



บทความวิชาการ

การกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟสด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

Three Phase Sinusoidal Waveform Generator using Microcontroller

บุญญพัฒน์ ช่อฟ้าบัณฑิต¹* และ บุญเรือง วังศิลาบัตร²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0-2219-3833 E-mail: punyapat@hotmail.com

² สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0-2219-3861 E-mail: boonrwan@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟส โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็นวงจรนับตำแหน่งของหน่วยความจำ และปรับความถี่ของรูปคลื่นไซน์สามเฟส วงจรหน่วยความจำรวมแบบ PROM จำนวน 3 ตัว ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสเป็นตัวเลขดิจิตอลไว้ จากนั้นจึงใช้วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก กำเนิดแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสจากข้อมูลในรอมอีกครั้ง แล้วปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้เป็นกระแสสลับด้วยวงจรออปแอมป์พิกัดแรงดันเท่ากับ 2Vp จากผลการทดลองสามารถสร้างรูปคลื่นไซน์ที่ปรับความถี่ได้ตั้งแต่ 25Hz ถึง 55Hz และเมื่อวัดคุณภาพของสัญญาณพบว่าค่าความเพี้ยนของสัญญาณ (THD) เท่ากับ 0.7 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำไปเป็นวงจรต้นกำเนิดรูปคลื่นไซน์ของมอเตอร์แบบสามเฟสต่อไปได้

คำสำคัญ: การกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟส หน่วยความจำรอม ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

This paper proposes 3-phase sinusoidal waveform generator using microcontroller which is produced the address of ROM and be frequency adjuster of sinusoidal waveform. IC PROM 3 units were memories the digital data of voltage that calculated for

3-phase after then converts digital data to analog voltage by DAC, finally adjusted AC level equal to 2Vp by OP-Amp circuit. In the experiment achieve the sinusoidal waveform that adjusted frequency from 25Hz – 55Hz and had low total harmonic distortion (THD) equal to 0.7%. This process can apply to be a signal generator for 3-phase motor driver.

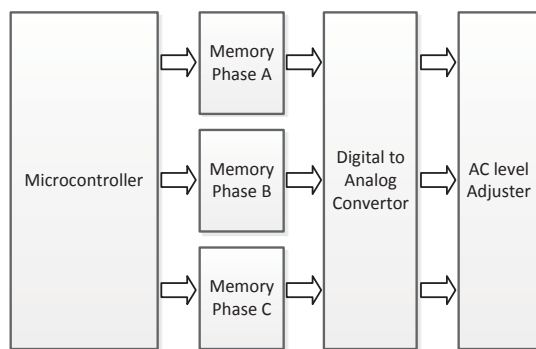
Keywords: sinusoidal generator, PROM, microcontroller

1. บทนำ

เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของระบบไฟฟ้าสามเฟส มีระดับแรงดันที่สูงกว่าระบบไฟฟ้าแบบเฟสเดียวมาก ระบบแรงดันไฟฟ้าสามเฟสจึงไม่ได้ถูกนำมาติดตั้งในห้องปฏิบัติการทดลองในสถาบันการศึกษาโดยทั่วไป เพราะเมื่อเกิดความผิดพลาดในการปฏิบัติงานขึ้นแล้วจะก่อให้เกิดอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ง่าย ทำให้นักศึกษาขาดโอกาสที่จะฝึกปฏิบัติและศึกษาในเรื่องระบบไฟฟ้าสามเฟสอย่างแท้จริง วงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟสแรงดันต่ำและปรับความถี่ได้ สามารถนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการ ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว และอาจจะประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรขับอินเวอร์เตอร์สำหรับมอเตอร์กระแสไฟฟ้าสามเฟสก็ได้ [1]

อุปกรณ์ที่กำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟสในบทความนี้ สร้างมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบกับวงจรดิจิตอล [2] ในการกำเนิดรูปคลื่นไซน์ อาศัยหลักการสุ่มแรงดันไฟฟ้าตามสมการของรูปคลื่นไซน์สามเฟส แล้วเก็บค่าข้อมูลดิจิตอล

