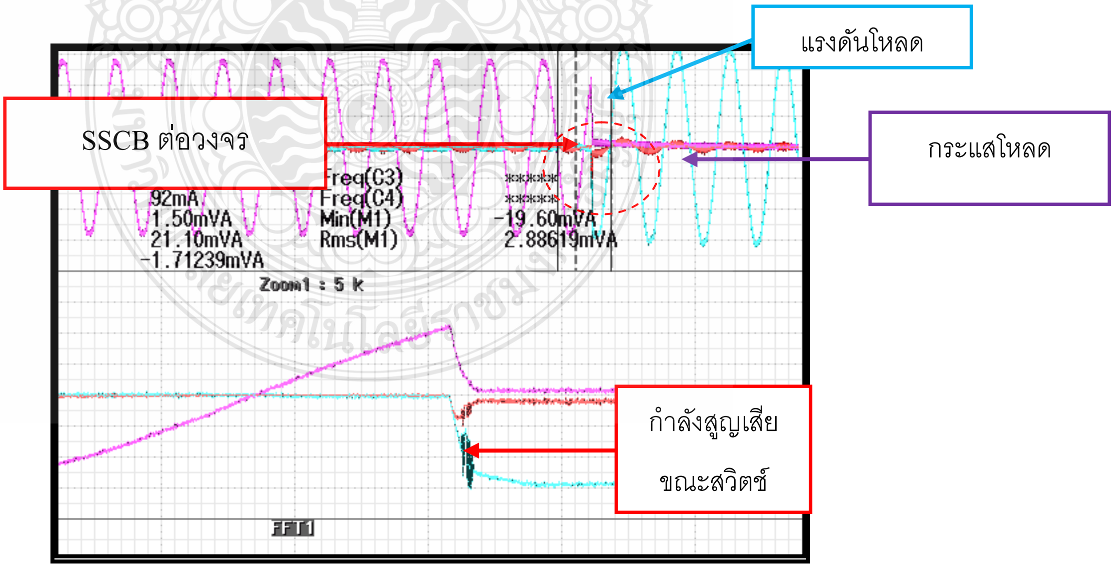
4.4 การวัดกำลังสูญเสียของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดขณะทำการสวิตช์

เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดทำการวัดค่าการสูญเสียของการสวิตช์ เริ่มทำการทดสอบและวัดโดยการใช้โหลดขนาด 5 แอมแปร์ ดังแสดงดังรูป 4.10 หลังจากนั้นทำการทดสอบในสภาวะปกติแรงดัน 220 โวลต์ สัญญาณม่วงวัดกระแสและสัญญาณสีฟ้าวัดค่าแรงดัน สีแดงแสดงกำลังสูญเสียในการตัดวงจรของ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดใน ดังรูปที่ 4.10และรูปที่ 4.11 การวัดกำลังสูญเสียในการสวิตช์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดเมื่อต่อวงจร



รูปที่ 4.10 กำลังสูญเสียในการสวิตช์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตเมื่อตัดวงจร

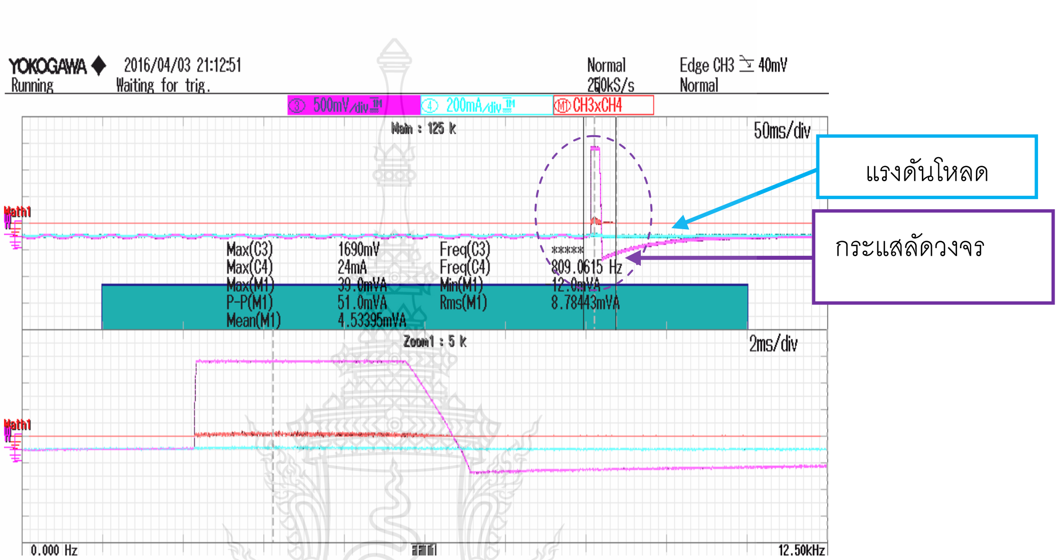
ผลที่ได้จากการวัดสรุปได้ว่าเมื่อแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์และกระแสที่ผ่านสวิตช์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตเมื่อตัดและต่อวงจรสามารถที่จะวัดค่ากำลังสูญเสียในการสวิตช์ โดยการนำสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันที่วัดมาคูณกัน ซึ่งในโหมดการทำงานของออสซิโลสโคปจะมีอยู่ให้ทำการกำหนดเป็นช่อง 1 และ ช่อง 2 แล้วทำการทริกเกอร์ริ่งเพื่อจับรูปสัญญาณขณะทำการตัดและต่อวงจร



รูปที่ 4.11 กำลังสูญเสียในการสวิตช์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตเมื่อต่อวงจร

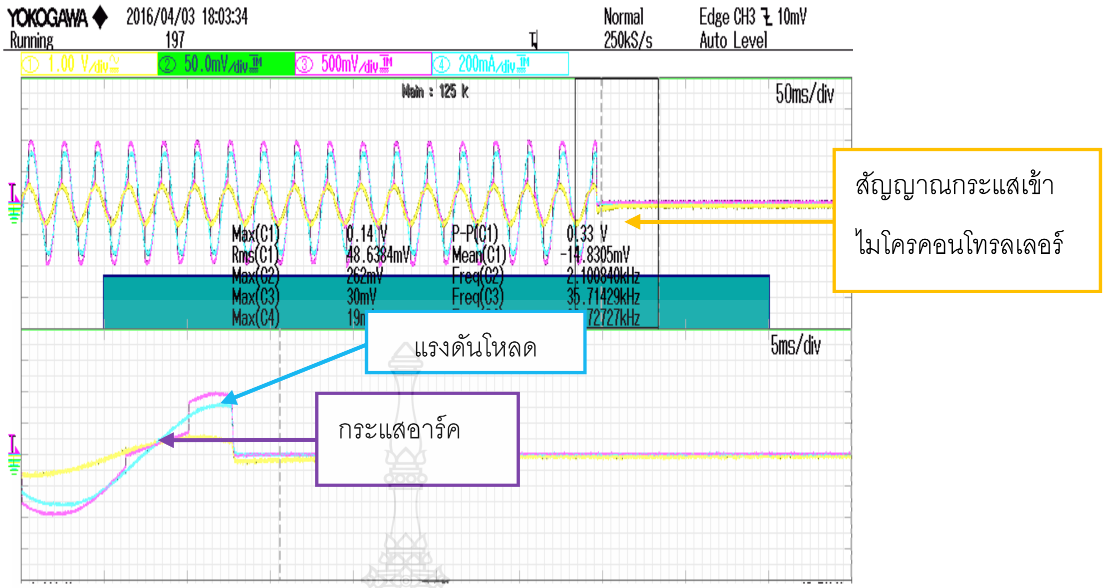
4.5 การทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

ผลการทดสอบการลัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดการทำงานเมื่อเกิดการลัดวงจรโดยการจ่ายโหลด โดยการใช้สายไฟต่อที่ขั้วหลอด โดยทดสอบที่พิกัดแรงดัน 220 โวลต์ และกระแสโหลด 5 แอมแปร์ ผลการทดสอบการทำงานเมื่อการลัดวงจรดังรูปที่ 4.12 กระแสไฟฟ้าที่ลัดวงจรประมาณ 80 แอมแปร์



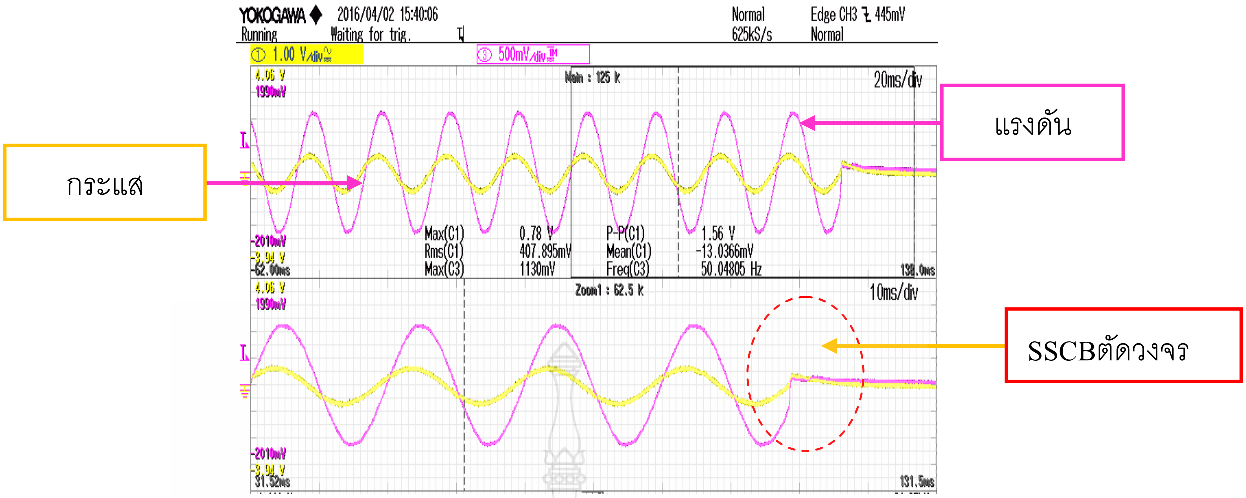
รูปที่ 4.12 ทดสอบการลัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

ผลที่ได้จากการวัดสรุปได้ว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าโหลดมีการวัดค่าประมาณ 5 แอมแปร์ ได้ทำการลัดวงจรที่โหลด ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสามารถที่จะตรวจจับและตัดวงจรได้ โดยการตั้งค่าใน Waijung Blocksetsที่สามารถตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรได้ 80 แอมแปร์ สัญญาณเข้าไปยัง Waijung Blocksets ชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 ตรวจจับพบสัญญาณผิดปกติทำให้ Embedded function ทำงานส่งสัญญาณตัดวงจรแสดงดังรูป 4.12 การทดสอบการอาร์คของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด สีเหลืองสัญญาณกระแสเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ สีฟ้าแรงดัน 220 โวลต์ สีม่วงกระแสอาร์คที่โหลด เมื่อมีการอาร์คเกิดขึ้น จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นกระแสไฟฟ้ามีความผิดเพี้ยนดังรูปที่ 4.13



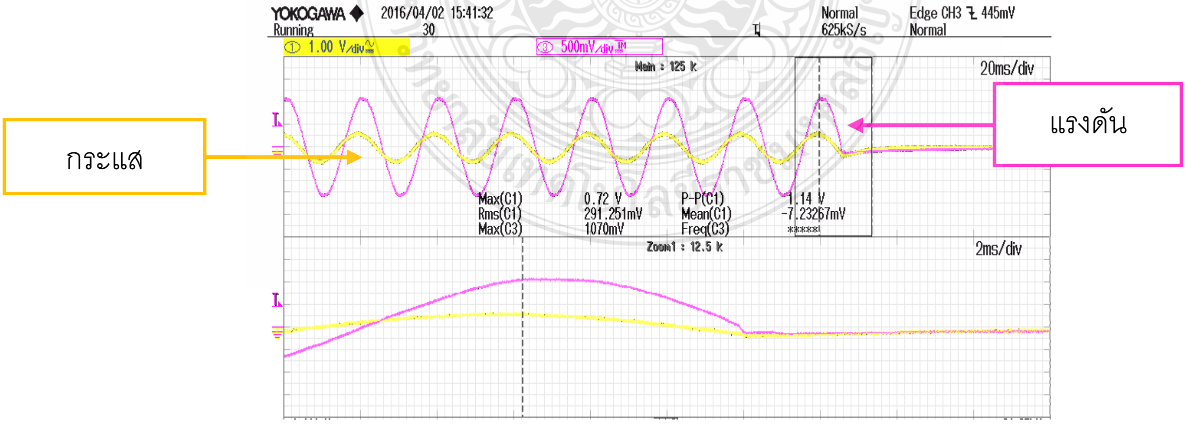
รูปที่ 4.13 การทดสอบการอาร์คของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต

ผลที่ได้จากการวัดสรุปได้ว่าเมื่อเกิดการอาร์ครูปคลื่นกระแสไฟฟ้าจะมีความผิดเพี้ยน มีการวัดได้ กรแสโหลด ประมาณ5 แอมแปร์ และนำมาเข้าตัวตรวจจับกระแส ACS172-30A ส่งสัญญาณไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณเข้าไปยัง Waijung Blocksets ชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 ตรวจจับพบสัญญาณผิดปกติทำให้ Embedded function ทำงานส่งสัญญาณตัดวงจรแสดงในรูป 4.13 การทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตในสภาวะแรงดันเกิน เริ่มทำการทดสอบและปรับตัวจ่ายแรงดัน จาก 220 โวลต์ ไปถึง พิกัดแรงดัน 250 โวลต์ สีม่วงคือค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านตัวตรวจวัด จะได้คาแรงดัน 1.56 โวลต์ สีเหลืองแสดงเมื่อตรวจจับสัญญาณกระแสเมื่อผ่านตัวตรวจจับ 0.78 โวลต์ก่อนเข้า ไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูป 4.14



รูปที่ 4.14 การทดสอบแรงดันไฟฟ้าเกินของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

ผลที่ได้จากการวัดสรุปได้ว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้ามีการวัดได้ 250 โวลต์และนำมาเข้าตัวตรวจจับแรงดัน ZMPT101B Signal Phase AC Voltage Transformer Sensor Module สามารถที่จะปรับค่าแรงดันโดยใช้ Voltage Regulator ของสัญญาณเพิ่มขึ้นทำให้ชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 ตรวจจับพบสัญญาณผิดปกติทำให้ Embedded function ทำงานส่งสัญญาณตัดวงจรแสดงในรูป 4.14 การทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดในสภาวะแรงดันไฟฟ้าตก เริ่มทำการทดสอบและปรับตัวจ่ายแรงดัน จาก 220 โวลต์ ไปถึง พิกัดแรงดัน 190 โวลต์ สีม่วงคือค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านตัวตรวจวัด จะได้ค่าแรงดัน 1.14 โวลต์ สีเหลืองแสดงเมื่อตรวจจับสัญญาณกระแสเมื่อผ่านตัวตรวจจับ 0.72 โวลต์ ดังรูป 4.15



รูปที่ 4.15 การทดสอบแรงดันไฟฟ้าเกินตกเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด

ผลที่ได้จากการวัดสรุปได้ว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้ามีการวัดได้ 190 โวลต์และนำมาเข้าตัวตรวจจับแรงดัน ZMPT101B Signal Phase AC Voltage Transformer Sensor Module สามารถที่จะปรับค่าแรงดันโดยใช้ Voltage Regulator ของสัญญาณเพิ่มขึ้นทำให้ชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 ตรวจจับพบสัญญาณผิดปกติทำให้ Embedded function ทำงานส่งสัญญาณตัดวงจรแสดงดังรูปที่ 4.15

4.6 เปรียบเทียบและสรุปผล

การทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดในวิทยานิพนธ์นี้สามารถทำตามเงื่อนไขของการลัดวงจรได้ใช้การตรวจจับค่ายอด การทดสอบแรงดันไฟฟ้าเกินจะมีการตรวจจับแบบอาร์เอ็มเอส การทดสอบแรงดันไฟฟ้าตกจะมีการตรวจจับที่เหมือนกับการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าเกิน การอาร์คจะใช้การตรวจจับแบบอร์เอสเอสไอ แต่การทดสอบกระแสไฟฟ้ารั่วและกระแสไฟฟ้าเกิดอุปกรณ์ได้มีความเสียหายเนื่องจากไม่มีการแยกกราวน์ของระบบ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการจำลองและทดสอบการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตสำหรับระบบจำหน่ายแรงต่ำ เพื่อป้องกันปัญหาของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ผิดปกติของระบบไฟฟ้าแรงต่ำ สามารถที่จะแก้ปัญหาเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในอดีตและปัจจุบันได้ และสามารถที่จะทำการป้องกันและทำงานเมื่อระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติเกิดขึ้น ภายใต้เงื่อนไข แรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกินกระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว ลัดวงจรและการอาร์ค

การดำเนินการวิจัยซึ่งภายในตัวของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตที่มีการออกแบบและการจำลองจนกระทั้งมีการทดสอบ ใช้ไอจีบีทีเป็นตัวสวิตช์ในการตัดและต่อวงจร และวงจรสนับเบอร์เพื่อแก้ปัญหาของอินดักทีฟโหลด เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตตัดวงจรทำ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเมื่อเทียบกับเวลาทำให้กำลังสูญเสียในการสวิตซ์น้อยลง ดังนั้นการใช้เทคนิคการรีโซแนนท์มาใช้ ผลการจำลองและผลการทดสอบได้มาเปรียบเทียบ การวัดค่าสัญญาณของแรงดันและสัญญาณกระแส สัญญาณการตรวจจับและสัญญาณของการขับของไอจีบีที การวัดค่าจะแสดงการตัดและต่อวงจรในสภาวะปกติและเมื่อเกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขในการทำงานคือ แรงดันไฟฟ้าเกิน แรงดันไฟฟ้าตก กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว การลัดวงจร และการอาร์ค ที่จะเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า โดยอ้างอิงมาตรฐาน IEC 60898และUL 1966 การประยุกต์ใช้เพื่อให้ลดความเสียหายและป้องกันความเสียหายที่เกิดจากความผิดปกติของระบบ

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไปกับเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต

การทดสอบ	พิกัด	SSCB	MCB
กระแสไฟฟ้าเกิน	$\geq$ 30 A	✓	✓
แรงดันไฟฟ้าเกิน	$\geq$ 250VAC	✓	X
แรงดันไฟฟ้าตก	$\leq$ 190VAC	✓	X
การลัดวงจร	$\geq$ 80 A	✓	✓
การอาร์ค		✓	X

การเปรียบเทียบเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไปกับเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสรุปการจำลองและทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ได้มาจากการออกแบบและวิเคราะห์การทำงานตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ 1 เฟส โดยการนำไอจีบีทีมาทำการตัดและต่อภายในวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้มีการจำลองและทดสอบการทำงานแรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว การลัดวงจรและการอาร์ค ผลการจำลองและทดสอบเป็นที่น่าพอใจจะเห็นได้ว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดสามารถที่จะตรวจจับและสั่งการทำงานตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อเกิดปัญหาได้อย่างถูกต้องตามที่ออกแบบไว้และเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ทั่วไปไม่สามารถที่จะป้องกันความผิดพร่องได้ทั้งหมดเนื่องจากการทำงานโดยใช้แผ่นโลหะคู่ทำหน้าที่ในการตรวจจับกระแสไฟฟ้าเกินและการทำงานของขดลวดโดยใช้อาศัยเส้นแรงแม่เหล็กทำหน้าที่ตรวจจับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรดังตารางที่ 5.1อีกทั้งปัญหาความเร็วในการทำงานและการอาร์คของหน้าสัมผัสขณะมีการตัดและต่อวงจร

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบเวลาการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไปกับเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดภายใต้เงื่อนไขกระแสไฟฟ้าเกินและการลัดวงจร

	กระแสไฟฟ้าเกิน	**การลัดวงจร**
SSCB	60-100 ms	20-40 ms
MCB	3-100 s	0.1-1 s

สรุปตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบเวลาการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไปกับเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดภายใต้เงื่อนไขกระแสไฟฟ้าเกินและการลัดวงจรจะเห็นได้ว่าการทำงานกระแสไฟฟ้าเกิน เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดจะทำงานที่เวลา 60 – 100 มิลลิวินาที เซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไปใช้เวลา 3- 100 วินาที และการทำงานของการลัดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดจะทำงานที่เวลา 20 – 40 มิลลิวินาที เซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไปใช้เวลา 0.10- 1 วินาที แสดงให้เห็นว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดจะทำงานเร็วก่าเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดสอบการทำงานในแต่ละส่วนของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตจะต้องมีการทดสอบในแต่ละส่วนเพื่อให้แน่ใจว่าทุกส่วนทำงานได้ ส่วนวงจรกำลังจะประกอบด้วย วงจรสนับเบอร์ วงจรขับและวงจรสวิตช์ ส่วนการตรวจจับจำเป็นต้องมีการวัดและทดสอบหาค่าสูงสุดในการกำหนดก่อนที่สัญญาณจะเข้าไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 ถ้าเกิน 3.3 โวลต์จะทำให้บอร์ดเสียหายได้ ส่วนวงจรควบคุม ก่อนการทดสอบการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตจำเป็นต้องมีความระมัดระวังเป็นอย่างมากในการทดสอบ ถ้าจำเป็นต้องมีการโปรแกรมเพื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ภายในจำเป็นต้องมีการแยกกราวน์ เพื่อป้องกันการลัดวงจรกราวด์ของคอมพิวเตอร์และกราวน์ของบอร์ด STM32F4 ดังนั้นควรเข้าใจในระบบกราวด์แยกระหว่างภาคจ่ายกำลังและส่วนควบคุม

บรรณานุกรม

[1] Supawat Kamtip, Krischonme Bhumkittipich, Nathabhat Phankong **"Simulation of SSCBUsingIGBTs Model based on ORCAD/PSPICE program"**, 11th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, Phuket, Thailand, December 18-21. 2013, pp. 177-180.

[2] ศุภวัฒน์ คำทิพย์,กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์,ณฐภัทร พันธ์คง, **"การวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส"**,การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6 , 26-28 มีนาคม 2557 , จังหวัดกระบี่,หน้า573-576

[3] ศุภวัฒน์ คำทิพย์,กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์,ณฐภัทร พันธ์คง, "**การวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กและกำลังสูญเสียของเซอร์กิตเบรกเกอร์ แบบโซลิดสเตด**" ,การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6 วันที่ 23-25 กรกฎาคม 2557 ,ณ อาคารเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

[4] ศุภวัฒน์ คำทิพย์,กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์,ณฐภัทร พันธ์คง, "**เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ**," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37, 19 - 21 พฤศจิกายน 2557, ขอนแก่น

[5] S. Kamtip; K. Bhumkittipich "**Comparison between mechanical circuit breaker and solid state circuit breaker under abnormal conditions for low voltage systems**" 18th International Conference on Electrical Machines and System(ICEMS), Oct. 25-28, 2015, Pattaya City, Thailand.

[6] Supawat Kamtip, Krischonme Bhumkittipich, Nathabhat Phankong, "**Comparison between Mechanical Circuit Breaker and Solid State Circuit Breaker for Low Voltage System**," 12th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, Krabi, Thailand, June 11-14, 2015

[7] Kai Ding, K.W.E.Cheng, X.D.Xue, B.P. Divakar, C.D.Xu, Y.B.Che, D.H.Wang, P.Dong "**A Novel Detection Method for Voltage Sags**" 2006 2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications Muhamad Mansor

บรรณานุกรม (ต่อ)

[8] W. S. Moon; J. C. Kim; A. Jo; S. B. Bang; W. S. Koh "**Ignition Characteristics of Residential Series Arc Faults in 220-V HIV Wires**" IEEE Transactions on Industry Applications (Volume:51 , Issue: 3) May-June 2015

[9] Seung Kook Yang, Yeon Su Kim, In-Gun Kim, Taejun Choi, Ju lee "**A study on Arc Detection using RSSI(Received Signal Strength Indication)"** 18th International Conference on Electrical Machines and System(ICEMS), Oct. 25-28, 2015, Pattaya City, Thailand.

[10] Jonathan Andrea, Partrick Schweitzer and Jean-Mary Martel "**Arc Fault Model of Conductance Application to the UL1699 Tests Modelling**" Electrical Contacts (Holm), 2011 IEEE 57th Holm Conference on 11-14 Sept. 2011, Minneapolis, MN.

[11] F. R. Zaro, M. A. Abido, S. Ameenuddin และ I. M. Elamin "Characterization of Short-duration Voltage Events" 2012 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), 2-5 December 2012, Kota Kinabalu Sabah, Malaysia

[12] วนิดา ภู่สร. **แบบจำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,** สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553.

[13] IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality, IEEE STD 1159-1995, Approved 1995.Standards Board, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," IEEE .

[14] N. Batut, A. Schellmanns, S. Jacques, Z. Ren, L. V. Phung and F. Ihuel, "Development and characterization of a new low-loss monolithic AC switch based on super-gain BJT," Power Semiconductor Devices & IC's (ISPSD), 2014 IEEE 26th International Symposium on, Waikoloa, HI, 2014, pp. 197-200.

[15] M. Mansor; N. A. Rahim "**Voltage Sag Detection – A Survey**" Technical Postgraduates (TECHPOS), 2009 International Conference

[16] R. Grassetti ; R. Ottoboni ; M. Rossi ; S. Toscani "**A low-cost arc fault detector for aerospace applications**" AUTOTESTCON, Anaheim, CA, 2012 IEEE

บรรณานุกรม (ต่อ)

[17] Vineeta Agarwal, "**A Mathematical Model for IGBT**," Asian Power Electronics Journal, Vol2, No 1Apr 2008.

[18] William Long, Member IEEE, "**Low- voltage Powercircuit Breaker Comparison of Test Requirement**," International Electro technical Commission standard. IEC 60947-2.

[19] Zhiping Yang, Hongkun Chen, and et al, 2011, "**Dynamic Simulation of the Overvoltage for Fault Current Limiter**," IEEE, p. 1-4.

[20] วุฒิไกร จันทร์ขามเรียน **"การพัฒนาอุปกรณ์ชดเชยแรงดันตกชั่วครู่แบบอนุกรมโดยใช้โครงสร้างวงจรแปลงผัน 3 ระดับแบบไดโอดแคลมป์"** วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า,คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2555

[21] D. Bergogne, O. Ladhari, L. S. C. Gillot, R. Escoffier and W. Vandendaele, "**The single reference Bi-Directional GaN HEMT AC switch**," Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE-Europe), 2015 17th European Conference on, Geneva, 2015, pp. 1-7.

[22] K. A and L. Umanand, "**A Simple Hysteretic Energy Harvesting Method for Nonneutral AC Switches in Load Automation**," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 31, no. 7, pp. 4906-4915, July 2016.

[23] T. LaBella and J. S. Lai, "**A hybrid resonant converter utilizing a bidirectional GaN AC switch for high-efficiency PV applications**," Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2014 Twenty-Ninth Annual IEEE, Fort Worth, TX, 2014, pp. 1-8.

[24] J. W. Schwartzenberg, "**Application of AC switch power electronic building blocks in medium voltage static transfer switches**," Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE, 2003, pp. 1374 Vol. 3.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[25] H. H. Shin, H. Cha, H. G. Kim and D. W. Yoo, "**Novel Single-Phase PWM AC–AC Converters Solving Commutation Problem Using Switching Cell Structure and Coupled Inductor**," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 4, pp. 2137-2147, April 2015.

[26] H. du T. Mouton; J. H. R. Enslin “A resonant turn-off snubber for high power IGBT converters” Industrial Electronics, 1998. Proceedings. ISIE '98. IEEE International Symposium on (Volume:2) 07 Jul 1998-10 Jul 1998

[27] B. Wang; T. Q. Zheng; J. Zhang “Voltage controlled variable capacitor based snubber for the further reduction of IGBT's turn-off loss” Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2014 IEEE Pittsburgh, PA

[28] C. Cai; P. Xue-jun; C. Yu; K. Yong “The loss calculation of RCD snubber with forward and reverse recovery effects considerations” Power Electronics and ECCE Asia (ICPE & ECCE), 2011 IEEE 8th International

[29] A. Hassanpoor; J. Häfner; B. Jacobson “**Technical Assessment of Load Commutation Switch in Hybrid HVDC Breaker**” IEEE Transactions on Power Electronics Oct. 2015

[30] G. Li, Y. Zhou, P. Fu, X. Zhang, H. Wang and L. Cao, "**Compact power supplier for snubber**," Power Modulator and High Voltage Conference (IPMHVC), 2010 IEEE International, Atlanta, GA, 2010, pp. 327-330.

[31] IEEE Standard for Low-Voltage AC Power Circuit Breakers Used in Enclosures, in IEEE STD C37.13-2008 , vol., no., pp.1-29, March 20 2009

[32] X. Cheng, M. Liao, X. Duan and J. Zou, "**Study on breaking characteristics of high voltage hybrid circuit breaker,**" Discharges and Electrical Insulation in Vacuum (ISDEIV), 2010 24th International Symposium on, Braunschweig, 2010, pp. 449-452.

