



การวิเคราะห์และการออกแบบวงจรฟิลเตอร์ในแหล่งกำเนิดโวลเตจอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส



ปฏิญานินพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2534

๑๓๗,

๘๒๙๖๓

๒๕๓๔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

007754

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2534

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาควิชา ไฟฟ้ากำลัง

เรื่อง การวิเคราะห์และการออกแบบวงจรฟิลเตอร์
ในแหล่งกำเนิดโวลเตจอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

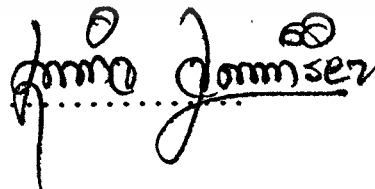
ผู้จัดทำ

นาย ชวพัฒน์ อัจฉริยกุล เลขประจำตัว 31.1056

นาย คุสิต รัตนเมฆานนท์ เลขประจำตัว 31.1081

นาย ธนาวดี ทองรัมย์ เลขประจำตัว 31.1103

อาจารย์ที่ปรึกษา



(อาจารย์ สุภกิจ จุละวีริยะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2534

เรื่อง การวิเคราะห์และการออกแบบวงจรฟิลเตอร์

ในแหล่งกำเนิดโวลเตจอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

จัดทำโดย

นาย ชวพัฒน์ อัจฉริยกุล 4B 311056

นาย ศุภิต รัตนเมธานนท์ 4B 311081

นาย ธนาวุฒิ ทองรัมย์ 4B 311103

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ศุภกิจ จุฑะวีริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ปัญหานี้นี้ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์ และ การออกแบบวงจรรองความถี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจ่ายโหลดที่เปลี่ยนแปลงไปตาม power factor ต่างๆ และที่ no load ด้วยวิธีการออกแบบวงจรรองความถี่ ประกอบด้วยการออกแบบทั้งหมดอยู่ 2 ส่วน คือ การออกแบบตัวเก็บประจุ และ การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับค่าที่ TOTAL HARMONICS DISTORTION (THD) ที่ยอมรับได้ซึ่งปัญหานี้นี้ใช้ค่า THD 5% เพื่อให้วงจรรองความถี่สามารถที่จะกำจัดฮาร์โมนิคต่างๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากสัญญาณขาเข้าซึ่งเป็นรูปพีคดับเบิลเอม (PWM) นอกจากนี้ปัญหานี้ยังได้ออกแบบ และสร้างวงจรถ่ายทอดสัญญาณพีคดับเบิลเอมทางด้านสัญญาณขาเข้าของวงจรรองความถี่นี้ด้วยโดยปัญหานี้สามารถนำไปใช้งานเป็นส่วนหนึ่งของแหล่งจ่ายไฟสำรองที่นำไปใช้กับอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องจ่ายไฟเลี้ยงอย่างต่อเนื่อง เช่น คอมพิวเตอร์, วงจรควบคุมอัตโนมัติ และอุปกรณ์ทางด้านสื่อสาร โดยสามารถออกแบบวงจรรองความถี่ให้มีค่าที่เหมาะสมกับสภาวะของโหลดที่มีค่าต่าง ๆ กันได้

ABSTRACT

This project proposes a method of analysis and design suitable filter circuit for supplying loads at varied to power factor and no load .Filter circuit have two important components ; *capacitor* and *inductor* so that suitable value for allowable total harmonics distortion (THD) (in this thesis use 5% THD) This filter is able to distort harmonics that produce from input signal (PWM waveform). And this project design and make PWM generated. In application used with appliances that need to receive current from source supply continuously etc. computer , automatic control circuit, telecommunication devices. By designing the optimum filter circuit for any varied loads.

สารบัญ

บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	การวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ของรูปคลื่นที่ดับขั้วเอ็มแบบ 2 ระดับ	3
	- โฟล์วชาร์ทแสดงการคำนวณมุมสวิทช์ของรูปคลื่น	
	- โฟล์วชาร์ทแสดงการคำนวณหาขนาดองค์ประกอบฮาร์มอนิกส์	
บทที่ 3	ทฤษฎีเกี่ยวกับขายนัยเวฟพัลส์วัดมอดดูเลชัน	31
	- การสร้างรูปคลื่นขายนัยเวฟที่ดับขั้วเอ็ม	
	- PWM INVERTER	
	- วงจรสร้างคลื่น sin สามเหลี่ยม	
	- วงจรเปรียบเทียบ วงจรเดคไทล์	
	- วงจรนับเบส	
บทที่ 4	ทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรฟิลเตอร์	48
	- ความหมาย	
	- ชนิดของวงจรกรองความถี่แบ่งตามอุปกรณ์ในการสร้าง	
	- ชนิดของวงจรกรองความถี่แบ่งตามโครงสร้างของกราฟที่ได้จากการ PLOT	
	- ชนิดของวงจรกรองความถี่แบ่งตามชนิดของการต่ออุปกรณ์ LC	
	- ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบวงจร FILTER โดยทั่วไป	
	- ทฤษฎีแนวทางการสร้างวงจรกรองความถี่โดยทั่วไป	
	- ออกเตอร์ของวงจรฟิลเตอร์	
	- การออกแบบวงจรฟิลเตอร์ที่ใช้ในปัญหานี้	

บทที่ 5	ผลการทดลอง	106
---------	------------	-----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 6	สรุปผลการทํางานและวิจารณ์	122
---------	---------------------------	-----

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

จากพื้นฐานที่ว่าคลื่นต่าง ๆ ประกอบด้วยคลื่นที่มีลักษณะรูปไซน์ที่มีความถี่ฮาร์มอนิก
อันดับต่าง ๆ ผสมกันอยู่ไม่ว่าจะเป็นคลื่นรูปสามเหลี่ยม, สี่เหลี่ยม (Square Wave) หรือ
แม้กระทั่งคลื่นที่มีลักษณะรูปพัลส์บลิวเอม ซึ่งคลื่นรูปพัลส์บลิวเอมนี้มีฮาร์มอนิกหลายอันดับที่
กลายเป็นศูนย์ไป ซึ่งขนาดของฮาร์มอนิกจะมีค่าลดลงเมื่ออันดับของฮาร์มอนิกมีค่าเพิ่มขึ้น
สามารถเขียนสมการทั่วไปของคลื่นได้ ดังนี้

$$v = V_1 \sin(\omega t + \phi_1) + V_2 \sin(2\omega t + \phi_2) + V_3 \sin(3\omega t + \phi_3) + \dots$$

แม้ว่าคลื่นรูปพัลส์บลิวเอมจะมีฮาร์มอนิกในอันดับสูง ๆ แต่เพื่อจะทำการคลื่นขาออก
เป็นคลื่นรูปไซน์จริง ๆ จึงต้องกำจัดฮาร์มอนิกอื่น ๆ ทิ้งไปโดยใช้วงจรกรองความถี่ซึ่ง
ปริญญานินพนธ์ได้เสนอวิธีวิเคราะห์ และการออกแบบหาค่าของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรกรอง
ความถี่เช่นค่า L ค่า C โดยใช้วงจร filter ชนิด PASSIVE ที่ประกอบด้วย C , L
โดยวิเคราะห์กับค่า load ที่สามารถเปลี่ยนค่าได้

การเลือก และการ DESIGN INVERTER OUTPUT FILTER สำหรับ UPS
INVERTERS ถูกนำมาใช้ใน UPS (แหล่งจ่ายไฟต่อเนื่อง) อย่างกว้างขวาง ซึ่งมี
ความจำเป็นที่ OUTPUT นั้น จะต้องมีค่าคงที่ และมี THD. (*Total harmonic
distortion*) โดยทั่ว ๆ ไปในการ CONTROL OUTPUT VOLTAGE มักใช้
POWER SWITCHING STRATEGIES ในรูปสัญญาณของ OUTPUT จะต้องมีการ HARMONIC
อยู่ ซึ่งจะต้องกรอง และจำกัด THD OUTPUT ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ใน ปริญญานินพนธ์ใช้ 5%

รายละเอียดของบทต่างๆของโดยสรุป

บทที่ 2 เรื่ององค์ประกอบของฮาร์โมนิคและการวิเคราะห์ฮาร์โมนิคที่เกิดขึ้นในทาง INPUT นอกจากนี้ยังได้ออกแบบโปรแกรมค่า L,C เพื่อกำจัดฮาร์โมนิคที่เหมาะสม

บทที่ 3 เป็นวงจรที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยวงจรในการสร้าง PWM ที่สามารถเปลี่ยนความถี่ และ แอมป์จูดของคลื่นสามเหลี่ยม วงจร lock out รวมทั้งวงจรที่ใช้ในการขับเบส transistor

บทที่ 4 เป็นทฤษฎีในการออกแบบวงจรกรองความถี่ โดยกล่าวถึงชนิดของวงจร filter ทั้งหมด และ จากนั้นจะกล่าวถึงการออกแบบวงจรกรองความถี่ที่ใช้ในปริยงานิพนธ์นี้โดยจะออกแบบให้ได้ค่า L,C ที่ optimum ที่สุดเพื่อให้ได้ค่าของ total harmonic distortion (THD) ที่อยู่ในค่าที่ยอมรับได้

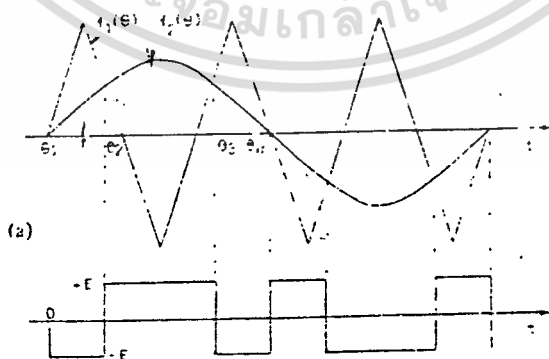
บทที่ 2

การวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ของรูปคลื่นพีคดับลิวเอ็มแบบ 2 ระดับ

รูปคลื่นพีคดับลิวเอ็มนอกจากจะประกอบด้วยความถี่หลักมูล (Fundamental) แล้ว ยังประกอบไปด้วย องค์ประกอบฮาร์โมนิคความถี่สูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์องค์ประกอบฮาร์โมนิคของรูปคลื่นพีคดับลิวเอ็มที่ได้สร้างขึ้นเพื่อเปรียบเทียบ และหาข้อสรุปว่า ควรจะใช้วิธีสร้างรูปคลื่นแบบใดจึงจะเหมาะสมที่สุดในการนำไปประยุกต์ใช้งาน

2.1 การคำนวณมุมสวิทช์ของรูปคลื่นพีคดับลิวเอ็มแบบ 2 ระดับ

รูปคลื่นพีคดับลิวเอ็มซึ่งสร้างขึ้นโดยการใช่วงจรเปรียบเทียบ จะเกิดมุมสวิทช์ตรง จุดตัดของสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณแคร์เรียร์ ซึ่งสามารถหาจุดตัดเหล่านั้นได้โดยวิธีนิวเมอริคอด (numerical) โดยในปริกฤณานพจน์นี้ได้ใช้วิธีการของ Newton Raphson ในการคำนวณ ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถลู่เข้า (converge) ได้เร็วกว่า



รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบแบบ 2 ระดับ ชนิดเนเทอร์ฮัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์รูปคลื่นแบบเนเทอร์อลพีคิปบลิวเอ็ม ชนิด 2 ระดับ จะใช้สภาวะเริ่มต้นที่คลื่นไซน์มีขนาดเท่ากับ 0 และคลื่นสามเหลี่ยมมีขนาดเท่ากับ 0 เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับวงจรที่ได้สร้างขึ้นมาจริง อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเลือกสภาวะเริ่มต้นลักษณะใด ๆ ก็ตาม องค์ประกอบฮาร์โมนิคจะไม่แตกต่างกัน

สมการเส้นตรงเส้นที่ j ของคลื่นสามเหลี่ยมที่มุม θ ใด ๆ สามารถเขียนได้ว่า

$$f_j(\theta) = (\theta - j\pi/N) * (-1)^j / (\pi * 2N)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} j = 0 & ; 0 < \theta < \pi/(2*N) \\ j = 1 & ; \pi/(2*N) < \theta < 3\pi/(2*N) \\ j = 2 & ; 3\pi/(2*N) < \theta < 5\pi/(2*N) \\ j = N & ; (2N-1)\pi/(2*N) < \theta < (2N+1)\pi/(2*N) \end{aligned}$$

N = อัตราส่วนความถี่คลื่นสามเหลี่ยมต่อคลื่นไซน์

T = คาบของคลื่นสามเหลี่ยม = $2\pi/N$

θ = มุมใด ๆ มีค่า $0 < \theta < 2\pi$

แอมพลิจูดของคลื่นสามเหลี่ยมจะกำหนดเป็น 1 หน่วย ส่วนคลื่นไซน์จะมีแอมพลิจูดเท่ากับค่าอัตราส่วนการมอดูเลชัน (Modulation Index ; Y) ซึ่งในโปรแกรมแทนด้วยตัวแปร Y ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการของคลื่นไซน์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาค $f_2(\theta) = Y * \text{Sine}(\theta)$ นี้เป็นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$ เป็นจุดตัดของ $f_1(\theta)$ และ $f_2(\theta)$ จากรูปที่ 2.1

สำหรับวิธี Numerical ที่ใช้หาจุดตัดของคลื่นทั้งสองใช้วิธีของ Newton-Raphson ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) หาสมการที่ต้องการใช้คำนวณใหม่ได้ดังนี้ (โดยกำหนดให้ $f_1(\theta)$ และ $f_2(\theta)$ เท่ากัน)

กรณี j เป็นเลขคี่ จะได้

$$F(\theta) = Y \cdot \text{Sine}(\theta) + (2 \cdot N \cdot \theta / \pi) - (2 \cdot j)$$

$$F'(\theta) = Y \cdot \text{Cos}(\theta) + (2 \cdot N \cdot \theta / \pi)$$

กรณี j เป็นเลขคู่ จะได้

$$F(\theta) = Y \cdot \text{Sine}(\theta) - (2 \cdot N \cdot \theta / \pi) + (2 \cdot j)$$

$$F'(\theta) = Y \cdot \text{Cos}(\theta) - (2 \cdot N \cdot \theta / \pi)$$

- 2) กำหนดจุดเริ่มต้น θ ที่ใช้คำนวณ โดยกำหนดจาก

$$\theta = ((2 \cdot j) - 1) \cdot \pi / (2 \cdot N)$$

- 3) เริ่มคำนวณโดย ให้ θ ที่จุดเริ่มต้นคำนวณเป็น θ_1

$$\theta_2 = \theta_1 - F(\theta_1) / F'(\theta_1)$$

นำไปใช้ค่าผิดพลาด (error)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{error} = (e_2 - e_1) / e_1$$

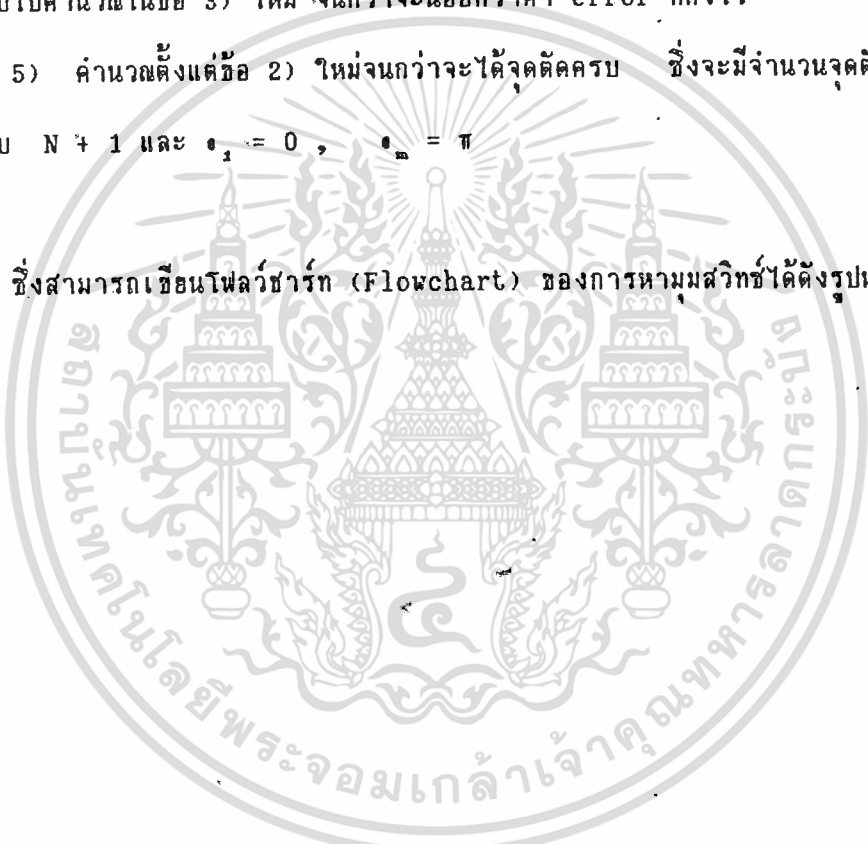
- 4) พิจารณาว่าถ้าค่า error ที่คำนวณได้น้อยกว่าค่า error ที่ตั้งไว้ ค่า e_2 ก็

คือ จุดตัด

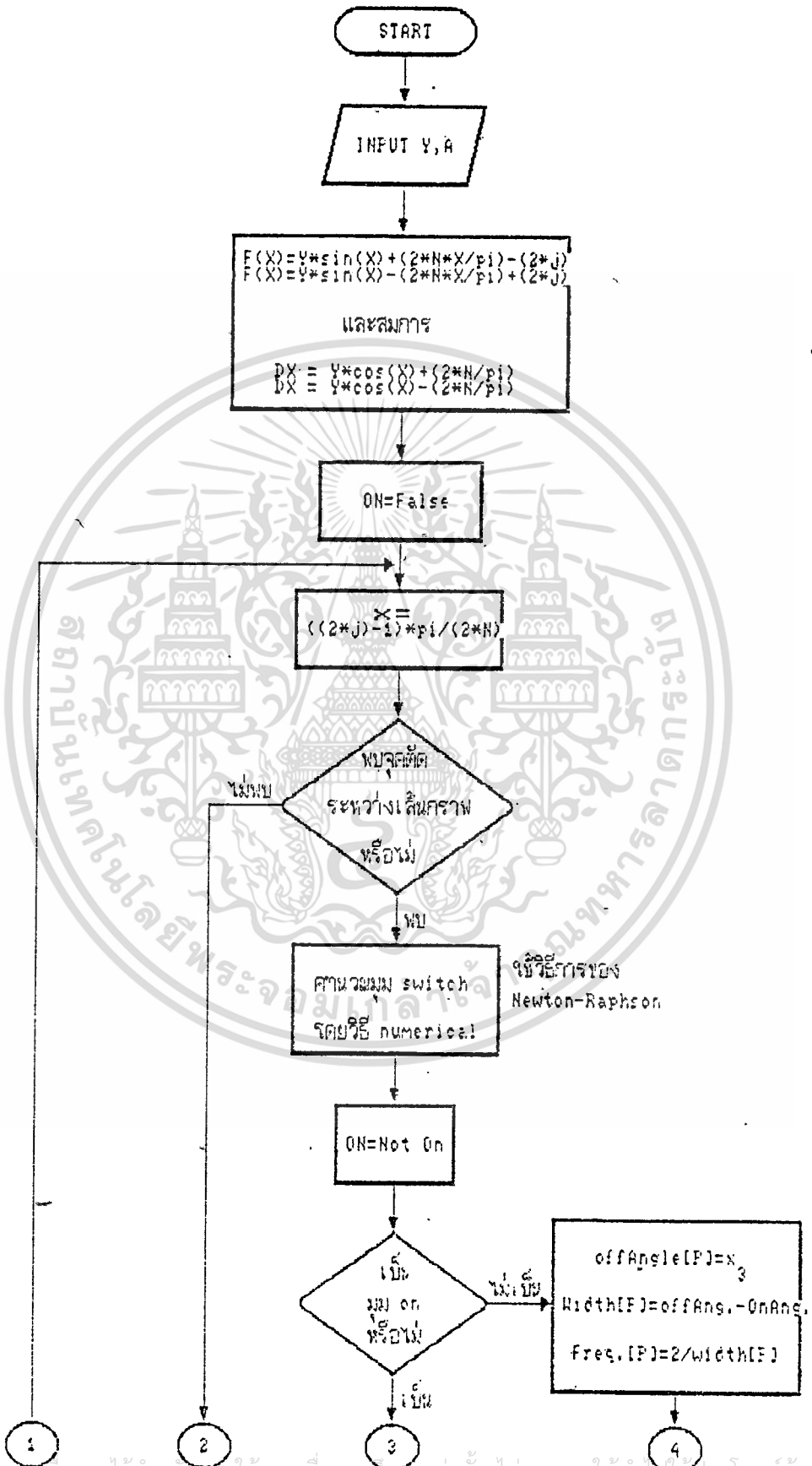
ถ้าค่า error ที่คำนวณได้มากกว่าค่า error ที่ตั้งไว้ ให้ค่า $e_2 = e_1$ แล้ว
นำกลับไปคำนวณในข้อ 3) ใหม่ จนกว่าจะน้อยกว่าค่า error ที่ตั้งไว้

- 5) คำนวณตั้งแต่ข้อ 2) ใหม่จนกว่าจะได้จุดตัดครบ ซึ่งจะมีจำนวนจุดตัดทั้งหมด
เท่ากับ $N + 1$ และ $e_1 = 0$, $e_n = \pi$

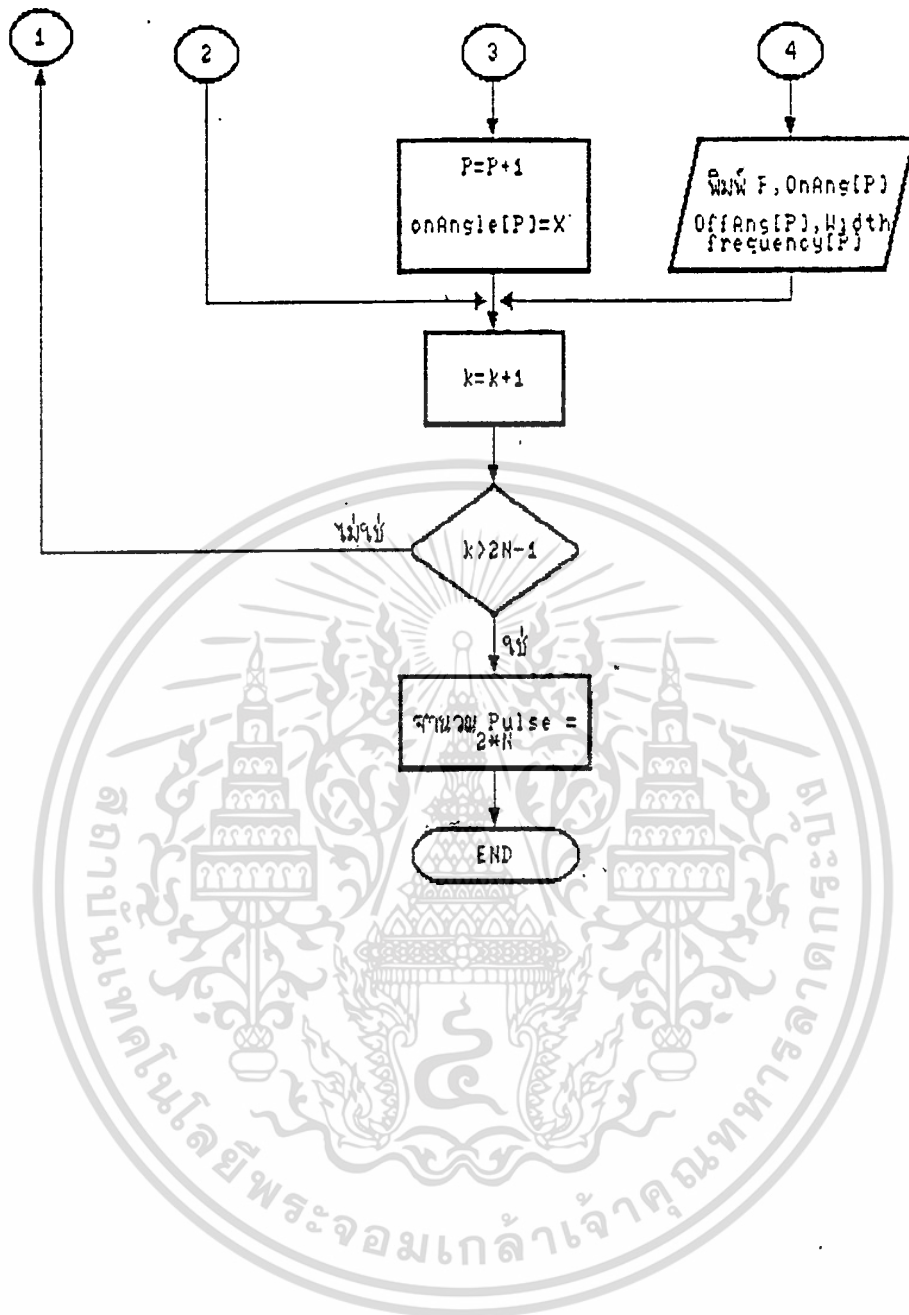
ซึ่งสามารถเขียนโฟลว์ชาร์ต (Flowchart) ของการหามุมสวิทช์ได้ดังรูปหน้าถัดไป



