

บทที่ 2

พื้นฐานหลักการทำงาน

2.1 บทนำ

จากพื้นฐานทางวิศวกรรมไฟฟ้าระบบกำลังไฟฟ้ากระแสตรงนั้น (DC) จะมีค่าสม่ำเสมอคงที่โดยไม่แปรเปลี่ยนไปตามเวลา ทำให้มีความสามารถส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเทียบกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งในบทนี้ได้กล่าวถึงชนิดและรูปแบบต่างๆ ของการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียกว่าการเรียงกระแส นั่น การใช้ไดโอดเป็นอุปกรณ์ในการทำงานค่าแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสจะมีค่าคงที่ แต่ถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงและควบคุมแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง จะต้องใช้วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงจึงต้องใช้อุปกรณ์ไทรสเตอร์ เช่น เอสซีอาร์ (SCR) เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในการกำหนดมุมจุดชนวน

2.2 หลักการทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้า (AC-DC Converters) แบบควบคุมได้

เพื่อแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตให้มีความเป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรงมากที่สุด วงจรเรียงกระแสมีทั้งที่เป็นแบบครึ่งคลื่นและแบบเต็มคลื่น แบบครึ่งคลื่นมักจะใช้เมื่อพิกัดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น จะมีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยด้านอินพุตที่มีค่าไม่เป็นศูนย์ทำให้เกิดปัญหาที่หม้อแปลงจะเกิดการอิ่มตัวได้ง่ายกว่าวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นและยังสามารถที่จะนำไปใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูง

ดังนั้นในบทนี้จะศึกษาวงจรเรียงกระแสที่นำเอาอุปกรณ์ไทรสเตอร์ (SCR) มาทำหน้าที่แปลงผันซึ่งจะสามารถควบคุมแรงดันด้านเอาต์พุตได้ด้วยการควบคุมมุมนำกระแส (α) โดยแบ่งออกเป็น 2 ระบบด้วยกันคือ ระบบ 1 เฟส และระบบ 3 เฟส

2.3 วงจรเรียงกระแสแบบระบบ 1 เฟสแบบควบคุมได้

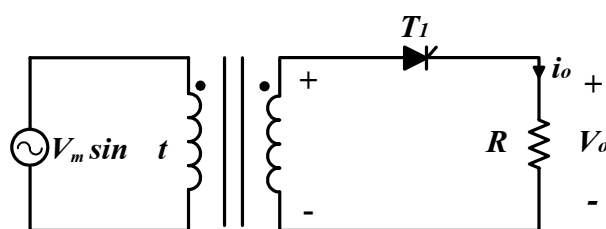
ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 4 แบบตามลักษณะของวงจรดังนี้

2.3.1 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสแบบครึ่งคลื่นที่ควบคุมได้

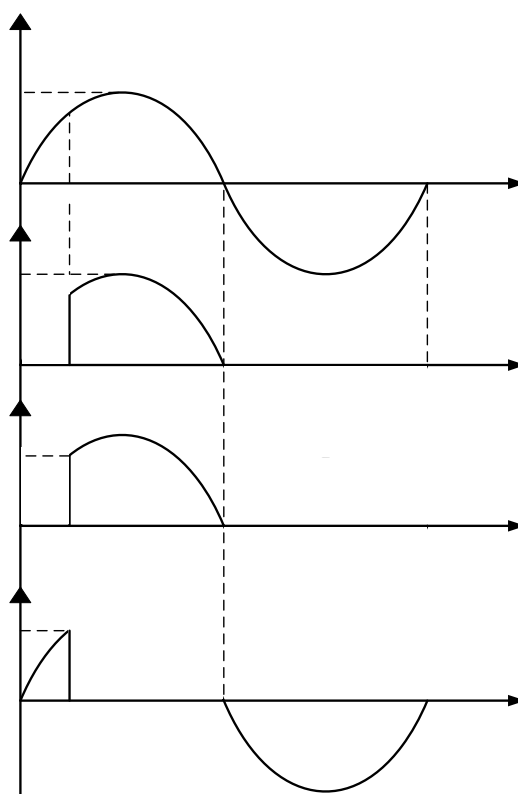
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในการควบคุมการแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งสามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่โหลดได้โดยต้องใช้ไทรสเตอร์ เช่น เอสซีอาร์ แทนไดโอดดูได้จากรูปที่ 2.1 วงจร 1 เฟสครึ่งคลื่นการควบคุมไทรสเตอร์ในวงจรจะต้อง

ควบคุม โดยการป้อนพัลส์จลนนวนเกดของไทรสเตอร์ โดยวงจรกำเนดสัญญาณพัลส์จลนนวน ซึ่งสามารถควบคุมมุมจลนนวนเกดของไทรสเตอร์ (α) ได้ระหว่าง 0° ถึง 180° ($0^\circ < \alpha < 180^\circ$)

ในการศึกษาคุณลักษณะของวงจรเรียงกระแสที่ควบคุมได้นี้กระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นกับโหลดจะขึ้นอยู่กับลักษณะของโหลดว่าเป็นโหลดชนิดใด วงจรที่แสดงอยู่ในรูปที่ 2.1 การใช้เอสซีอาร์เพียงตัวเดียวในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตจะพิจารณารูปสัญญาณแรงดันทางด้านอินพุตที่เป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีทั้งซีกบวกและซีกลบถูกป้อนให้กับเอสซีอาร์



รูปที่ 2.1 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสแบบครึ่งคลื่นที่ควบคุมได้



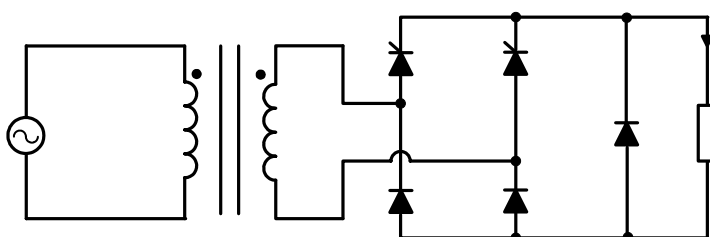
รูปที่ 2.2 รูปคลื่นสัญญาณวงจรเรียงกระแส 1 เฟสแบบครึ่งคลื่นที่ควบคุมได้

แต่จะมีเฉพาะสัญญาณที่เป็นซีกบวกเท่านั้นที่สามารถไหลผ่านเอสซีอาร์ที่ได้รับการไบอัสตรงและในสัญญาณซีกบวกดังกล่าวนี้ยังสามารถกำหนดจุดที่ให้เอสซีอาร์เริ่มนำกระแสได้ด้วย

