# วงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟสเพื่อการศึกษา
# Three Phase Sinusoidal Waveform Generator Circuit for Education

**บุญเรือง วังศิลาบัตร[1] และ ธวัชชัย จิตต์สนธิ์[2]**
**[1]สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน**
833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์: 0-2219-3861 E-mail: boonrwan@gmail.com
**[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน**
833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์: 0-2219-3861 E-mail: t_jitson@hotmail.com

**บทคัดย่อ**

**บทความฉบับนี้นำเสนอ วงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟสเพื่อการศึกษา โดยรูปคลื่นไซน์เฟส เอ จะมาจากระบบไฟฟ้าเฟสเดียวที่ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านเรือนทั่วไป ต่อจากนั้นจะทำการเลื่อนเฟสรูปคลื่นไซน์เฟส เอ ไปเป็นมุม 120 องศา ด้วยวงจรเลื่อนเฟสล้าหลังตลอดรูปคลื่น เพื่อกำเนิดเป็นรูปคลื่นไซน์เฟส บี และท้ายสุดจะนำรูปคลื่นไซน์เฟส เอ และรูปคลื่นไซน์เฟส บี มาเข้าวงจรขยายผลรวมแบบกลับเฟส เพื่อกำเนิดเป็นรูปคลื่นไซน์เฟส ซี ยิ่งกว่านั้นวงจรที่สร้างขึ้นนี้ยังสามารถปรับระดับแรงดันยอดของรูปคลื่นไซน์ทั้งสามเฟสได้พร้อมกันตั้งแต่ 0 จนถึง 13 โวลต์ อย่างไรก็ดี สำหรับวงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟสที่สร้างขึ้นนี้ เหมาะสำหรับการศึกษาภายในห้องปฏิบัติการทดลองที่ไม่มีระบบไฟฟ้าสามเฟส และสามารถใช้ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของระบบไฟฟ้าสามเฟส ตลอดจนถึงคุณสมบัติของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับระบบไฟฟ้าสามเฟส ได้เป็นอย่างดี โดยมีความปลอดภัย เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าและความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับภาระที่ค่อนข้างต่ำ แต่สามารถทำให้สูงขึ้นได้โดยต่อเข้ากับวงจรขยายกำลัง และยังสามารถพัฒนาให้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการทดลองได้ด้วย**

**คำสำคัญ**: วงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟส, วงจรเลื่อนเฟสล้าหลังตลอดรูปคลื่น, วงจรขยายผลรวมแบบกลับเฟส, คุณสมบัติเบื้องต้นของระบบไฟฟ้าสามเฟส

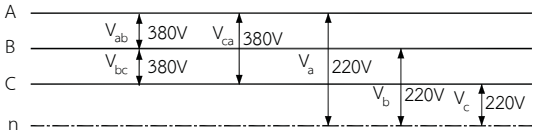
**Abstract**

**This paper proposes the three phase sinusoidal waveform generator for education. By the sinusoidal waveform phase A will come from the single phase electrical system which usually in the electrical appliances. After that the sinusoidal waveform phase A will be shifted to 120 degree with an all-pass phase lag circuit to create the sinusoidal waveform phase B. And finally will be add the sinusoidal waveform phase A and phase B to the inverting summing amplifier circuit for generate the sinusoidal waveform phase C. Furthermore this circuit can be adjusting for output peak voltage from 0 up to 13V. However, this circuit is suitable for use in laboratory which on have three phase power source system. And it can be study in the basic property of three phase electrical system including the property of three phase rectifier circuits by safety due to the output voltage and output current of it very low. But it can be make up by connect to power amplifier and can be develop to AC power supply for laboratory.**

**Keywords:** three phase waveform generator, all-pass phase lag circuit, inverting summing amplifier, basic property of three phase electrical system.

## 1. บทนำ

ระบบส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศต่าง ๆ โดยทั่วไป จะเป็นระบบการส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส 4 สาย สำหรับในประเทศไทยจะมีขนาดแรงดันไฟฟ้าเป็น 380V/220V ความถี่ 50Hz เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถที่จะเลือกใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะใช้งานให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเรือนต่างๆ หรือเพื่อใช้กับเครื่องจักรกลในการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมได้ โดยสายไฟฟ้าทั้ง 4 สาย ที่ใช้ในการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้า จะประกอบด้วยสายเฟสจำนวน 3 สาย ได้แก่สาย A , B , C และมีสาย นิวตรอล หรือ n อีกหนึ่งเส้น ถ้าวัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายเฟสด้วยกันจะวัดแรงดันไฟฟ้าได้เป็น 380V แต่ถ้าทำการวัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายเฟสใด ๆ โดยวัดเทียบกับสายนิวตรอน จะวัดแรงดันไฟฟ้าได้ 220V ดังแสดงในรูปที่ 1