พล็อตกราฟแสดงการคำนวณมุมสวิตช์ของรูป PHM 2-Level



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเป็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



OnAngle คือ มุมที่มีการสวิตช์จาก $-E$ ไป $+E$, OffAngle คือ มุมที่มีการสวิตช์จาก $+E$ ไป $-E$, P เป็นตัวแปรสำหรับนับจำนวนพัลส์, Frequency Ratio (N) เป็นตัวแปรที่บอกว่าพัลส์นั้นมีความถี่เป็นกี่เท่าของคลื่นไซน์ที่ใช้เป็นสัญญาณอ้างอิง

2.2 องค์ประกอบฮาร์มอนิกของรูปคลื่นพีคดับลิวเอ็ม

รูปคลื่นพีคดับลิวเอ็มนอกจากจะประกอบไปด้วยความถี่หลักมูลแล้ว ยังประกอบไปด้วยองค์ประกอบฮาร์มอนิกต่าง ๆ ซึ่งเป็นคลื่นความถี่สูง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการหาขนาดองค์ประกอบฮาร์มอนิกต่าง ๆ และขนาดความถี่หลักมูลของคลื่นพีคดับลิวเอ็มที่สร้างขึ้นโดยวิธีเนเทอร์อล ที่ค่าอัตราส่วนความถี่ (N) และอัตราส่วนการมอดูเลชันต่าง ๆ (Y) เพื่อประโยชน์ในการออกแบบวงจรกรองความถี่ (filter) เพื่อจัดฮาร์มอนิกต่าง ๆ ออกไปเหลือแต่คลื่นไซน์ ของความถี่หลักมูลเพียงความถี่เดียวเท่านั้น รวมทั้งเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ว่า ควรจะให้ค่าอัตราส่วนความถี่เท่าใดจึงจะเหมาะสม และสามารถกำจัดฮาร์มอนิกต่ำ ๆ ออกไปได้

จากทฤษฎีฟูเรียร์ได้กล่าวว่าสำหรับฟังก์ชันคาบ (periodic function) $f(\theta)$ ใด ๆ จะสามารถกระจายให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันไซน์ และฟังก์ชันโคไซน์ เพื่อแทนฟังก์ชันคาบนั้น ๆ ได้ดังนี้

$$f(\theta) = A_0/2 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n * \cos n\theta + B_n * \sin n\theta)$$

โดยที่

$$A_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(\theta) d\theta$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(\theta) \cos n\theta d\theta$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(\theta) \sin n\theta d\theta$$

เมื่อแทนค่าคาบด้วย $T = 2\pi$ จะได้ว่า

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) d\theta$$

$$A_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \cos n\theta d\theta$$

$$B_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \sin n\theta d\theta$$

ขนาดแอมพลิจูดขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ n หรือ C_n มีค่าเท่ากับ

$$C_n = A_0/2 + \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$$

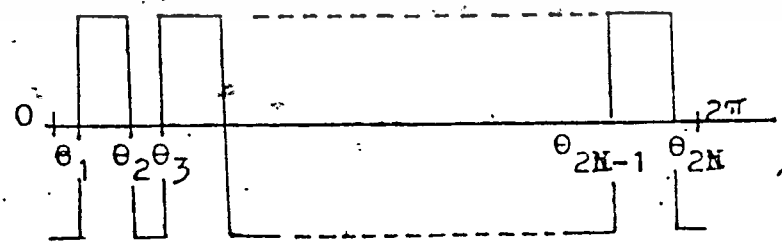
เมื่อ $n =$ อันดับฮาร์โมนิกที่ต้องการคำนวณ
 $= 1, 2, 3, \dots$

ค่า A_0 ของรูปคลื่นพัลส์บลิวเอมมีค่าเท่ากับ 0 เพราะเป็นรูปคลื่นที่มีลักษณะสมดุลง

2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบฮาร์โมนิกรูปคลื่นพัลส์บลิวเอมชนิด 2 ระดับ

พิจารณารูปคลื่นพัลส์บลิวเอมแบบ 2 ระดับ ที่มีมุมสวิทช์ $2N$ มุม ใน 1 คาบ ดัง

รูปที่ 2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.2 แสดงมุมสวิทช์ของรูปคลื่นพัลส์บลิวเอมแบบ 2 ระดับ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนิยามค่าฟังก์ชัน $f(\theta)$ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} f(\theta) &= 1 ; \theta_{2b-1} < \theta < \theta_{2b} & ; b = 1, 2, 3, \dots, N \\ &= -1 ; \theta_{2b} < \theta < \theta_{2b+1} & ; b = 1, 2, 3, \dots, N \end{aligned}$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \cos n\theta \, d\theta$$

เปลี่ยนคาบการอินทิเกรตเป็นจาก θ_1 ถึง θ_{2N+1}

$$\begin{aligned} A_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\theta_{2N+1}} f(\theta) \cos n\theta \, d\theta \\ &= \frac{1}{n\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_{2N+1}} f(\theta) \cos n\theta \, dn\theta \\ &= \frac{1}{n\pi} (f(\theta) \sin n\theta \Big|_{\theta_1}^{\theta_2} - \sin n\theta \Big|_{\theta_1}^{\theta_2} + \dots + \sin n\theta \Big|_{\theta_{2N-1}}^{\theta_{2N}} - \sin n\theta \Big|_{\theta_{2N}}^{\theta_{2N+1}}) \\ &= \frac{1}{n\pi} ((- \sin n\theta_1 + \sin n\theta_2) - (- \sin n\theta_2 + \sin n\theta_3) + \dots \\ &\quad + (- \sin n\theta_{2N-1} + \sin n\theta_{2N} - (- \sin n\theta_{2N} + \sin n\theta_1)) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{2}{n\pi} (- \sin n\theta_1 + \sin n\theta_2 - \sin n\theta_3 + \dots - \sin n\theta_{2b-1} + \sin n\theta_{2b})$$

$$= \frac{2}{n\pi} (\sum (-1)^p \sin n\theta_p) \quad ; P = 1, 2, 3, \dots, 2N$$

ในทำนองเดียวกัน

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \sin n\theta \, d\theta$$

$$= \frac{1}{n\pi} (-f(\theta) \cos n\theta \Big|_0^{2\pi+\theta_1})$$

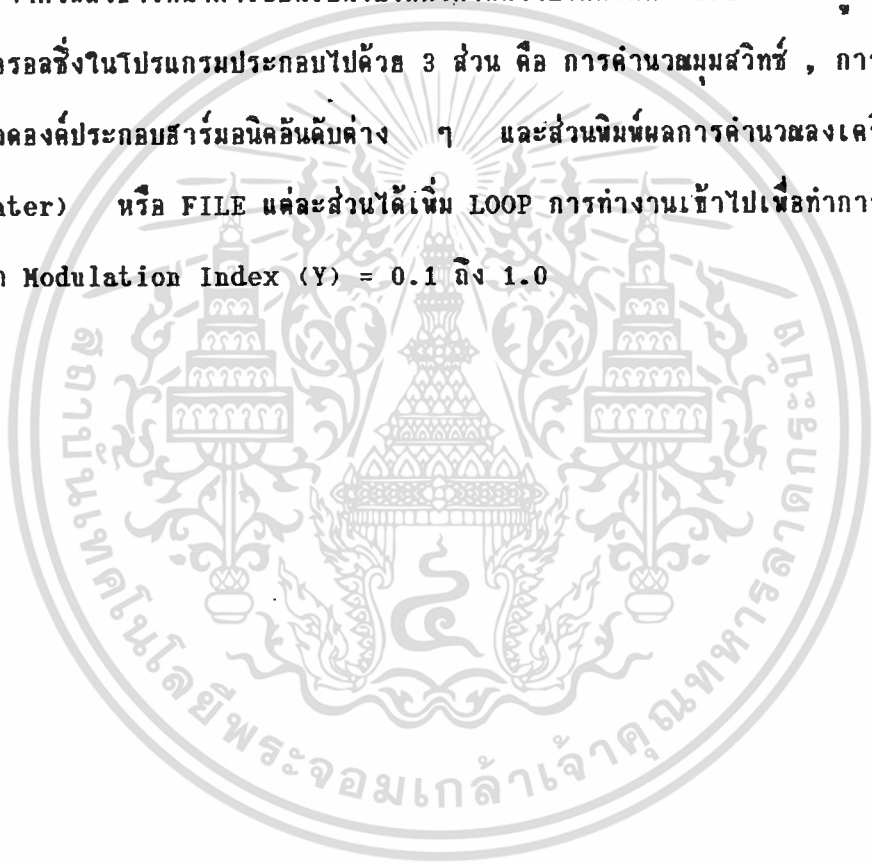
$$= \frac{2}{n\pi} (\cos n\theta_1 - \cos n\theta_2 + \cos n\theta_3 - \dots + \cos n\theta_{2N-1} - \cos n\theta_{2N})$$

$$= \frac{2}{n\pi} (\sum (-1)^{p+1} \cos n\theta_p) \quad ; P = 1, 2, 3, \dots, 2N$$

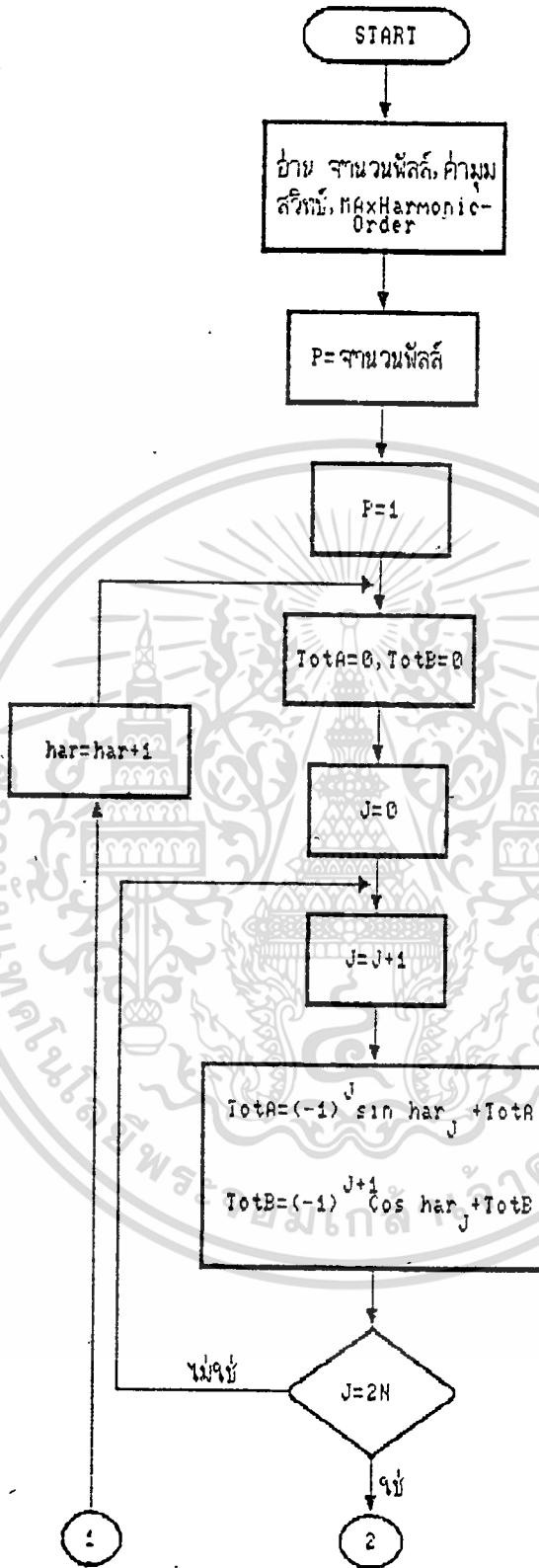
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอาศัยค่ามุมสวิทช์ที่คำนวณในหัวข้อ 2.1 นำมาเขียนโพลาร์ชาร์ตสำหรับหาค่า A_n, B_n เพื่อนำมาหาขนาดองค์ประกอบสาร์โมนิคอันดับต่างๆ (C_n) ได้ดังรูปโพลาร์ชาร์ต จากโพลาร์ชาร์ตนำมาเขียนเป็นโปรแกรมได้ดังโปรแกรมที่ 2.1 นำมาเขียนโพลาร์ชาร์ตสำหรับหาค่า A_n, B_n เพื่อนำมาหาขนาดองค์ประกอบสาร์โมนิคอันดับต่าง ๆ (C_n) ได้ดังรูปโพลาร์ชาร์ต

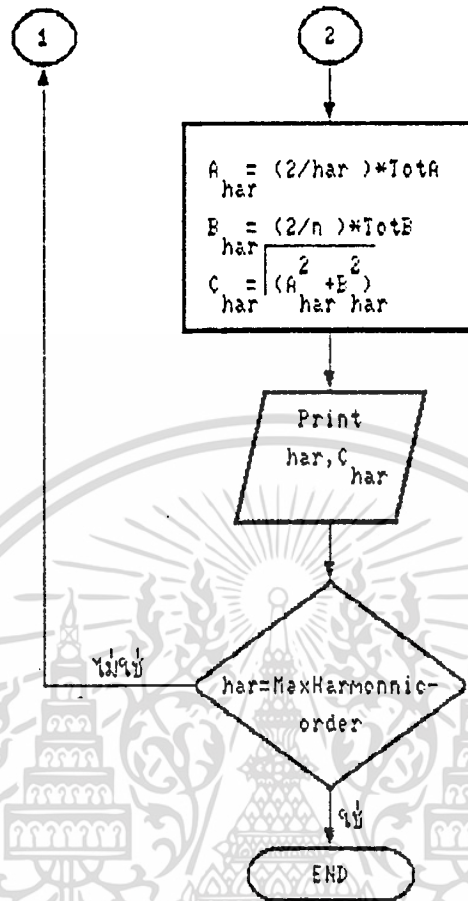
จากโพลาร์ชาร์ตนำมาเขียนเป็นโปรแกรมได้ดังโปรแกรมที่ 3.1 สำหรับรูปแบบเนทเวอร์คซึ่งในโปรแกรมประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ การคำนวณมุมสวิทช์ , การคำนวณหาขนาดองค์ประกอบสาร์โมนิคอันดับต่าง ๆ และส่วนพิมพ์ผลการคำนวณลงเครื่องพิมพ์ (printer) หรือ FILE แต่ละส่วนได้เพิ่ม LOOP การทำงานเข้าไปเพื่อทำการคำนวณจากค่า Modulation Index (Y) = 0.1 ถึง 1.0



ผลลัพธ์สำหรับหาขนาดองค์ประกอบฮาร์มอนิกของ PWM 2-Level



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{$n+}

{$e+}

Program Project;

Uses crt;

Var N,j,i,har : Integer ; { N = Frequency Ratio }

    A,B,total : Integer ; { Y = Modulation Index }

    ch : Char ;

    e,Y : Real ;

    x,Xm,an,bn : Real ;

    tota,totb,harx : Real ; { har = Harmonic nth }

    Angle,cn : Array [1..10,1..200] of Real;

                { Angle [Modulation Index,Switch Angle nth] }

                { cn = Total Magnitude of Harmonic nth }

                { cn [Modulation Index,Switch Angle nth] }

    pwm : Text ;

    f : Char ;

Const error = 0.0000000001 ;

Function Power(j:Integer):Real;

begin

    if odd(j) = true then Power := -1 { j = odd }

        else Power := +1 { j = even }

    end;

Function FX (j,N:integer;Y,x:real):real;

begin

    if odd(j) = true then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin { j = odd }

    FX := Y*sin(x)+(2*N*x/pi)-(2*j);

end

else

begin { j = even }

    FX := Y*sin(x)-(2*N*x/pi)+(2*j);

end;

end;

Function DX (j,N:integer;Y,x:real):real;

begin

if odd(j) = true then

begin { j = odd }

    DX := Y*cos(x)+(2*N/pi) ;

end

else

begin { j = even }

    DX := Y*cos(x)-(2*N/pi) ;

end;

end;

end;

Procedure Cut(N:integer;Y:real);

begin

for i := 1 to 10 do

begin

angle[i,1] := 0 ;

end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for j := 1 to 2*N do
    begin
        x := ((2*j)-1)*pi/(2*N);

        repeat

            Xm := x - (FX(j,N,Y,x)/DX(j,N,Y,x)) ;

            e := (Xm-x)/x ;

            x := Xm ;

            until e < error ;

            Angle [A,j+1] := Xm ;

        end;

    { Write Switch Angle }
    { for i := 1 to j+1 do writeln (i:4,angle[a,i]); }
end;

Procedure Sum ;

begin

    { total := 2*(N+1)-1; } { Total = Total Switch Angle }

    total := 2*N;

    for har := 1 to 50 do

        begin

            j := 0 ;

            tota := 0 ;

            totb := 0 ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ `repeat` เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{ Angle[Modulation Index,Switch Angle nth] }

      j      := j + 1      ;

      harx := har*Angle[A,j]      ;

      tota := Power(j)*sin(harx) + tota      ;

      totb := Power(j+1)*cos(harx) + totb      ;

      until j = total      ;

      an := 2/(har*pi)*tota      ;

      bn := 2/(har*pi)*totb      ;

      cn[A,har] := sqrt(an*an+bn*bn)*100;

end;

end;

Procedure Display;

begin

      writeln('-----')
      -----');

      writeln(' Y      0.1      0.2      0.3      0.4      0.5      0.6
0.7      0.8      0.9      1.0      ');

      writeln('-----')
      -----');

      for a := 1 to 50 do

            begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
    for b:=1 to 10 do
        write(cn[b,a]:7:2);
    end;

    if ( a = 22) or ( a = 47 ) then ch := readkey ;
    writeln;
end;

writeln('-----');
writeln('-----');
end;

Procedure Fi;
begin
    repeat
        clrscr;
        write ('Do you want to write this data into file ? ');
        readln (f);

        until (f = 'y') or (f = 'Y') or (f = 'n') or (f = 'N') ;

        if (f = 'y') or (f = 'Y') then
            begin
                writeln (' These datas are saved into file. [pwm.dat] ');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

assign (PWM,'pwm.dat');

rewrite (PWM);

for a := 1 to 50 do

begin

write(PWM,a:4);

begin

for b := 1 to 10 do

write(PWM,cn[b,a]:7:2);

end;

writeln(PWM);

end;

close (PWM);

writeln ('Thank you very much. ');

end;

write ('Pause any key to continue. ') ;

ch := readkey ;

end;

{ _Main Program }

Begin

clrscr;

Write(' Frequency Ratio:(N) = ') ;

readln(N);

{ Write('Modulation Index ( 0.1 - 1.0 ):(Y) = '); }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for A := 1 to 10 do { For Modulation Index = 0.1 - 1.0 }  
  begin  
    Y := a/10 ;  
    Cut(n,Y) ;  
    Sum ;  
  end;  
Display;  
Fi ;  
end.
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Harmonic Content of 2 Level Natural PWM Inverter

Frequency Ratio = 8

Y	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
2	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.04
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0.02	0.05	0.12	0.25	0.46	0.76	1.2	1.78
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.39	1.56	3.47	6.09	9.32	13.12	17.38	21.99	26.83	31.8
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
8	126.54	124.2	120.35	115.06	108.43	100.58	91.65	81.81	71.22	60.09
9	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.05	0.11	0.22
10	0.39	1.56	3.47	6.08	9.32	13.12	17.38	21.99	26.83	31.8
11	0	0	0.01	0.05	0.14	0.34	0.69	1.27	2.13	3.32
12	0	0	0.02	0.05	0.12	0.25	0.46	0.76	1.2	1.78
13	0.04	0.32	1.05	2.38	4.39	7.08	10.32	13.95	17.68	21.23
14	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.03	0.07
15	9.88	19.03	26.79	32.61	36.09	37.02	35.4	31.43	25.5	18.12
16	0	0	0	0	0	0.01	0.04	0.11	0.26	0.53
17	9.88	19.03	26.79	32.61	36.09	37.02	35.4	31.43	25.5	18.12
18	0	0	0.01	0.04	0.13	0.35	0.8	1.56	2.74	4.36
19	0.04	0.32	1.05	2.38	4.39	7.08	10.32	13.95	17.68	21.22
20	0.01	0.08	0.4	1.16	2.56	4.67	7.39	10.44	13.4	15.72
21	0	0	0.01	0.05	0.14	0.34	0.69	1.26	2.09	3.22
22	1.16	4.37	8.94	13.85	17.98	20.35	20.29	17.63	12.67	6.21
23	0	0	0	0	0	0.01	0.04	0.13	0.33	0.71
24	40.12	33.53	23.74	12.93	1.08	8.33	14.6	17.06	15.73	11.28
25	0	0	0	0.03	0.11	0.34	0.84	1.75	3.15	5.01
26	1.16	4.37	8.94	13.85	17.98	20.35	20.29	17.63	12.68	6.23
27	0	0.02	0.17	0.64	1.66	3.4	5.77	8.42	10.7	11.87
28	0.01	0.08	0.4	1.17	2.56	4.67	7.39	10.47	13.47	15.93
29	0.16	1.19	3.54	6.97	10.61	13.23	13.69	11.43	6.84	0.92
30	0	0	0.01	0.04	0.13	0.37	0.88	1.82	3.38	5.73
31	9.51	16.3	18.51	15.72	9.06	0.8	6.44	10.52	10.47	6.75
32	0	0	0	0.02	0.09	0.33	0.9	1.98	3.67	5.86
33	9.51	16.3	18.51	15.72	9.06	0.8	6.44	10.52	10.49	6.8
34	0	0.01	0.08	0.37	1.14	2.62	4.75	7.08	8.75	8.85
35	0.16	1.19	3.54	6.97	10.61	13.23	13.69	11.43	6.71	0.57
36	0.02	0.36	1.54	3.86	6.88	9.43	10.1	8.04	3.56	1.77
37	0	0.02	0.17	0.64	1.66	3.37	5.67	8.09	9.85	10.06
38	1.86	6.36	10.79	12.36	9.72	3.73	2.97	7.33	7.51	3.82
39	0	0	0	0.01	0.03	0.04	0.02	0.2	0.41	0.33
40	21.69	12.02	0.65	7.75	10.21	6.77	0.19	5.62	7.66	5.29
41	0	0	0.04	0.23	0.82	2.08	3.98	5.9	6.72	5.33
42	1.86	6.36	10.79	12.36	9.72	3.73	2.96	7.28	7.32	3.28
43	0	0.11	0.71	2.26	4.73	7.13	7.88	5.86	1.48	3.22
44	0.02	0.36	1.54	3.86	6.88	9.46	10.23	8.45	4.63	0.44
45	0.35	2.36	5.89	8.82	8.61	4.56	1.34	5.58	5.61	1.76
46	0	0.01	0.08	0.38	1.21	2.89	5.6	8.07	12.35	13.91
47	8.93	12.34	8.5	0.53	5.98	6.98	2.67	3.09	5.83	3.91
48	0	0	0.02	0.16	0.7	2.05	4.38	7.18	9.25	9.43
49	8.93	12.34	8.5	0.53	5.98	6.99	2.68	3	5.51	2.97
50	0	0.04	0.34	1.25	3.4	5.64	6.48	4.65	0.81	2.22