[33] S. G. Jeyaraj and Y. Habtay, "**Effective and efficient circuit breaker analysis,**" Reliability of Transmission and Distribution Networks (RTDN 2011), IET Conference on, London, 2011, pp. 1-6.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[34] IEEE Recommended Practice for the Application of Low-Voltage Circuit Breakers in Industrial and Commercial Power Systems, in IEEE Std 3004.5-2014 , vol., no., pp.1-106, Feb. 6 2015

[35] Z. Ganhao, "**Study on DC Circuit Breaker**," Intelligent Systems Design and Engineering Applications (ISDEA), 2014 Fifth International Conference on, Hunan, 2014, pp. 942-945.

[36] IEEE Guide for Investigation, Analysis, and Reporting of Power Circuit Breaker Failures, in IEEE Std C37.10-2011 (Revision of IEEE Std C37.10-1995) , vol., no., pp.1-59, Dec. 30 2010

[37] C. W. Kimblin and R. W. Long, "**Comparing test requirements for low-voltage circuit breakers,**" in IEEE Industry Applications Magazine, vol. 6, no. 1, pp. 45-52, Jan 2000.

[38] K. Dartawan and C. S. Pierre, "**Evaluating Generator Circuit Breakers Short-Circuit Duty Using IEEE C37.010 and C37.013,**" in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 50, no. 6, pp. 4164-4170, Nov.-Dec. 2014.

[39] W. Pusorn, W. Srisongkram, W. Subsingha, S. Deng-em and P. N. Boonchiam, "**Low Cost AC Solid State Circuit Breaker**," Power Electronics and Drive Systems, 2007. PEDS '07. 7th International Conference on, Bangkok, 2007, pp. 1724-1729.

[40] C. Meyer, M. Hoing and R. W. De Doncker, "**Novel solid-state circuit breaker based on active thyristor topologies,**" Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC

[41] C. Meyer and R. W. De Doncker, "**Solid-state circuit breaker based on active thyristor topologies,**" in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 21, no. 2, pp. 450-458, March 2006.

[42] W. Pusorn, W. Srisongkram, K. Chiangchin and K. Bhumkittipich, "**Solid State Circuit Breaker using insulated gate bipolar transistor for distribution system protection**," Electrical Engineering Congress (iEECON), 2014 International, Chonburi, 2014.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[43] M. Chen et al., "**Development of topology and power electronic devices for solid-state circuit breakers,"** Instrumentation and Measurement, Sensor Network and Automation (IMSNA), 2013 2nd International Symposium on, Toronto, ON, 2013, pp. 190-193.

[44] Wenjun Liu, Hua Yang, Fei Liu, Jianjun Sun and Xiaoming Zha, "**An improved RCD snubber for solid-state circuit breaker protection against bus fault in low-voltage DC microgrid**," Future Energy Electronics Conference (IFEEC), 2015 IEEE 2nd International, Taipei, 2015, pp. 1-5.

[45] M. Kempkes, I. Roth and M. Gaudreau, "**Solid-state circuit breakers for Medium Voltage DC power,"** 2011 IEEE Electric Ship Technologies Symposium, Alexandria, VA, 2011, pp. 254-257.

[46] Bin Chen, A. Q. Huang, M. Baran, Chong Han and Wenchao Song, "**Operation characteristics of emitter turn-off thyristor (ETO) for solid-state circuit breaker and fault current limiter**," Twenty-First Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2006. APEC '06., Dallas, TX, 2006, pp. 5 pp.-.

[47] R. R. Boudreaux and R. M. Nelms, "**A comparison of MOSFETs, IGBTs, and MCTs for solid state circuit breakers,"** Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1996. APEC '96. Conference Proceedings 1996., Eleventh Annual, San Jose, CA, 1996, pp. 227-233 vol.1.

[48] J. Lezama Calvo, P. Schweitzer, S. Weber, E. Tisserand and P. Joyeux, **"Arcing Detection at Home System Using Correlation analysis**," ICEC 2014; The 27th International Conference on Electrical Contacts; Proceedings of, Dresden, Germany, 2014, pp. 1-6.

[49] W. Zhang; Y. Jing; X. Y. XIAO, "**Model-Based General Arcing Fault Detection in Medium Voltage Distribution System**," in IEEE Transactions on Power Delivery , vol.PP, no.99, pp.1-1

[50] J. A. Momoh and A. S. Ishola-Salawu, "**A new arcing fault modeling and detection technique for navy IPS power system,"** Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE, Montreal, Que., 2006.

ภาคผนวก

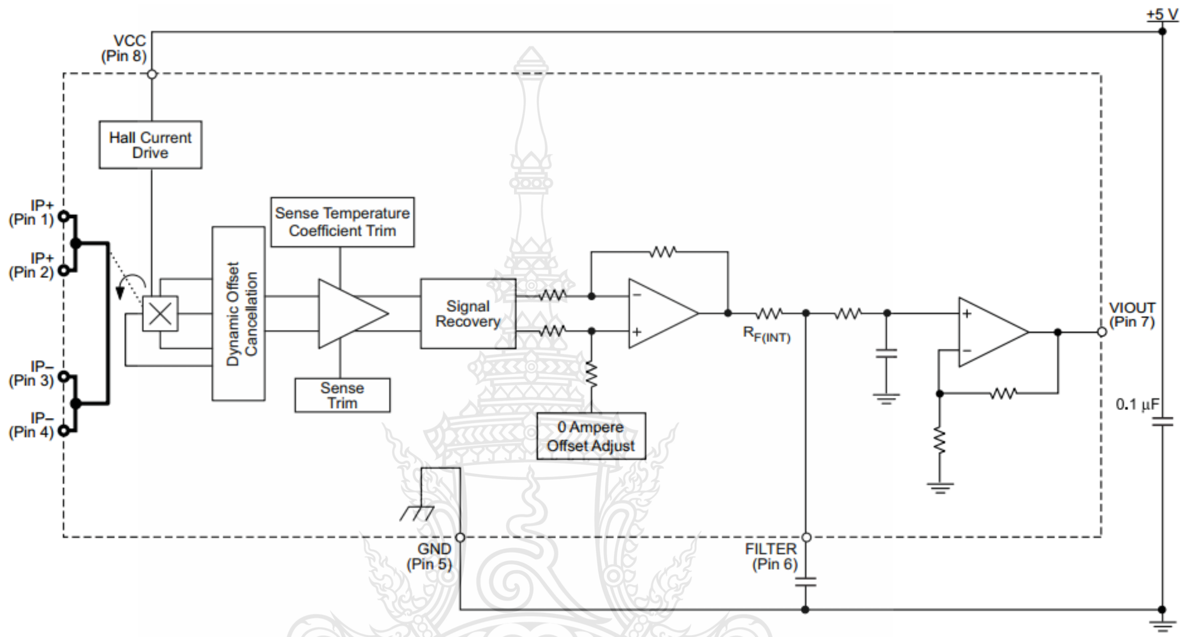
ภาคผนวก ก

ข้อมูลต่างๆ

ก.1 Datasheet ACS172-30A

ส่วนตรวจจับกระแส จะใช้สัญญาณการวัดจากกระแส

การตรวจวัดสัญญาณกระแสจะใช้เซ็นเซอร์กระแส รุ่น ACS712-30A ขนาดกระแสพิกัด 30-40 แอมแปร์ เป็นระบบแยกกราวด์



การทำงานวงจรตรวจจับโดยใช้หลักการของ Hall Effect หลักการทำงานของวงจรตรวจจับโดยใช้หลักการของ Hall Effect เมื่อรับค่าจากจุดตรวจจับ ค่าแรงดันที่ได้จะมีค่ายอด AC 0-30 แอมแปร์ ขึ้นอยู่กับโหลด ผ่าน Hall Current Driver จะทำการลดระดับกระแสและแปรกระแสเป็นสัญญาณแรงดัน AC 1.65 โวลต์ ผ่านชุด Signal Recovery มีการปรับค่ายอดโดยผ่านชุด Ampere offset ผ่านชุดกรองก่อนที่จะสัญญาณจะก่อนเข้าชุดควบคุม STM32 F4 โดยจะแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลภายในตัวเซนเซอร์ใช้แรงดันอ้างอิง 3.3 โวลต์

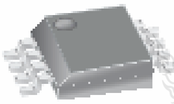
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μs output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at T_A = 25°C
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 mΩ internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

TÜV America
Certificate Number:
U8V 06 05 54214 010

Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1

Description

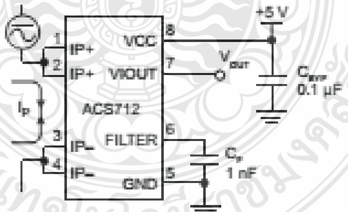
The Allegro® ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope (>$V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 mΩ typical, providing low power

Continued on the next page…

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT}, that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current, I_P, within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

Description (continued)

loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T_A (°C)	Optimized Range, I_P (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	–40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	–40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	–40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

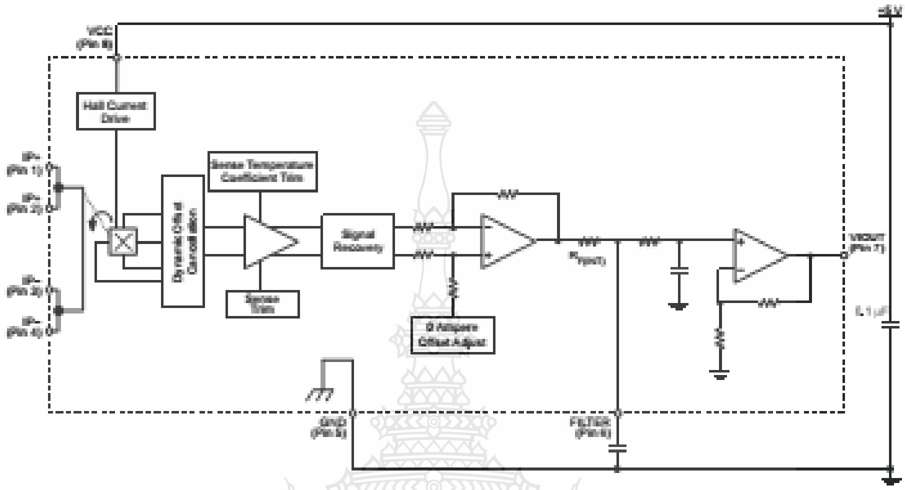
Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V_{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V_{RCC}		–0.1	V
Output Voltage	V_{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V_{RIOUT}		–0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V_{ISO}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T_A=25°C	2100	V
		Voltage applied to leadframe (Ip+ pins), based on IEC 60950	184	V_{peak}
Basic Isolation Voltage	$V_{ISO(bsc)}$	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T_A=25°C	1500	V
		Voltage applied to leadframe (Ip+ pins), based on IEC 60950	354	V_{peak}
Output Current Source	$I_{IOUT(Source)}$		3	mA
Output Current Sink	$I_{IOUT(Sink)}$		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I_P	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T_A	Range E	–40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	$T_J(max)$		165	°C
Storage Temperature	T_{stg}		–65 to 170	°C

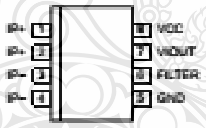
Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sensed; fused internally
3 and 4	IP–	Terminals for current being sensed; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS T_A = –40°C to 85°C[1], C_F = 1 nF, and V_{CC} = 5 V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		–5	–	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P, T_A = 25°C	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$	Peak-to-peak, T_A = 25°C, 185 mV/A programmed Sensitivity, C_F = 47 nF, C_{OUT} = open, 2 kHz bandwidth	–	21	–	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{OUT(Q)}$	T_A = –40°C to 25°C	–	–0.26	–	mV/°C
		T_A = 25°C to 150°C	–	–0.08	–	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	T_A = –40°C to 25°C	–	0.054	–	mV/A/°C
		T_A = 25°C to 150°C	–	–0.008	–	mV/A/°C
Total Output Error[2]	E_{TOT}	I_P =±5 A, T_A = 25°C	–	±1.5	–	%

[1]Device may be operated at higher primary current levels, I_P, and ambient temperatures, T_A, provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.
[2]Percentage of I_P, with I_P = 5 A. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS T_A = –40°C to 85°C[1], C_F = 1 nF, and V_{CC} = 5 V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		–20	–	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P, T_A = 25°C	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$	Peak-to-peak, T_A = 25°C, 100 mV/A programmed Sensitivity, C_F = 47 nF, C_{OUT} = open, 2 kHz bandwidth	–	11	–	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{OUT(Q)}$	T_A = –40°C to 25°C	–	–0.34	–	mV/°C
		T_A = 25°C to 150°C	–	–0.07	–	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	T_A = –40°C to 25°C	–	0.017	–	mV/A/°C
		T_A = 25°C to 150°C	–	–0.004	–	mV/A/°C
Total Output Error[2]	E_{TOT}	I_P =±20 A, T_A = 25°C	–	±1.5	–	%

[1]Device may be operated at higher primary current levels, I_P, and ambient temperatures, T_A, provided that the Maximum Junction Temperature, T_J(max), is not exceeded.
[2]Percentage of I_P, with I_P = 20 A. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS T_A = –40°C to 85°C[1], C_F = 1 nF, and V_{CC} = 5 V, unless otherwise specified

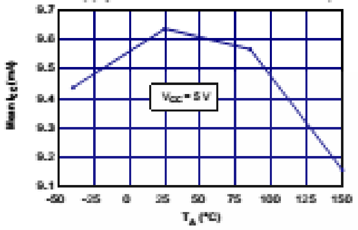
Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		–30	–	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P, T_A = 25°C	64	66	68	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$	Peak-to-peak, T_A = 25°C, 66 mV/A programmed Sensitivity, C_F = 47 nF, C_{OUT} = open, 2 kHz bandwidth	–	7	–	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{OUT(Q)}$	T_A = –40°C to 25°C	–	–0.35	–	mV/°C
		T_A = 25°C to 150°C	–	–0.08	–	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	T_A = –40°C to 25°C	–	0.007	–	mV/A/°C
		T_A = 25°C to 150°C	–	–0.002	–	mV/A/°C
Total Output Error[2]	E_{TOT}	I_P = ±30 A, T_A = 25°C	–	±1.5	–	%

[1]Device may be operated at higher primary current levels, I_P, and ambient temperatures, T_A, provided that the Maximum Junction Temperature, T_J(max), is not exceeded.
[2]Percentage of I_P, with I_P = 30 A. Output filtered.

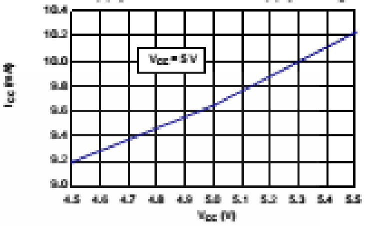
Characteristic Performance

I_P = 20 A, unless otherwise specified

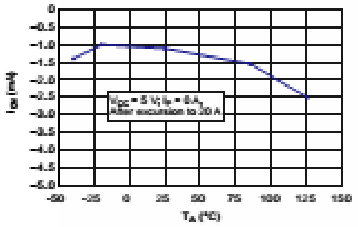
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



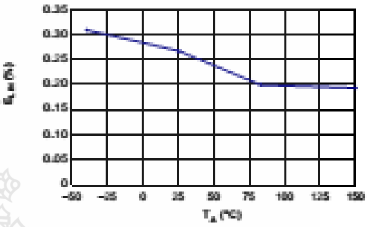
Supply Current versus Supply Voltage



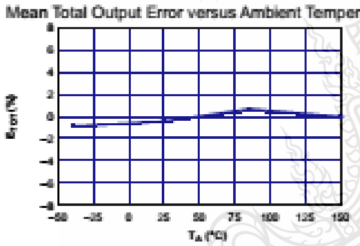
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



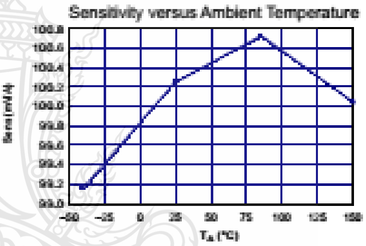
Nonlinearity versus Ambient Temperature



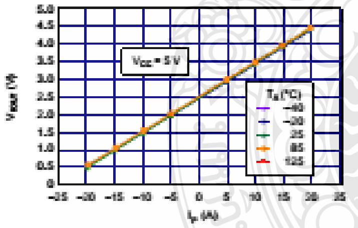
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



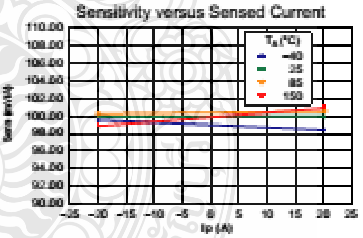
Sensitivity versus Ambient Temperature



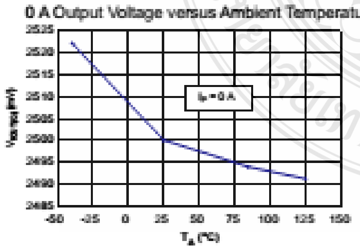
Output Voltage versus Sensed Current



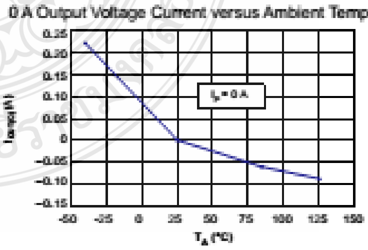
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature

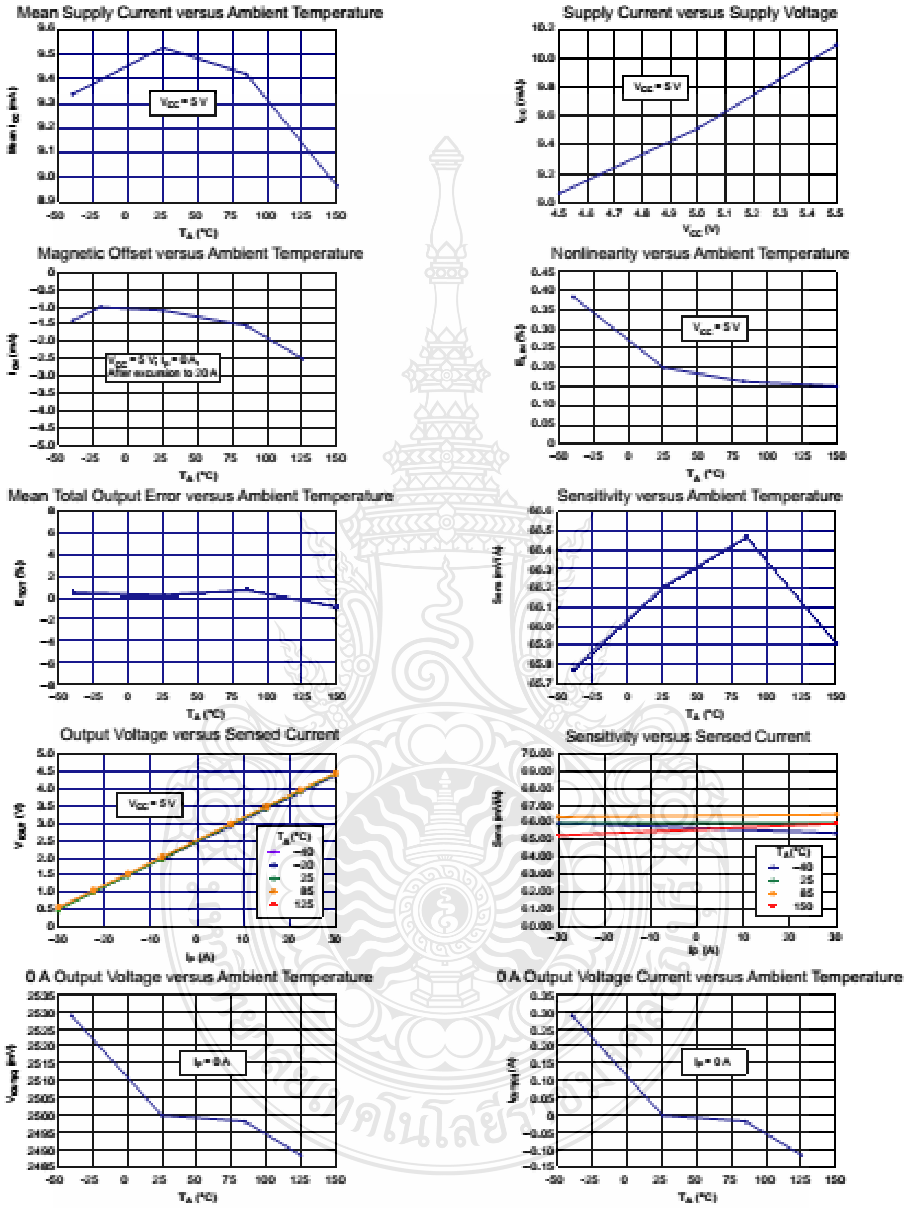


0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



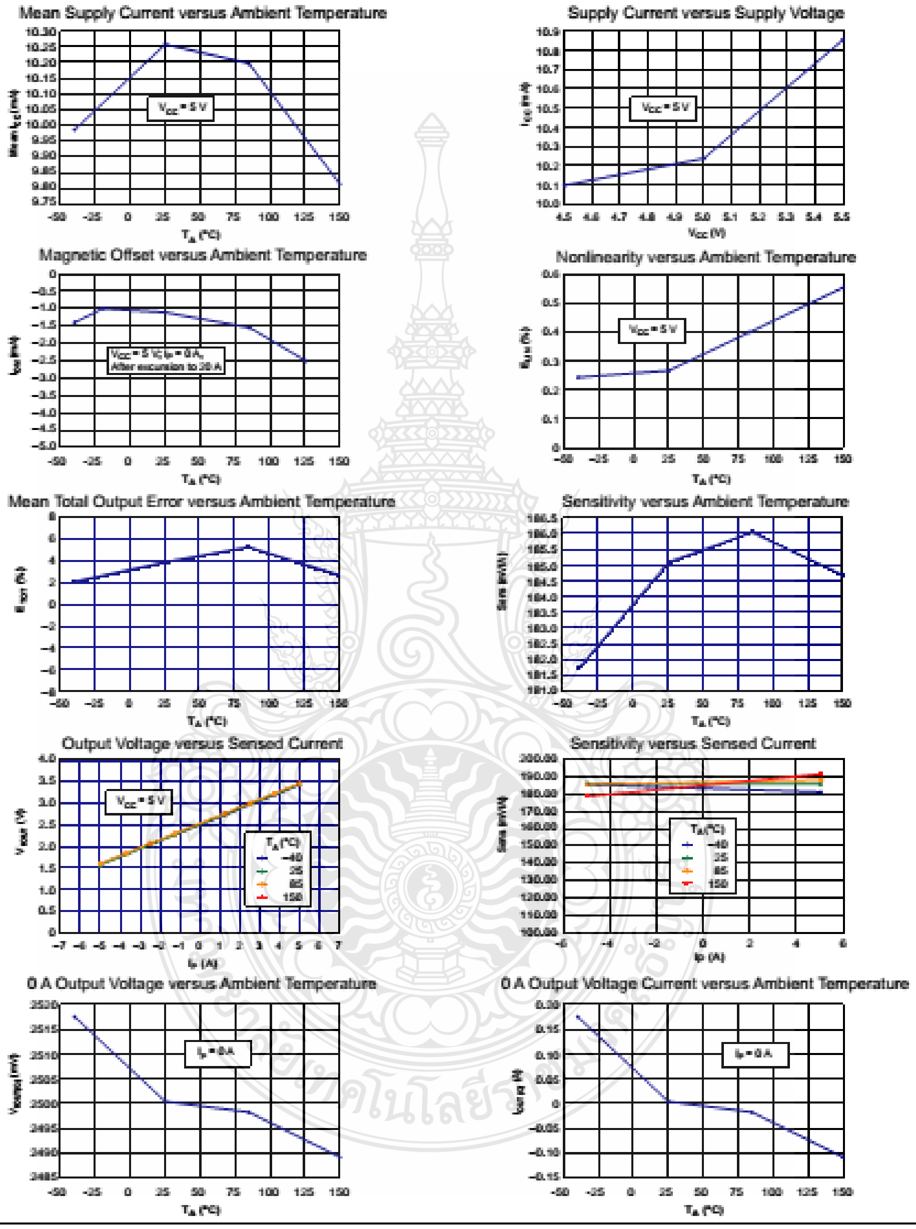
Characteristic Performance

I_P = 30 A, unless otherwise specified



Characteristic Performance

I_P = 5 A, unless otherwise specified



Definitions of Accuracy Characteristics

Sensitivity (Sens). The change in sensor output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G / A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

Noise (V_{NOISE}). The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC (≈1 G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

Linearity (E_{LIN}). The degree to which the voltage output from the sensor varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100\left\{1-\left[\frac{\Delta \text{ gain} \times \% \text{ sat } (V_{IOUT_full\text{-}scale\ amperes} - V_{IOUT(Q)})}{2\,(V_{IOUT_half\text{-}scale\ amperes} - V_{IOUT(Q)})}\right]\right\}$$

where $V_{IOUT_full\text{-}scale\ amperes}$ = the output voltage (V) when the sensed current approximates full-scale $\pm I_P$.

Symmetry (E_{SYM}). The degree to which the absolute voltage output from the sensor varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100\left(\frac{V_{IOUT_+\ full\text{-}scale\ amperes} - V_{IOUT(Q)}}{V_{IOUT(Q)} - V_{IOUT_-full\text{-}scale\ amperes}}\right)$$

Quiescent output voltage ($V_{IOUT(Q)}$). The output of the sensor when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at $V_{CC}/2$. Thus, V_{CC} = 5 V translates into $V_{IOUT(Q)}$ = 2.5 V. Variation in $V_{IOUT(Q)}$ can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

Electrical offset voltage (V_{OE}). The deviation of the device output from its ideal quiescent value of V_{CC} / 2 due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

Accuracy (E_{TOT}). The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total ouput error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart at right.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C.** Accuracy of sensing zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over Δ temperature.** Accuracy of sensing zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy of sensing the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over Δ temperature.** Accuracy of sensing full-scale current flow including temperature effects.

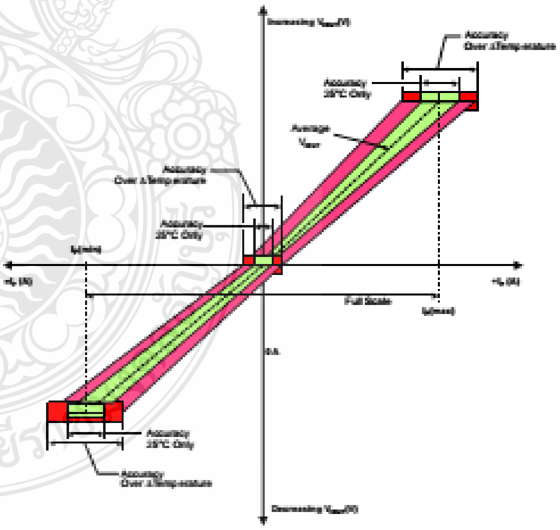
Ratiometry. The ratiometric feature means that its 0 A output, $V_{IOUT(Q)}$, (nominally equal to $V_{CC}/2$) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage, V_{CC}. The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage, $\Delta V_{IOUT(Q)RAT}$ (%).

$$100\left(\frac{V_{IOUT(Q)VCC} \,/\, V_{IOUT(Q)5V}}{V_{CC} \,/\, 5\text{ V}}\right)$$

The ratiometric change in sensitivity, $\Delta Sens_{RAT}$ (%), is defined as:

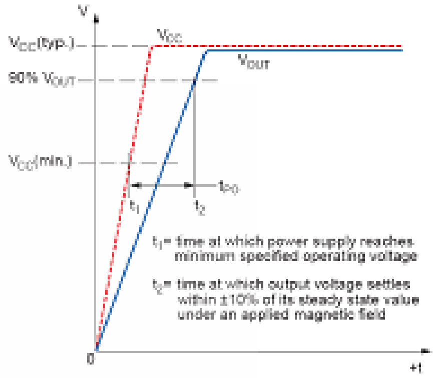
$$100\left(\frac{Sens_{VCC} \,/\, Sens_{5V}}{V_{CC} \,/\, 5\text{ V}}\right)$$

Output Voltage versus Sensed Current
Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current

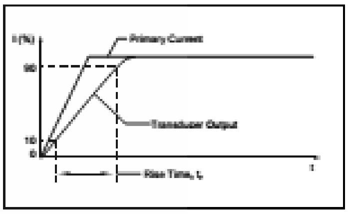


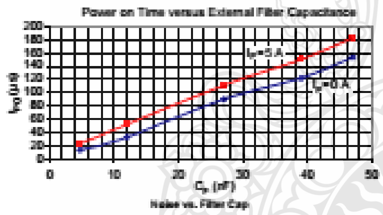
Definitions of Dynamic Response Characteristics

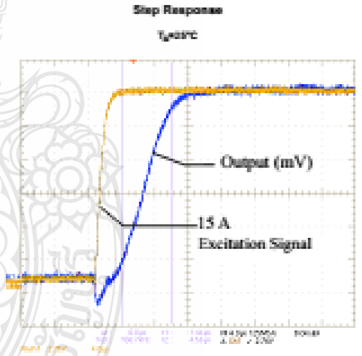
Power-On Time (t_{PO}). When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field.
Power-On Time, t_{PO} , is defined as the time it takes for the output voltage to settle within ±10% of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage, V_{CC}(min), as shown in the chart at right.