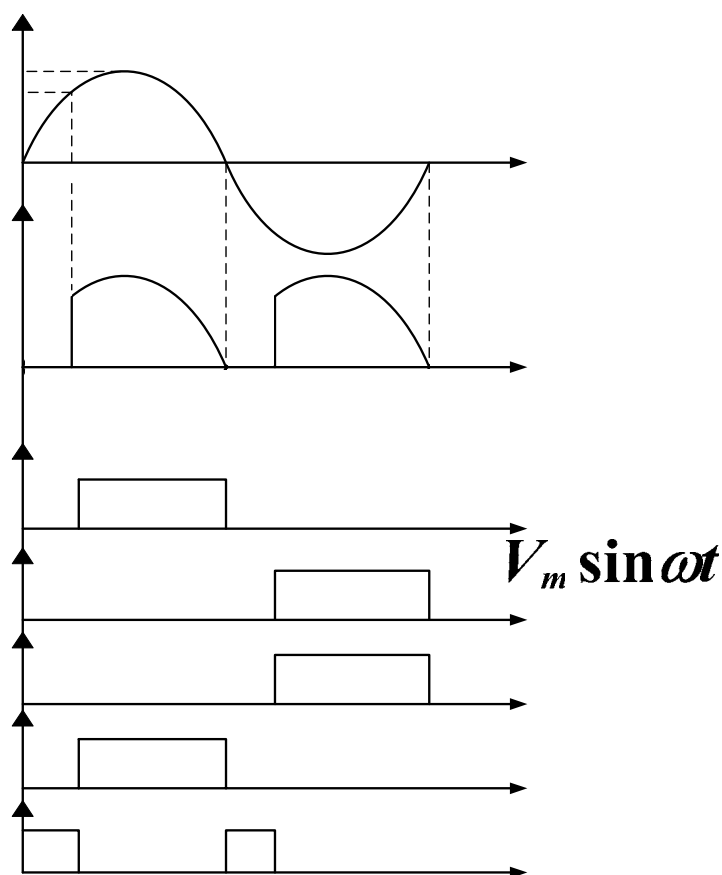
ควบคุมมุนำกระแส ที่ป้อนขาเกิดของเอสซีอาร์ดังนั้นจึงทำให้สัญญาณทางด้านเอาต์พุตมีเฉพาะ ซิกบวคและมีการเปลี่ยนแปลงค่าตามค่าของมุนำกระแส

2.3.2 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสแบบกึ่งเฟสเดียวที่ควบคุมได้

วงจรเรียงกระแสแบบกึ่งเฟสเดียว จากรูปที่ 2.3 ประกอบไปด้วยเอสซีอาร์ 2 ตัวและ ไดโอด 2 ตัวซึ่งจะให้แรงดันเอาต์พุตเป็นสัญญาณแบบเต็มคลื่นโดยที่สัญญาณอินพุตซิกบวคจะ ไหลผ่านทางเอสซีอาร์ T_1 และไดโอด D_2 ส่วนสัญญาณอินพุตซิกลบจะไหลผ่านทางเอสซีอาร์ T_2 และไดโอด D_1



รูปที่ 2.3 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสแบบกึ่งเฟสเดียวที่ควบคุมได้



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นสัญญาณของวงจรเรียงกระแส 1 เฟสแบบกึ่งเฟสเดียวที่ควบคุมได้

V_s

V_m

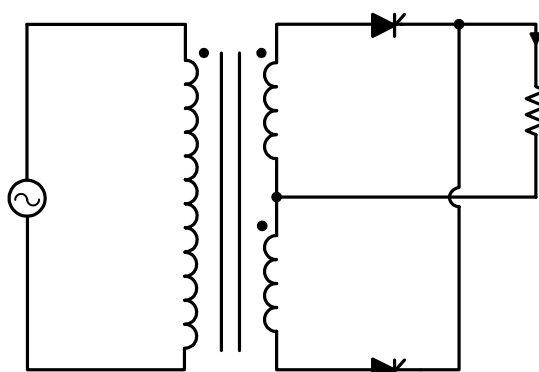
สัญญาณทางด้านเอาต์พุตที่ได้ จะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่ามุมนำกระแสเอสซีอาร์ โดยที่ เอสซีอาร์ T_1 จะนำกระแสที่มุม (α) เอสซีอาร์ T_2 จะนำกระแสที่มุม $(\pi + \alpha)$ สำหรับโหลดเป็นโหลด ค่าความต้านทาน

2.3.3 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสแบบเต็มคลื่นที่ควบคุมได้

แบ่งออกตามจำนวนของไทรสเตอร์และลักษณะของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็น 2 แบบ

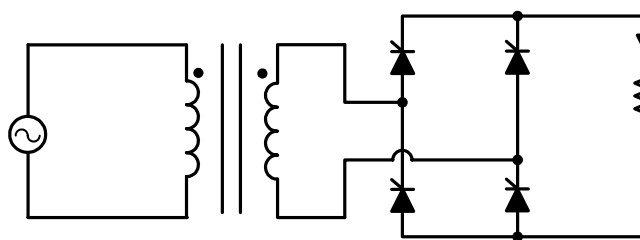
1. วงจรที่ใช้หม้อแปลงแทปกลางเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีแทปกลาง จากรูปที่ 2.5 คือวงจรครึ่งคลื่น 2 วงจรใช้ไทรสเตอร์ 2 ตัวโดยต่อขั้วแอโนดเข้ากับขั้ว ของหม้อแปลง และจุดแทปกลางของหม้อแปลงต่อเข้ากับขั้วลบของแรงดันตกคร่อมโหลด ส่วนขั้วแคโทดของของไทรสเตอร์ทั้งสองต่อร่วมกันเข้ากับขั้วของแรงดันตกคร่อมโหลด

เมื่อไทรสเตอร์ตัวหนึ่งทำงานจะเป็นผลให้แรงดันไบแอสกลับที่ตกคร่อมไทรสเตอร์อีกตัวหนึ่งมีค่าเป็นสองเท่าของแรงดันสูงสุด

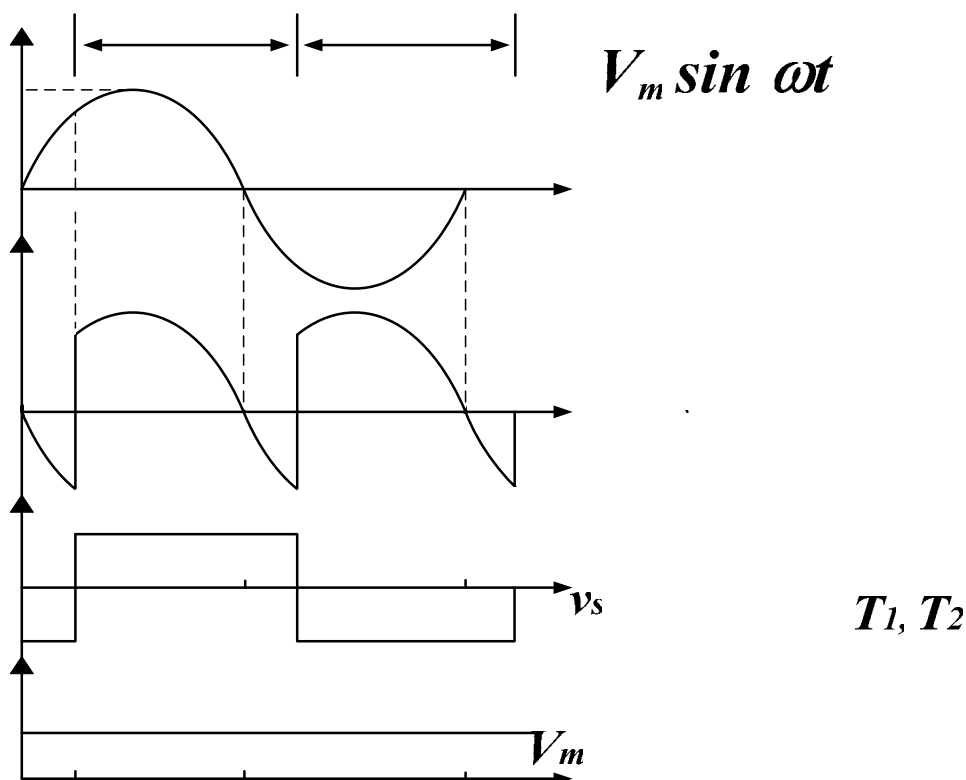


รูปที่ 2.5 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสแบบเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงแทปกลาง

2. วงจรควบคุมเต็มบริดจ์ จากรูปที่ 2.6 แบ่งออกเป็น 2 วงจร คือวงจรควบคุมเต็มบริดจ์ และวงจรควบคุมครึ่งบริดจ์วงจรแบบเต็มบริดจ์จะใช้ไทรสเตอร์ 4 ตัวโดยไม่ต้องใช้หม้อแปลงที่มีแทปกลาง ข้อดีคือสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าจำนวนมากๆ กับโหลดได้เพราะไม่ต้องมีหม้อแปลง ข้อเสียการใช้ไทรสเตอร์ 4 ตัวทำให้การออกแบบวงจรควบคุมการจุดชนวนกดซับซ้อนกว่าวงจรที่ใช้หม้อแปลง เพราะต้องจุดชนวนไทรสเตอร์ 2 ตัวให้ทำงานพร้อมๆ กันมุมจุดชนวนไทรสเตอร์ T_1 และ T_4 ให้ทำงานที่เวลา $(\omega t = \alpha)$



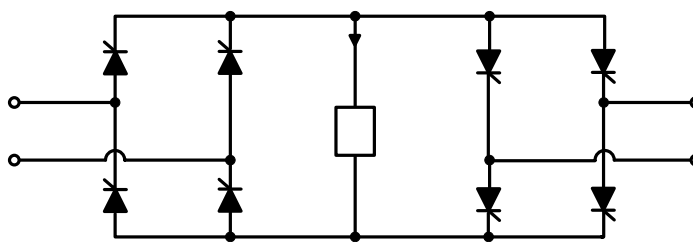
รูปที่ 2.6 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสแบบเต็มคลื่น



รูปที่ 2.7 รูปคลื่นสัญญาณของวงจรเรียงกระแส 1 เฟสแบบเต็มคลื่น

2.3.4 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสแบบคู่ที่ควบคุมได้

วงจรเรียงกระแส 1 เฟสแบบคู่จะใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น 2 วงจรต่อกันจากรูปที่ 2.8 โดยที่วงจรที่ 1 อยู่ทางด้านซ้ายจะให้เอาต์พุตที่เป็นบวกและวงจรที่ 2 อยู่ทางด้านขวาจะให้เอาต์พุตที่เป็นลบ จากวงจรทั้งสองถูกต่อเข้ากับโหลดชุดเดียวกันโดยต่อสลับกันตามรูป ดังนั้นเมื่อวงจรหนึ่งทำงานเป็นการเรียงกระแส อีกวงจรหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์ จะทำให้ได้ค่าแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบคู่ คือถ้าแรงดันเอาต์พุตช่วงของวงจรที่ 1 และวงจรที่ 2 เป็น V_{o1} และ V_{o2} ซึ่งต่างเฟสกัน 180° และมีค่าไม่เท่ากันจะทำให้เกิดกระแสไหลวนระหว่างวงจรทั้งสองซึ่งกระแสนี้จะไม่ไหลผ่านโหลด



รูปที่ 2.8 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสแบบคู่ที่ควบคุมได้

 T_1 T_2

2.4 วงจรเรียงกระแสแบบระบบ 3 เฟสแบบควบคุมได้

วงจรเรียงกระแสระบบ 3 เฟสจะให้ค่าแรงดันเฉลี่ยทางด้านเอาต์พุตสูงกว่าวงจรเรียงกระแสระบบเฟสเดียวเนื่องจากพื้นที่ของเอาต์พุตเมื่อเทียบกับเวลา Δt วงจรระบบ 3 เฟสจะมีค่าสูงกว่าระบบเฟสเดียว ความราบเรียบและความต่อเนื่องของกระแสก็ดีกว่าระบบเฟสเดียวซึ่งจะแบ่งออกเป็น 4 แบบตามลักษณะของวงจรดังนี้

 T_3 T_4

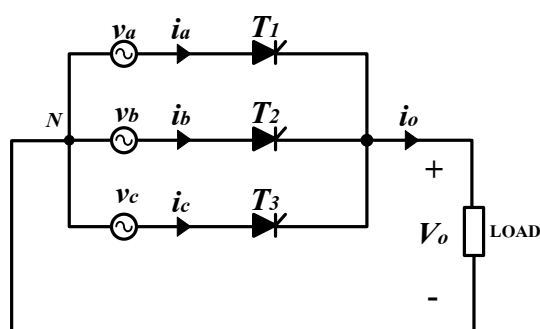
2.4.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น 3 เฟสแบบควบคุมได้

วงจรเรียงกระแส 3 เฟสตามรูปที่ 2.9 มีเอสซีอาร์สามตัวควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสไปยังโหลดโดยที่

เฟส a ควบคุมด้วยเอสซีอาร์ T_1

เฟส b ควบคุมด้วยเอสซีอาร์ T_2

เฟส c ควบคุมด้วยเอสซีอาร์ T_3



รูปที่ 2.9 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น 3 เฟส

การพิจารณาการทำงานของวงจรเพื่อให้ได้แรงดันทางด้านเอาต์พุต จะพิจารณาจากสัญญาณอินพุตของเฟสที่มีศักย์เป็นบวกสูงสุดเอสซีอาร์ที่ต่ออยู่กับเฟสนั้นก็จะได้รับไบอัสตรง เช่น สัญญาณไฟระบบ 3 เฟสตามรูปที่ 2.9 เฟส a มีศักย์เป็นสูงสุดตั้งแต่มุม $(\pi/6)$ หรือ 30° ถึง $(5\pi/6)$ หรือ 150° ดังนั้นในช่วงค่ามุมดังกล่าว เอสซีอาร์ T_1 จะได้ไบอัสตรงและอยู่ในสภาวะพร้อมที่จะ

นำกระแสถ้ามีสัญญาณพัลส์จุดชนวนที่ขาเกต ก็จะทำให้เอสซีอาร์ T_1 นำกระแสได้เป็นผลทำให้แรงดันที่ เฟส a ไปตกคร่อมที่โหลดและหลังจากค่ามุม $(5\pi/6)$ ทำให้เอสซีอาร์ T_2 ได้รับไบอัสตรงต่อไป

2.4.2 วงจรเรียงกระแสแบบกึ่ง 3 เฟสแบบควบคุมได้

วงจรเรียงกระแสแบบกึ่ง 3 เฟสตามรูปที่ 2.10 จะใช้เอสซีอาร์ 3 ตัวและไดโอด 3 ตัว ทำงานร่วมกับโหลดที่มีการต่อไดโอด D_m ขนานกับโหลดซึ่งจะทำให้เอาต์พุตที่ได้ไม่มีช่วงลบ หลักการพิจารณาการทำงานของวงจรจะพิจารณาจากแรงดันอินพุตที่เป็นระบบไฟ 3 เฟส โดยที่ค่าแรงดันเฟส (line-neutral voltage) ของเฟส a เฟส b และเฟส c จะต่างเฟสกัน 120° ซึ่งแรงดันเฟสและแรงดันระหว่างสาย (line-line voltage) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

แรงดันเฟส (line-neutral voltage)

$$v_{an} = V_m \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

$$v_{bn} = V_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad (2.2)$$

$$v_{cn} = V_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \text{ หรือ } V_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \quad (2.3)$$

แรงดันระหว่างสาย (line-line voltage)

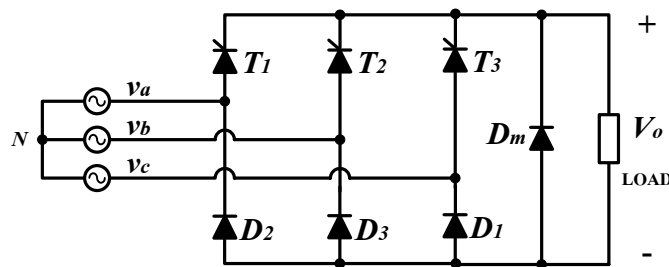
$$v_{ac} = v_{an} - v_{cn} = \sqrt{3}V_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{6}) \quad (2.4)$$

$$v_{ba} = v_{bn} - v_{an} = \sqrt{3}V_m \sin(\omega t - \frac{5\pi}{6}) \quad (2.5)$$

$$v_{cb} = v_{cn} - v_{bn} = \sqrt{3}V_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (2.6)$$

$$v_{ab} = v_{an} - v_{bn} = \sqrt{3}V_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}) \quad (2.7)$$