Harmonic Content of 2 Level Natural PWM Inverter

Frequency Ratio = 8

Normalised Harmonic Amplitudes

Y	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.04	0.08	0.12	0.15	0.19	0.22	0.25	0.27	0.3	0.32
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	12.65	6.21	4.01	2.96	2.17	1.68	1.31	1.02	0.79	0.6
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.04	0.08	0.12	0.15	0.19	0.22	0.25	0.27	0.3	0.32
11	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
12	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02
13	0	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12	0.15	0.17	0.2	0.21
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0.99	0.95	0.89	0.82	0.72	0.62	0.51	0.39	0.28	0.18
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
17	0.99	0.95	0.89	0.82	0.72	0.62	0.51	0.39	0.28	0.18
18	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04
19	0	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12	0.15	0.17	0.2	0.21
20	0	0	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.15	0.16
21	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
22	0.12	0.22	0.3	0.35	0.36	0.34	0.29	0.22	0.14	0.06
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
24	4.01	1.68	0.79	0.31	0.02	0.14	0.21	0.21	0.17	0.11
25	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05
26	0.12	0.22	0.3	0.35	0.26	0.34	0.29	0.22	0.14	0.06
27	0	0	0.01	0.02	0.03	0.06	0.08	0.11	0.12	0.12
28	0	0	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.15	0.16
29	0.02	0.06	0.12	0.17	0.21	0.22	0.2	0.14	0.08	0.01
30	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06
31	0.95	0.82	0.62	0.39	0.18	0.01	0.09	0.13	0.12	0.07
32	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06
33	0.95	0.82	0.62	0.39	0.18	0.01	0.09	0.13	0.12	0.07
34	0	0	0	0.01	0.02	0.04	0.07	0.09	0.1	0.09
35	0.02	0.06	0.12	0.17	0.21	0.22	0.2	0.14	0.07	0.01
36	0	0.02	0.05	0.1	0.14	0.16	0.14	0.1	0.04	0.02
37	0	0	0.01	0.02	0.03	0.06	0.08	0.1	0.11	0.1
38	0.19	0.32	0.36	0.31	0.19	0.06	0.04	0.09	0.08	0.04
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	2.17	0.6	0.02	0.15	0.2	0.11	0	0.07	0.09	0.05
41	0	0	0	0.01	0.02	0.03	0.06	0.07	0.07	0.05
42	0.19	0.32	0.36	0.31	0.19	0.06	0.04	0.09	0.08	0.03
43	0	0.01	0.02	0.05	0.09	0.12	0.11	0.07	0.02	0.03
44	0	0.02	0.05	0.1	0.14	0.16	0.15	0.11	0.05	0
45	0.04	0.12	0.2	0.22	0.17	0.08	0.02	0.07	0.06	0.02
46	0	0	0	0.01	0.02	0.05	0.08	0.11	0.14	0.14
47	0.89	0.62	0.28	0.01	0.12	0.12	0.04	0.04	0.06	0.04
48	0	0	0	0	0.01	0.03	0.06	0.09	0.1	0.09
49	0.89	0.62	0.28	0.01	0.12	0.12	0.04	0.04	0.06	0.03
50	0	0	0.01	0.03	0.07	0.09	0.09	0.06	0.01	0.02

Harmonic Content of 2 Level Natural PWM Inverter

Frequency Ratio = 10

Y	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.04
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0.02	0.05	0.12	0.25	0.46	0.76	1.2	1.78
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0.39	1.56	3.47	6.08	9.32	13.12	17.38	21.98	26.83	31.79
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	126.54	124.2	120.35	115.06	108.43	100.58	91.65	81.81	71.23	60.1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
12	0.39	1.56	3.47	6.08	9.32	13.12	17.38	21.98	26.83	31.79
13	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.05	0.11	0.22
14	0	0	0.02	0.05	0.12	0.25	0.46	0.76	1.2	1.78
15	0	0	0.01	0.05	0.14	0.34	0.69	1.27	2.13	3.32
16	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.04
17	0.04	0.32	1.05	2.38	4.39	7.08	10.32	13.95	17.68	21.23
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	9.88	19.03	26.79	32.61	36.09	37.02	35.4	31.44	25.5	18.12
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.04
21	9.88	19.03	26.79	32.61	36.09	37.02	35.4	31.44	25.5	18.12
22	0	0	0	0	0	0.01	0.04	0.11	0.26	0.53
23	0.04	0.32	1.05	2.38	4.39	7.08	10.32	13.95	17.68	21.23
24	0	0	0.01	0.04	0.13	0.35	0.8	1.56	2.74	4.36
25	0	0	0.01	0.05	0.14	0.34	0.69	1.27	2.13	3.32
26	0.01	0.08	0.4	1.16	2.56	4.67	7.39	10.44	13.4	15.72
27	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.05	0.11	0.21
28	1.16	4.37	8.94	13.85	17.98	20.35	20.29	17.63	12.67	6.21
29	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0.09
30	40.12	33.53	23.74	12.93	1.08	8.32	14.6	17.06	15.73	11.28
31	0	0	0	0	0	0.02	0.06	0.18	0.44	0.93
32	1.16	4.37	8.94	13.85	17.98	20.35	20.29	17.63	12.67	6.21
33	0	0	0	0.03	0.11	0.34	0.84	1.75	3.15	5.01
34	0.01	0.08	0.4	1.16	2.56	4.67	7.39	10.44	13.4	15.72
35	0	0.02	0.17	0.64	1.66	3.4	5.77	8.42	10.7	11.87
36	0	0	0.01	0.04	0.13	0.35	0.8	1.57	2.75	4.38
37	0.16	1.19	3.54	6.97	10.61	13.23	13.69	11.47	6.84	0.93
38	0	0	0	0	0	0.01	0.05	0.13	0.33	0.73
39	9.51	16.3	18.51	15.72	9.06	0.8	6.44	10.52	10.48	6.76
40	0	0	0	0	0	0.02	0.09	0.26	0.66	1.4
41	9.51	16.3	18.51	15.72	9.06	0.8	6.44	10.52	10.48	6.76
42	0	0	0	0.02	0.09	0.32	0.85	1.87	3.41	5.33
43	0.16	1.19	3.54	6.97	10.61	13.23	13.69	11.46	6.84	0.92
44	0	0.01	0.08	0.37	1.14	2.62	4.75	7.07	8.73	8.81
45	0	0.02	0.17	0.64	1.66	3.4	5.77	8.42	10.69	11.82
46	0.02	0.36	1.54	3.86	6.88	9.43	10.1	8.04	3.56	1.77
47	0	0	0	0.03	0.11	0.34	0.83	1.71	3.02	4.66
48	1.86	6.36	10.79	12.36	9.72	3.73	2.97	7.33	7.52	3.83
49	0	0	0	0	0	0.01	0.04	0.15	0.42	0.88
50	21.69	12.02	0.65	7.75	10.21	6.77	0.19	5.61	7.63	5.2

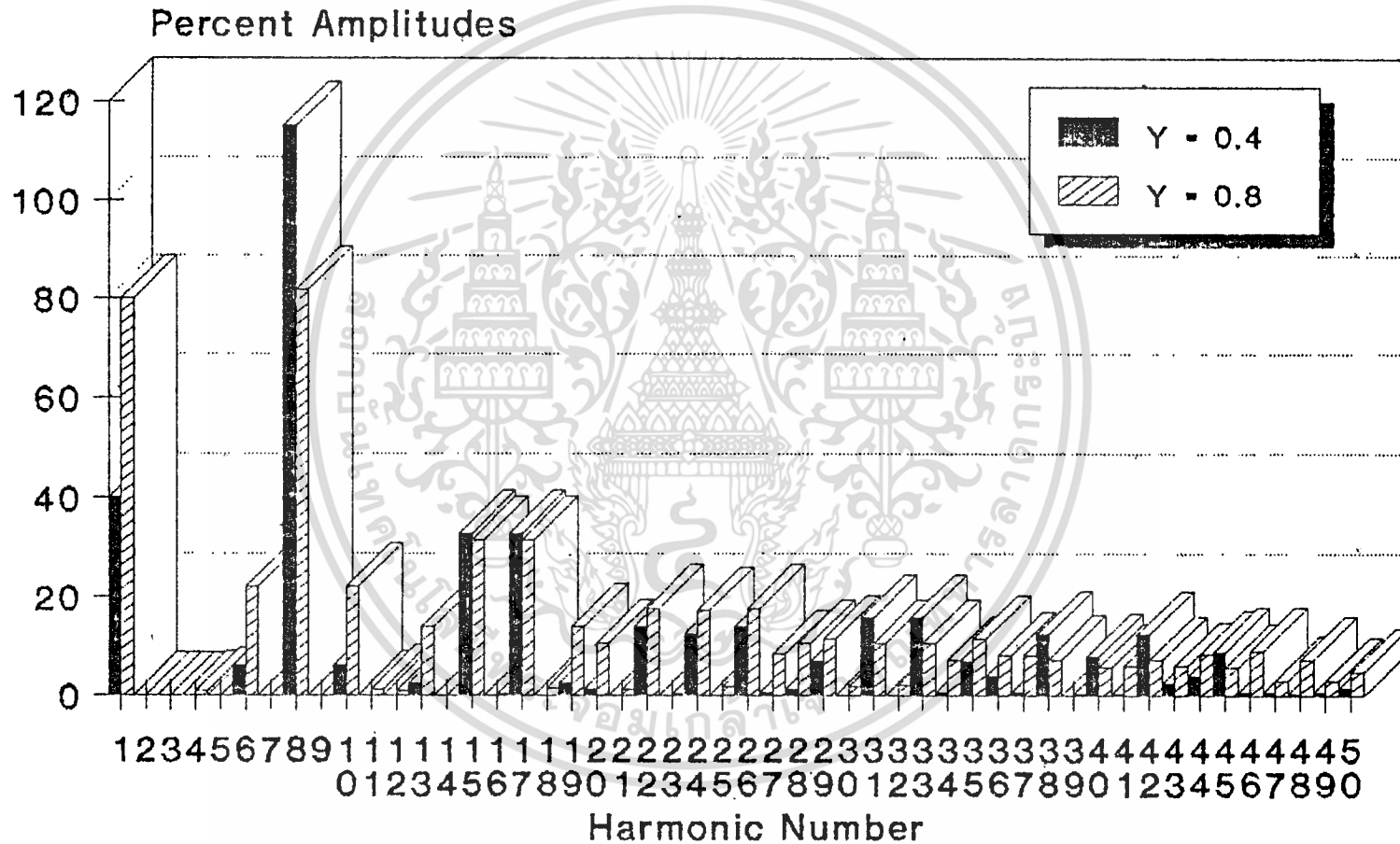
Harmonic Content of 2 Level Natural PWM Inverter

Frequency Ratio = 10

Normalised Harmonic Amplitudes

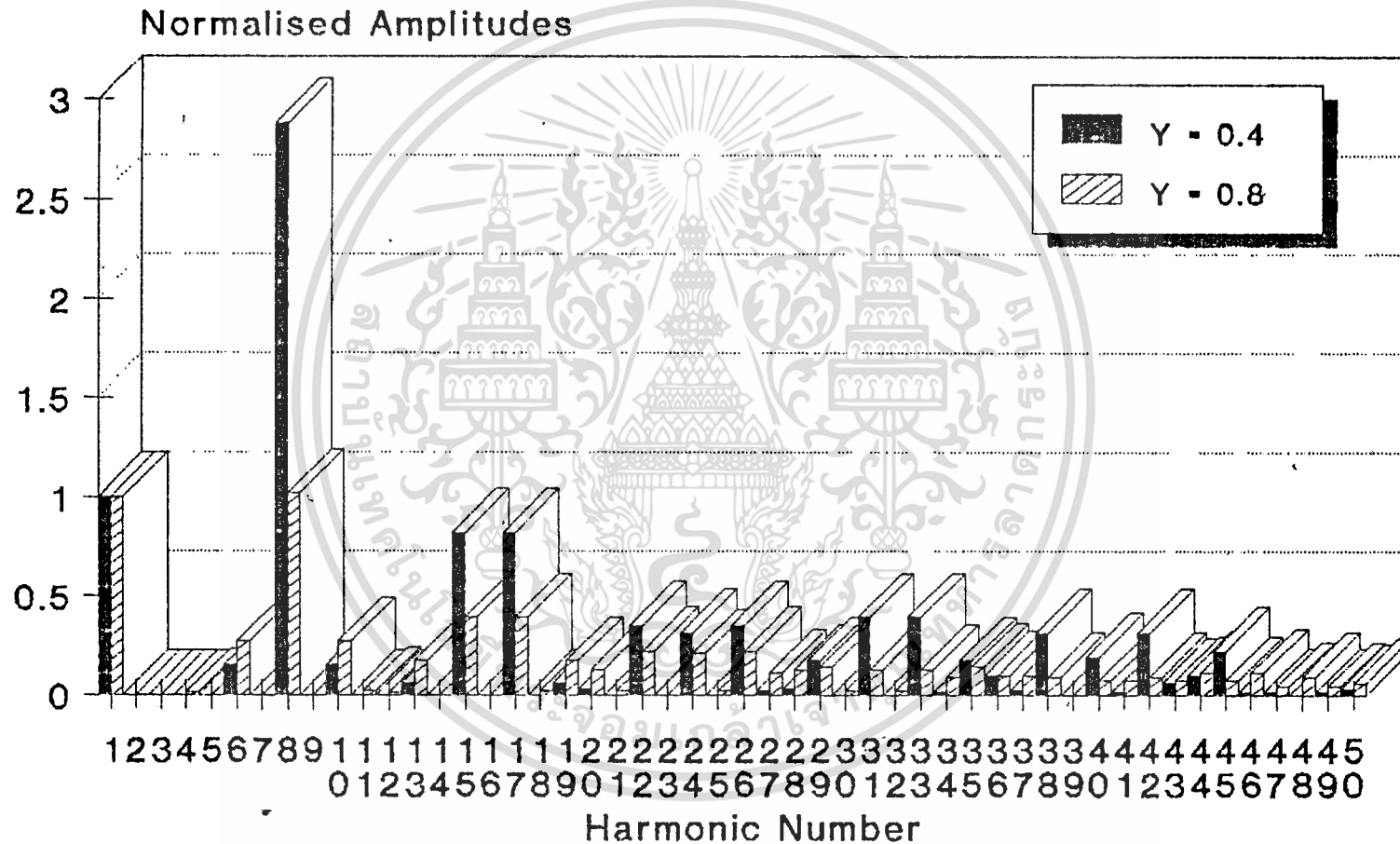
Y	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0.04	0.08	0.12	0.15	0.19	0.22	0.25	0.27	0.3	0.32
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	12.65	6.21	4.01	2.58	2.17	1.68	1.31	1.02	0.79	0.6
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0.04	0.08	0.12	0.15	0.19	0.22	0.25	0.27	0.3	0.32
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02
15	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12	0.15	0.17	0.2	0.21
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0.99	0.95	0.89	0.82	0.72	0.62	0.51	0.39	0.28	0.18
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0.99	0.95	0.89	0.82	0.72	0.62	0.51	0.39	0.28	0.18
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
23	0	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12	0.15	0.17	0.2	0.21
24	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04
25	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
26	0	0	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.15	0.16
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0.12	0.22	0.3	0.35	0.36	0.34	0.29	0.22	0.14	0.06
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	4.01	1.68	0.79	0.31	0.02	0.14	0.21	0.21	0.17	0.11
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
32	0.12	0.22	0.3	0.35	0.36	0.34	0.29	0.22	0.14	0.06
33	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05
34	0	0	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.15	0.16
35	0	0	0.01	0.02	0.03	0.06	0.08	0.11	0.12	0.12
36	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04
37	0.02	0.06	0.12	0.17	0.21	0.22	0.2	0.14	0.08	0.01
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
39	0.95	0.82	0.62	0.39	0.18	0.01	0.09	0.13	0.12	0.07
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01
41	0.95	0.82	0.62	0.39	0.18	0.01	0.09	0.13	0.12	0.07
42	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05
43	0.02	0.06	0.12	0.17	0.21	0.22	0.2	0.14	0.08	0.01
44	0	0	0	0.01	0.02	0.04	0.07	0.09	0.1	0.09
45	0	0	0.01	0.02	0.03	0.06	0.08	0.11	0.12	0.12
46	0	0.02	0.05	0.1	0.14	0.16	0.14	0.1	0.04	0.02
47	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05
48	0.19	0.32	0.36	0.31	0.19	0.06	0.04	0.03	0.08	0.04
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
50	2.17	0.6	0.02	0.19	0.2	0.11	0	0.07	0.08	0.05

Harmonic Patterns of 2-Level PWM waveforms



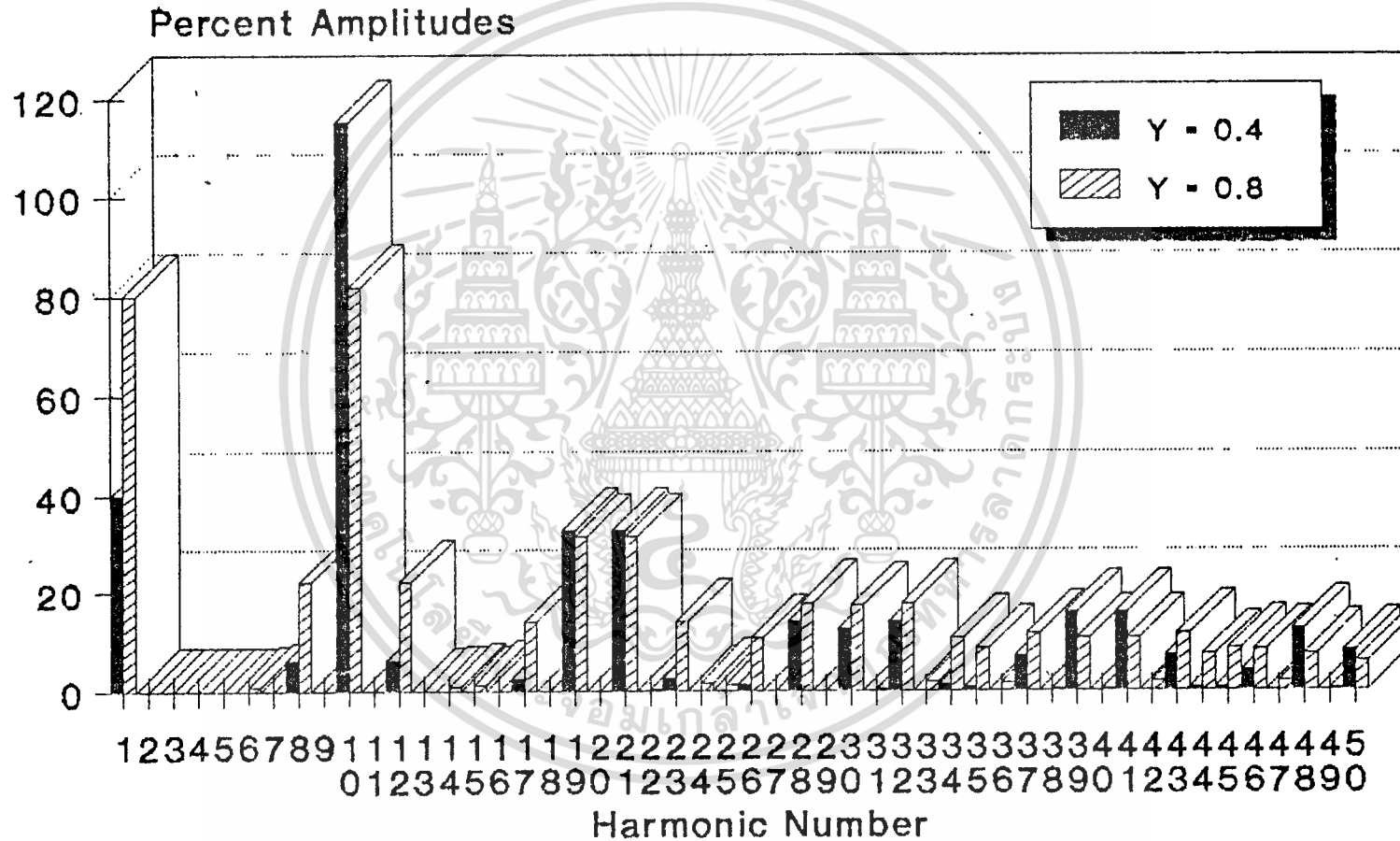
Frequency Ratio = 8
 Y = Modulation Index

Harmonic Patterns of 2-Level PWM waveforms



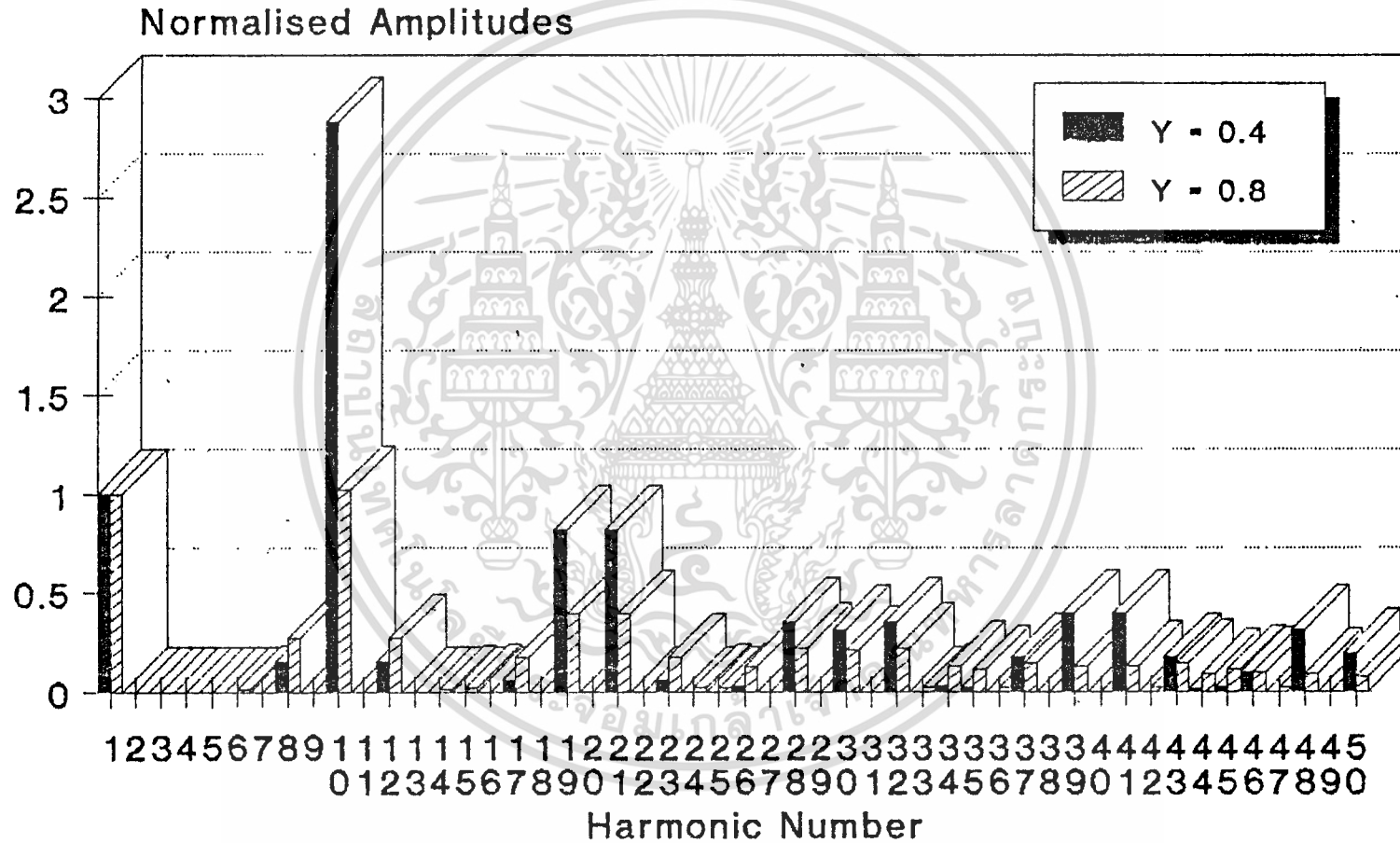
Frequency Ratio = 8
 Y = Modulation Index

Harmonic Patterns of 2-Level PWM waveforms



Frequency Ratio = 10
 Y = Modulation Index

Harmonic Patterns of 2-Level PWM waveforms



Frequency Ratio = 10
 Y = Modulation Index

บทที่ 3

ทฤษฎีเกี่ยวกับชาวน์เวฟพัลส์วีดมอดูเลชัน (SPWM)