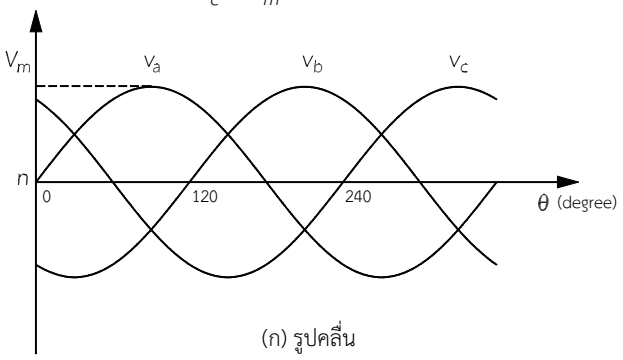

รูปที่ 1 ระบบการส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส 4 สาย

โดยที่มุมต่างเฟสของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าในแต่เฟสจะมีมุมต่างเฟสระหว่างกันเป็นมุม 120 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2(ก) และสามารถเขียนแทนด้วยเฟสเซอร์ไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 2(ข)

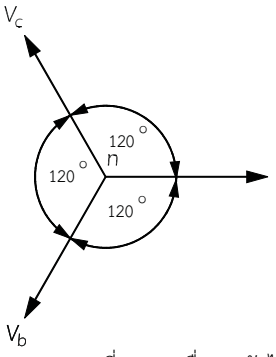
จากรูปที่ 2(ก) และรูปที่ 2(ข) แรงดันไฟฟ้าเฟส เอ จะเริ่มที่มุม $0^\circ$ ส่วนแรงดันไฟฟ้าเฟส บี จะล้าหลังแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ อยู่ $120^\circ$ และแรงดันไฟฟ้าเฟส ซี จะล้าหลังแรงดันไฟฟ้าเฟส บี อยู่ $120^\circ$ และจะล้าหลังแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ อยู่ $240^\circ$ หรือในนัยกลับกันอาจจะกล่าวได้ว่า

แรงดันไฟฟ้าเฟส ซี จะนำหน้าแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ อยู่ 120° ดังนั้น สามารถเขียนเป็นสมการแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสได้ดังสมการ(1)

$$v_a = V_m \sin(\omega t + 0^\circ)$$
$$v_b = V_m \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (1)$$
$$v_c = V_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$




(ก) รูปคลื่น



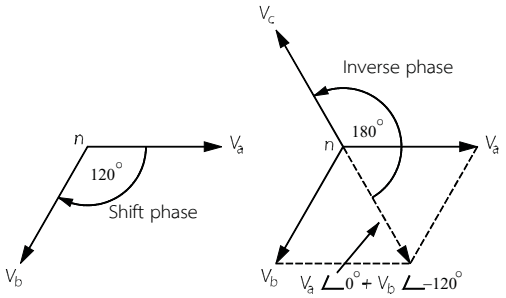

(ข) เฟสเซอร์ไดอะแกรม

รูปที่ 2 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและเฟสเซอร์ไดอะแกรม ของระบบไฟฟ้าสามเฟส

อย่างไรก็แล้วแต่ เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าสลับของระบบไฟฟ้าสามเฟสมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่สูงมาก ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้ง่ายกว่าระบบไฟฟ้าเฟสเดียว ดังนั้นระบบไฟฟ้าสามเฟสจึงมิได้ถูกติดตั้งให้อยู่ในห้องปฏิบัติการทดลองในโรงเรียนหรือวิทยาลัยเทคนิคโดยทั่วไป ซึ่งทำให้นักศึกษามิได้มีโอกาสในการฝึกปฏิบัติและศึกษาในเรื่องระบบไฟฟ้าสามเฟสอย่างแท้จริง

## 2. การแปลงผันระบบไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวเป็นระบบไฟฟ้าสามเฟส

ในการแปลงผันระบบไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวเป็นระบบไฟฟ้าสามเฟสจะเริ่มจากการกำหนดให้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวเป็นแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ ต่อจากนั้นจะทำการเลื่อนเฟสจากแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ ให้ล้าหลังไปเป็นมุม 120° โดยจะต้องให้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่เลื่อนเฟสไปมีค่าเท่ากันกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการเลื่อนเฟสให้ล้าหลังไปเป็นมุม 120° นี้ จะถูกแปลงผันให้กลายเป็นแรงดันไฟฟ้าเฟส บี ดังเฟสเซอร์ไดอะแกรมที่แสดงในรูปที่ 3(ก) ต่อจากนั้นก็จะนำแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ และแรงดันไฟฟ้าเฟส บี มารวมกันและกลับทิศทางของผลรวมของแรงดันที่ได้ เพื่อสร้างเป็นแรงดันไฟฟ้าเฟส ซี ดังเฟสเซอร์ไดอะแกรมที่แสดงในรูปที่ 3(ข)

