บทที่ 3

การควบคุมแรงดันเกินชั่วครู่จากการสวิตช์ชุดตัวเก็บประจุ

บทนำ

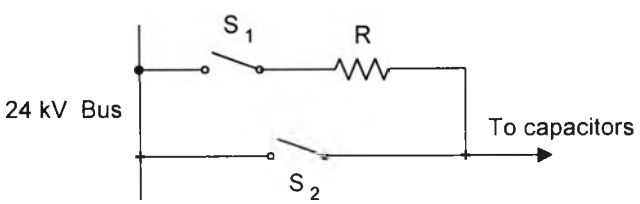
จากบทที่ 2 ทำให้ทราบว่า แรงดันชั่วครู่ที่เกิดขึ้น มีขนาดไม่เท่ากัน (ขึ้นกับลักษณะของวงจร และ อื่นๆ) อย่างไรก็ดี แรงดันเกินชั่วครู่เหล่านี้บางครั้งมีขนาดสูงมากเมื่อเทียบกับระดับแรงดันในภาวะปกติ ซึ่งขนาดของแรงดันที่สูงมากนี้อาจทำให้อุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับความเสียหายได้

ฉะนั้นจึงต้องหาวิธีการที่จะมา *ควบคุม* หรือ *ลดทอน* แรงดันเกินชั่วครู่เหล่านั้น ที่ใช้คำว่า ควบคุม หรือ ลดทอน ก็เพราะว่า เราไม่สามารถจะทำให้แรงดันเกินชั่วครู่นั้นหายไปได้ (เนื่องจากคุณสมบัติของวงจร RLC) จะทำได้ก็แค่ควบคุมให้แรงดันอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

วิธีการควบคุมแรงดันเกินชั่วครู่ที่จะกล่าวในบทนี้ จะเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปดังนี้

3.1 การใช้ Pre-insertion Impedance

การใช้ Pre-insertion Impedance (ทั้งชนิด ตัวต้านทาน หรือ ตัวเหนี่ยวนำ) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการควบคุมแรงดันเกินเนื่องจากการสวิตช์ชุดตัวเก็บประจุมากที่สุด เพราะได้ผลดีมาก และ มีราคาไม่แพง [4] รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการใช้งานของ Pre-insertion Impedance ชนิดตัวต้านทาน (Pre-insertion Resistor)



รูปที่ 3.1 ลักษณะของ Pre-insertion Resistors

หลักการทำงานของ Pre-insertion Impedance ทั้งชนิด ตัวต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ จะเหมือนกันคือ จะทำการปิดสวิตช์ S_1 ก่อน จากนั้นจะทำการปิดสวิตช์ S_2 โดยทั่วไปจะปิดหลังจาก สวิตช์ S_1 ไม่เกิน 20 มิลลิวินาที (ในระบบความถี่ 50 Hz) ส่วนการเปิดวงจรทำตรงกันข้ามกับการปิดวงจร คือ เปิดสวิตช์ S_2 ก่อน

การที่ปิดสวิตช์ S_2 จะทำให้เกิด แรงดันเกินชั่วครู่เนื่องจากการลัดวงจร ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดน้อยกว่า แรงดันเกินชั่วครู่ในตอนต้น แต่ขนาดจะเพิ่มขึ้นเมื่อ ค่าอิมพีแดนซ์ และ ค่าความจุไฟฟ้า เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 3.1 ขนาดของ แรงดันเกินชั่วครู่ลัดผ่าน (Bypass transient) จะขึ้นกับกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน ขนาดของตัวต้านทานที่เหมาะสมที่สุด จะมีค่าเท่ากับขนาดอิมพีแดนซ์เสิร์จ จากแหล่งกำเนิดจนถึงชุดตัวเก็บประจุ นั่นคือ

$$R_{optimum} \approx \sqrt{\frac{L_S}{C}} \qquad (3.1)$$

เมื่อ

L_S คือ ค่าความเหนี่ยวนำวงจรลัดที่ต้นทาง (mH)

C คือ ค่าความจุไฟฟ้าของชุดตัวเก็บประจุ (μF)