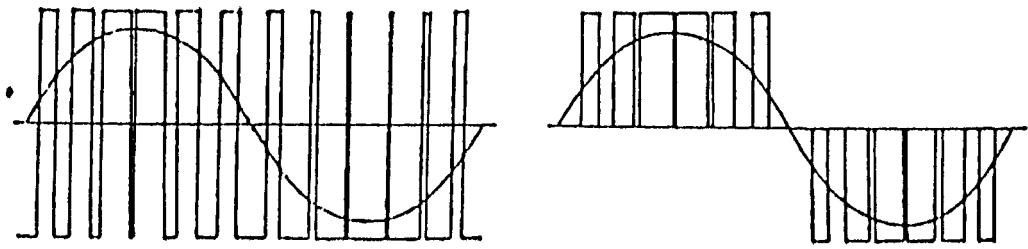
3.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับชาวน์เวฟพัลส์วีดมอดูเลชัน (SPWM)

การมอดูเลตความกว้างของพัลส์ (Sine Wave Pulse Width Modulation ; SPWM) เป็นเทคนิคการแบ่งรูปคลื่นใน 1 คาบ ออกเป็นพัลส์ย่อย ๆ หลายพัลส์ โดยที่แต่ละพัลส์อาจมีความกว้างของพัลส์ไม่เท่ากัน สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงรูปคลื่นพัลส์บลิวเอ็มชนิดต่าง ๆ รวมทั้งเทคนิคในการสร้างรูปคลื่นพัลส์บลิวเอ็มวิธีต่าง ๆ ด้วย

รูปคลื่นพัลส์บลิวเอ็มมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดแต่ชนิดที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุด และเป็นชนิดพื้นฐานที่สุด ได้แก่ แบบ 2 ระดับ (2 Level) และแบบ 3 ระดับ (3 Level) ดังนี้

- 1) รูปคลื่นพัลส์บลิวเอ็มแบบ 2 ระดับเป็นรูปคลื่นที่มีการสวิตช์ระหว่างระดับอ้างอิง 2 ระดับ คือ $+E$ และ $-E$
- 2) รูปคลื่นพัลส์บลิวเอ็มแบบ 3 ระดับเป็นรูปคลื่นที่มีการสวิตช์ระหว่างระดับอ้างอิง 3 ระดับ คือ $+E$, 0 และ $-E$

รูปคลื่นทั้งสองแบบนี้มีลักษณะดังรูปที่ 3.1 โดยแสดงรูปคลื่นพัลส์บลิวเอ็ม (PWM Waveform) เปรียบเทียบกับ คลื่นความถี่หลักมูล (fundamental) ของรูปคลื่นพัลส์บลิวเอ็มนั้น สำหรับรูปคลื่นพัลส์บลิวเอ็มแบบ 3 ระดับ จะมีข้อดีกว่าแบบ 2 ระดับ คือ จากการวิเคราะห์ฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น จะเกิดเฉพาะฮาร์โมนิกอันดับคี่ และฮาร์โมนิกที่มีขนาดสูงสุด จะมีขนาดต่ำกว่าแบบ 2 ระดับ ซึ่งถือว่าการมีรูปคลื่นพัลส์บลิวเอ็มแบบ 3 ระดับ จะกำจัดฮาร์โมนิกได้ดีกว่าแบบ 2 ระดับนั่นเอง



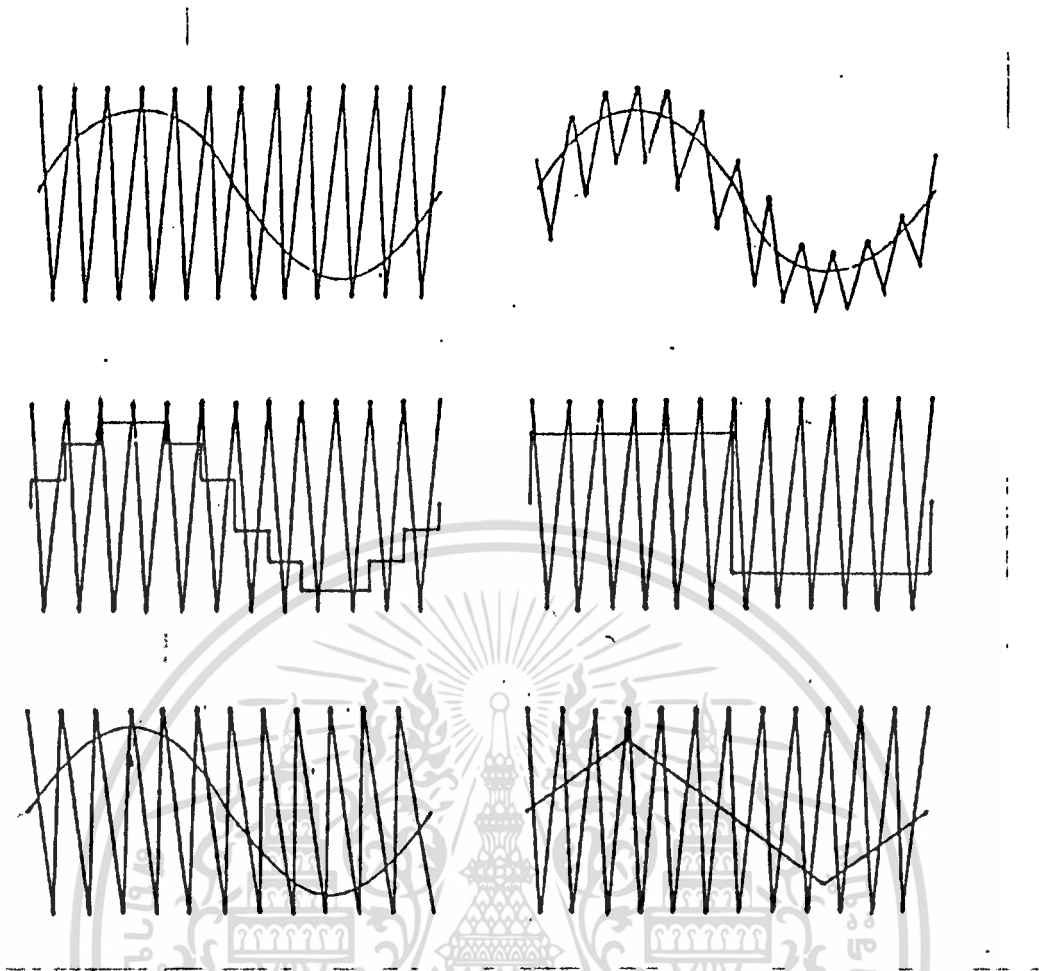
รูปที่ 3.1 แสดงรูปคลื่นที่ดับบลิวเอ็ม (ก) แบบ 2 ระดับ (ข) แบบ 3 ระดับ

3.1.1 การสร้างรูปคลื่นชาน์เนลเวฟที่ดับบลิวเอ็ม

รูปคลื่นชาน์เนลเวฟที่ดับบลิวเอ็มสามารถสร้างขึ้นมาได้โดยวิธีต่าง ๆ ได้แก่

1) สร้างโดยการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งสามารถกระทำได้ โดยการโปรแกรมให้ไมโครโปรเซสเซอร์ส่งสัญญาณ ซึ่งสอดคล้องกับมุมสวิทช์ผ่านทางพอร์ตเอาต์พุต (output port) ซึ่งสามารถกระทำได้โดยป้อนการคำนวณ หรือ กำหนดค่ามุมสวิทช์มุมต่าง ๆ ออกมาเสียก่อน แล้วจึงเก็บไว้ในหน่วยความจำไมโครโปรเซสเซอร์ จะอาศัยข้อมูลจากหน่วยความจำนั้น เพื่อสร้างรูปแบบ (pattern) สัญญาณชาน์เนลเวฟที่ดับบลิวเอ็มขึ้นมา แล้วจึงส่งผ่านพอร์ตเอาต์พุตออกมา

2) สร้างโดยใช้วงจรถือเลคทรอนิกส์ วิธีที่สะดวกที่สุด คือ ใช้วงจรถือเปรียบเทียบ (comparator) ซึ่งสามารถกระทำโดยป้อนสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณ เข้าสู่วงจรถือเปรียบเทียบ คือสัญญาณอ้างอิง (reference signal) ซึ่งจะมีความถี่เท่ากับรูปคลื่นชาน์เนลเวฟที่ดับบลิวเอ็มที่ต้องการ กับ สัญญาณแครี่เวียร์ (carrier signal) ที่มีความถี่สูงกว่ามุมสวิทช์ของรูปคลื่นชาน์เนลเวฟที่ดับบลิวเอ็ม ก็คือ จุดตัดของสัญญาณทั้งสอง การสร้างโดยอาศัยวงจรถือเปรียบเทียบนี้ สามารถเลือกสัญญาณที่ใช้เปรียบเทียบได้หลายลักษณะ ดังที่แสดงไว้ตัวอย่างในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการสร้างรูปคลื่นพัลส์บวลิแอมโดยการใช่วงจรเปรียบเทียบ

3.1.2 หลักการทั่วไปเกี่ยวกับรูปคลื่นสามเฟสพัลส์บวลิแอม

ในระบบสามเฟสอินเวอร์เตอร์จ่ายแรงดันทั่วไป ที่ใช้เทคนิค SPWM (คลื่นสามเฟสตัดกับคลื่นสามเหลี่ยม)

เงื่อนไขพื้นฐานที่ต้องมีคือ

- 1) จะต้องไม่เกิดองค์ประกอบฮาร์มอนิกคู่
- 2) เกิดการซิมเมตรี (symetrical) กรณีระบบ 3 เฟสจะต้องเท่ากัน และระยะการขจัดระหว่างเฟสต่างกันเท่ากับ 120 องศา

3.1.3 องค์ประกอบที่สำคัญของรูปคลื่นสามเฟสพัลส์บวลิแอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างรูปคลื่นชาวน์เวฟที่ดับลิวเอ็่ม โดยการใช่วงจรเปรียบเทียบ จะมีองค์ประกอบ 2 ประการ ที่จะเป็นตัวการกำหนดลักษณะรูปคลื่นที่ดับลิวเอ็่มได้แก่

1) อัตราส่วนความถี่ของสัญญาณแคร่เรีอ์ร ต่อ สัญญาณอ้างอิง (Frequency - Ratio ; N) หรือ อัตราส่วนความถี่ของคลื่นสามเหลี่ยม ต่อ ความถี่ของคลื่นชาวน์

$$N = \text{ความถี่ของคลื่นสามเหลี่ยม} / \text{ความถี่ของคลื่นชาวน์}$$

2) อัตราส่วนแอมปลิจูดของสัญญาณอ้างอิงคลื่นชาวน์ ต่อ สัญญาณแคร่เรีอ์ร หรือ อัตราส่วนการมอดคูเลชั่น (Modulation Index ; Y)

$$Y = \text{แอมปลิจูดของคลื่นชาวน์} / \text{แอมปลิจูดของคลื่นสามเหลี่ยม}$$

โดยปกติค่าอัตราส่วนการมอดคูเลชั่น จะใช้ค่าที่อยู่ในช่วงไม่เกิน 1 ค่านี้จะเป็นตัวกำหนดความกว้างของพัลส์ โดยความกว้างของพัลส์ จะยิ่งมากเมื่อค่า Y มีค่ามากขึ้น ในทางปฏิบัติสำหรับชาวน์เวฟอินเวอร์เตอร์เฟสเดีอ์ว ค่าอัตราส่วนการมอดคูเลชั่น Y จะอยู่ระหว่าง 0.5 - 0.9

ส่วนค่าอัตราส่วนความถี่ จะเป็นตัวกำหนดจำนวนพัลส์ให้มีจำนวนเท่ากับค่า N และจำนวนมุมสวิทช์ จะมีจำนวน 2N มุม ทั้งนี้ต้องอยู่ในกรณีที่ค่า Y ไม่เกิน 1 สำหรับค่า N ควรจะต้องเป็นจำนวนเต็มที่เป็นเลขคู่ เพื่อให้คลื่นชาวน์ และคลื่นสามเหลี่ยมซิงโคไนซ์กัน และให้รูปคลื่นครึ่งบวก และคลื่นครึ่งลบซิมเมตรี เพื่อให้มั่นใจว่าจะไม่เกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิคค์ทางค่านเ้ากั้ทุก

รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการมอดูเลต และสร้างสัญญาณ SPWM แบบ 2 ระดับ

จากรูปที่ 3.3 แสดงเทคนิค SPWM ชนิด 2 ระดับ ที่มีอัตราส่วนการมอดูเลชัน Y จากวิธีดังกล่าว ขณะที่ความถี่ในการมอดูเลตมาก ทำให้สามารถกำจัดฮาร์โมนิกได้ ค่อนข้าง อย่างไรก็ตาม การเลือกความถี่ในการสวิชชิง ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น การกำจัดองค์ประกอบฮาร์โมนิกต่าง ๆ เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด และให้เหมาะสมกับการใช้งานที่สภาวะต่าง ๆ , ความสามารถในการสวิชชิงของอุปกรณ์สวิชชิง เป็นต้น

ข้อดีของ SPWM ชนิด 3 ระดับ

- ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวสวิชชิง เท่ากับครึ่งหนึ่งของความถี่ในการมอดูเลต ซึ่งจะ ช่วยลดพลังงานสูญเสียจากการสวิชชิงลง

ข้อเสียของ SPWM ชนิด 3 ระดับ

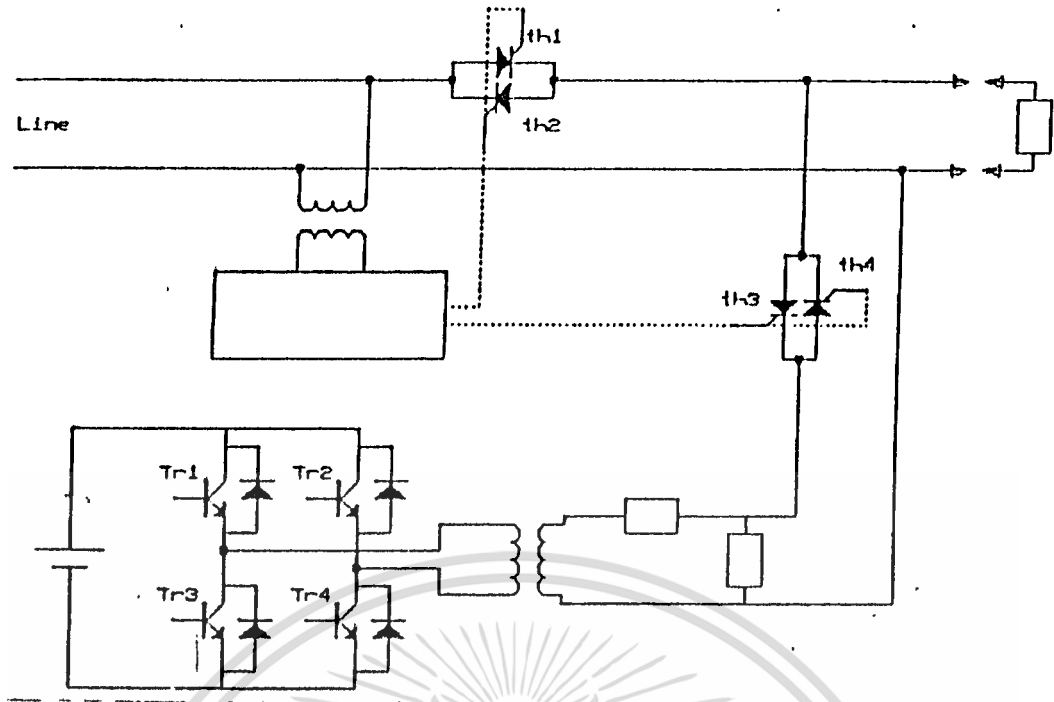
- ค่ายูทิลิตี้แฟคเตอร์ (utility factor) ต่ำ และมีโอกาสสลับวงจรในกึ่งสูง เนื่องจากปัญหาของอุปกรณ์สวิชชิง

3.2 PWM Inverter

PWM Inverter ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ส่วนชาน์เนลเวฟอินเวอร์เตอร์, ส่วนทรานเฟอร์สวิชชิง และส่วนลิฟต์ซึ่ง เป็นส่วนที่เพิ่มเข้ามาเพื่อใช้ในการทดสอบ

แหล่งจ่ายไฟสำรอง ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ หรือภาระโหลดที่ ต้องการไฟเลี้ยงอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา โดยจะจ่ายกระแสออกมา ในกรณีที่ค่าแรงดัน จ่ายไฟไลน์ มีค่าสูงหรือต่ำกว่าช่วงที่กำหนดไว้ แหล่งจ่ายไฟสำรองจะทำงานแทนไฟไลน์ เรียกช่วงนี้ว่าสภาวะผิดปกติเมื่อไฟไลน์กลับเข้าสู่ระดับแรงดันปกติแล้ว แหล่งจ่ายไฟสำรอง ก็จะหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า เนื่องจากอินเวอร์เตอร์หยุดทำงาน ไฟไลน์ก็จ่ายกระแสไฟฟ้า ให้แก่ภาระโหลดอีกครั้งหนึ่ง เรียกช่วงนี้ว่า สภาวะปกติ สามารถแสดงวงจรการทำงาน ของแหล่งจ่ายไฟสำรอง ได้ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

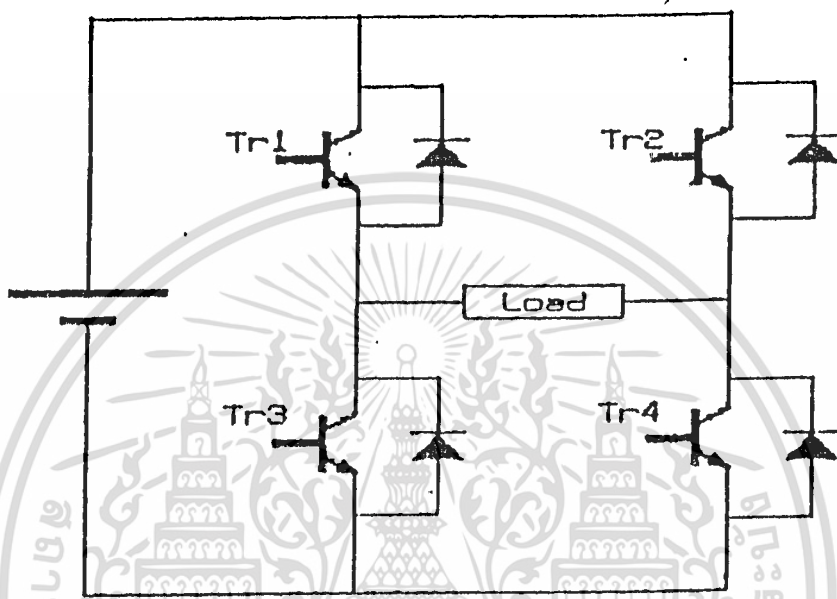


รูปที่ 3.4 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟสำรอง

สำหรับรายละเอียด ของการทำงานในแต่ละส่วนที่ประกอบกันเป็น แหล่งจ่ายไฟสำรองนั้นจะกล่าวถึงในบทต่อ ๆ ไป

3.3 วงจร斬削เวฟอินเวอร์เตอร์

วงจร斬削เวฟอินเวอร์เตอร์ (Sine Wave Inverter) ทำหน้าที่ เป็นวงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าตรง ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ที่มีรูปคลื่นใกล้เคียงกับคลื่นไซน์มากที่สุด โดยอาศัย เทคนิคการมอดูเลตความกว้างของพัลส์ (Sine Wave Pulse Width Modulation ; SPWM) ซึ่งเป็นเทคนิคของการแบ่งรูปคลื่นใน 1 คาบ ออกเป็นพัลส์ย่อย ๆ หลายพัลส์ โดยใช่วงจรเปรียบเทียบ (comparator) สร้างสัญญาณคลื่นสามเหลี่ยมตัดสัญญาณคลื่นไซน์ เกิดเป็นพัลส์ที่ดับบลิว. เอ็มชั่น สำหรับวงจร斬削เวฟอินเวอร์เตอร์ในโครงการนี้ จะใช้ทรานซิสเตอร์กำลัง 4 ตัว มาต่อกันแบบฟูลบริดจ์ (full bridge) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เป็นอุปกรณ์ในการสวิชชิง เพื่อให้ได้เอาต์พุตเป็นสัญญาณ SPWM แบบ 2 ระดับ ตามต้องการ

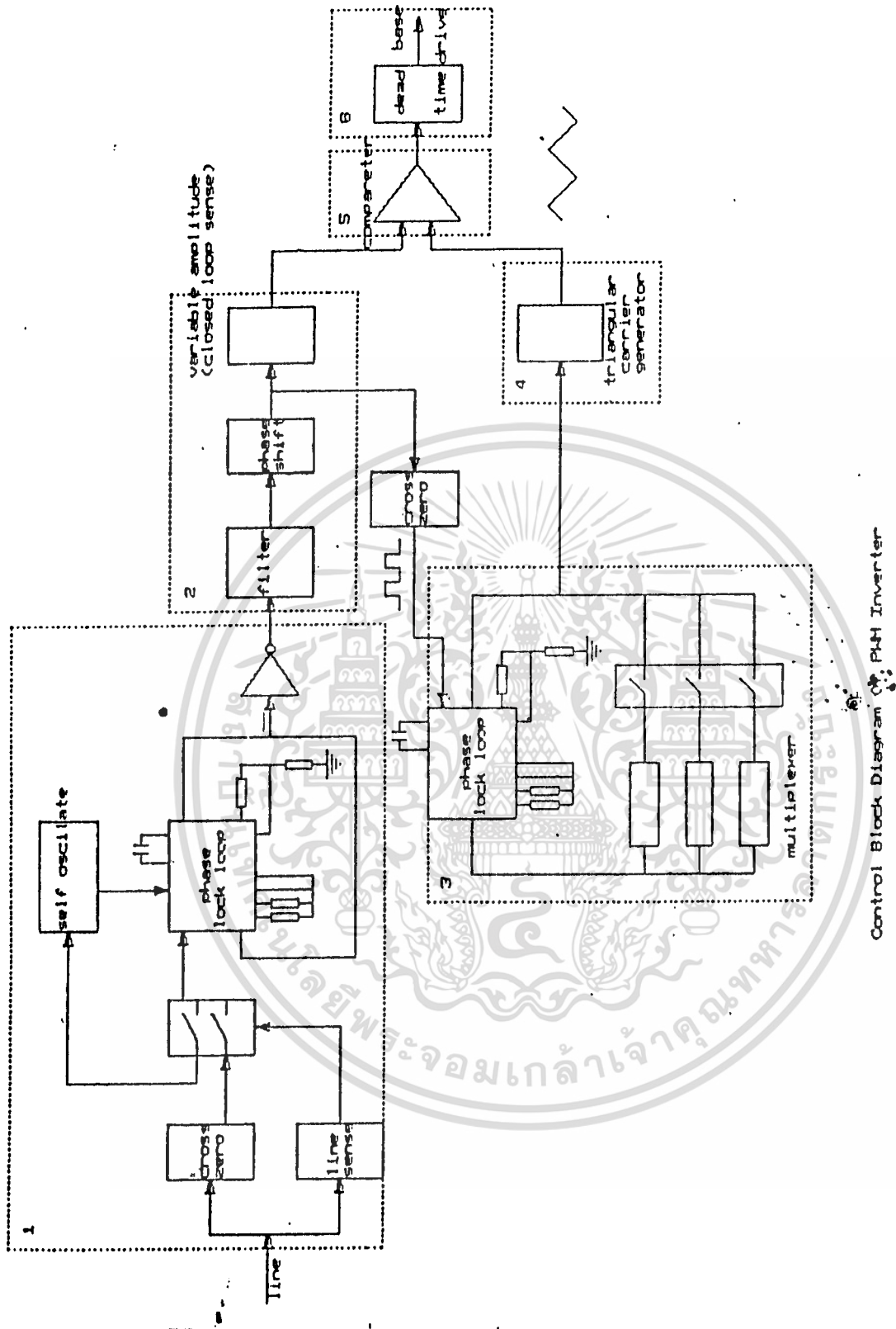


รูปที่ 3.5 วงจรชานันเวฟที่ดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์

