HIGH VOLTAGE SWITCHGEARS

โดย

นาย ทรงกลด จันทะรัง

Songklot Chantharung

นาย ประดิษฐ์ ริมพิชพันธ์

Pradit Rimphushpunt

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.นิทัศน์ กฤษณะจินดา

อ.สมเจตน์ เทียมเมือง

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

026970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2532

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง HV.SWITCHGEARS

ผู้จัดทำ

1. นาย ทรงกลด จันทะรัง 291069

2. นาย ประดิษฐ์ ริมพิชพันธ์ 291125

----------อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.นิทัศน์ กฤษณะจันดา)

----------อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.สมเจตน์ เทียมเมือง)

026970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22 พ.ย. 2553

HIGH VOLTAGE SWITCHGEAR

นายประดิษฐ์ ริมพิชพันธ์ 291125
นายทรงกลด จันทะรัง 291069
อ. นิทัศน์ กฤษณะจินดา อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. สมเจตน์ เทียมเมือง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

ในระบบไฟฟ้ากำลัง สิ่งที่เป็นสิ่งสำคัญในระบบป้องกันก็คือ สวิตช์เกียร์ การศึกษาเรียนรู้ถึงสวิตช์เกียร์ที่มีใช้อยู่ในระบบจึงมีความสำคัญมาก

ดังนั้นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการแนะนำเรื่องราวต่างๆที่เป็นส่วนประกอบของสวิตช์เกียร์ ซึ่งก็คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์

เซอร์กิตเบรกเกอร์มีหลายประเภท แบ่งได้ตามชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการดับอาร์ค เช่น SF_6 เซอร์กิตเบรกเกอร์ , OIL เซอร์กิตเบรกเกอร์ ฯลฯ ในปัจจุบันนี้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ SF_6 นี้มีบทบาทมากขึ้น อันเนื่องมาจากความได้เปรียบเซอร์กิตเบรกเกอร์ประเภทอื่น หลายๆด้าน

ดังนั้นจึงจะได้กล่าวถึงเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้เป็นพิเศษ นอกจากนี้ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ยังได้บรรจุเรื่องราวต่างๆที่เกี่ยวข้องกับเซอร์กิตเบรกเกอร์เอาไว้ เช่น การทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ผลิตขึ้นมาให้มีมาตรฐานดังที่กำหนด , การบำรุงรักษาเซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HV. SWITCHGEARS

MR.SONGKLOT CHANTHARUNG

MR.PRADIT RIMPUSHAPUNT

MR.NITHAS KRISNACHINDA

MR.SOMCHATE TIEMMUANG

(ADVISOR)

1989

ABSTRACT

IN POWER SYSTEM PROTECTION, ONE OF THE MOST IMPORTANT EQUIPMENT IS SWITCHGEAR. SO IT'S NECESSARY TO LEARN ABOUT SWITCHGEARS IN THE POWER SYSTEM

FOR THIS REASON, THIS THESIS WILL INTRODUCE TO THE STORY ABOUT THE COMPONENTS OF SWITCHGEARS.IT IS THE CIRCUIT BREAKER.

THERE ARE MANY KINDS OF CIRCUIT BREAKERS. THAT IS SEPARATED BY THE KINDS OF ARC EXTINGUISHER SUCH AS SF_6 CB., OIL CB.AND ETC. NOW, SF_6 CB. IS EXTREMLY USED BECAUSE IT HAS THE ADVANTAGE OF THE OTHERS ONE.

SO THIS THESIS IS SPECIALLY CONTAINED OF THE STORY ADOUT CIRCUIT BREAKER,i.e. SPECIFICATION AND TESTING FOR CIRCUIT BREAKER,CIRCUIT BREAKER MAINTENANCE ETC., ESPECIALLY SF_6 CIRCUIT BREAKER.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1.	สวิตช์เกียร์	
	บทนำ	2
	การปิดวงจรในระบบไฟฟ้า	4
	ขั้นตอนการทำงานของสวิตช์เกียร์	5
	อินเทอร์รัพเตอร์	8
บทที่ 2.	เซอร์กิตเบรกเกอร์	
	แอร์เบรกเซอร์กิตเบรกเกอร์	12
	แอร์บลาสต์เซอร์กิตเบรกเกอร์	15
	ออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์	19
	แก๊สเซอร์กิตเบรกเกอร์	30
	แวกคัมเซอร์กิตเบรกเกอร์	33
บทที่ 3.	operating mechanism	38
บทที่ 4.	SF_6 เซอร์กิตเบรกเกอร์	
	ลักษณะดีเด่น	47
	คุณสมบัติของSF_6	48
	คุณสมบัติของสารฉนวน	51
	คุณสมบัติของการอาร์ค	52
	ผลกระทบของการอาร์คต่อ SF_6	54
	การดับอาร์ค	55
	สภาพความร้อน	56
	ความทนของสารฉนวน	61
	ความสามารถในการตัดกระแส	63
	แก๊สผสมระหว่าง SF_6กับ N_2	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5. การทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์

วิธีทดสอบ 67

บทที่ 6. การบำรุงรักษาเซอร์กิตเบรกเกอร์

การบำรุงรักษาประจำวัน 71

การบำรุงรักษาประจำเดือน 72

การบำรุงรักษาประจำ 3เดือน 73

การบำรุงรักษาประจำปี 74

การ overhaul 75

การตรวจสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ 77

หนังสืออ้างอิง 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

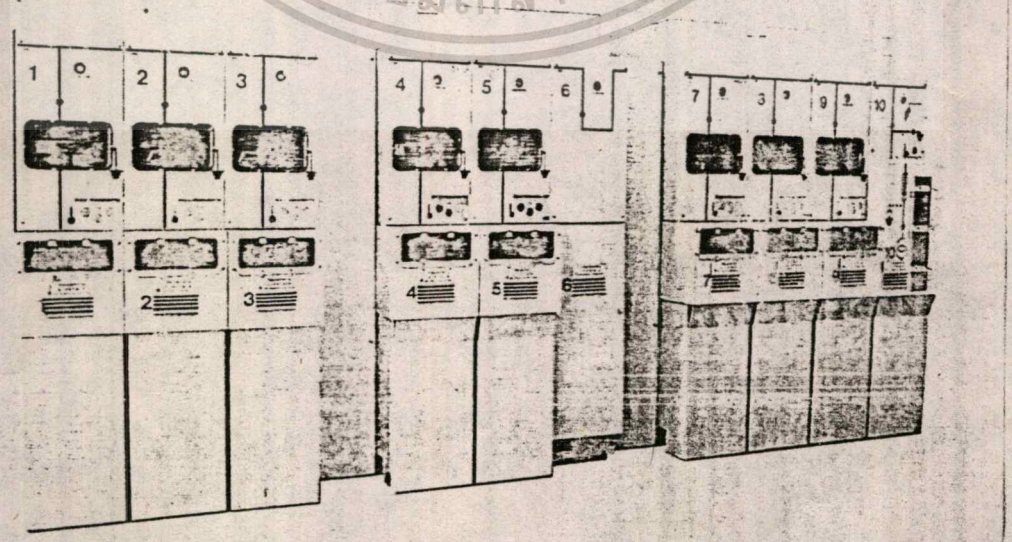
สวิตซ์เกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตช์เกียร์

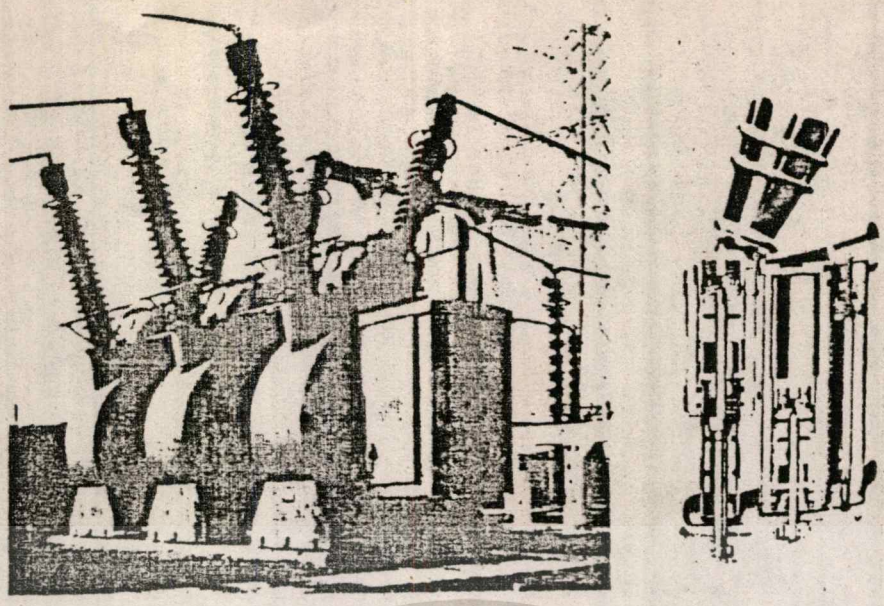
บทนำ การเปิดวงจรไฟฟ้าในขณะที่มีกระแสจำนวนมากไหลอยู่จะมีเปลวอาร์คเกิดขึ้น ณ.จุดที่เปิดวงจรนั้น ความรุนแรงของอาร์คจะขึ้นอยู่กับแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร หากแรงดันไฟฟ้าและกระแสที่ไหลยิ่งมีค่ามากเท่าใด ความรุนแรงของอาร์คจะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น การเปิดวงจรในระบบที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงและมีกระแสไหลอยู่เป็นจำนวนมาก เช่นนี้ จำต้องใช้อุปกรณ์ตัดตอนกระแสที่มีประสิทธิภาพสูง และ ทนทานต่อความดัน(stress) ที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะปกติและผิดปกติ อุปกรณ์ตัดตอนกระแสและอุปกรณ์ประกอบที่เกี่ยวข้องในการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวโดยตรง รวมเรียกว่า สวิตช์เกียร์(switchgear)

สวิตช์เกียร์จึงเป็นคำกล่าวโดยทั่วไป ซึ่งมีความหมายครอบคลุมถึงอุปกรณ์สำหรับปิดเปิดวงจรไฟฟ้า และ สามารถตัดกระแสขณะมีโหลดหรือมีฟอลท์ได้ ส่วนอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวโดยตรง ซึ่งได้แก่ ชุดควบคุม ชุดเครื่องวัด ชุดป้องกัน ชุดเรคกูเรติ้ง(REGULATING DEVICE) และยังรวมถึงส่วนต่างๆ ของอุปกรณ์ดังกล่าวที่ต่อร่วมกัน ชิ้นส่วนประกอบอื่นๆ (Accessories) โครงห่อหุ้มอุปกรณ์(Enclosure) และ โครงยึดอุปกรณ์ (Supporting structure)



รูปที่ 1 ตู้สวิตช์เกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2 Dead tank circuit breaker 300/330 kv

สวิตช์เกียร์มีจุดประสงค์หลักสำหรับใช้อุปกรณ์ป้องกันในระบบผลิตไฟฟ้า ระบบสายส่ง ระบบจำหน่าย มอเตอร์และอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ

อุปกรณ์หลักของสวิตท์เกียร์ คือ ชุดอุปกรณ์ตัดตอนกระแสหรือที่เรียกว่า "เซอร์กิตเบรคเกอร์" ซึ่งเซอร์กิตเบรคเกอร์โดยทั่วไป จะแบ่งส่วนที่สำคัญได้เป็น ๒ ส่วน คือ

๑. อินเตอร์รัพเตอร์(Interupter) คือส่วนที่ทำหน้าที่ปิดเปิดวงจร และดับอาร์ค

๒. โอเปอเรติ้ง เมกกานิซึม(Operating Mechanism)คือส่วนที่เป็นกลไกกำกับการทำงานของอินเตอร์รัพเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปิดวงจรในระบบไฟฟ้า

นอกจากการใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับปิดเปิดวงจรในสภาวะปกติแล้ว ประโยชน์อันสำคัญยิ่งอีกๆ ก็คือใช้ Trip วงจรเมื่อเกิดฟอลท์หรือเกิดลัดวงจรขึ้น ซึ่งกระแสฟอลท์อาจมีค่าสูงเป็นหลายๆเท่าของกระแสใช้งานปกติ (normal current) และอาคท์ก็จะรุนแรงไปตามส่วนด้วย การทริปวงจรในกรณีนี้จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์อื่นประกอบ เพื่อช่วยให้เซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถทำงานตัดวงจรได้โดยอัตโนมัติและสามารถสับวงจรเข้าไปใหม่(reclose) ได้โดยอัตโนมัติตามจำนวนครั้งที่ตั้งไว้ และเมื่อฟอลท์ได้ผ่านพ้นไปแล้ว(clear)ก็จะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ต่อไปตามปกติ การใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ในลักษณะนี้ จึงเป็นการอำนวยความสะดวก ให้ความปลอดภัยต่อระบบและให้ความมั่นคง(Reliability)แก่ระบบอีกด้วย ซึ่งพอจะสรุปหน้าที่การทำงานของเซอร์เบรกเกอร์ได้ดังนี้

๑.Normal swiching คือการปิดเปิดวงจรในสภาวะที่ไม่มีกระแสไหลหรือมีกระแสโหลดปกติ

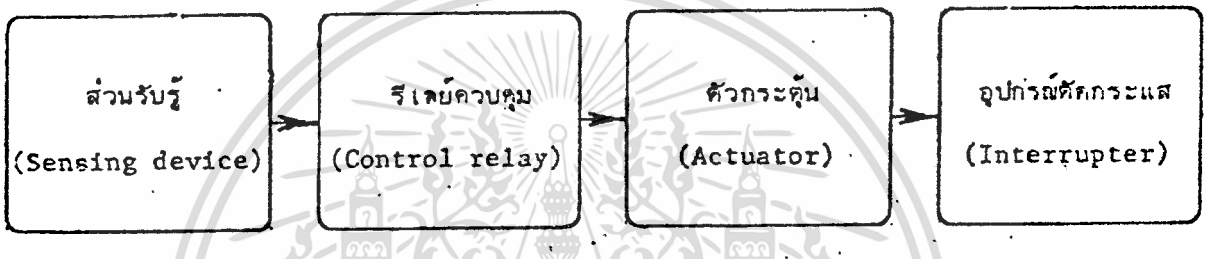
๒.Fault interruption คือการทริปวงจรเมื่อเกิดฟอลท์หรือข้อขัดข้องต่างๆในระบบไฟฟ้า โดยอาศัยรีเลย์เป็นตัวสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานตัดวงจรโดยอัตโนมัติ

๓.Circuit reclosing คือการปิดกลับวงจรเข้าไปใหม่หลังจากที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ได้ทริปวงจร เพื่อให้เซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าตามปกติได้ เมื่อฟอลท์หรือข้อขัดข้องในวงจรได้ผ่านพ้นไปแล้ว โดยอาศัยรีเลย์เป็นตัวสั่งให้เซอร์เบรกเกอร์ปิดกลับวงจรได้โดยอัตโนมัติตามจำนวนครั้งที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำงานของสวิทช์เกียร์

ในการใช้สวิทช์เกียร์เพื่อป้องกันระบบ(system protection) จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ต่างๆที่สำคัญของสวิทช์เกียร์ร่วมประสานกัน 4 ส่วนคือ

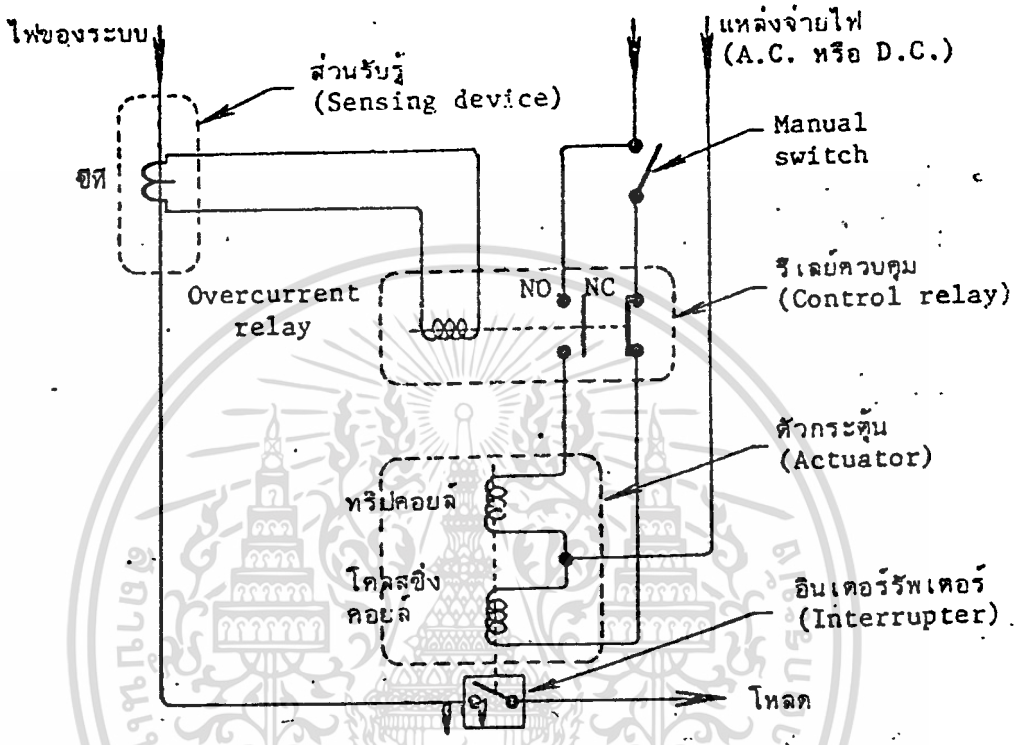


รูป 3 ขั้นตอนการทำงานของสวิทช์เกียร์

๑.ส่วนรับรู้(Sensing device)ได้แก่ อินสตรูเมนท์ทรานฟอร์เมอร์(Instrument transformer) หรือ ct,pt ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นยามระวังเหตุ เมื่อมีเหตุผิดปกติเกิดขึ้นในระบบ ก็จะส่งสัญญาณบอกเหตุมายังรีเลย์

๒.รีเลย์ควบคุม(Control relay) ได้แก่ รีเลย์ต่างๆซึ่งจะทำหน้าที่รับสัญญาณบอกเหตุจาก ซีที หรือ พีที หรือแหล่งจ่ายไฟอื่นเพื่อกระตุ้นขดลวดของตัวเอง แล้วต่อคอนแทคให้ทริปคอยล์(Trip coil) หรือโคลสชิ่งคอยล์(Closing coil) ของสวิทช์เกียร์ energize หรือทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 วงจรการทำงานของสวิชเกียร์อย่างง่าย ๆ

หมายเหตุ O/C Relay = โอเวอร์เคอเร้นรีเลย์ (Overcurrent relay)

NO = คอนแทคซึ่งปกติอยู่ในสภาพเปิดวงจร (Normally open contact)

NC = คอนแทคซึ่งปกติอยู่ในสภาพปิดวงจร (Normally closed contact)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓.ตัวกระตุ้น(Actuator) ได้แก่ วงจรทริปคอยล์(Trip coil) วงจรโคลสชิ่งคอยล์(Closing coil) และชุดกลไก(Mechanism) ที่ส่งความเคลื่อนไหวให้ชุดอินเทอร์รัพเตอร์ (Interrupter) ปิดเปิดวงจรได้ ซึ่งเมื่อทริปคอยล์หรือโคลสชิ่งคอยล์ของสวิทช์เกียร์ถูก energize จะไปกระตุ้นให้ชุดกลไก(Mechanism) ส่งความเคลื่อนไหวให้คอนแทคในชุดอินเทอร์รัพเตอร์ปิดเปิดวงจรได้

๔.อุปกรณ์ตัดกระแส (Interrupter of Circuit breaker) คือส่วนที่ทำหน้าที่ปิดเปิดคอนแทคของวงจรและดับอาร์ค ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1.คอนแทคอยู่กับที่(Fixed contact)

2.คอนแทคเคลื่อนที่(Moving contact)

3.ห้องดับอาร์ค(Arc chamber)

4.ตัวกลางดับอาร์ค(Arc extinction media) เช่น น้ำมัน,อากาศ(ลมอัด),แกส SF_6 และสุญญากาศ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเทอร์รัพเทอร์(Interrupter)

อินเทอร์รัพเตอร์หรือระบบชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ปิดเปิดคอนแทคและดับอาร์ค ประกอบด้วยคอนแทค และอยู่อุปกรณ์ดับอาร์ค(Arc controlling device) ระบบชิ้นส่วนเหล่านี้ประกอบติดตั้งอยู่ใน Interrupting chamber หรือห้องดับอาร์คของเซอร์กิตเบรกเกอร์

ในขณะที่เซอร์กิตเบรกเกอร์เปิดและคอนแทคกำลังเลื่อนออกจากกันนั้น จะเกิดเปลวอาร์คกระโดดข้ามช่องระหว่างขั้วคอนแคททั้ง๒ ความรุนแรงของอาร์คนั้น จะขึ้นอยู่กับความมากน้อยของกระแสในขณะตัดกระแส(Interrupt) โดยเฉพาะเมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ทริปโดยกระแสฟอลท์ อาร์คจะรุนแรงมาก อาร์คจะทำให้อากาศโดยรอบตัวเกิดอากาศที่เรียกว่า ไอออไนซ์ (Ionize)ซึ่งจะมีคุณสมบัติกลายเป็นตัวนำ และมีความต้านทานทางไฟฟ้าต่ำลง ทำให้อาร์คยิ่งเดินได้สะดวกขึ้น ซึ่งจะเพิ่มความรุนแรงขึ้น ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องดับอาร์คนี้โดยเร็วที่สุด

การอาร์คดังกล่าวนี้มีข้อดีอยู่มากเหมือนกัน ซึ่งการออกแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องคำนึงถึงข้อนี้อยู่มาก เพราะถ้าขณะดึงสวิตช์ออกแล้วไม่เกิดอาร์คและถ้าวงจรถูกตัดออกไปทันทีทันใด จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงในสาย เนื่องจากกระแสถูกลดลงเป็นศูนย์ทันทีทันใด แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะทำความเสียหายแก่อุปกรณ์ไฟฟ้า (ที่ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นตัวป้องกัน) ได้ การเกิดแรงดันสูงเกินพิกัดในสายส่งนั้น เนื่องจากกระแสในสายเหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในรอบสาย และถูกเก็บไว้ในรูปของพลังงานแม่เหล็ก พลังงานแม่เหล็กจะถูกเปลี่ยนมาเป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อกระแสในสายลดลงสนามแม่เหล็กก็จะยุบตัวลงเร็วตามและให้ผลคือเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูงขึ้น

ขณะที่คอนแทคเริ่มแยกออกจากกัน พื้นที่ผิวหน้าสัมผัสของคอนแทคที่เป็นทางเดินของกระแสจะเริ่มลดลง เป็นผลทำให้ความต้านทานที่ผิวหน้าสัมผัสเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น อันเนื่องมาจาก I^2R loss ที่เพิ่มขึ้นด้วย อุณหภูมินี้จะมีค่าสูงพอ ที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ ที่สำคัญอันหนึ่ง คือ อิเลกตรอนอิสระและไอออนจะถูกดึงหลุดออกจากผิวหน้าสัมผัสของคอนแทค อิเลกตรอนอิสระหรือไอออนนี้จะเป็นสื่อไฟฟ้า ซึ่งจะยังคงทำให้มีกระแสไหลผ่าน

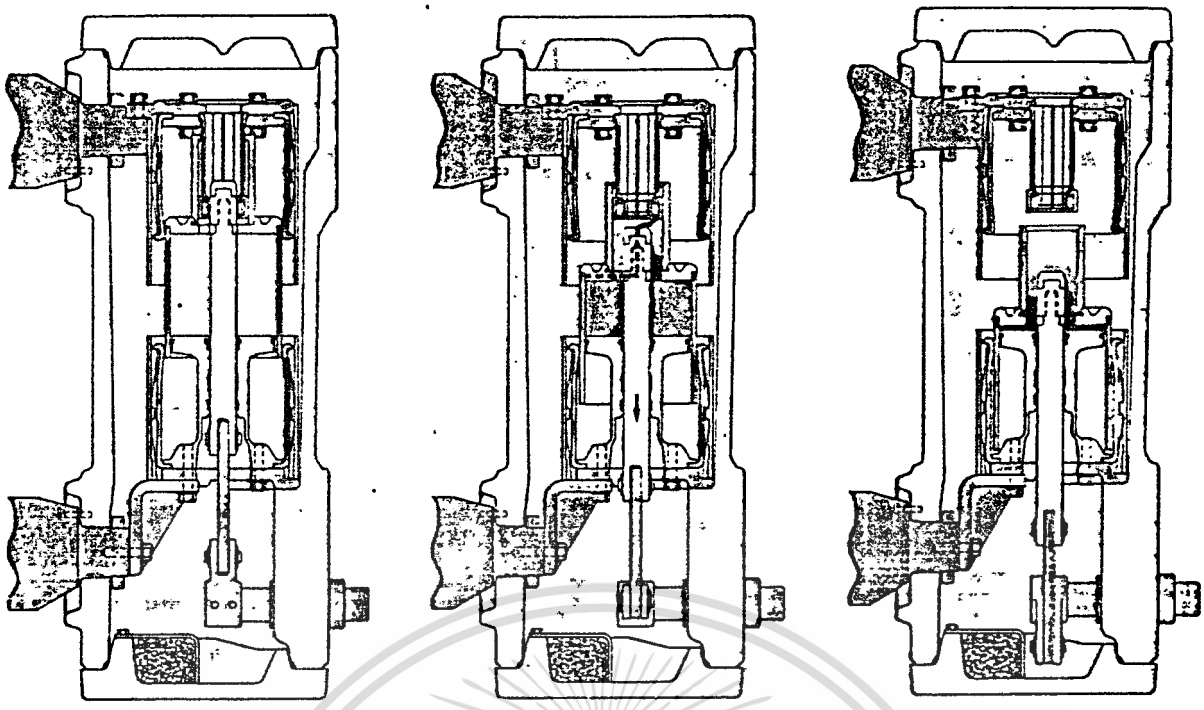
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
026970