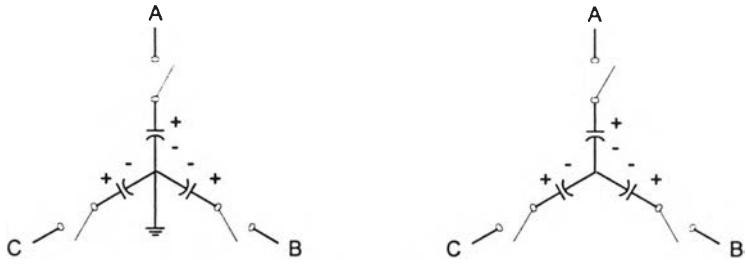
ข้อเสียของการใช้ Pre-insertion Impedance ก็คือ เมื่อวงจรเปลี่ยนแปลงไปอาจต้องแก้ไข ขนาดของตัวต้านทาน (หรือ ตัวเหนี่ยวนำ) ตัวอย่างเช่น เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดชุดตัวเก็บประจุ อาจต้องหาขนาดของตัวต้านทานที่เหมาะสมใหม่ หรือในกรณีของการสวิตช์ตัวเก็บประจุแบบ Back-to-Back จะมีค่า $R_{optimum}$ ไม่เท่ากับในกรณีแยกเดี่ยว อย่างไรก็ดีแม้ขนาดของตัวต้านทานจะไม่เหมาะสมที่สุด แต่ก็ยังสามารถลดทอนแรงดันเกินที่เกิดขึ้นได้

สิ่งที่ควรคำนึงถึงอีกข้อหนึ่งคือ ในกรณีที่ใช้ตัวเหนี่ยวนำแทนตัวต้านทานต้องระวังเรื่องของการเกิดเรโซแนนซ์ด้วย

3.2 ชุดควบคุมการต่อวงจร (Synchronous Closing Control) [5]

จากการวิเคราะห์ในบทที่ 2 ชี้ให้เห็นว่า ขนาดของแรงดันเกินชั่วครู่ที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับมุมของแรงดันที่ทำการสวิตช์ชุดตัวเก็บประจุด้วย โดยที่ขนาดของแรงดันเกินชั่วครู่จะมีขนาดมากเมื่อทำการสวิตช์ขณะที่แรงดันที่ชุดตัวเก็บประจุมีค่าใกล้ยอดคลื่น และจะมีค่าน้อยเมื่อแรงดันที่ชุดตัวเก็บประจุมีค่าใกล้ศูนย์

จากผลที่ได้นี้นำมาใช้เป็นหลักการทำงานของชุดควบคุมการต่อวงจรขณะแรงดันมีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือควบคุมให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ (หรือสวิตช์) ปิดวงจรในแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระต่อกัน โดยเวลาที่ใช้ในการปิดวงจรทั้งหมดคือ เวลาที่อุปกรณ์ทำงาน (y) บวกกับตัวแปรของเวลาในแต่ละเฟส (a, b และ c) นอกจากนี้เวลาการปิดวงจรจะขึ้นกับลักษณะการต่อของชุดตัวเก็บประจุด้วยดังนี้



(ก) แบบวายต่อลงดิน *(ข) แบบวายไม่ต่อลงดิน*

รูปที่ 3.2 แสดงการต่อชุดตัวเก็บประจุ

3.2.1 <u>ต่อแบบวายต่อลงดิน</u>

ให้เฟส A เป็นเฟสอ้างอิง และจะเลือกเวลาการปิดวงจรแต่ละเฟสเมื่อแรงดันมีค่าเป็นศูนย์ การกำหนดลำดับของเวลาของระบบไฟฟ้าสามเฟส จากที่ว่ากระแสจะมีค่าเป็นศูนย์ที่ทุกๆ มุม 60 องศาทางไฟฟ้า หรือ ทุกๆ 3.33 มิลลิวินาที ฉะนั้นเวลาที่ใช้ในการปิดวงจรจะเป็นดังนี้

เฟส A : $a + y_1 = n \times 10$ ms.

เฟส B : $b + y_2 = n \times 10 - 6.66$ หรือ $+3.33$ ms.

เฟส C : $c + y_3 = n \times 10 - 3.33$ หรือ $+6.66$ ms.