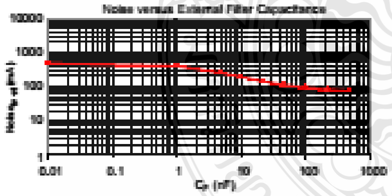


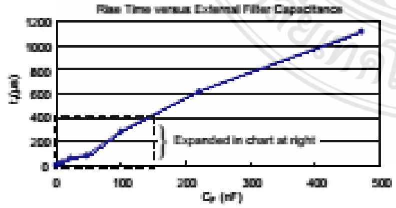
Rise time (t_r). The time interval between a) when the sensor reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the current sensor, in which $f(-3\ dB) = 0.35/t_r$. Both t_r and $t_{RESPONSE}$ are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



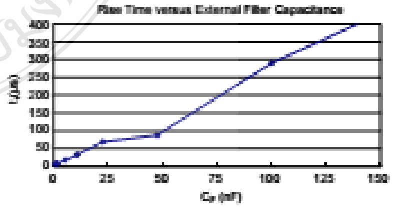








C_F (nF)	t_r (µs)
0	6.6
1	7.7
4.7	17.4
10	32.1
22	68.2
47	88.2
100	291.3
220	623.0
470	1120.0

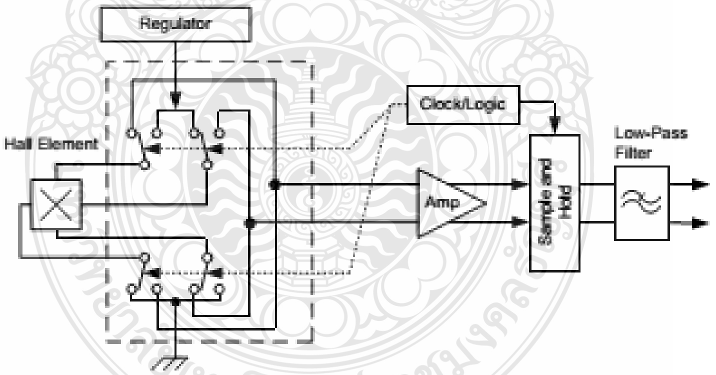


Chopper Stabilization Technique

Chopper Stabilization is an innovative circuit technique that is used to minimize the offset voltage of a Hall element and an associated on-chip amplifier. Allegro patented a Chopper Stabilization technique that nearly eliminates Hall IC output drift induced by temperature or package stress effects. This offset reduction technique is based on a signal modulation-demodulation process. Modulation is used to separate the undesired dc offset signal from the magnetically induced signal in the frequency domain. Then, using a low-pass filter, the modulated dc offset is suppressed while the magnetically induced signal passes through the filter.

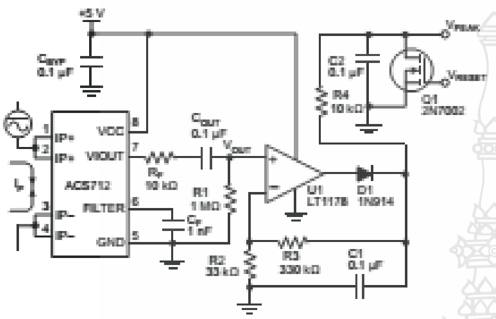
As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise recoverability after temperature cycling.

This technique is made possible through the use of a BiCMOS process that allows the use of low-offset and low-noise amplifiers in combination with high-density logic integration and sample and hold circuits.

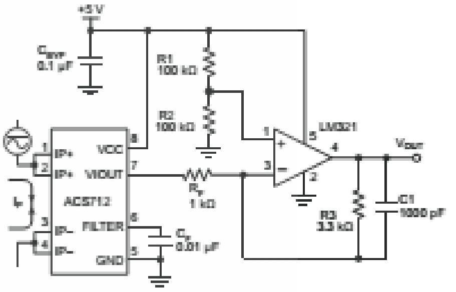


Concept of Chopper Stabilization Technique

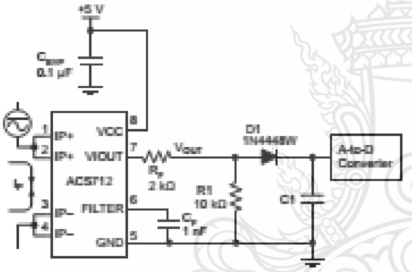
Typical Applications



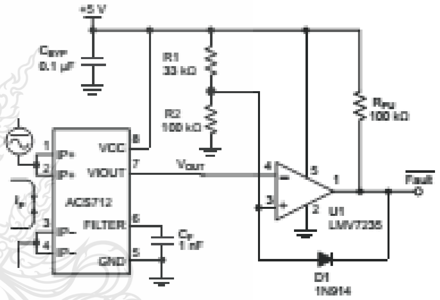
Application 2. Peak Detecting Circuit



Application 3. This configuration increases gain to 610 mV/A (tested using the ACS712ELC-05A).



Application 4. Rectified Output. 3.3 V scaling and rectification application for A-to-D converters. Replaces current transformer solutions with simpler ACS circuit. C1 is a function of the load resistance and filtering desired. R1 can be omitted if the full range is desired.



Application 5. 10 A Overcurrent Fault Latch. Fault threshold set by R1 and R2. This circuit latches an overcurrent fault and holds it until the 5 V rail is powered down.

Improving Sensing System Accuracy Using the FILTER Pin

In low-frequency sensing applications, it is often advantageous to add a simple RC filter to the output of the sensor. Such a low-pass filter improves the signal-to-noise ratio, and therefore the resolution, of the sensor output signal. However, the addition of an RC filter to the output of a sensor IC can result in undesirable sensor output attenuation — even for dc signals.

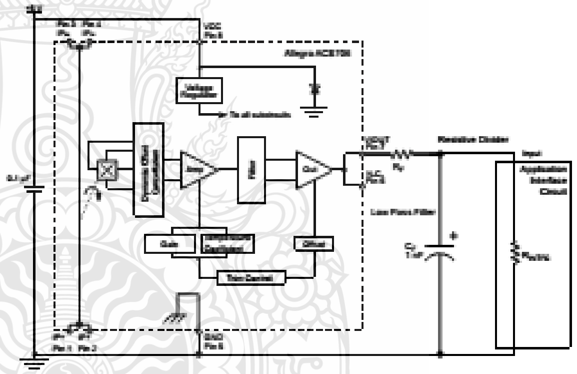
Signal attenuation, ΔV_{ATT}, is a result of the resistive divider effect between the resistance of the external filter, R_F (see Application 6), and the input impedance and resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC}. The transfer function of this resistive divider is given by:

$$\Delta V_{ATT} = V_{IOUT}\left(\frac{R_{INTFC}}{R_F + R_{INTFC}}\right) .$$

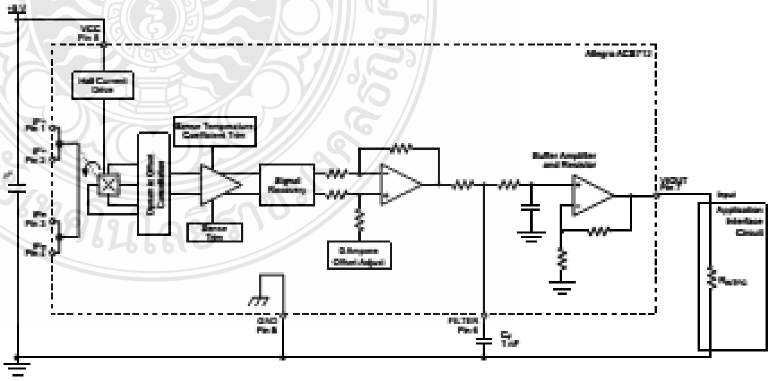
Even if R_F and R_{INTFC} are designed to match, the two individual resistance values will most likely drift by different amounts over temperature. Therefore, signal attenuation will vary as a function of temperature. Note that, in many cases, the input impedance, R_{INTFC}, of a typical analog-to-digital converter (ADC) can be as low as 10 kΩ.

The ACS712 contains an internal resistor, a FILTER pin connection to the printed circuit board, and an internal buffer amplifier. With this circuit architecture, users can implement a simple RC filter via the addition of a capacitor, C_F (see Application 7) from the FILTER pin to ground. The buffer amplifier inside of the ACS712 (located after the internal resistor and FILTER pin connection) eliminates the attenuation caused by the resistive divider effect described in the equation for ΔV_{ATT}. Therefore, the ACS712 device is ideal for use in high-accuracy applications that cannot afford the signal attenuation associated with the use of an external RC low-pass filter.

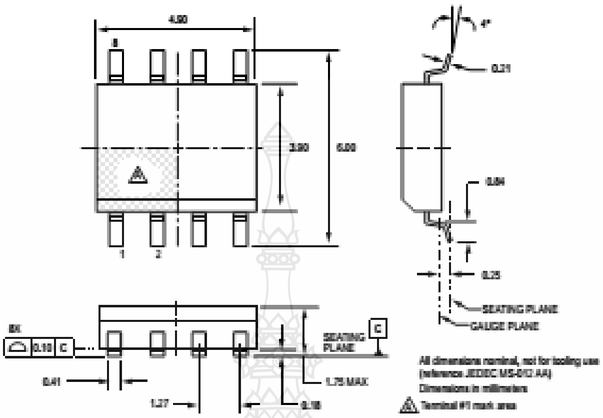
Application 6. When a low pass filter is constructed externally to a standard Hall effect device, a resistive divider may exist between the filter resistor, R_F, and the resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC}. This resistive divider will cause excessive attenuation, as given by the transfer function for ΔV_{ATT}.



Application 7. Using the FILTER pin provided on the ACS712 eliminates the attenuation effects of the resistor divider between R_F and R_{INTFC}, shown in Application 6.

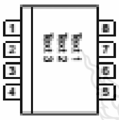


Package LC, 8-pin SOIC



Package Branding

Two alternative patterns are used



ACS712T *RLCPPP* *YYWWA*	ACS	Allegro Current Sensor
	712	Device family number
	T	Indicator of 100% matte tin leadframe plating
	R	Operating ambient temperature range code
	LC	Package type designator
	PPP	Primary sensed current
	YY	Date code: Calendar year (last two digits)
	WW	Date code: Calendar week
	A	Date code: Shift code

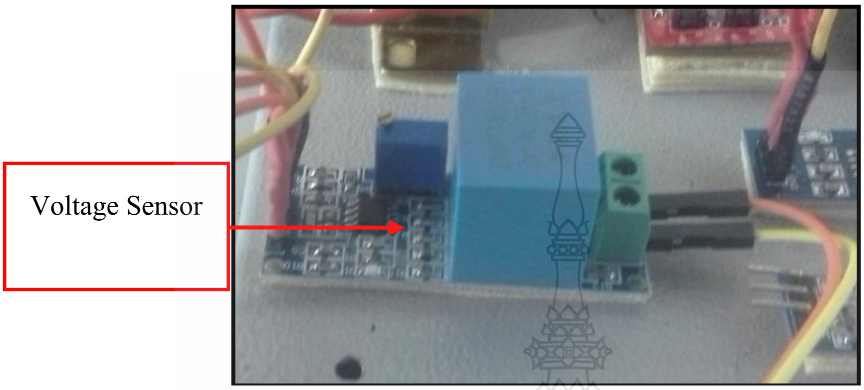
ACS712T *RLCPPP* *L...L* *YYWW*	ACS	Allegro Current Sensor
	712	Device family number
	T	Indicator of 100% matte tin leadframe plating
	R	Operating ambient temperature range code
	LC	Package type designator
	PPP	Primary sensed current
	L...L	Lot code
	YY	Date code: Calendar year (last two digits)
	WW	Date code: Calendar week

Copyright ©2006, 2007, Allegro MicroSystems, Inc.
The products described herein are manufactured under one or more of the following U.S. patents: 5,045,920; 5,264,783; 5,442,283; 5,389,889; 5,581,179; 5,517,112; 5,619,137; 5,621,319; 5,650,719; 5,686,894; 5,694,038; 5,729,130; 5,917,320; and other patents pending.
Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.
Allegro's products are not to be used in life support devices or systems, if a failure of an Allegro product can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.
The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:

www.allegromicro.com

การตรวจวัดสัญญาณแรงดันจะใช้เซ็นเซอร์แรงดัน รุ่น ZMPT101B Single Phase AC Voltage Transformer Sensor Module ขนาดพิกัดแรงดัน 220 โวลต์ โดยจะแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลภายในตัวเซนเซอร์แรงดันอ้างอิง 3.3 โวลต์



เซ็นเซอร์แรงดัน ZMPT101B Single Phase AC Voltage Transformer Sensor Module เมื่อประมวลผลเสร็จแล้วสัญญาณที่ได้จากบอร์ด STM32F4 จะถูกส่งไปยังวงจรขับสวิตซ์ไอจีบีทีดัง

ZMPT101B VOLTAGE TRANSFORMER

Applications

* Sensing Overload Current
* Ground fault detection
* Metering
* Analog to Digital Circuits

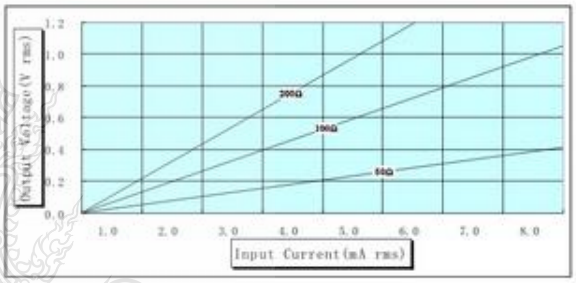
Product Illustration

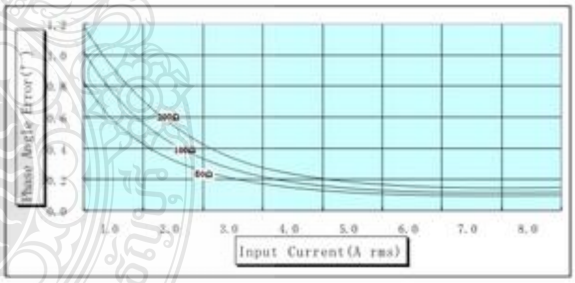
Electrical Specification	
Primary Current	2mA
Secondary Current	2mA
Turns Ratio	1000:1000
Phase Angle Error	≤20'(50Ω)
Current Range	0 ~ 3mA
Linearity	0.1%
Accuracy Class	0.2
Rated Burden	≤200 Ω
Frequency Range	50 ~ 60Hz
Dielectric Level	3000VAC/min
DC Resistance at 20℃	110 Ω

Mechanical Specification	
Cup	PBT
Encapsulant	Epoxy
Terminals	Pin Φ0.80mm
Tolerance	±0.2 mm
Approx. Weight	13g
Case	Carton

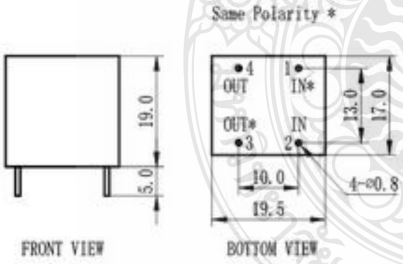
Environment Specification	
Storage Temperature	-40℃ ~ +130℃
Insulation Resistance	>100 MΩ

Output Characteristic

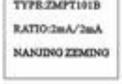




Dimensions(mm)



Label



Description: Micro Precision Voltage Transformers, with low price, small size and easy PCB mounting, are mainly used in electrical energy meters, household electrical equipment, industrial apparatuses, electrical testing equipment and relay protection, widely acclaimed as well.

STM32F4DISCOVERY

STM32F4 high-performance discovery board

Data brief

Features

- STM32F407VGT6 microcontroller featuring 32-bit ARM Cortex-M4F core, 1 MB Flash, 192 KB RAM in an LQFP100 package
- On-board ST-LINK/V2 with selection mode switch to use the kit as a standalone ST-LINK/V2 (with SWD connector for programming and debugging)
- Board power supply: through USB bus or from an external 5 V supply voltage
- External application power supply: 3 V and 5 V
- LIS302DL, ST MEMS motion sensor, 3-axis digital output accelerometer
- MP45DT02, ST MEMS audio sensor, omni-directional digital microphone
- CS43L22, audio DAC with integrated class D speaker driver
- Eight LEDs:
  - LD1 (red/green) for USB communication
  - LD2 (red) for 3.3 V power on
  - Four user LEDs, LD3 (orange), LD4 (green), LD5 (red) and LD6 (blue)
  - 2 USB OTG LEDs LD7 (green) VBus and LD8 (red) over-current
- Two push buttons (user and reset)
- USB OTG FS with micro-AB connector
- Extension header for all LQFP100 I/Os for quick connection to prototyping board and easy probing

Description

The STM32F4DISCOVERY helps you to discover the STM32F4 high-performance features and to develop your applications easily. It includes everything required for beginners and experienced users to get started quickly.

Based on the STM32F407VGT6, it includes an ST-LINK/V2 embedded debug tool, two ST MEMS, digital accelerometer and digital microphone, one audio DAC with integrated class D speaker driver, LEDs and push buttons and an USB OTG micro-AB connector.

A large number of free ready-to-run application firmware examples are available on www.st.com/stm32f4-discovery to support quick evaluation and development.

Table 1. Device summary

Order code	Reference
STM32F4DISCOVERY	STM32F4 high-performance discovery board

For further information contact your local STMicroelectronics sales office. www.st.com

1 System requirements

- Windows PC (2000, XP, Vista, 7)
- USB type A to Mini-B cable

2 Development toolchains

- Altium TASKING™ VX-Toolset
- Atollic TrueSTUDIO®
- IAR, Embedded Workbench® for ARM
- Keil, MDK-ARM™

3 Demonstration software

The demonstration software is preloaded in the board's Flash memory. It uses the MEMS motion sensor to blink the four LEDs according to the motion direction and speed. Connecting the board to a PC with a second USB 'type A to micro-B' cable converts it into a standard mouse, and board motion controls the PC cursor.

The latest versions of the demonstration source code and associated documentation can be downloaded from www.st.com/stm32f4-discovery.

4 Revision history

Table 2. Document revision history

Date	Revision	Changes
15-Sept-2011	1	Initial version.

Please Read Carefully:

Information in this document is provided solely in connection with ST products. STMicroelectronics NV and its subsidiaries ("ST") reserve the right to make changes, corrections, modifications or improvements, to this document, and the products and services described herein at any time, without notice.

All ST products are sold pursuant to ST's terms and conditions of sale.

Purchasers are solely responsible for the choice, selection and use of the ST products and services described herein, and ST assumes no liability whatsoever relating to the choice, selection or use of the ST products and services described herein.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted under this document. If any part of this document refers to any third party products or services it shall not be deemed a license grant by ST for the use of such third party products or services, or any intellectual property contained therein or considered as a warranty covering the use in any manner whatsoever of such third party products or services or any intellectual property contained therein.

UNLESS OTHERWISE SET FORTH IN ST'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE ST DISCLAIMS ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY WITH RESPECT TO THE USE AND/OR SALE OF ST PRODUCTS INCLUDING WITHOUT LIMITATION IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE (AND THEIR EQUIVALENTS UNDER THE LAWS OF ANY JURISDICTION), OR INFRINGEMENT OF ANY PATENT, COPYRIGHT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT.

UNLESS EXPRESSLY APPROVED IN WRITING BY TWO AUTHORIZED ST REPRESENTATIVES, ST PRODUCTS ARE NOT RECOMMENDED, AUTHORIZED OR WARRANTED FOR USE IN MILITARY, AIR CRAFT, SPACE, LIFE SAVING, OR LIFE SUSTAINING APPLICATIONS, NOR IN PRODUCTS OR SYSTEMS WHERE FAILURE OR MALFUNCTION MAY RESULT IN PERSONAL INJURY, DEATH, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE. ST PRODUCTS WHICH ARE NOT SPECIFIED AS "AUTOMOTIVE GRADE" MAY ONLY BE USED IN AUTOMOTIVE APPLICATIONS AT USER'S OWN RISK.

Resale of ST products with provisions different from the statements and/or technical features set forth in this document shall immediately void any warranty granted by ST for the ST product or service described herein and shall not create or extend in any manner whatsoever, any liability of ST.

ST and the ST logo are trademarks or registered trademarks of ST in various countries.

Information in this document supersedes and replaces all information previously supplied.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics. All other names are the property of their respective owners.

© 2011 STMicroelectronics - All rights reserved

STMicroelectronics group of companies

Australia - Belgium - Brazil - Canada - China - Czech Republic - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Philippines - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States of America

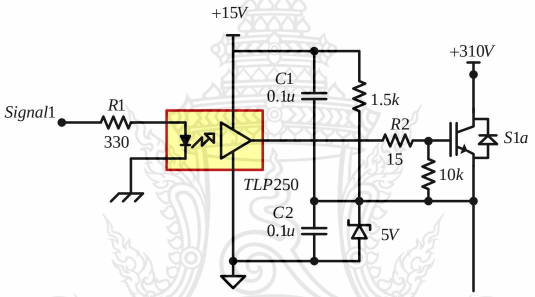
www.st.com

ภาคผนวก ข

การออกแบบและวงจรทดลอง

การออกแบบวงจรภาคขับสวิตซ์ไอจีบีที

การออกแบบวงจรขับสวิตซ์ไอจีบีทีจะใช้ Opto Isolate เบอร์ TLP250 เพื่อแยกแรงดันไฟต่ำกับแรงดันไฟสูงออกจากกัน โดย $R2$ ในภาพที่ 3.15 จะใช้ค่าอยู่ระหว่าง 10 โอห์ม ถึง 100 โอห์ม เพื่อป้องกันการเกิดการแกว่งของสัญญาณที่ขาเกทของไอจีบีที ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ค่า $R2$ เท่ากับ 39 โอห์ม เนื่องจากสัญญาณที่ด้านออกของ Opto Isolate เป็นสัญญาณพัลส์ PWM ที่ประกอบด้วย ฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณไซน์หลายความถี่ซึ่งอาจทำให้เกิดการออสซิลเลตได้จึงจำเป็นต้องใส่ตัวต้านทาน $R2$ เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดการแกว่งของสัญญาณ



รูปที่ ข.1 วงจรภาคขับสวิตซ์ไอจีบีที

การออกแบบ $R1$ กำหนดให้กระแส (I_F) ที่ไหลผ่าน TLP250 มีค่าเท่ากับ 10 มิลลิแอมแปร์ และแรงดัน V_F เท่ากับ 1.6 โวลต์ โดยที่ V_{CC} มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ จะได้ว่า

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F} \quad \text{(ข.1)}$$

$$= \frac{5V - 1.6V}{10mA}$$

$$= 340\Omega$$

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ค่า 330 โอห์ม โดยจะได้กระแสประมาณ 10.3 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งวงจรยังสามารถทำงานได้

การออกแบบวงจรสนับเบอร์

เมื่อมีการควบคุมของอุปกรณ์โดยใช้ไอจีบีทีเป็นตัวตัดและต่อวงจร ซึ่งเป็นโหลด RL โดยหลักการทำงานกระแสและแรงดันมุมเฟสจะไม่ตรงกัน ดังนั้นการจึงเกิดความไม่แน่นอนของไอจีบีทีทีตัดวงจร เพราะว่าเมื่อยังมีกระแสไหลกลับเข้าไปยังอุปกรณ์สวิตช์ที่ทำให้เกิดความเสียหายเกิดขึ้น ดังนั้นจำเป็นต้องใช้วงจรสนับเบอร์เข้ามาใช้แทนค่ากระแสแรงดันเข้าและเวลาในการหยุดนำกระแสของสวิตซ์ลงในสมการที่ ข.3 จะได้

เมื่อ $V_s = 220V$ rms

$I_L = 30A$

$F_s = 5kHz.$

$t_{f1} = 200ns \qquad t_{d(OFF)1} = 240ns \qquad \therefore t_f = t_{f1} + t_{d(OFF)1} = 440ns$

Duty cycle 50 %

$$C = \frac{I_L \times t_f}{2V_s} = \frac{30 \times 440 \times 10^{-9}}{2 \times 220} = 0.03\mu F \qquad (ข.2)$$

$$T_s = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{5 \times 10^3} = 20ms \qquad (ข.3)$$

การนำกระแส Duty cycle 50 % เท่ากับ $10ms$ ช่วงเวลาที่สวิตซ์นำกระแส (t_{on}) จะต้องมากพอที่จะให้ตัวเก็บประจุ (C) สนับเบอร์คายประจุได้หมดก่อนที่สวิตซ์จะหยุดนำกระแสในครึ่งต่อไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเวลาที่ใช้ในการคายประจุจะมีค่าประมาณ 5τ จากสมการ ข.3

$$t_{on} > 5R_S C_S \qquad (ข.4)$$

$$R_S < \frac{t_{on}}{5C_S} \tag{ข.5}$$

t_{on} คือ ช่วงเวลาการนำกระแสของสวิตซ์ที่วัฏจักรงานร้อยละ 50
แทนค่าตัวแปรลงในสมการที่ ข.4 จะได้

$$R_S < \frac{2.5\times10^{-5}}{5\times7.33\times10^{-9}} < 682.13 \text{ โอห์ม}$$

ดังนั้นสามารถหาค่า R_S ได้จากสมการ ข.6

$$R_S = \frac{5V_S}{I_o} \tag{ข.6}$$

แทนค่าตัวแปรลงในสมการที่ ข.5 จะได้

$$R_S = \frac{5\times300}{15} = 100 \text{ โอห์ม}$$

ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ไอจีบีทีขณะเริ่มหยุดนำกระแสหาได้จากสมการที่ ข.7

$$P_Q = \frac{1}{2} I_0 V_S \left(t_S + t_f\right) f_S \tag{ข.7}$$

$$P_Q = \frac{1}{2}\times15\times300\times\left((100+440)\times10^{-9}\right)\times20\times10^{3} = 24.3 \text{ วัตต์}$$

เมื่อใส่วงจรสนับเบอร์แล้ว ที่ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ไอจีบีทีจะหาได้จากสมการที่ ข.8 ซึ่งเท่ากับ

$$P_Q = \frac{I_0^2 t_f^2 f_S}{24C} \tag{ข.8}$$

$$P_Q = \frac{15^2 \times \left(440\times10^{-9}\right)^2 \times 20\times10^3}{24\times11\times10^{-9}} = 3.3 \text{ วัตต์}$$

ทั้งนี้ตัวเก็บประจุจะคายประจุผ่านทางตัวต้านทานในวงจรสนับเบอร์ขณะไอจีบีทีเริ่มนำกระแส ซึ่งพลังงานสะสมที่ตัวเก็บประจุสามารถหาได้จากสมการที่ ข.9

$$W = \frac{1}{2}CV_S^2 \qquad \text{(ข.9)}$$

$$W = \frac{1}{2}\times11\times10^{-9}\times300^2 = 4.95\times10^{-4} \text{ วัตต์}$$

พลังงานนี้ส่วนใหญ่จะถูกถ่ายเทไปยังตัวต้านทานของวงจรสนับเบอร์ขณะไอจีบีทีนำกระแส ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานในวงจรสนับเบอร์นี้หาได้จากสมการที่ ข.10

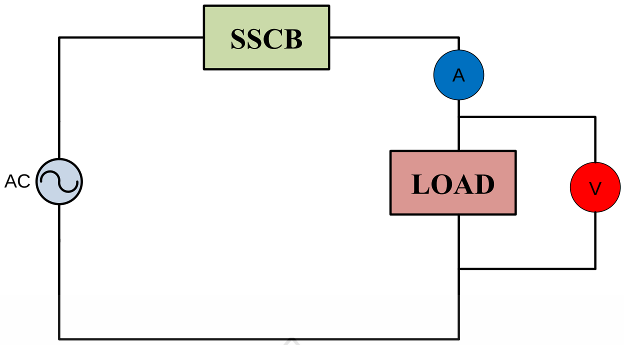
$$P_R = \frac{CV_S^2}{2T_S} = \frac{1}{2}CV_S^2 f_S \qquad \text{(ข.10)}$$

$$P_R = \frac{1}{2}\times11\times10^{-9}\times300^2\times20\times10^3 = 9.9 \text{ วัตต์}$$

จะเห็นได้ว่าค่าตัวเก็บประจุสามารถใช้ลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์ได้แต่ก็เป็นการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานได้เช่นกัน

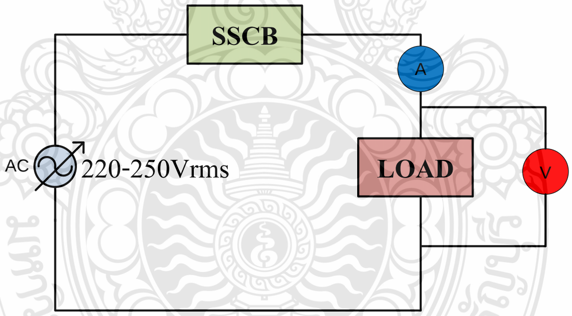
$$R < \frac{t_{on}}{5c} < \frac{10\times10^{-3}}{5\times0.03\times10^{-6}} < 100k\Omega \qquad \text{(ข.11)}$$

วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด มีการวัดสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดัน วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ใช้ในการการจำลองจะมีส่วนประกอบคือ แหล่งจ่ายกระแสสลับ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด โหลดและตัววัดสัญญาณกระแสและวัดสัญญาณแรงดัน ดังรูปที่ ข.1