ระหว่างคอนแทคได้ เมื่อคอนแทคแยกออกจากกันจนสุด ความต้านทานระหว่างผิวหน้าสัมผัสจะมีค่าสูงขึ้น จะเกิดแรงดันไฟฟ้าสูง คร่อมระหว่างผิวหน้าสัมผัส ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่สำคัญอันหนึ่งคือ อิเลกตรอนอิสระและไอออนจะถูกดึงหลุดออกจากผิวหน้าสัมผัสของคอนแทคอิเลกตรอนอิสระหรือไอออนนี้จะเป็นไฟฟ้าซึ่งยังคงทำให้มีกระแสไหลระหว่างคอนแทคได้ เมื่อคอนแทคแยกออกจากกันจนสุด ความต้านทานระหว่างผิวหน้าสัมผัสจะมีค่าสูงขึ้นจะเกิดแรงดันไฟฟ้าสูง คร่อมระหว่างผิวสัมผัส ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่สำคัญอีกอันหนึ่งคือ จะเกิดการไอออนไนซ์ตัวกลางที่อยู่ระหว่างคอนแทคทั้ง๒ ปรากฏการณ์ที่สำคัญ ทั้ง๒ดังกล่าวนี้จะสร้างอิเลกตรอนอิสระและไอออนระหว่างคอนแทคเพื่อให้กระแสผ่านคอนแทคได้ ก่อให้เกิดเป็นประกายไฟระหว่างคอนแทค ซึ่งก็คือ " อาร์ค " นั่นเอง กลุ่มของอิเลกตรอนอิสระและไอออนนี้จะอยู่ในสภาวะของการเป็น " พลาสม่า " (Plasma หมายถึงสภาวะของสารที่มีอิเลกตรอนของมัน ถูกดึงออกจากอะตอมหรือโมเลกุลทำให้เกิดแกสที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ตัวอย่างของสารได้แก่ อากาศ, โลหะ เป็นต้น)

อาร์คนี้จะทำให้อากาศโดยรอบนั่นเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (ION) ซึ่งมีคุณสมบัติกลายเป็นตัวนำ ทำให้อาร์คยิ่งเดินได้สะดวกและเพิ่มความรุนแรงมากขึ้น ในการออกแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์จึงจำเป็นต้องให้สามารถดับได้โดยเร็ว

วิธีดับอาร์คมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน และแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างกระแสตรงกับกระแสสลับ ในกระแสตรงนั้นไม่มีค่า "กระแสศูนย์"หรือ "current zero" กล่าวคือ กระแสจะมีค่าเป็นบวกตลอดไม่เป็นลูกคลื่นขึ้นๆลงๆ เป็นบวกลบเหมือนกระแสสลับ ซึ่งการเปลี่ยนค่าจากบวกเป็นลบ หรือจากลบเป็นบวก จะต้องผ่าน จุด"กระแสศูนย์" ทุกครั้ง ฉะนั้นการดับอาร์คสำหรับ กระแสตรง จึงกระทำโดยวิธีพยายามลดค่าของกระแสลงให้ต่ำที่สุด ทั้งนี้โดยการทำให้อาร์คมีความยาวมากขึ้น เป็นการเพิ่มความต้านทานไฟฟ้าให้สูงขึ้น ค่าของกระแสก็จะลดน้อยลงเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Breaker unit in closed position. Breaker unit during opening. Breaker unit in open position.

รูป 5 อินเตอร์รัพเตอร์

สำหรับกรณีกระแสสลับนั้น การดับอาร์คก็อาศัยหลักการทำให้บริเวณที่อาร์คเกิดขึ้นนั้นเย็นลงมีผลคืออากาศในเส้นทางที่อาร์คผ่านนั้น ก็จะถูกดิไอออไนซ์ (De-ionize) กลับสู่สภาพที่มีค่า Dielectric สูงตามเดิม คือไม่เป็นตัวนำต่อไป ฉะนั้นเมื่อกระแสได้จังหวะมาถึงจุด"กระแสศูนย์" แล้ว อาร์คก็จะหมดฤทธิ์ดับลงไปเลย ส่วนวิธีการที่ให้บริเวณที่เกิดการอาร์คเย็น และเกิดการอิออไนซ์ของอากาศนั้นมีแตกต่างกันหลายวิธี โดยอาจใช้วิธีระบายความร้อนแบบธรรมชาติ หรืออาจใช้อุปกรณ์ดับอาร์คเข้าช่วยก็ได้จึงเกิดการมีอินเทอร์รัพเตอร์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ แบบต่างๆขึ้นได้แก่

๑.Air-break interrupter

๒.Air-blast interrupter

๓.oil-type interrupter

๔.Vacuum interrupter

๕.Gas (SF_6) interrupter

ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวอีกครั้งในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เซอร์กิตเบรกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซอร์กิตเบรคเกอร์

ประเภทของเซอร์กิตเบรคเกอร์

เซอร์กิตเบรคเกอร์สามารถแบ่งชนิดออกได้ตามชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการดับอาร์คดังนี้

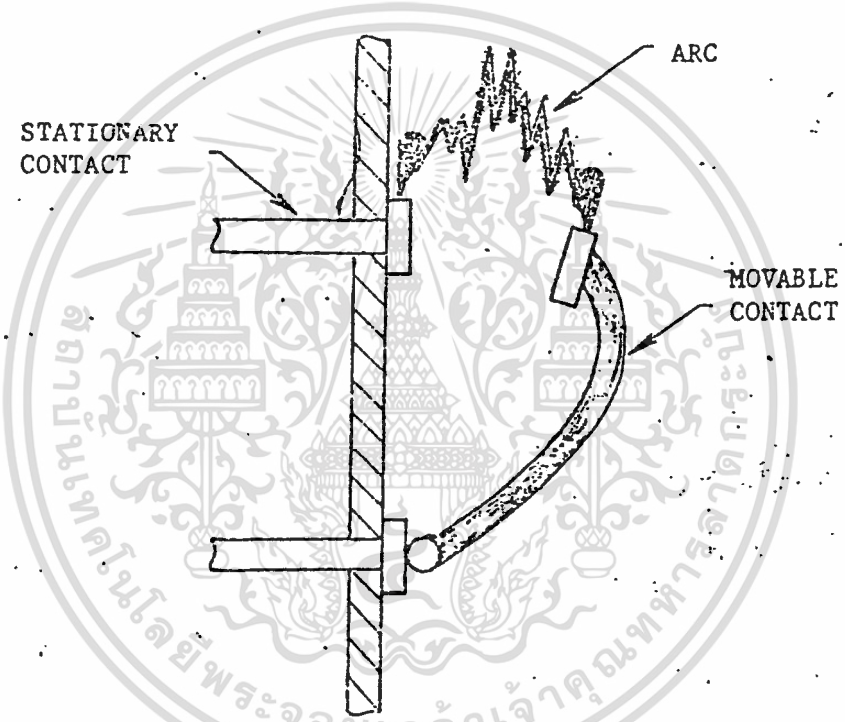
1.Air-break circuit breaker ใช้กับระบบที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำๆ (low voltage) อินเทอร์รัพเตอร์ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดนี้ทำงานโดยใช้หลักการธรรมชาติและเป็นหลักการที่ง่ายที่สุด

เมื่อคอนแทคอ้าออกจากกันและมีอาร์คเกิดขึ้น อากาศในบริเวณโดยรอบอาร์คก็จะร้อนและลอยตัวขึ้นเบื้องบน พร้อมๆกับอากาศที่อยู่บริเวณนั้นก็จะเข้ามาแทนที่และดับอาร์คไปในตัว ส่วนความยาวของอาร์คจะมากน้อยอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างคอนแทคในขณะตัดกระแส(interrupt) เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ใช้อินเทอร์เตอร์แบบนี้ควรจะใช้เป็นแบบเปิด(open-type) ทั้งนี้เมื่ออากาศร้อนจะได้ลอยตัวขึ้นได้อิสระ

หากใช้อินเทอร์รัพเตอร์แบบนี้กับเซอร์เบรคเกอร์แบบ Enclosed-type ซึ่งมีบางแบบมีฝาปิดครอบคลุมแล้ว การระบายความร้อนด้วยวิธีดังกล่าวแล้วจะไม่ได้ผล จะต้องมีอุปกรณ์บางอย่างติดเพิ่มเติม เช่น Arcing horn Arc splitter หรือ baffle เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปิดคอนแทคอาร์คและเกิดอาร์คขึ้น อาร์คจะเกาะไต่ไปตามส่วนโค้งของอาร์คชิ่งฮอร์น (Arcing horn) และจะขยายตัวออกไปสัมผัสกับ barrier ซึ่งติดตั้งอยู่ในระยะประชิด คลายความร้อนให้แก่ Arc barrier จนเย็นตัวลงและดับไปในที่สุด Arc barrier นี้ออกแบบมาในลักษณะที่สามารถจะแผ่เปลวอาร์คหรือสับเปลวอาร์คออกเป็นชิ้นเล็กๆได้ เพื่อการคลายความร้อนจะไปได้โดยง่ายและรวดเร็ว



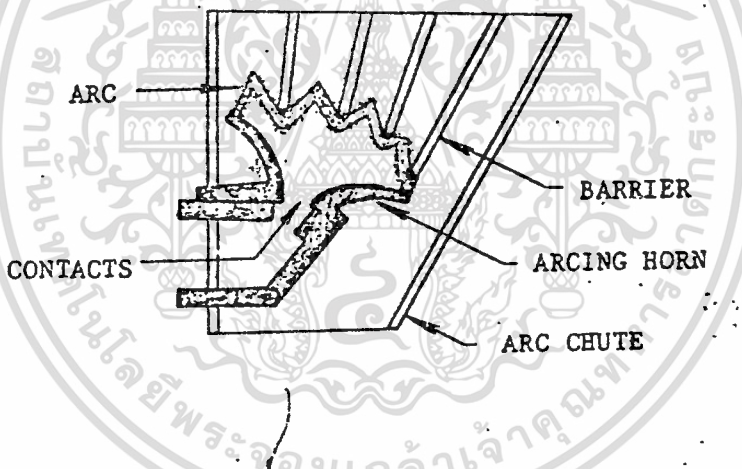
รูปที่ 6 AIR-BREAK INTERRUPTER ชนิด OPEN-TYPE

การดับอาร์คด้วยวิธีธรรมชาติด้วย Air-break interrupter ตามที่กล่าวมาแล้วเหมาะสำหรับแรงดันไฟฟ้าและกระแสต่ำๆ สำหรับแรงดันและกระแสสูงๆขึ้น ซึ่งเปลวอาร์คก็จะใหญ่และรุนแรงขึ้นเป็นเงาตามตัว นั้น การดับด้วยวิธีนี้ไม่เด็ดขาด และรวดเร็วนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงได้มีการเพิ่มเติมขดลวดแม่เหล็ก (Magnetic coil) หรือ magnetic blow-out coil ประกอบเข้าไปตามรูป magnetic blow - out coil นี้ จะสร้างสนามแม่เหล็กให้เกิดขึ้นในเส้นทางเดินของอาร์คให้หลุดลอยออกไปจากคอนแทคไปเข้า Arc barrier หรือ Arc Splitter ได้เด็ดขาดฉับไวกระแสที่จะเข้า Magnetic blow out coil เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กเหล่านี้ ก็เป็นส่วนหนึ่งที่แบ่งมาจากกระแสในขณะตัดวงจร (Interrupting current) นั่นเอง

แอร์เบรกเซอร์กิตเบรกเกอร์ ตามปกติใช้ติดตั้งภายในอาคาร หรือในที่ๆมีกำบังลมจากลมฟ้าอากาศ มีพิกัดแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 600 KV ขึ้นไป จนถึง 13.8 KV

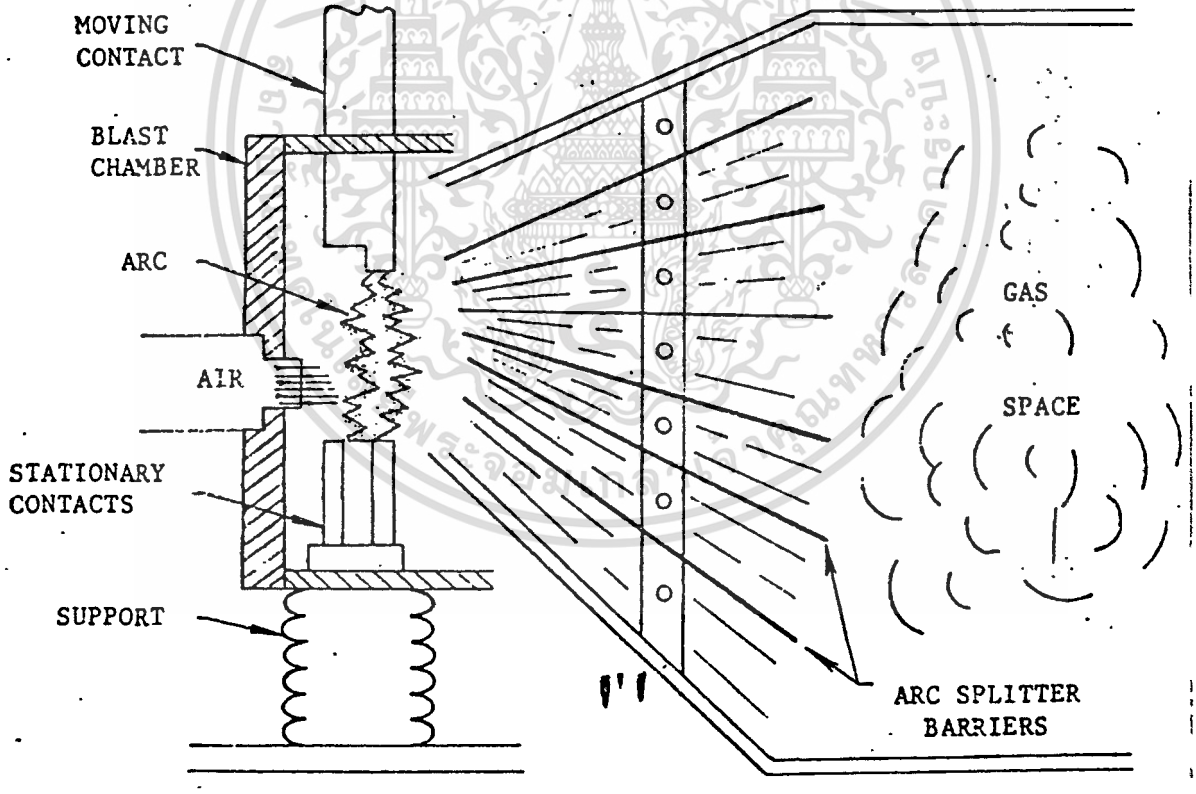


รูปที่ 7 AIR-BREAK INTERRUPTER แบบ ENCLOSED-TYPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แอร์บลาสต์เซอร์กิตเบรกเกอร์

เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้ใช้กำลังลมอัด (compressed air) ไปเป่าอาร์คให้ดับ เช่นเดียวกับที่เราใช้ปากเป่าเทียนให้ดับ ความดันของลมที่ใช้ในกรณีนี้อยู่ในระหว่าง 100-350 ปอนด์/ตร.นิ้ว และสามารถเปิดคอนแทคได้รวดเร็วมาก ในขณะที่คอนแทคเปิดนั้นกลไกของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะไปเปิดลิ้นลมปล่อยให้อัดทะลักเข้าไปที่คอนแทค และเป่าอาร์คจากคอนแทคเข้าไปยัง Arc chute หรือ Arc Splitter ซึ่งอาร์คจะถูกทำให้เย็นลงและดับลงอย่างรวดเร็ว แล้วลมอัดจำนวนนี้ก็จะถูกขับดันออกไปภายนอก



รูปที่ 8 AIR-BLAST TYPE INTERRUPTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

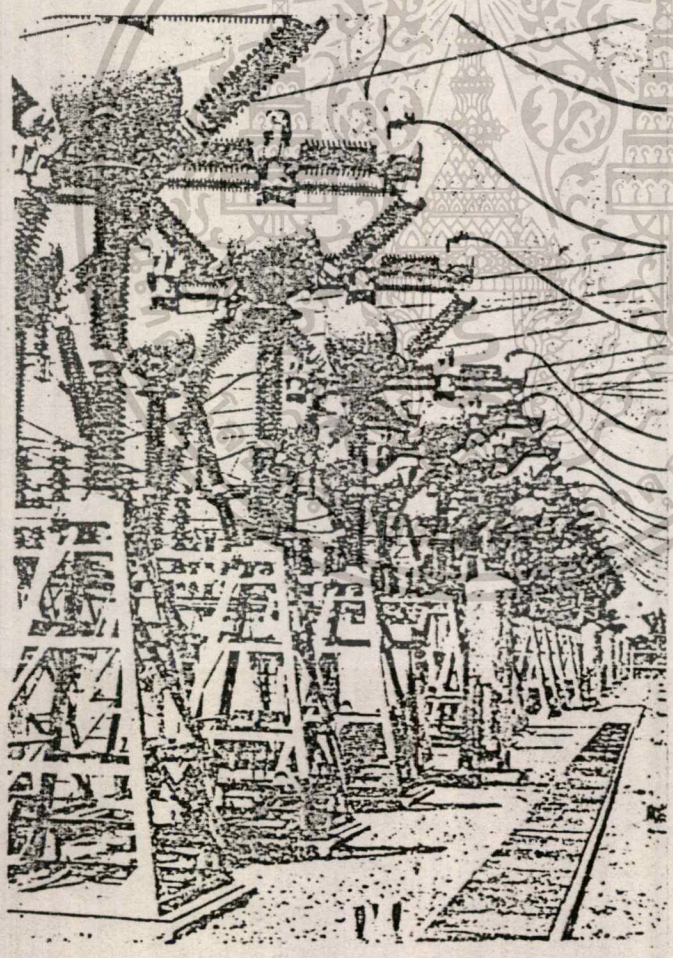
ในแอร์บลาสต์เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเก่านั้น ลมอัด (compressed air) จะถูกจำกัดให้อยู่เฉพาะใน reservoir เท่านั้น หลังจากนั้นคือในช่องทางที่เรียกว่า Air-blast duct ตลอดไปจนถึง Interrupting chamber จะไม่มี Compressed air เลย แม้ว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์จะโคลสหรือทำงานอยู่ก็ตาม ต่อเมื่อมีการทริปหรือเปิดวงจร เซอร์กิตเบรกเกอร์เมื่อใด จึงจะปล่อย compressed air ออกไปทำงานในการตัดกระแส กรรมวิธีเช่นนี้ภายหลังได้ค้นพบว่าไม่เหมาะในทางปฏิบัติหลายประการ เป็นต้นว่า การที่ปล่อยลมอัดแรงสูงเข้าไปอย่างกระทันหันทันทีทันใดเช่นนี้ ก่อให้เกิด mechanical stress ขึ้นอย่างรุนแรงแก่อินซูเลเตอร์(insulator) และส่วนภายใน ซึ่งอาจเกิดชำรุดเสียหายได้ นอกจากนั้นแล้วการสั่นสะเทือน (Pressure Oscillation) ที่คอนแทคซึ่งไปรบกวนพิกัดในการตัดกระแส (Interrupting capacity) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์อีกด้วย อย่างไรก็ตามข้อเสียของวิธีการก็มีเหมือนกัน เพราะเมื่อมีความดันสูงในชิ้นส่วนเหล่านี้อยู่เป็นประจำแล้ว ก็จะต้องใช้ปะเก็นระหว่างรอยต่อให้แน่นหนามั่นคงยิ่งขึ้น และโอกาสที่ลมจะรั่วก็มีมากขึ้น

ลมอัดที่ใช้ในการนี้ได้มาจากแอร์คอมเพลสเซอร์ (Air Compressor) ซึ่งมักมีประจำเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละชุดเสมอ โดยมากเป็นชนิด Multi-stage ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า อัดลมได้ 500-600 ปอนด์/ตร.นิ้ว ลมอัดนี้ในระยะแรกจะเก็บไว้ใน High-pressure air tank มี Pressure switch ที่จะบังคับให้คอมเพลสเซอร์เดินเครื่องอัดลมให้เต็มถัง และ ให้ได้ความดันเต็มระวางตามระวางตามอัตราอยู่เสมอ จาก high-pressure air tank นี้มีท่อต่อผ่าน reducing valve ลดความดันจาก 500-600 ปอนด์/ตร.นิ้ว ไปเข้า air reservoir ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งประจำแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระจากกัน ความดัน 120-350 ปอนด์/ตร.นิ้ว นี้คือ operating pressure ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ระบบลมพัดสำหรับแอร์บลาสเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามนัยดังกล่าวมานี้ จึงมี 2 ระบบ คือ high-pressure air system กับ low-pressure air system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

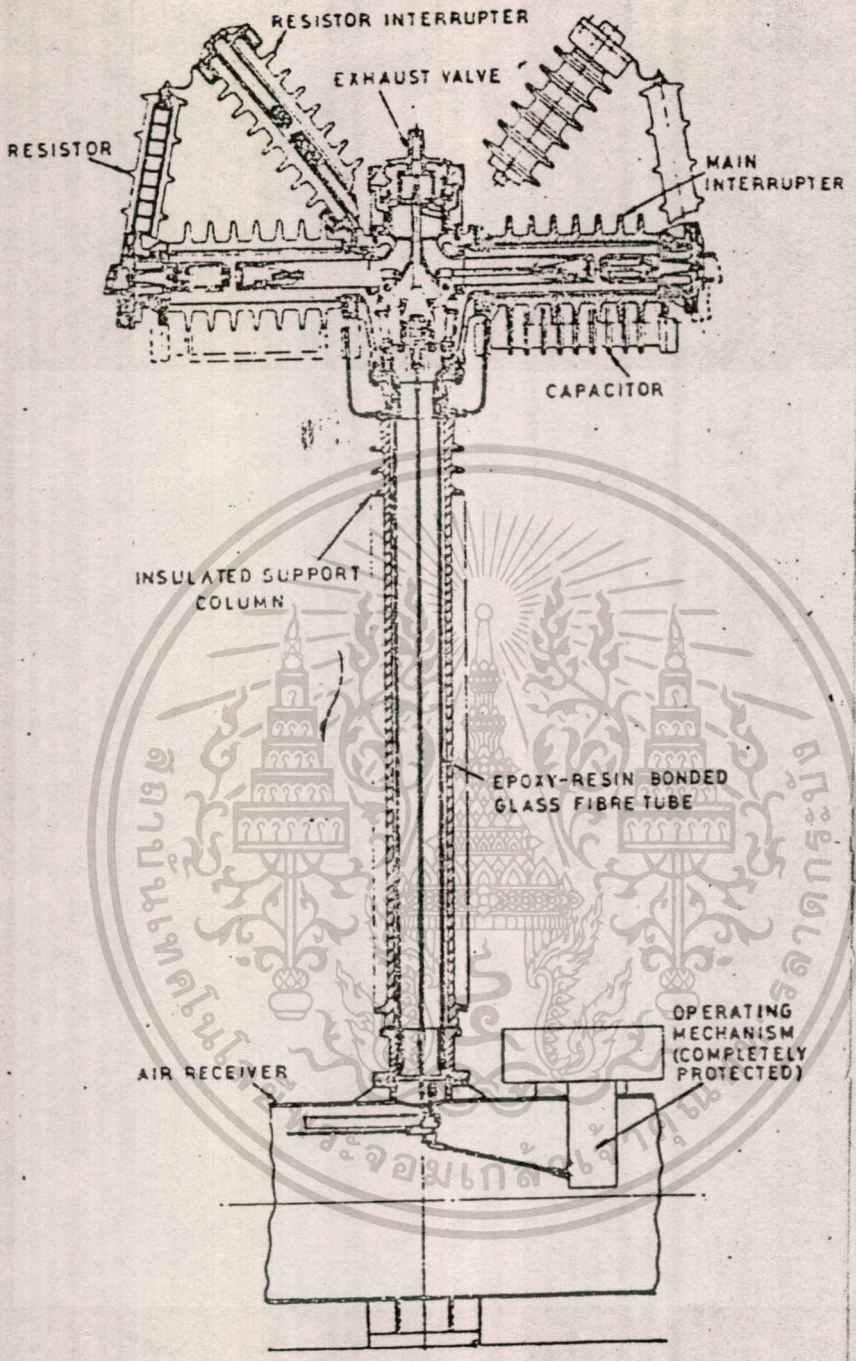
แอร์บลาสต์เซอร์กิตเบรกเกอร์มีพิกัดแรงดันไฟฟ้า(voltage rating) ตั้งแต่ 14.4 KV ขึ้นไป ซึ่งปัจจุบันถึง 500KV แล้ว หากติดตั้งแบบ Indoor ก็มักจะใช้ชนิดที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้าอย่างสูงไม่เกิน 34.5KV สูงกว่านี้จะติดตั้งกลางแจ้งทั้งหมด