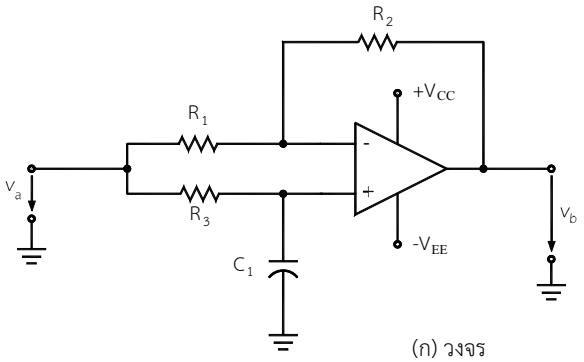



(ก) การสร้างแรงดันไฟฟ้าเฟส บี (ข) การสร้างแรงดันไฟฟ้าเฟส ซี

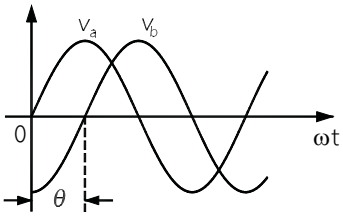
รูปที่ 3 การแปลงผันแรงดันไฟฟ้าเฟสเดียวเป็นแรงดันไฟฟ้าสามเฟส

### 2.1 วงจรเลื่อนเฟสล้าหลังตลอดรูปคลื่น

วงจรในรูปที่ 4(ก) เป็นวงจรเลื่อนเฟสล้าหลังตลอดรูปคลื่น เมื่อกำหนดให้ความต้านทาน $R_1$ มีค่าเท่ากันกับ $R_2$ โดยสัญญาณความถี่ที่ถูกป้อนเข้าทางด้านอินพุตจะไม่ถูกบั่นทอนแต่อย่างใด ซึ่งหมายความว่าขนาดของแรงดันทางด้านอินพุตจะมีขนาดที่เท่ากันกับขนาดของแรงดันที่ถูกป้อนเข้ามาทางด้านอินพุต ดังแสดงในรูปที่ 4(ข)




(ก) วงจร




(ข) รูปคลื่น

รูปที่ 4 วงจรเลื่อนเฟสล้าหลังตลอดรูปคลื่น

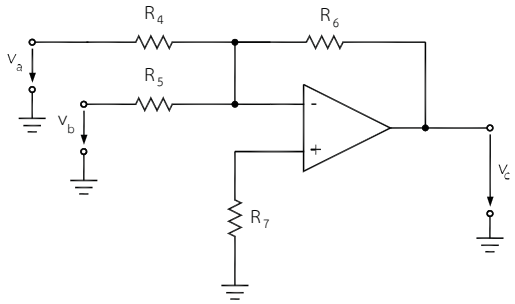
จากวงจรในรูปที่ 4(ก) ค่าของมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุตที่ถูกเลื่อนให้ล้าหลังไปจากมุมเฟสของแรงดันทางด้านอินพุตจะสามารถกำหนดได้จากสมการที่ (2) ดังนี้

$$\theta = -2\arctan(\omega C_1 R_3) \quad (2)$$

โดยที่เครื่อง(-) แสดงถึงมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุตที่ถูกเลื่อนเฟสให้ล้าหลังไปจากแรงดันไฟฟ้าที่ถูกป้อนเข้ามาทางด้านอินพุต เมื่อ $\omega=2\pi f$ และ f จะเป็นความถี่ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ถูกป้อนเข้ามาทางด้านอินพุต

### 2.2 วงจรขยายผลรวมของสัญญาณไฟฟ้าแบบกลับเฟส

รูปที่ 5 เป็นวงจรขยายผลรวมของสัญญาณไฟฟ้าแบบกลับเฟสที่มีจำนวน 2 อินพุต โดยมีตัวต้านทาน $R_6$ , $R_4$ และ $R_5$ เป็นตัวกำหนดอัตราขยายของวงจร โดยที่ $R_7$ จะช่วยทำให้แรงดันไฟฟ้าออฟเซตทางด้านเอาท์พุตของออป-แอมป์มีค่าลดลง