3.3.1 ขั้นตอนการสร้างรูปคลื่น SPWM ด้วยวงจรรีเลคทรอนิคส์

การสร้างรูปคลื่น SPWM ด้วยวงจรรีเลคทรอนิคส์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณ SPWM ด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ซึ่งสามารถสร้างได้หลายแบบนั้น สำหรับในปริภูมิตฤษฎีบทนี้ จะใช้วงจรเปรียบเทียบเอกสารนี้ เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เกือบ (comparator) โดยสร้างสัญญาณคลื่นสามเหลี่ยม ตัดกับสัญญาณคลื่นไซน์ เกิดเป็น ไม่ว่างกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรูปคลื่นไซน์เวฟพิคดับลิวเอ็ม (SPWM) สามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรม ได้ดังรูปที่ 3.2

จากบล็อกไดอะแกรมข้างต้นสามารถแบ่งการทำงานของวงจรออกได้เป็น 6 ส่วนดังต่อไปนี้

- 1) ส่วนกำเนิดสัญญาณพัลส์ความถี่ 50 เฮิร์ต
- 2) ส่วนสร้างสัญญาณคลื่นไซน์
- 3) ส่วนมัลติเพล็กซ์เซอร์สัญญาณ
- 4) ส่วนสร้างสัญญาณคลื่นสามเหลี่ยม
- 5) ส่วนวงจรเปรียบเทียบ
- 6) ส่วนเดคโคดี้

1) ส่วนกำเนิดสัญญาณพัลส์ความถี่ 50 เฮิร์ต

เป็นส่วนเริ่มต้น ของการสร้างสัญญาณ SPWM โดยการรับสัญญาณไซน์จากไฟไลน์ มาทำการแปลงให้เป็นสัญญาณพัลส์ ที่มีความถี่ 50 เฮิร์ต ให้เท่ากับไฟไลน์ (ถ้าสัญญาณไฟไลน์ที่เข้ามามีความถี่ 60 เฮิร์ต ก็สามารถแปลงสัญญาณได้เช่นกัน) โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ในการแปลงสัญญาณ ซึ่งในส่วนนี้สามารถ ที่จะแยกการทำงานออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

1.1) การสร้างสัญญาณด้วยตัวเอง (self oscillate) เป็นการกำเนิดสัญญาณพัลส์ความถี่ 50 เฮิร์ตขึ้นเองด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ไอซีตระกูลซีโมสเบอร์ MC 4046 ในการสร้าง แต่สัญญาณที่ได้ในกรณีนี้ จะไม่อิงโคไซน์ซ์ กับสัญญาณจากไฟไลน์ เนื่องจากไม่มีสัญญาณอ้างอิง (reference signal)

1.2) การสร้างสัญญาณจากไฟไลน์ ก็ถือได้ว่า เป็นการกำเนิดสัญญาณพัลส์ ความถี่ 50 เฮิร์ต ได้อีกวิธีหนึ่ง โดยอาศัยวงจรเฟสล็อกคูล์ด้วยเช่นกัน สัญญาณพัลส์ความถี่ 50 เฮิร์ต ที่ได้จะอิงโคไซน์ซ์ไปกับสัญญาณจากไฟไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากการทำงานที่แยกออกเป็น 2 ส่วนนี้ สามารถเลือกได้ว่า จะต้องการสัญญาณไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

พัลส์ความถี่ 50 เฮิร์ต แบบซิงโครไนซ์ไปกับสัญญาณจากไฟไลน์ หรือว่าไม่ต้องการให้สัญญาณที่ได้ซิงโครไนซ์ไปกับสัญญาณจากไฟไลน์ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ ในกรณีที่ไฟไลน์เกิดดับ วงจรสร้างสัญญาณ SPWF ก็จะใช้วิธีการสร้างพัลส์ โดยกสารสร้างสัญญาณด้วยตัวเอง (self oscillate) แทนการสร้างสัญญาณจากไฟไลน์

2) ส่วนสร้างสัญญาณคลื่นชาขน

สำหรับการทำงานในส่วนนี้ จะได้รับสัญญาณพัลส์ความถี่ 50 เฮิร์ต มาจากส่วนแรก โดยจะทำการแปลงสัญญาณพัลส์ความถี่ 50 เฮิร์ต ให้กลายเป็นสัญญาณคลื่นชาขนความถี่ 50 เฮิร์ต ด้วยเช่นกัน แต่สามารถปรับขนาดของแอมพลิจูดของคลื่นชาขนได้ ตามที่กำหนดไว้

สำหรับขั้นตอนการทำงานในส่วนนี้ จะแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้ คือ

1) ส่วนกรองสัญญาณ (filter) ทำหน้าที่กรอง หรือแปลงสัญญาณพัลส์ความถี่ 50 เฮิร์ต ให้กลายเป็นสัญญาณคลื่นชาขนความถี่ 50 เฮิร์ต

2) ส่วนปรับมุมเฟสของสัญญาณ (phase shift) เป็นส่วนที่ต่อมาจาก ส่วนกรองสัญญาณทำหน้าที่ปรับ หรือเลื่อนมุมเฟสของสัญญาณ ให้ซิงโครไนซ์กันได้พอดี

3) ส่วนปรับขนาดแอมพลิจูด ทำหน้าที่ปรับขนาดแอมพลิจูดของคลื่นชาขนที่ได้ ให้มีขนาดตามต้องการ รวมไปถึงการนำสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ มาทำการป้อนกลับ ที่อินพุทอีกครั้งหนึ่ง เพื่อเป็นการควบคุม ขนาดของแรงดัน ให้อยู่ในย่านที่ต้องการ เรียกว่าส่วน close loop sense

สำหรับรายละเอียดของ วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ความถี่ 50 เฮิร์ต และ วงจรสร้างสัญญาณคลื่นชาขน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7

ในส่วนนี้ อาจจะใช้ IC 741 ในการสร้างสัญญาณ Sine ก็ได้ ดังรูปที่ 3.8

3) ส่วนมัลติเพล็กซ์สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ได้จากส่วนสร้างสัญญาณคลื่นชายใน ส่วนที่ 2 นั้นจะถูกส่งเข้ามา ในส่วนนี้ ซึ่งจะทำให้การแปลงสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง โดยจะแปลงสัญญาณคลื่นชายที่มีความถี่ 50 เฮิร์ต ให้ กลายเป็น สัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูงขึ้น โดยจะผ่านวงจรเฟสล็อกอีกครั้งหนึ่ง เพื่อทำ การมัลติเพล็กซ์สัญญาณด้วยวงจรคูณ จะได้สัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ตามต้องการ สำหรับใน ปฏิบัติงานขั้นถัดไปนี้จะกำหนดให้ สัญญาณที่ได้มีความถี่เป็น 400 และ 500 เฮิร์ต

4) ส่วนสร้างสัญญาณคลื่นสามเหลี่ยม

ในส่วนนี้ จะรับสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ 400, 500 เฮิร์ตมาจากส่วนมัลติเพล็กซ์ เพื่อมาทำการแปลงให้เป็นสัญญาณคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งถึงว่าเป็นสัญญาณแคร์เรียร์ ก็จะมี ความถี่เท่ากับ 400, 500 เฮิร์ต ด้วยเช่นกัน

5) ส่วนวงจรเปรียบเทียบ

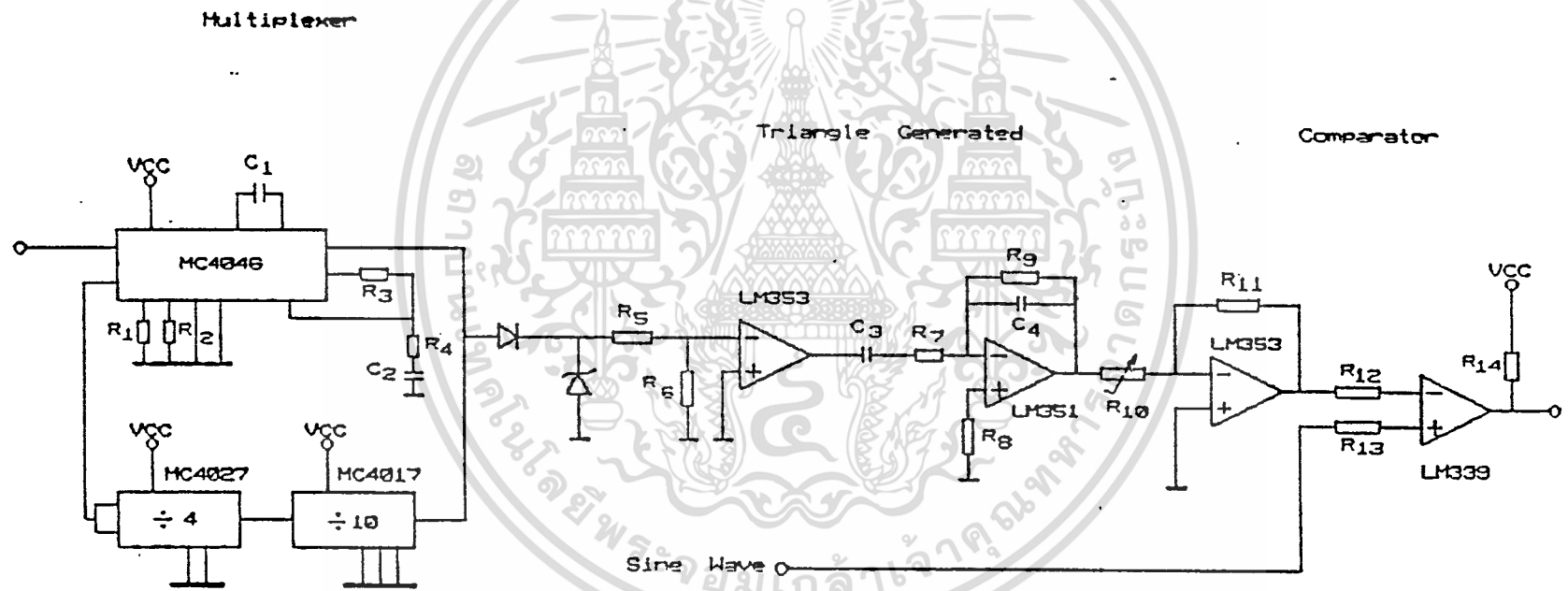
เป็นส่วน ที่ทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่ใช้ใน การมีอคตูลความกว้างของพัลส์ (SPWM) ระหว่างสัญญาณคลื่นชาย หรือสัญญาณอ้างอิง กับสัญญาณคลื่นสามเหลี่ยม หรือ สัญญาณแคร์เรียร์ โดยใช้ไอซีเบอร์ LM 311 เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณ สัญญาณเอาต์พุต ที่ได้จะมีลักษณะเป็นสัญญาณรูปคลื่นชายเวฟพิคดับลิวเ้มตามต้องการ

6) ส่วนเดคโคม์

เป็นส่วน สุดท้ายของการสร้างสัญญาณ SPWM ก่อนที่จะนำสัญญาณ SPWM เข้า วงจรขับเบสของทรานซิสเตอร์กำลังแต่ละตัว การใส่เดคโคม์ ก็เพื่อป้องกันการลัดวงจร ระหว่างกิ่งของทรานซิสเตอร์ในวงจรกำลังซึ่งเป็นผลมาจากสโตเรจโคม์ของทรานซิสเตอร์ เนื่องจากมีช่วงสโตเรจโคม์ จะทำให้มีโอกาสเกิดการนำกระแสพร้อมกันชั่วขณะ ระหว่าง

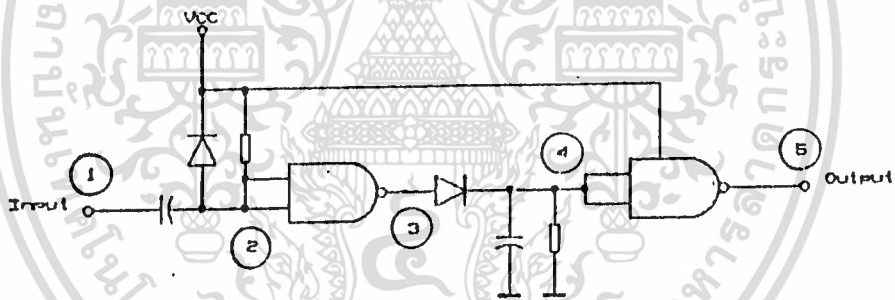
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ทรานซิสเตอร์ ในกิ่งของวงจรกำลัง ซึ่งอาจทำให้ระบบ หรือทรานซิสเตอร์เสียหายได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้



จึงจำเป็นต้องใส่เดดไทม์ การใส่เดดไทม์สามารถทำได้หลายวิธี แต่สำหรับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้วิธีการหน่วงสัญญาณทริก ขณะนำกระแสออกไปเท่ากับ t_d

ค่า t_d จะประมาณเท่ากับ $t_d = t_{on} + t_f$ (t_{on} = สตอเรจไทม์ , t_f = fall time) ซึ่งจากรูปที่ 3.9 ค่า t_d ประมาณ 20 μs ซึ่งเพียงพอที่จะชดเชยผลของสตอเรจไทม์ในทรานซิสเตอร์ ซึ่งประมาณ 12 μs จากรูปที่ 3.5 แสดงวงจรสร้างเดดไทม์ และการทำงานของวงจรในการขยายเนื้อฟิลล์ โดยใช้ RC และ แนนเกท



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรสร้าง Dead Time

3.3.2 วงจรชั๊บบีส

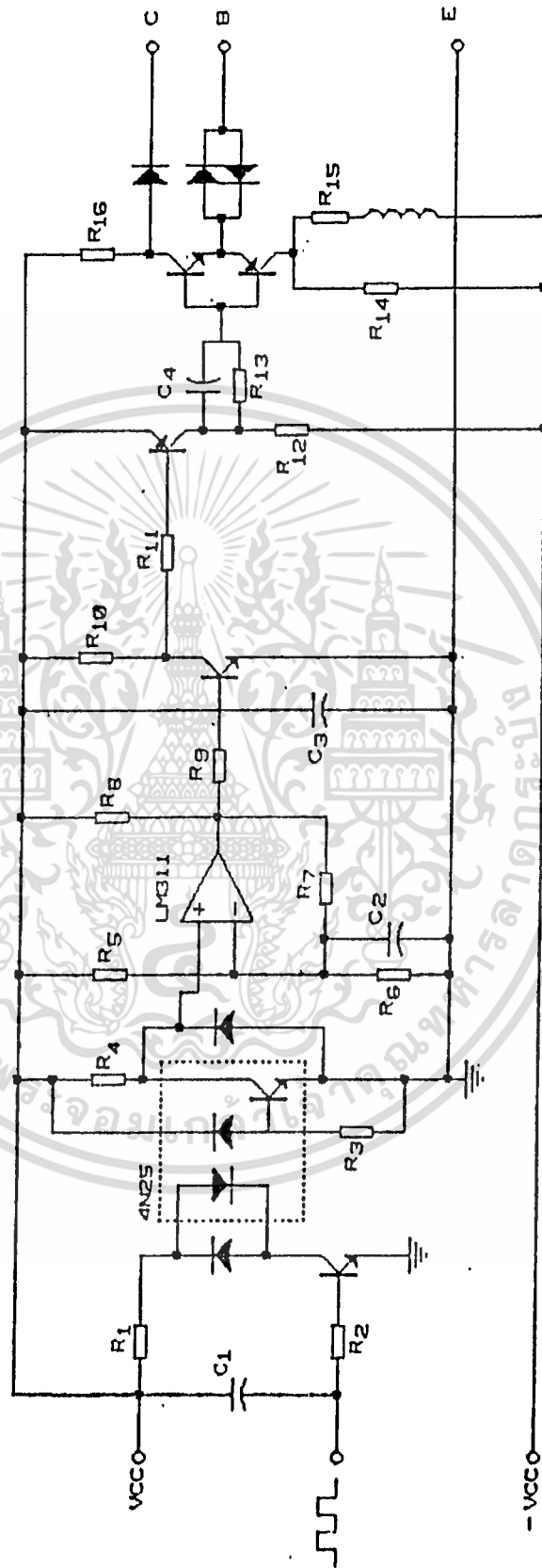
วงจรชั๊บบีสเป็น วงจรที่ทำหน้าที่ ขยายกระแสให้กับสัญญาณพีคดับลิว ที่ป้อนให้กับวงจรชั๊บบีสแต่ละชุด เพื่อให้มีความสามารถในการจ่ายกระแสได้มากพอ ที่จะทำให้อุปกรณ์กำลังทำงานในช่วงอิ่มตัว (saturation) ขณะนำกระแสได้ สำหรับ

รูปวงจรชั๊บบีสของทรานซิสเตอร์กำลังแต่ละตัวนั้น สามารถแสดงในส่วนของ Isolator

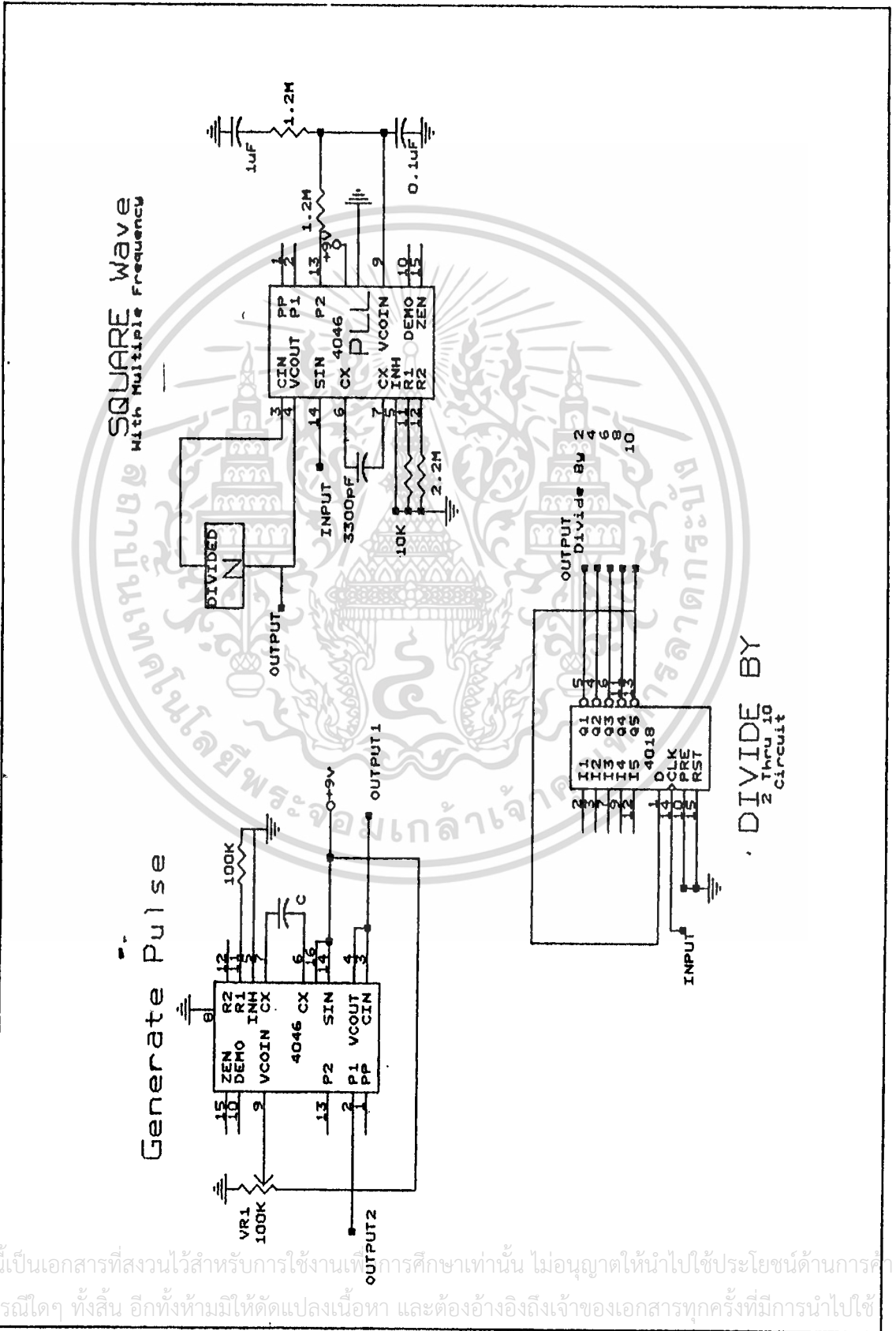
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยใช้อุปกรณ์ จะทำหน้าที่แยกกราวด์ ของสัญญาณทรานส์เวฟพีคดับลิวเอ็มแยกกราวด์สูง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านของวงจรกำลังด้วย ต่อจากนั้นสัญญาณ จะไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 เพื่อทำการขยายกระแส ให้กับสัญญาณชาน์เนลเฟดดิบลิวเอ็ม สำหรับตัวคาปาซิเตอร์ C_4 จะเป็นสปีดอัปคาปาซิเตอร์ (speed up capacitor) ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความเร็วของการสวิชซึ่งให้เร็วขึ้นด้วย หลังจากนั้นสัญญาณ จะเข้าสู่ทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 ซึ่งต่อกันแบบคอมพลีเมนทารี (complementary) ให้ทำงานแบบพุช-พูล (push-pull) คือ ทำงานได้ทั้งในซีกบวก และซีกลบ ส่วนตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออยู่ในส่วนล่างนั้น จะทำหน้าที่ป้องกันการเกิด di/dt ของกระแสขั้วเบสจากไฟลอป อันเนื่องมาจากการทำงานแบบพุช-พูล ของทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 จะช่วยป้องกันการหึ่งทลายของทรานซิสเตอร์ ต่อจากนั้นจะเข้าสู่ส่วนของเบเกอร์แคมป์ (baker camp) ซึ่งจะเป็นการช่วยลดสตรอเวจโทมอีกส่วนหนึ่ง และยังช่วยควบคุมการไหลของกระแสขั้วเบส I_B ของทรานซิสเตอร์กำลังให้ไหลได้มากหรือน้อยได้ด้วย โดยขึ้นอยู่กับค่าของกระแส I_C ที่ไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์กำลัง โดยค่าของกระแส I_C จะต้องมีค่าที่เหมาะสม กับกระแส I_B คือ ถ้ากระแส I_C มาก ก็จะทำให้กระแส I_B มากด้วย หรือ ถ้ากระแส I_C น้อย ก็จะทำให้กระแส I_B มีค่าน้อยด้วยเช่นกัน สรุปได้ว่าค่ากระแสขั้วเบส I_B ของทรานซิสเตอร์กำลังจะแปรผันตามค่าของกระแส I_C ที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์กำลังนั้น สำหรับไฟเลี้ยง วงจรขับเบส ในส่วนหลังจากที่แยกกราวด์แล้วจะต้องใช้ไฟเลี้ยงวงจรที่มีทั้งไฟบวก และไฟลบ เนื่องจากจะทำให้ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแสได้สนิท จากขั้นตอนของการทำงานของวงจรขับเบส

ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้น จะได้สัญญาณชาน์เนลเฟดดิบลิวเอ็ม หรือสัญญาณทริกที่มีค่าของกระแส I_B เพียงพอในการที่จะป้อนให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์กำลังแต่ละตัวซึ่งจะต้องใช้ทั้งหมด 4 ชุด ในการทริกขาเบสของทรานซิสเตอร์กำลังทั้ง 4 ตัวนั้น

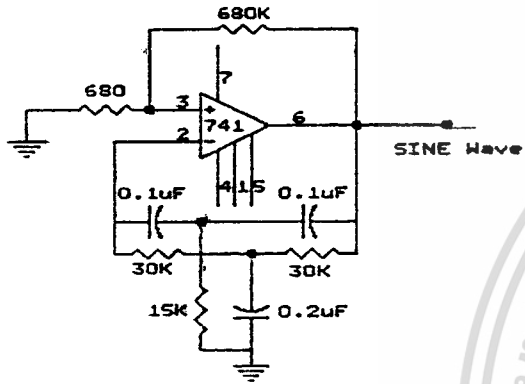


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

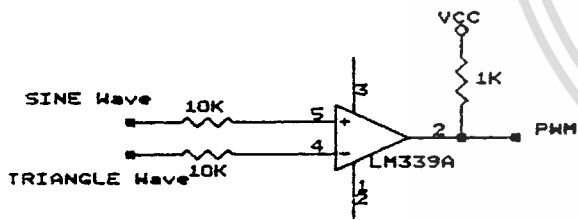
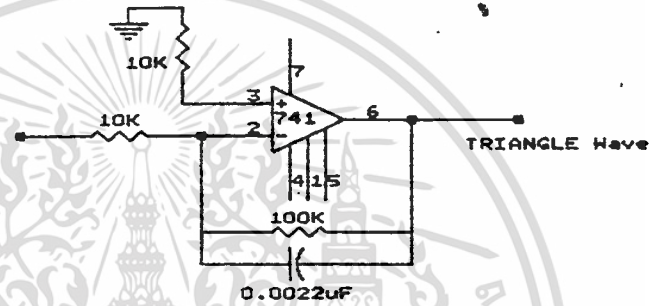