พิกัดในการตัดกระแสลัดวงจร(Interrupting Capacity)ของแอร์บลาสต์เซอร์กิตเบรกเกอร์ จะเริ่มตั้งแต่ 1,000 MVA ที่ 14.4 KV เป็นขนาดเล็กที่สุดขึ้นไป จนถึง 25,000 MVA ที่ 330 KV และในปัจจุบันที่สูงกว่านี้ก็ขึ้นไปจนถึง 35,000 MVA แล้ว



รูปที่ 9 Air Blast Circuit Breaker 230 kV,2,000 A,10,000 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 แสดงรูปลักษณะของ Air blast circuit breker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Oil circuit breaker)

เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ดับอาร์คโดยอาศัยน้ำมันเป็นแบบเก่าแก่ที่สุด ใช้กับระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 24 KV จนถึง 230 KV อินเทอร์รัปเตอร์แบบนี้ตัวคอนแทค จุ่มอยู่ในน้ำมัน

ข้อดีของ oil

1. ในระหว่างการอาร์ค น้ำมันจะทำตัวเป็นตัวสร้างแกสไฮโดรเจนขึ้น ซึ่งจะช่วยในการดับอาร์คได้
2. น้ำมันเป็นฉนวนกั้นระหว่างคอนแทคกับส่วนตัวถังของเซอร์กิตเบรกเกอร์
3. น้ำมันเป็นฉนวนกั้นระหว่างคอนแทคทั้ง2หลักการที่การอาร์คได้ผ่านไปแล้ว ซึ่งก็มีเวลาสำหรับการไหลของน้ำมันเข้าไปที่ช่องระหว่างคอนแทคนั้นด้วย

ข้อเสียของ oil

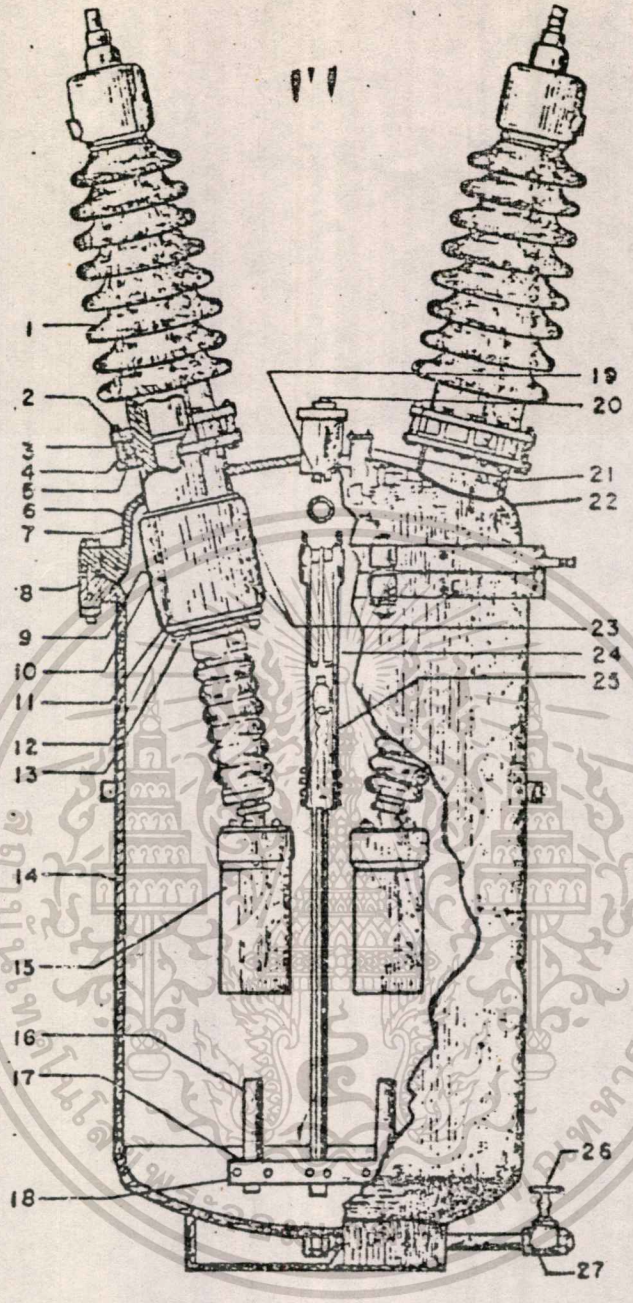
1. น้ำมันไวไฟและอาจเป็นสาเหตุให้เกิดไฟไหม้ได้ ซึ่งอาจเกิดระเบิดได้ ดังนั้นต้องมีการป้องกันที่ดี
2. น้ำมันจะเพิ่มน้ำหนักให้เซอร์กิตเบรกเกอร์
3. เนื่องจากการแตกตัวของน้ำมันในการอาร์ค น้ำมันจะกลายเป็นอนุภาคของคาร์บอน ซึ่งจะลดความเป็นฉนวนลง ทำให้ต้องมีการตรวจลอยและเปลี่ยนน้ำมันบ่อยๆ

ออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ใช้งานโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ(1).บัลค์ออยเซอร์กิตเบรกเกอร์(Bulk oil circuit breaker)

(2).มินิมัมออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์-(Minimum oil circuit breaker)

(1).Bulk oil circuit breaker เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้น้ำมันมาก ลักษณะอันเป็นแบบฉบับของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้ก็คือ อินเทอร์รัพเตอร์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ อยู่ภายในถังเหล็กใหญ่บรรจุน้ำมันอยู่เต็ม จึงมีชื่อเรียกว่าแบบ Full oil หรือ Dead tank ถ้าเป็นขนาดแรงดันไม่เกิน 15 KV และพิกัดการตัดกระแสลัดวงจร 500 MVA แล้วก็ใช้ถังใหญ่ถังเดียวไว้ทั้ง 3 เฟสเลย เรียกว่า Single tank breaker ถ้าแรงดันไฟฟ้าและพิกัดกระแสในการวัดกระแสลัด

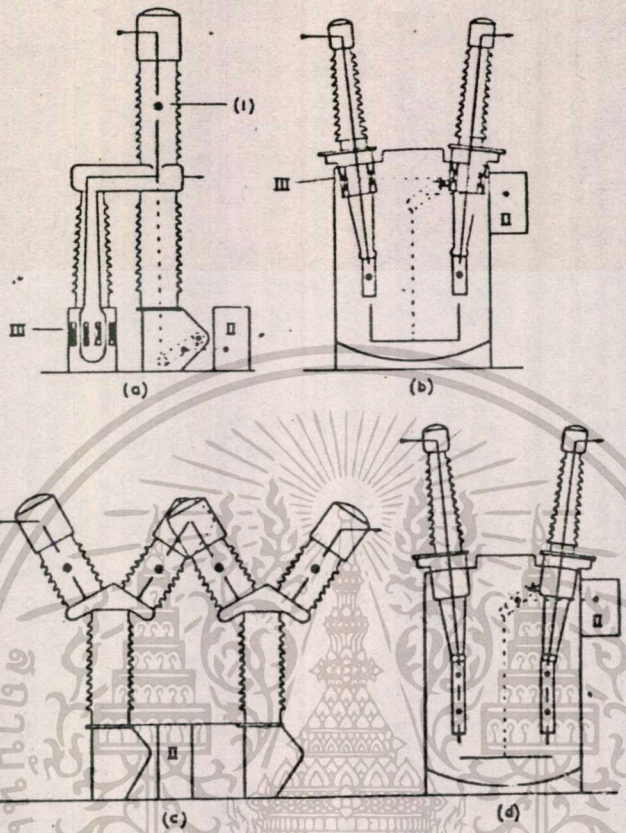
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. Bushing	10. Insulation Support	19. Closing Butter
2. Mounting Bolt	11. Spacers	20. Breather
3. Adapter Ring	12. Support Piate	21. Oil Gage
4. Adapier Gasket	13. Assembly Stud	22. Fill Pipe
5. Frame Gasket	14. Oil Tank	23. Current Transformers
6. Top Frame	15. Interrupter	24. Litt Rod Gulde
7. Insulation Washer	16. Contact Rod	25. Litt Rod
8. Tank Gasket	17. Contact block	26. Drain Valve
9. Insulation Washer	18. Crossbar	27. Sampling Device

รูปที่ 11 แสดงส่วนประกอบของ Bulk oil circuit breaker (C.E. type FK)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

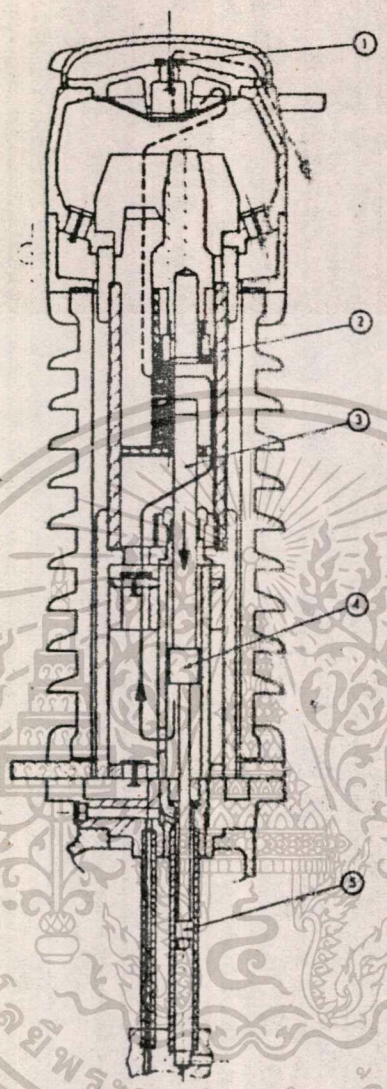


รูปที่ 12 Live tank and dead tank circuit breakers

a Live tank single break
b Dead tank double break
c Live tank 4 break
d Dead tank 4 break

I interrupters
II mechanism
III current transformer

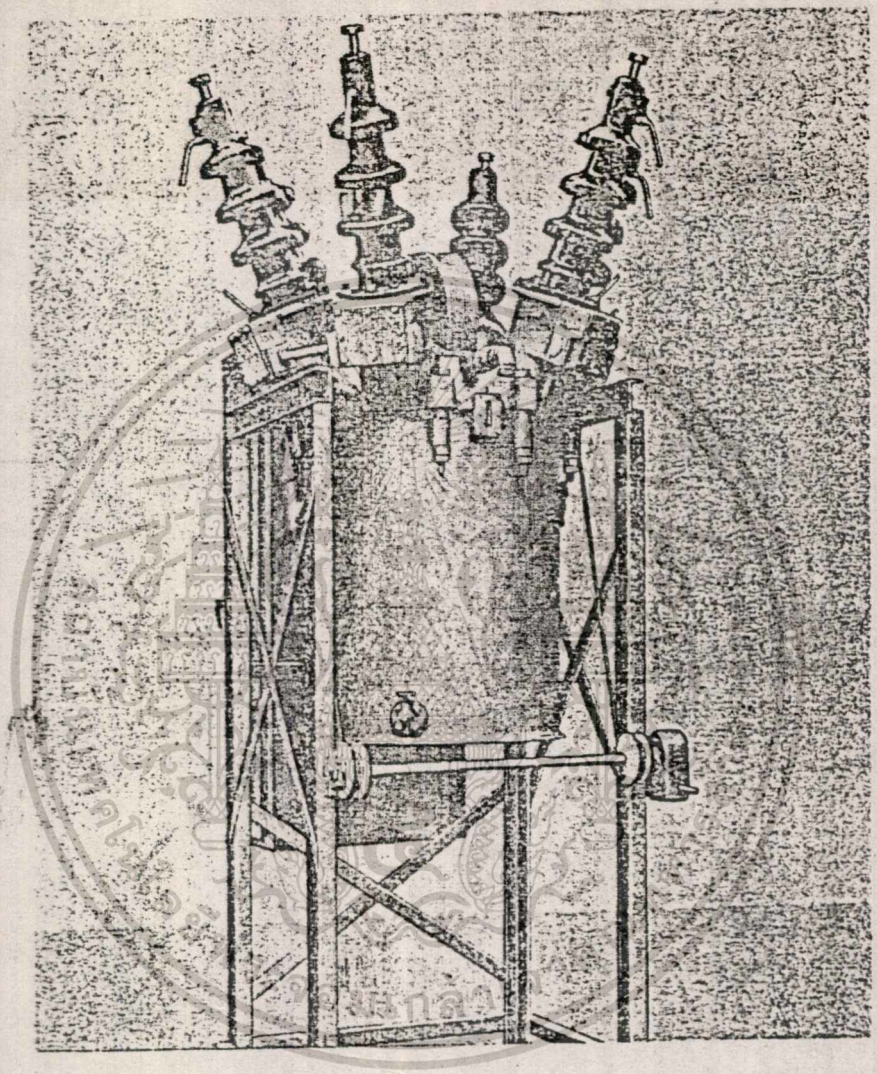
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 Lateral vented interrupter showing oil injection feature [Brown Boveri & Co. Ltd. Switzerland]

1 exhaust valve
2 arc control chamber
3 moving contact
4 oil injection piston
5 drive piston

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



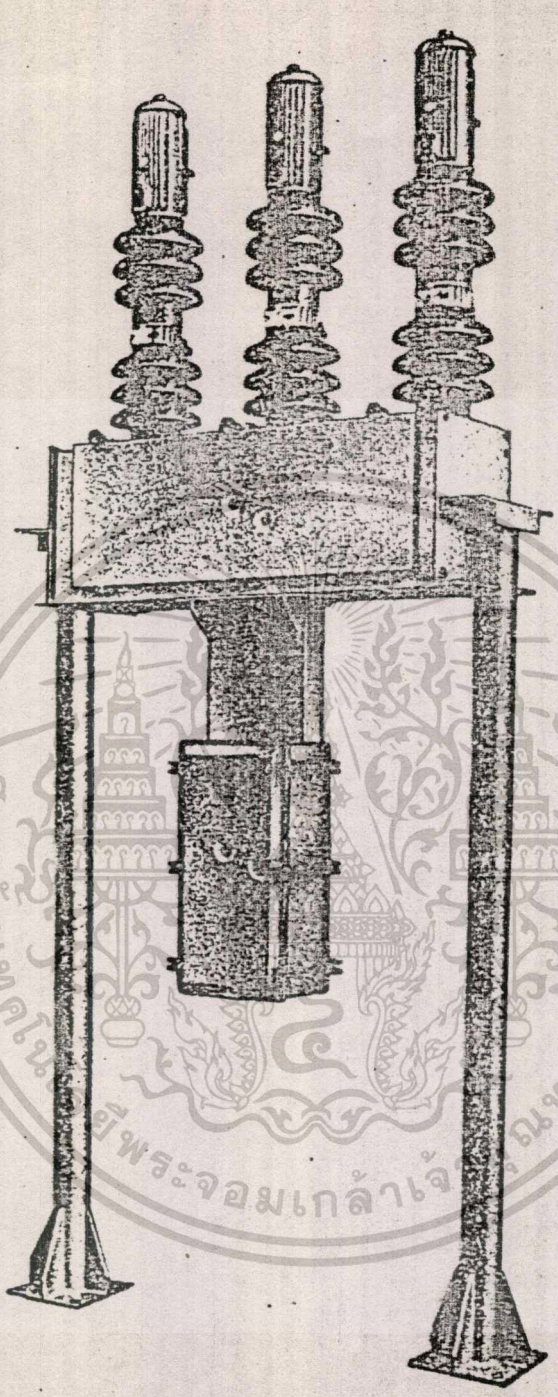
รูปที่ 14 33 kV Outdoor oil circuit-breaker the single-tank type and Frame mounted

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสูงกว่านี้ ก็มักจะใช้ถังและเฟสเป็น 3 ถังด้วยกันเรียกว่า Multi-tank breaker Bulk oil circuit breaker อีกแบบหนึ่งเรียกว่า Live-tank คือส่วนที่บรรจุน้ำมันเป็นขนาดย่อมๆ flexible contact ติดอยู่ภายในที่กันกระบอกเป็นตัวล่าง คอนแทคด้วยบนเป็นก้านยาวเลื่อนขึ้นเลื่อนลงอยู่ภายในกระบอก ขณะที่เซอร์กิตเบรกเกอร์โคลสอยู่ คอนแทคอันบนจะเลื่อนลงมาสัมผัสแนบแน่นกับคอนแทคอันล่าง เพื่อให้กระแสไฟไหลผ่านเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไปส่วนใต้กระบอกนั้นมี Insulation เป็น Support รองรับยึดติดกับโครงไว้ วิธีการดับอาร์คของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้เอาหลักการของ Oil-blast มาใช้ และโดยที่กระบอกนี้มีกระแสไฟไหลผ่านเมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์โคลส ฉะนั้นเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้จึงได้ชื่อว่า Live-tank breaker แตกต่างไปจากแบบDead-tank ซึ่งตัวถังไม่มีกระแสไฟไหลผ่านเพราะมีน้ำมันเป็นฉนวนกัน

(2).<u>Minimum oil circuit breaker</u> เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดใช้น้ำมันน้อย หรือมีอีกชื่อหนึ่งว่า Small-oil volume circuit breaker ซึ่งเป็น Live-tank breaker แบบพิเศษ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้เป็นที่รู้จักกันดีในยุโรป แต่ในอเมริกายังไม่แพร่หลายนัก เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้ใช้น้ำมัน 1 ใน 10 ของปริมาณในออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบธรรมดาและจากจำนวนนี้ก็ใช้จริงๆเพียง 1 ใน 10 เท่านั้นสำหรับการดับอาร์ค การดับอาร์คของ Minimum oil circuit breaker ใช้หลักการของ Oil-blast โดยมีลูกสูบทำงานด้วยสปริงทำการอัดฉีดน้ำมันอย่างแรง คุณลักษณะดีเด่นของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้ก็คือ เนื่องจากใช้กำลังทางกล(คือสปริง)ไปทำการอัดฉีดน้ำมัน ฉะนั้นจึงไม่จำเป็นต้องรอการอุบัติของอาร์คเพื่อให้เกิดแก๊สความดันสูงที่จะมาฉีดน้ำมันอีกต่อหนึ่ง ทั้งนี้จะทำให้การอินเทอร์รัพเป็นไปโดยฉับพลันทันที นอกจากนี้แล้วการอินเทอร์รัพกระแสไม่ว่าจะมากหรือน้อยก็กระทำได้ภายในเวลาอันสั้นเหมือนๆกันด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 15 Minimum oil circuit breaker
22 kV (Magrini Galileo)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิกัดแรงดันไฟฟ้ามาตรฐานของออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์มีตั้งแต่ 2.5 ถึง 69 KV(อเมริกาใช้ Nominal voltage rating 2.5,4.16,7.2,13.8,14.4,34.5,46 และ 69 KV)และที่สูงกว่านี้ไปจนถึง 230 KV ก็มี แต่เป็นจำนวนน้อย ในยุโรปสร้างมินิมัมออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์ตั้งแต่ 60 ถึง 150 KV นิกัดตัดกระแสลัดวงจร 2500-5000 MVA

ออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดตั้งแต่ 34.5 KV ขึ้นไปมักเป็นแบบติดตั้งกลางแจ้ง(Outdoor type)ชนิดต่ำกว่านี้ส่วนมากจะเป็นแบบติดตั้งในห้อง(Indoor type) ส่วนชนิดที่ติดเป็นแผงสวิตช์เกียร์นั้นๆ มักเป็นชนิดตั้งแต่ 4.16 KV ลงมา ออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิด 69 KV มีพิกัดกระแสใช้งาน (Continuous current rating) อย่างสูงถึง 2000 A Momentary current rating 49000 A และพิกัดตัดกระแสลัดวงจร(Interrupting capacity) 3500 MVA สำหรับ rated interrupting time ปกติแล้ว 8 ไซเคิล แต่ในการใช้งานจริงๆมักใช้ 3,4 หรือ 5 ไซเคิล

ขั้วสำหรับต่อสายไฟเข้าเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นเรียกว่าเบรกเกอร์โพล(breaker pole) มีลักษณะภายนอกเป็นบุชชิ่ง (Bushing) หรือลูกถ้วย โดยเป็นเนื้อเดียวซ้อนกันเป็นชั้น ๆ บุชชิ่งนี้มี 2 แบบ คือ แบบธรรมดา (Plain poreclain) สำหรับแรงดันไฟฟ้าในย่านต่ำ กับแบบ Condenser สำหรับแรงดันในย่านสูง

น้ำมันสำหรับออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์นั้น ใช้น้ำมันชนิดเดียวกับน้ำมันสำหรับหม้อแปลง ซึ่งจะต้องมีคุณลักษณะทั่วไปคือ

จุดวาบไฟ(Flash point)	133 °C
จุดลุกไหม้(Burning point)	148 °C
ความหนืด(Viscosity)	57 sec
จุดเยือกแข็ง(Freezing point)	-40 °C
สี(Color)	เหลืองใส(Pale amber cloar)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Dielectric strength ของน้ำมันเมื่อทำการทดสอบโดย AC Voltage breakdown test ขนาดหน้าจาน 1 นิ้ว ตั้งห่างกัน 1/10 นิ้ว จะต้องไม่น้อยกว่า 30 KV การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันควรจะกระทำหลังจากมีการตัดกระแสอย่างรุนแรงทุกครั้ง และสำหรับกรณีปกติก็ควรจะกระทำประมาณปีละครั้ง หากปรากฏว่าน้ำมันมีผงเขม่าหรือมีค่า dielectric strength ต่ำกว่า 16.5 KV จะต้องทำการกรองและทดลอบให้ได้ตามที่กำหนด

เปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย

จากการศึกษาและการทำงาน ลักษณะโครงสร้างและการใช้งานของบัลค์ออยล์, มินิมัมออยล์ และแอร์บลาสช์เซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำให้สามารถพิจารณาได้ถึงข้อดีข้อเสียได้ดังนี้

(a) Bulk Oil Circuit Breakers

ข้อดีของเซอร์กิตเบรกเกอร์นี้คือ

1. โครงสร้างมีลักษณะง่ายๆ
2. ความจุ rupturing สูง (High rupturing capacity)
3. มีความเหมาะสมที่จะใช้สำหรับอัตโนมัติดีเท่าๆกับ การใช้มือ (manual operation)
4. สามารถติดตั้งหม้อแปลงกระแส (C.T) ที่บุชชิ่งได้

ข้อเสียเปรียบคือ

1. อันตรายจากไฟไหม้
2. อันตรายจากการระเบิด
3. จำเป็นต้องมีการตรวจสอบปริมาณคุณภาพของน้ำมันในถัง
4. ไม่เหมาะสำหรับติดตั้งภายในอาคาร
5. ไม่เหมาะสำหรับการทำงานที่มีการทวนรอบ(repeated cycle) ซึ่งใช้กับออโตเมติคริโคลสชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อเทียบกันแล้วต้องใช้เหล็กในปริมาณมากสำหรับทำโครงสร้างของถัง

7. ขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก

8. มีการสึกหรอของคอนแทคมาก ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนบ่อยๆ

(b) Minimum Oil Circuit breakers

ข้อดีคือ

1. เมื่อเทียบกันแล้วใช้ปริมาณน้ำมันน้อยกว่า

2. เมื่อเทียบกันแล้วมีน้ำหนักเบากว่าและขนาดเล็กกว่า

3. ราคาต่ำกว่า

4. เหมาะสำหรับการทำงานทั้งแบบอัตโนมัติและแบบมือ

5. ง่ายในการเข้าถึงตัวคอนแทค

ข้อเสียคือ

1. อันตรายจากไฟไหม้และการระเบิดยังมีอยู่ ถึงแม้ว่าจะใช้ปริมาณน้ำมันน้อยกว่าแบบบัลค์ออยล์ก็ตาม

2. ไม่เหมาะในการทำงานที่เป็นรีพีทไซเคิล

3. ต้องการการตรวจสอบและเปลี่ยนน้ำมันบ่อยๆ

4. ความเสียหายของคอนแทคมีมาก

5. เป็นการยากในการติดตั้งหม้อแปลงกระแส (C.T.)