เป็นค่าของแรงดันไฟฟ้าแต่ละเฟสไว้ในหน่วยความจำรวมจำนวน 3 ตัว กระบวนการสร้างรูปคลื่น กระทำโดยการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ สั่งงานให้หน่วยความจำแสดงข้อมูลขนาด 8 บิตในตำแหน่งที่บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าสามเฟสนั้นๆ ไว้แล้ว ส่งผ่านเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสามเฟสขึ้น แต่ยังไม่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จึงต้องใช้วงจรออปแอมป์ ทำหน้าที่เป็นวงจรลบแรงดัน (Voltage subtraction circuit) ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้เป็นไฟฟ้าสลับ สำหรับการปรับความถี่รูปคลื่นไซน์ที่สร้างได้นั้น ใช้วิธีการปรับแต่งเวลาการทำงานของโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นความเร็วในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์จึงมีผลโดยตรงกับความสามารถในการปรับความถี่ กล่าวคือ หากไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานได้เร็วเท่าใด รูปคลื่นที่ได้จะมีความถี่สูงขึ้นตามเท่านั้น แต่สำหรับความละเอียดของระดับแรงดันไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลที่ใช้การสุ่ม ซึ่งขึ้นตรงกับบิตของดิจิทัลที่ใช้ในการสุ่มนั่นเอง หากมีจำนวนบิตข้อมูลมาก ก็จะสามารถแบ่งส่วนความถี่รูปคลื่นไซน์ได้ละเอียดขึ้น ทำให้มีข้อมูลดิจิทัลมากขึ้น ช่วยทำให้ความต่อเนื่องของแรงดันไฟฟ้าดีขึ้น นั่นหมายถึง รูปคลื่นไซน์ที่สร้างจากวงจรดิจิทัลจะมีความใกล้เคียงกับการสร้างด้วยวงจรอนาล็อก



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมวงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟส

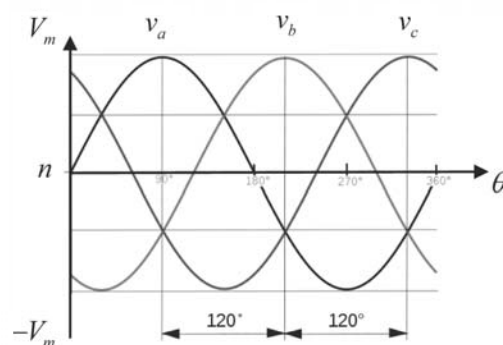
สำหรับคุณภาพสัญญาณรูปคลื่นไซน์นั้น จำเป็นต้องคำนึงถึง เฟสเซอร์ (Phasor) และความเพี้ยนของสัญญาณ

(Harmonic distortion) ด้วย เพราะเป็นสิ่งที่มีความกระทบต่ออุปกรณ์ที่ใช้วงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟส

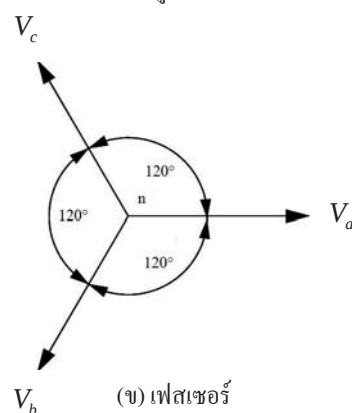
2. ระบบไฟฟ้าสามเฟส

ระบบไฟฟ้าสามเฟสประกอบด้วย สายเฟสจำนวน 3 สายคือ A, B, C และมีนิวตรอน หรือ n อีกสายเป็นสายกราวด์ แรงดันไฟฟ้าเฟส เอ จะเริ่มที่มุม 0° ส่วนแรงดันไฟฟ้าเฟส บี จะล่าหลังแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ อยู่ 120° และแรงดันไฟฟ้าเฟส ซี จะล่าหลังแรงดันไฟฟ้าเฟส บี อยู่ 120° หรือจะล่าหลังแรงดันไฟฟ้าเฟส เอ อยู่ 240° ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการแรงดันไฟฟ้าสามเฟสได้ดังนี้

$$\begin{aligned} v_a &= V_m \sin(\omega t) \\ v_b &= V_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ v_c &= V_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \quad (1)$$



(ก) รูปคลื่น



(ข) เฟสเซอร์

รูปที่ 2 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและเฟสเซอร์ไดอะแกรมของระบบไฟฟ้าสามเฟส

ตารางที่ 1 แรงดันไฟฟ้าสามเฟสและข้อมูลดิจิทัล

Vol.	degree	rad	Phase A			Phase B			Phase C		
			V_a (volt)	Decimal	Hex	V_b (volt)	Decimal	Hex	V_c (volt)	Decimal	Hex
1	0	0	2.50	128	80	0.77	39	27	4.23	217	D8
2	1.5	0.026179939	2.55	131	82	0.74	38	26	4.21	215	D7
3	3.0	0.052359878	2.60	133	85	0.72	37	24	4.18	214	D5
4	4.5	0.078539816	2.66	136	88	0.69	36	23	4.15	212	D4
5	6.0	0.104719755	2.71	139	8A	0.67	34	22	4.12	211	D2
6	7.5	0.130899694	2.76	141	8D	0.65	33	21	4.09	209	D1
7	9.0	0.157079633	2.81	144	90	0.63	32	20	4.05	208	CF
8	10.5	0.183259571	2.86	147	92	0.61	31	1F	4.02	206	CD
9	12.0	0.20943951	2.92	149	95	0.60	31	1E	3.99	204	CC
10	13.5	0.235619449	2.97	152	97	0.58	30	1D	3.95	202	CA
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
240	358.50	6.257005368	2.45	125	7D	0.79	41	28	4.26	218	D9