โดยที่ V_m เป็นค่าแรงดันเฟสสูงสุดของระบบการต่อไฟ 3 เฟสแบบสตาร์



รูปที่ 2.10 วงจรเรียงกระแสแบบกึ่ง 3 เฟส

วงจรเรียงกระแส 3 เฟสจากรูปที่ 2.10 ค่าแรงดันทางด้านเอาต์พุตที่ได้จะเป็นค่าแรงดันระหว่างสายซึ่งจะเป็นสายของเฟสใดนั้นมีหลักการพิจารณาดังนี้ แรงดันเอาต์พุตจะได้จากเฟสที่มีศักย์ต่ำที่สุดในขณะนั้นเมื่อเทียบกับแรงดันเฟสที่ศักย์สูงกว่า ถ้าแรงดันของเฟสที่มีศักย์สูงกว่ามี 2 เฟส ก็สามารถกำหนดได้ว่าให้เฟสใดออกที่เอาต์พุตโดยการกำหนดมุมนำกระแสให้กับเอสซีอาร์ที่ต่ออยู่กับเฟสนั้น เช่น ที่มุม ($\omega t = 0^\circ$) ของสัญญาณอินพุตแทนค่าในสมการที่ (2.8) จะได้ว่า

$$\text{ที่ } v_{an} \text{ จะได้ว่า} \quad v_{an} = V_m \sin(0) \quad (2.8)$$

$$v_{an} = 0 \quad (2.9)$$

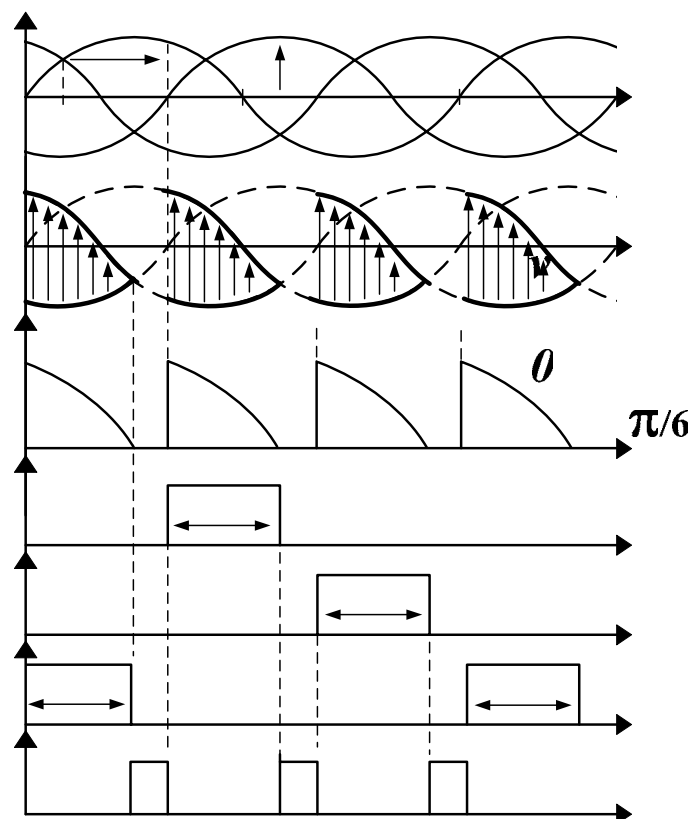
$$\text{ที่ } v_{bn} \text{ จะได้ว่า} \quad v_{bn} = V_m \sin(0 - \frac{2\pi}{3}) \quad (2.10)$$

$$v_{bn} = -0.866 V_m \quad (2.11)$$

$$\text{ที่ } v_{cn} \text{ จะได้ว่า} \quad v_{cn} = V_m \sin(0 + \frac{2\pi}{3}) \quad (2.12)$$

$$v_{cn} = 0.866 V_m \quad (2.13)$$

จากแรงดันไฟฟ้าระบบ 3 เฟสสรุปได้ว่าที่มุมศูนย์องศาแรงดัน v_{bn} มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้า v_{an} และแรงดันไฟฟ้า v_{cn} สามารถกำหนดได้ว่าแรงดันที่ออกทางเอาต์พุตจะเป็น เฟส b คู่กับเฟส a หรือเฟส c เมื่อ เฟส b (v_{bn}) คู่กับเฟส c (v_{cn}) เอาต์พุตที่ได้จะเป็น v_{cb} แต่ถ้า เฟส b (v_{bn}) คู่กับเฟส a (v_{an}) เอาต์พุตที่ได้จะเป็น v_{ab} ดูได้จากรูปที่ 2.11 รูปคลื่นสัญญาณวงจรเรียงกระแสแบบกึ่ง 3 เฟส

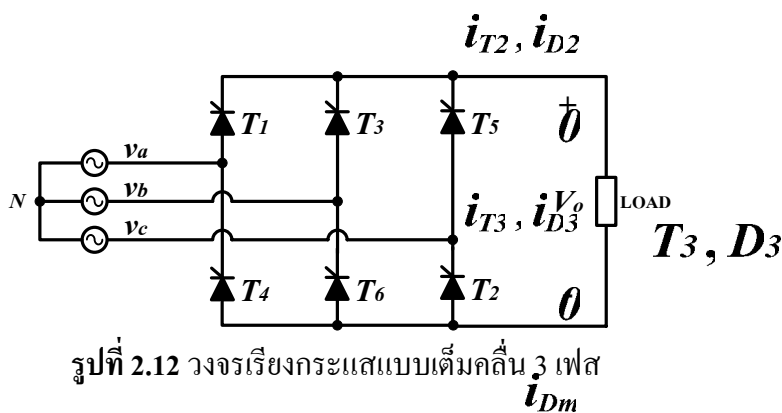


รูปที่ 2.11 รูปคลื่นสัญญาณวงจรเรียงกระแสแบบ 3 เฟส

$$V_{ac} = V_{an} \cdot \sqrt{3}$$

2.4.3 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น 3 เฟสแบบควบคุมได้

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น 3 เฟสตามรูปที่ 2.12 ใช้เอสซีอาร์ 6 ตัวต่อเป็นแบบบริดจ์ 3 เฟส โดยที่สัญญาณทางด้านเอาต์พุตสามารถกำหนดได้ว่าจะให้เฟสได้ออกคู่กันโดยการควบคุมการนำกระแสให้กับเอสซีอาร์ที่ต่ออยู่เฟสนั้นๆ เอสซีอาร์ 3 ตัวบน (T_1 , T_3 และ T_5) จะควบคุมแรงดันของเฟสที่ศักย์ไฟฟ้าสูง ส่วนเอสซีอาร์อีก 3 ตัวล่าง (T_2 , T_4 และ T_6) จะควบคุมแรงดันของเฟสที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ



รูปที่ 2.12 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น 3 เฟส

$$\frac{\pi}{2}$$

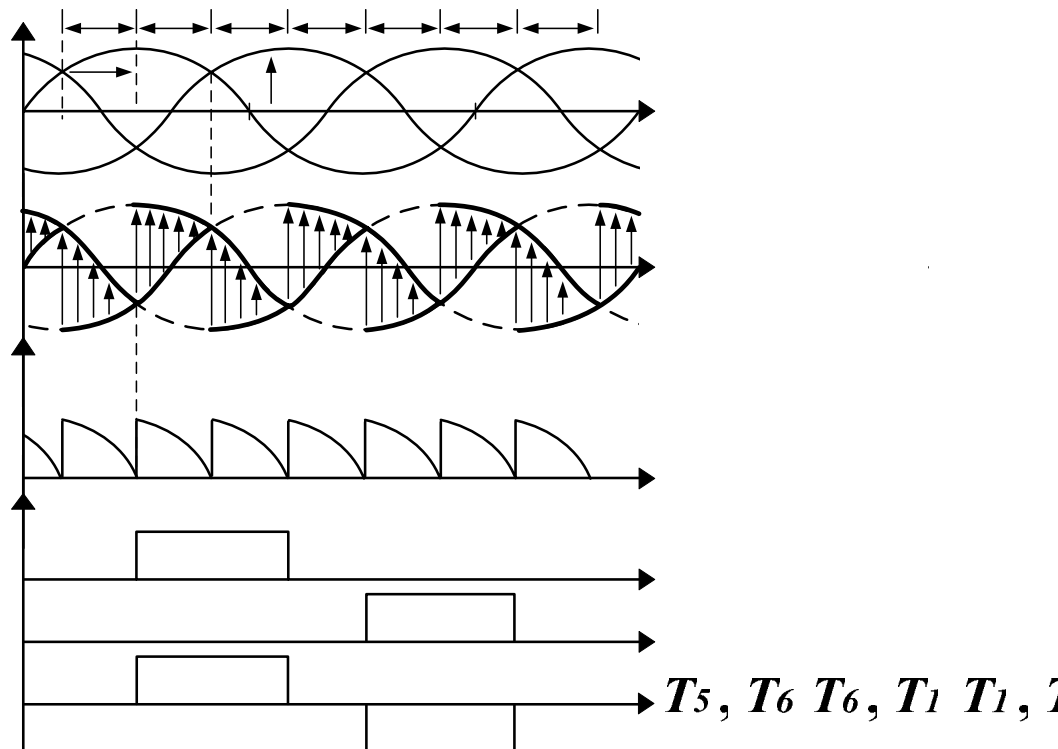
$$D_m$$

$$0$$

$$\frac{\pi}{6} + \alpha$$

จากรูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มุม ($\pi/6$ ถึง $\pi/6+\alpha$) สัญญาณเอาต์พุตได้จากเฟส b เทียบกับเฟส c ดังนั้นเอสซีอาร์ตัวที่นำกระแสคือ T_5 และ T_6 โดยที่

เอสซีอาร์ T_5 ควบคุมแรงดันของเฟส c ซึ่งเป็นเฟสที่มีศักย์ไฟฟ้าสูง และเอสซีอาร์ T_6 ควบคุมแรงดันของเฟส b ซึ่งเป็นเฟสที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำที่มุม ($\pi/6+\alpha$ ถึง $\pi/2+\alpha$) สัญญาณเอาต์พุตได้จากเฟส b ดังนั้นเอสซีอาร์ตัวที่นำกระแสคือ T_1 และ T_6 กล่าวคือที่เอสซีอาร์ T_1 ควบคุมแรงดันของเฟส a ซึ่งเป็นเฟสที่มีศักย์ไฟฟ้าสูง และที่เอสซีอาร์ T_6 ควบคุมแรงดันของเฟส b ซึ่งเป็นเฟสที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำดูได้จากรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 รูปคลื่นสัญญาณวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น 3 เฟส

ในส่วนของคุณสมบัติหลักจะกล่าวถึงในบทต่อไป

2.4.4 วงจรเรียงกระแสแบบคู่ 3 เฟส

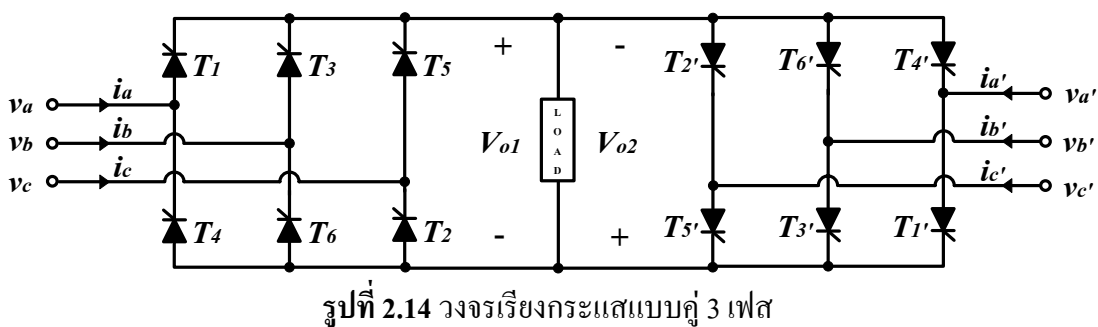
วงจรเรียงกระแสแบบคู่ 3 เฟสจะใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น 3 เฟส 2 วงจร ~~วน~~กลับกันตามรูปที่ 2.14 โดยที่วงจรที่ 1 อยู่ทางด้านซ้ายจะให้เอาต์พุตเป็น V_{o1} และวงจรที่ 2 อยู่ทางด้านขวาจะให้เอาต์พุตเป็น $-V_{o2}$ เอาต์พุตทั้งสองต่อขนานเข้ากับโหลด