6. เมื่อเปรียบเทียบแล้วจะได้ว่ามีความจุการรับเทอริ่ง (rupturing)ต่ำ

(c) Air blast circuit breakers

ข้อดีคือ

1. ไม่มีการระเบิดหรืออันตรายจากไฟไหม้

2. มีการทำงานที่รวดเร็ว

3. เหมาะในการปิดกลับอย่างรวดเร็ว(rapid reclosing)

4. มีความจุการรับเทอริ่ง (rupturing)สูงมาก

5. การเปิดสายส่งที่ไม่มีโหลดหรือระบบที่มีตัวเก็บประจุค่าสูงไม่ได้ให้ความยุ่งยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ความเสียหายที่คอนแทคมีน้อย

7. เข้าถึงคอนแทคได้ง่าย

8. เมื่อเทียบกันแล้วจะมีน้ำหนักน้อย

ข้อเสีย คือ

1. ต้องมีการติดตั้งระบบอัดอากาศที่สมบูรณ์ อันประกอบไปด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า แอร์คอมเพลสเซอร์ ท่ออัดอากาศ(air tight tubes)

2. โครงสร้างมีความซับซ้อนมาก

3. มีราคาสูง

4. ต้องมีการสอนที่ดีแก่บุคคลที่จะทำการซ่อมบำรุง

5. อ่อนไหวต่อค่า RRRV (rate of rise of recovery voltage)มาก

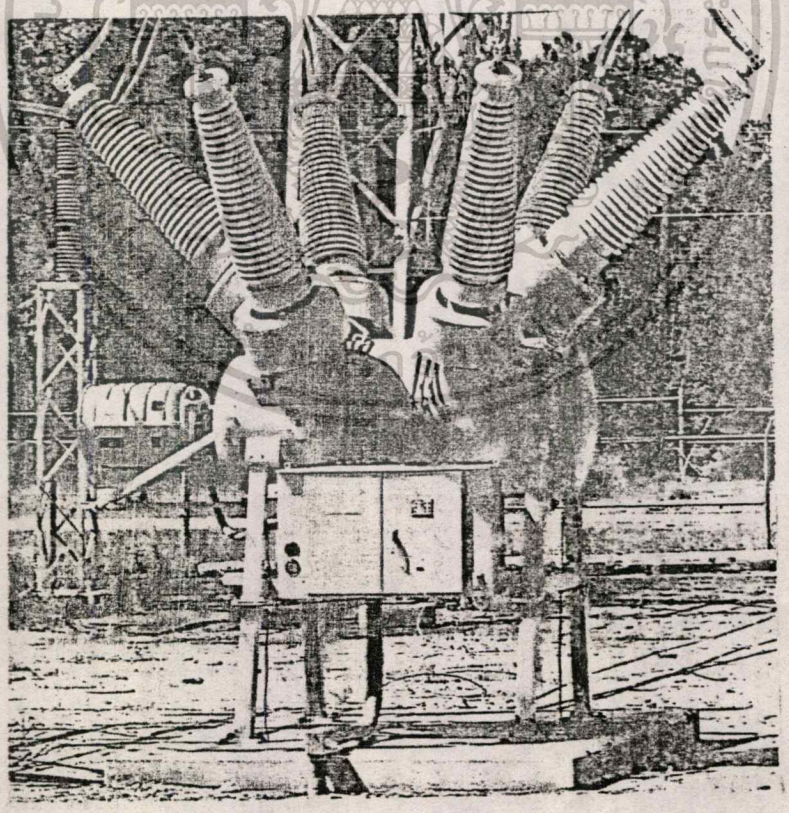
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แก๊สเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Gas circuit breaker)

เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่อาศัยการดับอาร์คด้วยแก๊สหนักชนิดหนึ่งคือ SF_6 (Sulphur hexafluoride) แก๊ส SF_6 มีคุณสมบัติพิเศษในการดับอาร์ค และมีคุณสมบัติพิเศษเป็นฉนวนในทางไฟฟ้า เป็นสารประกอบที่อยู่ตัวและบริสุทธิ์ ตามปกติจะเป็นส่วนผสมเฉื่อยชา ไม่ติดไฟ ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ แก๊ส SF_6 มีความหนาแน่นเป็น 5 เท่าของอากาศ การส่งผ่านความร้อนดีกว่าอากาศ และมีความเป็นฉนวนประมาณ 2-3 เท่าของอากาศ

เป็นที่ยอมรับว่าแก๊ส SF_6 สามารถขจัด current Interruption ได้เป็น 100 เท่าของแอร์บลาสซ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ในระดับแรงดันไฟฟ้าเดียวกันโดยใช้ Blasting nozzle เดียวกัน

สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับ SF_6 เซอร์กิตเบรกเกอร์จะได้กล่าวโดยละเอียดต่อไป

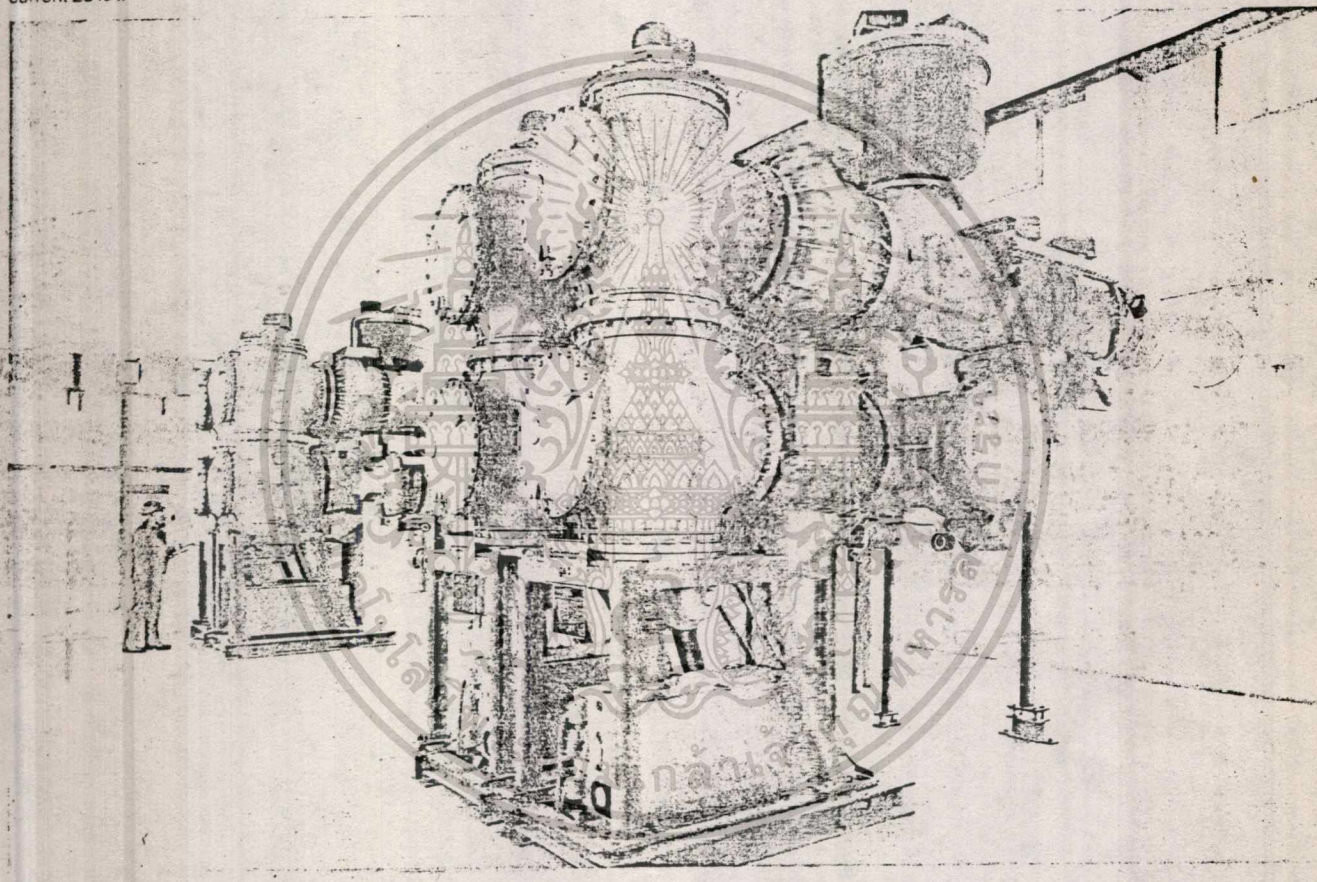


รูป 16 SF_6 CB.

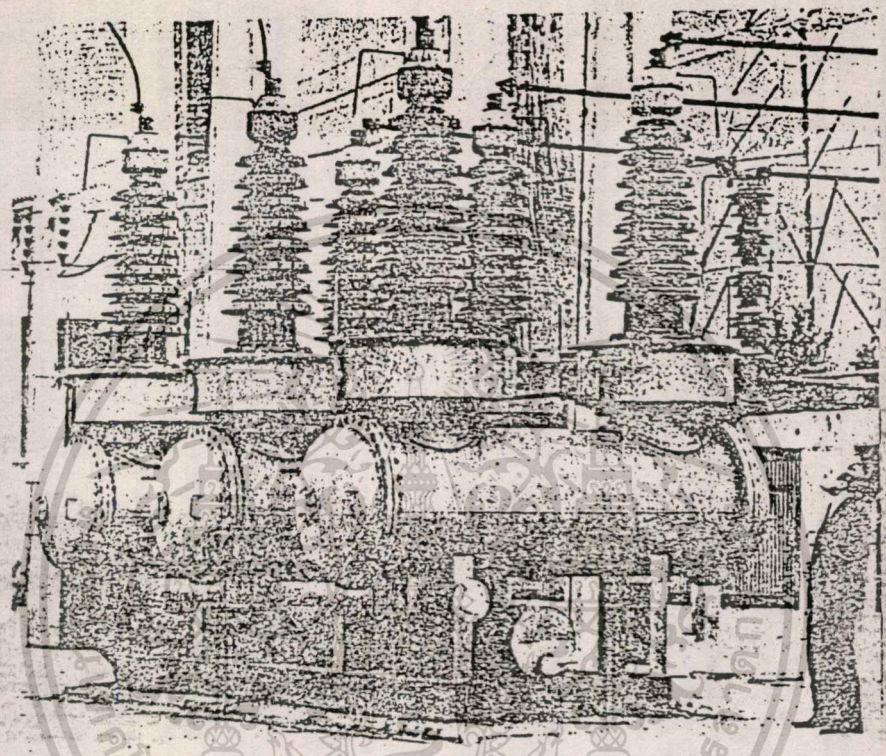
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 17

SF_6 gas-insulated switchgear installation type ELK-0 with 4 switch bays, single busbar and sectionalizer, rated voltage 123 kV, rated current 2500/1600 A, breaking current 25 kA.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 18 SF_6 Circuit breaker, 132 kV, 5,000 MVA (G.E.C. Swithgear Ltd.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แวคคัมเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Vacuum circuit breaker)

เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ชุดคอนแทคอยู่ในอินเทอร์รัพเตอร์แบบสูญญากาศ (Vacuum interrupter) เพื่อที่จะให้เข้าใจถึงความสำคัญของความเป็นสูญญากาศ (Vacuum level) ที่มีผลต่อการทำงานดับอาร์คนั้น จะต้องเข้าใจถึงขบวนการที่สำคัญของการทำงานของ Vacuum interrupter กล่าวคือ เมื่อคอนแทคเปิดวงจรออกขณะมีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่นั้น จะเกิดพลาสมา (plasma) ขึ้นระหว่างขั้วของคอนแทคทั้งสอง พลาสมาก็คือ อนุภาคของแก๊สที่ได้รับประจุไฟฟ้าสูง (highly charged) ซึ่งมีทั้งประจุบวกและลบ มีความร้อนสูง (10-15,000'K) และเป็นสื่อไฟฟ้าที่ดี ในกรณีนี้พลาสมาจะประกอบด้วยไอของโลหะที่ใช้ทำคอนแทค ซึ่งถูกไอออไนซ์และกลายเป็นสื่อไฟฟ้า

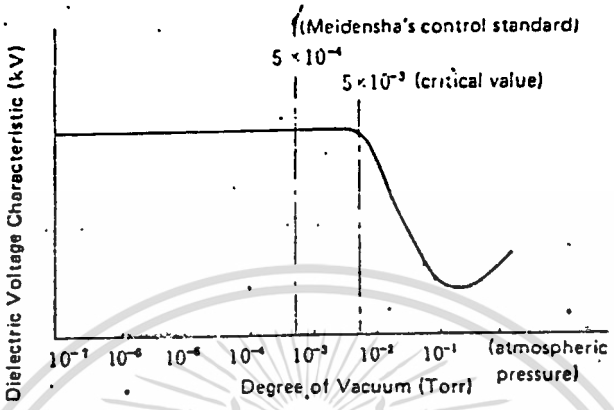
ขณะที่คอนแทคตัดกระแสนั้น จะต้องทำให้เกิดเหตุการณ์ขึ้น 2 เหตุการณ์พร้อมๆกัน คือ

(1) อุณหภูมิของพลาสมาที่เกิดจะต้องถูกลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว เช่น ถ้าอุณหภูมิของพลาสมาที่ 12,000'K และคอนแทคแยกออกจากกันเสร็จสิ้นภายในลูกคลื่นแรกของไฟกระแสสลับ (50-60 Hz) อุณหภูมิของพลาสมาจะต้องถูกทำให้ลดลงที่อัตราความเร็ว 1 พันล้านองศาเคลวิน/วินาที

(2) ความดันของลำพลาสมา (Plasma column) ในขณะที่เริ่มตัดกระแส โดยทั่วไปจะประมาณที่ 2-3 Torr (1 Torr = 1 ATM, 760 mm ปรอท) จะต้องถูกทำให้ลดความดันที่ต่ำกว่า 10^{-4} T ในช่วงครึ่งไซเคิลแรก (ลูกคลื่นแรก) ในอัตราความเร็วที่ลดลง 1,000 T/sec

จะเห็นได้จากรูป 19 ซึ่งจะแสดงให้ทราบค่า Dielectric Strength (ค่าความทนต่อแรงดันไฟฟ้า) ของอากาศจะมีค่าสูงที่ความดันสูงๆ และที่ความดันต่ำมากๆ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากมีความจำเป็นที่จะต้องทำให้ความดันของพลาสมาลดลง ที่ความดันต่ำๆ ดังนั้นอินเทอร์รัพเตอร์จะต้องทำงานดับอาร์คที่ความดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 ค่า Dielectric strength ที่ความดันต่าง ๆ

ข้อควรทราบอีกประการหนึ่งก็คือ ค่า Mean free path ของโมเลกุลแก๊ส ซึ่งจะเป็นค่าที่บอกถึง ระยะทางที่ห่างกันโดยเฉลี่ยระหว่างโมเลกุลหนึ่งกับอีกโมเลกุลหนึ่งก่อนที่จะวิ่งชนกัน ค่า Mean free path ที่ค่าความดันต่างๆกัน ดังแสดงในตาราง 1 เมื่อความดันของแก๊สยิ่งต่ำจะทำให้ค่า Mean free path ของอิเลคตรอนอิสระแลไอออนมากขึ้น เมื่อเทียบระยะห่างระหว่างคอนแทค ณะนั้นที่ความดันต่ำมากๆ ขบวนการเบรคดาวน์ของตัวกลางระหว่างคอนแทคจะไม่ขึ้นอยู่กับการไอออไนซ์(Ionization)เลย ปรากฏการณ์เช่นนี้จะเริ่มเกิดขึ้นที่ความดันประมาณ 10^{-4} T สำหรับระยะระหว่างคอนแทค 1/2 นิ้ว ความจริงข้อนี้เป็นสิ่งสำคัญมาก คือยิ่งที่ความดันต่ำมากๆ การเบรคดาวน์ของตัวกลางระหว่างคอนแทคจะยิ่งเกิดยากขึ้น อย่างไรก็ตามแม้ว่าความดันของพลาสมาจะถูกลดลงที่ความดัน 10^{-4} T ก็จะยังคงมีไอออไนซ์อะตอมและอิเลคตรอนอิสระอยู่บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเหตุนี้จะเห็นได้ชัดว่าความดันของล้ำพลาสมา (Plasma column) จะต้องถูกลดค่าให้ต่ำลง จนกระทั่งอิเลคตรอนอิสระและไอออนที่เหลืออยู่ระหว่างคอนแทคจะไม่เป็นสื่อไฟฟ้า นี่คือเหตุผลหนึ่งที่ทำให้มีการพัฒนาอินเทอร์รัพเตอร์เป็นแบบสูญญากาศ

Comparison of Molecular Density and Mean Free Path at Various Pressures

Pressure (Torr)	Molecules per Cubic cm	Mean Free Path (cm)
760	2.46×10^{19}	6.69×10^{-6}
1	3.24×10^{16}	5.09×10^{-3}
10^{-3}	3.24×10^{13}	5.09×10^{0}
10^{-6}	3.24×10^{10}	5.09×10^{3}
10^{-9}	3.24×10^{7}	5.09×10^{6}
10^{-12}	3.24×10^{4}	5.09×10^{9}
10^{-15}	3.24×10^{1}	5.09×10^{12}

ตารางที่ 1

ข้อดีของแวคคัมเซอร์กิตเบรกเกอร์

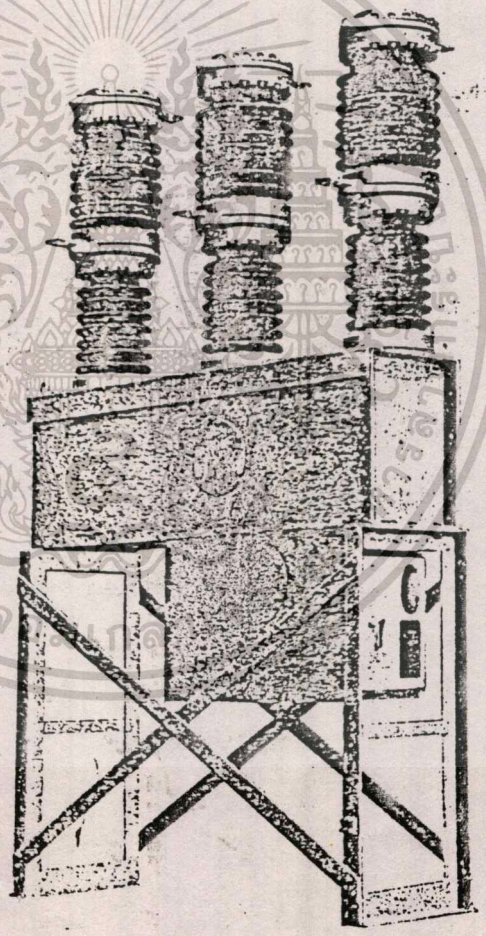
๑.ค่า Dielectric strength ของสูญญากาศจะมีค่าสูงกว่าตัวกลางดับอาร์คอื่นๆ ทั้งหมด

๒.ระยะห่างระหว่างหน้าสัมผัส สามารถทำให้สั้นลงกว่าปกติได้ซึ่งจะทำให้แวคคัมอินเทอร์รัพเตอร์เปิดปิดวงจรได้เร็วกว่าอินเทอร์รัพเตอร์แบบอื่นๆ ระยะห่างระหว่างคอนแทคใน vacuum interrupter โดยทั่วไปจะประมาณ 1/4 ถึง 3/4 นิ้ว ประกอบกับชุดกลไกซึ่งก้ากับการเคลื่อนที่ของคอนแทคและอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และมีน้ำหนักเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓. ชุดอินเทอร์รัพเตอร์เป็นแบบไม่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษา (Maintance free operation) เพราะว่าคอนแทคทำงานอยู่ในห้องสูญญากาศที่ปิดแน่น ไม่มีสิ่งสกปรกเกิดขึ้นหรือเข้าไปได้ ทั้งยังไม่มีผลกระทบกระเทือนจากอุณหภูมิภายนอกด้วย ส่วนอายุการใช้งานก็ยาวนานทัดเทียมกับเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบอื่นๆ

๔. โครงสร้างของแวคคัมอินเทอร์รัพเตอร์ มีรูปร่างเล็กกระทัดรัด น้ำหนักเบา สามารถติดตั้งในที่จำกัดได้



รูปที่ 20 Vauum circuit breaker (Midensha Electric Ltd.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

operating mechanism

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operating Mechanism ของเซอร์กิตเบรกเกอร์

Operating Mechanism คือกลไกกำกับการทำงานของอินเทอร์รัพเตอร์ (Interrupter) หรืออีกนัยหนึ่งกำกับการทำงานของการปิดเปิดคอนแทคเตอร์ของเซอร์กิตเบรคเกอร์

Operating Mechanism ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ๓ ส่วนคือ

๑. Operating unit ประกอบด้วยกลไกต่างๆที่ใช้ส่งกระตุ้นแรงงานในเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเซอร์กิตเบรคเกอร์ทั่วไป

๒. Breaker Chasis คือกลไกส่วนที่ถูกดึงออกในตัวเบรกเกอร์โพล (Breaker poles)

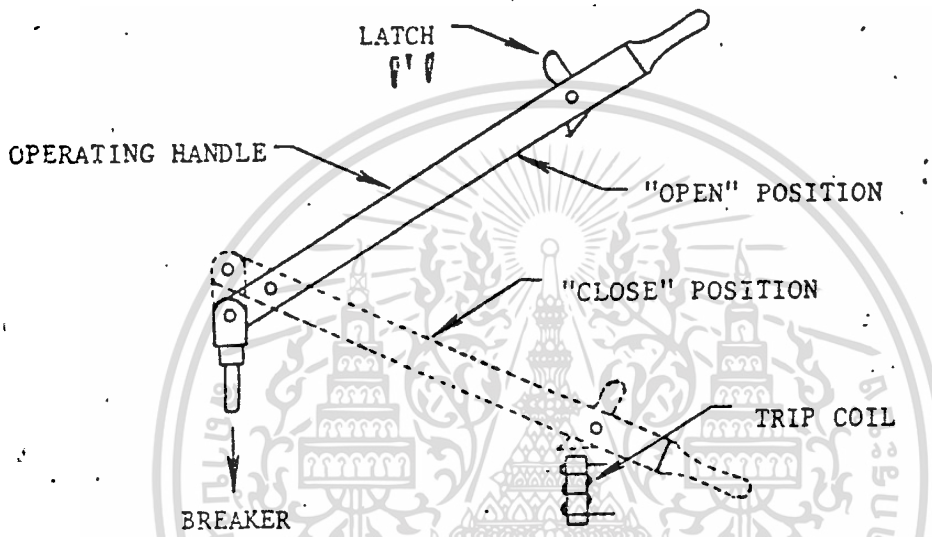
๓. Operating shaft คือกลไกส่วนที่รับแรงงานไปกระตุ้นคอนแทคต่างๆ รวมทั้งอินดิเคเตอร์ด้วย

Operating Mechanism ที่ใช้กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ประเภทต่างๆ ทั่วไป แบ่งตามลักษณะการทำงานเป็น ๖ ชนิดคือ

1. Manual operation
2. Solenoid operating
3. Motor operating
4. Spring operation
5. Pneumatic operation
6. Hydraulic operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Manual operation เป็นชนิดง่ายและราคาย่อมเยากว่าชนิดอื่นทั้งหมด สำหรับใช้กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดเล็กที่มีพิกัดในการตัดกระแสและพิกัดแรงดันต่ำๆ ซึ่งโดยทั่วไปจำกัดไว้ไม่เกิน ๑๕ MVA (หรือ ๒๒ KA) และ ๒๔๐๐ โวลท์ หลักการทำงานได้แสดงไว้ดังรูป



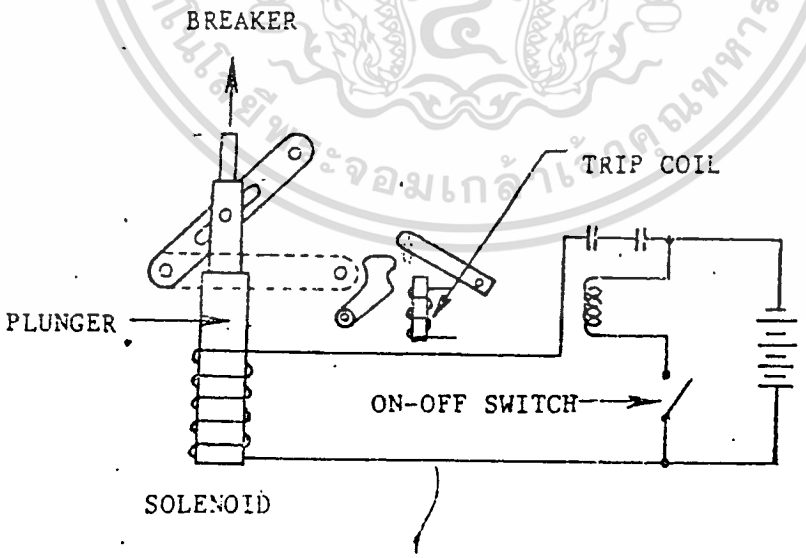
รูปที่ ๒๑ Operating mechanism แบบ Manual operation (โดยใช้มือ)

จากรูปจะประกอบไปด้วย Operating handle latch หรือกลไกสำหรับล็อค handle ไว้ในขณะสับเซอร์กิตเบรกเกอร์และมีทริปคอยล์ (Trip coil) ติดไว้ด้วย ซึ่งหากมีโอเวอร์โหลดหรือฟอลท์เกิดขึ้นในวงจรและทริปคอยล์ถูก energized แล้วแกนของทริปคอยล์จะไปดันล็อกที่เกี่ยว latch ไว้ให้หลุด เซอร์กิตเบรกเกอร์ก็จะทริปออกเมื่อข้อขัดข้องผ่านไปแล้ว การสับเซอร์กิตเบรกเกอร์กลับเข้าไปใหม่ (Reclose) ก็ทำด้วยมืออีก

ในเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วๆ ไป Operating handle อาจดัดแปลงเป็น mechanical linkage ประกอบปุ่มสวิตช์ on-off เพื่อให้เซอร์กิตเบรกเกอร์มีรูปร่างกระทัดรัดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