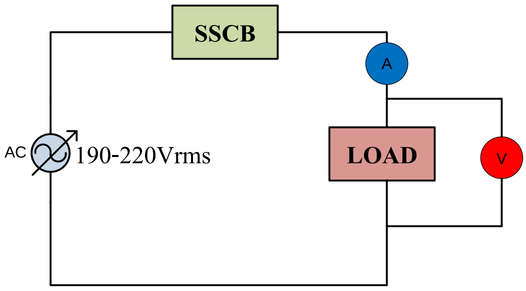
รูปที่ ข.2 วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ใช้ในการการจำลอง

วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ใช้ในการการจำลองแรงดันเกินโดยการปรับแรงดันที่ 220-250 โวล์ตที่แหล่งจ่ายกระแสสลับ มีการวัดสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดัน วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ใช้ในการการจำลองจะมีส่วนประกอบคือ แหล่งจ่ายกระแสสลับ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด โหลดและตัววัดสัญญาณกระแสและวัดสัญญาณแรงดัน ดังรูปที่ ข.2



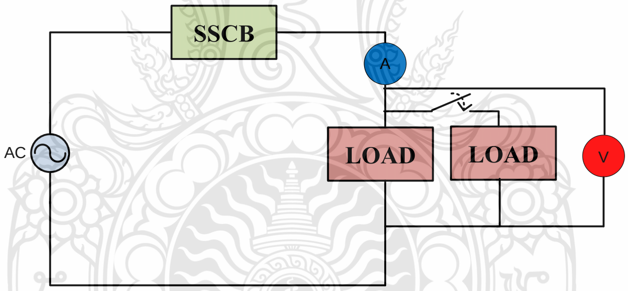
รูปที่ ข.3 วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ใช้ในการการจำลองแรงดันเกิน

วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ใช้ในการการจำลองแรงดันตกโดยการปรับแรงดันที่ 220-190 โวล์ตที่แหล่งจ่ายกระแสสลับ มีการวัดสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดัน วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ใช้ในการการจำลองจะมีส่วนประกอบคือ แหล่งจ่ายกระแสสลับ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด โหลดและตัววัดสัญญาณกระแสและวัดสัญญาณแรงดัน ดังรูปที่ ข.3



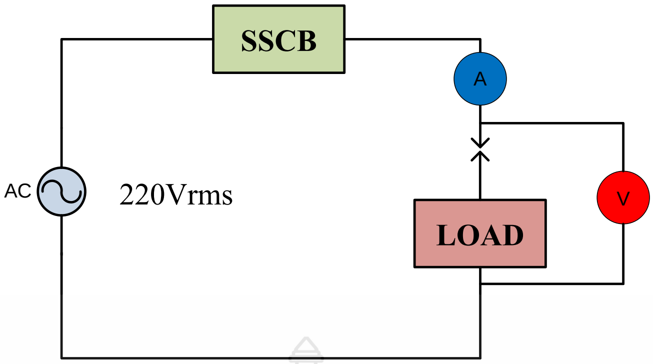
รูปที่ ข.4 วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตที่ใช้ในการการจำลองแรงดันตก

วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตที่ใช้ในการการจำลองกระแสเกินโดยการจ่ายโหลดเพิ่มจากกระแส 25 แอมแปร์เป็น 35 แอมแปร์ มีการวัดสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดัน วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตที่ใช้ในการการจำลองจะมีส่วนประกอบคือ แหล่งจ่ายกระแสสลับ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต โหลดและตัววัดสัญญาณกระแสและวัดสัญญาณแรงดัน ดังรูปที่ ข.4



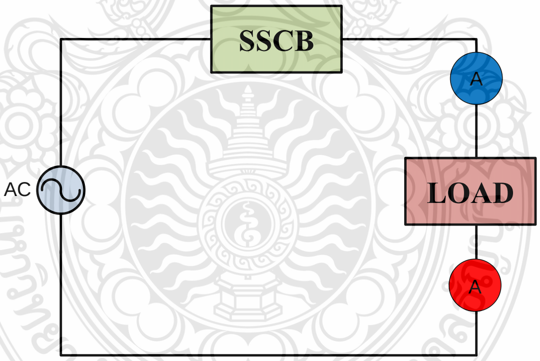
รูปที่ ข.5 วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตที่ใช้ในการการจำลองกระแสเกิน

วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตที่ใช้ในการการจำลองการอาร์ค โดยทำการอาร์คอนุกรมก่อนจะถึงโหลด มีการวัดสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดัน วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตที่ใช้ในการการจำลองจะมีส่วนประกอบคือ แหล่งจ่ายกระแสสลับ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต ชุดการอาร์ค โหลดและตัววัดสัญญาณกระแสและวัดสัญญาณแรงดัน ดังรูปที่ ข.5



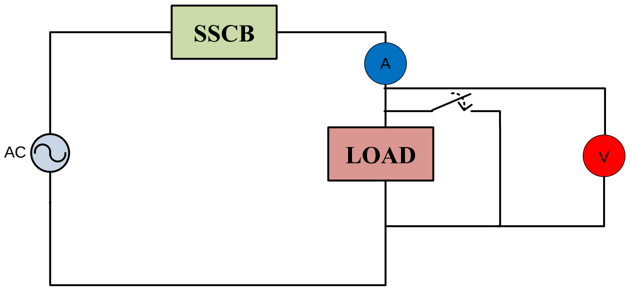
รูปที่ ข.6 วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ใช้ในการการจำลองการอาร์ค

วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ใช้ในการการจำลองกระแสไฟฟ้ารั่ว โดยทำให้กระแสเข้ากับกระแสออกที่โหลดต่างกัน 25 มิลลิแอมแปร์ มีการวัดสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดัน วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ใช้ในการการจำลองจะมีส่วนประกอบคือ แหล่งจ่ายกระแสสลับ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด โหลดและตัววัดสัญญาณกระแสและวัดสัญญาณแรงดัน ดังรูปที่ ข.6

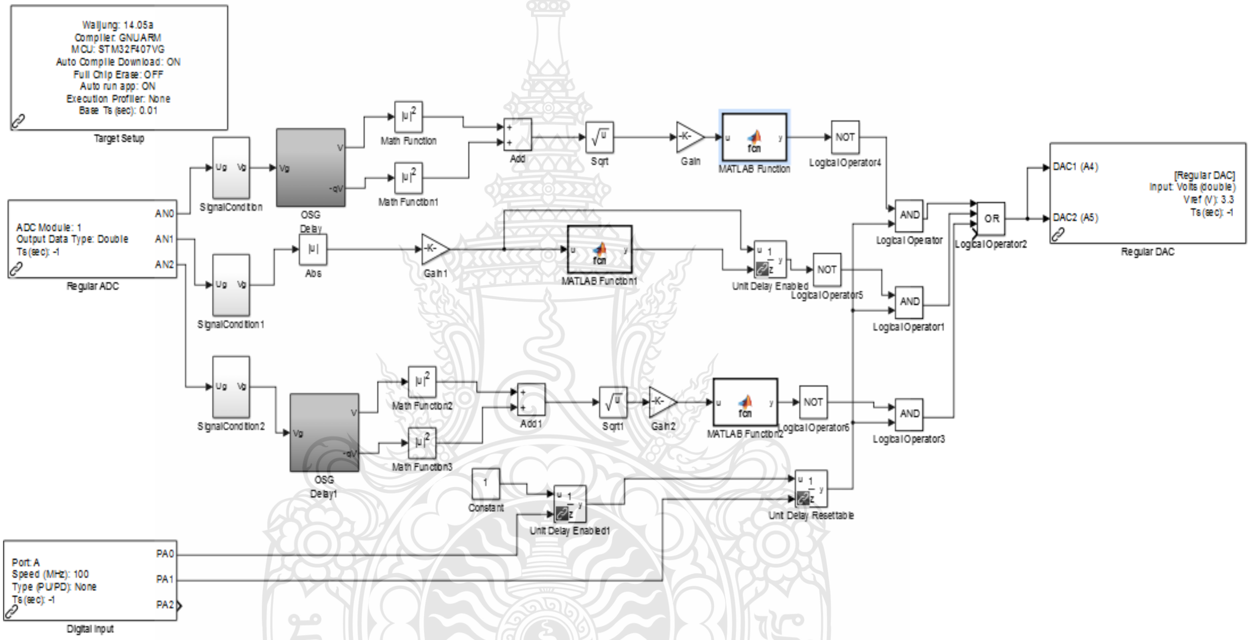


รูปที่ ข.7 วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ใช้ในการการจำลองกระแสไฟฟ้ารั่ว

วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ใช้ในการการจำลองการลัดวงจรโดยการจ่ายโหลดปกติแล้วมีการลัดวงจรที่โหลด มีการวัดสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดัน วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตดที่ใช้ในการการจำลองจะมีส่วนประกอบคือ แหล่งจ่ายกระแสสลับ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตด โหลดและตัววัดสัญญาณกระแสและวัดสัญญาณแรงดัน ดังรูปที่ ข.7



รูปที่ ข.8 วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตที่ใช้ในการการจำลองการลัดวงจร



รูปที่ ข.9 โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4

ภาคผนวก ค

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

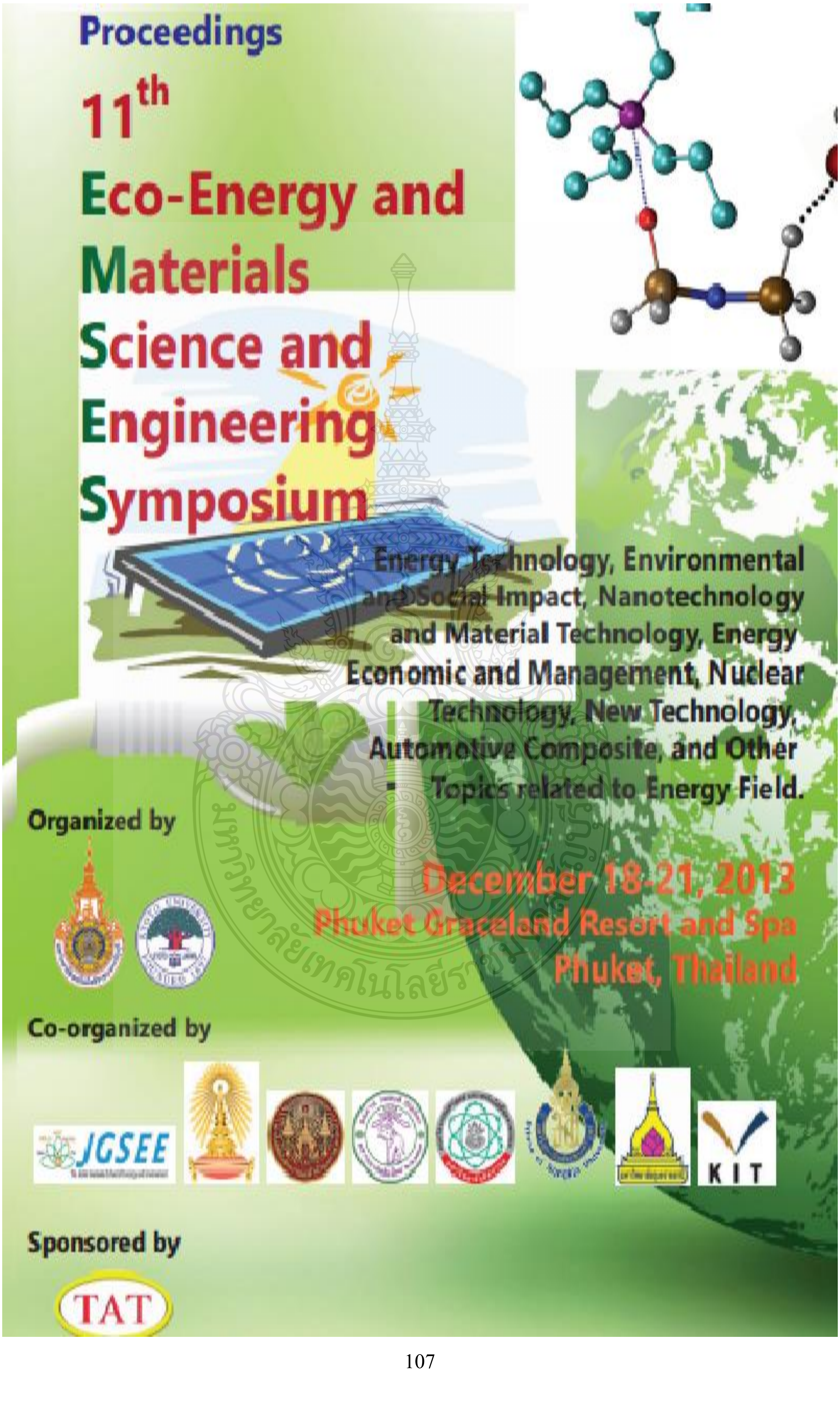
[1] Supawat Kamtip, Krischonme Bhumkittipich, Nathabhat Phankong **"Simulation of SSCBUsingIGBTs Model based on ORCAD/PSPICE program"**, 11th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, Phuket, Thailand, December 18-21. 2013, pp. 177-180.

[2] ศุภวัฒน์ คำทิพย์,กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์,ณฐภัทร พันธ์คง, **"การวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส"**,การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6 , 26-28 มีนาคม 2557 ,จังหวัดกระบี่ ,หน้า573-576

[3] ศุภวัฒน์ คำทิพย์,กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์,ณฐภัทร พันธ์คง, "**การวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กและกำลังสูญเสียของเซอร์กิตเบรกเกอร์ แบบโซลิดสเตต**" ,การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 7 วันที่ 8-10 กรกฎาคม 2558 ,ณ โรงเรียนธรรมรินทร์ ธนา , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดตรัง

[4] ศุภวัฒน์ คำทิพย์,กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์,ณฐภัทร พันธ์คง, "**เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ**," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37, 19 - 21 พฤศจิกายน 2557, ขอนแก่น

[5] S. Kamtip; K. Bhumkittipich "Comparison between mechanical circuit breaker and solid state circuit breaker under abnormal conditions for low voltage systems" 18th International Conference on Electrical Machines and System(ICEMS), Oct. 25-28, 2015, Pattaya City, Thailand.


Proceedings
11th
Eco-Energy and
Materials
Science and
Engineering
Symposium
Energy Technology, Environmental and Social Impact, Nanotechnology and Material Technology, Energy Economic and Management, Nuclear Technology, New Technology, Automotive Composite, and Other Topics related to Energy Field.
December 18-21, 2013
Phuket Graceland Resort and Spa
Phuket, Thailand
Organized by
Co-organized by
JGSEE
KIT
Sponsored by
TAT

CONTENT

ET44 An Off-line Battery Charger Based on Buck-Boost Power Factor Correction Converter for Plug-in Electric Vehicles 159
Supasit Ketsingsoi and Yuttana Kumsuwan

ET45 Design of Power Rectifier Circuit for Three-Level Back-to-Back Converter 164
Nathabhat Phankong, Nawin Yuktanon and Krischonme Bhumkittipich

ET46 Study of power grid connection with an unstable source from Elevator Energy Regenerative Unit (EERU) 169
A.Nuppakant, B.Plangklang and Y. Paraken

ET47 Study of Power Generation Controller for Permanent Magnet Motor Elevator by Energy Regenerative Unit (EERU) 173
Sittichai Kantawong and Boonyang Plangklang

ET48 Simulation of SSCB Using IGBTs Model Based on ORCAD/PSPICE program 177
Supawat Kamtip Nathabhat Phankong and Krischonme Bhumkittipich

NANOTECHNOLOGY AND MATERIAL TECHNOLOGY

NM03 Morphological and Thermal Properties of LDPE/EVA Blended Films and Development of Antimicrobial Activity in Food Packaging Film 181
Karemsan Wattananawinrat, Poonsub Threepopnatkul and Chanin Kulsetthanchalee

NM04 Gold nanoparticles-based colorimetric sensor for cysteine detection 187
Suriyapha Jongjinakool, Khwankhao Palasak, Natvara Bousod and Siriwan Teepoo

NM06 The Effects of Alkalized and Silanized Woven Sisal Fibers on Mechanical Properties of Natural Rubber Modified Epoxy Resin 192
S. Srisuwan, N. Prasoetsopha, N. Suppakarn and P. Chumsamrong

NM07 Effect of Microwave Curing Conditions on High Strength Concrete Properties 197
Ratthasak Prommas

NM10 Synergy Effects of Wood Flour and Fire Retardants in Flammability of Wood-Plastic Composites 203
Toshikazu Umemura, Yoshihiko Arao, Sakae Nakamura, YutaTomita and Tatsuya Tanaka

NM11 Mechanical Properties and Prediction of Elastic Modulus of Glass Short Fiber/Wood Powder/Polypropylene Hybrid Composites 209
Ying YU, Tomoko OTA, Manabu Nomura and Hiroyuki Hamada

NM12 The Effect of Injection Speed on Morphology and Mechanical Properties of Polyoxymethylene/Poly(lactic acid) blends 215
S. Mathurosemontri, P. Uawongsuwan, S. Nagai and H. Hamada

NM14 Reinvestigation thermoelectric properties of $CuAlO_2$ 220
Chesta Ruttanapun, Wattana Kosalwat, Chalermpol Rudradawong, Phumin Jindajitawat, Prathan Buranasiri, Daengdesh Naenkieng, Narongchai Boonyopakorn, Adul Harnwunggmoung, Warawoot Thowladda, Worakarn Neeyakorn, Chanchana Thanachayanont, Anek Charoenphakdee and Aree Wichainchai

International Scientific Advisory Committee:

General Chair:	
Assoc.Prof.Dr. Prasert PINPATHOMRAT	RMUTT, Thailand
General Co-Chair:	
Prof. Dr. Kiyoshi YOSHIKAWA	Kyoto Uni., Japan
Organizing Chair:	
Asst. Prof. Dr. Sommai PIVSA-ART	RMUTT, Thailand
Prof. Dr. Takeshi YAO	Kyoto Uni., Japan
Organizing Co-Chair:	
Prof. Dr. Hideaki OHGAKI	Kyoto Uni., Japan
International Scientific Committees:	
Prof. Dr. Susumu YOSHIKAWA	Kyoto Uni., Japan
Prof. Dr. Phadungsak RATTANADECHO	TU, Thailand
Prof. Dr. Shiro SAKA	Kyoto Uni., Japan
Prof. Dr. Hitomi OHARA	KIT, Japan
Prof. Dr. Hideki YAMANE	KIT, Japan
Prof. Dr. Hiroyuki HAMADA	KIT, Japan
Prof. Dr.-Ing. Habil Ingo STADLER	FH Koeln, Germany
Prof. Dr. Young S. CHAI	Korea
Prof. Dr. Nipon TANGTHAM	KU, Thailand
Prof. Dr. Masayoshi OKUBO	Osaka Uni, Japan
Prof. Dr. Somchai WONGWISES	KMITL, Thailand
Prof. Dr. Nadarajah MITHULANANTHAN	UQ, Australia
Prof. Dr. Yasuaki KISHIMOTO	Kyoto Uni., Japan
Prof. Dr. Yuichi ANADA	Hokkaido Info. Uni., Japan
Prof. Dr. Narongrit SOMBATSOMPOP	KMUTT, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Numyoot SONGTHANAPITAK	RMUTL, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Bandit FUNGTAMMASAN	KMUTT, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Ken KOKUBO	Osaka Uni., Japan
Assoc. Prof. Dr. K. Srinivas REDDY	IIT-Madras, India
Assoc. Prof. Dr. David Jan COWAN	IUPUI, USA
Assoc. Prof. Dr. Per B ZETTERLUND	Australia
Assoc. Prof. Dr. Vijit KINNARES	KMITL, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Yoshikazu SUZUKI	Tsukuba Uni., Japan
Assoc. Prof. Dr. Kaan KERDCHEUN	RMUTI, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Wakin PIYARAT	SWU, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Seiichi KAWAHARA	Nakaoga Uni., Japan
Assoc. Prof. Dr. Wissanu PECHARAPA	KMITL, Thailand
Asst. Prof. Dr. Somchai HIRANVAROMDOM	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Wanchai SUBSINGHA	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Thanapong SUWANNASRI	KMUTNB, Thailand
Asst. Prof. Dr. Napaporn PHUANGPORNPITAK	KU, Thailand
Asst. Prof. Dr. Boonrit PRASARTKAEW	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Supakit SUTTIRUENGWONG	SU, Thailand
Asst. Prof. Dr. Vallop PHUPA	RMUTP, Thailand
Asst. Prof. Dr. Pramook UNAHALEKHAKA	RMUTSB, Thailand
Asst. Prof. Dr. Arthit SODE-YOME	EGAT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Yuttana KAMSUWAN	Chaimai Uni., Thailand
Asst. Prof. Dr. Jakkree SRINONCHAT	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Uthen KAMNAN	RMUTL, Thailand
Asst. Prof. Dr. Cattariya SUWANNASRI	KMUTNB, Thailand
Dr. Sei-ichi AIBA	AIST, Japan
Dr. Nuvong CHOLLACOOP	MTEC, Thailand
Dr. Wirachai ROYNARIN	RMUTT, Thailand
Dr. Chatchai SOPPAPITAKSAKUL	RMUTT, Thailand
Dr. Pinit SRITHORN	RMUTI, Thailand
ASEAN Committee:	
Prof. Dr. Yoyok Wahyu Subroto	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Wega TRISUNAYANTI	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Tumiran	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Jun LI	NYU, Singapore

11th EMSES 2013

Prof. Dr. INTHAN	ITB, Indonesia
Prof. Dr. Khamphone NANTHAVONG	NOL, Laos
Prof. Dr. Kampui SOUTHISOMBHAT	NOL, Laos
Prof. Dr. Yew Wei LEONG	NYU, Singapore
Prof. Dr. Nguyen Minh TAN	HU, Vietnam
General Secretary:	
Asst. Prof. Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Dr. Sumonman NIAMLANG	RMUTT, Thailand
Technical Program Chair:	
Asst. Prof. Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Area: Energy Technology (ET)	
Asst. Prof. Dr. Boonrit PRASARTKAEW	RMUTT, Thailand
Area: Environmental and Social Impact (ES)	
Dr. Nithiwat CHOOSAKUL	RMUTT, Thailand
Area: Nanotechnology and Materials Science (NM)	
Asst. Prof. Dr. Warunee ARIYAWIRIYANANT	RMUTT, Thailand
Area: Energy Economic and Management (EM)	
Dr. Surin NGAEMNGAM	RMUTT, Thailand
Dr. Pimnapat IEMSOMBOON	RMUTT, Thailand
Area: New Energy Technology (NT)	
Dr. Kiyoaki ISHIMOTO	RMUTT, Thailand
Area: Nuclear Technology (NU)	
Prof. Dr. Hideaki OHGAKI	Kyoto Uni., Japan
Area: Automotive Composite (AC)	
Prof. Dr. Hiroyuki HAMADA	Kyoto Uni., Japan
Area:	
Exhibition Chair:	
Asst.Prof.Dr. Amnoiy REUNGWAREE	RMUTT, Thailand
Dr. Winai CHANPENG	RMUTT, Thailand
Local Arrangement Chair	
Dr. Sorapong PAVASUPREE	RMUTT, Thailand
Dr. Natee SRISAWAT	RMUTT, Thailand
Registration and Finance Chair	
Dr. Sumonman NIAMLANG	RMUTT, Thailand
Dr. Supaporn THOMSORN	RMUTT, Thailand
Weeraporn PIVSA-ART	RMUTT, Thailand
Publicity Chair	
Asst. Prof. Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Dr. Sumonman NIAMLANG	RMUTT, Thailand
Dr. Montip LASURIYONTA	RMUTT, Thailand
Somchai BIANSOONGNERN	RMUTT, Thailand
Publication Chair:	
Prof. Dr. Preecha P.YUPAPIN	KMITL, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Takashi SAGAWA	Kyoto Uni., Japan
Dr. Boonyang PLANGKLANG	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Sonobe TARO	Kyoto Uni., Japan
Website and Information System Chair:	
Dr. Nathabhat PHANKONG	RMUTT, Thailand
Deachrat JAITHAWIN	RMUTT, Thailand

Simulation of SSCB Using IGBTs Model based on ORCAD/PSPICE program

Supawat Kamtip Nathabhat Phankong and Krischonme Bhumkittipich

Power and Energy System Research Center, Department of Electrical Engineering,
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani,12110, Thailand
Tel: +662 549 3571, Fax: +662 549 3558, E-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

Abstract *—This paper proposes a simulation of solid state circuit breaker (SSCB) for the low voltage level by using ORCAD/PSPICE environment. According to the conventional circuit breaker, the SSCB was developed by using the power electronics switching devices. The rapid operation and no arcing are proposed on the protection devices that can operate under malfunction. The SSCB based on IGBT switching device can be modeled on small signal averaging model format for searching the turn-on and turn off performance. The gate drive signal of IGBT is generated by using malfunction detection technique. The voltage and current sources of proposed system can be properly controlled under the proposed condition. The operation of SSCB can be simulated by using ORCAD/PSPICE program. The simulated results found that SSCB can be operated under several testing condition and voltage and current signal can be express as reality behavior at turn-on and turn-off condition according to internal parasitic parameter of IGBTs and loads. Therefore, SSCB can be normally used for controlling the voltage and current instead of a circuit in the system.*

Keywords **— Solid State Circuit Breaker (SSBC), IGBT, Small Signal Average Model, ORCAD/PSPICE**

* Corresponding author. Tel.:086-523-0321.
E-mail address: krischonme.b@en.rmutt.ac.th.

1. INTRODUCTION

Nowadays, new current interruption technology, the solid-state circuit breaker (SSCB), offers a viable solution to the distribution system problems caused by available fault current. Although the power industry has been interested in this concept for decades, it appears that the time has now arrived when the selling price can be low enough to justify significant sales. By providing almost instantaneous voltage/current limitation, the SSCB alleviates the short circuit condition in both downstream and upstream devices by limiting fault currents coming from several sources of short circuit capacity. The advantages of added functions that a conventional circuit breaker cannot offer help to justify the higher cost associated with a solid state breaker.

To interrupt the current, the SSCB must rapidly insert an energy-absorbing element into the circuit to limit the fault current. In addition to limiting the fault current, the SSCB can also limit the inrush current (soft start capability), even for capacitive loads, by gradually phasing in the switching device rather than making an abrupt transition from an open to a closed position. A SSCB can offer the following advantages: limited fault current, limited inrush current (soft start), over voltage, under voltage, even for capacitive loads, repeated operations with high reliability, reduced switching surges, improved power quality for unfaulted lines.

As presented in [1], the present solutions dealing with short circuit protection are mechanical circuit breakers. After having detected a short circuit or over-load situation, sometime elapses prior to open the switches mechanically. As a result, turning off a short-circuit will take at least 100ms. So, SSCB based on power semiconductors potentially offer enormous advantages when compared to conventional solutions, since a SSCB is able to switch in a few microsecond.

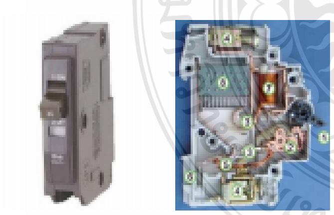


Fig. 1. Conventional low voltage circuit breaker.

Fig. 1 shows the conventional low voltage circuit breaker. The circuit breaker must detect a fault condition; in low voltage circuit breakers this is usually done within the breaker enclosure. Circuit breakers for small currents or low voltages are usually arranged with pilot devices to sense a fault current and to operate the trip opening mechanism. The design includes the following components

- Actuator lever-used to manually trip and reset the circuit breaker.
- Actuator mechanism
- Contacts
- Terminals
- Bimetallic strip
- Calibration screw
- Solenoid
- Arc divider / extinguisher

According to the SSCB are power electronics devices controlled by voltage source, there are different ways to implement the proposed device. Since we want to provide sub-half cycle current limiting, we need to either use semiconductor devices with turn-off capability such as GTO, IGBT or IGCT or to use an SCR switch together with a forced commutation circuit. The former option offers the advantage of using a simple power circuit and very high speed operation. In contrast to inverter applications, the switching loss of these devices turns out to be a minor issue in this application. Here, the conduction behavior and conduction losses are essential. As result, the IGBT has the advantage that, as a transistor, it limits the current automatically. Hence, current cannot exceed a certain value. The GTO and IGCT, the current is not limited. Thus, the detection time has to be short enough to assure a safe turn-off [4]. IGBT is selected in this simulation study. The reason to select this device is and based on the current limiting and simple driver circuit.

The SSCB are power electronics devices for protection system. The switching devices using IGBTs as of the operation and analysis of small signal averaging model for show parasitic parameters model. The simulation can be show the proposed procedure is as follows.

2. SOLID STATE CIRCUIT BREAKER

Power electronics devices are solid-state devices or transistors capable of modulating or converting electrical power. A power electronic device enables the production of power management modules that can handle all of the electric power control and conversion functions required to move power from the generating and storage sources to the ultimate loads. Electric energy will play an increasingly important role in future energy system because of its controllability, safety, and high efficiency.