รูปที่ 5 วงจรขยายผลรวมสัญญาณไฟฟ้าแบบกลับเฟส

จากวงจรในรูปที่ 5 ถ้ากำหนดให้ค่าความต้านทานของ $R_6$ , $R_4$ และ $R_5$ มีค่าเท่ากัน วงจรขยายผลรวมสัญญาณไฟฟ้าแบบกลับเฟสจะมีอัตราขยายร่วมเท่ากับ 1 ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏทางด้านเอาท์พุตของวงจรจะมีค่าเป็นดังสมการที่ (3) ดังนี้

$$V_c = -(V_a + V_b) \tag{3}$$

### 3. การออกแบบวงจรแปลงผันระบบไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวเป็นระบบไฟฟ้าสามเฟส

จากรูปที่ 4(ก) และสมการที่ (2) ต้องการให้มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า $V_b$ ล้าหลังไปจากมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า $V_a$ เป็นมุม 120° ดังนั้นจะสามารถคำนวณค่าความต้านทานของ $R_3$ ได้จากสมการที่ (4) ดังนี้

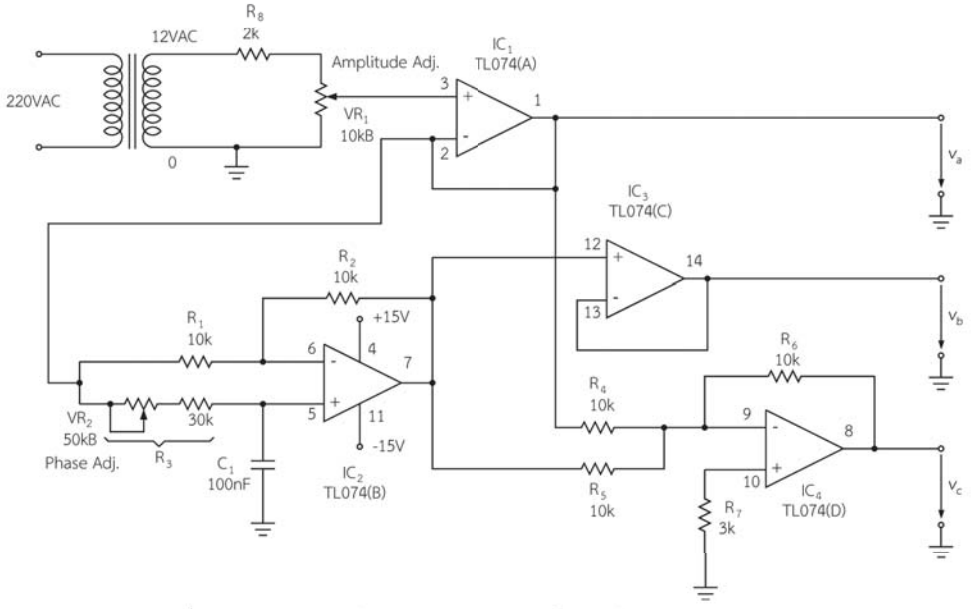
$$R_3 = \frac{1}{\omega C_1}\tan\left(\theta/2\right) \tag{4}$$

เมื่อความถี่ของแรงดันไฟฟ้าสลับของ $V_a$ ที่ป้อนเข้ามาทางด้านอินพุตมีค่าเป็น 50 Hz ดังนั้นค่าของ $\omega$ จะมีค่าเป็น 314 rad/sec และเมื่อกำหนดให้ค่าของตัวเก็บประจุ $C_1$ ,มีค่าเป็น 100nF ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าของ $R_3$ ได้ดังนี้

$$R_3 = \frac{1}{(314)(100\times10^{-9})}\tan\left(120°/2\right) = 55.16k\Omega$$

จากค่าที่คำนวณได้เลือกใช้ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้เป็น 50k$\Omega$ แบบ B ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานคงที่ 30k$\Omega$ เพื่อให้สามารถปรับมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า $V_b$ ล้าหลังไปจากมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า $V_a$ เป็นมุม 120° ได้อย่างถูกต้อง

รูปที่ 6 เป็นวงจรแปลงผันระบบไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวเป็นระบบไฟฟ้าสามเฟส โดยมีหม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 220VAC ให้ต่ำลงเหลือเพียง 12VAC และจะถูกแบ่งแรงดันไฟฟ้าด้วยตัวต้านทาน $R_8$ และตัวต้านทานปรับค่าได้ $VR_1$ ทำให้สามารถปรับค่าแรงดันยอดของแรงดันไฟฟ้า $v_a$ ได้ ต่อจากนั้นก็จะป้อนเข้าสู่ $IC_1$ ซึ่งต่อเป็นวงจรกันชน (Buffer) ก่อนต่อไปใช้งานภายนอก แรงดันไฟฟ้าของเฟส เอ จะถูกป้อนเข้ายัง $IC_2$ ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรเลื่อนเฟสล้าหลังตลอดรูปคลื่น โดยมี $VR_2$ ทำหน้าที่ปรับมุมเฟสให้ล้าหลังจากมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ ออกไปเป็นมุม 120° เพื่อสร้างเป็นแรงดันไฟฟ้าเฟส บี