2.1 การสร้างแรงดันไฟฟ้าสามเฟสให้เป็นข้อมูลดิจิทัล

เนื่องจากใช้ข้อมูลดิจิทัลขนาด 8 บิตทำให้สามารถแจกแจงแรงดันไฟฟ้าตามสมการ (1) ได้ถึง 256 ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่มุม ω องศาที่ 0 ถึงองศาที่ 360 แต่หากใช้การแจกแจงครบทั้ง 256 ตำแหน่งแล้ว ผลการแบ่งในแต่ละองศาจะเกิดทศนิยมจำนวนมาก และส่งผลทำให้เกิดความยากลำบากในการทำโปรแกรมวนลูป จึงเลือกใช้เพียง 240 ตำแหน่ง ซึ่งเมื่อนำมาแบ่งมุมการหมุนของเฟสเซอร์ในแต่ละเฟสก็จะได้ว่า

$$\text{การหมุนเฟสเซอร์หนึ่งครั้ง} = \frac{360^\circ}{240} = 1.5^\circ \text{ ต่อสเตป}$$

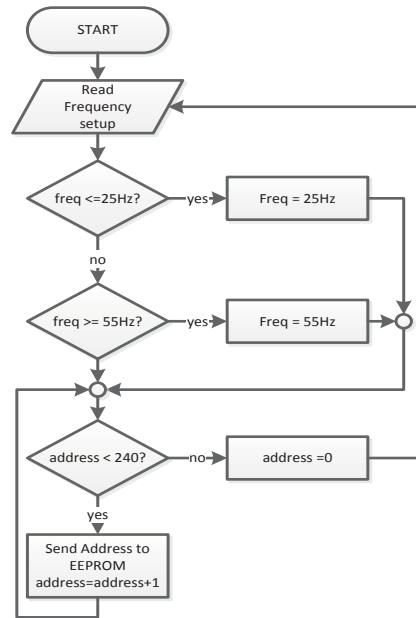
และเมื่อคำนวณแรงดันไฟฟ้าครบทั้งสามเฟสก็จะได้ผลการคำนวณทั้ง 240 ตำแหน่ง ดังตารางที่ 1 โดยกำหนดแรงดันไฟฟ้าแต่ละเฟส ซึ่งจะผลิตผ่านวงจรหน่วยความจำและควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์โดยให้

$$V_m = 4.5 \text{ โวลต์}$$

$$\text{และ} \quad -V_m = 0.5 \text{ โวลต์}$$

$$\text{นิวตรอน หรือ กราวด์} = 2.5 \text{ โวลต์}$$

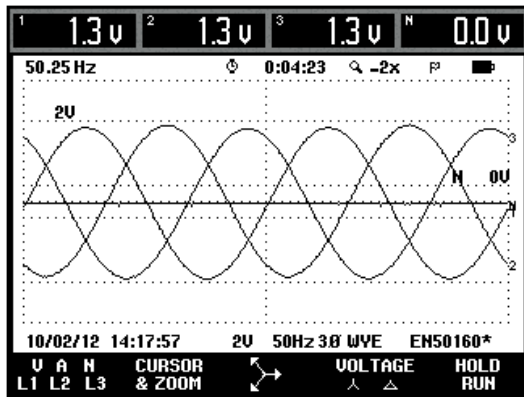
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรดิจิทัล



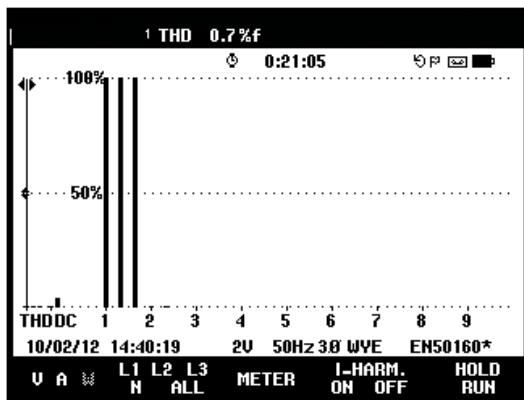
รูปที่ 3 โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

3. การทดสอบคุณภาพสัญญาณและการปรับความถี่

ใช้เครื่องวัดคุณภาพสัญญาณ (Power Quality Analyzer) ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 435 วัดแรงดันไฟฟ้าจากเอาต์พุตของวงจรปรับระดับสัญญาณในแต่ละเฟส ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 7 และ รูปที่ 8 ดังนี้