V_o

V_{cb}

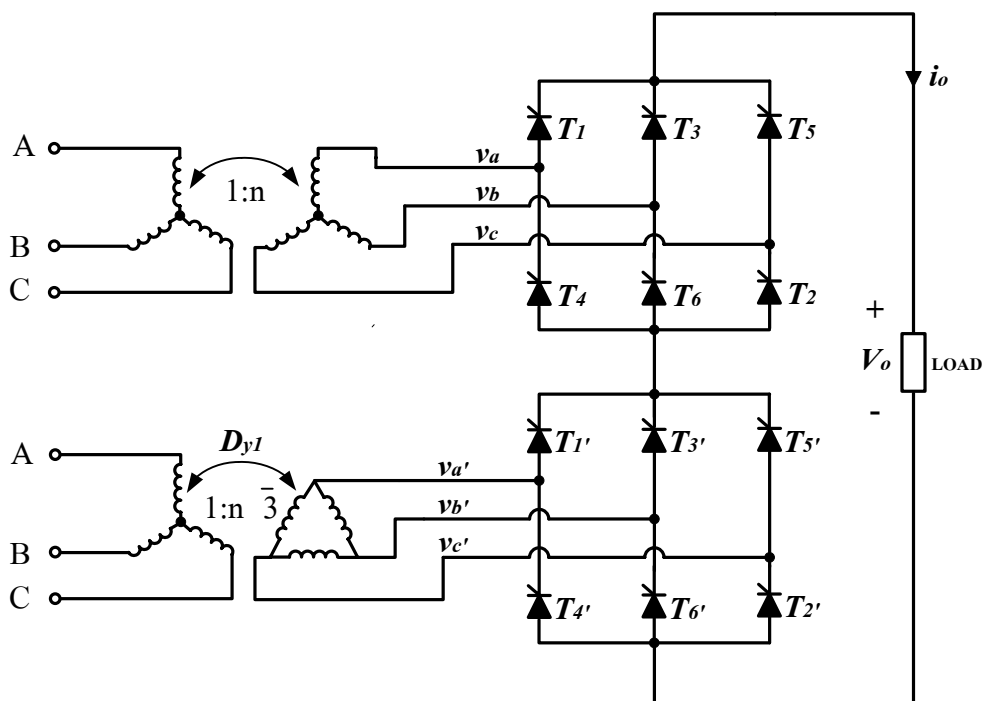
V_{ab}

V_{ac}



2.5 การสร้างวงจรเรียงกระแส 3 เฟส 12 พัลส์คอนเวอร์เตอร์

ในการสร้างชุด 12 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากระแสตรงนี้ประกอบไปด้วย วงจรเรียงกระแส 3 เฟสแบบควบคุมได้ หรือเรียกอีกอย่างว่า วงจรเรียงกระแส 3 เฟส 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ 2 ชุดต่ออนุกรมกันดังในรูปที่ 2.15 ใช้อุปกรณ์เอสซีอาร์ในการควบคุมมุมนำกระแส 12 ตัวโดยที่ต้องใช้วงจรเรียงกระแส 3 เฟส 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ชุดบนต่ออยู่กับหม้อแปลงสตาร์/สตาร์ และวงจรเรียงกระแส 3 เฟส 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ชุดล่างนี้จะต้องต่ออยู่กับหม้อแปลงสตาร์/เดลต้า และเนื่องจากการต่อหม้อแปลง สตาร์/เดลต้า นี้เองทำให้เอาท์พุทของ 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ชุดล่างมีแรงดันเฟสล่าหลัง 6 พัลส์ ชุดบนอยู่ 30° เนื่องจากที่หม้อแปลงมีการต่อแบบ Dy1 จึงทำให้แรงดันด้านดีซีของชุด 12 พัลส์คอนเวอร์เตอร์มีขนาดเป็นสองเท่าของ 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.15 วงจรเรียงกระแส 3 เฟส 12 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ต่อแบบอนุกรม

2.5.1 ระบบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 พัลส์คอนเวอร์เตอร์

ในการทดสอบระบบส่งถ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง[9] จากรูปที่ 2.15 ในการปรับมุมการนำกระแสไทรสเตอร์ตั้งแต่ 0-180 องศา พบว่าเมื่อปรับมุมนำกระแสมากขึ้น 90 องศา คอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์ และมีการส่งคืนกำลังไฟฟ้ากลับไปยังด้านระบบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนทางด้านแรงดัน v_o สัญญาณทางด้านเอาต์พุตจะมีค่าของริปลีลเท่ากับ 12 เท่าของความถี่ทางด้านอินพุต (50Hz)

โดยแรงดันดีซีของชุด 12 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ได้จากการนำแรงดันของชุด 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์มารวมกันตามสมการที่ (2.14)

$$V_o = V_{dcY} - V_{dc\Delta} = \frac{3\sqrt{2} V_{LL}}{\pi} \cos \alpha + \frac{3\sqrt{2} V_{LL}}{\pi} \cos \alpha \quad (2.14)$$

$$V_o = \frac{6\sqrt{2} V_{LL}}{\pi} \cos \alpha \quad (2.15)$$

หรือ
$$V_o = 2.7 V_{LL} \cos \alpha \quad (2.16)$$

2.5.2 กระแสด้านเอซีหรือกระแสไฟสลับทางด้านอินพุต

จากรูป 2.15 วงจรชุด 12 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ พิจารณาสัญญาณกระแสทางด้านระบบไฟฟ้ากระแสสลับในขณะที่มีการต่อหม้อแปลงแบบ สตาร์/สตาร์ จะมีรูปสัญญาณเป็น (Quasi Step) และสัญญาณกระแสทางด้านระบบเอซีในขณะที่มีการต่อหม้อแปลงแบบ สตาร์/เดลต้า จะมีรูปสัญญาณเป็น (6-Step) และกระแสรวมทั้งระบบจะได้เป็น (12-Step) เราสามารถวิเคราะห์สัญญาณกระแสอาร์มอนิกต่างๆ โดยใช้สูตรฟูริเยร์ได้

สำหรับหม้อแปลงที่มีการต่อขดลวดเป็นแบบ สตาร์/สตาร์ รูปสัญญาณที่ได้สามารที่จะวิเคราะห์หาค่ากระแสที่ไหลได้ดังสมการที่ 2.17

$$i_Y(t) = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left(\cos \omega t - \frac{1}{5} \cos 5\omega t + \frac{1}{7} \cos 7\omega t - \frac{1}{11} \cos 11\omega t + \frac{1}{13} \cos 13\omega t - \dots \right) \quad (2.17)$$

สำหรับหม้อแปลงที่มีการต่อขดลวดเป็นแบบ สตาร์/เดลต้า สามารถวิเคราะห์หาค่าของกระแสที่ไหลได้ดังสมการที่ 2.18

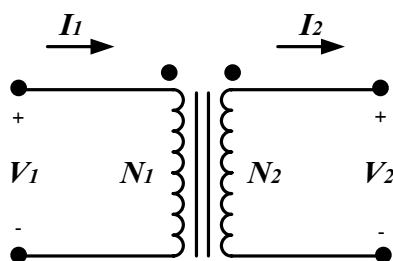
$$i_{\Delta}(t) = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left(\cos \omega t + \frac{1}{5} \cos 5\omega t - \frac{1}{7} \cos 7\omega t - \frac{1}{11} \cos 11\omega t + \frac{1}{13} \cos 13\omega t + \dots \right) \quad (2.18)$$

กระแสรวม 12 พัลส์ สามารถวิเคราะห์หาค่าของกระแสที่ไหลได้จากสมการที่ 2.19

$$i_{ac}(t) = i_Y(t) + i_{\Delta}(t) = \frac{4\sqrt{3}}{\pi} I_d \left(\cos \omega t - \frac{1}{11} \cos 11\omega t + \frac{1}{13} \cos 13\omega t \dots \right) \quad (2.19)$$

2.6 การออกแบบหม้อแปลงหนึ่งเฟสแบบสองขดลวดแยกอิสระ

หลักการเบื้องต้นของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น เริ่มจากการพิจารณาจากการนำเอาหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสมาต่อกัน ดังนั้นความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าหนึ่งเฟสเป็นพื้นฐานหลักการสำคัญในการนำไปประยุกต์ใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส



รูปที่ 2.16 รูปสัญลักษณ์ของหม้อแปลง

จากรูปที่ 2.16 เป็นรูปแสดงหลักการพันขดลวดสองชุดบนแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสที่มีสองขดลวดแยกอิสระแบบเซลล์ หม้อแปลงไฟฟ้าตามอุดมคติจะถือว่าการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กจะเป็นเส้นตามรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ และค่าความซึมซาบสนามแม่เหล็กของแกนเหล็กจะมีค่าเป็น ∞ ในขณะที่ค่าความแตกต่างค่าความต้านทานของขดลวดเป็นศูนย์ 0 ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่ไหลในแกนเหล็กจะเป็นผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดจากผลอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก โดยจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขั้ว V_1 ซึ่งได้แสดงทิศทางการเหนี่ยวนำโดยใช้จุดดำ (Dot mark) จากรูปที่ 2.16

สมการที่ได้
$$\frac{V_1}{V_2} \cong \frac{N_1}{N_2} \quad (2.20)$$

เมื่อขดลวดชุดที่ 1 เป็นขดลวดชุดที่ได้รับแรงดันไฟฟ้าเข้าไปที่ขั้วเพื่อทำการเหนี่ยวนำทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กหลักขึ้นในแกนเหล็ก ขดลวดชุดที่ 2 ได้รับไฟจ่ายเข้าไปจะเรียกว่าขดลวดชุดหลักในขณะเดียวกันขดลวดชุดที่ 2 เป็นขดลวดชุดที่ได้รับผลของเส้นแรงแม่เหล็กหลักที่เหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเพื่อจ่ายใช้งานแก่ภาระโหลดเรียกขดลวดชุดจ่ายไฟออกนี้ว่า ขดลวดชุดรอง

จะได้ความสัมพันธ์หลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ ทางด้านไฟเข้าและทางด้านไฟออกในการส่งถ่ายพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นไปตามความสัมพันธ์ของขดลวดชุดหลักและขดลวดชุดรองที่เรียกว่า อัตราส่วนจำนวนรอบ a