เมื่อ n คือ จำนวนเต็มที่ $n \times 10 > y$

y_1, y_2, y_3 คือ เวลาที่ใช้ในการปิดวงจรของอุปกรณ์ในแต่ละเฟส

a, b, c คือ เวลาหน่วงของแต่ละเฟส

3.2.2 <u>ต่อแบบวายไม่ต่อลงดิน</u>

ในกรณีนี้จะให้เฟส A เป็นเฟสอ้างอิง แต่จะปิดวงจรของเฟส A และ B พร้อมกันเมื่อแรงดันระหว่างเฟส A และ B มีค่าเป็นศูนย์ จากนั้นจะปิดวงจรของเฟส C เมื่อเวลาผ่านไป

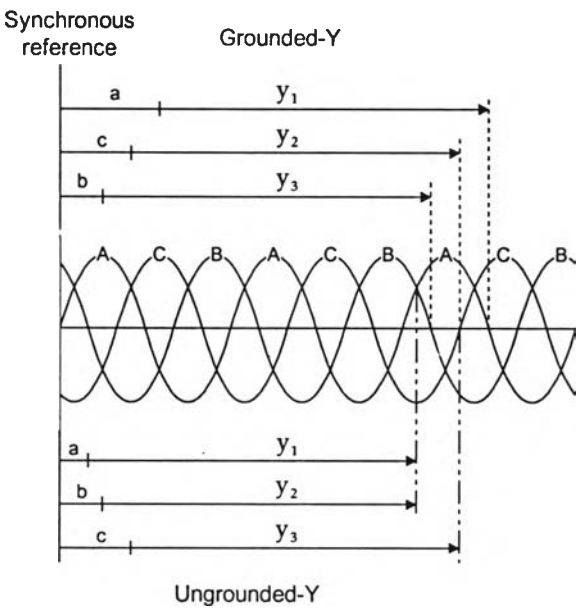
5 มิลลิวินาที (แรงดันที่เฟส C มีค่าเป็นศูนย์)

ที่ต้องปิดวงจรของเฟส A และ B พร้อมกันเพื่อป้องกันกระแสไหลในวงรอบปิด เมื่อพิจารณารูปที่ 3.2 (ข) จะพบว่าถ้าปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เฟส A เฟสเดียว และปิดในขณะที่แรงดันของเฟส A มีค่าเป็นศูนย์ เฟส A จะเสมือนว่าเป็นดิน เพราะฉะนั้นจะทำให้เกิดกระแสไหลจากเฟสที่เหลืออีก 2 เฟส ไปเฟส A ได้

เฟส A : $a + y_1 = (n \times 10) - 3.33 - 5$ ms.

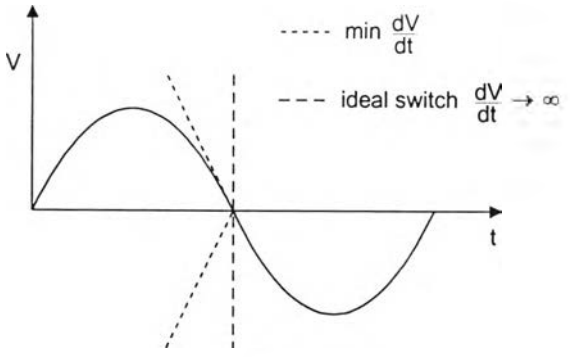
เฟส B : $b + y_2 = (n \times 10) - 3.33 - 5$ ms.

เฟส C : $c + y_3 = (n \times 10) - 3.33$ ms.



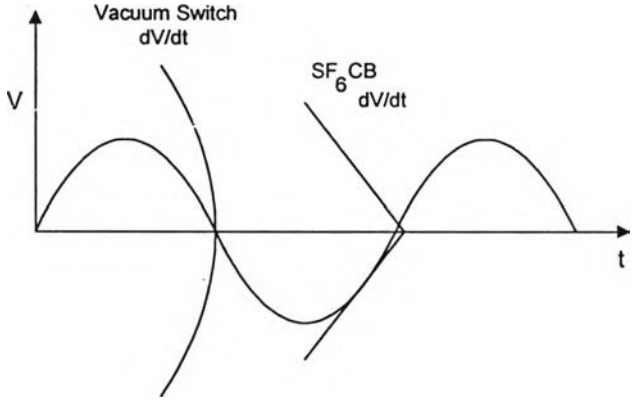
รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงเวลาในการปิดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์

นอกจากเวลาที่ใช้ในการปิดวงจรแล้ว คุณสมบัติของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จะนำมาใช้เปิด-ปิดวงจรก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมาก เพราะ เซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องมีความเร็วมากพอที่จะปิดวงจรก่อนเกิดกระแสผ่านนำ (Prestrike current) ซึ่งหมายถึง มีการนำกระแสก่อนที่หน้าสัมผัสจะแตะถึงกัน เนื่องจากปรกติแล้วความคงทนของไดอิเล็กตริกของเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะมีค่าสูงมากและจะลดลงเมื่อหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์เคลื่อนที่เข้าหากัน จากความเร็วหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ และ คุณลักษณะของไดอิเล็กตริก นำมาหาความสัมพันธ์ของ อัตราการลดลงของไดอิเล็กตริก (dV/dt) โดยที่ dV/dt นี้ต้องมีขนาดสูงกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ความเร็วที่น้อยสุดของการลดลงของไดอิเล็กตริกที่จะนำมาใช้