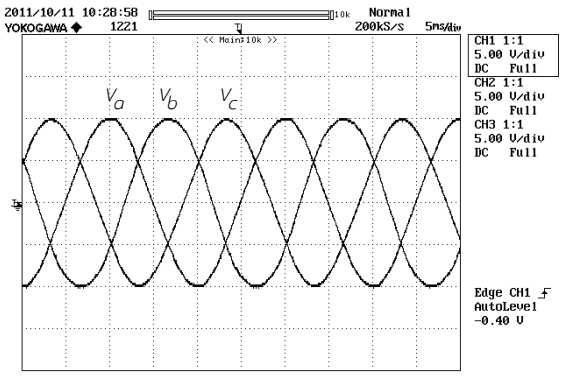

รูปที่ 6 วงจรแปลงผันระบบไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส

และนำไปใช้งานภายนอกได้โดยต่อเข้ากับวงจรกันชนที่ทำหน้าที่โดย $IC_3$ ต่อจากนั้นจะนำแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ และแรงดันไฟฟ้าเฟส บี มาเข้าวงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟส ซึ่งทำหน้าที่โดย $IC_4$ เพื่อสร้างเป็นแรงดันไฟฟ้าเฟส ซี และนำไปต่อใช้งานภายนอกได้ โดยจะมีจุดต่อร่วมหรือกราวนด์ เปรียบเสมือนกับจุด นิวตรอน ของระบบส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟสนั่นเอง

เนื่องจากกระบวนการทั้งหมดจะเริ่มต้นที่การกำหนดขนาดของแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ ด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ $VR_1$ และต่อจากนั้นก็จะต่อเข้ากับวงจรเลื่อนเฟสล้าหลังตลอดรูปคลื่น โดยขนาดของแรงดันไฟฟ้าเฟส บี จะยังคงมีขนาดที่เท่ากันกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ และเมื่อนำแรงดันไฟฟ้าทั้งเฟส เอ และ เฟส บี มารวมกันด้วยวงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟสที่มีอัตราร่วมของวงจรมีค่าเท่ากับ 1 เพื่อสร้างเป็นแรงดันไฟฟ้าเฟส ซี ซึ่งผลก็คือขนาดของแรงดันไฟฟ้าเฟส ซี ก็จะยังมีขนาดที่เท่ากันกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ และขนาดของแรงดันไฟฟ้าเฟส บี ด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้การปรับตัวต้านทาน $VR_1$ เพื่อปรับขนาดของแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ เพียงตัวเดียวก็จะส่งผลให้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าเฟส บี และขนาดของแรงดันไฟฟ้าเฟส ซี เปลี่ยนแปลงไปด้วยพร้อมกัน

## 4. ผลการทดลอง

เมื่อประกอบวงจรดังแสดงในรูปที่ 6 และใช้ออสซิโลสโคปต่อเพื่อวัดแรงดันไฟฟ้า $V_a$ ,$V_b$ และ $V_c$ ต่อจากนั้นปรับ $VR_1$ กำหนดให้ $V_a$ มีค่าแรงดันยอดเท่ากับ $10V_p$ ต่อจากนั้นปรับ $VR_2$ จนกระทั่งมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า $V_b$ ล้าหลังมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า $V_a$ เป็นมุม 120° ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 7




หมายเหตุ: วัดแรงดันไฟฟ้าด้วยออสซิโลสโคป YOGOKAWA DL1640

รูปที่ 7 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าสามเฟสที่ได้จากวงจรในรูปที่ 6

จากรูป 7 ทำการวัดแรงดันไฟฟ้าทั้งสามเฟสที่ได้จากวงจรทดลองในรูปที่ 6 จะได้ผลเป็นดังในตารางการทดลองที่ 1

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1

| Item | แรงดันไฟฟ้า | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $V_a$ | $V_b$ | $V_c$ | $V_{ab}$ | $V_{bc}$ | $V_{ca}$ |
| $V_p$ | 10 | 10 | 10 | 17.29 | 17.29 | 17.08 |
| $V_{rms}$ | 6.97 | 7.19 | 6.89 | 12.18 | 12.16 | 12.14 |

จากตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1 จะเห็นว่าเมื่อค่าแรงดันยอดของแรงดันไฟฟ้าทั้งสามเฟสมีค่าเท่ากับ $10V_p$ ค่าประสิทธิผล($V_{rms}$) ของแรงดันไฟฟ้าจะไม่สอดคล้องกับสมการที่ (4) ทั้งนี้เนื่องจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ $V_a$ นั้นมาจากการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า ซึ่งรูปคลื่นที่ได้จะผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ แต่ค่าประสิทธิผลที่คำนวณได้จากออสซิโลสโคป จะเป็นค่าประสิทธิผลแท้จริง (True rms) ซึ่งไม่ได้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของรูปคลื่นว่าจะต้องเป็นรูปคลื่นไซน์ที่สมบูรณ์

$$V_p = \sqrt{2}V_{rms} \tag{4}$$

ค่าประสิทธิผล($V_{rms}$) ของแรงดันเฟส($V_{Phase}$) ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดระหว่างสายเฟสเมื่อเทียบกับนิวตรอน สามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง ได้ดังสมการที่ (5)

$$V_{Phase} = \frac{6.97 + 7.19 + 6.89}{3} = 7.02V_{rms} \tag{5}$$

ในทำนองเดียวกันค่าประสิทธิผล($V_{rms}$) ของแรงดันที่สาย($V_{Line}$) ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดระหว่างสายเฟสเมื่อเทียบกับสายเฟสใด ๆ สามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง ได้ดังสมการที่ (6)

$$V_{Line} = \frac{12.18 + 12.16 + 12.14}{3} = 12.16V_{rms} \tag{6}$$

และเมื่อทำการทดลองปรับค่าแรงดันยอดของ $V_a$ ให้เปลี่ยนไปเป็น $3V_p$ , $6V_p$ , $9V_p$ และ $12V_p$ จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2

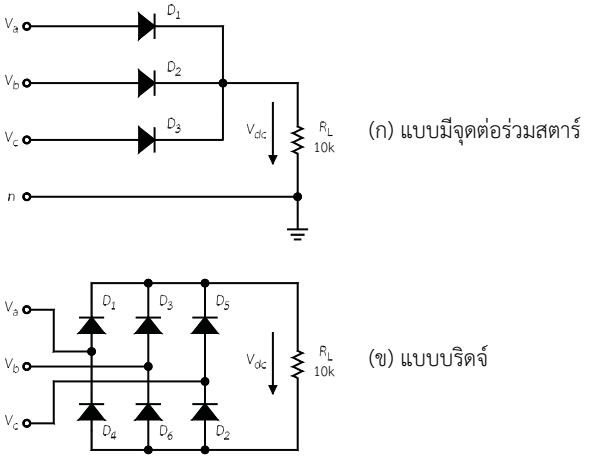
| แรงดันไฟฟ้า | | |
|---|---|---|
| $V_a$ ($V_p$) | $V_{Phase}$ ($V_{rms}$) | $V_{Line}$ ($V_{rms}$) |
| 3 | 2.06 | 3.53 |
| 6 | 4.11 | 7.27 |
| 9 | 6.19 | 10.72 |
| 12 | 8.49 | 14.73 |

จากตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1 และ 2 เป็นการทดลองวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าสามเฟสโดยทั่วไป ซึ่งจะเห็นว่าผลการทดลองที่ได้จะสอดคล้องกับทฤษฎีดังสมการที่ 7 คือ

$$V_{Line} = \sqrt{3}V_{Phase} \tag{7}$$

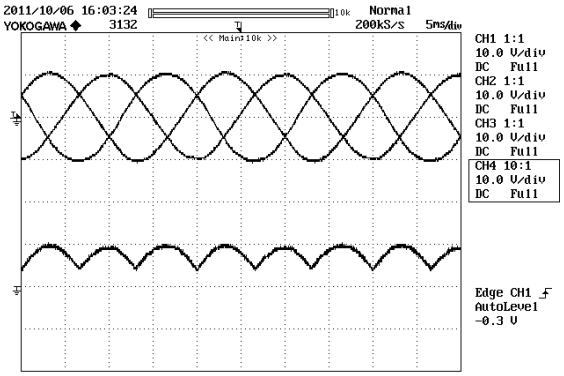
รูปที่ 8 เป็นการประยุกต์ใช้วงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟสที่สร้างขึ้นมาทำการศึกษาเรื่องคุณสมบัติของการเรียงกระแสไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าสามเฟส ซึ่งมีด้วยกันอยู่ 2 ลักษณะ คือการเรียงกระแสไฟฟ้าสามเฟส

แบบมีจุดต่อร่วมสตาร์ (Three phase star point rectifier) ดังแสดงในรูปที่ 8(ก) และการเรียงกระแสไฟฟ้าสามเฟสแบบบริดจ์ (Three phase bridge rectifier) ดังแสดงในรูปที่ 8(ข)




รูปที่ 8 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าสามเฟส

จากรูปที่ 8(ก) เมื่อกำหนดให้แรงดันไฟฟ้า $V_a$ มีค่าแรงดันยอดเป็น $10V_p$ รูปคลื่นของแรงดันไฟตรงที่ตกคร่อมที่ภาระจะเป็นดังในรูปที่ 9