รูปที่ 7 รูปคลื่นไซน์สามเฟส 50 Hz

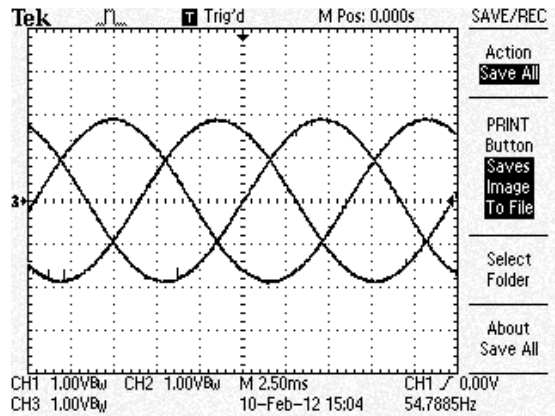


รูปที่ 8 ค่าความเพี้ยนของรูปคลื่นไซน์สามเฟส

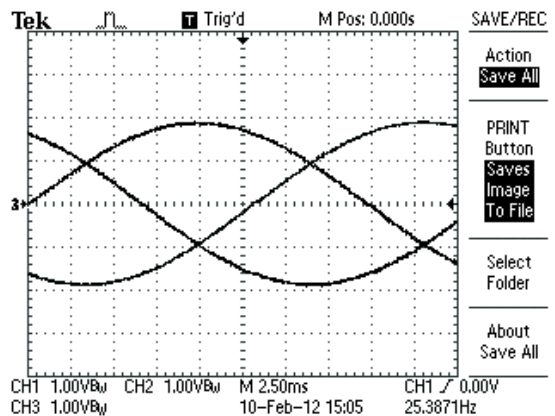
จากรูปที่ 7 จะเห็นว่ารูปคลื่นที่สร้างได้เป็นรูปคลื่นไซน์สามเฟส ความถี่ 50Hz มีค่าแรงดันเป็นไฟฟ้าสลับอยู่ในช่วง 2Vp รูปที่ 8 แสดงคุณภาพสัญญาณไฟฟ้า [3] โดยการบ่งถึงปริมาณความเพี้ยนของรูปคลื่นที่ต่างไปจากความถี่หลักมูลในอัตราส่วนระหว่าง ค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของส่วนประกอบฮาร์มอนิกกับค่าของส่วนประกอบ

ความถี่หลักมูลเทียบเป็นร้อยละ ได้ค่าความเพี้ยนสัญญาณรวม (THD) ทั้งสามเฟสอยู่ที่ 0.7%

เมื่อทำการปรับความถี่รูปคลื่นไซน์สามเฟส และวัดทดสอบโดยใช้เครื่องออสซิลอ스코ป ยี่ห้อ Tektronix รุ่น TDS 2024C แสดงผลการปรับความถี่ดังรูปที่ 9 และ 10 ดังนี้



รูปที่ 9 ปรับความถี่รูปคลื่นไซน์สามเฟสสูงสุดที่ 54.7885Hz



รูปที่ 10 ปรับความถี่รูปคลื่นไซน์สามเฟสต่ำสุดที่ 25.3871Hz

4. สรุป

วงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟส สามารถสร้างรูปคลื่นไซน์ได้ มีพิกัดแรงดันในช่วง -2Vac ถึง 2Vac, ความถี่ตั้งแต่ 25Hz ถึง 55Hz , มีค่าความเพี้ยนของสัญญาณรวม (THD) เท่ากับ 0.7% สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator) ในห้องปฏิบัติการทดลองไฟฟ้า

แรงดันต่ำได้ หรือนำไปเป็นต้นกำเนิดสัญญาณในการ
ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสได้โดยผ่านวงจร
อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ก่อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญเรือง วังศิลาบัตร. “วงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์สามเฟสเพื่อการศึกษา”, วารสารวิชาการปทุมวัน, ปีที่ 1 ฉบับที่ 2, 2554, หน้า 27-32
- [2] ประจัน พลังสันติกุล. *PIC Works Examples and C Source Code*, AppSofttech, 2552.
- [3] J. Arrillaga and N.R. Watson. *Power System Harmonic*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2003.

ประวัติผู้เขียนบทความ



อาจารย์บุญญพัฒน์ ช่อฟ้าบัณฑิต สำเร็จ
การศึกษาปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร. ปทุมวันดำรงตำแหน่ง
เป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเมคาทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

งานวิจัยที่สนใจ Digital & Logic design and Microcontroller



ผศ.บุญเรือง วังศิลาบัตร สำเร็จการศึกษา
ปริญญาตรี สาขาวิชาไฟฟ้า คณะครุศาสตร์
อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สจพ. และ
ระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สจพ. ปัจจุบันดำรงตำแหน่งเป็นอาจารย์ประจำสาขา
วิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

งานวิจัยที่สนใจ Power Electronics & Circuits Design