สรุปได้ว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จะนำมาใช้นั้นต้องมีความเร็วในการปิดวงจรพอ และ มีความคงทนของไดอิเล็กตริกสูงพอ จากการทดลองพบว่า สวิตช์ที่ใช้สุญญากาศเป็นฉนวนมีความเหมาะสมที่สุด



รูปที่ 3.5 เส้นโค้ง dV/dt ของสวิตช์ที่ใช้สุญญากาศเป็นฉนวนเทียบกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดฉนวนเป็น SF_6

ข้อดีของการใช้ชุดควบคุมการต่อวงจรคือ ชุดควบคุมนี้ไม่ขึ้นกับพารามิเตอร์ของระบบ ดังที่เคยกล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 ค่าความต้านทานที่เหมาะสมจะไม่เท่ากันในกรณีของการสวิตช์ตัวเก็บประจุแบบแยกเดี่ยว หรือแบบ Back-to-Back แต่กับชุดควบคุมการต่อวงจรนั้นไม่เป็นปัญหา

จุดอ่อนของชุดควบคุมการต่อวงจรคือ ต้องรักษาเวลาในการปิดดังที่กล่าวไปแล้วให้ได้ เพราะเวลาที่ผิดพลาดไปเพียงเล็กน้อยอาจทำให้เกิดแรงดันเกินที่มีขนาดสูงได้

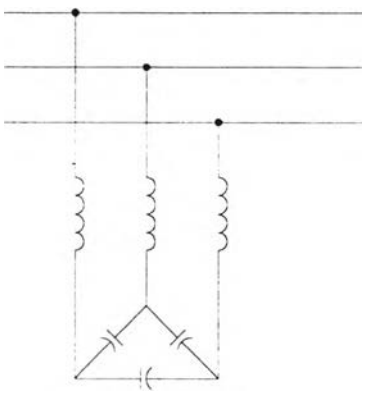
3.3 การใช้ตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ (Series Reactor)

เดิมทีนั้นการใช้ตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ ก็เพื่อลดกระแสพุ่งเข้าอันเนื่องจากการสวิตช์ชุดตัวเก็บประจุในลักษณะ Back-to-Back (การไฟฟ้านครหลวงใช้ ตัวเหนี่ยวนำขนาด 40 μH) แต่ในกรณีที่ต้องการลดทอนแรงดันเกินลง ต้องเพิ่มขนาดของตัวเหนี่ยวนำ โดยทั่วไปใช้ขนาด X_L 6% หรือ 7% ของ X_C

ข้อเสียของวิธีการนี้คือ กำลังไฟฟ้าจิตภาพ จากชุดตัวเก็บประจุ ส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปกับตัวเหนี่ยวนำนี้ และข้อควรคำนึงก็คือ เรื่องของการเกิดการขยายกระแสฮาร์มอนิก

3.4 การปรับปรุงชุดแก้ตัวประกอบกำลังของผู้ใช้ไฟฟ้า

การปรับปรุงที่กล่าวถึงนี้ หมายถึงการปรับปรุงให้ชุดแก้ตัวประกอบกำลังเป็นตัวกรองฮาร์มอนิก ทำได้โดยการต่อตัวเหนี่ยวนำอนุกรมกับตัวเก็บประจุ แต่ส่วนใหญ่ชุดแก้ตัวประกอบกำลังของผู้ใช้ไฟฟ้าจะต่อแบบเดลต้า จึงไม่ได้ต่ออนุกรมตัวเหนี่ยวนำกับตัวเก็บประจุโดยตรง



รูปที่ 3.6 การต่อตัวเหนี่ยวนำกับตัวเก็บประจุ

ขนาดของความเหนี่ยวนำจะหาจาก X_L ซึ่งจะบอกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่า X_C ค่าที่นิยมใช้ก็คือ 6% และ 7%

ข้อดีของวิธีการนี้คือ นอกจากจะลดทอนขนาดของแรงดันเกินชั่วครู่ได้แล้ว ยังสามารถกรองฮาร์มอนิก ได้อีกด้วย แต่ทั้งนี้ก็ต้องระวังเรื่องของการเกิดเรโซแนนซ์ ซึ่งอาจทำให้เกิดการขยายของกระแสฮาร์มอนิกได้