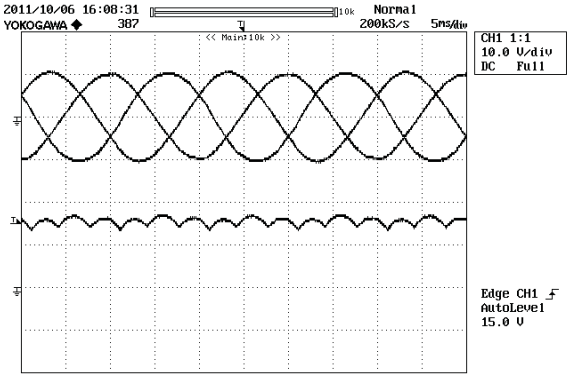

รูปที่ 9 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงที่ได้จาก
วงจรการเรียงกระแสไฟฟ้าสามเฟสแบบมีจุดต่อร่วมสตาร์

จากรูปที่ 9 จะเห็นว่ารูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมภาระจะมีลักษณะเป็นแรงดันไฟตรงในรูปแบบของแรงดันไฟตรงบริสุทธิ์ (Pure dc) รวมอยู่กับระลอกคลื่น (Ripple) ที่มีความถี่ของระลอกคลื่นเป็น 3 เท่าของความถี่ในระบบไฟฟ้าสลับ ซึ่งแตกต่างไปจากแรงดันไฟตรงที่ได้จากวงจรการเรียงกระแสไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าเฟสเดียว โดยลักษณะของรูปคลื่นแรงดันไฟตรงจะมีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulsating dc) และมีค่าของความถี่ระลอกคลื่นเพียง 2 เท่าของความถี่ในระบบไฟฟ้าสลับ เมื่อใช้วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์ โดยความถี่ของระลอกคลื่นจะเป็นค่าจำเพาะ (Parameter) ตัวหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของแรงดันไฟตรงที่ได้จากวงจรการเรียงกระแสไฟฟ้าสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งหมายถึงว่าถ้าความถี่ของระลอกคลื่นมีค่าสูงขึ้น แรงดันไฟตรงที่ได้จะมีความเข้าใกล้แรงดันไฟตรงบริสุทธิ์ และจากรูปที่ 9 ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยจะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 8 ดังนี้

$$V_{dc(star\ point)} = 0.675V_{Line} \quad (8)$$

โดยที่ $V_{Line}$ จะมีค่าเท่ากับ $12.16V_{rms}$ ซึ่งจะคำนวณได้เท่ากับ 8.2V แต่เมื่อทำการวัดจริง จะได้ค่าเพียง 7.8V ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสูญเสียแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอดในวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าไปนั่นเอง

ส่วนรูปที่ 10 จะเป็นรูปคลื่นแรงดันไฟตรงที่ได้จากวงจรการเรียงกระแสไฟฟ้าสามเฟสแบบบริดจ์ โดยจะเห็นว่าแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสไฟฟ้า จะมีค่าความถี่ของระลอกคลื่นเป็น 6 เท่าของความถี่ในระบบไฟฟ้า ซึ่งบ่งบอกถึงว่าแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสจะมีคุณภาพของแรงดันเข้าใกล้แรงดันไฟตรงบริสุทธิ์ดีว่าวงจรการเรียงกระแสไฟฟ้าในระบบเฟสเดียวและดีกว่าวงจรการเรียงกระแสไฟฟ้าในระบบสามเฟสแบบมีจุดต่อสตาร์




รูปที่ 10 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงที่ได้จาก
วงจรการเรียงกระแสไฟฟ้าสามเฟสแบบบริดจ์

และจากรูปที่ 10 ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยจะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 9 ดังนี้

$$V_{dc(bridge)} = 1.35V_{Line} \quad (9)$$

โดยที่ $V_{Line}$ จะมีค่าเท่ากับ $12.16V_{rms}$ ซึ่งจะคำนวณได้เท่ากับ 16.41V แต่เมื่อทำการวัดจริง จะได้ค่าเพียง 15.48V ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสูญเสียแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอดในวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเช่นเดียวกัน และเมื่อทำการทดลองปรับค่าแรงดันยอดของ $V_a$ ให้เปลี่ยนไปเป็น $3V_p$ , $6V_p$ , $9V_p$ และ $12V_p$ จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3

| แรงดันไฟฟ้า | | |
|---|---|---|
| $V_a\ (V_p)$ | $V_{dc(Star\ point)}(V)$ | $V_{dc(bridge)}(V)$ |
| 3 | 1.96 | 3.86 |
| 6 | 4.39 | 8.72 |
| 9 | 6.90 | 13.69 |
| 12 | 9.65 | 19.43 |