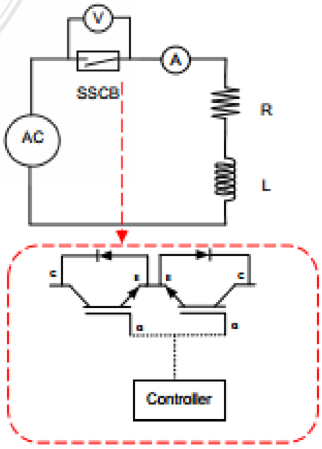


Fig. 2. Structure of solid state circuit breaker.

This article identifies the key parametric considerations for comparing IGBT performance in specific switch mode power supply applications. Parameters such as switching losses are investigated in both hard-switched and soft-switched ZVS (zero-voltage-switching) topologies. The three main power switch losses: turn-on, conduction and turn-off are described relative to both circuit and device characteristics. The impact of diode recovery performance on hard-switched topologies is also discussed illustrating that diode recovery is the dominant factor determining IGBT turn-on switching. Fig.2 shows the main circuit of SSCB for system operation. The structure of SSCB consists of a malfunction detecting circuit, controller and IGBT switching device.

3. ANALYSIS OF SMALL SIGNAL AVERAGE MODEL OF SSCB

A small signal average model of IGBT switching device is employed here with suitable modifications as shown in Fig. 3. It takes into account the IGBT internal gate, consists of R_{int}, C_{gc}, C_{ge}, $g_m V_{ge}$, R_o and C_o. This model is only valid for operation in the active region and device parameters vary throughout the switching depending on the operating conditions.

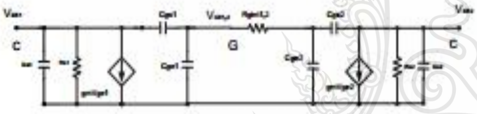
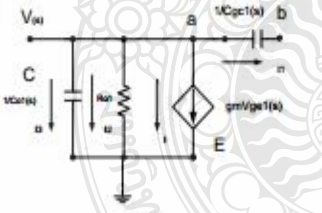
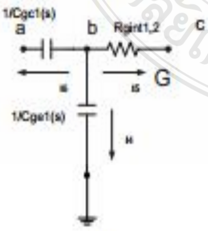


Fig.3. Equivalent circuit of SSCB



(a)



(b)

Fig.4. Equivalent circuit of IGBT

Using the laplace transform technique is used to solve the circuit in Fig.3. The state-space equation can be shown as equation (1)

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i_s \\ V_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_{int}} + C_{gc}(s) + C_{ge}(s) & -C_{ge}(s) \\ g_m - C_{ge}(s) & C_{ge}(s) + \frac{1}{R_0} + C_o(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ V_s \end{bmatrix} \tag{1}$$

Then, it can derive the tranfer function of the voltage as shown in equation (2)

$$V_0(s) = \frac{a_1 s + a_2}{b_1 s^2 + b_2 s + b_3} V(s) \tag{2}$$

when the discussions following immediately which shows the a_1, a_2, b_1, b_2, b_3. A result form mathmatics is a ratio of polynomials in (s) with real coefficients can be factored into a product of form (2) show the coefficients as below:

$$a_1 = -\frac{1}{R_{int}} C_{ge} - \frac{1}{R_{int}} C \qquad a_2 = -\frac{1}{R_{int}} \frac{1}{R_0}$$

$$b_1 = C_{gc} C_{ge} + C_{ge} + C_{gc} C_o + C_{ge} C_o + C_{ge} C_o - C_{ge} C_{ge}$$

$$b_2 = -\frac{1}{R_{int}} C + \frac{1}{R_0} C_{gc} + \frac{1}{R_0} C_{ge} - \frac{1}{R_{int}} C_o g_m C_{ge} - C_{ge} C_{ge}$$

$$b_3 = -\frac{1}{R_{int}} \frac{1}{R_0}$$

To show the performance of SSCB, this study used the above model that is modified in ORCAD/PSPICE programme environment. The parameters of IGBT switching device are determined and received from manual documents of each company.

4. SIMULATION RESULTS

As the previous section, the SSCB was solved by using small signal average model. The mathematical model is also expressed the detailed analysis on torn-on and turn-off conditions. This section shows the performance of SSCB using ORCAD/PSPICE programme environment. Therefore, the SSCB will be conneted and disconneted of low voltage level in the parasitic parameters of the math model. It consists of voltage source, frequency 50 Hz, load 500 Watt. The IGBT is started at 0.1s until 50s.

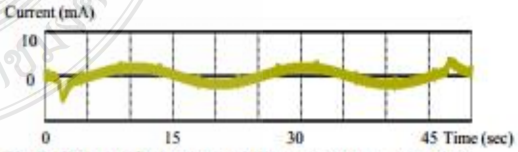


Fig.5. Current flows through R_{ging}(t:5s/div;I_{rging}:10mA/div)

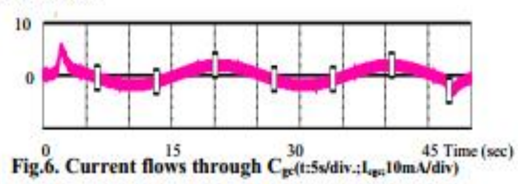


Fig.6. Current flows through C_{gc}(t:5s/div.;I_{cgc}:10mA/div)

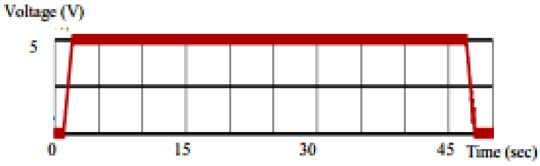


Fig.7. IGBT drive signal (t:5s/div.;V_{signal}:2.5V/div)

Fig.5 shows the current that flows through R_{ging}. Fig. 6 shows the current that flows through C_{ge} and Fig.7 represents the IGBT gate drive signal for driving SSCB.

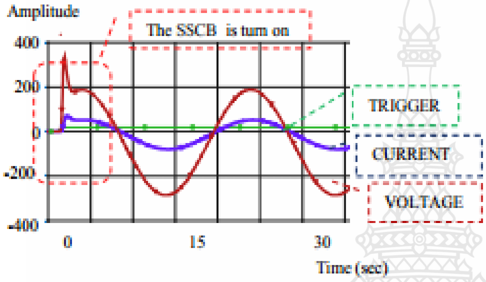


Fig.8.Turn-on waveforms under IGBT switch (t:5s/div.;V,I:200/div).

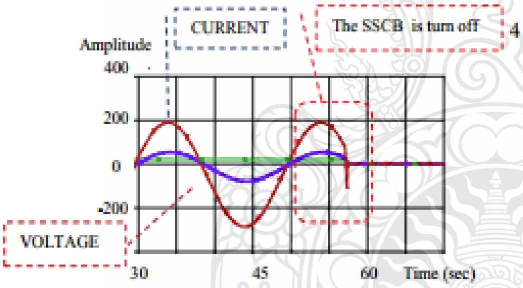


Fig.9. Turn-off waveforms under IGBT switch.(t:5s/div.;V,I:200/div).

Fig.8 shows the operation of SSCB that is switching turn-on operation. The red color is voltage. The violet color is current and green color is signal of the IGBT switch. In these result, the waveform of simulation is turn-on operation. Fig.9 shows the waveforms that SSCB is switching turn -off operation in result.

5. CONCLUSION

This paper presented the simulation of small signal average model of SSCB. The simulation result of the small signal average model has higher performance. Although, there is the condition of the fault, the control controller can operate normally. In addition, the over voltage, under voltage, overload, and the arcing. Therefore, the simulation result of solid state circuit breaker is well. It can be created the power electronics devices for power protection system.

REFERENCES

[1] Zhiping Yang, Hongkun Chen, et al. Dynamic Simulation of the Overvoltage for Fault Current Limiter IEEE ;2011 p. 1-4

[2] Jay R. Prigmore, Student Member, Comparison of Four Different Types of Ferromagnetic IEEE ;July 2013 p. 1491 - 1498

[3] William Long, Member IEEE, Low- voltage Power circuit Breaker Comparison of Test Requirement , International Electro technical Commission standard IEC 60947-2

[4] IEEE Standards Board, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," IEEE Standards, IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality: IEEE STD 1159-1995; Approved;1995.

[5] Vineeta Agarwal, A Mathematical Model for IGBT, Asian Power Electronics Journal, Vol2,No 1Apr 2008

[6] Nguyen-Dac, Jean-Christophe, CREBIER MOS Controlled AC Switches implemented with Full driver power supplies and dead time management circuits, IEEE ;2006.

[7] Alexander Yair, Steady State Analysis of a Two-Branch Resistance Inductanceparallel Circuit Controlled By a Bidirectional ac Switch IEEE Transactions on Industry Applications Vol,p. IA-I2 No2 ; 1976.

[8] Ekstrom, A, Bennich, P, et al. "Design and Control of a Current-Controlled Current Limiting Device, EPE, Graz ;2001.

[9] Klingbeil, L Kalkner, W Heinrich, and et al, "Fast Acting Solid-State Circuit Breaker using state-of-the-art power electronic devices", EPE, Graz ;2001.

[10] De Doncker, R. W, "Recent Power Electronics Developments for FACTS and Customed Power", Korea Germany Advanced Power Electronics Symposium;1998.

[11] Tosato F, "Voltage Sags Mitigation on Distribution Utilities", ETEP Vol. 1 1, No. I ; 2001.

[12] Russ M Sommer, "Spannungszwischenkreisumrichter im Mittelspannungsbereich", ETG, Bad Nauheim ;2002.

[13] Mohan, Undeland, and et al. "Power Electronics: Converters, Applications and Design";1989.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ ๖
6th Electrical Engineering Network 2014
of Rajamangala University of Technology Conference
นวัตกรรมวิจัยแห่งเทคโนโลยี ตอบสนองเออีซีด้านโครงข่ายพลังงาน
Technology Research Innovation for Responding
to the Energy Network of AEC
Volume II
อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
ระบบควบคุมและการวัด (CT)
การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (DS)
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)
๒๖ - ๒๘ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๗
ณ มารีไทม์ ปาร์คแอนสปารีสอร์ท จังหวัดกระบี่
ดำเนินการโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี กาญจนะเดชะ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร กิณเรศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.กีรติ ชยะกุลคีรี	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รองศาสตราจารย์ ดร.บัลลังก์ เนียมมณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพพานโต	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.เสถียร ธัญญศิริรัตน์	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ อุดมหรรษากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจน์ เกิดชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล โอพารไพโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รองศาสตราจารย์สมพันธ์ อำพาวัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐา จินดาเพ็ชร์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภัชกรณ์ อารีย์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ สากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชัย หิรัญวโรดม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนวย เรืองวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำเริง ฮินท่าไม้	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ จารุมิตร	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ครองกิจศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริชา สาคะรังค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัควัฒน์ จันทร์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตวิทย์ บัวใหญ่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์พงษ์ ศรีสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถพล ป้อมสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เดชธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันไชย คำเสน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พานิช อินต๊ะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา ยืนยงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ ทองเล็ก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นาตยา คล้ายเรือง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญย์ฤทธิ์ ประสาทแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ โสตรโยม	มหาวิทยาลัยสยาม

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย ศิลปวิจารณ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาวิตต์ ตัณฑนุช	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธวัชชัย ทางรัตนสุวรรณ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย แดงเอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทง ลานธารทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ ดาราพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สราวุธ ทองกุลภัทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วารุณี กรุดพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พันธ์พงศ์ อภิชาตกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ์ พงษ์พฤกษธาตุ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมคิด ลีลาชนะชัยพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ ดร.วฤทธิ์ วิชกูล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อาจารย์ ดร.ณฐภัทร พันธ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.พฤศยน นินทนาวงศา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.ศิริชัย เตรียมล้ำเลิศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.กิตติวัฒน์ นิ่มเกิดผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.วิเชียร อูปแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.สุริยา แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.กฤตยา สมสัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.พรเทพ ปัญญาแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.พิชัย อยู่เปล่า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.เมธา ทัศคร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.สัณหวัจน์ ทองแดง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.เสกสรร พลสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.ณัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.พนา ดุสิตากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ เดชฟุ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.พสิษฐ์ สุวรรณภิงคาร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.ชลกาญจน์ วงศ์ก่อทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.อุมารินทร์ แสงพานิช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

อาจารย์ ดร.ศรีสุดา ไชยทองสุก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ ดร.สมพร ศรีวัฒนพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ ดร.ประจวบ อินระวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.พินิจ ศรีธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.มงคล ภูพิมาย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.ประสพโชค โห้ทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.มนตรี สมดุลยกนก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.ไกรฤกษ์ เชยชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.พิชิต กิตติสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.วิวัฒน์ ทิพจร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.วิฑูรย์ พรมมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.นพพร พัชรประกิติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ชาญยุทธ์ กาญจนพิบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ เคลือบวัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.พลกฤษณ์ ทุนคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ยุพดี หัตถสิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.สุบงกช โตไพบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.อนนท์ นำอิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ศุภกิต แก้วดวงตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.จัตตุฤทธิ์ ทองปรอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ธีรศักดิ์ สมศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.วุฒิวัฒน์ คงรัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดร.สายชล ชุดเจือจีน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดร.นิธิวัฒน์ ชูสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.พิทักษ์ บุญนุ่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ ดร.ปฏิมากร จันทร์พริ้ม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ ดร.ชยานิษฐ์ บุญสนิท	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ดร.สุวิทย์ อัจริยะเมต	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ดร.อรรถ พยอมหอม	การไฟฟ้านครหลวง
อาจารย์พินิจ จิตจริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์นิติพงศ์ ปานกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ภัทรพงศ์ อัญชันภาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์สมยศ สันติมาลัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์วุฒิไกร จันทร์ขามเรียน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์ตะวัน ขุนอาสา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์มนัส บุญเทียรทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์สาคร วุฒิพัฒนพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

อาจารย์พูนศรี วรรณการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์เวทรินทร์ ธัญสิประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์สุรสิทธิ์ ประกอบกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์จตุรงค์ จตุรเชิดชัยสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์อดิศักดิ์ วิริยกรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ธนารัตน์ ตันมณีประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์อานนท์ สิงห์เสถียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์อภิชญา ทองรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์นิลมิต นิลาศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์พัชรนันท์ ศรีธนาอุทัยกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์มาลียา ตั้งจิตเจษฎา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ธานี สมวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ปฏิวัติ บุญมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์อานนท์ พ่วงชิงงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์วิสุทธิ์ ตันติรุ่งเรือง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ชูศักยฐ์ กมลขันติธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์บุญช่วย เจริญผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์เอกพล อนุสุเรนทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์วินัย เมธาวิทิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์มงคล ด่านบำรุงตระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์อดิศักดิ์ แข็งสาริกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์โสภา แซ่เฮ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ดิสพล ฉ่ำเฉียวกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์กาญบัญชา พานิชเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ปกรณ์ ผู้ไพเราะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ชาญยุทธ อุปายโกศล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์พีรวัจน์ มีสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์อาภาพล มหาวีระ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์นิกร แสงงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ดนโชค ปานทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์อัมพร บุญราม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์พิทักษ์ สถิตวรรธนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์กิจติ มินา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ชลัช สัตยรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ธีรพงษ์ ฉิมเพชร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ภราดร เรืองกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์สาธิต ละอองโชค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทความสาขาอิเล็กทรอนิกส์ (EL) หน้า

EL-B

EL09 การสังเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โหมดกระแสที่ควบคุมขนาดได้โดยใช้ DVCCTAs และอุปกรณ์ต่อลงกราวนด์ 557
[1]อดิเรก จันตะคุณ [2]วินัย ใจกล้า
[1]มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[2]สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

EL10 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ใช้ DVCCTA เพียงตัวเดียวและอุปกรณ์ต่อลงกราวนด์ 561
สุภาพร ปานิคม อดิเรก จันตะคุณ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

EL11 การปรับปรุงคุณสมบัติกระแส-แรงดันของช็อตต์กีไดโอดที่ถูกแพร่แพลตทินัมด้วยการฉายรังสีเอ็กซ์ 565
ไอลดา สุวรรณชาตรี ศุภกร จันทร์ประภา สุรดา เอื้อมานะพงษ์ อิสระ ศรีธมชัย
สุรศักดิ์ เนียมเจริญ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

EL12 การออกแบบวงจรกรองผ่านทุกความถี่ลำดับหนึ่งโหมดกระแสที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ 569
อรทัย เกตุแก้ว สมสิน วงษ์ชุมทด สมชาย ศรีสกุลเดียว
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

EL13 การวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส 573
ศุภวัฒน์ คำทิพย์ กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ ณฐภัทร พันธ์คง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

EL14 การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้หลักการของวงจรล็อกโดเมน 577
ชัยวัฒน์ ประเสริฐพงศ์ กฤษณ์ อ่างแก้ว
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

EL-C

EL15 การสร้างชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน 581
พรรณา บุระดา นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง สุรศักดิ์ เนียมเจริญ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

EL16 การสร้าง DIAMOND MESFET 585
ปิยชาติ สดงาม วศิน ปัญญาผลิศ วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

EL17 การประยุกต์ใช้วิธีการฉายลำรังสีอิเล็กตรอนเพื่อลดค่า t_{rr} ในอุตสาหกรรมการผลิตไดโอดแบบฟื้นตัวเร็วชนิดซิลิคอนพินโครงสร้างเมซ่า 589
พรหมพักตร์ ดาวัลย์ วิวัฒน์ อิทธิกุสุมาลย์ ชบา สุริยาอมรานนท์ วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส

Small Signal Analysis of Single-phase Solid State Circuit Breaker

ศุภวัฒน์ คำทิพย์ กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ และ ณฐภัทร พันธ์คง
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
โทรศัพท์: 086-5230321 E-mail : krischonme.b@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ 1 เฟส เนื่องด้วยเทคโนโลยีของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีการเปลี่ยนแปลงและมีการพัฒนาโดยใช้อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาประยุกต์ใช้งาน มีข้อดีคือความรวดเร็วในการทำงานและไม่มีการอาร์คเกิดขึ้นเมื่อมีการสวิตช์เปิดและปิดวงจร การวิเคราะห์การสวิตช์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์มาทำการวิเคราะห์โดยมีการคำนวณการหาค่าฟังก์ชั่นถ่ายโอนของสัญญาณขนาดเล็กของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท และมีการใช้ ORCAD/PSPICE จำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท และอัลกอริทึมการตรวจจับแรงดัน,กระแส,ความถี่ และการอาร์คของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทโดยการทดสอบซึ่งประกอบด้วยเงื่อนไขการทดสอบ แรงดันเกิน,แรงดันตก,กระแสเกินและการอาร์ค และผลการจำลองและทดสอบเป็นที่น่าพอใจซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

คำสำคัญ: เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท, โมเดลทางคณิตศาสตร์, สัญญาณขนาดเล็ก

Abstract

The paper proposes a small signal analysis of single-phase of Solid State Circuit Breaker(SSCB) for low voltage level. According to the conventional circuit breaker, the SSCB is developed by using the power electonics swithching devices. The rapid operation and arcless are proposed on the power protection devices that can operation under mallfuction. The SSCB based on IGBT swithing device can be modeled on small signal averaging model by turn-on and turn off conditions. The gate drive signal of IGBT is gererated by using malfunction detection technique. The small signal can be calculated by using Mathmatical model for analysis transiant and steady state conditions. The operation of SSSCB can be simulation by using ORCAD/PSPICE program. The results found that SSCB can be operated under several testing condition and voltage and current signal can be express as reality behavior at turn-on and turn-off condition according to internalparasitic parameter of IGBTs and load. Experimental results can shown that current and voltage wave form in this paper.

Keywords: Solid State Circuit Breaker(SSCB), Small signal Average Model

1. บทนำ

การนำอุปกรณ์ป้องกันเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า และโหลด การศึกษาระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ พฤติกรรมการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน มีข้อด้อยในหลายๆ ประเด็น ซึ่งเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีใช้ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆมาใช้เพื่อให้ได้คุณสมบัติ และประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีที่สุด สิ่งสำคัญที่ต้องการในระบบไฟฟ้า คือ ความเร็วขณะทำงาน ไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินสูงและสามารถทำงานได้หลายครั้งอย่างมั่นใจ

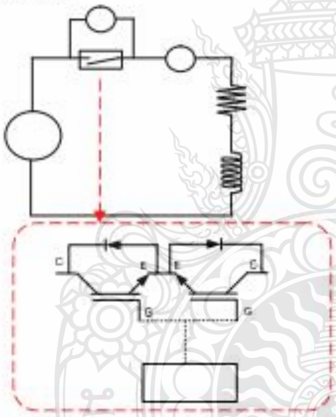
บทความ[1]นำเสนอการจำลองการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตโดยใช้ ORCAD/PSPICE ในการจำลองการทำงานมีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า และช่วยลดปัญหาที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้ที่สาเหตุมาจากปัญหาด้วย บทความ[2]เป็นการทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำ เมื่อเกิดการอาร์คที่หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์และการเกิดประกายไฟ ตามมาตรฐาน IEEE 1584 โดยทำการทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำของหลายบริษัทผู้ผลิต บทความ[3] เป็น การจำลองถึงผลกระทบของแรงดันเมื่อในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น ตามช่วงเวลาของการเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน มีการให้คำจำกัดความของการเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันแต่ละเหตุการณ์ เพื่อให้มีความเข้าใจต่อเหตุการณ์ และใช้ศัพท์คำจำกัดความเป็นในแนวทางเดียวกันตามมาตรฐานของ IEEE 1159 - 1995, 1995 เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์การเกิดการลัดวงจรในระบบไฟฟ้าโดยที่มีการต่อเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อใช้งานในระบบโดยมีค่าหน่วงเวลาในการตัดวงจรออกจากระบบ บทความที่[4] นำเสนอการเปรียบเทียบการตรวจจับแรงดันตกชั่วครู่ไม่สมมาตร เพื่อ ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า เมื่อระบบไฟฟ้า

เกิดความผิดพร่อง เปรียบเทียบการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าขนาด ความถี่และมุมของแรงดันไฟฟ้า ตามมาตราฐาน IEEE1159 - 1995, การนำ[5] เสนอความแตกต่างของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ 3 ชนิดคือ ไอจีบีที,จีทีโอ บีจีที,มีพฤติกรรมการทำงานคล้ายกัน แต่แตกต่างกันที่ลักษณะของโครงสร้างภายใน และอัตราการทนแรงดันสูงสุด มีค่าความสูญเสียขณะนำกระแสของอุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิดเมื่อเทียบกับไอจีบีที

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส ซึ่งกล่าวถึงอัลกอริทึมการทำงานในการตัดและต่อวงจรในสภาวะต่างๆ ของวงจรในหัวข้อที่ 2 การวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของวงจรในหัวข้อที่ 3 การผลการจำลองและทดสอบการทำงานในหัวข้อที่ 4 และสรุปในหัวข้อที่ 5

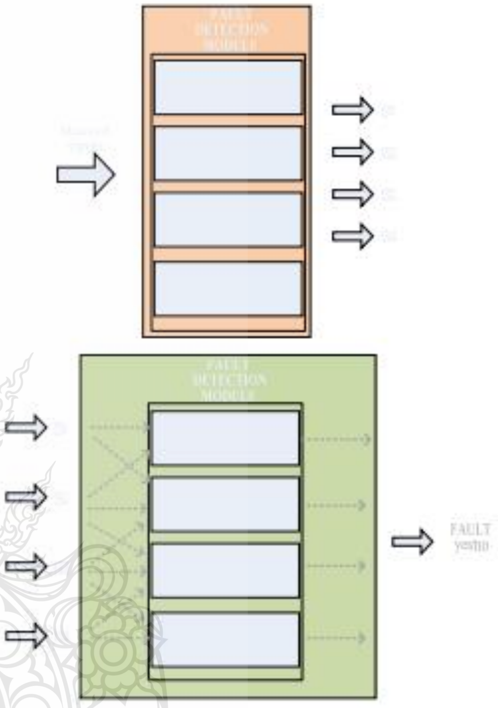
2. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท

โครงสร้างภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทประกอบด้วยไอจีบีที 2 ตัว



รูปที่ 1 โครงสร้างภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท

รูปที่ 1 โครงสร้างภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทประกอบด้วยไอจีบีที ซึ่งจะมีวงจรควบคุมการทำงานของตัวไอจีบีที โดยจะรับคำสั่งจากตัวประมวลผล ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดจะสั่งให้ไอจีบีทีตัดหรือต่อ การทำงานของไอจีบีที เป็นไปตามอัลกอริทึมของการตรวจจับของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท ประกอบด้วยตรวจจับแรงดัน,ตรวจจับกระแส,ตรวจจับความถี่และตรวจจับการอาร์คและส่งสัญญาณมาที่อัลกอริทึมของการตรวจจับดังรูปที่ 2 จะมีการประมวลผลตามเงื่อนไขของแรงดันตกแรงดันเกิน กระแสเกินและการเกิดการอาร์คของวงจร แล้วส่งข้อมูล ถ้ามีและเป็นไปตามเงื่อนไขจะสั่งให้วงจรขับทำงาน, วงจรไอจีบีทำการตัดวงจร การทำงานได้มีการกล่าวขั้นตอนของการนำกระแสของไอจีบีทีและช่วงเวลาในการหยุดนำกระแสของไอจีบีที และที่สำคัญคืออัลกอริทึมของการตรวจจับการอาร์คเป็นที่น่าสนใจอย่างมากในการตรวจจับ โดยจะแยกเป็นการตรวจจับ 2 ส่วน การตรวจจับการอาร์คคือจะมีการวัดกระแสรูปคลื่นไซน์และรวมด้วยความถี่สูง และใช้เทคนิคการกรองจะได้รูปคลื่นไซน์ นำมาลบทางเฟสเซอร์และส่วนต่อมาจะได้ความถี่สูง ยอดคลื่นขนาดเล็ก นำมาประมวลผล



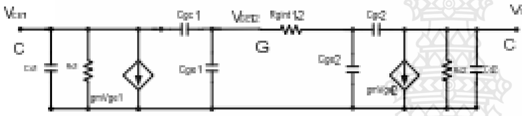
รูปที่ 2 อัลกอริทึมของการตรวจจับสภาวะต่างๆ ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท

ช่วงเวลาในการนำกระแสของไอจีบีที มีลักษณะการนำกระแส นับตั้งแต่เวลาที่แรงดันระหว่างขาเกตกับขาซอร์ส การป้อนแรงดันนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด มีลักษณะเป็นเอ็กซ์โปเนนเชียล ซึ่งเป็นผลจากการชาร์จประจุ ของตัวเก็บประจุระหว่างขาเกตกับขาซอร์สและขาเกตกับขาเดรนภายในไอจีบีที แรงดันที่ขาเดรนยังคงอยู่ในช่วงเวลาขาขึ้น หรือในช่วงเวลาที่กระแสที่ขาเดรนยังไม่ถึงค่ากระแสทำงาน หลังจากนั้นกระแสที่ขาเดรนก็จะคงที่ แต่แรงดันจะตกลงโดยแบ่งช่วงเวลาลงเป็นสองช่วง คือ ช่วงที่ทำงานอยู่ในย่านความต้านทานสูง ส่วนอีกช่วงที่ทำงานอยู่ในย่านความต้านทานต่ำ ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาในการนำกระแสของไอจีบีทีและช่วงเวลาในการหยุดนำกระแสของไอจีบีทีและความสัมพันธ์ของแรงดันในการขับของไอจีบีที ช่วงเวลา

ในการหยุดกระแสของไอจีบีที จะเห็นว่ากระแสที่ขาเดรนจะคงที่อยู่ตลอดช่วงเวลาที่แรงดันที่ขาเดรนเพิ่มขึ้น และมีช่วงเวลาลงของกระแสที่ขาเดรนที่แตกต่างชัดเจนสองช่วง โดยช่วงแรกจะเป็นช่วงหยุดนำกระแสภายในไอจีบีที และช่วงจะเป็นช่วงหยุดนำกระแสของทรานซิสเตอร์พีเอ็นพี ทำให้ช่วงเวลานี้นานกว่าช่วงแรก

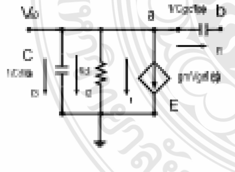
3. วิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท

การวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท ประกอบด้วย R_{int}, C_{gc}, C_{ge}, $g_m V_{ge}$, R_o และ C_o

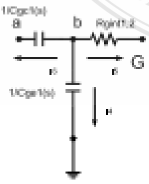


รูปที่ 3 วงจรสมมูลของไอจีบีที

รูปที่ 3 วงจรสมมูลของการเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต ซึ่งประกอบด้วยสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยใช้ไอจีบีทีเป็นตัวตัดและต่อวงจร และแสดงค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุภายในของไอจีบีทีนำวงจรมาวิเคราะห์โดยนำลาปลาซทรานส์ฟอร์ม มาใช้ในการแก้ปัญหาของวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตในสภาวะชั่วครู่ ซึ่งเป็นการแปลงจากฟังก์ชันของเวลาไปเป็นฟังก์ชันความถี่เชิงซ้อน จากนั้นจัดรูปของสมการให้เหมาะสมแล้วกลับมาเป็นฟังก์ชั่นของเวลาอีกครั้ง รูปที่ 4 เป็นการใช้กฎของกระแสของเคอร์ชอฟฟ์มาแบ่งวงจรเพื่อหาสมการของกระแสของแต่ละวงจรเพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจร



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 วงจรสมมูลของไอจีบีทีโดยใช้กฎของกระแสของเคอร์ชอฟฟ์

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i_s \\ V_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_{int}} + C_{gc}(s) + C_{ge}(s) & -C_{gc}(s) \\ g_m - C_{gc}(s) & C_{gc}(s) + \frac{1}{R_0} + C_s(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ V_s \end{bmatrix} \quad (1)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (1) สามารถหาค่าฟังชั่นถ่ายโอนของแรงดันด้านออก และนำสมการที่ (1) และสมการที่ (2) มาเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์

$$V_0(s) = \frac{a_1 s + a_2}{b_1 s^2 + b_2 s + b_3} V(s) \quad (2)$$

เมื่อได้ค่าฟังชั่นถ่ายโอนของแรงดันด้านออก สามารถแทนค่า a_1, a_2, b_1, b_2, b_3, ที่ได้จากการหาค่าสัมประสิทธิ์โดยการเปรียบเทียบได้ดังนี้

$$a_1 = -\frac{1}{R_{int}} C_{ge} - \frac{1}{R_{int}} C \qquad a_2 = -\frac{1}{R_{int}} \frac{1}{R_0}$$

$$b_1 = C_{gc} C_{ge} + C_{ge} + C_{gc} C_o + C_{ge} C_o + C_{ge} C_o - C_{gc} C_{ge}$$

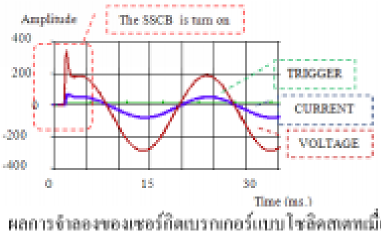
$$b_2 = -\frac{1}{R_{int}} C + \frac{1}{R_0} C_{gc} + \frac{1}{R_0} C_{ge} - \frac{1}{R_{int}} C_o g_m C_{ge} - C_{gc} C_{ge}$$

$$b_3 = -\frac{1}{R_{int}} \frac{1}{R_0}$$

จากสมการที่ (2) การคำนวณ a_1, a_2, b_1, b_2, b_3, และเปรียบเทียบค่าต่างๆ และแทนค่านำมาคำนวณในฟังชั่นถ่ายโอน หาค่าเศษส่วนย่อยจะได้ค่าเศษส่วนย่อยแล้วทำการลาปลาซทรานส์ฟอร์มกลับจะได้ค่าเวลาคงที่ และสภาวะชั่วครู่เข้าสู่สภาวะคงตัวเมื่อเวลาผ่านไปตามที่คำนวณ

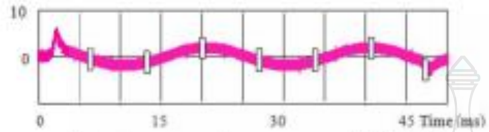
4.ผลการทดลองและทดสอบ

ผลการจำลองและทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟสได้นำโมเดลทางคณิตศาสตร์มาทำการคำนวณหาค่าสภาวะชั่วครู่และสภาวะคงตัว เมื่อมีการเริ่มทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ได้จากคู่มือของ ไอจีบีที มีการกำหนดค่าในการคำนวณค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุภายในตัวไอจีบีทีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์



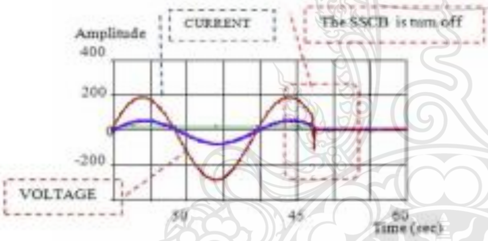
รูปที่ 5 ผลการจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทเมื่อมีต่อวงจร(t:5ms/div.;V:200/div)

ผลการจำลองการต่อวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เมื่อเริ่มการทำงานจาก 2.5 ms จะมีสภาวะชั่วครู่ที่เกิดจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆรูปที่ 5



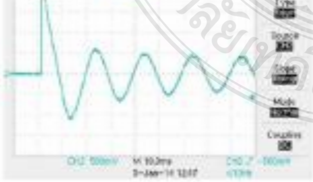
รูปที่ 6 สัญญาณขนาดเล็กของกระแสภายในไอจีบีทีที่ผ่าน C_{ge}(t:5s/div;I_{ripple} 10mA/div)

ผลการจำลองที่ได้จากการวัดสัญญาณขนาดเล็กของกระแสภายในไอจีบีทีที่ผ่านส่วนที่สำคัญที่มีผลต่อสัญญาณ ในการสวิตช์ ดังแสดงในรูปที่ 6 ที่ผ่าน C_{ge}(t:5s/div;I_{ripple} 10mA/div) สัญญาณเริ่มทำงาน 2.5 ms จนถึง 48 ms เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตเริ่มทำงาน แสดงในรูปที่ 7 จะมีสภาวะชั่วครู่ที่เกิดจากค่าพารามิเตอร์ภายในของไอจีบีทีและค่าอิมพีแดนซ์ของโหลด



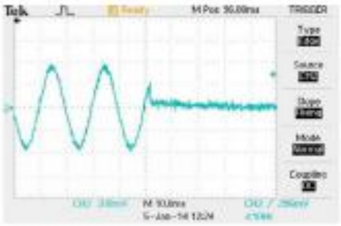
รูปที่ 7 ผลการจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตเมื่อมีตัดวงจร(t:5ms/div.;V:200/div)

ผลการจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตตัดวงจร เมื่อวงจรอยู่ในสภาวะคงตัวจาก 30 ms ถึง 48ms มีการตัดวงจรในรูปที่ 7



รูปที่ 8 ผลการทดสอบโดยการวัดกระแสที่ผ่านโหลดเมื่อมีการต่อวงจร (t:5ms/div.;I:2A/div)

สภาวะชั่วครู่ที่เกิดจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆภายในของไอจีบีทีดังรูปที่ 8 และผลการทดสอบการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการทดสอบโดยการวัดกระแสที่ผ่านโหลดเมื่อมีการต่อวงจร (t:5ms/div.;I:1A/div)

5. สรุป

จากผลการจำลองและทดสอบการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์และคำนวณ ผลจากการเปรียบเทียบจากสัญญาณขนาดเล็กของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตตสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ 1 เฟส จะแสดงการเปรียบเทียบจะได้สภาวะชั่วครู่และสภาวะคงตัวที่เกิดจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆภายในของไอจีบีที ดังนั้นในระบบไฟฟ้า การลัดวงจร กระแสเกิน แรงดันตก แรงดันเกิน และการเกิดการอาร์คแล้วเกิดความร้อนสะสมในระบบไฟฟ้า นั้น จะเห็นได้ว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสามารถที่จะตรวจจับและสั่งการทำงานให้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อเกิดปัญหาเหล่านี้ได้อย่างถูกต้องตามที่ออกแบบไว้

เอกสารอ้างอิง

[1] Supawat K, Nathabhat P, and Krischonme B, "Simulation of SSCBUsingIGBTs Model based on ORCAD/PSPICE program," 11th EMSES. December 2013.

[2] Zhiping Yang, Hongkun Chen, and et al, "Dynamic Simulation of the Overvoltage for Fault Current Limiter," IEEE. 2011, p. 1-4.

[3] Jay R. Prigmore, Student Member, "Comparison of Four Different Types of Ferromagnetic," IEEE. July 2013, p.1491 – 1498.

[4] William Long, Member IEEE, "Low- voltage Powercircuit Breaker Comparison of Test Requirement," International Electro technical Commission standard. IEC 60947-2.

[5] IEEE Standards Board, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality, IEEE STD 1159-1995, Approved 1995.

[6] Vineeta Agarwal, "A Mathematical Model for IGBT," Asian Power Electronics Journal, Vol2, No 1Apr 2008.

ECTI 7th CARD 2015
ECTI Association
Proceedings
Conference on Applications
Research and Development
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ครั้งที่ 7
"รู้ค่าพลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อก้าวสู่ศตวรรษที่ 21"
โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
8-10 กรกฎาคม 2558
ณ โรงแรมธรรมรินทร์ ธนา
อำเภอเมือง จังหวัดตรัง
Mobile App 1
GIS&App
Network 1
Antennas
Power 1
Electronics 1
Energy 1

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

1	ศ.ดร.ประภาส	จงสถิตวัฒนา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2	ศ.ดร.ประยุทธ	อัครเอกฒาลิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
3	ศ.ดร.โกสินทร์	จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
4	รศ.ดร.สมศักดิ์	ชุมช่วย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
5	รศ.ดร.กอบชัย	เดชหาญ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6	รศ.ดร.พิพัฒน์	พรหมมี	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
7	รศ.ดร.ชูวงศ์	พงศ์เจริญพาณิชย์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
8	รศ.ดร.ฟูศักดิ์	ชีวสุวิทย์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
9	รศ.ดร.อภินันท์	ธนชยานนท์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
10	รศ.ดร.พรชัย	ทรัพย์นิธิ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
11	รศ.ดร.สมผล	โกศัลวิตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
12	รศ.ดร.มนตรี	กาญจนะเดชะ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
13	รศ.ดร.สินชัย	กมลภิวงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
14	รศ.ดร.ทวีศักดิ์	เรืองพีระกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
16	รศ.ดร.วัฒนพงศ์	เกิดทองมี	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
17	รศ.ดร.พูลพงษ์	บุญพราหมณ์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
18	รศ.ดร.ดนัย	ต.รุ่งเรือง	มหาวิทยาลัยเอเชียน
19	รศ.ดร.ฐิติพงษ์	เลิศวิริยะประภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
20	รศ.ดร.มนตรี	ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
21	รศ.ดร.สุรพันธ์	ยิ้มมั่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
22	รศ.ดร.บัลลังก์	เนียมมณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
23	รศ.ดร.อิทธิพงศ์	ชัยสายัณห์	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
24	รศ.ดร.อธิคม	ฤกษบุตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

25 รศ.ดร.ลัญฉกร	วุฒิสิทธิกุลกิจ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
26 รศ.ดร.เดวิด	บรรเจิดพงศ์ชัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
27 รศ.ดร.รังสรรค์	วงศ์สรรค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
28 รศ.ดร.พีระพงษ์	อุฑารสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
29 รศ.ดร.นฤมล	วัฒนพงศกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
30 รศ.ดร.พีรพล	ศิริพงศ์วุฒิกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
31 รศ.ดร.เชาวศักดิ์	รักเป็นไทย	มหาวิทยาลัยพะเยา
32 รศ.ดร.อนันต์	ผลเพิ่ม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
32 รศ.ดร.สมหญิง	ไทยนิมิต	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
33 รศ.ดร.เอกชัย	ไพศาลกิตติสกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
34 รศ.ดร.สุรนันท์	น้อยมณี	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
35 รศ.ดร.สมเกียรติ	อุดมหรรษากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
36 รศ.ดร.โกศล	โอพารไพโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
37 รศ.ชัยณรงค์	วิเศษศักดิ์วิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
38 รศ.นภัทร	วัจนเทพินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
39 ผศ.รอ.ดร.ประโยชน์	คำสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
40 ผศ.ดร.รังสรรค์	ทองทา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
41 ผศ.ดร.สมศักดิ์	วาณิชอนันต์ชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
42 ผศ.ดร.มนต์ทิพย์ภา	อุฑารสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
43 ผศ.ดร.ปิยาภรณ์	กระฉอดนอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
44 ผศ.ดร.วิภาวี	หัตถกรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
45 ผศ.ดร.พงษ์ชัย	จิตตะมัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
46 ผศ.ดร.ชุติมา	พรหมมาก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

47 ผศ.ดร.ชาญชัย	ทองโสภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
48 ผศ.ดร.อานุภาพ	มีสมบูรณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
49 ผศ.ดร.จีรนุช	เสงี่ยมศักดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
50 ผศ.ดร.ดวงอาทิตย์	ศรีมูล	มหาวิทยาลัยรังสิต
51 ผศ.ดร.ยุทธนา	ขาสุวรรณ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
52 ผศ.ดร.กรกฎ	ใยบัวเทศทิพยาวงศ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
53 ผศ.ดร.มานะ	แซ่ด่าน	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
54 ผศ.ดร.ประมุข	อุณหเลขกะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
55 ผศ.ดร.ยุทธนา	กันทะพะเยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
56 ผศ.ดร.คมกฤตย์	ชมสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
57 ผศ.ดร.กฤดาภัทร	สีหารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
58 ผศ.ดร.ณัฐภพ	นิ่มปิติวัน	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
59 ผศ.ดร.ดลฤดี	ใจสุทธิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
60 ผศ.ดร.พงษ์ศักดิ์	กีรติวินทกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
61 ผศ.ดร.พิสิษฐ์	ลิ่วธนกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
62 ผศ.ดร.กฤษณ์	อ่างแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
63 ผศ.ดร.เบญจพร	ลิ้มธรรมาภรณ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
64 ผศ.ดร.ณัฐพงศ์	พันธุนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
65 ผศ.ดร.ชาญไชย	ไทยเจียม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
66 ผศ.ดร.วรพจน์	พัฒนวิจิตร	มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ
67 ผศ.ดร.กฤษณะ	ชินสาร	มหาวิทยาลัยบูรพา
68 ผศ.ดร.ศราวุธ	ชัยมูล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
69 ผศ.ดร.ศิริรัตน์	วณิชโยบล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

70 ผศ.ดร.ธเนศ	เคารพาพงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
71 ผศ.ดร.นิคม	สุวรรณวร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
72 ผศ.ดร.สุนทร	วิทูสุรพจน์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
73 ผศ.ดร.วรรณรัช	สันติอมรทัต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
74 ผศ.ดร.สกุณา	เจริญปัญญาศักดิ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
75 ผศ.ดร.พรชัย	พฤกษ์ภัทรานนต์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
76 ผศ.ดร.วัชรวลี	ตั้งคุปตานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
77 ผศ.ดร.สมมารถ	ขำเกลี้ยง	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
78 ผศ.ดร.พิทักษ์	ธรรมวาริน	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
79 ผศ.ดร.พิเชฐ	ม่วงนวล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
80 ผศ.ดร.มนตรี	คำเงิน	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
81 ผศ.ดร.วินัย	ใจกล้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
82 ผศ.ดร.จักรี	ศรีนนท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
83 ผศ.ดร.อำนวย	เรืองวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
84 ผศ.ดร.สมชัย	หิรัญวโรดม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
85 ผศ.ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
86 ผศ.ดร.บุญยิ่ง	นบนอบ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
87 ผศ.ดร.กันต์พงษ์	ศรีสถิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
88 ผศ.ดร.มนตรี	สมดุลยกนก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
89 ผศ.ดร.อุเทน	คำน่าน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
90 ผศ.ดร.กฤษดา	ยิ่งขยัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
91 ผศ.ดร.พานิช	อินต๊ะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
92 ผศ.ดร.พิทักษ์	บุญนุ่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

93 ผศ.ดร.ปภัศร์ชกรณ์	อารีย์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
94 ผศ.ดร.ชัยวัฒน์	สากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
95 ผศ.ดร.สมเกียรติ	เพียงพรานทอง	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
96 ผศ.ดร.อรรจน์	อิงคนินันท์ บัณฑิตย์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
97 ผศ.ดร.สุรัสวดี	กุลบุญ ก่อเกื้อ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
98 ผศ.ดิชิตชัย	เมตตาริกานนท์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
99 ผศ.อุหมาด	หมัดอาด้ำ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
100 ผศ.ดำรงค์	เคล้าดี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
101 ผศ.สมคิด	ลีลาชนะชัยพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
102 ผศ.กิตติกร	ขันแกล้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
103 ผศ.สันติพงศ์	ตั้งธรรมกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
104 ผศ.สัญญา	ผาสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
105 ผศ.วิโรจน์	เพชรพันธุ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
106 ผศ.ปราโมทย์	อนันตวราพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
107 ผศ.นิพนธ์	ทางทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
108 ผศ.วิโรจน์	พิราญเนนชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
109 ผศ.กฤษณ์ชนม์	ภูมิกิตติพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
110 ผศ.ศิริชัย	แดงเอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
111 ผศ.ธนพงษ์	นพวงศ์ ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
112 ผศ.ชาญชัย	เดชธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
113 ผศ.วิเชษฐ	ทิพย์ประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
114 ผศ.วิชิต	มาลาเวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
115 ดร.สมพร	ศรีวัฒนผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

116 ดร.อนุรักษ์	ถุงทอง	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
117 ดร.ธัญวัฒน์	ลิมปิติ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
118 ดร.อจลวิชญ์	ฉันทวีโรจน์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
119 ดร.สลิล	บุญพราหมณ์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
120 ดร.จิรารัตน์	สิทธิวรชาติ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
121 ดร.สัจจารีย์	ศิริชัย	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
122 ดร.จิตติมา	ตังขมณี	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
123 ดร.ฐิมาพร	เพชรแก้ว	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
124 ดร.พุทธิพร	ธนธรรมเมธี	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
125 ดร.สุรินทร์	แหงมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
126 ดร.วุฒิวัฒน์	คงรัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
127 ดร.วรรณรีย์	วงศ์ไตรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
128 ดร. จักรกฤช	ตรรกพาณิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
129 Dr.Karel	Sterckx	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
130 ดร.สุรชัย	ชัยทัศนีย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
131 ดร.เกียรติศักดิ์	ศรีพิมานวัฒน์	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
132 ดร.กมล	เขมะรังษี	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
133 ดร.วันชัย	ทรัพย์สิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
134 ดร.รุ่งโรจน์	สงค์ประกอบ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
135 ดร.แสนศักดิ์	ดีอ่อน	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
136 ดร.ประจวบ	อินระวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

บทความวิจัย (Oral Presentation)

Session : Energy 3

ID:1080 Page No. 414-417	การประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างด้วยวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับ Street Lighting Energy Saving with AC Converter *วันไชย คำเสน และชูชง สัมมัตตะ*
ID:1212 Page No. 418-421	ศึกษาผลกระทบการปรับจุดความร้อนจากโพรงสัญญาณในตัวกลางขยะยางรถยนต์ ต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากระบบไมโครเวฟไพโรไลซิส Study Effect Hotspot Steering Mechanism from Cavity in Waste tire Medium Upon oil output from Microwave Pyrolysis System *เฉลิมชนม์ ตั้งวชิรพันธุ์*
ID:1213 Page No. 422-425	การเปรียบเทียบระหว่างเซอร์กิตเบรคเกอร์เชิงกลกับเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตท สำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ Comparison between Mechanical Circuit Breaker and Solid State Circuit Breaker for Low Voltage System. *ศุภวัฒน์ คำทิพย์ , กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ และ ณฐภัทร พันธ์คง*
ID:1280 Page No. 426-430	ข้อพิจารณาในการออกแบบระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายสมัยใหม่: อินดักทีฟคัปปลิ้งและเรโซแนนซ์แม่เหล็ก Design Considerations in Modern Wireless Energy Transfer Systems: IC and MR *ศราวุธ ชัยมูล*
ID:1301 Page No. 431-434	การศึกษาการใช้งานพลังงานของโทรศัพท์สมาร์ทโฟนผ่านเครือข่าย 3G และ 4G A Study of Energy Consumption of Smartphone over 3G and 4G *บุญศิริ มะลัน , เทอดพงษ์ แดงสี และ พงษ์พิสิฐ วุฒิดิษฐโชติ*

การเปรียบเทียบระหว่างเซอร์กิตเบรคเกอร์เชิงกลกับเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ

Comparison between Mechanical Circuit Breaker and Solid State Circuit Breaker for Low Voltage System.

ศุภวัฒน์ คำทิพย์ กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ และ ณฐภัทร พันธ์คง
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 E-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์เชิงกลกับเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตทเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตทเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันปัญหาของระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดพร่อง สำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ 1 เฟส จุดประสงค์ของบทความนี้จะมีการกล่าวถึงการเปรียบเทียบการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เชิงกลและเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทความเร็วในการตรวจจับและการตัดวงจร ใช้อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาประยุกต์ใช้งานสำหรับการสวิตช์ทำให้ไม่มีการอาร์คเกิดขึ้นเมื่อมีการสวิตช์เปิดและปิดวงจร การตรวจจับแรงดัน,กระแส,ความถี่ และการอาร์คของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทโดยการจำลองซึ่งประกอบด้วยเงื่อนไขการทดสอบ แรงดันเกิน,แรงดันตก,กระแสเกินและการอาร์ค และผลการจำลองการเปรียบเทียบเซอร์กิตเบรคเกอร์เชิงกลกับเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตท

คำสำคัญ: เซอร์กิตเบรคเกอร์เชิงกล, เซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตท

Abstract

The paper is proposed a comparison between Mechanical Circuit breaker and solid state circuit breaker of single-phase. The SSCB is growly developed by using the power electronics switching devices. The rapid operation and arcless are proposed on the power protection mainly devices that can operation under malfunction. The SSCB is mostly based on power electronics switching device can be modeled by using turn-on and turn off conditions. The table results found that the solid state circuit breaker and the mechanic circuit breaker can be operated under simulating condition the voltage sag, voltage swell, over current and arcing. The result of a comparison between mechanical circuit breaker and solid state circuit breaker can be express as reality behavior detection.

Keywords: Solid State Circuit Breaker (SSCB), Mechanical Circuit Breaker (MCB).

1. บทนำ

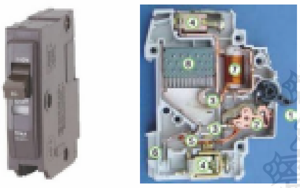
การศึกษาระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ พฤติกรรมการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน มีข้อด้อยหลายประเด็น ซึ่งเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีใช้ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆมาใช้เพื่อให้ได้คุณสมบัติ และประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีที่สุด สิ่งสำคัญที่ต้องการในระบบไฟฟ้า คือ ความเร็วขณะทำงาน ไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินสูงและสามารถทำงานได้หลายครั้งอย่างมั่นใจ

บทความ[1]นำเสนอการจำลองการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทโดยใช้การจำลองการทำงานมีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า และช่วยลดปัญหาที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้ที่สาเหตุมาจากปัญหาด้วย บทความ[2]เป็นการทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำ เมื่อเกิดการอาร์คที่หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์และการเกิดประกายไฟ ตามมาตรฐาน IEEE 1584 โดยทำการทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำของหลายบริษัทผู้ผลิต บทความ[3] เป็น การจำลองถึงผลกระทบของแรงดันเมื่อในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น ตามช่วงเวลาของการเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน มีการให้คำจำกัดความของการเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันแต่ละเหตุการณ์ เพื่อให้มีความเข้าใจต่อเหตุการณ์ และใช้ศัพท์คำจำกัดความเป็นในแนวทางเดียวกันตามมาตรฐานของ IEEE 1159 - 1995, 1995 เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์การเกิดการลัดวงจรในระบบไฟฟ้าโดยที่มีการต่อเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อใช้งานในระบบโดยมีค่าหน่วงเวลาในการตัดวงจรออกจากระบบ

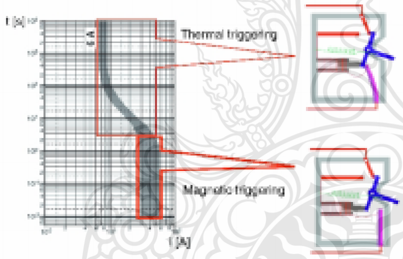
บทความนี้จึงนำเสนอการเปรียบเทียบระหว่างเซอร์กิตเบรคเกอร์เชิงกลกับเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตทที่ใช้ระบบไฟฟ้า 1 เฟส คุณสมบัติ การทำงานเมื่อมีความผิดปกติของแรงดันและกระแสซึ่งกล่าวถึงการทำงานในการตัดและต่อวงจรในสภาวะต่างๆ ของวงจร และการจำลองการทำงานการเปรียบเทียบระหว่างเซอร์กิตเบรคเกอร์เชิงกลกับเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตท และสรุป

2. เซอร์กิตเบรกเกอร์เชิงกล

เซอร์กิตเบรกเกอร์เชิงกลเป็นอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้หน้าสัมผัสตัดและต่อวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องของระบบไฟฟ้า หลักการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเคลื่อนที่ทางกลประกอบด้วยหน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่ หน้าสัมผัสอยู่กับที่ ขดลวดเหนี่ยวนำ และ แผ่นโลหะคู่ดังรูปที่ 1 โดยขนาดที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือพิกัด 30(AT) แอมแปร์ 230โวลต์



รูปที่ 1 เซอร์กิตเบรกเกอร์เชิงกล

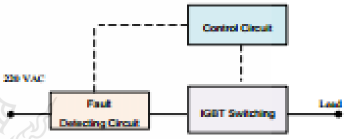


รูปที่ 2 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์

รูปที่ 2 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในช่วงของความร้อนสะสมโดยอาศัยหลักการของการขยายความร้อนของโลหะต่างชนิดกันเมื่อได้รับกระแสมากกว่าพิกัดประมาณ 1.25 เท่าของกระแสโหลดในช่วงระยะเวลาในช่วง 10 -100 วินาที จึงทำอยู่ในสภาวะโหลดเกิน ช่วงการทำงานในช่วงต่อมาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ลดต่ำลงจนเข้าใกล้ศูนย์หรือเกิดการลัดวงจรทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร จึงเกิดการลัดวงจรเกิดขึ้นจะทำให้เกิดกระแสลัดวงจรทำให้ขดลวดภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์เกิดการเหนี่ยวนำ แล้วทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นโดยมีแรงทำให้กลไกของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงาน ทำการตัดวงจรออกจากระบบหรือจำกัดพื้นที่ไม่ให้เกิดปัญหากระทบกับวงจรอื่น

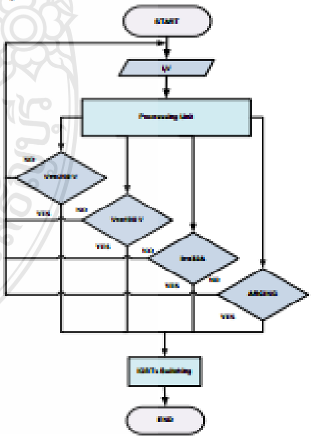
3 เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท

การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท จำเป็นต้องมีความปลอดภัย ความน่าเชื่อถือ มีคุณภาพและความคงทนต่อการใช้งานเมื่อเกิดความผิดปกติของระบบไฟฟ้า หน้าที่การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทเป็นการนำเทคโนโลยีต่างๆมาใช้ และนำปัญหาของเซอร์กิตเบรกเกอร์เชิงกลที่ไม่สามารถตรวจจับหรือไม่สามารถตัดวงจรเมื่อเกิดปัญหาทางไฟฟ้า เช่นการเกิดไฟไหม้บ้านเรือน ส่วนมากจะสรุปมาจากไฟฟ้าลัดวงจรแต่ในทางไฟฟ้าถ้าเกิดการลัดวงจรจริงเซอร์กิตเบรกเกอร์ต้องมีการตัดวงจร รูปที่ 3 ส่วนการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ชุดการตรวจจับ ชุดประมวลผลและควบคุมการทำงาน ชุดการสวิตช์

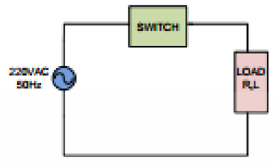


รูปที่ 3 ส่วนการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท

การตรวจจับส่วนจะมีการตรวจจับหรือการวัดแบบเวลาจริงของกระแส แรงดัน เพื่อส่งข้อมูลไปให้กับชุดประมวลผลเพื่อทำหน้าที่ตัดสินใจในการต่อหรือตัดวงจรเมื่อเกิดปัญหาของกระแสและแรงดันไฟฟ้าดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 อัลกอริทึมการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท



รูปที่ 5 วงจรที่ใช้ในการวิเคราะห์

รูปที่ 5 การทำงานในแต่ละส่วนของเซอร์กิตเบรกเกอร์เชิงกลมีแหล่งจ่าย มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 220VAC 50Hz โหลดความต้านทานและโหลดเหนี่ยวนำ เซอร์กิตเบรกเกอร์เชิงกลสามารถนำหลักการเทคนิคของเคอร์ชอฟฟ์ใช้ในการวิเคราะห์ดัง(1)

$$L\frac{di}{dt}+Ri-Vu(t)=0 \quad (1)$$

โดย t < 0, จะได้(2)

$$\frac{di}{dt}+\frac{R}{L}i=0 \quad (2)$$

โดยให้ค่าแรงดันเริ่มต้นเท่ากับศูนย์ t<0 และ i=0 ดังนั้น i(t)=0

$$\frac{di}{dt}+\frac{R}{L}i=\frac{V}{L}u(t) \quad (3)$$

$$\frac{di}{dt}+\frac{R}{L}i=\frac{V}{L} \quad (4)$$

เมื่อ x (t) =i (t) และ a= R/L และ b= V/L ดังนั้นจะได้(5)

$$i_f(t)=\frac{b}{a}=\frac{V/L}{R/L}=\frac{V}{R} \quad (5)$$

$$i_n(t)=Ae^{-at}=Ae^{-Rt/L}$$

$$i(t)=i_f(t)+i_n(t)=\frac{V}{R}+Ae^{-Rt/L} \quad (6)$$

ให้ t<0 และ i (0) =0 ดังนั้นจะได้(6)

$$i(0)=\frac{V}{R}+Ae^{0}=0$$

$$i(t)=\frac{V}{R}-\frac{V}{R}e^{-Rt/L}$$

$$i(t)=\left(\frac{V}{R}-\frac{V}{R}e^{-Rt/L}\right)u(t)=\frac{V}{R}(1-e^{-Rt/L})u(t) \quad (7)$$