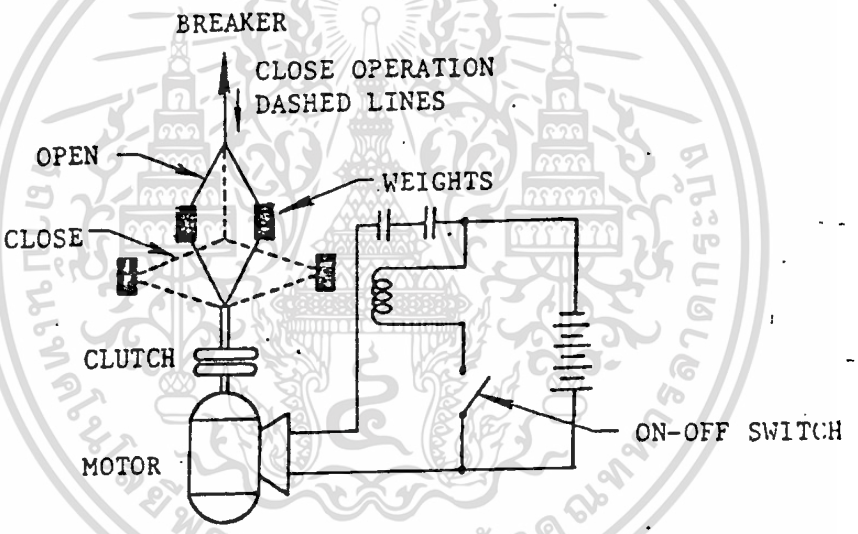
-Solinoid operation ใช้กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดใหญ่ขึ้นไป operating mechanism ชนิดนี้อาศัยกำลังแม่เหล็กของขดลวดหรือโซลินอยล์ (solinoid)มาดึงพลังเกอร์ (plunger) ซึ่งเชื่อมโยงกับmechanism linkage ไปทำการสับคอนแทคให้ปิดวงจร การใช้โซลินอยล์มีความสะดวกประการหนึ่งที่สามารถล่ามสายออกไปไกลๆ และติดสวิตช์ on-off เป็น remote operationได้ แต่จะต้องติด auxilliary switchไว้ด้วย นอกจากนั้นจะต้องติด Trip free relay อีกชุดหนึ่ง เพื่อให้เซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถทริปได้ในขณะที่โคลสซิ่งคอยล์มีไฟ เช่นในกรณีที่สับเซอร์กิตเบรกเกอร์เข้าไปแล้วเกิดฟอลท์ขึ้น โซลินอยล์ทำงานด้วยไฟกระแสตรงและกินไฟมาก ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีแบตเตอรี่กำลังไฟสูงๆไว้ประจำ ทั้งการเดินสายจากแบตเตอรี่มายังโซลินอยล์ ก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นมาก ความเร็วของsolinoid operating mechanism ในการปิดวงจรประมาณ 0.8 วินาที หรือประมาณ 40 ไซเคิล จึงไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องการปิดวงจรด้วยเร็วสูง



รูปที่ 22 Operating mechanism แบบ Solinoid operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

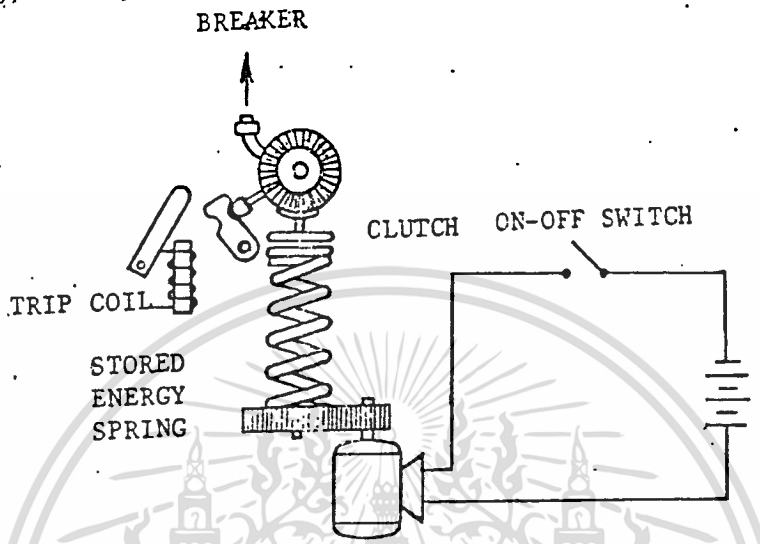
-Motor operation ใช้มอเตอร์หมุนตุ้มน้ำหนักให้เกิดแรงเหวี่ยง (Centrifugal force)ขึ้น ทำนองเดียวกับ flyball ของ governor ขณะเกิดแรงเหวี่ยงนั้นแกนของตุ้มน้ำหนัก ซึ่งเชื่อมต่อกับก้านคอนแทคของเซอร์กิตเบรกกอร์ จะถูกดึงลงมาข้างล่าง ทำให้คอนแทกปิด ส่วน Trip free นั้น ทำงานโดยใช้กลไกชุดอื่นต่างหาก Operating mechanismชนิดนี้กินกระแสมากพอๆกับแบบ Solinoid operation ความเร็วในการทำงานเท่าๆกับแบบ Solinoid operation ดังแสดงในรูป



รูปที่ 23 Operating mechanism แบบ Motor operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Spring operation โดยการอัดกำลังให้แก่สปริงด้วยการไขลาน (charging)ด้วยมือหรือด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ สปริงแบบต่างๆมี Coil spring,Leaf spring หรือ Torsion spring



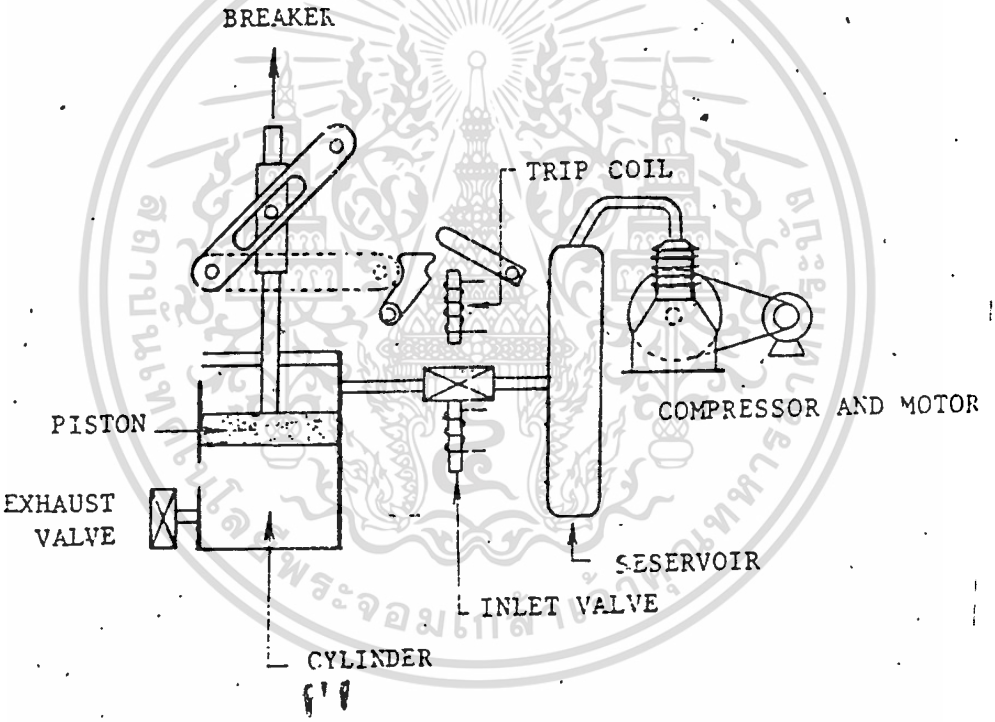
รูปที่ 24 Operating mechanism แบบ Spring operation

คุณลักษณะของ Operating mechanism แบบนี้คือ ทำงานได้เร็วมากถึง ๔ ไซเคิลหรือภายใน 0.๑ วินาที อาจนำไปใช้กับการปิดวงจรแบบ High-speed automatic reclosing ได้ ทั้งไม่ต้องคิดตั้งแบตเตอรี่หรือชุดเรคติฟายเออร์(rectifier)ให้สิ้นเปลืองการลงทุนอีกด้วย แต่มีข้อเสียอยู่ที่ว่าไม่สามารถจะทำ Trip free ได้

เมื่อสปริงถูกอัดเตรียมไว้แล้ว จะสามารถโคลสทริปได้ ทั้งทางด้านกลไกและด้านไฟฟ้า แต่ถ้าสปริงถูกอัดกำลังไม่เพียงพอสำหรับการโคลส-ทริป ถ้าเราสั่งโคลสเซอร์กิตเบรกเกอร์ๆจะไม่ยอมทำตามเป็นการป้องกันภายในตัว แรงอัดของสปริงนั้นจะออกแบบไว้ให้พอเหมาะ เพื่อวาเมื่อโคลสหรือทริปเซอร์กิตเบรกเกอร์จะได้ไม่มีการเด้งเข้าหรือเด้งออก นอกจากนี้จึงเป็นการป้องกันการโคลส-ทริปเข้าออกหลายๆครั้งติดกันด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Pneumatic operation ใช้กำลังลมอัด (Compressed air) ทำงาน Operating-mechanismแบบนี้เหมาะที่จะใช้กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้แทบทุกประเภท โดยเฉพาะ Air blast circuit breaker เพราะเซอร์กิตเบรกเกอร์ประเภทนี้ก็ใช้กำลังลมอัดสำหรับในการดับอาร์กอยู่แล้ว หลักการของ Pneumatic operation mechanism นี้คือ เปิด Inlet valve ปล่อยลมอัดเข้าไปดันลูกสูบดังแสดงในรูป ซึ่งก้านสูบต่อเชื่อมโยงไปยังคอนแทคของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เมื่อลูกสูบถูกดันโดยลมอัดก็จะเคลื่อนที่ ก้านลูกสูบก็จะปิดหรือเปิดคอนแทคตามต้องการ



รูปที่ 25 Operating mechanism แบบ Pneumatic Operation

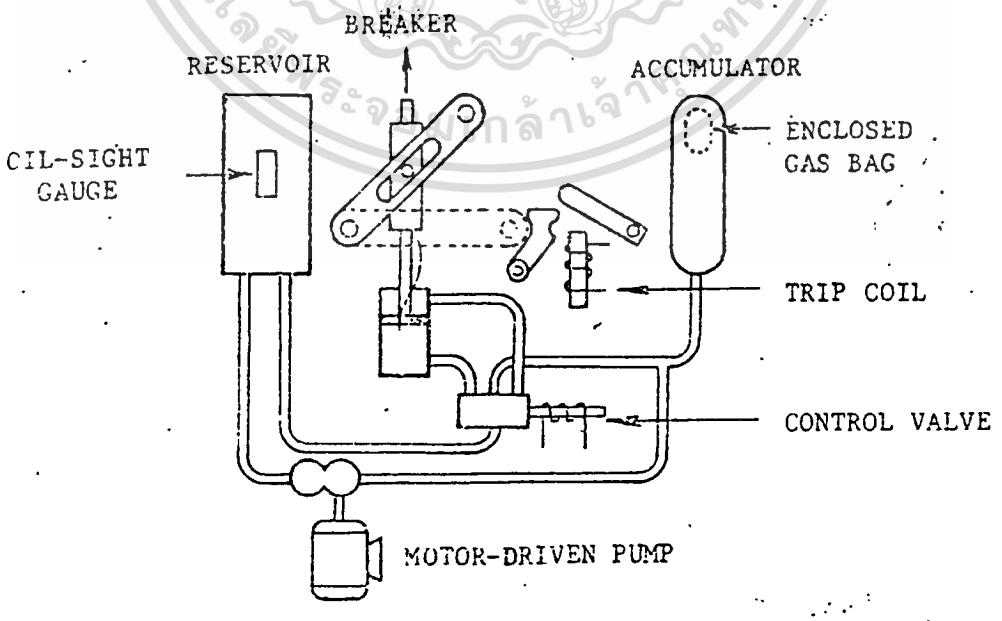
อนึ่งในเซอร์กิตเบรกเกอร์บางแบบ แทนที่จะใช้ลมอัดไปดันลูกสูบดังกล่าวมาแล้ว อาจให้ลมอัดไปทำงานที่ Solinoid valve แทน ทั้งนี้อาศัยหลักการของลมอัดและโซลินอยด์ประกอบกันเรียกว่า Electro pneumatic operation

ลมอัดที่ใช้ในการนี้ได้มาจาก แอร์คอมเพรสเซอร์ (Air compressor)ซึ่งถ้าในกรณีของ Air-blast circuit breaker ก็มักจะใช้ชุดเดียวกับที่ใช้ในการดับอาร์คนั่นเองและในกรณีนี้จะใช้ความดัน ๑๒๐-๓๔๐ ปอนด์/ตร.นิ้ว แต่ถ้าใช้กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ประเภทอื่น ซึ่งจะต้องติดตั้งแอร์คอมเพรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือนำไปเผยแพร่ต่อ

เซอร์ต่างหากโดยเฉพาะแล้ว ก็มักจะใช้ความดันต่ำกว่านี้ Pneumatic operation mechaism สามารถทริปได้เร็วมากคือประมาณ 0.04-0.12 วินาที หรือ ๓-๘ ไซเคิล และกระทำให้ให้ Trip free ได้ นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมให้ทำงานดีขึ้นและลดอาการกระแทกจากกำลังลมได้ โดยติดตั้งอุปการณ์ที่เรียกว่า Trotling valve หรือ Dump valve ประกอบเพิ่มเติมเข้าไป

-Hydraulic operation ใช้กำลังน้ำมันอัดล้วนๆ หรือใช้ประกอบกับกำลังอัดด้วย เรียกว่า Pneumo-hydraulic หรือ Hydra-pneumatic มีอุปกรณ์ที่สำคัญคือ hydraulic pump อัดน้ำมันขึ้นไปถึงประมาณ ๔๐๐๐ ปอนด์/ตร.นิ้ว และให้น้ำมันนี้ไปอัดอากาศหรือแกสไนโตรเจนที่อยู่ในAccumulatorอัดอากาศ หรือแกสไนโตรเจนที่อยู่ใน Accumulator อีกต่อหนึ่ง จากAccumulatorมีสายต่อน้ำมันต่อไปยังกลไกก้านสับคอนแทคของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เมื่อเปิดวาล์วน้ำมัน อากาศหรือแกสไนโตรเจนที่อยู่ใน Accumulator ก็จะเข่งตัวอัดน้ำมันให้ไปดันกลไกเปิดคอนแทคอีกต่อหนึ่ง การ Trip free ของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะใช้ Mechanical device ชุดหนึ่งอีกต่างหาก



รูปที่ 26 OPERATING MECHANISM แบบ Hydraulie (ใช้น้ำมันอัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operating mechanism แบบนี้มีข้อดีกว่าคือ

1. เนื่องจากใช้น้ำมันความดันสูง ฉะนั้นท่อน้ำมันจึงใช้ขนาดเล็กได้ ไม่เกะกะตังเช่นท่อลมใน Pneumatic operating mechanism

2. ถ้าไฟฟ้าขัดข้องไม่สามารถเดินเครื่องด้วยไฮดรอลิกปั๊มได้ ก็อาจใช้สูบด้วยมือ

3. ในการตรวจตราชิ้นส่วนภายในหรือภายนอกหรือในการตรวจสอบการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ต้องการให้เซอร์กิตเบรกเกอร์สับหรือปลดช้าๆ ก็อาจจะกระทำได้โดยค่อยๆปล่อยน้ำมันทาง bleeder valve ความเคลื่อนไหวของชิ้นส่วนต่างๆของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ก็จะเป็นไปอย่างช้าๆด้วย

4. ทำงานได้ฉับไวกว่า Operating mechanism ชนิดอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

SF_6 CIRCUIT BREAKER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SF_6 circuit breaker

จากที่ได้กล่าวมาข้างถึงเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้แล้วนั้น ตอนนี้ก็จะกล่าวถึงโดยละเอียดต่อไป

ลักษณะดีเด่นของ SF_6 เซอร์กิตเบรกเกอร์

1.มีความสามารถในการอินเทอร์รัพสูง เนื่องจากแก๊สSF_6ทนต่อ current interruption ดีเยี่ยมเมื่อมีเหตุการณ์ปกติเกิดขึ้นเช่น เกิดลัดวงจร

2.แรงดันไฟฟ้าต่ำในเมื่อมีกระแส interrupting น้อยๆ คุณสมบัติพิเศษของแก๊สSF6 สามารถรักษาระดับ overvoltage ให้ต่ำที่สุด เมื่อมีกระแสที่เกิดจากอาร์คน้อย

3.ในการทำงานมีเสียงดังน้อย เนื่องจากแก๊ส SF_6 ในเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่หายไปไหนและใช้ความดันน้อยๆก็ดับอาร์คได้ จึงติดตั้งในที่ชุมชนได้ไม่ต้องกังวลในเรื่องเสียงรบกวน

4.Ample overload margin แก๊ส SF_6 เป็นแก๊สเฉื่อยและมีเสถียรภาพที่อุณหภูมิปกติ จึงไม่ทำปฏิกิริยา Oxidation หรือปฏิกิริยาเคมีใดๆ แต่แอร์และออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์จะมีปฏิกิริยา Oxidation ที่อุณหภูมิสูงๆ SF_6 เซอร์กิตเบรกเกอร์ได้ออกแบบไว้ตรงกันข้ามกับแอร์และออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์

5.มีความปลอดภัยสูงเพราะแก๊ส SF_6 ไม่เป็นพิษ และไม่มีการสันดาปจึงไม่เป็นอันตรายต่อคนและไม่ต้องกังวลเรื่องไฟไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของ SF_6 GAS

ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์(SF_6) เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษและไม่ติดไฟ โมเลกุลเป็นโมเลกุลสมมาตร (Symmetrical) ซึ่งประกอบด้วยอะตอมของซัลเฟอร์ล้อมรอบด้วยฟลูออไรด์ 6 อะตอม เป็นรูปทรงเหลี่ยมแปดหน้า (octahedron) ดังรูป 27

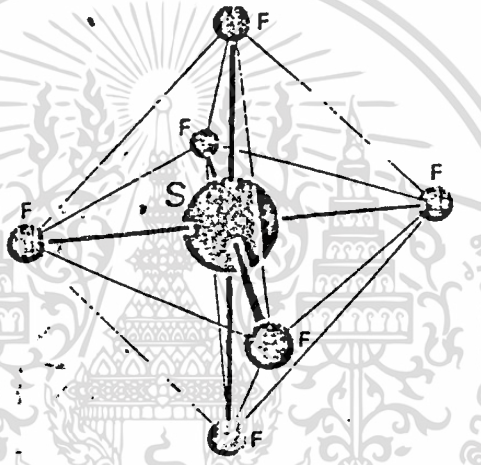


Figure 27 The SF_6 molecule

อะตอมของฟลูออไรด์แต่ละตัวอิเล็กตรอนชั้นนอกสุดจะจับอิเล็กตรอนชั้นนอกสุดที่มีอยู่ 6 ตัวของซัลเฟอร์ ซึ่งจะทำให้ชั้นอิเล็กตรอนสมบูรณ์ และทำให้โมเลกุลของSF_6 มีสเถียรภาพมากและมีความเฉื่อยทางเคมีมากด้วย

แก๊สนี้เสถียรภาพแม้ว่าอุณหภูมิสูงถึง 500 c และแก๊สนี้สามารถที่จะใช้เป็นวัสดุฉนวนได้เหมือนกับเซรามิค, แก้ว หรือพวกอีพอกซีเรซิน (epoxy resin) จนถึงอุณภูมิอย่างน้อย 150 c โดยไม่มีผลกับตัวมันเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากโมเลกุลมีน้ำหนักมาก คือ 146 (ถ้าเทียบกับ ไนโตรเจน ซึ่งหนักแค่ 28 และออกซิเจนซึ่งหนัก 32) ความหนาแน่นของ SF_6 จึงสูงประมาณ 5 เท่าของอากาศ

ความเร็วของเสียงในSF_6มีเพียงประมาณ 130 m/s ที่อุณหภูมิ 20 c เมื่อเทียบกับ 330 m/s

SF_6 ที่บริสุทธิ์จะไม่เป็นพิษ จะอย่างไรก็ตาม การรั่วของแก๊สในห้องหรือท่อที่ปิดมิดชิด เนื่องจากแก๊สมีความหนาแน่นสูง อาจจะทำให้เกิดการสำลักได้จึงควรจะระมัดระวังกรณีเช่นนี้

ที่อุณหภูมิต่ำๆ SF_6 อาจจะกลายเป็นของเหลวได้ ถ้ามีความหนาแน่นสูง ซึ่งลิมิตของการกลั่นตัวเป็นของเหลวแสดงโดย Vapour pressure curve ดังในรูป 28

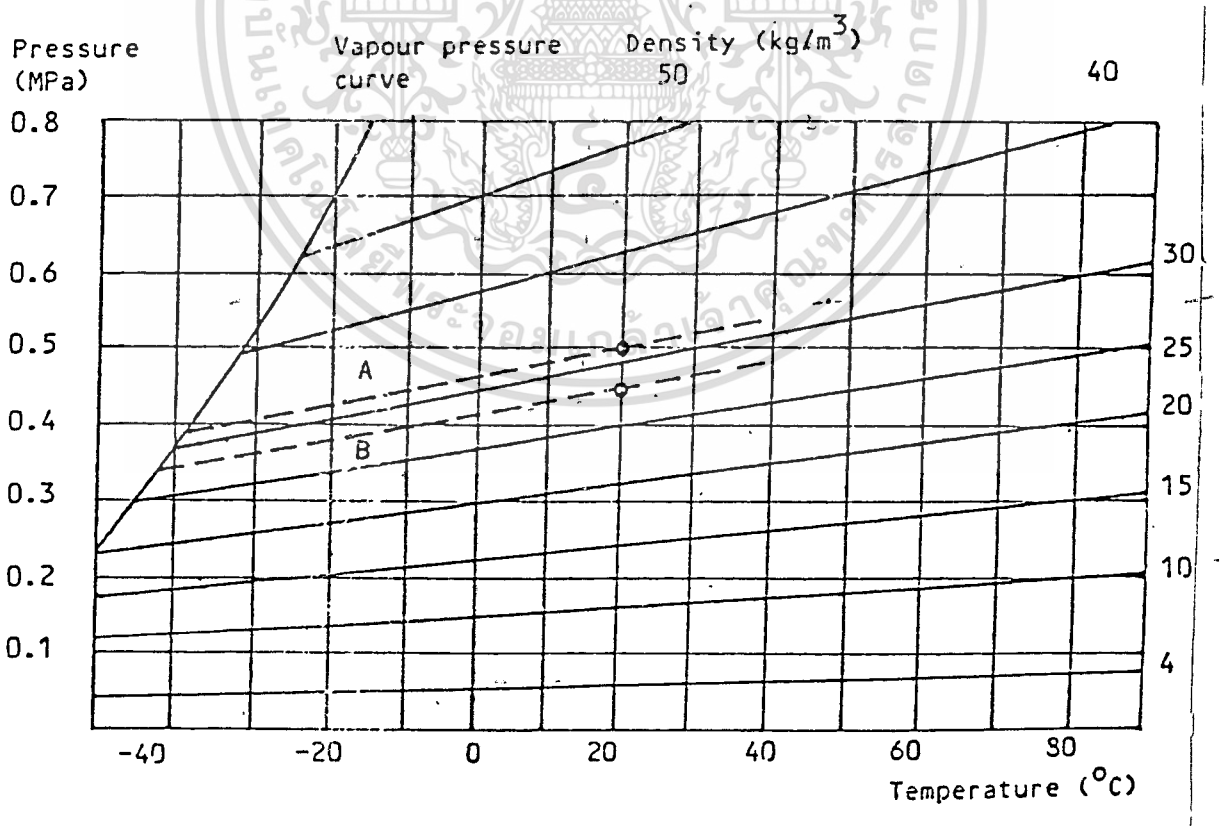


Figure 28 Relations between pressure, density and temperature for SF_6

A Density of gas with pressure 0.50 MPa at 20°C

B Density of gas with pressure 0.45 MPa at 20°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราอาจจะใช้ความหนาแน่นเป็นตัวแปรในการอธิบายคุณสมบัติของแก๊สในเบรกเกอร์ แทนที่จะใช้ความดันที่เปลี่ยนไปกับอุณหภูมิ ในขณะที่ความหนาแน่นคงที่ โดยปกติเราจะแสดงความหนาแน่นกับความดันที่อุณหภูมิ 20 c

ในเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเอาท์ดอร์ (outdoor) ที่ใช้ในอุณหภูมิ ต่ำถึง -40 c ที่ใช้โดยปกติจะมีความดันของ SF_6 0.5 M Pa. ที่ 20 c ความดันของแก๊สในกรณีนี้ถูกแสดงด้วยเส้นโค้ง A ในรูปที่ผ่านมา ซึ่งมันอาจจะเกิดการกลั่นตัวเป็นของเหลวเล็กน้อยที่อุณหภูมิ -40 c นี้ อย่างไรก็ตามเพื่อที่จะให้ rated breaking capacity แน่นอนที่อุณหภูมินี้ ดังนั้นอาจจะใช้ความดัน 0.45 MPa.ที่ 20 C ในกรณีนี้การกลั่นตัวจะไม่เกิดจนกว่าอุณหภูมิจะต่ำกว่า 42 c โดยประมาณ(แสดงด้วยเส้นโค้ง B ในรูป 28)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของสารฉนวน