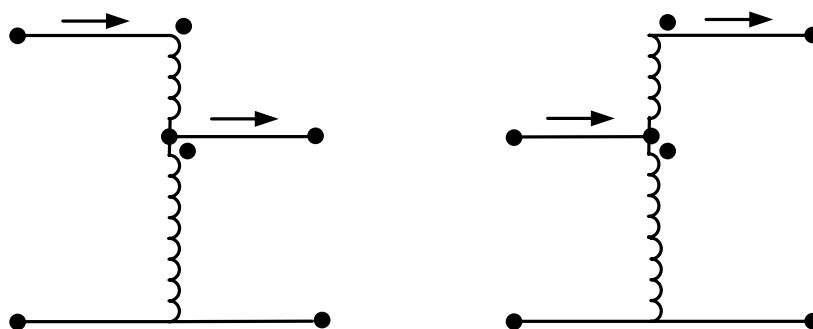
$$a \cong \frac{V_1}{V_2} \cong \frac{N_1}{N_2} \cong \frac{I_2}{I_1} \quad (2.21)$$

ในกรณีที่ไม่มีกระแสไหลในขดลวดชุดรองในหม้อแปลงแบบอุดมคติแล้วกระแส $I_2 = 0$ ดังนั้นกระแส $I_1 = 0$ ด้วยเมื่อมีการต่อโหลดภาระ Z_2 เข้าไปทางขดลวดที่สองในรูปที่ 2.16 จะได้

$$Z_2 = \frac{V_2}{I_2} \quad (2.22)$$

2.7 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสแบบออโต

ในหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีสนามแม่เหล็กคล้องร่วมกันโดยทั่วไปนั้นจะมีวงจรทางไฟฟ้าแยกอิสระออกจากกัน (isolated) โดยมีการพันขดลวดชุดแรก และขดลวดชุดที่สองแยกออกจากกันสองชุดอิสระ เรียกว่าหม้อแปลงไฟฟ้าแบบสองขดลวดแยกอิสระ (two-winding transformer) ทำให้การเกิดการผิดปกติจากทางด้านหนึ่ง จะไม่มีผลกระทบมากนักกับอีกด้านหนึ่งซึ่งโดยปกติแล้วในระบบไฟฟ้ากำลังจะเป็นพวกหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีค่าอัตราส่วนหม้อแปลงค่อนข้างมาก แต่ถ้าไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อกันของทั้งสองด้านมากนัก และมีค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าขาเข้าต่อแรงดันไฟฟ้าขาออกเกือบเท่ากัน จะสามารถใช้หม้อแปลงที่วงจรหม้อแปลงไฟฟ้าทางด้านขาเข้าและขาออกต่อถึงกันได้ โดยการใช้ขดลวดชุดแรกและชุดที่สองร่วมกัน เป็นขดลวดชุดเดียวที่มีแทปเรียกชื่อว่าหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตผลที่ได้เห็นได้ชัดของหม้อแปลงแบบนี้ก็คือ ขนาดจะเล็กลง น้ำหนักเบา ราคาถูก รีแอคแตนซ์รั่วมีค่าน้อยกำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำแต่ประสิทธิภาพสูงกว่าและเมื่อเทียบกับหม้อแปลงแบบแยกขดลวดสองชุดแยกอิสระ



รูปที่ 2.17 รูปสัญลักษณ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต

ในความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต ในการคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า และกระแสของทางด้านขาเข้ากับขาออกของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบขดลวดสองชุดแยกอิสระ แล้วนำมาต่ออนุกรมขดลวดทั้งสองด้านเข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่งแสดงหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตนั้นจะมีขดลวดทั้งหมดเพียงชุดเดียวต่อเฟส ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าขาออกจะเท่ากับออกมาจากขดลวดชุดเดียวกันกับทางด้านไฟฟ้าเข้าซึ่งจะแบ่งเป็นช่วงคือ ขดลวดร่วม (common winding) N_c เป็นส่วนของขดลวดที่ใช้ร่วมกันกับระหว่างทางด้านไฟสูงและไฟต่ำโดยเป็นช่วงขดลวดของขั้วทางไฟแรงต่ำขดลวดอนุกรม (series) N_s เป็นส่วนของขดลวดที่ต่ออนุกรมกับส่วนของขดลวดรวมเพื่อใช้ร่วมกันทางด้านไฟแรงสูง

ดังนั้นขดลวดที่ต่ออยู่ระหว่างขั้วทางด้านไฟแรงสูง ก็จะเป็นขดลวดสองส่วนนี้รวมกับ (Series – common winding) นั่นคือแท้จริงแล้วหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตนั้นก็คือหม้อแปลงไฟฟ้าแบบสองขดลวดแยกอิสระที่มีการต่อร่วมกันเป็นแบบพิเศษให้เป็นขดลวดชุดเดียวกัน โดยที่ตรงส่วนขดลวดร่วม N_c จะมีจำนวนรอบมากและมีขนาดขดลวดนำทองแดงเล็กกว่าขดลวดอนุกรม N_s

ในหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตที่ปรับค่าได้ (Variable autotransformer) จะเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่ตรงส่วนแทปสามารถปรับเลื่อนได้นั้นในส่วนของอัตราส่วน (ratio) อยู่สองอัตราส่วน ใช้งานที่แยกเป็นดังนี้

2.7.1 อัตราส่วนหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต

การคิดหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตในอุดมคติจะไม่คิดถึงค่าสูญเสียใดๆ อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าและกระแสระหว่างขั้วขาเข้าและขาออกของวงจรหม้อแปลงไฟฟ้า

$$a \cong \frac{V_H}{V_L} \quad (2.23)$$

หรือ
$$a \cong \frac{N_H}{N_L} \cong \frac{N_c + N_s}{N_c} \quad (2.24)$$

และ
$$a \cong \frac{I_L}{I_H} \quad (2.25)$$

โดย $a > 1$

จะเห็นได้ว่าอัตราส่วน a จะมีค่ามากกว่า 1 เสมอในหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต

2.7.2 อัตราส่วนของขดลวด

เป็นการหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสของขดลวดอนุกรมและขดลวดร่วม

$$\frac{V_S}{V_C} = \frac{N_S}{N_C} \quad (2.26)$$

และ

$$I_C = I_L - I_H \quad (2.27)$$

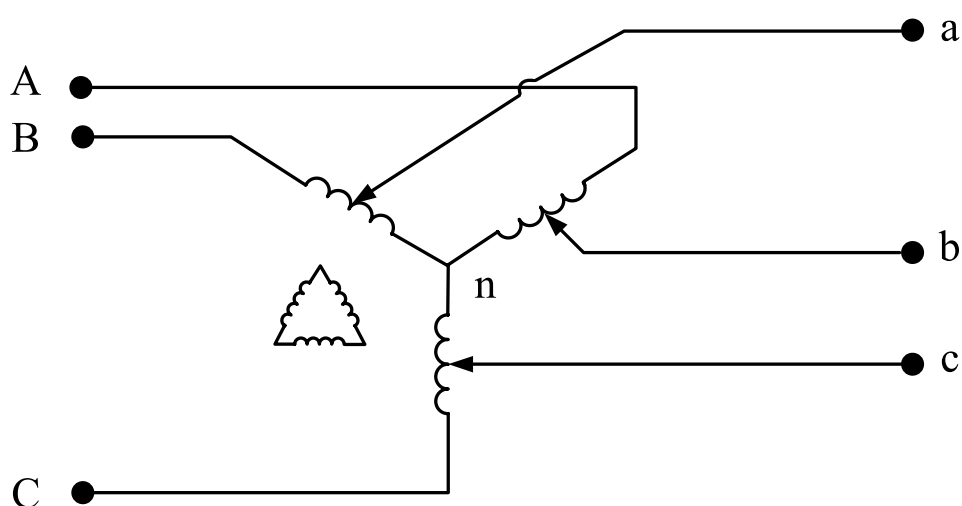
จากสมการ 2.21 จะได้

$$\frac{N_S}{N_L} \cong a - 1 \quad (2.28)$$

ขณะที่ตัวห้อยเลข 1 หมายถึงไฟทางด้านเข้า และตัวห้อยเลข 2 หมายถึงไฟทางด้านออก

2.8 หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสแบบออโต

ในระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสามเฟสจะพบว่า ในบางช่วงของระบบสายส่งต้องการหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้า และแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกไม่มากนัก เพื่อใช้ในการขบวนการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า มักจะนิยมใช้หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสแบบออโตซึ่งมีขนาดเล็กและประหยัดกว่าทั้งทางด้านราคา รูปร่างและกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ



รูปที่ 2.18 รูปสัญลักษณ์หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสแบบออโต

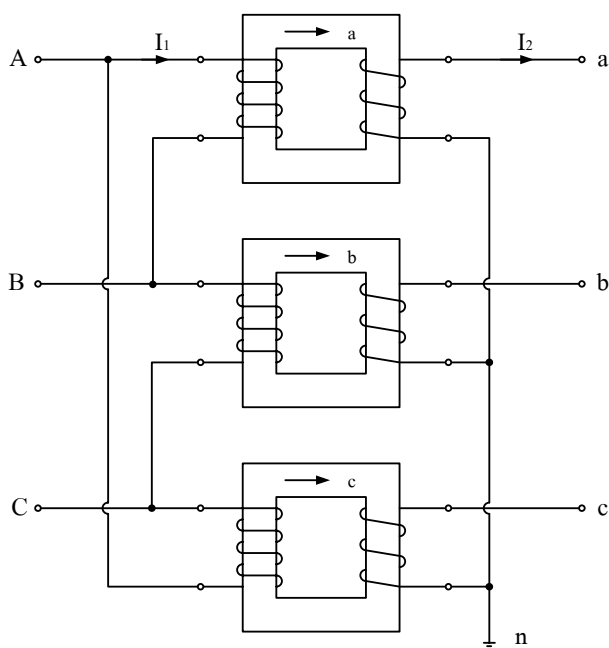
จากรูป 2.18 แสดงให้เห็นตัวอย่างของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสแบบออดิโอที่ใช้กันอยู่ทั่วไป โดยที่การต่อ Δ เพื่อการแก้ปัญหาการไม่สมดุลและกระแสลัดวงจรของระบบ

2.9 หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส

ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้จะเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส เพื่อให้มีความสามารถที่จะส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากๆ ได้เพียงพอซึ่งจะเห็นได้ว่าโดยหลักการแล้วหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสจะได้มาจากการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสสามตัวมาต่อระบบร่วมกัน ช่วยส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะได้ดังนี้

2.9.1 หม้อแปลงหนึ่งเฟสสามตัวต่อร่วมกัน

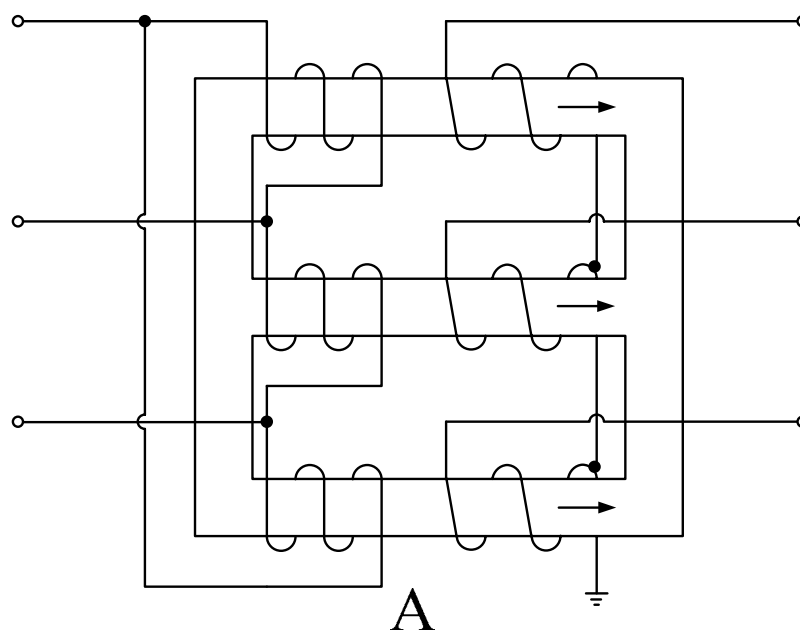
จะต้องมีพิกัดคุณสมบัติเท่ากันทุกประการ ดังนั้นพิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส จะเป็นสามเท่าของพิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสแต่ละตัว และจากผลการต่อขั้วปลายสายของขดลวด จะให้ผลของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าและแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกแตกต่างกันออกไปตามชนิดและลักษณะการต่อ แต่อย่างไรก็ตามค่าอิมพีแดนซ์ต่อยูนิตของหม้อแปลงสามเฟสจะต้องเท่ากัน ไม่ว่าจะคิดทางด้านเข้าหรือทางด้านออก แสดงในรูปที่ 2.19 จะเห็นได้ว่าวงจรแม่เหล็กของแต่ละเฟสแยกออกจากกันอย่างอิสระ และพิกัดกำลังไฟฟ้าของแต่ละเฟสจะมีพิกัดหนึ่งในสามของพิกัดกำลังรวมของหม้อแปลงสามเฟส ถ้าเกิดมีความเสียหายขึ้นที่เฟสหนึ่งเฟสใดก็จะสามารถที่จะทำการตรวจสอบเช็ค ซ่อมแซม หรือเปลี่ยน เฉพาะเฟสนั้นๆ ได้ง่ายแต่หม้อแปลงแบบนี้จะมีขนาดใหญ่และราคาแพง



รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างหม้อแปลงหนึ่งเฟสสามตัวต่อร่วมกัน

2.9.2 หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสแกนร่วม

ซึ่งเป็นหม้อแปลงแบบประหยัดโดยเป็นระบบสามเฟสสมดุลแล้ว ϕ_a, ϕ_b, ϕ_c ในแต่ละเวลารวมกันมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น จึงไม่ต้องมีแกนเหล็กให้ฟลักซ์แม่เหล็กเดินทางกลับจากรูปที่ 2.20 สามารถประหยัดแกนเหล็กที่ใช้เป็นผลให้ค่าความสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าน้อยราคาถูกลง แต่การซ่อมบำรุงรักษายากกว่า



รูปที่ 2.20 แสดงโครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสแกนร่วม

โดยหลักการแล้วหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสก็คือการนำหลักการเอาหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียวสามตัวมาต่อเข้าด้วยกัน

2.10 สรุป

ในบทนี้เนื้อหาส่วนใหญ่จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานวงจรเรียงกระแสแบบ ที่มีการควบคุมเฟส โดยจะมีการกล่าวถึงบางวงจรซึ่งยังมีอีกมากมายสำหรับวงจรเรียงกระแส และในส่วนตอนท้ายบทยังได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของวงจรและโครงสร้างของหม้อแปลงในอุดมคติเพื่อที่จะแสดงร่วมกับความเข้าใจในบทถัดไปโดยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้เน้นถึงการออกแบบร่วมระหว่างวงจรเรียงกระแส 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์แบบที่มีการควบคุมมุมเฟส และการออกแบบหม้อแปลงในการเพิ่มจำนวนพัลส์