จากผลที่ได้จากตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3 จะพบว่าแรงดันไฟตรงที่ได้จากเรียงกระแสไฟฟ้าทั้งสองรูปแบบจะสอดคล้องกับทฤษฎีดังสมการที่ (10) ดังนี้

$$V_{dc(bridge)} = 2V_{dc(star\ point)} \qquad (10)$$

ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าแรงดันไฟตรงที่ได้จากวงจรการเรียงกระแสไฟฟ้าสามเฟส แบบบริดจ์ จะมีค่าเป็นสองเท่าของแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสไฟฟ้าสามเฟสแบบที่มีจุดร่วมสตาร์จริง

## 5. บทสรุป

วงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟสที่สร้างขึ้นสามารถประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการทดลอง เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นพื้นฐานในเรื่องการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าสามเฟส และวงจรกำเนิดรูปคลื่นสามเฟสที่สร้างขึ้น ยังมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่าง ๆ ที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าสามเฟสอย่างครบถ้วน เพียงแต่สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ต่ำกว่าระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง ๆ โดยสามารถปรับค่าแรงดันยอดได้ในช่วงตั้งแต่ $0\,V_p$ จนถึง $13\,V_p$ ซึ่งก็นับว่าเพียงพอต่อการศึกษา และเนื่องจากจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับภาระได้ต่ำ จึงมีความปลอดภัยต่อผู้ที่ปฏิบัติการทดลองเพื่อการศึกษา ซึ่งทำให้ผู้ที่ศึกษาเกิดความเข้าใจและสามารถอธิบายถึงความแตกต่างกันระหว่างระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบเฟสเดียวและการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าสามเฟสโดยผลการทดลองที่ได้ยังคงสอดคล้องกับทฤษฎี

นอกจากนั้นวงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟสที่สร้างขึ้นนี้ ยังเป็นแนวทางให้สามารถนำไปประยุกต์เพื่อพัฒนาให้มีแรงดันไฟฟ้าสูงที่ขึ้นได้โดยต่อร่วมกับวงจรขยายสัญญาณ เพื่อสร้างเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสที่สามารถปรับค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าได้ หรือสามารถนำไปใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงในการสร้างวงจรเพื่อการขับนำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสแบบเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในเรื่องแรงบิดและกำลังงานที่เพลาของมอเตอร์

เนื่องจากวงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟสที่สร้างขึ้นนี้ มีขนาดของแรงดันไฟฟ้าและสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับภาระได้ต่ำ จึงทำให้เมื่อนำไปใช้ในการศึกษาที่เกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าสามเฟสได้ผลไม่ชัดเจนเท่าที่ควร แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่ภายในห้องปฏิบัติการทดลองมีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบสามเฟสอยู่แล้ว และต้องการศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ทางด้านไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าสามเฟสดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น รวมถึงเรื่องกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบ และเพื่อต้องการให้เกิดความปลอดภัยจากแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ ก็อาจจะใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดลวดแรงดันไฟฟ้าระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ (Isolation transformer) ที่ใช้กับระบบไฟฟ้าเฟสเดียว จำนวน 3 ตัว มาทำการต่อร่วมกันในรูปแบบที่มีจุดต่อร่วมสตาร์ทั้งทางด้านขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิเพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงเพื่อใช้ในการศึกษาได้ แต่ข้อพึงระวังในเรื่องของการต่อร่วมเข้าด้วยกัน ก็คือจะต้องคำนึงเรื่องขั้วของหม้อแปลงที่จะนำมาต่อร่วมกัน ซึ่งจะมีผลต่อมุมเฟสและทิศทางของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทางด้านขดลวดทุติยภูมิด้วย

## เอกสารอ้างอิง


[1] บุญเรือง วังศิลาบัตร, “*เอกสารประกอบการสอน วิชาวงจรไฟฟ้า และอุปกรณ์*”, 2552

[2] บุญเรือง วังศิลาบัตร, “*เอกสารประกอบการสอน วิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และการออกแบบวงจร*”, 2553

[3] บุญเรือง วังศิลาบัตร, “*เอกสารประกอบการสอน วิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และอุปกรณ์*”, 2553

[4] David A. Bell, *“Operational Amplifiers Application Troubleshooting and designs”,* Prentice-Hall International Editions, 1990

[5] http://www.datasheets.com/TL074.pdf


## ประวัติผู้เขียนบทความ

ผศ.บุญเรือง วังศิลาบัตร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีสาขาวิชาไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สจพ. และ ระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ. ปัจจุบันดำรงตำแหน่งเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

**งานวิจัยที่สนใจ** Power Electronics & Electronics Circuits Design

ผศ.ธวัชชัย จิตต์สนธิ์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-โทรคมนาคม รม. และระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. ปัจจุบันดำรงตำแหน่งเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

**งานวิจัยที่สนใจ** Digital & Logic design and Microcontroller