SF_6 เป็นโมเลกุลที่อิเลคโตรเนกาทีฟสูงมาก นั่นคือ อิเลคตรอนอิสระจะถูกดึงดูดด้วยโมเลกุลของแก๊ส ทำให้กลายเป็นอิออนลบ การดิสชาร์จทางไฟฟ้าซึ่งรวมทั้งแฟลชโอเวอร์(flash over) และ พาร์เชียลดิสชาร์จ(partial discharge) ซึ่งจะเริ่มด้วยการเร่งอิเลคตรอนอิสระในสนามไฟฟ้า จะเป็นการหักล้างกันหมด ค่าอิเลคโตรเนกาติวิตี้และพลังงานอิออนไนซ์ที่สูง(19 eV.)จะทำให้ค่าความแข็งแรงฉนวน(dielectric strength)ของแก๊สสูง

ค่าความแข็งแรงของ SF_6 จะเพิ่มขึ้นตามความดัน ที่ความดันบรรยากาศ ความแข็งแรงของ SF_6 จะประมาณ 2.5 เท่าของอากาศ(Air)การเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อการทนอิมพัลซ์ของSF_6,อากาศ,น้ำมันและสุญญากาศ ดังแสดงในรูป 29

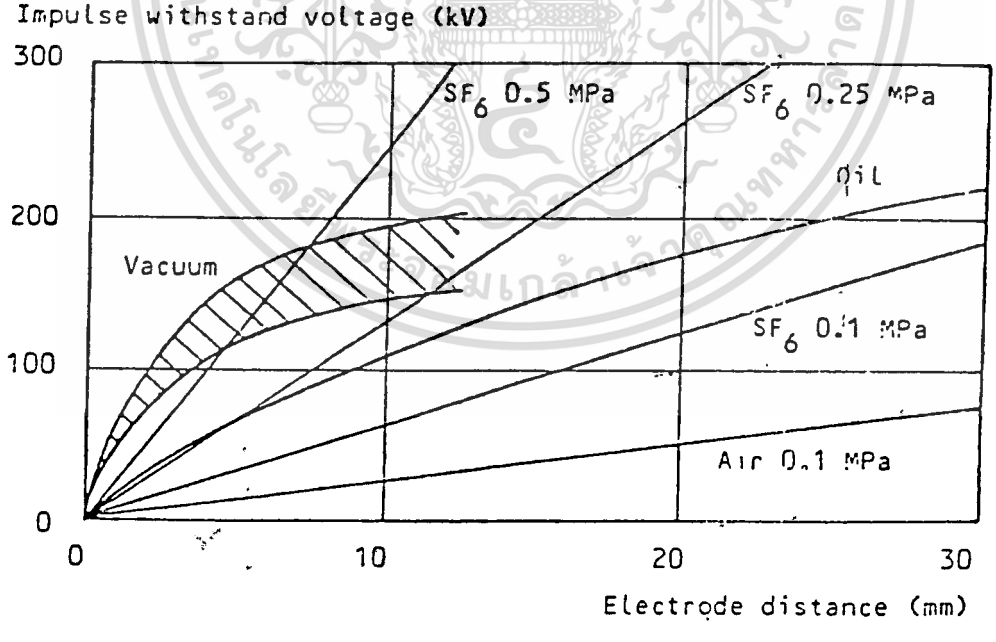


Figure 29 Impulse withstand strength in slightly inhomogeneous field

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาร์คของเซอร์กิตเบรกเกอร์

หลักการเบื้องต้น

เมื่อคอนแทคของเซอร์กิตเบรคเกอร์แยกออกจากกันเพื่อตัดกระแส อาร์คอาจจะเกิดขึ้นระหว่างคอนแทค กระแสก็จะยังคงไหลผ่านอาร์คต่อไปจนกระทั่ง กระแสศูนย์ปกติ(natural current zero)มาถึง ถ้าขณะนั้นการคูลลิ่งของอาร์คดีพอและระยะห่างระหว่างคอนแทคที่เกิดการอาร์คมากพอ กระแสก็จะถูกตัดออกไป โดยปกติจะเกิดมากกว่า 1/2 ไซเคิลของกระแสก่อนที่จะถูกตัด

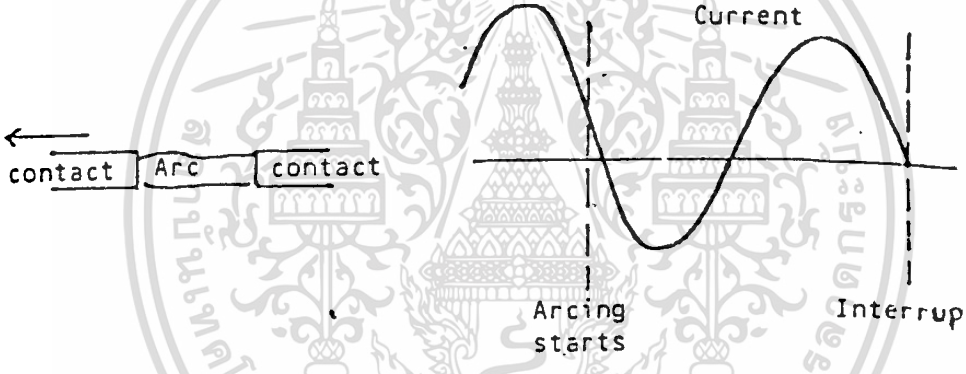


Figure 30 The principle of arcing in a circuit-breaker

คุณลมบัติของการอาร์ค

การอาร์คเป็นพลาสม่าอย่างหนึ่ง นั่นคือแกสที่อยู่ในอุณหภูมิสูงมากพอที่จะถูกอิออไนซ์ พลาสมาของการอาร์คจะประกอบด้วยตัวนำประจุบวกและลบต่อหน่วยปริมาตร เนื่องจากการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของอิเลคตรอนเมื่อเปรียบเทียบกับประจุบวก กระแสที่ไหลในพลาสม่าเกือบทั้งหมดจะเป็นผลมาจากอิเลคตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กจะทำให้ประจุพาหะเคลื่อนที่เข้าไปยังจุดศูนย์กลางของการอาร์ค ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า pinch effect ทำให้อาร์คถูกจำกัดขอบเขตและแน่นอนว่าจะเกิดแรงดันสูงในอาร์ค

แรงดันไฟฟ้าการอาร์คจะแปรผกผันกับกระแสดังรูป 31

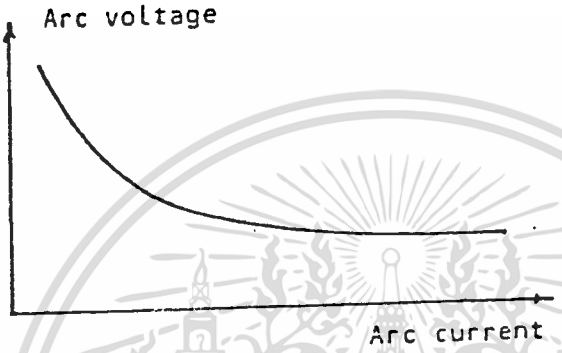


Figure 31 Principal current-voltage characteristic of an arc

ที่กระแสสูงๆแรงดันไฟฟ้าจะค่อนข้างคงที่และจะมีค่าเป็น 50-100 v/cmใน SF_6 circuit breakerที่มีaxial blast ในการปิดคอนแทคความแข็งแรงของสนาม(field strenth)จะสูงและคอนแทคจะร้อน

ที่กระแสคงที่อาร์คคอลัมน์จะมีการสมดุลย์ความร้อน มันจะร้อนขึ้นเนื่องจากกระแสและพลังงานความร้อนจะถูกส่งไปยังที่ที่อุณหภูมิต่างกันโดยการนำ การพา และการแผ่รังสี การอาร์คที่อุณหภูมิสูงๆใน SF_6 อุณหภูมิอาจจะถึง 20,000 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของการอาร์คต่อแก๊ส SF_6

การดิสชาร์จไฟฟ้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งการอาร์คในเซอร์กิตเบรกเกอร์ SF_6 จะถูกแยกออกเป็นแก๊สตามนี้

$$SF_6 \rightarrow S + 6F$$

ถ้าเกิดการย้อนกลับของการดิสชาร์จก็จะไม่เป็นไรเพราะจะกลายมาเป็น SF_6 เหมือนเดิมโดยไม่มีปฏิกิริยาขั้นที่ 2 เกิดขึ้น ที่ปฏิกิริยาขั้นที่ 2 ผลิตภัณฑ์ของแก๊สและของแข็งจะมีรูปเป็น

-metal fluorides เช่น CuF_2 , WF_6

-sulphur fluorides เช่น SF_4 , S_2F_2

ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เกิดจากปฏิกิริยานี้ยังเป็นฉนวนที่ดีและไม่ทำให้การคงทนไฟฟ้าลดลง metal fluorides อาจจะมองเห็นเป็นผงสีเทาอยู่ภายในตัวห่อหุ้ม SF_6 CB.

ผลผลิตที่ได้จะไม่มีผลร้ายตราบเท่าที่ไม่มีความชื้นใน SF_6 แต่ถ้ามีความชื้นก็อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็น

$$SF_4 + H_2O \rightarrow SOF_2 + 2HF$$

HF จากปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดกรดไฮโดรฟลูออริค ซึ่งจะมีผลอย่างมาก โดยกรดจะไปทำลายวัสดุจำพวกซิลิเซียม เช่น แก้วหรือporcelain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหลีกเลี่ยงปัญหานี้ทำได้โดย ใน SF_6 CB. จะบรรจุตัวดูดซับเข้าไป ตัวดูดซับ 2 ชนิดที่ใช้โดยทั่วไปคือ

-activated aluminium oxide

-activated molecular sieve

เมื่อใช้ด้วยกัน molecular sieve จะดูดซับความชื้น และ aluminium ozide จะดูดผลผลิตที่ไม่ต้องการ

ผลผลิตที่ไม่ต้องการของ SF_6 บางอย่างจะเป็นพิษ ดังนั้นจึงควรระวังเวลาในการเปิด

การตัดการอาร์ค(Arc Interruption)

ที่กระแสสูงๆ อาร์คจะถูกไอออไนซ์และถูกทำให้ร้อนมาก เมื่อกระแสลดลงสู่ค่าศูนย์อาร์คจะค่อยๆ แคบลงทีละน้อย ความร้อนก็ค่อยๆลดลงและการไอออไนซ์ก็ลดลง สำหรับกระแสที่ถูกตัดที่ศูนย์ จะมีขบวนการ 2 ขบวนการที่เกิดขึ้น

- อย่างแรกคือการคลายร้อนของอาร์คต้องดีพอที่จะทำให้อุณหภูมิของอาร์คลดลงจนแก๊สไม่สามารถไอออไนซ์ต่อไป กระแสก็จะถูกขัดขวางจากการสร้างใหม่ในทิศทางตรงข้าม

- อย่างที่ 2 คือหลังจากกระแสหยุดไหล ความคงทนของฉนวนระหว่างคอนแท็คที่เกิดการอาร์คจะต้องสูงพอที่จะทนแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะเริ่มสูงขึ้นอย่างทันทีทันใด

ถ้าการตัดนั้นไม่ประสบผลสำเร็จอาจจะเป็นเพราะการเสียหายความร้อน (Thermal failure) หรือ ความล้มเหลวของฉนวน(dielectric failure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพความร้อน(Thermal conditions)

ที่กระแสศูนย์แนวของอาร์ค(arc column) ระหว่างคอนแทค ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ยังคงร้อนและอาจมีบางส่วนไอออไนซ์อยู่ จะยังคงมีกระแสตกค้างไหลอยู่ในทิศทางตรงข้ามกันกับหลังจากที่ศูนย์ สำหรับกระแสที่ถูกตัดนั้น การดูลิ่งของพลาสมาจะต้องดีนั่นคือจะต้องสูญเสียพลังงานมากกว่าที่จะได้รับจากกระแสอาร์ค ถ้าเงื่อนไขเป็นดังนี้อุณหภูมิของการอาร์คก็จะลดลงและจะทำให้ความนำไฟฟ้าลดลง และกระแสจะเข้าสู่ค่าศูนย์ ผลของการหักล้างระหว่างพลังงานที่ให้และสูญเสีย จะสิ้นสุดลงในเวลาไม่กี่มิลลิวินาที เมื่อกระแสลดลงเป็นศูนย์จะเป็นดังรูป 32

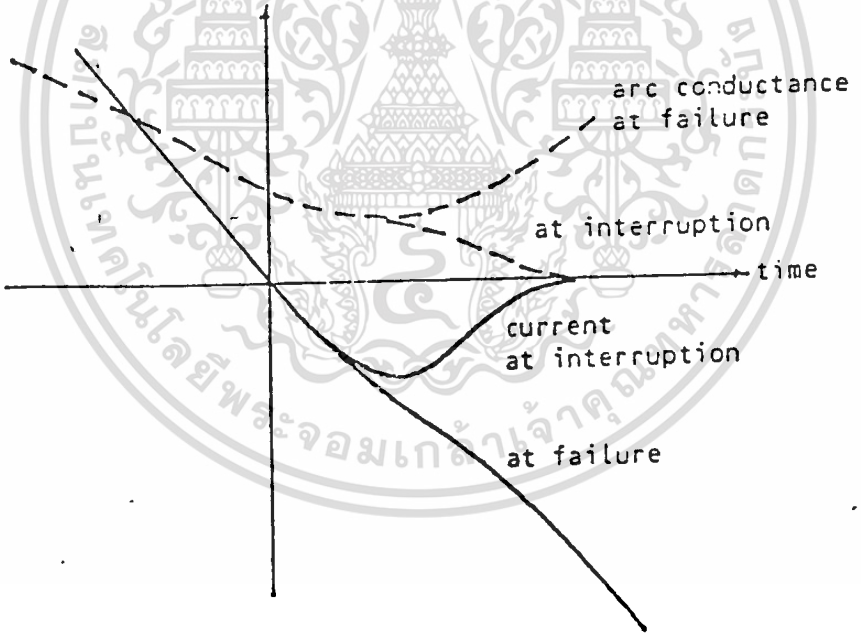


Figure 32 Conditions in the thermal regime
Times are in the microsecond range

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาเงื่อนไขทางไฟฟ้า องค์ประกอบ 2 อันที่สำคัญที่จะทำให้การตัดกระแสประสบผลหรือล้มเหลวในหลักทางความร้อน(Thermal regime)

- อัตราการลดลงของกระแส(di/dt)เข้าสู่ค่าศูนย์
- อัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้า(du/dt)ระหว่างคอนแทค หลังจากกระแสเข้าสู่ศูนย์

ค่าสูงๆของ di/dt ทำให้มีพลังงานสะสมมากในเปลวอาร์คร้อนที่ขณะกระแสศูนย์และทำให้การตัด (Interruption)ยากมากขึ้น การตัดกระแสจะยากขึ้นที่ค่าdu/dtสูงๆ เมื่อพลังงานที่จ่ายเข้าไปในอาร์คมากขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากกระแสเป็นศูนย์

เส้นโค้งจำกัด(Limiting curve)สำหรับการตัดกระแสที่ประสบผลจะมีลักษณะดังเช่นในรูป ซึ่งค่า di/dt ที่กระแสเป็นศูนย์จะเป็นสัดส่วนกับค่า rms ของกระแสที่ถูกตัด

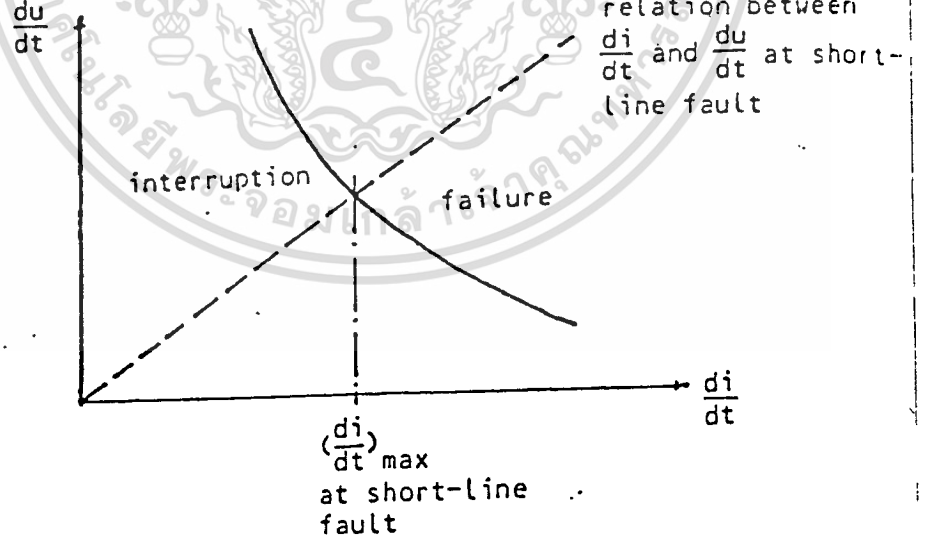


Figure 33 Example of thermal interruption capability

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณีที่การตัดกระแสของการสั่นวงจร ค่าของ di/dt กับ du/dt จะเป็นสัดส่วนซึ่งกันและกัน

จากรูป 33 แสดงให้เห็นว่าจะหาค่าที่สูงที่สุดของ di/dt (นั่นคือกระแสที่ถูกเบรคสูงสุด) ซึ่งถูกตัด โดยหาจากจุดตัดระหว่างเส้นโค้งจำกัดและเส้นตรงซึ่งหาจากความสัมพันธ์ระหว่าง di/dt กับ du/dt

สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สามารถตัดความร้อนสูง อาร์คพลาสมาต้องสามารถที่จะเปลี่ยนจากสภาพนำไฟฟ้าเป็นฉนวนได้อย่างรวดเร็วทันทีพอ คุณสมบัติที่สำคัญมีดังนี้

-ถ้าเป็นไปได้อาร์คควรจะรวมกันอยู่ นั่นคือจะมีแกสร้อนจำนวนไม่มาก การคูลลิ่งจะต้องดีมากตัวอย่างเช่นการเป่าแกสจะช่วยลดจำนวนของพลาสมาตรงกลางของอาร์คก็สำคัญเหมือนกัน ตัวอย่างในรูป 34 จะแสดงความแตกต่างอย่างมากของรัศมีการกระจายของอุณหภูมิระหว่างอาร์คสองอาร์คที่ค่ากระแสเดียวกัน ใน SF_6 อาร์คจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า นั่นก็คือจะสะสมพลังงานน้อยกว่าและอินเทอร์รัพได้ง่ายกว่า

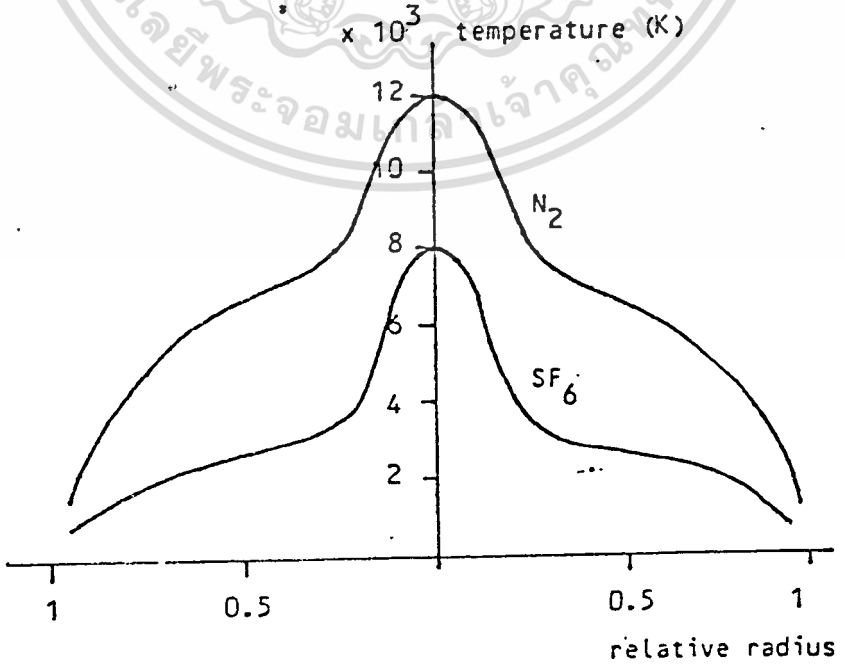


Figure 34 The radial temperature distribution of SF_6 and air arcs conducting the same current and with the same outer radius

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ตรงกลางของอาร์คควรจะนำอุณภูมิได้สูงๆ จึงสามารถที่จะส่งผ่านพลังงานของอาร์คไปยังที่อุณหภูมิต่ำกว่าได้อย่างรวดเร็ว

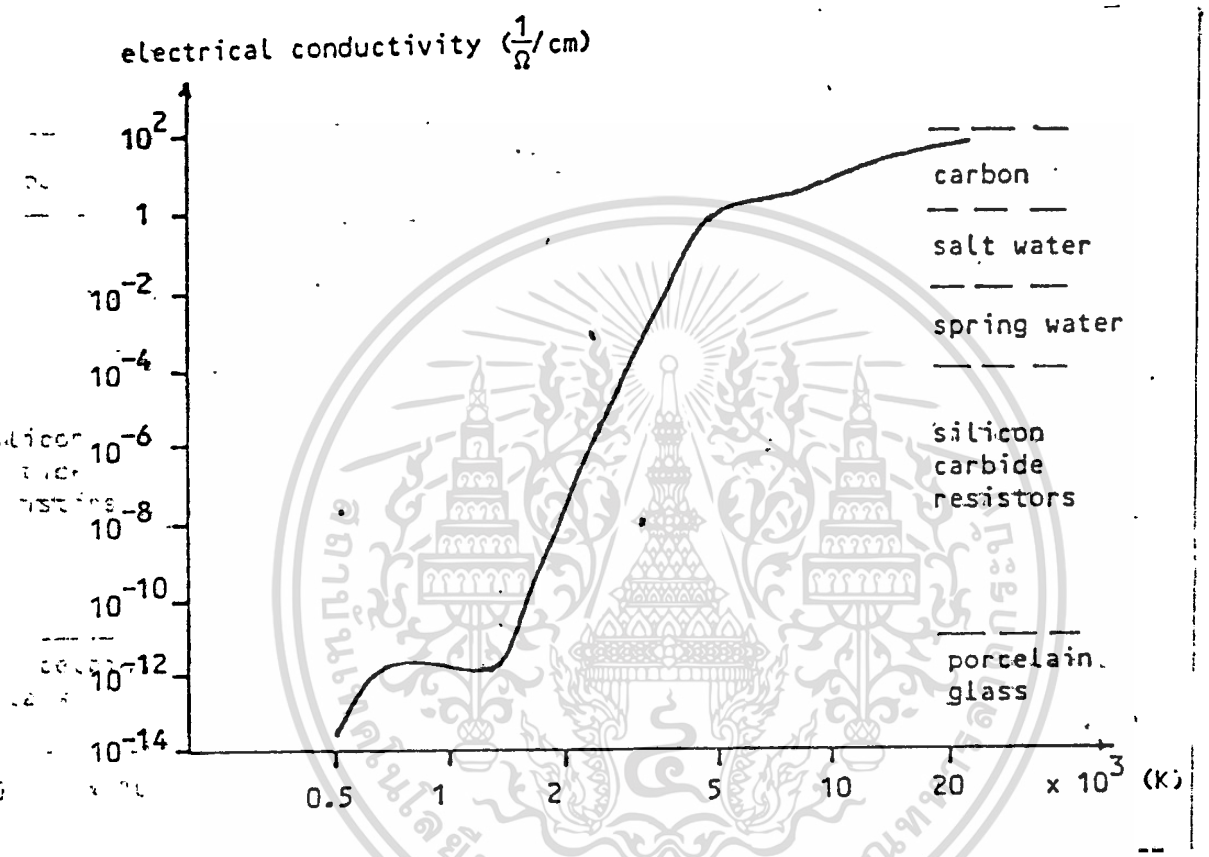


Figure 35 Electrical conductivity of most gases as a function of temperature

ในรูปที่ 35 จะแสดงให้เห็นว่าความนำไฟฟ้าของแกสเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิ ในสถานะที่มากกว่า 5000 K แกสจะถูกไอออไนซ์อย่างแรงและจะนำไฟฟ้าได้ดี การลดอุณหภูมิจาก 5000 K เหลือ 1500 K จะทำให้การนำไฟฟ้าลดลงถึง 10^{12} เท่า นั้นก็แสดงว่าคุณสมบัติการคูลลิ่งที่ดีจะทำให้แกสดับอาร์คได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