ดังนั้น

$$V_R(t)=Ri(t)=V(1-e^{-Rt/L})u(t)$$

$$V_L(t)=Vu(t)-V_R(t)=Vu(t)-V(1-e^{-Rt/L})u(t)=Ve^{-Rt/L}u(t)$$

หาค่า $V_L(t)$ (8)

$$V_L(t)=L\frac{di(t)}{dt}=L\frac{d}{dt}\left[\frac{V}{R}(1-e^{-Rt/L})u(t)\right]$$

$$=\frac{LV}{R}\left[\left(1-e^{-Rt/L}\right)\delta(t)+(-e^{-Rt/L})\left(-\frac{R}{L}\right)u(t)\right] \quad (8)$$

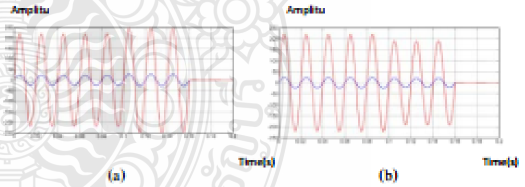
และ $\left(1-e^{-Rt/L}\right)\delta(t)=0$

$$V_L(t)=\frac{LV}{R}\left(\frac{R}{L}e^{-Rt/L}\right)u(t)=Ve^{-Rt/L}u(t) \quad (9)$$

(8) และ (9) จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเหนี่ยวนำ (L) ค่าความต้านทาน (R)

4 ผลการจำลองการทำงาน

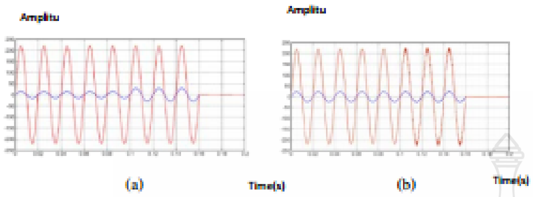
วงจรที่ใช้ในการทดลองค่าแรงดันที่ใช้ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ความต้านทานของโหลด 9 โอห์ม ค่าเหนี่ยวนำ 20 ไมโครเฮนรี่ รูปที่ 7 สีน้ำเงินแสดงการวัดกระแส สีแดงจะวัดแรงดัน โดยเริ่มต้นจะใช้แรงดัน 220 โวลต์ เมื่อเวลาประมาณ 100 ms จะมีการปรับแรงดันขึ้นเป็น 250 โวลต์ และลดลง 190 โวลต์ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทมีการตรวจสอบพบความผิดพร่อง จะทำการตัดวงจรเมื่อเวลา 160 ms



(a) (b)

รูปที่ 7 การจำลองแรงดันเกิน(a)และแรงดันตก(b)ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทขณะตัดวงจร(t:20ms/div.;V:50/div)

รูปที่ 8 เงื่อนไขการจะมีการจำลองการตรวจสอบกระแสเกินจะมีพิกัดกระแสไม่เกิน 32 แอมแปร์ สีน้ำเงินแสดงการวัดกระแส สีแดงจะวัดแรงดัน โดยเริ่มต้นสีน้ำเงินจะใช้กระแสใช้ในการจำลอง 12 แอมแปร์ เมื่อเวลาประมาณ 10 ms จะมีการเพิ่มโหลดอีก 20 แอมแปร์รวมเป็น 32 แอมแปร์ ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทมีการตรวจสอบพบความผิดพร่อง ใช้เวลาในการประมวลผล 60 ms ไอซีบีทีจะทำการตัด



รูปที่ 8 การจำลองกระแสเกิน(a)และการอาร์(b)ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทขณะตัดวงจร(t:20ms/div.;V:50/div)

วงจรเมื่อเวลา 160 ms เงื่อนไขการจะมีการจำลองการตรวจจับการอาร์ค จะมีพิกัดการตรวจสอบความต่อเนื่องของลำอาร์ค โดยเริ่มต้นการใช้โหลดปกติ เมื่อเวลาประมาณ 10 ms จะมีการเพิ่มแรงดันประมาณ 5 โวลต์ ความถี่ 20-30 kHz เข้ากับแรงดันของระบบเป็นการจำลองการงานการเกิดการอาร์ค ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทมีการตรวจสอบพบความผิดพร่อง ทำการตัดวงจรเมื่อเวลา 160 ms

การทดสอบ	พิกัด	SSCB	MCB
กระแสเกิน	≥ 32 A	O	O
แรงดันเกิน	≥ 250VAC	O	X
แรงดันตก	≤ 190VAC	O	X
ลัดวงจร		O	O
การอาร์ค		O	X

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบเซอร์กิตเบรคเกอร์เชิงกลกับเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตทเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบเซอร์กิตเบรคเกอร์เชิงกลกับเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตทเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท กระแสเกินและลัดวงจรสามารถทำทั้งสองชนิด แต่แรงดันตก แรงดันเกิน และการอาร์คเซอร์กิตเบรคเกอร์เชิงกลไม่สามารถทำงานได้ o คือทดสอบผ่าน x คือ ทดสอบไม่ผ่าน

5. สรุป

การเปรียบเทียบเซอร์กิตเบรคเกอร์เชิงกลกับเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตทเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทจากผลการจำลองทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท กับเซอร์กิตเบรคเกอร์เชิงกลจะมีข้อแตกต่างกันคือ เมื่อมีความผิดปกติของรูปคลื่นไฟฟ้าเกิดขึ้นความผิดพร่องในระบบไฟฟ้า กระแสเกิน แรงดันตก แรงดันเกิน และการอาร์คในระบบจะเห็นได้ว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสามารถที่จะตรวจจับและสั่งการทำงานตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อเกิดปัญหาได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว แต่เซอร์กิตเบรคเกอร์เชิงกลไม่สามารถทำงานเหมือนเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตทได้

เอกสารอ้างอิง

[1] Supawat K, Nathabhat P, and Krischonme B, "Simulation of SSCB UsingIGBTs Model based on ORCAD/PSPICE program,"11th EMSES, 2013.

[2] Zhiping Yang, Hongkun Chen, and et al, "Dynamic Simulation of the Overvoltage for Fault Current Limiter," IEEE, 2011.

[3] William Long and Member IEEE, "Low- voltage Powercircuit Breaker Comparison of Test Requirement," International Electro technical Commission standard. IEC 60947-2.

[4] IEEE Standards Board, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality.

[5] ศุภวัฒน์ คำทิพย์ กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ และ ณฐภัทร พันธ์คง การวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กและกำลังสูญเสียของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตต 6th RMUTNC & 5th RMUTIC วันที่ 23-25 กรกฎาคม 2557ณ อาคารเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิศูนย์หันตรา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

[6] ศุภวัฒน์ คำทิพย์ กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ ณฐภัทร พันธ์คง เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่3719-21พฤศจิกายน 2557 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด จ.ขอนแก่น

[7] ศุภวัฒน์ คำทิพย์ กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ ณฐภัทร พันธ์คงการวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6 26-28 มีนาคม 2557 มารีไทม์ ปาร์คแอนสปารีสอร์ท จังหวัดกระบี่

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 37

The 37th Electrical Engineering Conference
(EECON-37)

วันที่ 19-21 พฤศจิกายน 2557 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด

ABSTRACTS
รวมบทคัดย่อ

EECON XXXVII

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
KHON KAEN UNIVERSITY

PEA

Trinergy

คณะกรรมการดำเนินงาน

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37

ฝ่ายประสานงานผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รศ. ดร. วิระสิทธิ์ อิ่มถวิล ประธานฝ่าย
รศ. ดร. นันทกานต์ วงศ์เกษม
รศ. ดร. พีระยศ แสนโภชน์
รศ. ดร. ราชวดี ศิลาพันธ์
รศ. อำนาจ สุขศรี
รศ. กิตติพงษ์ ตันมิตร
รศ. บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา
รศ. เรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์
ผศ. ดร. อานุภาพ มีสมบูรณ์
ผศ. ดร. นภัสถ์ ไตรโรจน์
ผศ. ดร. ปานหทัย บัวศรี
ผศ. ดร. อาคม แก้วระวัง
ผศ. ดร. บุญยิ่ง เจริญ
ผศ. ดร. บุญเรือง มะรังศรี
ผศ. ดร. นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์
ผศ. ดร. สุชาติ แย้มเม่น
อ. ดร. สถาพร พรพรหมลิขิต
อ. ดร. ภัทรวิทย์ พลพินิจ
อ. ดร. ชัยภัฏ วรรธนะสาร
อ. ดร. สุรภาพ รายะนาคร
อ. ดร. มนัสวี แก่นอำพรพันธ์
อ. วรายุทธ คัมภีราวัฒน์
อ. จงกฤษฎิ์ จงอุดมการณ์
นางคำภา วงษ์คำอุด

ฝ่ายจัดหาผู้สนับสนุน

ผศ. ดร. ประมินทร์ อาจฤทธิ์ ประธานฝ่าย
ศ. ดร. อภิรัฐ ศิริธราธิวัตร
รศ. ดร. วิระสิทธิ์ อิ่มถวิล
รศ. กิตติพงษ์ ตันมิตร
ผศ. ดร. จีรนุช เสงี่ยมศักดิ์
นายเกียรติศักดิ์ คำภักดี
นางบุญส่ง ชมทรัพย์เจริญ

ฝ่ายพิธีการ

ผศ. ดร. จีรนุช เสงี่ยมศักดิ์ ประธานฝ่าย
อ. ดร. สถาพร พรพรหมลิขิต
นางบุญส่ง ชมทรัพย์เจริญ
นางสาวบุษราภรณ์ อินทร์ตาแสง
นางสาวทิพากร ชัยสงค์
นางสาวจารุณี นวลบุญมา
นางสาวสุนันทา มัครมย์
นายธีรฉัตร อนิวรรธเมธี
นายพิพัฒน์พงศ์ พันธุ์รัตน์

Session PE-10 Modeling and Energy Storage
วันศุกร์ที่ 21 พฤศจิกายน 2557 10:30 – 12:00
ห้องฉัตรทันต์ 2

PE044 เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ

ศุภวัฒน์ คำทิพย์ กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ ณฐภัทร พันธ์คง

บทความนี้นำเสนอผลการจำลองและทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทที่ได้มาจากการวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของวงจรไอจีบีทีที่อยู่ภายในตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ 1 เฟสขณะทำการสวิตช์ตัดและต่อวงจร โดยการนำไอจีบีทีมาทำการสวิตช์มีข้อดีคือความรวดเร็วในการทำงานและไม่มีการอาร์คเกิดขึ้นเมื่อมีการสวิตช์ตัดและต่อวงจร การวิเคราะห์การสวิตช์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้นำโมเดลทางคณิตศาสตร์มาทำการวิเคราะห์โดยมีการคำนวณจากการหาค่าพารามิเตอร์ภายในอุปกรณ์มาหาค่าสัญญาณขนาดเล็กของฟังก์ชันถ่ายโอนของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท และมีการจำลองและทดสอบการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท และอัลกอริทึมการตรวจจับแรงดัน, กระแส, ความถี่ และการอาร์คของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท โดยการจำลองและทดสอบซึ่งประกอบด้วยเงื่อนไขการทดสอบ แรงดันเกิน, แรงดันตก, กระแสเกินและการอาร์ค และผลการจำลองและทดสอบเป็นที่น่าพอใจซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

PE045 การวิเคราะห์และการออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบทบแรงดันร่วมกลับทิศทางที่มีอัตราขยายสูง

ชยภัทร ประไพพรเลิศ และ พิสิษฐ์ ลิ้วธนกุล

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์และการออกแบบวงจรแปลงผัน-ไฟตรงแบบทบแรงดันร่วมกลับทิศทางที่มีอัตราขยายสูง (HGIBFC) ซึ่งเป็นวงจรที่ถูกดัดแปลงมาจากวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบทบแรงดันร่วมกลับทิศทาง (IBFC) เดิม เพื่อที่จะลดความเครียดแรงดันไฟฟ้าที่ไดโอด และตัวเก็บประจุทางด้านเอาต์พุตลงโดยขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงได้ถูกกระจายออกเป็นขดเล็ก ๆ จำนวน 4 ขด โดยใช้โปรแกรม LT Spice IV ตรวจสอบการวิเคราะห์วงจรตามทฤษฎี ซึ่งนำเสนอผ่านวงจร HGIBFC ที่มีขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต = 150 W แรงดันอินพุต = 12 VDC แรงดันเอาต์พุต = 400 VDC และความถี่สวิตช์ = 25 kHz จากการจำลองวงจรพบว่าสามารถลดแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะหยุดนำกระแสได้จาก 684 V เหลือเพียง 169 V และสามารถลดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเอาต์พุตจาก 389 V เหลือเพียง 97 V (ลดได้ถึง 75%) แต่ต้องแลกกับจำนวนอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดพิกัดต่ำกว่าได้ ซึ่งจะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตอีกด้วย อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติควรจะคำนึงถึงตัวประกอบแฝงต่าง ๆ ที่อยู่ในหม้อแปลง ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของวงจร ซึ่งนั่นจะถูกนำมาพิจารณาในโอกาสต่อไป

เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ

Solid State Circuit Breaker for Low Voltage System.

ศุภวัฒน์ คำทิพย์ กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ ณฐภัทร พันธ์คง

ศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110 Tel: 0-2549-3571 Fax: 0-2549-3422 E-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการจำลองและทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทที่ได้มาจากการวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของวงจรไอจีบีทีที่อยู่ภายในตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ 1 เฟสขณะทำการสวิตช์ตัดและต่อวงจร โดยการนำไอจีบีทีมาทำการสวิตช์มีข้อดีคือความรวดเร็วในการทำงานและไม่มีการอาร์คเกิดขึ้นเมื่อมีการสวิตช์ตัดและต่อวงจร การวิเคราะห์การสวิตช์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้นำโมเดลทางคณิตศาสตร์มาทำการวิเคราะห์โดยมีการคำนวณจากการหาค่าพารามิเตอร์ภายในอุปกรณ์มาหาค่าสัญญาณขนาดเล็กของทิงก์ชิ้นถ่ายโอนของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท และมีการจำลองและทดสอบการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท และอัลกอริทึมการตรวจจับแรงดัน,กระแส,ความถี่ และการอาร์คของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทโดยการจำลองและทดสอบซึ่งประกอบด้วยเงื่อนไขการทดสอบ แรงดันเกิน,แรงดันตก,กระแสเกินและการอาร์ค และผลการจำลองและทดสอบเป็นที่น่าพอใจซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

คำสำคัญ: เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท,ความผิดพร่อง

Abstract

The paper is proposed a small signal analysis of single-phase of Solid State Circuit Breaker (SSCB) for low voltage level of suddenly switching. The SSCB is growly developed by using the power electronics switching devices. The rapid operation and arcless are proposed on the power protection mainly devices that can operation under malfunction. The SSCB is mostly based on IGBTs switching device can be modeled on small signal averaging model by using turn-on and turn off conditions. The gate drive signals of IGBTs are generated by using malfunction detection technique. The small signal can be calculated by using Mathematical model for analysis transient and steady state conditions. The results found that SSCB can be operated under several testing condition and voltage and current signal can be express as reality behavior at turn-on and turn-off condition according to internal parasitic parameter of IGBTs and load. Experimental results can shown that current and voltage wave form in this paper.

Keywords: Solid State Circuit Breaker (SSCB), Small signal Average Model

1. คำนำ

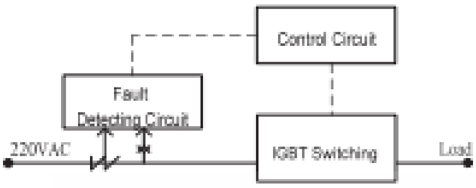
การศึกษาระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ พฤติกรรมการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน มีข้อด้อยหลายประเด็น ซึ่งเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีใช้ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆมาใช้เพื่อให้ได้คุณสมบัติ และประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีที่สุด สิ่งสำคัญที่ต้องการในระบบไฟฟ้า คือ ความเร็วขณะทำงาน ไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินสูงและสามารถทำงานได้หลายครั้งอย่างมั่นใจ

บทความ[1]นำเสนอการจำลองการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทโดยใช้ ORCAD/PSPICE การจำลองการทำงานมีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า และช่วยลดปัญหาที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้ที่สาเหตุมาจากปัญหาด้วย บทความ[2]เป็นการทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำ เมื่อเกิดการอาร์คที่หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์และการเกิดประกายไฟ ตามมาตรฐาน IEEE 1584 โดยทำการทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำของหลายบริษัทผู้ผลิต บทความ[3] เป็น การจำลองถึงผลกระทบของแรงดันเมื่อในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น ตามช่วงเวลาของการเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน มีการให้คำจำกัดความของการเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันแต่ละเหตุการณ์ เพื่อให้มีความเข้าใจต่อเหตุการณ์ และใช้ศัพท์คำจำกัดความเป็นในแนวทางเดียวกันตามมาตรฐานของ IEEE 1159 - 1995, 1995 เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์การเกิดการลัดวงจรในระบบไฟฟ้าโดยที่มีการต่อเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อใช้งานในระบบโดยมีค่าหน่วงเวลาในการตัดวงจรออกจากระบบ

บทความนี้จึงนำเสนอเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส ซึ่งกล่าวถึงอัลกอริทึมการทำงานในการตัดและต่อวงจรในสภาวะต่างๆ ของวงจร และวงจรสมบูรณ์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทการผลการจำลองและทดสอบการทำงาน และสรุป

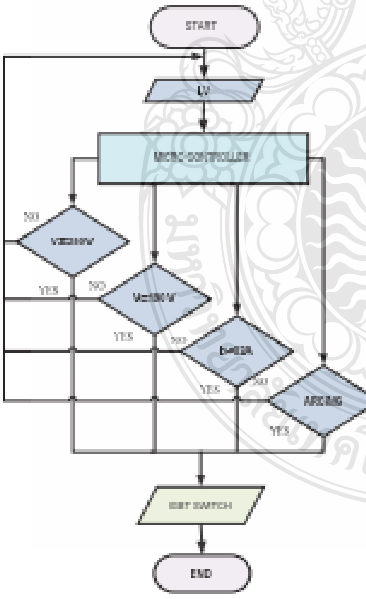
2. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท

โครงสร้างภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทประกอบด้วยไอจีบีที 2 ตัว



รูปที่ 1 โครงสร้างภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท

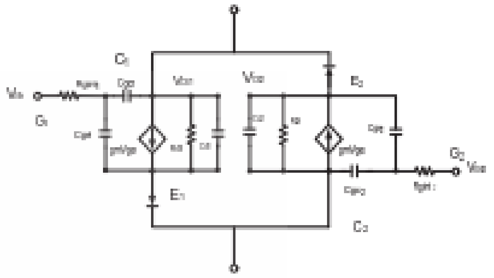
โครงสร้างภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท ประกอบด้วยไอจีบีที 2 ตัว ทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าด้านลบและด้านบวกและทำหน้าที่ในการตัดและต่อวงจร ซึ่งจะมีวงจรควบคุมการทำงานของตัวไอจีบีทีโดยจะรับคำสั่งจากตัวประมวลผล ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดจะสั่งให้ไอจีบีทีตัดหรือต่อ การทำงานของไอจีบีที เป็นไปตามอัลกอริทึมของการตรวจจับของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท ประกอบด้วยตรวจจับแรงดัน ตรวจจับกระแส และส่งสัญญาณมาที่ไปยังไมโครคอนโทรเลอร์ ประมวลผล อัลกอริทึมของการตรวจจับดังรูปที่ 2 จะมีการตรวจจับโดยรับค่าจากสัญญาณที่เกิดจากการวัดความผิดพร่องกระแสและแรงดันของระบบไฟฟ้าและประมวลผลตามเงื่อนไขของแรงดันตกแรงดันเกิน กระแสเกินและการเกิดการอาร์คของวงจร ถ้ามีและเป็นไปตามเงื่อนไขจะสั่งให้วงจรขับทำงาน วงจรไอจีบีทีทำการตัดวงจร



รูปที่ 2 อัลกอริทึมการทำงานในการตัดและต่อวงจร

3. วงจรสมมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท

การวิเคราะห์วงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท ประกอบด้วย R_{gint}, C_{ge}, C_{gc}, gmV_{ge}, R_o และ C_o

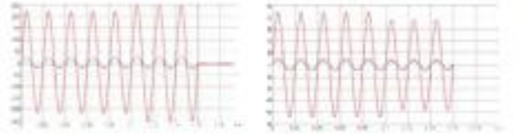


รูปที่ 3 วงจรสมมูลของการเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างๆภายในไอจีบีที

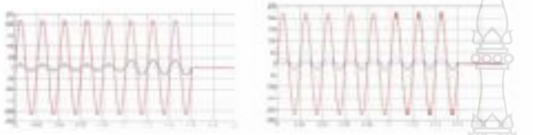
รูปที่ 3 วงจรสมมูลของการเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทซึ่งประกอบด้วยสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยใช้ไอจีบีทีเป็นตัวตัดและต่อวงจร และแสดงค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุภายในของไอจีบีที นำวงจรมาวิเคราะห์โดยนำลาปลาซทรานส์ฟอร์ม มาใช้ในการแก้ปัญหาของวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทในสภาวะชั่วครู่ ซึ่งเป็นการแปลงจากฟังก์ชันของเวลาไปเป็นฟังก์ชันความถี่เชิงซ้อน จากนั้นจัดรูปของสมการให้เหมาะสมแล้วกลับมาเป็นฟังก์ชันของเวลาอีกครั้งเป็นเพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจร

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i_1 \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_{g1}} + C_{ge}(t) + C_{gc}(t) - \frac{1}{R_{g2}} + C_{ge}(t) + C_{gc}(t) & -C_{ge}(t) - C_{gc}(t) \\ g_m - C_{ge}(t) + g_m - C_{ge}(t) & C_{ce}(t) + \frac{1}{R_{o1}} + C_{ce}(t) + C_{ce}(t) + \frac{1}{R_{o2}} + C_{ce}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ v_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (1) สามารถหาค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของแรงดันด้านออก การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ขนาดโหลด 9 โอห์ม 20 ไมโครเฮนรี่ การจำลองจะมีการตรวจสอบแรงดันเกิน เมื่อแรงดันจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 250 โวลต์และแรงดันตกจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 190 โวลต์ รูปที่ 4 สีน้ำเงินแสดงการวัดกระแส สีแดงจะวัดแรงดัน โดยเริ่มต้นจะใช้แรงดัน 220 โวลต์ เมื่อเวลาประมาณ 100 ms จะมีการปรับแรงดันขึ้นเป็น 250 โวลต์ และลดลง 190 โวลต์ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทมีการตรวจสอบพบความผิดพร่อง ไอจีบีทีจะทำการตัดวงจรเมื่อเวลา 160 ms



รูปที่ 4 การจำลองแรงดันเกินและแรงดันตกของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทขณะตัดวงจร(t:20ms/div.;V:50/div)

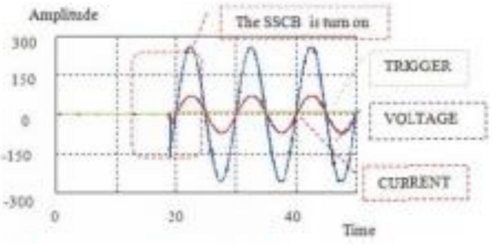


รูปที่ 5 การจำลองกระแสเกินและการอาร์คของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทขณะตัดวงจร(t:20ms/div.;V:50/div)

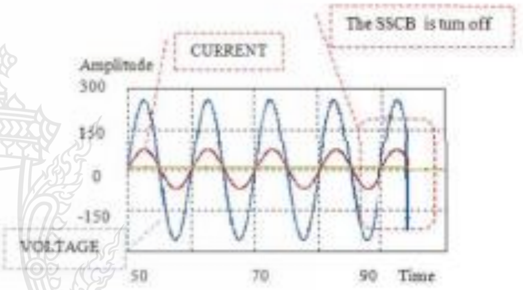
รูปที่ 5 เงื่อนไขการจะมีการจำลองการตรวจสอบกระแสเกินจะมีพิกัดกระแสไม่เกิน 32 แอมแปร์ สีน้ำเงินแสดงการวัดกระแส สีแดงจะวัดแรงดันโดยเริ่มต้นสีน้ำเงินจะใช้กระแสใช้ในการจำลอง 12 แอมแปร์ เมื่อเวลาประมาณ 10 ms จะมีการเพิ่มโหลดอีก 20 แอมแปร์รวมเป็น 32 แอมแปร์ ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทมีการตรวจสอบพบความผิดพร่อง ใช้เวลาในการประมวลผล 60 ms ไอจีบีทีจะทำการตัดวงจรเมื่อเวลา 160 ms เงื่อนไขการจะมีการจำลองการตรวจจับการอาร์คจะมีพิกัดการตรวจสอบความต่อเนื่องของลำอาร์ค โดยเริ่มต้นการใช้โหลดปกติ เมื่อเวลาประมาณ 16 ms จะมีการเพิ่มแรงดันประมาณ 5 โวลต์ ความถี่ 20-30 kHz เข้ากับแรงดันของระบบเป็นการจำลองการทำงานการเกิดการอาร์ค ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทมีการตรวจสอบพบความผิดพร่องไอจีบีทีจะทำการตัดวงจรเมื่อเวลา 160 ms

4. ผลการทดลองและทดสอบ

ผลการจำลองและทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟสได้นำโมเดลทางคณิตศาสตร์มาทำการ คำนวณหาค่าสภาวะชั่วครู่และสภาวะคงตัว เมื่อมีการเริ่มทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทจะมีการเชื่อมต่อวงจรของไอจีบีทีจะเกิดสภาวะชั่วครู่ของกระแสไฟฟ้าและต่อมาก็จะเกิดสภาวะคงตัวของวงจร การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการจำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ได้จากคู่มือของ ไอจีบีที มีการกำหนดค่าในการคำนวณค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุภายในตัวไอจีบีทีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ ผลการจำลองการต่อวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ผลการจำลองที่ได้จากการวัดสัญญาณขนาดเล็กและโหลด กระแสภายในไอจีบีทีที่ผ่านส่วนที่สำคัญที่มีผลต่อสัญญาณในการสวิตช์ ดังแสดงในรูปที่ 6 สัญญาณเริ่มทำงาน 18 ms จนถึง 50 ms เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทเริ่มทำงาน จะมีสภาวะชั่วครู่ที่เกิดจากค่าพารามิเตอร์ภายในของไอจีบีทีและค่าอิมพีแดนซ์ของโหลด ค่าแรงดันที่ใช้ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ และค่าความต้านทานของโหลด 9 โอห์ม ค่าเหนี่ยวนำ 20 ไมโครเฮนรี่

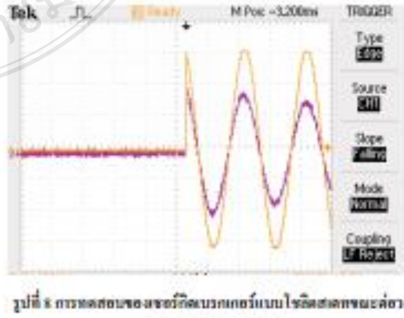


รูปที่ 6 การจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทขณะต่อวงจร (t:5ms/div.;V:200/div)

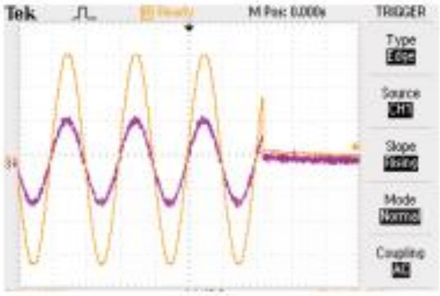


รูปที่ 7 การจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทขณะตัดวงจร (t:5ms/div.;V:200/div)

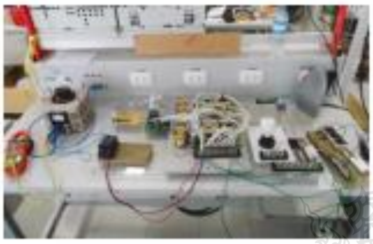
ผลการจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทตัดวงจร เมื่อวงจรอยู่ในสภาวะคงตัวจาก 50 ms ถึง 95ms มีการตัดวงจรในรูปที่ 7 การวัดผลการทดสอบของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทขณะต่อวงจรแบบสภาวะปกติ ค่ากระแสแสดงที่สัญญาณสีชมพู ค่าแรงดันจะแสดงสัญญาณสีเหลืองที่ใช้ทดสอบ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ โหลดขนาด 200 วัตต์ ดังรูปที่ 8 การวัดตอนเริ่มต้นจะใช้เมนูทิกเกอร์ในการจับสัญญาณเริ่มต้นของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทตอนทำงาน



รูปที่ 8 การทดสอบของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทขณะต่อวงจร (t:5ms/div.;I:0.5A/div)



รูปที่ 9 การทดสอบของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทขณะตัดวงจร (t:5ms/div.;I:0.5A/div)



รูปที่ 10 เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทที่ใช้ทดสอบ

ผลการทดสอบของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทขณะที่ตัดวงจร เมื่อวงจรอยู่ในสภาวะคงตัว มีการตัดวงจรในรูปที่ 9 ดังนั้นการเปรียบเทียบการทดสอบและการทดลองในห้องปฏิบัติการมีความใกล้เคียงกันมาก รูปที่ 10 แสดงชุดทดสอบของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท ประกอบไปด้วยชุดการทดสอบแรงดันตกและแรงดันเกิน ชุดการทดสอบการอาร์คในน้ำและผงคาร์บอน ชุดทดสอบกระแสเกิน และโหลดทดสอบแบบต่างๆในศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้าและพลังงานทดแทน

5. สรุป

จากผลการจำลองและทดสอบการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตท เมื่อมีความผิดปกติของรูปคลื่นไฟฟ้าเกิดขึ้น เช่น ความผิดพร่องในระบบไฟฟ้า กระแสเกิน แรงดันตก แรงดันเกิน และการการอาร์คในระบบไฟฟ้า จะเห็นได้ว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตทสามารถที่จะตรวจจับและสั่งการทำงานตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อเกิดปัญหาได้อย่างถูกต้องตามที่ออกแบบไว้

เอกสารอ้างอิง

[1] Supawat K, Nathabhat P, and Krischonme B, "Simulation of SSCB UsingIGBTs Model based on ORCAD/PSPICE program,"11th EMSES, 2013.