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

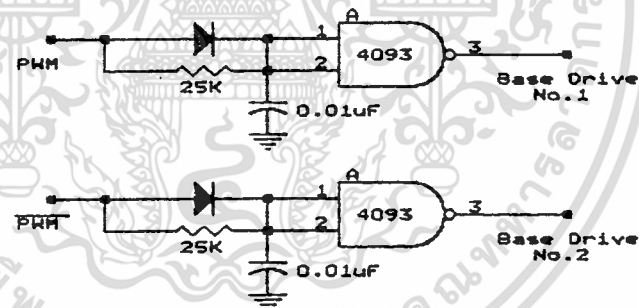
sine generate



Integrator



Comparator



Lock Out

Size Document Number		REV
A		
Date:	March 17, 1992	Sheet of

บทที่ 4

Filter

4.1 ความหมาย

วงจรกรองความถี่ คือ วงจรที่ยอมให้สัญญาณที่มีความถี่แน่นอนเท่านั้นที่ผ่านได้ ส่วนความถี่อื่น ๆ จะถูกลดทอนไป

การเลือก และการ DESIGN INVERTER OUTPUT FILTER สำหรับ UPS INVERTORS ถูกนำมาใช้ใน UPS (แหล่งจ่ายไฟต่อเนื่อง) อย่างกว้างขวาง ซึ่งมีความจำเป็นที่ OUTPUT นั้น จะต้องมีค่าคงที่ และมี THD (*Total harmonic distortion*) โดยทั่ว ๆ ไปในการ CONTROL OUTPUT VOLTAGE มักใช้ POWERSWITCHING STRATEGIES ในรูปสัญญาณของ OUTPUT จะต้องมี HARMONIC อยู่ ซึ่งจะต้องกรอง และจำกัด THD OUTPUT ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ลักษณะ OUTPUT FILTER

ควรมีลักษณะดังต่อไปนี้

- 1) แต่ละ HARMONIC จะต้องมีอย่างน้อย 3 % และจำกัด THD อย่างน้อย 5 % โดยคำนึงถึง no load จนถึง full load
- 2) REGULATION OF FILTER ควรจะต่ำ
- 3) ควรจะมี effect ของ V-A rating ต่ำ
- 4) มี POWER LOSS , ขนาดเล็ก , ราคา ต่ำ
- 5) ผลของ OUTPUT DISTORTION น้อย

วิธีการของ POWER SWITCHING ซึ่งมีหลายวิธีสามารถที่จะควบคุมแรงดันใน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 INVERTOR 1 PHASE
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ชนิดของวงจร FILTER

4.2.1 แบ่งตามอุปกรณ์ในการสร้าง

1. วงจรกรองความถี่ชนิด ACTIVE คือ วงจรกรองความถี่ที่ใช้อุปกรณ์ประเภท OP-AMP และ ELECTRONICS เช่น R , L และ C

ลักษณะที่สำคัญของวงจรกรองความถี่แบบ ACTIVE

1. ต้นทุนต่ำ
2. วงจรกรองความถี่ชนิดแอกทีฟมีอิมพีแดนซ์ทางค่านสัญญาณเข้าสูง ส่วน impedance ทางค่านสัญญาณออกต่ำ ทำให้ง่ายต่อการนำมาต่ออนุกรมกับวงจรอื่น
3. สามารถทำให้เกิดการขยายสัญญาณ หรือลดทอนสัญญาณได้ง่ายจึงทำให้เหมาะสมที่จะนำเข้าไปประกอบเข้าไปในระบบที่สร้างขึ้นมา อีกประการหนึ่งยังสามารถปรับความถี่ที่ต้องการได้กว้างโดยที่รูปร่างของการตอบสนองความถี่ยังไม่เปลี่ยนแปลง
4. มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ปัญหาเรื่องการซีลด์ และการคัพปลิงมีน้อย แต่ในงานบางอย่าง ไม่สามารถจะใช้วงจรกรองความถี่ชนิดแอกทีฟได้ เช่น เกี่ยวกับสีกคาขนาดสูง ๆ เป็นต้นจึงต้องให้มา ใช้ประเภท Passive และ วงจรประเภทแอกทีฟก็พัฒนามาจากประเภท Passive เช่นกัน

2. วงจรกรองความถี่ชนิด Passive คือ วงจรกรองความถี่ที่ใช้อุปกรณ์ประเภท ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และคอยล์ หรือโอ๊ค (CHOKE) ประกอบเข้าด้วยกัน ในปริตฤณานิพจน์นี้ได้ใช้วงจรกรองความถี่แบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

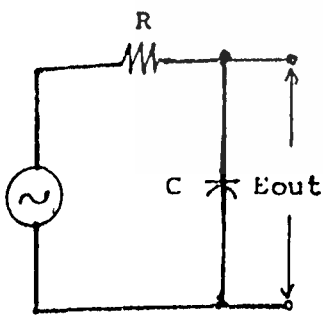
4.2.2 แบ่งตามโครงสร้างของกราฟที่ได้จากการ PLOT

วงจรรองความถี่แบ่งตามโครงสร้างของกราฟที่ได้จากการพลอตขึ้นมา จากการตอบสนองความถี่ของวงจรรองความถี่จะแบ่งได้ดังนี้

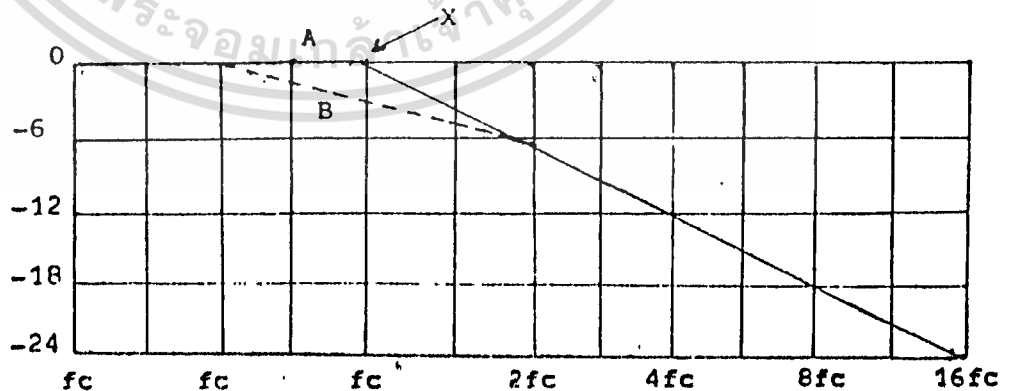
1. วงจรรองความถี่ชนิดยอมให้ความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass filter)
2. วงจรรองความถี่ชนิดยอมให้ความถี่สูงผ่าน (High-pass filter)
3. วงจรรองความถี่ชนิดยอมให้ช่วงความถี่ผ่าน (Band-pass filter)
4. วงจรรองความถี่ชนิดที่ไม่ยอมให้ช่วงความถี่ผ่าน (Band-reject filter)

1. วงจรรองความถี่ชนิดยอมให้ความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass filter)

วงจรรองความถี่ชนิดยอมให้ความถี่ต่ำผ่าน มีคุณสมบัติยอมให้ความถี่ต่ำผ่านส่วนความถี่สูงจะถูกลดทอนไปเรื่อย ๆ วงจรเป็นดังรูปที่ 4.1 (a)



(a)



(b)

4.1 (a) วงจรรองความถี่ชนิดยอมให้ความถี่ต่ำผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4.2 (b) คุณสมบัติของวงจรรองความถี่ต่ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1(a) เป็นวงจรความถี่ชนิดขอมให้ความถี่ต่ำผ่านส่วนเดียวเท่านั้น (single-stage) ซึ่งประกอบด้วย R ต่ออนุกรมอยู่กับ C วงจรนี้จะทำการลดทอนสัญญาณที่สูงกว่าจุดความถี่คัทออฟ (คือจุด x ในรูป b) ลงเรื่อย ๆ ด้วยอัตรา 6 dB/octave หรือ 10 dB/decade ส่วนความถี่ที่ต่ำกว่าจุดความถี่คัทออฟวงจรตรงความถี่ชนิดนี้ขอมให้ผ่านได้โดยไม่ถูกลดทอนเลย ในทางทฤษฎีแล้วการตอบสนองความถี่ของวงจรตรงความถี่ชนิดที่ขอมให้ความถี่ต่ำผ่านจะเริ่มลดทอนหลังจุด X (corner frequency) ลงมาเรื่อย ๆ ดังกราฟรูป A แต่ในทางปฏิบัติจริง ๆ แล้วจะได้กราฟดังรูป B ดังนั้นในทางปฏิบัติจะคิดจุดความถี่คัทออฟที่อัตราการขยายในส่วนความถี่ต่ำลดลงมา 3 dB

ที่ความถี่ใด ๆ $E_{out} = X_c (E_{in}/Z)$

phase shift (ϕ) = $90^\circ - \arctan (X_c/R)$

และ corner frequency หาได้จาก

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4-1)$$

เมื่อ f_c เป็นความถี่ที่เกิดการหักมุม (corner frequency) มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

R เป็นค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจรมีหน่วยเป็นโอห์ม

C เป็นค่าคาปาซิเตอร์ที่ร่วมกับ R ในวงจรมีหน่วยเป็นฟารัด

ตัวอย่างการออกแบบ

ต้องการวงจรตรงความถี่ชนิดที่ขอมให้ความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งมีความถี่คัทออฟอยู่ที่ 1

กิโลเฮิรตซ์ โดยใช้เพียงส่วนเดียว

วิธีการออกแบบ

$$f_c = \frac{1}{2 \pi RC}$$

$$RC = \frac{1}{2 \times \pi \times 1000}$$

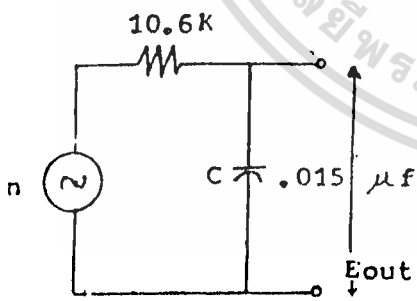
ในทางปฏิบัติแล้วค่าของคาบรีเตอร์มีให้เลือกน้อยกว่าค่าความต้านทาน ดังนั้นจึงเลือกค่าคาบรีเตอร์ก่อนในที่นี้เลือก

ตั้งให้

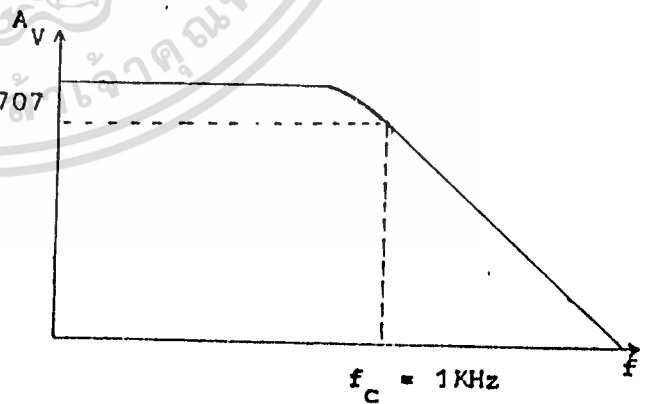
$$C = 1.5 \times 10^{-8} \text{ F}$$

$$R = 10.6 \times 10^3 = 10.6 \text{ K}$$

วงจรที่ใช้งานเป็นดังรูปที่ 4.2 พร้อมทั้งการตอบสนองความถี่ของวงจร



(a)



(b)

(a) วงจรกรองความถี่ชนิดหอยให้ความถี่ต่ำผ่านที่มีจุดความถี่คัทออฟอยู่ที่ 1 กิโลเฮิรตซ์

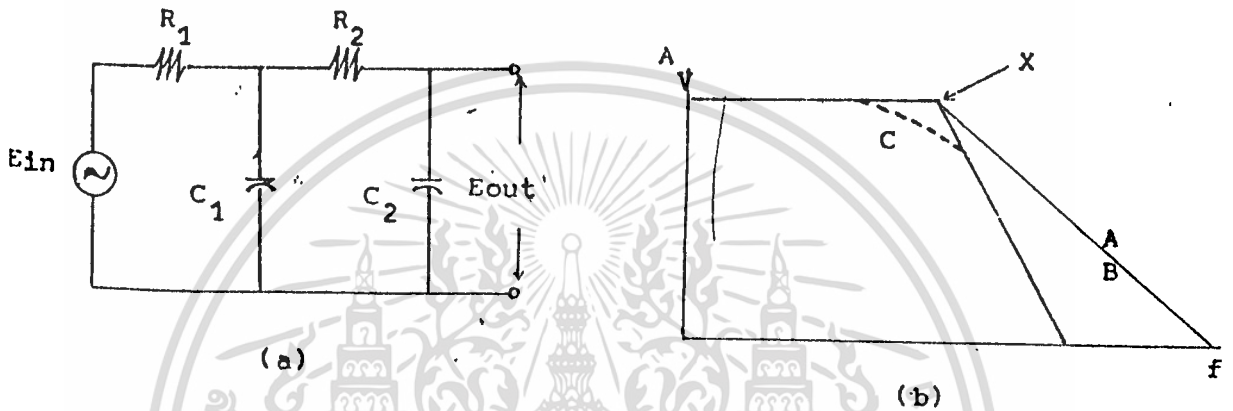
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

(b) การตอบสนองความถี่ของวงจร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรกรองความถี่ชนิดที่ขอมให้ความถี่ต่ำผ่านสองส่วน

วงจรกรองความถี่ชนิดที่ขอมให้ความถี่ต่ำผ่าน สามารถนำมาต่ออนุกรมเข้าด้วยกันได้ เพื่อทำให้ประสิทธิภาพของวงจรในการกรองความถี่ยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 4.3



- (a) วงจรกรองความถี่ชนิดที่ขอมให้ความถี่ต่ำผ่านต่อกัน 2 ส่วน
- (b) การตอบสนองความถี่ของวงจร

จากรูปที่ 4.3(a) ถ้า $R_1 = R_2$ และ $C_1 = C_2$ จะเห็นว่าจุดความถี่คัทออฟทั้ง 2 ส่วน มีค่าเท่ากันและอัตราความชันของสโลปจะเท่ากันคือ 6 dB/octave ดังกราฟรูป A เมื่อนำเอาวงจรทั้งสองมาต่ออนุกรมเข้าด้วยกัน อัตราความชันของสโลปจะกลายเป็น 12 dB ดังกราฟรูป B ซึ่งมีความชันมากกว่าวงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ความถี่ต่ำผ่านเพียงวงจรเดียวเป็นเหตุให้สัญญาณถูกลดทอนมากขึ้น ส่วนกราฟรูป C เป็นกราฟที่แสดงถึงการตอบสนองความถี่ของวงจรที่ใช้งานจริง

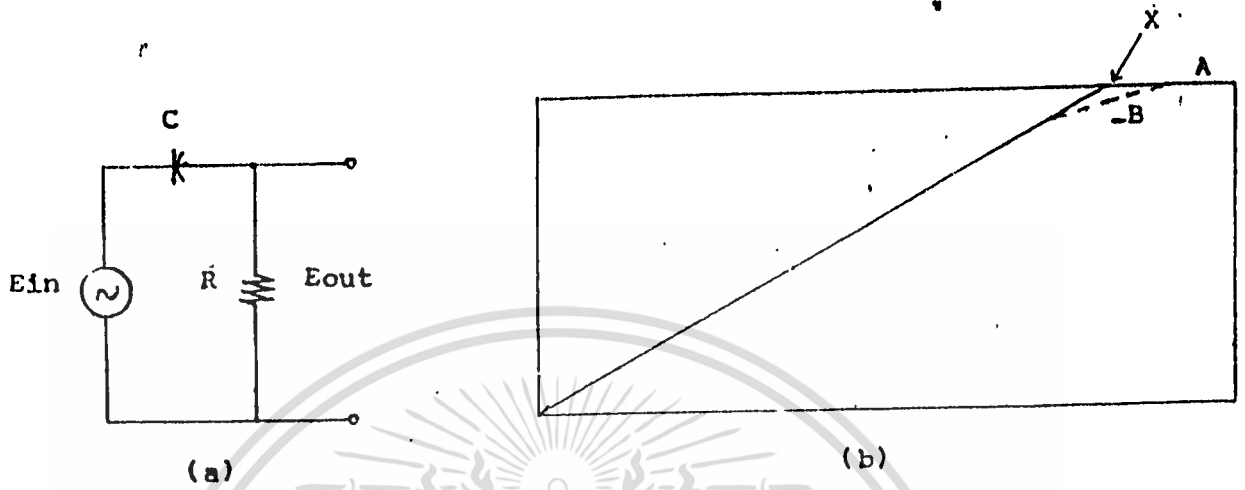
3. วงจรกรองความถี่ชนิดที่ขอมให้ความถี่สูงผ่าน (High pass filter)

วงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ความถี่สูงผ่านจะมีคุณสมบัติตรงข้ามกับวงจรกรองความ

ถี่ชนิดขอมให้ความถี่ต่ำผ่านคือ จะขอมให้ความถี่สูงกว่าความถี่คัทออฟผ่านไปได้แก่ความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
กว่าความถี่คัทออฟ (CUT OFF) จะถูกลดทอนลง ส่วนความชันของสโลปยังคงมีค่าเท่ากัน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

คือ 6 dB/octave ลักษณะวงจรและการตอบสนองความถี่ของวงจรเป็นดังรูปที่ 4.4



- (a) แสดงวงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ความถี่สูงผ่าน
- (b) การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ความถี่สูงผ่าน และที่ความถี่ใด ๆ

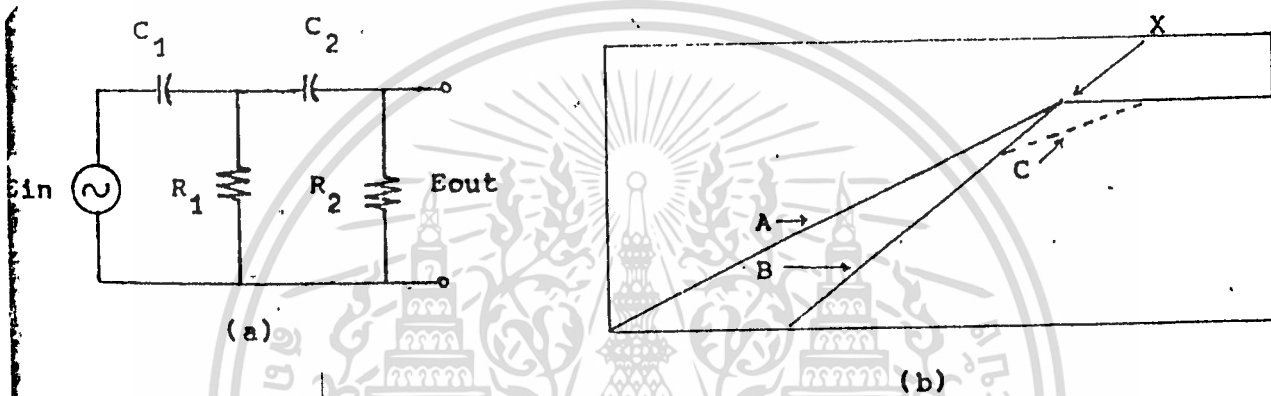
$$E_{out} = X_c (E_{in} / Z)$$

$$\theta = \arctan (X_c / R)$$

$$f = \frac{1}{2 \pi RC}$$

4. วงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ความถี่สูงผ่านสองส่วน

วงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ความถี่สูงผ่านแต่ละส่วนสามารถนำมาต่อกันได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 2 เช่นกัน โดยที่เมื่อนำมาต่อกันแล้วค่าความชันของกราฟที่แสดงการตอบสนองความถี่จะเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับกรณีของการนำเอาวงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ความถี่ต่ำผ่านมาต่อเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 4.5



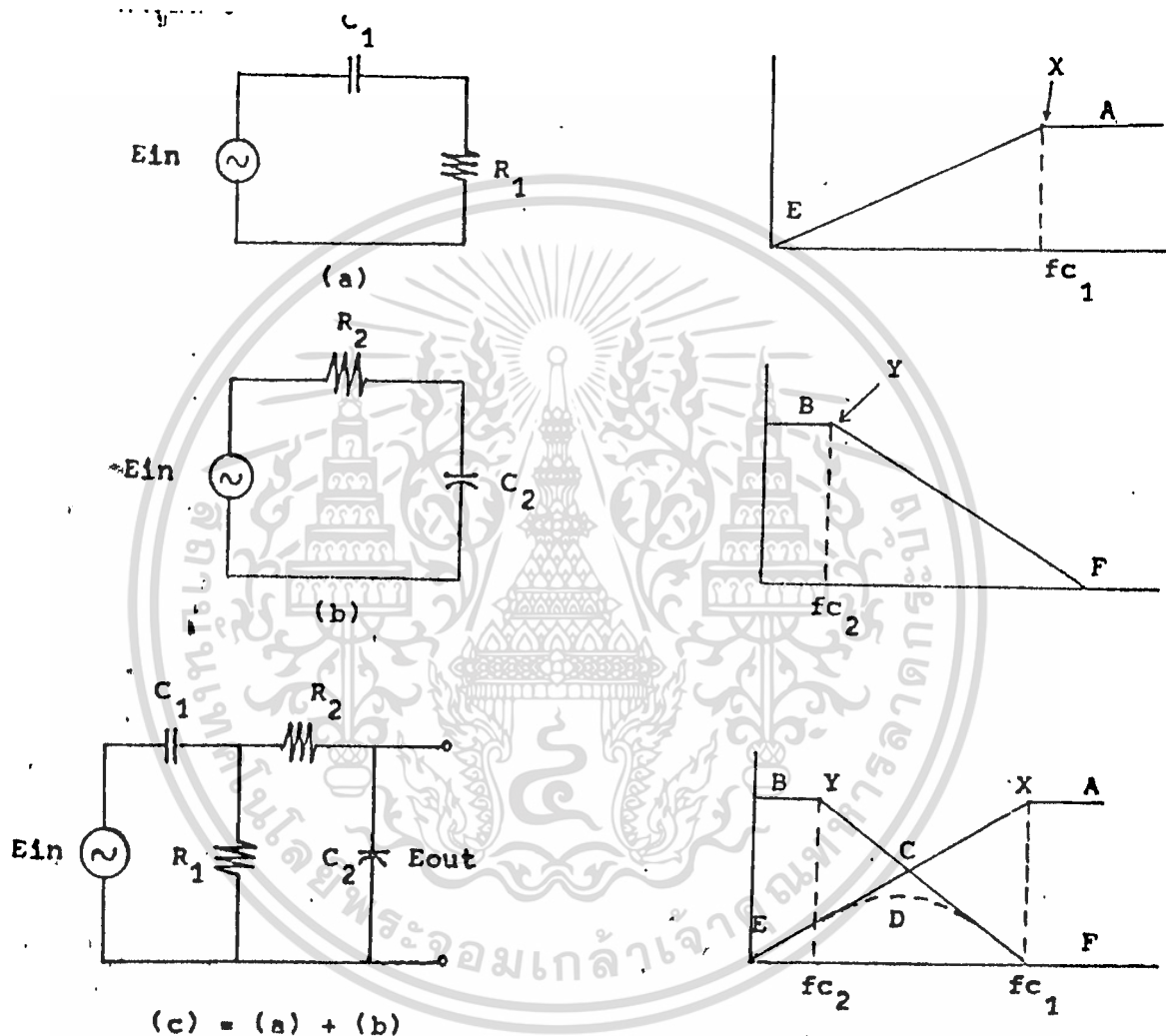
- (a) เป็นวงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ความถี่สูงผ่านสองส่วน
- (b) การตอบสนองความถี่ของวงจรรูป (a) เมื่อ
 - A เป็นการตอบสนองความถี่ของวงจรเมื่อเป็นแบบส่วนเดียว
 - B เป็นการตอบสนองความถี่ของวงจรเมื่อเป็นแบบสองส่วนและ $C_1 = C_2$
 $R_1 = R_2$
 - C เป็นการตอบสนองความถี่ของวงจรเมื่อเป็นแบบสองส่วนที่เป็นในทางปฏิบัติ

5. วงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ช่วงความถี่ผ่าน (Band pass filter)

วงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ช่วงความถี่ผ่าน มีคุณสมบัติให้ช่วงความถี่ช่วงใดช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สร้างไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สงวนลิขสิทธิ์ในประการใดๆ
 หนึ่งผ่านไปเท่าที่เห็นว่าเหลือจะถูกคัดลอก วิธีสร้างวงจรนี้ทำได้โดยนำวงจรกรอง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ชนิดขอมให้ความถี่ต่ำผ่านต่ออนุกรมเข้ากับวงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ความถี่สูง
ผ่านดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6

- (a) วงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ความถี่สูงผ่าน
- (b) วงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ความถี่ต่ำผ่าน
- (c) วงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ช่วงความถี่ผ่าน

จากรูปที่ 4.6 (a) เป็นวงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ความถี่สูงผ่าน โดยมีความถี่คัทออฟที่ f_{c1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(กจุด x) และ (b) เป็นวงจรกรองความถี่ชนิดขอมให้ความถี่ต่ำผ่านโดยมีความถี่คัทออฟที่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f_{c_2} (ที่จุด y) เมื่อนำเอาวงจรทั้งสองมาต่อกันเข้าดังรูป C กราฟรูป AE และ BF จะตัดกันที่จุด C ดังนั้นจะเห็นว่าความถี่ผ่านได้จะอยู่ภายใต้เส้น ECF เท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติคือกราฟ D นั้นเอง จะเห็นว่าความถี่ของช่วงความถี่ผ่านได้ขึ้นกับ f_{c_1} และ f_{c_2} โดยที่ประมาณได้ว่าช่วงความถี่ยอมให้ผ่านได้คือ $f_{c_2} - f_{c_1}$

4.2.3 แบ่งตามชนิดของการต่ออุปกรณ์ LC

1) LOWPASS LC FILTER

เป็น filter ที่มีรูปแบบง่ายที่สุดประกอบด้วย L กับ C แสดงดังรูป โดยมี cut-off ความถี่ให้อยู่ใต้ harmonic ต่ำที่สุด

โดยจะกรองความถี่ที่ไม่ต้องการออก ค่าของ L กับ C นั้น จะขึ้นอยู่กับ การพิจารณา Fundamental Filter และ load ของภาค inverter ด้วย ถ้า L ใหญ่ C มีค่าน้อย ๆ จะทำให้ regulation ไม่ดี และทำให้ loading ของ inverter ลดลง แต่ถ้า L มีค่าน้อย และ C มีค่ามาก จะทำให้ regulation ดี แต่เพิ่ม loading ของ inverter ในทั้ง 2 กรณี จะเป็นผลต่อ inverter rating เพื่อที่จะปรับให้เป็นที่ต้องการให้ได้

ในวงจรกรองความถี่ฮาร์โมนิกที่เอาท์พุท ของวงจรชาน์เนลเฟออินเวอร์เตอร์ จะใช้ วงจรกรองความถี่อย่างง่าย แบบวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) ซึ่งจะประกอบด้วย L และ C ทั้งนี้เนื่องจากเทคนิค SPWM สามารถกำจัดฮาร์โมนิก อันดับต่ำ ๆ ให้หมดไปคงเหลือแต่ฮาร์โมนิกเด่น ๆ ตั้งแต่อันดับประมาณที่ 80 ขึ้นไป ซึ่งจะเป็นจำนวน เท่าของอัตราส่วนการมอด หรือที่อันดับ $2N - 1$ ($N =$ อัตราส่วนการมอด) โดยวงจรกรองความถี่จะถูกจุดที่ความถี่คัตออฟ (cut off) ที่ฮาร์โมนิก อันดับต่ำสุดที่เกิดขึ้น ทำให้สามารถใช้ค่า L และ C ในวงจรกรองความถี่ ให้มีขนาดเล็กได้

2) Series-parallel turned filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลเสียประการสำคัญของ simple LC filter คือ เป็นการเพิ่ม regulation ในส่วนที่อนุกรมอยู่ และลด loading ของ inverter ในส่วนที่ขนาน

พิจารณาจากรูป ส่วนที่อนุกรมกันนั้น ประกอบด้วยวงจร resonance และ ส่วนขนานประกอบด้วยวงจร resonance ซึ่งสามารถที่จะใช้ปรับความถี่ fundamental ได้

ส่วนที่อนุกรมกันนั้น ควรให้ X_L สูง เพื่อที่จะให้ harmonic สูงขึ้น เป็นผลที่ การที่มี regulation ดี และการลดลงของภาวะ load of inverter

filter นี้ สามารถที่จะปรับปรุงให้ดีกว่า lowpass LC filter แบบ แรกนั้น โดยด้าน fundamental frequency ส่วน order ที่สูง ๆ ขึ้นไปจำเป็น เหมือน ๆ กัน ของ LC filter

ส่วนผลเสียของ filter แบบนี้ คือ

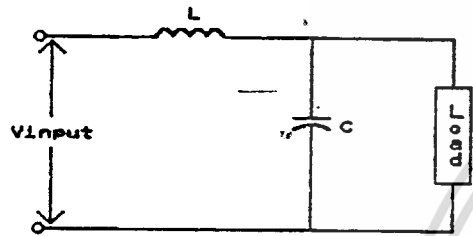
- ผลของ transient ต่ำ
- ราคาแพงขึ้น เพราะว่าต้องมีส่วนต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้นในการปรับความถี่ fundamental

3) Trap Filter

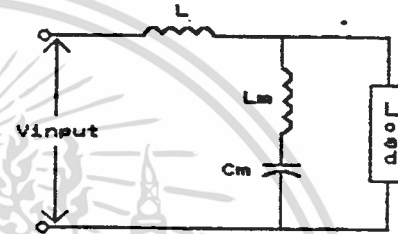
ประกอบด้วย LC resonances circuit เพื่อที่จะปรับความถี่ของ harmonic ที่ต่ำที่สุด โดยใช้ส่วนที่ต่อขนานอยู่

series choke จะต้องทำให้ต่ำที่สุดเพื่อที่จะทำให้ voltage regulation และ transient response ดี shunt trap จะต้องปรับ f ให้สูงกว่า f (fundamental) จะทำให้ VA มีค่าต่ำ โดยวิธีนี้จะลดค่าใช้จ่าย, ขนาด filter และการสูญเสียของ filter ลง และปราศจากข้อเสียของ fundamental loading และ regulation

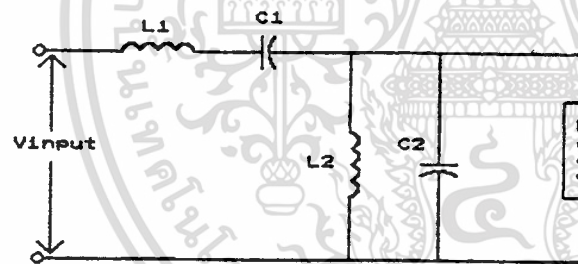
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Lowpass LC Filter



Trap Filter



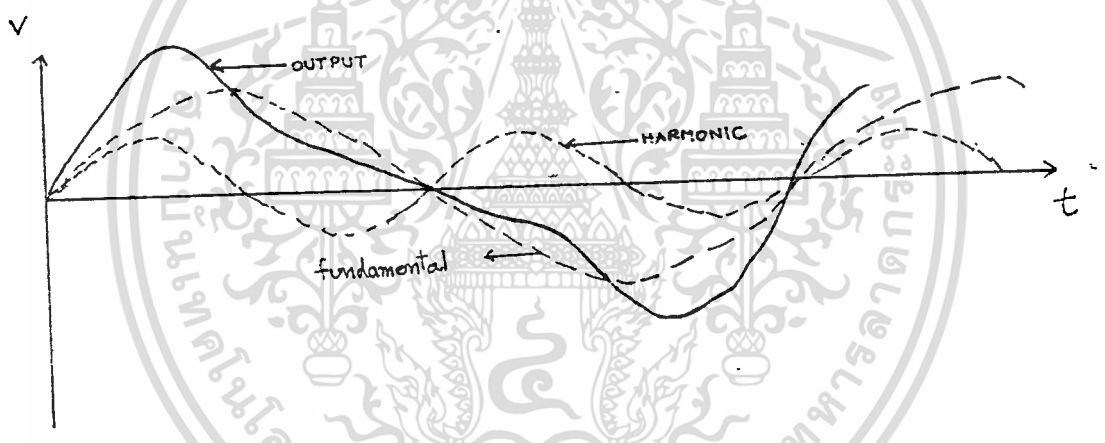
Series-Parallel tuned Filter

Filter Configurations

ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบขั้วกรองแบบ FILTER โดยทั่วไป

จากพื้นฐานที่ว่าคลื่นต่าง ๆ ประกอบด้วยคลื่นที่มีลักษณะรูปไซน์ที่มีความถี่ฮาร์มอนิกอื่น
ต่าง ๆ ผสมกันอยู่ไม่ว่าจะเป็นคลื่นรูปสามเหลี่ยม, สี่เหลี่ยม (Square Wave) หรือแม้
กระทั่งคลื่นที่มีลักษณะรูปสี่เหลี่ยมเอม ซึ่งคลื่นรูปสี่เหลี่ยมเอมนี้มีฮาร์มอนิกหลายอันดับที่กลาย
เป็นศูนย์ไป ซึ่งขนาดของฮาร์มอนิกจะมีค่าลดลงเมื่ออันดับของฮาร์มอนิกมีค่าเพิ่มขึ้นสามารถ
เขียนสมการทั่วไปของคลื่นได้ ดังนี้

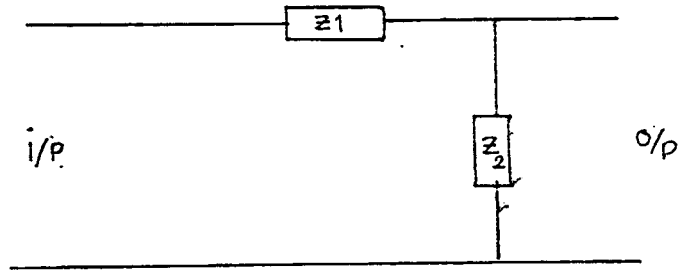
$$v = V_1 \sin(\omega t + \phi_1) + V_2 \sin(2\omega t + \phi_2) + V_3 \sin(3\omega t + \phi_3) + \dots$$



รูป 4.7 แสดง ลักษณะคลื่นของแรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่มีฮาร์มอนิกส์

แม้ว่าคลื่นรูปสี่เหลี่ยมเอมจะมีฮาร์มอนิกในอันดับสูง ๆ แต่เพื่อจะทำให้คลื่นขาออก
เป็นคลื่นรูปไซน์จริงๆจึงต้องกำจัดฮาร์มอนิกอื่น ๆ ทิ้งไปโดยใช้วงจรกรองความถี่ซึ่งมีหลัก
การดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

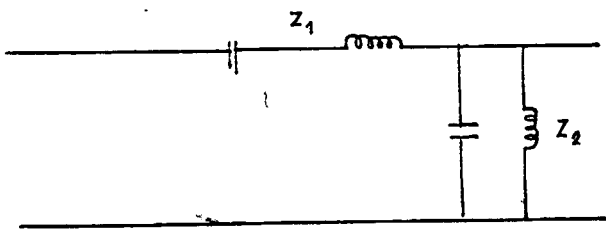


รูป 4.8 รูปสมมุติของวงจรรองความถี่

ที่ความถี่หลักจะต้องทำให้ค่า $Z_1 \rightarrow 0$ และ $Z_2 \rightarrow \infty$ เพื่อให้คลื่นที่มีความถี่หลักผ่าน Z_1 มาได้สะดวก โดยไม่มีแรงดันตกคร่อม Z_1 เลยและไม่ให้มีกระแสของคลื่นที่มีความถี่หลักไหลเข้าไปใน Z_2 ได้ สำหรับคลื่นที่เป็นฮาร์มอนิกจะทำให้ค่า $Z_1 \rightarrow \infty$ และค่า $Z_2 \rightarrow 0$ เพื่อไม่ให้กระแสฮาร์มอนิกผ่าน Z_1 มาได้และถ้ามีกระแสฮาร์มอนิกผ่านมาได้บ้างก็จะทำการลัดวงจรด้วย Z_2 ไปฉะนั้นคลื่นที่ผ่านวงจรรองความถี่ออกมาได้จึงเป็นคลื่นที่เฉพาะความถี่หลักเท่านั้น

ทฤษฎีแนวทางการสร้างวงจรรองความถี่โดยทั่วไป

สำหรับ Z_1 จะใช้ L และ C ต่ออนุกรมกัน ส่วน Z_2 จะใช้ L และ C ต่อขนานกัน เราสามารถหาความสัมพันธ์ของค่า L และ C ได้ดังนี้



รูป 4.9 แสดงวงจรรองความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \\
 &= j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) \\
 &= j(\omega^2 LC - 1) / \omega C
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_2 &= \frac{j\omega L \cdot (j\omega C)^{-1}}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} \\
 &= \frac{L/C}{j(\omega^2 LC - 1) / \omega C} \\
 &= -jL \cdot \frac{\omega C}{(\omega^2 LC - 1)} \\
 &= \frac{-j\omega L}{(\omega^2 LC - 1)}
 \end{aligned}$$

เราเรียกความถี่หลักนี้ว่า ความถี่รีโซแนนซ์ (Resonance) จากข้อกำหนดเดิมที่ว่า ค่าอิมพีแดนซ์ Z_1 มีค่าเท่ากับศูนย์ที่ความถี่หลักที่ค่า L และ C เดียวกัน ใน Z_1 นี้จะมีค่าอิมพีแดนซ์เป็นค่ามาก ๆ ที่ความถี่สาร์โมนิกอันดับสูง ๆ และอิมพีแดนซ์ Z_2 มีค่าเป็นอนันต์ (Infinite) ที่ความถี่หลัก แต่จะมีค่าลดลงเหลือไม่กัโห้ที่ความถี่สาร์โมนิกอันดับสูง ๆ

พิจารณาค่า L และ C ที่ความถี่หลักหรือความถี่รีโซแนนซ์ ได้ดังนี้

$$Z_1 = \bullet = \frac{j(\omega^2 LC - 1)}{\omega C} ; \text{ เมื่อ } \omega_r = 2\pi f_r$$

$$\omega_r C$$

$$\bullet = \omega_r^2 LC - 1$$

$$1/\omega_r^2 = LC$$

$$1/\omega_r = \sqrt{LC}$$

$$1/2\pi f_r = \sqrt{LC} ; \text{ เมื่อ } f_r \text{ เป็นความถี่รีโซแนนซ์}$$

พิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่ออนุกรม : Z_1 ที่ความถี่ฮาร์มอนิกอันดับที่ n

$$\text{จาก } Z_1 = \frac{j(\omega^2 LC - 1)}{\omega C}$$

$$\omega = 2\pi n f_r$$

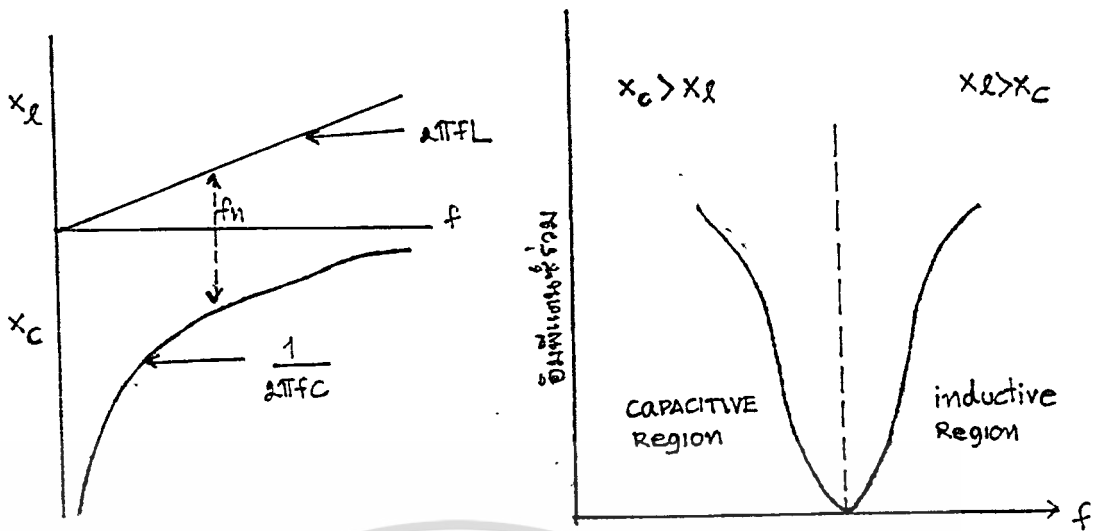
$$= n\omega_r$$

$$Z_1 = \frac{j(n^2 \omega_r^2 LC - 1)}{n\omega_r C}$$

$$Z_1 = \frac{j(n\omega_r L - \frac{1}{n\omega_r C})}{n\omega_r C}$$

$$n\omega_r C$$

ฉะนั้นในส่วนของอิมพีแดนซ์ที่ต่ออนุกรม : Z_1



รูป 4.10 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความถี่กับค่า อิมพีแดนซ์

ที่ความถี่เรโซแนนซ์ f_r จะมีค่า $X_L = X_C$ แต่ค่าแรงดันที่ตกคร่อม L และคร่อม C จะมีลักษณะต่างเฟสกัน 180 องศา ทำให้แรงดันรวมเป็นศูนย์ และมีความถี่ฮาร์มอนิกอันดับสูง ๆ จะเห็นว่า ในสมการ X_L จะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ X_C มีค่าลดน้อยลง

พิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่อขนาน : Z_e ที่ความถี่ฮาร์มอนิกอันดับที่ n

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } Z_e &= \frac{-j\omega L}{(\omega^2 LC - 1)} \\
 &= \frac{-jn\omega_r L}{(n^2 \omega_r^2 LC - 1)} \\
 &= \frac{-j}{(n\omega_r C - \frac{1}{n\omega_r L})} \\
 &= \frac{j}{(\frac{1}{n\omega_r L} - n\omega_r C)}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

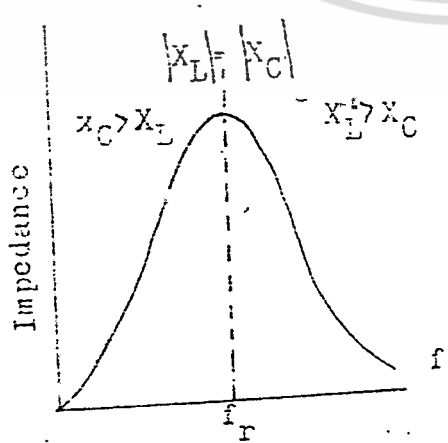
$$= \frac{-1}{j(\frac{1}{nw_r L} - nw_r C)}$$

$$= \frac{1}{j(nw_r C - \frac{1}{nw_r L})}$$

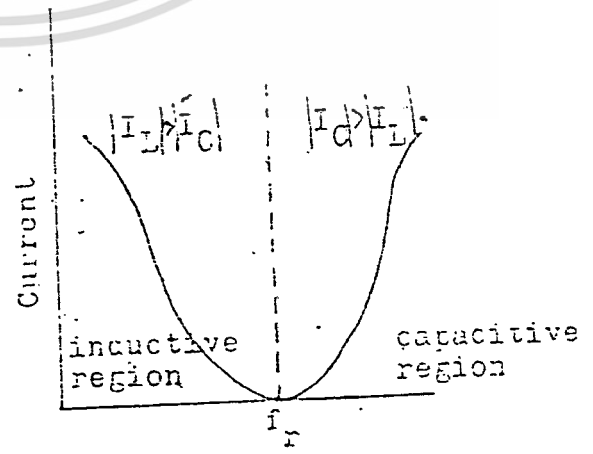
ที่ฮาร์โมนิกอันดับสูง ๆ ค่า $nw_r C$ จะเพิ่มขึ้นมาก ในขณะที่ค่า $\frac{1}{nw_r L}$ จะลดลงมาก
 ฉะนั้นจึงทำให้อิมพีแดนซ์ Z_e มีค่าลดลง เมื่อฮาร์โมนิกมีอันดับสูงขึ้น $nw_r L$
 ในส่วนของอิมพีแดนซ์ที่ต่อขนาน : Z_e



รูป 4.11 แสดง current - phasor diagram ที่ความถี่เรโซแนนซ์



4.12



4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.12 แสดง impedance response curve

รูป 4.13 แสดง current response curve

ที่ความถี่รีโซแนนซ์ f_r จะทำให้อิมพีแดนซ์มีค่าเป็นอนันต์ ทำให้ไม่มีกระแสไหลเข้าไปในวงจรขนานเลย แต่สำหรับที่ความถี่ฮาร์มอนิกอันดับสูง ๆ จะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์รวมลดลงมาก จึงมีกระแสฮาร์มอนิกไหลเข้าไปใน Z_2 มาก จะเห็นได้จากรูปที่ 4.13 ว่า เส้นโค้งของกระแสจะอยู่ในช่วง Capacitive Region แต่จากการที่ฮาร์มอนิกถูกอิมพีแดนซ์ Z_1 (ซึ่งจะมีค่ามากที่ฮาร์มอนิกอันดับสูง ๆ) ลดทอนกระแสลงให้เหลือน้อยมากแล้ว จึงทำให้กระแสส่วนน้อยที่เหลือรอดออกมาได้นั้นไหลลงไปใน Z_2 เกือบทั้งหมด แต่กระแสในส่วนคลื่นหลักจะไหลผ่าน Z_1 ได้สะดวกและจะไม่ไหลเข้ามาใน Z_2 เลย ฉะนั้นหลังจากที่นำ Z_1 และ Z_2 มาต่อในวงจรรองความถี่แล้ว จะทำให้ได้คลื่นขาออกเป็นคลื่นรูปไซน์ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตพอดี

ในวงจรรองความถี่นี้จะทำให้แรงดันขาเข้าและขาออกมีเฟสตรงกันพอดี แต่มีจุดที่ไม่เกิดรีโซแนนซ์กันนั้นจะทำให้เกิดการ Leading หรือ Lagging แล้วแต่กรณีของความถี่ว่าจะมากกว่าหรือน้อยกว่าความถี่รีโซแนนซ์

แรงดันจากอินเวอร์เตอร์จะประกอบด้วยแรงดันที่มีความถี่หลัก : V_1 และแรงดันที่เป็นฮาร์มอนิก : V_m, V_n, V_1, \dots ซึ่งจะทำให้มีค่าอาร์เอ็มเอส (rms) รวมดังนี้ $\sqrt{V_1^2 + V_m^2 + V_n^2 + V_1^2 + \dots}$ แต่หลังจากใช้วงจรรองความถี่กรองแรงดันขาออกแล้วจะเหลือเพียง V_1 เท่านั้น ดังนั้นจะได้อัตราส่วนของแรงดันขาออกต่อแรงดันขาเข้าของส่วนวงจรรองความถี่เป็น

$$\frac{V^2}{\sqrt{V_1^2 + V_m^2 + V_n^2 + V_1^2 + \dots}}$$

นั่นคือจะมีแรงดันตกคร่อมวงจรรองความถี่ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\sqrt{V_m^2 + V_n^2 + V_1^2 + V_1^2 + \dots}$$

ซึ่งขนาดของ V_m, V_n, V_1, \dots จะขึ้นอยู่กับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออเดอร์ของวงจรมอดูเลเตอร์

ออเดอร์ (order) หรือ อันดับของวงจรมอดูเลเตอร์ คือ ตัวบ่งบอกความชันของการตอบสนองความถี่ของวงจรมอดูเลเตอร์ วงจรมอดูเลเตอร์ที่ตอบสนองต่อความถี่ได้ชันมากจะมีตัวเลขอันดับที่สูงขึ้น การคิดความชันวัดจากความถี่ที่จุด -3 dB คือที่ f_1 ไปยัง f_2 โดย $f_2 = 2f_1$ หรือ ความถี่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า นั่นเอง รูปที่ 1

ความชันของการตอบสนองวงจรมอดูเลเตอร์ระบุค่าเป็น dB/octave (1 octave (อ่านว่า ออกเตฟ) หมายถึง ความถี่เพิ่มขึ้น 2 เท่า) มีสูตรคำนวณคือ

$$\text{dB/octave} = \frac{[(A_1 - A_2) \text{ dB}]}{[(\log f_2 - \log f_1) / \log 2]}$$