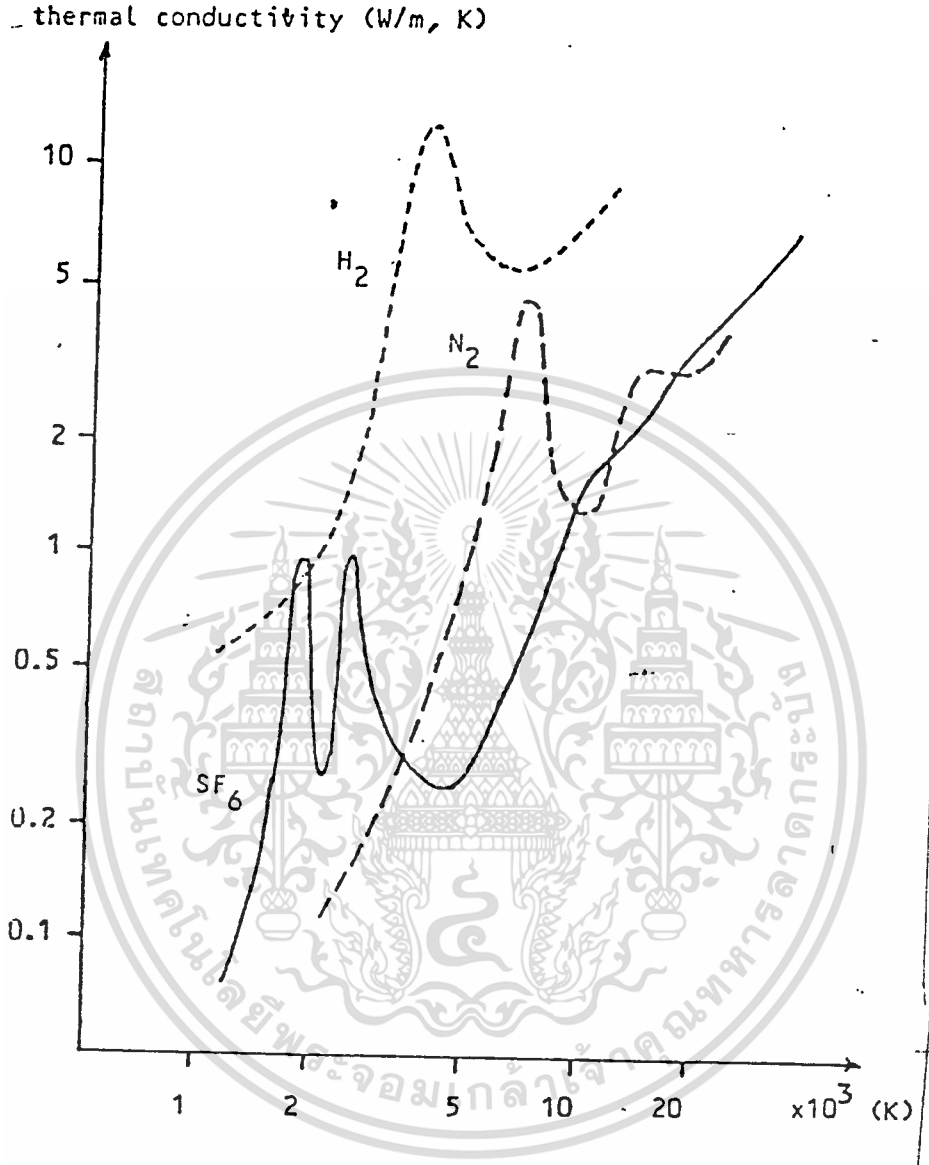


Figure 36 Thermal conductivity of H_2, N_2 and SF_6 as functions of temperature

จากรูป 36 แสดงถึงการนำความร้อนของ SF_6, N_2 และ H_2 เหตุผลที่ไฮโดรเจนถูกรวมอยู่ด้วยคือในตรงกลางของอาร์คในออยล์เซอร์กิตเบรคเกอร์อาจจะเกิดขึ้นจากการสลายตัวของออยล์ จะเห็นได้ว่า H_2 มีการนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนที่สูงมากๆในอุณหภูมิวิกฤติช่วง 2000 - 5000 K นั่นก็เป็นเหตุผลว่าออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์มีคุณสมบัติที่ดีมากเมื่อนิจารณาเฉพาะด้านความร้อน SF_6 ก็ดีเช่นกันสังเกตุได้ว่าดีกว่าอากาศ

ความทนของฉนวน(Dielectric · Withstand)

หลังจากที่อาร์คพลาสมาถูกทำให้เย็นลงและถูกทำให้สูญเสียการนำไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าระหว่างคอนแทคจะสูงขึ้น สำหรับการที่ไม่มีประกายไฟ(Flashover) เกิดขึ้น ความแข็งแรงของแรงดัน(Voltage Strength) ของแกป(gap) จะเพิ่มขึ้นเร็วกว่า recovery voltage

การเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงของแรงดัน(Voltage Strength) ขึ้นอยู่กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ ขณะที่แอมปลิจูดของ recovery voltage และอัตราการเพิ่มของมันขึ้นอยู่กับวงจร

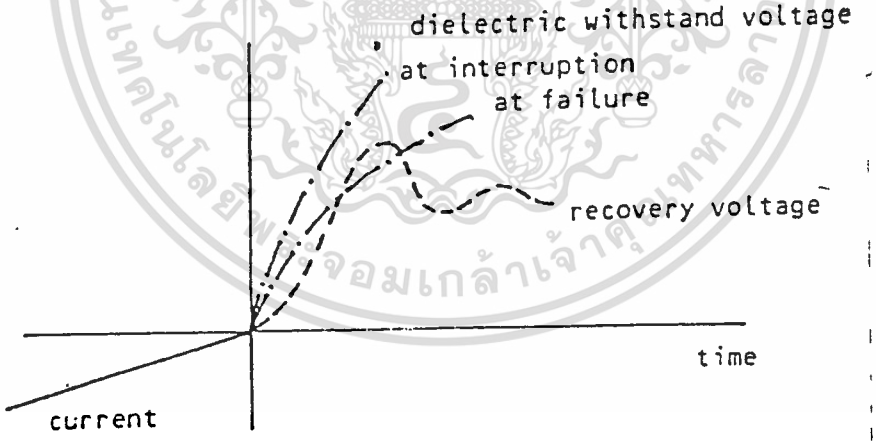


Figure 37 Voltages during dielectric recovery

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นในเวลาไม่กี่ร้อยไมโครวินาที นั่นคือการกลับคืนสภาพของฉนวนมีขบวนการที่ช้ากว่าการตัดความร้อน(Thermal Interruption)

ระหว่างการคืนสภาพของฉนวน แกสระหว่างคอนแทคใน SF_6 เซอร์กิตเบรกเกอร์จะยังร้อนอยู่ขณะที่พลังงานจำนวนมากสูญเสียไปทันที การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อความแข็งแรงของฉนวนโดยการลดลงของความหนาแน่นของแกส

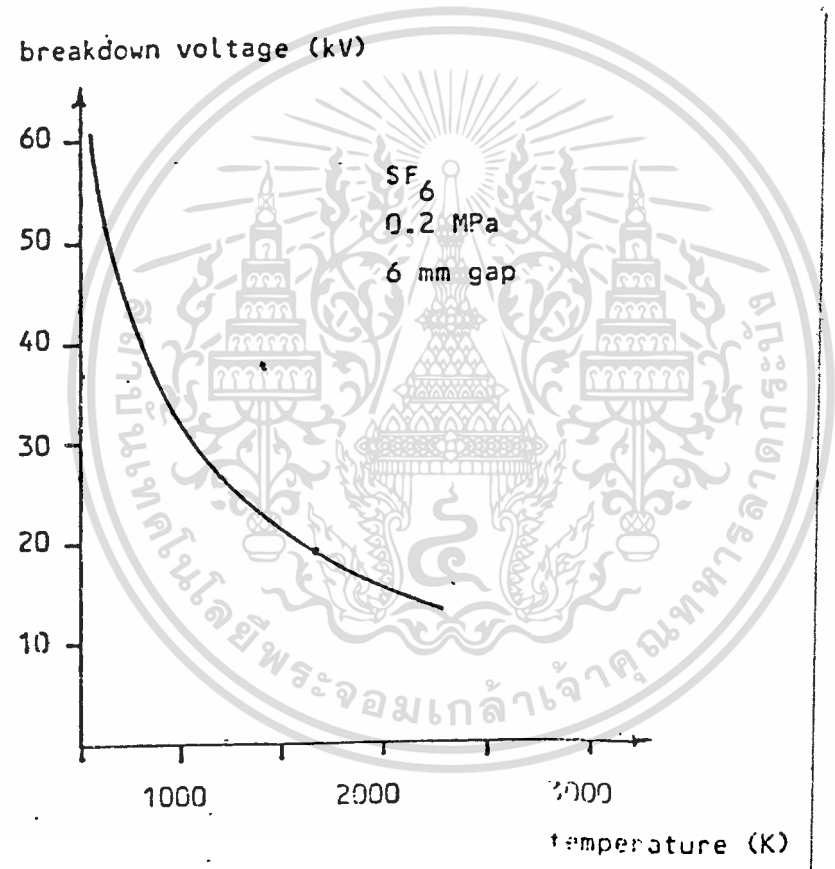


Figure 38 Breakdown voltage of SF_6 gas at high temperatures

จากรูป 38 ในกรณีที่แกสมีการไอออไนซ์น้อยๆที่ช่วงอุณหภูมิสูงๆซึ่งมันน้อยเกินกว่าที่จะนำกระแสได้ แต่ก็เพียงพอที่จะรบกวนสนามไฟฟ้าระหว่างคอนแทคเมื่อเปรียบเทียบกับตอนแกสเย็น การกระจายของแรงดันไฟฟ้าในระหว่างหน้าวงนี้สภาพฉนวนมีความยากในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการตัดกระแส

เซอร์กิตเบรกเกอร์หนึ่งตัว

สำหรับความสามารถในการตัดกระแสของ SF_6 เซอร์กิตเบรกเกอร์ อาจแสดงได้ดังรูป 39

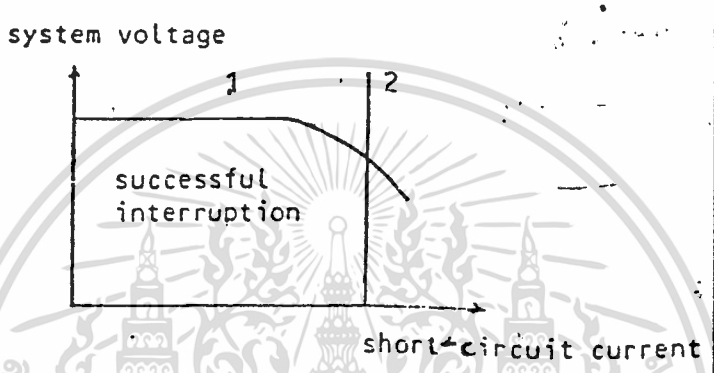


Figure 39 Interruption ability of SF_6 breaker

พื้นที่ของการตัดกระแสได้สำเร็จนั้นถูกจำกัดด้วยเส้น 1 และ 2

เส้นที่ 1.คือขีดจำกัดทางด้านฉนวน ที่ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงกว่านี้จะมีการผิดพลาดของฉนวน(Dielectric failure) ที่ค่าสูงสุดของ recovery voltage การที่เส้นโค้งได้ตกลงมาที่ค่ากระแสสูงๆนั้นก็เนื่องมาจากผลของความสามารถในการทนของสารฉนวนต่อการเพิ่มจำนวนแก๊สร้อน

เส้นที่ 2.คือขีดจำกัดทางความร้อน ค่าของกระแสที่สูงกว่านี้ ซึ่งจะถูกกำหนดโดย di/dt กับ du/dt ซึ่งจะทำให้การตัดกระแสที่กระแสศูนย์ล้มเหลว เนื่องจากความล้มเหลวทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซอร์กิตเบรกเกอร์หลายตัว

จากรูป 40 จะแสดงถึงความสามารถในการตัดกระแสของระบบที่ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์หลายตัวต่ออนุกรมกัน

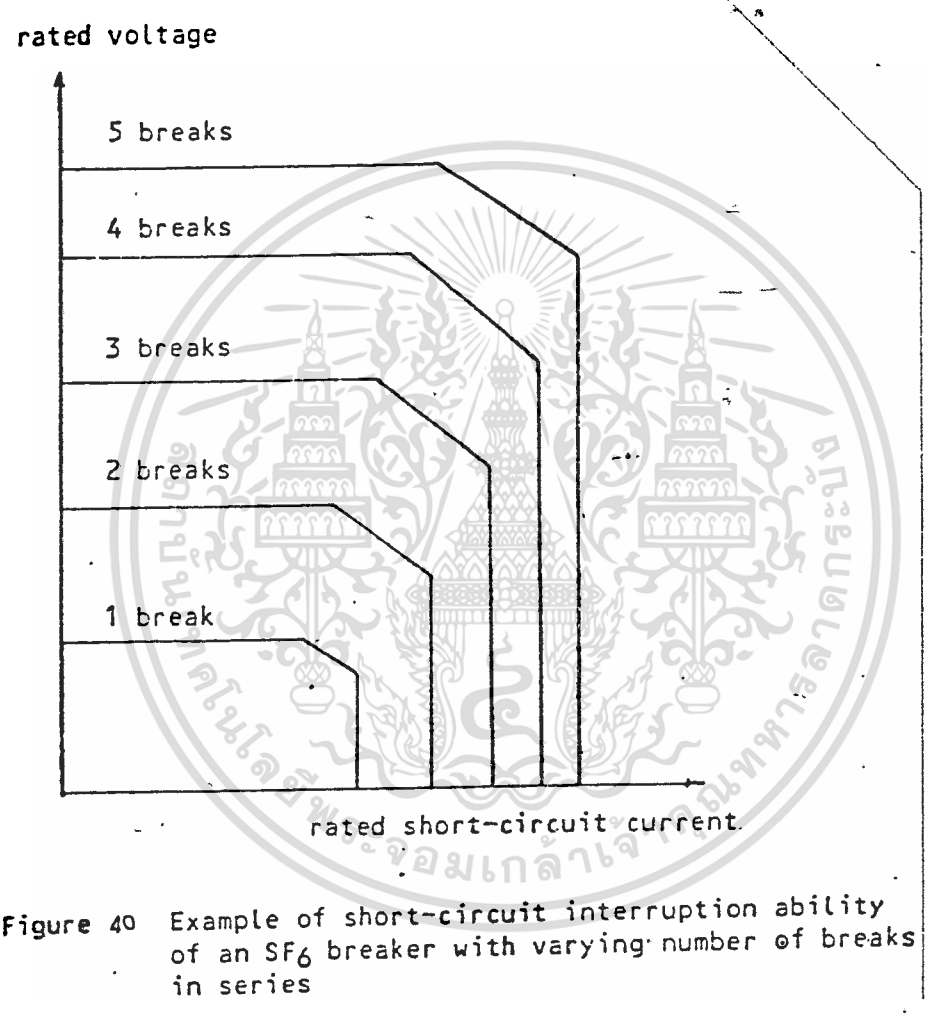


Figure 40 Example of short-circuit interruption ability of an SF_6 breaker with varying number of breaks in series

พิกัดของแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ ที่น่าสนใจมากก็คือว่า พิกัดของกระแสลัดวงจรก็เพิ่มขึ้นด้วย ในกรณีนี้เซอร์กิตเบรกเกอร์ในระบบแต่ละตัวจะมี di/dt เท่ากันกับที่ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เพียงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวในระบบ มันจะมีการแบ่ง recovery voltage ซึ่งจะทำให้ du/dt ต่ำลง ดังนั้นจึงทำให้ระบบที่ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์หลายๆตัวมีพิกัดกระแสสูงกว่า

<u>แก๊สผสมระหว่าง SF_6 กับ N_2</u>

เมื่อนำเซอร์กิตเบรกเกอร์ไปใช้ในที่ที่อุณหภูมิต่ำมากๆ ความดันของ SF_6 จะต้องถูกจำกัดอย่างมาก เพื่อไม่ให้เกิดการกลั่นตัวกลายเป็นของเหลว ดังนั้นจึงทำให้ความแข็งแรงของฉนวน(Dielectric stregth) และความสามารถในการดับอาร์คลดลง ในกรณีเช่นนี้การปรับปรุงความสามารถของเซอร์กิตเบรกเกอร์อาจจะทำได้โดยการเติม N_2 ลงไปใน SF_6 ซึ่งจะทำให้การกลั่นตัวเป็นของเหลวลดลง

การเติม N_2 นี้ก็จะปรับปรุงความสามารถของการทนแรงดันไฟฟ้าของสารฉนวน เนื่องมาจากความแข็งแรงของการทนของแก๊สผสมจะสูงขึ้นพร้อมกับการเพิ่มความดันรวม ซึ่งเกือบจะเท่ากับอัตราของ SF_6 ล้วนๆเลยทีเดียว การคลายตัวของอาร์คที่กระแสศูนย์จะหาจากในส่วนของ SF_6 เพียงอย่างเดียว การเติม N_2 จะไม่เปลี่ยนแปลงข้อจำกัดทางความร้อนของเซอร์กิตเบรกเกอร์เลยและก็ไม่สามารถที่จะปรับปรุงอัตราการกระแสลัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบ

ภายหลังจากที่ได้มีการผลิตเซอร์กิตเบรกเกอร์ขึ้นมาแล้ว เพื่อให้ได้ตามมาตรฐานตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานขึ้นมาทดสอบและตรวจสอบ ดังเช่นที่จะได้ทำการยกตัวอย่างต่อไปนี้ เป็นมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น JIS C 4603-1975 ซึ่งเป็นมาตรฐานของ Air circuit breaker 6.6 KV หรือ 3.3 KV รายละเอียดพอจะสรุปได้ดังนี้

วิธีทดสอบ (Testing methods)

1. การทดสอบเกี่ยวกับการสร้าง (Construction test)

ในการทดสอบเพื่อให้ได้มาตรฐานตาม JIS C 4603-1975 นั้น ได้กำหนดไว้ในข้อที่ 8 และ 12 (ใน JIS C 4603-1975) ดังนั้นการทดสอบสามารถดูได้ตามที่กำหนดไว้

2. ทดสอบการวัดของความต้านทานวงจรหลัก (Measuring test of Main Circuit Resistance)

ในการทดสอบการวัดของความต้านทานวงจรหลักนั้น ความต้านทานระหว่างขั้ววงจรหลักของเฟสเดียวกันนั้น จะถูกวัดโดยวิธีใช้โวลต์มิเตอร์วัดคร่อม (DC.voltage drop method)

ที่เวลาที่การทดสอบใช้ได้นั้น ค่ากระแสควรใช้ที่เป็นค่าเดียวกัน

3. การทดสอบการเปิดและปิดขณะที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้า (No-Voltage Opening and Closing Test)

การทดสอบการเปิดและปิด ขณะที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าประกอบด้วยการทดสอบดังนี้ ซึ่งการทดสอบบางส่วนหรือทั้งหมดนี้อาจจะทำได้ที่เวลาเดียวกัน

3.1 การทดสอบการทำงานในการปิด (Closing operation test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การาทดสอบการทริป (Tripping test)

3.3 การทดสอบทริปฟรี (Trip-free test)

3.4 การทดสอบการรีเซท (Resetting test)

3.5 การทดสอบคุณลักษณะการเปิดและการปิด
(Opening and Closing characteristic test)

3.6 การทดสอบการเปิดและการปิดที่ต่อเนื่อง
(Continuous opening end closing test)

3.7 การทดสอบการปิดและการเปิดที่ใช้ด้วยมือกระทำ
(Manual closing and opening test)

การทดสอบการเปิดและการปิดขณะที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าควรกระทำที่ภายใต้สภาวะที่คล้ายๆกัน ณ สถานที่ที่ใช้จริง ซึ่งขณะนั้นไม่มีการไหลของกระแสผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ เช่นเดียวกับไม่มีแรงดันไฟฟ้า

4. การทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ(Temperature rise test)

การทดสอบการเพิ่มขึ้น ของอุณหภูมิประกอบด้วยการทดสอบที่ตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ การทดสอบการเพิ่มขึ้นของ อุณหภูมิที่อุปกรณ์การทำงาน (operating device) และอุปกรณ์ควบคุม (control device) การทดสอบนี้ควรกระทำในที่ซึ่งปราศจากการมีผลต่อการถ่ายเทอากาศ และที่ซึ่งมีอุณหภูมิรอบข้าง 40 องศา C หรือต่ำกว่านั้น

5. การทดสอบการทนค่าแรงดันไฟฟ้า(Withstand Voltage test)

การทดสอบนี้ประกอบด้วยการทดสอบการทนแรงดันไฟฟ้าได้ที่ความถี่ที่ใช้งานจริงและการทดสอบการทนแรงดันอิมพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การทดสอบช็อตไทม์เคอร์เรนท์(Short-Time current test)

ในการทดสอบแบบนี้กระแสที่ใช้จะผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นเวลา 1 วินาที เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เป็นตัวทดสอบนั้นจะปิดวงจรอยู่และติดตั้งในที่ใช้งานจริงๆ(ถ้าทำได้)

7. การทดสอบการลัดวงจร(Short-Circuit Test)

การทดสอบแบบนี้ควรทำเมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จะเป็นตัวทดสอบถูกประกอบขึ้นเรียบร้อยแล้วที่การติดตั้งเป็นไปตามสภาพการใช้งานจริง(ถ้าเป็นไปได้) ส่วนที่ใช้ต่อกราว์นคือโครงและตัวถัง (Tanks) ส่วนด้านจ่ายกำลังไฟนั้นไม่ต้องต่อกราว์น จุดที่ลัดวงจรจะถูกต่อลงกราว์น ซึ่งการทดลองจะปฏิบัติได้ดังเช่นในรูป

8. การทดสอบการรั่วของอากาศ(Air-Leakage test)

การทดสอบการรั่วซึมของอากาศนี้จะกระทำเมื่อมีการปิดการจ่ายอากาศจากคอมเพลสเซอร์เข้าไปยังแอร์แทงค์ และอุปกรณ์แอร์ริ่ง (airing device) อุปกรณ์ที่จะให้คงไว้นาน 12 ชั่วโมง หรือมากกว่านั้น ซึ่งความดันตกคร่อมที่วัดได้โดยเกจความดันที่ระบุไว้ใน JIS B 7505

สำหรับรายละเอียดนั้น ผู้สนใจสามารถค้นได้ใน

JIS C 4603-1975

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การบำรุงรักษาเซอร์กิตเบรกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบำรุงรักษา circuit breaker

เซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องมีการตรวจสอบเป็นประจำวัน ประจำเดือน ประจำ 3 เดือนและประจำปี การตรวจสอบใหญ่ต้องขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการตัดกระแสลัดวงจรและความรุนแรงของการตัดกระแสในแต่ละครั้ง

วิธีการตรวจสอบย่อมขึ้นอยู่กับชนิดของเบรกเกอร์ ชนิดของกลไกควบคุมการทำงาน และสิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งต้องขึ้นอยู่กับหลักการดับอาร์คของเบรกเกอร์นั้นๆอยู่ด้วย บริษัทผู้ผลิตจะมีหนังสือคู่มือซึ่งจะมีรายละเอียดวิธีการทำงาน วิธีการบำรุงรักษา เครื่องมือพิเศษที่ใช้ในการถอดประกอบ รายละเอียดชิ้นส่วนอะไหล่ต่างๆ ซึ่งพนักงานบำรุงรักษาจะต้องศึกษาให้เข้าใจอย่างลึกซึ้ง

เซอร์กิตเบรกเกอร์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่พอจะสรุปวิธีการทั่วไปที่ใช้บำรุงรักษาอยู่ได้ดังนี้

1. การบำรุงรักษาประจำวัน ส่วนใหญ่จะเป็นการตรวจสภาพด้วยตาเปล่า ซึ่งพนักงานกะจะช่วยได้มาก และงานนี้สมควรจะเป็นหน้าที่ของพนักงานกะอย่างยิ่ง พนักงานกะควรจะสละเวลาสัก 30 นาทีก่อนเข้ากะ เดินตรวจดูสภาพของอุปกรณ์ต่างๆในลานไก ถ้าทำได้เช่นนี้จะได้ชื่อว่าเป็นผู้ที่มีความรับผิดชอบต่องานในหน้าที่สูง

สิ่งที่ควรดูแลเกี่ยวกับเซอร์กิตเบรกเกอร์มีดังนี้

1.1 ดูฐานรากว่าทรุดเอียงหรือไม่

1.2 ดู Line terminal ว่าหลุดหลวมผิดปกติหรือไม่

1.3 ดู Ground Terminal ว่าหลุดหลวมหรือไม่

1.4 ดูระดับน้ำมัน (OCB) ว่าต่ำเกินไปหรือไม่ มีที่รั่วซึมหรือไม่

1.5 ดูแรงดันแก๊ส (GCB) ว่าได้ตามพิกัดหรือไม่

1.6 ดูแรงดันลม (AIR-blast CB) ว่าได้ตามพิกัดหรือไม่ ลมรั่วหรือไม่

1.7 ดู Hydrolic pressure ว่าได้ตามพิกัดหรือไม่ รั่วหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 ตรวจดูว่า Closing Sping Charge เต็มที่หรือไม่

(Sping Operation)

1.9 ตรวจดูว่า Air compressor ทำงานบ่อยหรือไม่ ดูจาก Time Meter

1.10 ปล่อยน้ำจากถังลมไล่ความชื้นออกไป ป้องกันไม่ให้เข้าไปใน Operating Mechanism หากเครื่องอัดลมทำงานด้วย ให้ฟังเสียงการทำงานว่าผิดปกติหรือไม่