[2] Zhiping Yang, Hongkun Chen, and et al, "Dynamic Simulation of the Overvoltage for Fault Current Limiter," IEEE, 2011.

[3] William Long and Member IEEE, "Low- voltage Powercircuit Breaker Comparison of Test Requirement," International Electro technical Commission standard. IEC 60947-2.

[4] IEEE Standards Board, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality, IEEE STD 1159-1995, Approved 1995.

[5] Vineeta Agarwal, "A Mathematical Model for IGBT," Asian Power Electronics Journal, Vol2, No 1Apr 2008.

The 18th International Conference on Electrical Machines and Systems

Pattaya City, Thailand

ICEMS Pattaya 2015

ICEMS 2015

October 25-28, 2015

Final Program

Sponsored by : EEAAT (Electrical Engineering Academic Association (Thailand))

Organized By : EEAAT (Electrical Engineering Academic Association (Thailand))

IEEE Joint IAS/IES/PELS Thailand Chapter

Co-Organized By : CES (China Electrotechnical Society)

IEEJ (The Institute of Electrical Engineers of Japan)

KIEE (The Korean Institute of Electrical Engineers)

Technical Co-Sponsor : IEEE Industry Applications Society

27P5-5	**Asymmetric Fault Ride-Through Characteristic Analysis of Dual Stator-Winding Induction Generator Wind Power System** Kai Shi, Zengqiang Wan, Peifeng Xu, Kerong Liu *School of Electrical and Information Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, China*
27P5-6	**Steady-State Voltage Stability Analysis and Improvement Strategies of Microgrid With Double Fed Induction Wind Generator** Zhuoli Zhao, Ping Yang, Timothy_C. Green, Yiwei Ma, Zhirong Xu *School of Electric Power, South China University of Technology, China; Department of Electrical and Electronic Engineering, Imperial College London, U.K.*
27P5-7	**Zero Dead-time PWM Implementation Method for Reducing Total Harmonic Distortion in 3-Level NPC Inverter** Yong Kan, Seung-Wook Hyun, Seok-Jin Hong, Chung-Yuen Won *Sungkyunkwan University, South Korea*
27P5-8	**Analysis of DC Bus Overvoltage in Parallel Photovoltaic Systems** Lan Wang, Zhenxing Wu, Liang Zhou, Jun Kang *National Key Laboratory for Vessel Integrated Power System Technology, Naval University of Engineering, China*
27P5-9	**Fuzzy control strategy of energy storage for Wind-Storage System** Xiao Yang, Chunjuan Jia, Pei Zhang, Fengjun Yi, Zike Sun *College of Electrical Engineering, Shandong University, China*
27P5-10	**The Operating Method of Micro-grid including Distributed Power** Min-Ho Shin, Kyu-Bum Kim, Young-Hoon Park, Chung-Yuen Won *Sungkyunkwan University, South Korea*

Session 27P6 Various Topics of Machines, Electric Vehicles and Cooling Techniques

Time: Poster Sessions Start at 9:15 and End at 11:50, October 27, Tuesday

Session Chair : Dr. Chonlatee Photong

Venue: Foyer 2

27P6-1	**Comparison between Mechanical Circuit Breaker and Solid State Circuit Breaker under Abnormal Conditions for Low Voltage Systems** Supawat Kamtip, Krischonme Bhumkittipich *Rajamangala University of Technology Thanyaburi , Thailand*
27P6-2	**Operating Characteristics of Different Inner Evaporative Cooling Systems of generators** Haihong Dong, Lin Ruan, Shuqin Guo *Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing, P.R. China*

Comparison between Mechanical Circuit Breaker and Solid State Circuit Breaker under Abnormal Conditions for Low Voltage Systems

Supawat Kamtip* and Krischonme Bhumkittipich†
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

Abstract **— This paper presents the comparison between mechanical circuit breaker and solid state circuit breaker under abnormal conditions for low voltage systems. According to the mechanical circuit breaker, the operation was limited on the fault types, detection method and operation error. The solid state circuit breaker is proposed to protect those events using Thyristor as switching device and detection controller in single phase power system. The design shows the operation scheme under 220V, 30A rating by using in low voltage system for supporting the smart home in the future. The simulation result showed that the comparison between mechanical circuit breaker and solid state circuit breaker under abnormal conditions. The paper can verify that this study can be designed the method of novel solid state circuit breaker for future applications.**

Index Terms **—mechanical circuit breaker, solid state circuit breaker, Thyristor, low power system, smart home.**

I. Introduction

The power distribution system is currently operated under serious consideration by power system engineers in order to maintain the power system stability. The future electrical power requirements are expected to support power transmission capable of integrating a range of conventional sources, alternative sources and storage systems, with a range of voltages, frequencies, and power levels. The new energy management system or "smart-grid" was introduced into power system. The management system of generation, transmission and demand side were controlled under the concept of bidirectional power and bidirectional communication system. The smart protection device is also integrated into smart-grid for improving the novel power system protection.

In the past, the mechanical circuit breaker (MCB) is the power protection device that is used to detect the abnormal condition in low voltage systems. The MCB is a switching device which can open or close a circuit in a small fraction of time, being its purpose the establishment or interruption of the circulation of current through the circuit under usual or unusual working conditions [1]. The interruption process of the current in a MCB is always carried out by an electric arc. This process begins when the movable contact starts to separate between electric source and load. As a consequence, the contact area between contacts decreases and current density gets larger, until the energy associated with this process causes the metal of the contacts to begin to vaporize and an arc appears. In spite of the existence of a physical separation of the switching contacts, the established arc makes possible that current continues flowing. Therefore, the current interruption involves the extinction of the electric arc, which is achieved when the interrupting medium between contacts becomes again an isolating medium [1]. Fig. 1 shows two modes operation of MCB; namely, turn-on operation and turn-off operation. First mode, the MCB contact is tuned-on which the operating mechanism held in place the trip mechanism. When the faulted occurred, the trip mechanism is operated and the MCB contacted is turned-off.

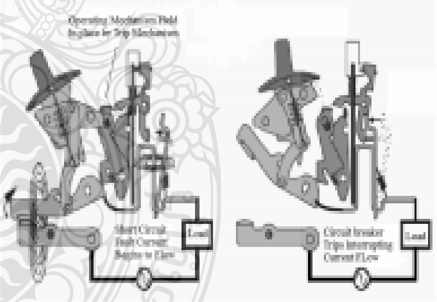


Fig.1. Operation of mechanical circuit breaker under turn-on and turn-off [3].

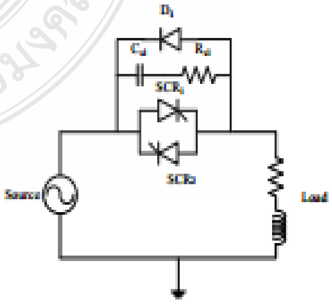


Fig.2. Equivalent circuit of solid state circuit breaker.

* Supawat Kamtip is Master Student in Electrical Engineering with CoE on Research and Teaching in Power and Energy System, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, THAILAND, 12110.

† Krischonme Bhumkittipich is corresponding author and with CoE on Research and Teaching in Power and Energy System, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, THAILAND, 12110, e-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th.

978-1-4799-8805-1/15/$31.00 ©2015 IEEE

On the other hand, the solid state circuit breaker (SSCB) is growly developed by using the power electronics devices. The rapid operation and arcless are proposed of the power protection mainly devices that can operate under current and voltage abnormally. The SSCB is mostly based on thyristor switching device which can be modeled using turn-on and turn off conditions. The gate drive signals of Thyristors are generated using current and voltage detection technique. Fig. 2 shows the equivalent circuit of SSCB that consists of electric source, load, two SCRs and snubber circuit. The two SCRs or thyristor is operated when the abnormal condition occurred in upstream or downstream of SSCB. The driver circuit needs to generate the current source for thyristor. The surge arrester is also included into the SSCB equivalent circuit for protecting the surge or spike waveform form source.

The rest of this paper is organized as follows: section 2 presents the mechanical circuit breaker. The solid state circuit breaker is proposed in section 3. Section 4 proposes the comparison between mechanical circuit breaker and solid state circuit breaker under abnormal condition. The simulation result is showed in section 5 and finally, conclusion and discussion are given in section 6.

II. Mechanical Circuit Breaker

As previous section explained, the MCB is a switching device which can open or close a circuit in a small fraction of time, being its purpose the establishment or interruption of the circulation of current through the circuit under usual or unusual working conditions. Their working base is the electric arc that appears between their contacts when establishing or interrupting the electric current in the circuit. This electric arc is complex phenomenon where lots of physic interactions take place in a very short time. Therefore, the optimization of the operation of low voltage circuit breaker makes necessary a deep understanding of phenomena involved in the appearance electric arc. The operation of MCB is showed in Fig. 1 that consists of turn-on operation and turn-off operation [2].

$$dg_a / dt = d / dt(i_a / v_a) = (i_a dv_a / dt - v_a di_a / \mathrm{dt}) / v_a^2 \quad (1)$$

$$dv_a = \left((1/\theta)\left((v_a / E_0)^2 - 1.0\right) + (1/i_a) di_a / dt\right) v_a dt \quad (2)$$

where q_a is the conductivity of arc, v_a is the voltage across the arc, i_a is the current through the arc, τ is the arc time constant, θ is the angle between voltage and current arcs and E_0 is the constant arc voltage.

Arc electric models can be classified in different groups [5]. Thus, the following three groups are established: physical models, "Black box" models and models based on graphics and diagrams [6]. An example is the case where the characteristics of arc voltage are obtained experimentally. These characteristics can be used to estimate the arc-circuit interaction and can be expressed as shown in equation (3) [3]:

$$V_{Arc} = k \cdot f(i, P_S, L) \quad (3)$$

where V_{Arc} : Arc voltage , k: Characteristic constant of the switch and dependent on the geometry, gas type and pressure, i: Instantaneous current, P_S: Stagnation pressure in the arc area and L: Arc length. In particular, the arc models incorporated in the Arc Model Blockset are: Cassie, Siemens/Habedank, KEMA, Mayr, Modified Mayr, Schavemaker and Schwarz in MATLAB Blockset [3].

III. Solid State Circuit Breaker

To interrupt the current, the SSCB must rapidly insert an energy-absorbing element into the circuit to limit the fault current. In addition to limiting the fault current, the SSCB can also limit the inrush current, even for capacitive loads, by gradually phasing in the switching device rather than making an abrupt transition from an open to a closed position [4]. A SSCB can offer the following advantages :limited fault current, limited inrush current, over voltage, even for capacitive loads, repeated operation with high reliability, reduced switching surges, improved power quality for unfaulted line [5].

According to improve the SSCB operation, SSCB is controlled by voltage or current source depended on the power electronics devices. There are many ways to implement the proposed driving device. Since it wants to provide sub-half cycle current limiting, they need to either use semiconductor devices with turn-off capability such as GTO, IGBT or IGCT or to use an thyristor switch together with a forced commutation circuit. The option offers the advantage of simple power circuit and very high speed operation. In contrast to motor drive applications, the switching loss of these devices turns out to be a minor issue in this application. Thyristor is selected in this study because it is based on the current limiting and simple driver circuit. The basically diagram of SSCB is operated of the microcontroller environment, and the switching on/off can be connected by using Thyristor performance as showed in Fig.3 [6]-[10]. The microcontroller unit (MCU) and signal conditioning are used the detect the abnormal conditions of power system and commands to Drive SCR block for generating the driver signal of thyristor.

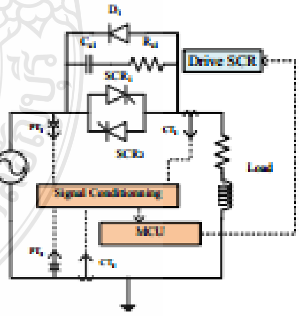


Fig.3. Block diagram of SSCB for low voltage applications

The main operation of SSCB is the detection method of abnormal conditions. There are many methods to measure and to detect the abnormal case in low voltage system. The root-mean-square (*rms*) method is proposed for overcurrent condition that uses a following equation (4) [12]:

$$v_i^{rms} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{i+N-1} v_j^2} \qquad (4)$$

where N is the samples per cycle of the fundamental, v_j is the jth sample of the recorded voltage waveform, v_i^{rms} is the ith sample of the calculated *rms* voltage and v_{rms} is delayed relative to the phase voltage by N-1 sample points due to the N-sample window.

The peak detection can be used to overvoltage condition. The following equation can be used to calculate voltage variation:

$$v_{peak} = \max\left|v(t-\tau)\right| 0 < \tau < t \qquad (5)$$

where $v(t)$ is the sampled waveform and t is an integer of one half cycle. For each sample, the maximum of the absolute value of the overvoltage the preceding half cycle is calculated.

The earth leakage current detection method is proposed the comparison of input value and output value of voltage or current as expressed in equation (6) below:

$$i_{com} = i_{in} - i_{out} > 25\text{mA} \qquad (6)$$

where i_{com} is the command signal for SSCB, i_{in} is the input value of current and i_{out} is the output value of current. If i_{com} is more than the reference of earth leakage current (25 mA) under IEC standard, the driver circuit will generate the signal to turn-off the SSCB.

IV. Comparison between MCB and SSCB

The comparison between MCB and SSCB can be divided into two parts. The first part is structure of circuit and the second part is detection case. The structure of MCB as showed in Fig. 1, it is a switching device that can open or close a power circuit in a small time, being its purpose the establishment or interruption of the circulation of current through the circuit under usual or unusual working conditions. The interruption process of the current in a MCB is always carried out by an electric arc and magnetization process. The SSCB is power electronics switching that controlled the gate driver by current source. The detection method of both circuit breaker can be only compared two types of abnormal condition in the low voltage system which is the over current and short circuit. The voltage changing condition, the MCB cannot detect and operation any range of voltage variation. Table 1 shows the comparison of operation time when the abnormal case occurred in the power system. It found the SSCB can operate faster than MCB under both abnormal conditions.

Fig. 3 shows load current and voltage waveform when SSCB tune-off operation on undervoltage condition. It is found that the power electronics switch will turn-off after 3 cycles of current waveform. Fig. 4 shows the operation of SSCB when over current occurred and Fig.5 shows the operation of SSCB when short circuit occurred at load side. The detection method of SSCB is detected current/voltage signal using *rms* detection.

Table 1. Operation time of SSCB and MCB when turn-off condition

	Over current	Short Circuit
SSCB	60-100 ms	10-30 ms
MCB	3-100 s	0.1-1 s

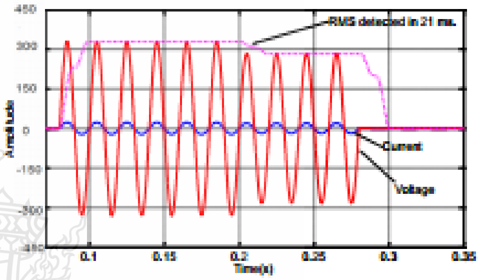


Fig.3. Turn-off state of SSCB when under voltage occurred.

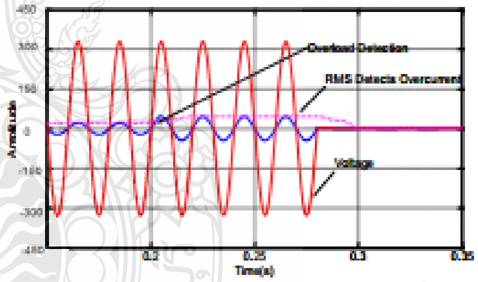


Fig.4. Turn-off state of SSCB when overcurrent occurred.

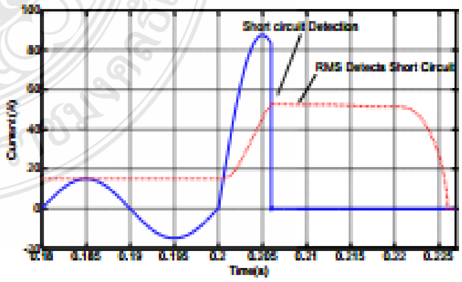


Fig.5. Turn-off state of SSCB when short circuit occurred at load side.

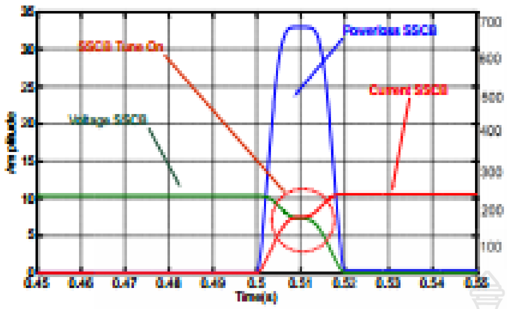


Fig.6. Power loss at Turn-on state of SSCB under normal condition.

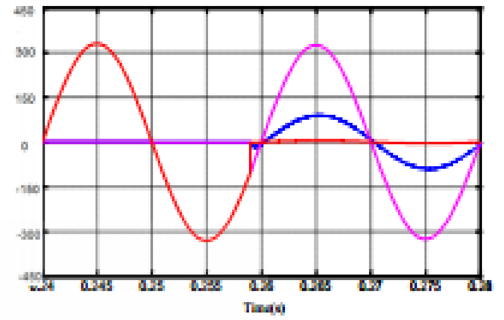


Fig.8. Turn-on state of MCB under normal condition.

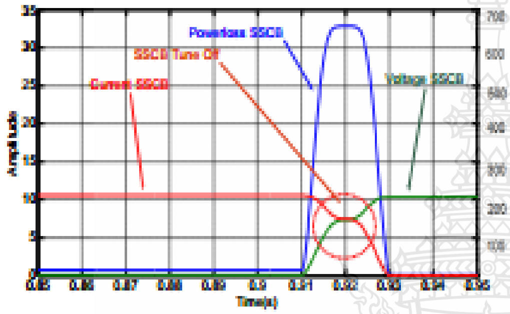


Fig.7. Power loss at Turn-off state of SSCB under normal condition.

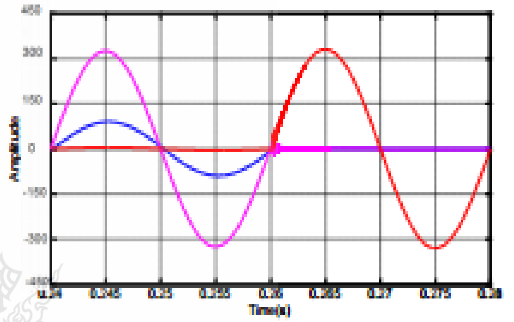


Fig.9. Turn-off state of MCB under normal condition.

Fig.6 shows three signals of SSCB when turn-on under normal condition using forced signal. The turn-on time is stared at 50 ms and stop at 52 ms. The power loss of SSCB during turn-on and turn-off states will occur and change to heat on SSCB. Fig.7 also shows the three signals of SSCB but in case of turn-off under normal condition using forced signal. The turn-off conditions is started at 91 ms and stop at 93 ms. The maximum power loss is 33 W within 2 ms.

V. Simulation Results

The simulation results are carried-out by using MATLAB/Simulink program. The equivalent circuit of MCB and SSCB can modify into electrical circuit blockset. The parameter of case study consists of 220V, 50Hz voltage source, 14.6Ω, 20 μH load and. MCB rating is 250V, 30A, 50Hz and SSCB rating 250V, 30A with 40A thyristor switch.

Fig.8 and Fig. 9 show the MCB voltage and Load current when turn-on and turn-off condition, respectively. The turn-on time is stated at 26 ms and tune off time is stopped at 35 ms. The electric arc occurred on the mechanical contact during turn-on and turn-off time. In the opposite way, Fig. 10 and Fig. 11 show the voltage and current waveform of SSCB under turn-on and turn-off condition, respectively. The turn-on time is stated at 25 ms and tune off time is stopped at 35 ms. The SSCB operation during turn-on and turn-off condition has arcless and rapid operation compared to MCB.

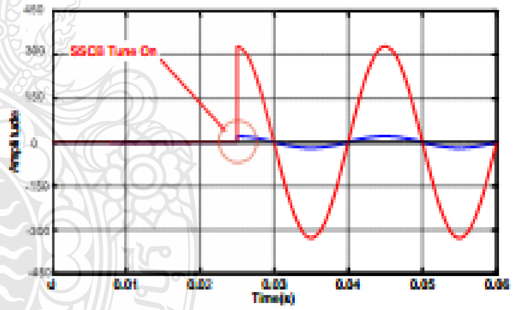


Fig.10. Turn-on state of SSCB under normal condition.

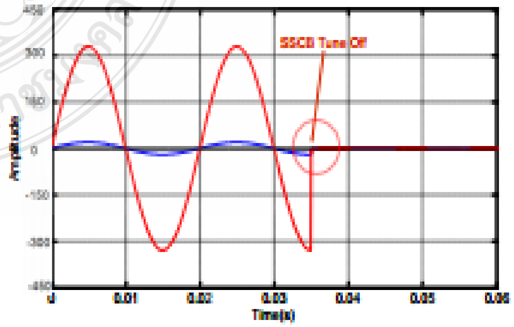


Fig.11. Turn-off state of SSCB under normal condition.

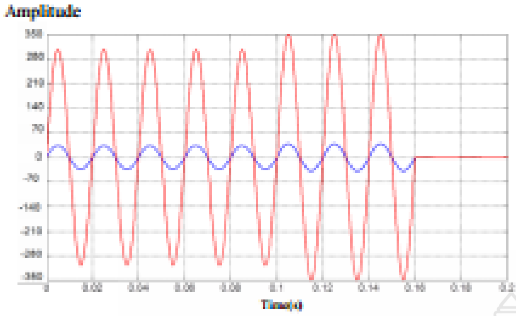


Fig.12.SSCB operation when overvoltage occurred.

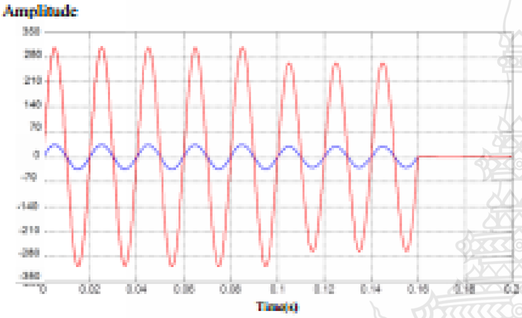


Fig.13. SSCB operation when undervoltage occurred.

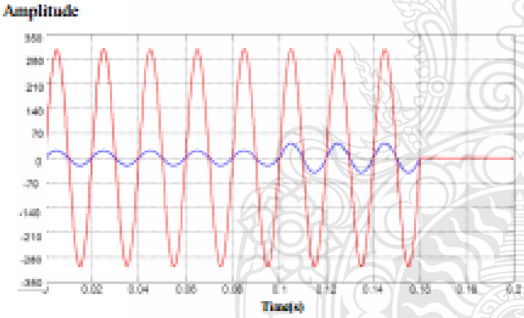


Fig.14. SSCB operation when overcurrent occurred.

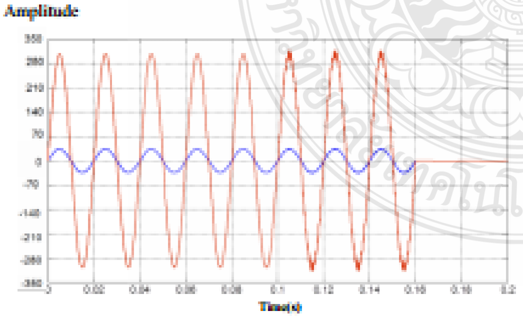


Fig.15. SSCB operation when arcing occurred.

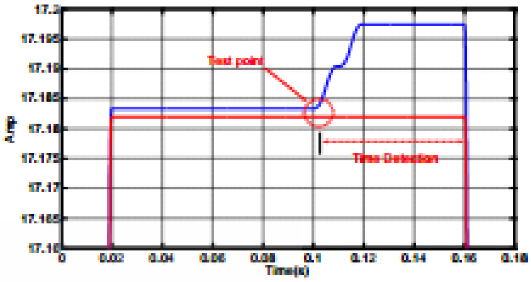


Fig.16. Time detection of earth leakage current.

Fig.12 to Fig. 15 show the operation of SSCB when overvoltage, undervoltage, overcurrent and arcing occurred, repectively. The rms detection method is used for overvoltage, undervoltage, overcurrent dectection. The demoduration method is used for arcing dectetion because the curent waveform during arcing was not sinusoidal waveform.

Fig.16 shows Time detection of earth leakage current before generate the driving signal for SSCB. The reference of earth leakage current is not more than 25 mA. If earth leakage current more than 25 mA at 100 ms, the command signal will generate the driving gate signal for SSCB at 160 ms. Therefore, the time detection is 60 ms.

VI. Conclusion

The comparison between MCB and SSCB is presented in this paper. The simulation result showed the turn-off and turn-on condition under normal and abnormal condition of MCB and SSCB. Moreover, the overvoltage, undervoltage, overload and arcing operations are also detected and controlled using signal conditioning methods. The SSCB selected the thyristor as power switch device. The case study under proposed designing used home applications as low voltage system for supporting the smart home in the future. The simulation results showed that the performance comparison between MCB and SSCB in order to ensure and verify this study for future applications.

References

[1] R. D. Garzon, High Voltage Circuit Breakers. Design and Applications. Marcel Dekker, 2002.

[2] T. E. Browne, Circuit Interruption. Theory and Techniques. Marcel Dekker, 1984.

[3] J. H. Brunke, "Circuit Breakers: Past, present and future," Electra, vol. 208, June, 2003.

[4] Supawat K, Nathabhat P, and Krischonme B, "Simulation of SSCB Using IGBTs Model based on ORCAD/PSPICE program,"11th EMSES, 2013.

[5] IEEE Standards Board, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," IEEE Standards, IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality: IEEE STD 1159-1995; Approved;1995.

[6] Klingbeil, L Kalkner, W Heinrich, and et al, "Fast Acting Solid-State Circuit Breaker using state-of-the-art power electronic devices", EPE, Graz ;2001.

[7] De Doncker, R. W, "Recent Power Electronics Developments for FACTS and Customed Power", Korea Germany Advanced Power Electronics Symposium;1998.
[8] Jay R. Prigmore, Student Member, "Comparison of Four Different Types of Ferromagnetic," IEEE. July 2013, p.1491 – 1498.
[9] William Long, Member IEEE, "Low- voltage Powercircuit Breaker Comparison of Test Requirement," International Electro technical Commission standard. IEC 60947-2.
[10] IEEE Standards Board, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality, IEEE STD 1159-1995, Approved 1995.
[11] Vineeta Agarwal, "A Mathematical Model for IGBT," Asian Power Electronics Journal, Vol2, No 1Apr 2008.
[12] Daud, K., et al. "New windowing technique detection of sags and swells based on continuous S-Transform (CST)', Proceeding on IJNCAA 2(4): 550-555

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาย ศุภวัฒน์ คำทิพย์
วัน เดือน ปี	11 ตุลาคม 2526
ที่อยู่	10/1 หมู่ 5 ต.ฝายหลวง อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์ 53130
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อ พ.ศ. 2547
ประสบการณ์การทำงาน	วิศวกรไฟฟ้า บริษัท ฟูจิสึ (ประเทศไทย) จำกัด ผู้ช่วยวิจัย ศูนย์วิจัยพลังงานทดแทนและระบบไฟฟ้า มทร.ธัญบุรี อาจารย์ผู้ช่วย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีพ.ศ. 2557 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	086-5230321
อีเมล์	supawatkamtip@gmail.com