1.11 ตรวจดูที่ Porcelain ว่ามีรอยร้าว บิ่น แตก หรือไม่

1.12 ตรวจดูว่ามีเสียงผิดปกติหรือไม่

1.13 เปิด Heater ในตู้กลไกควบคุมการทำงาน ถ้ามีความชื้นสูงหรือฤดูฝน

1.14 หากมีอะไรผิดสังเกต ผิดปกติ แจ้งผู้เกี่ยวข้องที่รับผิดชอบอยู่ทราบ

2. การบำรุงรักษาประจำเดือน เป็นหน้าที่ของพนักงานบำรุงรักษา ให้ตรวจดูทุกหัวข้อในข้อ 1 และให้เพิ่มเติมให้ละเอียดขึ้นดังนี้

2.1 ให้ทำความสะอาด Operating Mechanism Housing

2.2 ตรวจดูว่า Control wire บางเส้นอาจจะหลุดหลวมต้องทำให้แน่น

2.3 ตรวจสภาพของ Auxiliary Relays ต่างๆว่าไม่มีตัวใดชำรุด

2.4 ตรวจดูว่า Signal lamps หรือ Position Indicator ยังใช้การได้ดี สภาพดี

2.5 ตรวจดูการทำงานของ Space Heater , Thermostat

2.6 ตรวจดูแรงดันของแก๊ส, ไฮโดรลิก , ลม เทียบกับ conversion curve ของเบรกเกอร์.พร้อมกับบันทึกไว้

2.7 ตรวจดูการทำงานของ Air Compressor , Hydrolic Pump ว่า Start Stop ตามแรงดันที่กำหนดหรือไม่ พร้อมจดบันทึกชั่วโมงการทำงาน เพื่อตรวจสอบว่าไม่ทำงานบ่อยผิดปกติ และไม่มีที่รั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 จดบันทึก Operation couter ของเบรกเกอร์เพื่อเปรียบเทียบดู กับเดือนก่อน เพื่อให้ทราบว่ามีการทำงานบ่อยเพียงใด

2.9 ตรวจสภาพความตึงหย่อนของสายพาน Air Compressorและปรับแต่ง

2.10 ตรวจสภาพน้ำมันเครื่องของ Air Compressor และ เปลี่ยนหากถ้า เดินครบ 400 ชั่วโมง และดูว่าน้ำมันไม่ซึมสาดที่ใด

2.11 ตรวจจับเวลาของการทำงานของ Air Compressor หรือ Hydraulic Pump ตั้งแต่แรงดันเริ่ม Start ถึง Stop เพื่อเปรียบเทียบกับเมื่อเดือนก่อน ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงสภาพของเครื่อง

3. <u>การบำรุงรักษาประจำ 3 เดือน</u> ให้ทำทุกอย่างในข้อ 1 และ 2 แต่ให้เพิ่มรายการต่อไปนี้

3.1 ให้สวิตช์ชิ่งเพื่อดูว่าสามารถ close-open ได้ปกติ

3.2 ตรวจดู Operation counter ว่าทำงานถูกต้อง เมื่อมีการ Switching

3.3 ตรวจดูว่า Air pressure consumption หรือ Hydrolic Pressure ที่ใช้ในการ Close-Open แต่ละครั้งเป็นเท่าใด

3.4 ตรวจสอบการทำงานของ Pressure Switch ต่างๆและปรับค่าให้ถูกต้อง

Lock out for closing Pressure

Lock air or low oil Pressure

Lock out for opening

Lock out for reclosing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ตรวจดูการทำงานของ Closing-Opening Spring และระบบ Charge Spring ว่าทำงานได้ถูกต้องหรือไม่

4. <u>การบำรุงรักษาประจำปี</u> ให้ทำทุกอย่างในข้อ 1,2,3,และเพิ่มรายการต่อไปนี้

4.1 ให้ตรวจสอบ Margin ของแรงดันลมหรือ Hydraulic ที่ใช้ในการ Close-Open Breakerว่าแรงดันต่ำที่สุดที่ Operate ได้เท่าใด

4.2 ให้ตรวจสอบ Margin ของ Control voltage ที่ใช้ในการ Close-Open Breaker ว่าต่ำสุดเท่าใด

4.3 ให้ Calibrate Pressure Switch,Safety valve ด้วย Standard Guage

4.4 วัดค่าแรงดันของไนโตรเจนใน Accumulator ถ้าต่ำให้เติม

4.5 ตรวจดูการทำงานของ Shock Absorber และ ตรระดับน้ำมัน

4.6 ตรวจดู Auxillary Switch Contact พร้อมกับทำความสะอาดหน้าสัมผัส

4.7 ตรวจสอบ Pressure Switch ของ Gas SF_6

Low gas alarm pressure

Low gas lock out pressure

4.8 หล่อลื่นจุดต่างๆของ Operating Mechanism ที่ระบุไว้ในหนังสือคู่มือ

4.9 ตรวจดู Mechanism Linkage ระหว่าง pole

4.10 วัดค่า Clearance และ Stroke ต่างๆของ Operating Mechanism ที่กำหนดไว้ในหนังสือคู่มือ

4.11 Overhaul air compressor โดยตรวจสอบเปลี่ยนชิ้นส่วนต่างๆที่สึกหรอ และเปลี่ยน Filter element

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12 ทำ Electrical test

ก. Timing test

ข. Insulation Resistance Meassurement

ค. Contact Resistance test

ง. Insulation Power Factor test

จ. Dielectric Break Down (เฉพาะน้ำมัน)

5. การ Overhaul ขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการตัดกระแสลัดวงจร ซึ่งบริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนด เช่น เบรกเกอร์ 230 KV ประมาณ 5 ครั้งและ 115 KV ประมาณ 10 ครั้ง เป็นต้น นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสลัดวงจรว่ามากน้อยเพียงใด ซึ่งการตัดกระแสลัดวงจรแต่ละครั้ง จะทำให้เกิดความสึกหรอที่คอนแทคของเบรกเกอร์และส่วนประกอบต่างๆในอินเทอร์รัปเตอร์ ตัวกลางฉนวนบางอย่างก็อาจจะเสื่อมคุณภาพ เช่น อาจจะมีตะกอนคาร์บอนตกค้างอยู่ตาม Deion Grid ในกรณีที่เป็นตัวกลางน้ำมัน เป็นต้น

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องถอดชิ้นส่วนออกมาสำรวจ เปลี่ยนทำความสะอาดใหม่

อนึ่งในเบรกเกอร์บางชนิด โดยเฉพาะ Minimum oil ซึ่งใช้หลักการดับอาร์คแบบ Seif Blast กล่าวคือใช้ความรุนแรงของกระแสลัดวงจรเป็นตัวทำให้เกิดแรงดันเพื่อให้เกิดแกสไฮโดรเจน เพื่อใช้ในการ Cooling arc ในกรณีนี้หากเบรกเกอร์อินเทอร์รัพ Line charging หรือ Capacitor, Reactor ถึงแม้จะไม่ใช่ลัดวงจร ก็อาจจะทำให้คอนแทคชำรุดเร็วยิ่งกว่าการอินเทอร์รัพฟอลท์อย่างรุนแรงเสียอีก

จุดประสงค์ในการถอดชิ้นส่วนภายในเพื่อตรวจสอบมีดังนี้

1. ตรวจดูการหลุดหลวมของ keys, bolts, cotter pins ต่างๆ

2. ตรวจดูการหลุดหลวมของ Operating Rools, Support หรือ Guide ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ล้างทำความสะอาดคราบตะกอนคาร์บอนหรือฝุ่นผง อันเกิดจากการอาร์คในตัวกลาง ซึ่งอาจตกค้างในอินเทอร์รัพเตอร์

4. ตรวจสอบสภาพการสึกกร่อนของคอนแทค Static shield หรือ Resistor

5. ตรวจสภาพของชิ้นส่วนของอินเทอร์รัพเตอร์และแรงกดของคอนแทค

6. เปลี่ยน Gasket ต่างๆ ที่เสื่อมสภาพที่อาจจะนำความชื้นเข้าสู่อินเทอร์รัพเตอร์

การตรวจสอบสภาพภายในดังกล่าว จะต้องปฏิบัติตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในหนังสือคู่มือของบริษัทผู้ผลิต อาจจะต้องใช้เครื่องมือพิเศษเฉพาะ อะไหล่บางอย่างต้องมีพร้อม มิเช่นนั้นแล้วอาจประกอบคืนไม่ได้ เพราะชิ้นส่วนบางอย่างเมื่อถอดออกแล้วจะใช้กลับคืนไม่ได้

หลังจากที่มีการถอดประกอบแล้ว ควรจะมีการทดลองสับอย่างช้าๆ โดยใช้ Closing Jack ซึ่งจะได้ทราบว่าการเคลื่อนไหวมีการขัดตัวหรือไม่ และก่อนจะนำเข้าใช้งานต้องทำ Electrical test ก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.การตรวจสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์

Timing of circuit breaker

เป็นการบันทึกค่าระยะเวลาการ close และ open ของตัวเบรกเกอร์ว่ามีการทำงานตั้งแต่มีการเริ่มสั่งงาน จนการทำงานของ Main contact เสร็จสิ้นสมบูรณ์ใช้เวลานานเท่าใด และยังสามารถทราบได้ว่าแต่ละเฟสของเบรกเกอร์นั้น Main contact ของมัน ปิดและเปิดวงจรพร้อมกันหรือไม่ ถ้าไม่พร้อมกัน จะมีช่วงเวลาเร็วหรือช้ากว่ากันกี่มิลลิวินาที เครื่องมือการบันทึกนี้เรียกว่า Recording chronograph ลักษณะของเครื่องจะมีแผ่นกระดาษบันทึกเคลื่อนที่ตามแนวยาวไปเรื่อยๆพร้อมกับมีเส้นบอกเวลาเป็นช่วงๆ โดยแต่ละช่วงจะประมาณ 10 มิลลิวินาที เรียกว่าเป็นเส้น Time reference ซึ่งจะช่วยให้เราอ่านระยะเวลาที่เราสนใจออกมาได้ว่ากี่มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเป็นตัวอย่างการบันทึกเวลาการทำงานของเบรกเกอร์

เส้นที่ 1,2,3 เป็นสัญญาณที่ได้จาก Main contact เฟส A,B,C ของเบรกเกอร์

เส้นที่ 4 เป็นสัญญาณที่สั่งให้เบรกเกอร์ทำงาน

เส้นที่ 5 เป็น Time reference สัญญาณเวลาที่เครื่องวัดจะสร้างขึ้นตลอดการทำงานใน 1 ช่วงของคาบเวลาจะมีค่า 10 มิลลิวินาที ในรูปนี้รวมได้ 90 วินาที

การตรวจสอบ Timing นี้ จะทำให้เราทราบได้ว่ามีความผิดปกติทางด้านกลไกการทำงานของเบรกเกอร์หรือไม่นอกจากนี้ยังเอาไปใช้ประโยชน์ในการพิจารณาการทำงานของรีเลย์ได้เพื่อจะสั่งให้เบรกเกอร์ เปิดหรือปิดวงจรในเวลาที่เหมาะสม เช่น การใช้ Reciosing Relay เป็นต้น

เวลาการทำงานโดยทั่วไปค่าของ Tripping time ประมาณ40-60 ms

closing time ประมาณ 100-120 ms

ช่วงที่สนใจอีกอย่างหนึ่งคือการทำงานพร้อมหรือไม่ ของเบรกเกอร์ ค่านี้จะอยู่ในช่วง 10 ms ค่านี้เป็นประมาณบางทีถ้าไม่ได้ตามต้องการ ก็ต้องถามผู้เชี่ยวชาญของบริษัทผู้ผลิตว่าจะเอาค่าเท่าไร เพราะการปรับตั้งเบรกเกอร์บางทีทำให้พร้อมกันได้ยาก

Contact resistance

เบรกเกอร์ที่ติดตั้งใหม่หรือใช้งานมานานแล้ว จำเป็นต้องมีการวัดค่าความต้านทานระหว่างหน้าสัมผัสเอง Main Contact ของเบรกเกอร์ เพราะถ้ามีความต้านทานมาก เวลาเบรกเกอร์ถูกนำเข้าใช้งาน จะมีพลังงานสูญเสีย เป็นความร้อนที่บริเวณหน้าสัมผัสมาก (I^2r losses) จนในที่สุดจะทำลายหน้าสัมผัส, ฉนวน มีการลุกไหม้ ระเบิดเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบรกเกอร์เมื่อใช้งานไป มีการปลดสับบ่อยครั้ง บางครั้งก็มีการ Tirp ขณะมีความผิดปกติในระบบ ทำให้มีการอาร์คกัดกร่อนที่บริเวณผิวหน้าสัมผัสรุนแรง หน้าสัมผัสจะมีความเสียหายเกิดขึ้น ค่า Contact Resistance ที่วัดได้จะมากขึ้น นอกจากนี้ถ้ากลไกการทำงานของเบรกเกอร์ไม่สมบูรณ์ ก็อาจจะให้มีค่าความต้านทานจากการไม่สนิทของหน้าสัมผัสขึ้นได้ เมื่อตรวจพบว่าค่า Contact Resistance สูงผิดปกติ ก็จะต้องมีการ Overhaul เปลี่ยนหรือปรับปรุงผิวสัมผัสของ Main Contact ต่อไป

การวัด Contact Resistance ทำโดยการป้อนกระแสDC. ประมาณ 30A.ขึ้นไป ผ่านไประหว่าง Main Contact ของเบรกเกอร์ซึ่งถูก Close เอาไว้ แล้ววัดค่าแรงดันที่ตกคร่อมที่ Main Contact ว่าเป็นกี่มิลลิโวลท์ แล้วคำนวณเป็นค่าไมโครโอห์มออกมา เนื่องพิจารณานอกจากนั้นเราก็อาจจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Low Resistance Ohmmeters วัดค่ามาก็ได้ เบรกเกอร์แรงดันสูง โดยทั่วไปค่า Contact Resistance จะอยู่ในช่วง 100-200 $\mu\Omega$ โดยปกติเรามักตรวจสอบเบรกเกอร์เมื่อทำการติดตั้งเสร็จใหม่ เพื่อเก็บค่าอ้างอิงไว้ด้วย บางทีก็ได้ค่ามาจากการทดสอบของบริษัทผู้ผลิต ส่วนการทดสอบในสนามนั้นก็เอาค่าระหว่างเฟสของตัวเบรกเกอร์มาพิจารณาเปรียบเทียบด้วย

บางทีก็ได้ค่ามาจากการทดสอบของบริษัทผู้ผลิต ส่วนการทดสอบในสนามนั้นก็เอาค่าระหว่างเฟสของตัวเบรกเกอร์มาพิจารณาเปรียบเทียบด้วย

Insulation Resistance

การวัดค่า Insulation resistance ของเบรกเกอร์ เราใช้เครื่องวัดที่เรียกว่า"Megger"(โดยความเป็นจริงแล้วคำว่า megger เป็นชื่อเฉพาะทางการค้าของ Insulation tester ของบริษัทผู้ผลิต) เครื่องวัดชนิดนี้จะให้ค่าศักดาไฟฟ้าแก่ฉนวน กระแสที่ไหลผ่านฉนวน ณ เวลาใดเวลาหนึ่งที่กำหนดจะมีผลทำให้เข็มชี้ของเครื่องเบี่ยงเบนไป ทำให้อ่านค่าออกมาได้ โดยปกติค่านี้จะมีหน่วยเป็น $M\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความต้านทานของฉนวนเบรกเกอร์นี้ เราวัดเพื่อจะได้ทราบถึงคุณภาพของฉนวนว่ายังดีอยู่หรือไม่ มีหลายสาเหตุที่ทำให้ค่าความต้านทานของฉนวนเปลี่ยนไป เช่น สภาพของผิวฉนวนถ้าสกปรกหรือมีเศษเขม่าผงถ่าน จะทำให้ความต้านทานฉนวนไฟฟ้าลดลง ความชื้นเพียงอย่างเดียวก็สามารถลดค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้าได้ โดยเฉพาะฉนวนบางชนิด สามารถดูดซับความชื้นได้เร็วมาก นอกจากนี้อุณหภูมิก็ทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนไปด้วย โดยความต้านทานจะแปรผกผันกับอุณหภูมิ

ยังมีสาเหตุอย่างอื่นที่มีผลกระทบต่อค่า Insulation resistance อีกเช่น ขนาดของแรงดันของเครื่องมือวัดถ้าเพิ่มแรงดันมากขึ้นค่าความต้านทานที่วัดได้จะลดลงเล็กน้อย , ช่วงเวลาต่อเนื่องที่จ่ายศักดาทดสอบแก่ฉนวน ค่าที่วัดได้ในตอนแรกจะน้อยถ้าใช้ช่วงเวลานานขึ้นค่าจะมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนาะมีขบวนการที่เรียกว่า Dielelric Absortion ระบบฉนวนที่สะอาดและแห้งจะถูกประจุขึ้นได้อย่างไม่จำกัดคล้าย Capacitor , ประจุตกค้างบนฉนวนไฟฟ้า จะทำให้การวัดได้ค่าที่ผิดไป จากการย้อนกลับของขบวนการ Absorption จะ Discharge ผ่านเครื่องวัด ทำให้ความต้านทานที่วัดได้มีค่าสูงขึ้น ดังนั้นก่อนวัดจึงต้องลัดวงจรลงดินเพื่อคลายประจุที่ค้างออกก่อน

การวัดค่า Insulation Reisstance ของเบรกเกอร์เราจะอ่านค่าที่เวลา 1 นาที ค่าที่ได้มักจะสูงเป็นหมื่นๆ เมกกะโอมห์ แต่ทั้งนี้ก็แล้วแต่ชนิดของเบรกเกอร์ เรามักอาศัยค่าเก่าที่วัดไว้และค่าที่ได้ระหว่างเฟสมาใช้ในการพิจารณาสภาพฉนวนไฟฟ้าของเบรกเกอร์ เวลาวัดเราวัดเทียบกับดิน (Ground) นอกจากนี้เรายังใช้การวัดโดยเครื่อง Megger นี้วัด Insulation resistance ของอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อทดสอบเบื้องต้นก่อนจะไปใช้เครื่องมือ High voltage อย่างอื่นเช่น Insulation Power Factor Test Sest, DC Dielectric Test Sets ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Insulation Power Factor

เมื่อพูดถึง Insulation Power Factor (เรียกกันว่า Doble Test ตามบริษัทผู้ผลิต) เราก็ต้องทราบก่อนว่าการ test อันนี้ต้องใช้เครื่องสำหรับการ Test โดยเฉพาะเรียกกันว่าเครื่อง Insulation Power Factor Test Set เราจำเป็นต้องใช้เครื่องมือนี้วัดพลังงานที่สูญเสียไปในระบบฉนวน(Insulation system) ของอุปกรณ์เมื่อเทียบกับดิน(ground) ซึ่งพลังงานสูญเสียเกิดขึ้นจากกระแสรั่วไหล

ระบบฉนวนทั้งหลาย จะมีกระแสรั่วไหลได้เพียงเล็กน้อยผ่านฉนวนไป ถ้าระบบฉนวนเป็นแบบสมบูรณ์(ทางทฤษฎี)ย่อมต้องไม่มีกระแสรั่วไหลผ่านได้เลยดังนั้นสามารถคำนวณค่า Power Factor Reading ได้เป็น 0 %

ถ้าหากมีกระแสรั่วไหลได้มากขึ้น มีพลังงานสูญเสียไปในระบบฉนวนมากขึ้น ถ้าพลังงานที่ใส่เข้าไปในฉนวน ถูกแปรเป็นความร้อนสูญเสียหมดไปในระบบฉนวน นั่นคือ Power Factore Reading เป็น 100 % ตามหลักฐานการทดสอบที่เคยมีมา ค่า P.f. reading สูงสุดคือ 92 % (ค่า 100 % ก็เป็นค่าทางทฤษฎีทำนองเดียวกับค่า P.f. reading 0 % เช่นกัน) จากค่าต่ำสุดและสูงสุดที่กล่าวมาทำให้ได้เป็นแนวความคิดของการ Test นี้

เบรกเกอร์ตัวใหม่ๆค่า P.f.reading จะน้อยอยู่ในช่วง 1-2 %

ถ้าเบรกเกอร์เก่าๆใช้งานมานานค่า P.f.reading อาจสูงขึ้นเราก็พิจารณาเปรียบเทียบกันแต่ละเฟสด้วยว่ามีความแตกต่างกันอย่างไรและพิจารณาแต่ละชนิดและแบบของเบรกเกอร์ด้วยเพื่อหาสาเหตุความผิดปกติต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบอย่างอื่น

นอกจากการตรวจสอบที่ผ่านมาแล้ว เราก็ยังมีการตรวจสอบอย่างอื่นตามชนิดของเบรคเกอร์ ถ้าเป็นเบรกเกอร์ที่ใช้น้ำมันเป็นตัวดับอาร์ค เราก็จะวัดค่าไดอิเลคตริกเบรกดาวน์โวลเตจของฉนวนที่เป็นของเหลวเพื่อจะได้รู้ว่าน้ำมันมีสิ่งสกปรก ความชื้น น้ำ สารแขวนลอย หรือสารตัวนำเจือปนอยู่มากน้อยอย่างไร ถ้าค่าไดอิเลคตริกเบรกดาวน์ต่ำก็ละควรจะต้องนำน้ำมันมาผ่านการกรองก่อนนำมาใช้งาน เพื่อให้เบรกเกอร์ทำงานได้ดีสามารถดับอาร์คขณะที่ตัดกระแสได้

เครื่องวัดค่าไดอิเลคตริกเบรกดาวน์โวลเตจ จะมีขั้วอิเลคโตรด 2 อัน รูปร่างตามแต่ standard ที่ใช้ ถ้าเป็น standard ของ ASTH D877 อิเลคโตรด จะเป็นทองเหลือง ขัดเรียบ ϕ 1 นิ้ว หนาประมาณ 1/2 นิ้วขอบคม ระยะห่างอิเลคโตรด 2.54 mm วางขนานกัน น้ำมันที่ทดสอบจะใส่ลงในถ้วยทดสอบซึ่งอิเลคโตรดจะแช่ในถ้วย

การทดสอบจะทำห่างกันครั้งละ 1 นาที หาค่า 5 ค่า แล้วนำค่ามาเฉลี่ย เมื่อเริ่มทดสอบแรงดันจะเพิ่มขึ้นจาก 0 KV ไปเรื่อย ๆ ด้วยอัตรา 3 KV/sec เมื่อเบรคดาวน์ที่แรงดันเท่าใดก็บันทึกค่าไว้ รอ 1 นาทีแล้วเริ่มทดลองใหม่ ปกติสำหรับเบรกเกอร์ถ้าต่ำกว่า 20 KV จะถือว่าควรเปลี่ยนหรือกรองใหม่ น้ำมันใหม่ๆที่แห้งและสะอาดจะมีค่าประมาณ 32-35 KV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

บริญญานิพนธ์ฉบับนี้ที่ทำขึ้นเพื่อศึกษาและจำลองอินเทอร์รัพเตอร์ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ แต่เนื่องจากว่าอุปสรรคต่างๆดังเช่น งบประมาณ, เวลา ตลอดจนความยุ่งยากซับซ้อน ทำให้ผลงานที่เป็นวัตถุไม่สามารถทำได้

ดังนั้นแนวทางของโครงงาน HIGH VOLTAGE SWITCHGEAR จึงเปลี่ยนแนวทางไปทำการศึกษาค้นคว้าในเรื่องที่เกี่ยวข้องแทน งานศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆเหล่านี้เหมาะสำหรับผู้ที่สนใจงานเรื่องเซอร์กิตเบรคเกอร์โดยเฉพาะ อันจะทำให้เกิดความคิดและแนวทางในการนำไปใช้งาน ตลอดจนการพัฒนาผลงานที่ดีขึ้นมาได้ ซึ่งแหล่งข้อมูลที่สามารถค้นมาได้นั้น ได้มาจากบริษัทที่ทำการจำหน่ายอุปกรณ์จำพวกนี้ เช่น บริษัท ABB เป็นต้น และผู้ใช้อุปกรณ์ เช่น กฟผ.,กฟภ. กฟน. จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

จากข้อมูลที่ได้มาดังเช่นในบริญญานิพนธ์ฉบับนี้นั้น จะเห็นได้ว่า SF_6 เซอร์กิตเบรคเกอร์ มีข้อได้เปรียบมากมายกว่าชนิดอื่นๆ และมีแนวโน้มว่าจะมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. B. Ravindranath,M.Chander,"Power system protection and Switchgear ",John Wiley & Sons
2. Carl Ejner Solver,"Asea HV. Apparatus",Asea AB, Ludvika
3. C.H.FLURSCHEIM,"Power circuit breaker theory and design",Peter peregrinus Ltd.
4. JIS C 4603-1975,"AC. CIRCUIT BREAKER FOR 6.6 KV OR 3.3 KV"
5. ศูนย์ฝึกอบรมทางวิชาการ กฟผ. ,"Power Circuit Breaker"
6. ศูนย์ฝึกอบรม ฝ่ายวิศวกรรม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ,"คู่มืออบรมหลักสูตรสวิตช์เกียร์"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า