โดยที่อันดับของวงจรมอดูเลเตอร์มีค่าเทียบเท่าความชันดังตาราง

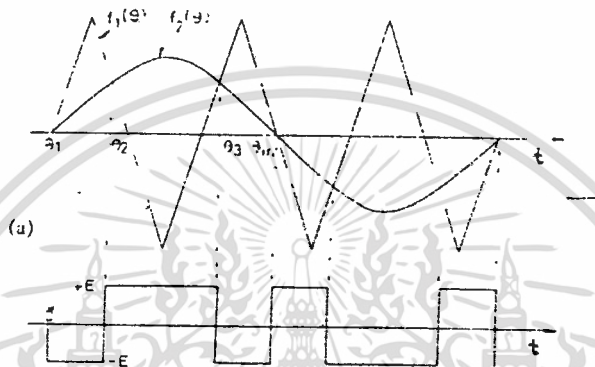
นั่นคือ ยิ่งวงจรมอดูเลเตอร์สูงเท่าใดก็ยิ่งมีความชันมาก การตอบสนองความถี่ก็ใกล้เคียงอุดมคติมากขึ้น วงจรมอดูเลเตอร์ที่มีอันดับต่ำสามารถนำมาต่อกันให้ได้อันดับสูงชันเท่ากับผลบวกของวงจรมอดูเลเตอร์ทั้งสองได้ เช่น วงจรมอดูเลเตอร์อันดับที่ 1 มีความชัน 6 dB/octave นำมา 2 วงจรมอดูเลเตอร์มาต่อกัน ก็จะได้ความชันเป็น 12 dB/octave หรือเทียบเท่ากับวงจรมอดูเลเตอร์อันดับที่ 2

ตาราง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างออเดอร์กับการตอบสนองความถี่

การตอบสนองความถี่	อันดับที่
(dB/octave)	(order)
6	1
12	2
18	3
24	4
30	5
36	6

ทฤษฎีการออกแบบวงจร FILTER ที่ใช้ในปริศยานิตยสาร

รูปแบบของ PWM แบบ 2 ระดับ



รูปที่ 4.14 แสดง การ modulation ของ คลื่นรูปแบบ sin แบบ 2 ระดับ

ให้ $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \dots, \theta_m$ เป็นมุมของจุดตัดของ $f_1(\theta)$ และ $f_2(\theta)$ ดังแสดง
 ในรูป 4.14

$$f_1(\theta) = (e^{-j\theta}) (-1)^j \tag{1}$$

โดยที่	$j=0$	0	$< \theta <$	$\frac{\pi}{2N}$	$2N$
	$j=1$	$\frac{\pi}{2N}$	$< \theta <$	$\frac{3\pi}{2N}$	$2N$
	$j=2$	$\frac{3\pi}{2N}$	$< \theta <$	$\frac{5\pi}{2N}$	$2N$
	$j=N$	$\frac{(2N-1)\pi}{2N}$	$< \theta <$	$\frac{(2N+1)\pi}{2N}$	$2N$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ $f_p(\theta) = Y \sin \theta$ (2)

โดยที่ N คือ frequency ratio และ Y คือ modulation index ซึ่งก็คืออัตราส่วนของแอมพลิจูดของคลื่น \sin ต่อ คลื่น สามเหลี่ยม ดังรูปที่ 4.14(a)

ถ้าเราให้ $m = N+1$

$\theta = 0$

$\theta_m = \pi$

$|Y| < 1$

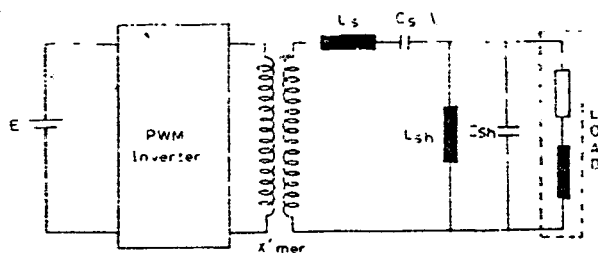
ดังนั้นค่าของ INPUT VOLTAGE V_n ที่เป็นค่าของ rms ที่ HARMONIC ที่ N ของ PWM แบบ 2 ระดับ คือ

$V_n = \sqrt{2} [-\cos n\theta_1 + 2(\cos n\theta_2 - \cos n\theta_3 + \dots + (-1)^m \cos n\theta_m) - (-1)^m \cos n\theta_{m+1}]$ (3)

นพ

ส่วนประกอบที่สำคัญในระบบของวงจร INVERTER และ วงจรกรองความถี่

ส่วนประกอบที่สำคัญ ของ INVERTER คือ ส่วนของ PWM, TRANSFORMER, และ ส่วนของวงจร FILTER ดังแสดงในรูป 4.15



รูปที่ 4.15 แสดง วงจรที่แสดงส่วนต่างๆ ของ ระบบ inverter เพื่อใช้ประโยชน์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน วงจร close LOOP ถูกใช้เพื่อที่จะปรับ PULSEWIDTH ของ output ของ PWM inverter เพื่อที่จะรักษา voltage ที่ตกคร่อม load ให้เป็นปกติ ค่า modulation index จะถูกปรับไปจาก 0.4 ถึง 0.8 เพื่อที่จะปรับ output voltage ให้มีค่าคงที่ในขณะที่เปลี่ยน load ไป การที่ปรับ OUTPUT ของ filter ถูกใช้เพื่อที่จะกรอง output ของ PWM inverter เพื่อที่จะให้ load voltage distortion จาก no load ถึง full load และ power factor ของ load จาก unity ถึง 0.7 lagging โดยที่ distortion ไม่เกิน 5%

การปรับ series และ shunt tuned ของ filter ที่ถูกเลือกโดยพิจารณาจาก

- 1) ส่วนของ tuned filter จะต้องถือว่าไม่คิดส่วนของ load และไม่คิด regulation ที่ ความถี่ fundamental ดังนั้นจะไม่พิจารณาผลของ KVA rating ของ filter และของ INVERTER transformer
- 2) filter สามารถถูกใช้ครอบคลุมในช่วงของ frequency ratio N ได้ใน ด้านของราคา POWER LOSS ขนาด มีอีกข้อผลต่อ KVA rating โดยตรง

ส่วนที่รับจุดประสงค์ของการหาค่า VOLTAMPERE RATING ของ ELEMENT ที่แตกต่างกันจะ ต้องกำหนดให้

- 1) L, C จะต้องเป็น idea (ถือว่า LOSS ประมาณ 0)
- 2) DC source เป็น idea (transient ประมาณ 0)
- 3) กระแส HARMONIC เล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับค่า RMS ของ fundamental ของกระแส ดังนั้น VOLTAMPERE RATING ของแต่ละ component จึงเท่ากับผลคูณของ fundamental RMS voltage และ กระแส fundamental RMS

4) total harmonic distortion ที่ output จะต้องพิจารณาที่ RL load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการคัดค้าน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VOLTAMPERE RATING ของ ส่วน ของ วงจร FILTER

วงจรของ filter ในรูป 4.15 ส่วนของอนุกรมของ filter จะประกอบด้วย L_u และ C_u ขณะที่ ส่วนของที่ขนานในวงจร filter จะประกอบด้วย L_{sh} และ C_{sh} ให้ VA1 และ VA2 เป็น voltampere rating ของส่วนที่อนุกรม และขนาน ตามลำดับ โดยที่ให้ปราศจาก loss และให้เราสมมติว่า output voltage และ output current เท่ากันที่ unity ดังนั้น VA1 และ VA2 จะถูกแทนด้วย

$$VA1 = \omega L_u = \frac{1}{\omega C_u} \quad (4)$$

$$VA2 = \frac{1}{\omega L_{sh}} = \omega C_{sh} \quad (5)$$

โดยที่ให้ ω แทน มุมของความถี่ และ $\omega L_u, 1/\omega C_u$ คือ impedance ของส่วนของวงจรของความถี่ transfer function ในส่วนของ วงจรกรองความถี่ ในรูปของ laplace คือ

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \left[1 + \left(sL_u + \frac{1}{sC_u} \right) \left(\left(sC_{sh} + \frac{1}{sL_{sh}} + \frac{1}{R+sL} \right) \right)^{-1} \right]^{-1} \quad (6)$$

ถ้า แทน $s=jn\omega$ และจากสมการข้างต้น-สามารถแปลงได้เป็น

$$\left| \frac{V_o(n)}{V_i(n)} \right| = \frac{[\{ 1 + (n-1)^2 \cdot VA_1 \cdot VA_2 - \frac{n(n-1/n) \cdot VA \cdot VA_1 \sin \phi \}^2 }{n \cos^2 \phi + n^2 \sin^2 \phi} + \{ \frac{(n-1/n) \cdot VA \cdot VA_1 \cos \phi \}^2 }{n \cos^2 \phi + n^2 \sin^2 \phi} \}^{-1/2}}{n \cos^2 \phi + n^2 \sin^2 \phi} \quad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $V_o(n)$ และ $V_i(n)$ แสดงค่าของ RMS ของ HARMONIC ลำดับที่ n ที่ input และ output ของ filter ตามลำดับ โดยที่ ϕ แทน มุม PULSE WIDTH VA แทน VOLTAMPERE RATING ของ load และ ϕ แทน มุมของ load power factor จะเห็นว่า ค่าของ total harmonic distortion (THD) ของ output สำหรับ pulse width ϕ

$$\text{Dist} = 100 \times \frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_o^2(n)}{\sum_{n=1}^{\infty} V_o^2(n)} \quad (8)$$

จากสมการที่ 7 ทำให้เห็นว่า VOLTAGE HARMONIC ขึ้นอยู่กับ voltampere rating ของส่วนของวงจรองความถี่ จาก สมการ (7) (8) แสดง ค่าที่เป็นไปได้ ของ VA1 และ VA2 เพื่อที่จะอยู่ใน percentage distortion ที่ยอมรับได้ สำหรับ frequency spectrum จากสมการที่ (3) (7) (8) ถูกใช้เพื่อที่จะแปลง คุณสมบัติ ของ ความถี่ spectrum ของรูปแบบของสัญญาณ PWM filter KVA characteristics ถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 4.16 มา plot มาให้แล้วด้วย program harward graphics ในปริศยานี้พบกันได้เสนอค่า 5.5% distortion สำหรับการ เปลี่ยนค่าของ modulation index

FILTER CHARACTERISTIC

A) ที่ NO LOAD

$$VA = 0 : \left| \frac{V_o(n)}{V_{i(n)}} \right| = \frac{1}{1 - (n-1/n^2) VA1.VA2} \quad (9)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่า OUTPUT VOLTAGE DISTORTION สำหรับ INPUT FREQUENCY SPECTRUM จะเป็นฟังก์ชันของ (VA1.VA2) ดังนั้น curve ของ VA1 กับ VA2 จะเป็นเส้นตรงบนกราฟ LOG-LOG SCALE ดังรูป 4.17

B) ที่ FRACTIONAL LOAD

FULL LOAD มิลเตอร์ KVA CHARACTERISTIC หาได้จากสมการ (7) , (8) และ (3) สำหรับ $VA = 1$ ซึ่งกว่านั้นจาก (7) ถ้า VA1 และ VA2 คือคำตอบสำหรับ $VA = 1$ ดังนั้น

$$VA1_{\frac{1}{m}} = mVA1 \text{ และ } VA2_{\frac{1}{m}} = \frac{1}{m} VA2 \quad (10)$$

จะเป็นคำตอบสำหรับ $VA = 1/m$ ด้วย แสดงว่าทุกๆ จุด VA1 , VA2 บน FILTER KVA CHARACTERISTIC สำหรับ RATED LOAD สามารถแปลง (10) เป็นจุด VA1_{1/m} VA2_{1/m} บน FRACTIONAL LOAD FILTER KVA CHARACTERISTIC VA1_{1/m} VA2_{1/m} คือ VOLTAMPERE RATING ของอุปกรณ์ FILTER ซึ่งอ้างถึง RATED VOLTAMPERE ของ LOAD ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่ว่าจะสามารถสร้าง FILTER KVA CHARACTERISTIC ที่ RATED LOAD ที่แสดงในรูป 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

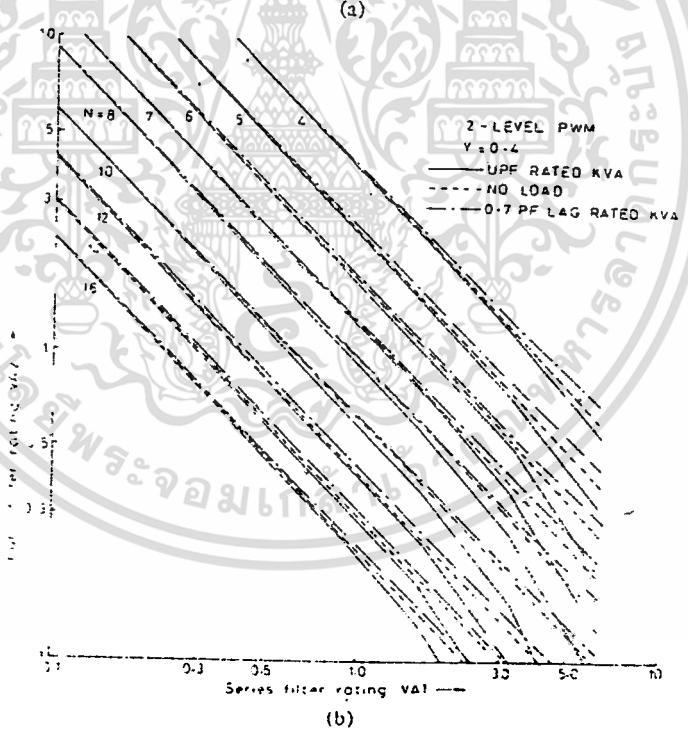
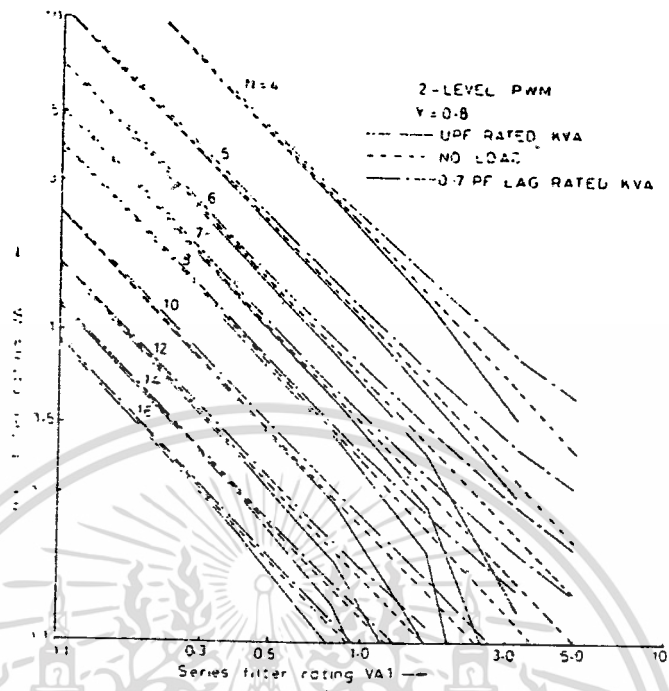


Fig. 4.16: filter kVA characteristics for a two-level PWM waveform with $Y = 0.4$ and 0.8 .

4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASYMPTOTIC NATURE OF THE FILTER KVA CHARACTERISTICS

$$\text{ขณะที่ } VA1 \rightarrow 0 \quad \left| \frac{V_o(n)}{V_i(n)} \right| = \frac{1}{1 - \frac{(n-1)^2}{n} VA1 \cdot VA2} \quad (11)$$

สำหรับ LOAD ทุกชนิด และ POWER FACTOR ทุกค่า FC จะเข้าใกล้ NO-LOAD

FC ขณะที่ $VA1 \rightarrow 0$

ขณะที่ $VA2 \rightarrow 0$

$$\left| \frac{V_o(n)}{V_i(n)} \right| = \left[\frac{\{1 + n(n-1/n)VA1 \cdot VA \sin^2 \phi\}^2 + \{(n-1/n)VA1 \cdot VA \cos^2 \phi\}^2}{\cos^2 \phi + n^2 \sin^2 \phi} \right]^{-1/2} \quad (12)$$

สมการ (12) แสดงว่า $VA1$ เข้าสู่ค่าหนึ่ง ขณะที่ $VA2 \rightarrow 0$ SLOPE ของกราฟ $VA2$ กับ $VA1$ กลายเป็น 90° ขณะที่ $VA2 \rightarrow 0$ อย่างไรก็ตาม ค่า ASYMPTOTIC ของ $VA1$ เป็นฟังก์ชันของทั้ง LOAD และ LOAD P.F

APPROXIMATE FILTER KVA RATINGS

ในกรณีของ PWM INVERTER , HARMONIC หลัก ๆ จะ SHIFT สู่ความถี่สูง ๆ เมื่อ $n \gg 1$ จาก (7) จะได้ $VA1 \cdot VA2 = \frac{1}{n^2} \frac{V_i(n)}{V_o(n)} \quad (13)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (13) แสดงว่าถ้า HARMONIC PREDOMINANT SHIFT เข้าสู่ความถี่สูง ๆ และจากค่า DISTORTION ที่ให้มาทั้ง VA1 และ VA2 สามารถลดลงอย่างหยาบ ๆ ในสัดส่วนโดย ความถี่ของฮาร์โมนิกหลัก ๆ ที่ SHIFTER 2-LEVEL PWM WAVEFORM ต้องการค่า N ประมาณ 2 เท่าของ 3-LEVEL PWM WAVEFORM เพื่อที่จะกำจัดฮาร์โมนิกหลัก ๆ อันดับเดียวกัน ดังนั้น FILTER KVA RATING ในกรณีของ 3-LEVEL PWM จะมีขนาดครึ่งหนึ่งของ 2-LEVEL PWM ขณะที่ FREQUENCY RATION เดียวกัน ความสัมพันธ์โดยประมาณได้จากรูป 4.16

MINIMISATION OF FILTER VOLTAMPERE RATING

จากรูป 4.16 แสดงถึงช่องกว้าง ๆ ของ FILTER KVA RATING ที่สามารถเลือกใช้ได้โดย OUTPUT VOLTAGE DISTORTION 5% ทั้ง ๆ ที่ราคาของอุปกรณ์ FILTER แปรผันตามสัดส่วน KVA RATING อย่างหยาบ ๆ ราคารวมของ FILTER CONFIGURATION ต่ำสุด เมื่อ $(VA1 + VA2)$ ต่ำสุด ซึ่งเกิดจากรูป ได้ว่า KVA RATING สูงสุด เมื่อ MODULATION INDEX ต่ำสุด ซึ่งเกิดขึ้นในขณะ NO LOAD ถ้าเราพิจารณาใน CASE นี้จาก (9) เราได้

$$VA1 \cdot VA2 = \text{CONSTANT} = K \quad (14)$$

$$(VA1 + VA2) \text{ ต่ำสุด เมื่อ } d(VA1 + VA2)/d(VA1) = 0 \text{ ดังนั้น}$$

$$VA1 = VA2 = \sqrt{K} \quad (15)$$

$$(VA1 + VA2)_{\min} = 2\sqrt{K} \quad (16)$$

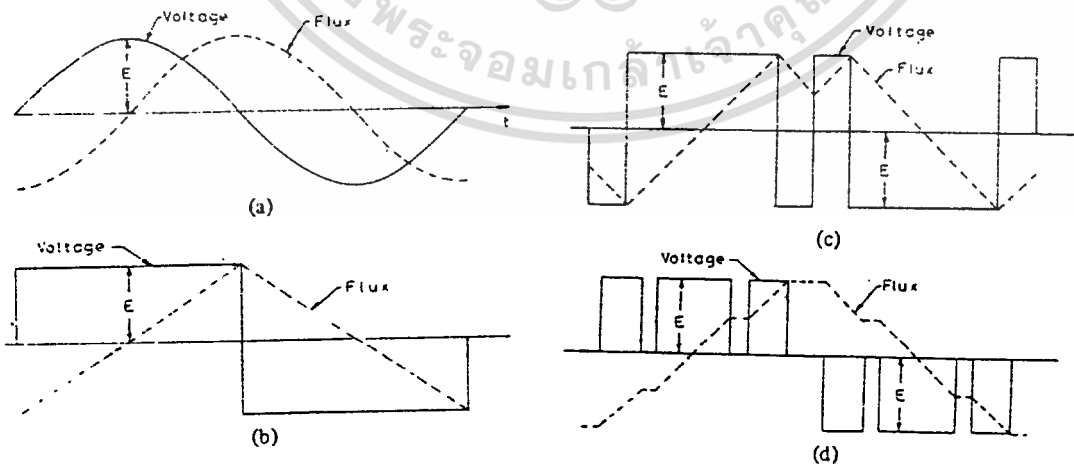
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.16 สังเกตเห็นว่าบริเวณ $VA_1 = VA_2$, FC ที่ VARIOUS LOAD PF. จะใกล้เคียงกับที่ NO LOAD KVA RATING CHARACTERISTIC FREQUENCY RATIO , 3-LEVEL PWM ต้องการ FILTER KVA RATING ต่ำกว่า สำหรับทั้ง 2 กรณี FILTER KVA RATING แปรผกผันกับ FREQUENCY RATION เพราะว่า FREQUENCY RATION เป็นตัวกำหนด HARMONIC NUMBER หลัก

VOLTAMPERE RATING OF INVERTER TRANSFORMER

ที่ความถี่และประสิทธิภาพที่กระแส RMS RATING เป็นการเลือกขนาดของ CONDUTOR ขณะที่ VOLTAGE RATING เลือกขนาดของวงจรแม่เหล็ก

WAVEFORM ของ SECONDARY CURRENT จะใกล้เคียง SINE เพราะว่าคุณสมบัติของ TUNED FILTER และเราสมมติว่ากระแส RATING ของ SECONDARY เท่ากับค่าของกระแส LOAD อย่างไรก็ตาม VOLTAGE APPLIED จาก TRANSFORMER PRIMARY คือ PWM WAVEFORM ดังรูปที่ 4.14



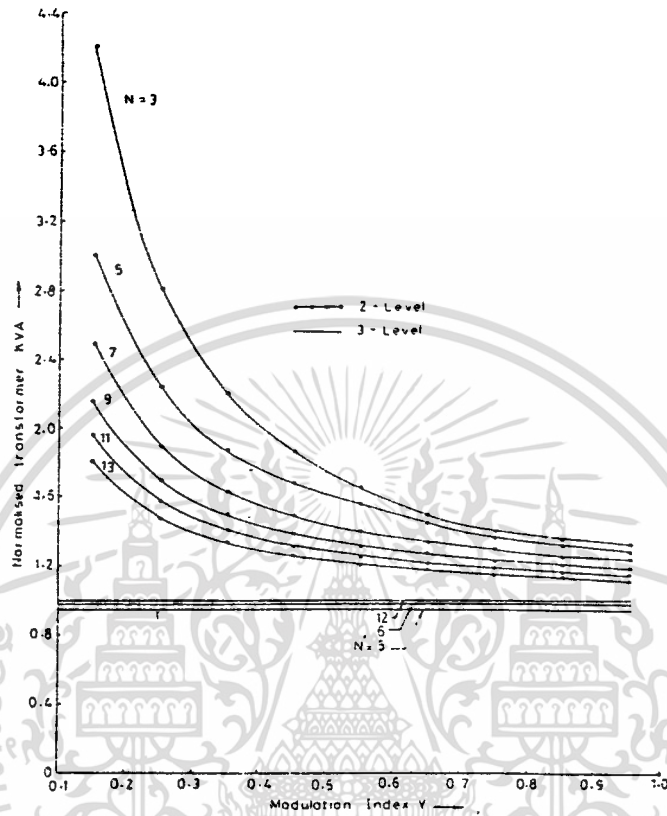
รูปที่ 4.17 แสดง voltage และ flux pattern ใน inverter transformer เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรกรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อแปลงต้องรับไม่เพียงแต่ส่วนประกอบ FUNDAMENTAL แต่รวมถึง HARMONIC ด้วยรูป 4.17 แสดงถึงกรณีเล็กน้อยของ WAVEFORM ของ APPLIED VOLTAGE และ WAVEFORM ของ STEADY-STATE FLUX ใน TRANSFORMER CORE ในตอนหลังจากจากการ INTEGRATING WAVEFORM ของ VOLTAGE จุดต่อจุดและจับคู่ด้วยสภาวะเริ่มต้นในรอบ 1 CYCLE เพื่อที่จะเปรียบเทียบ TRANSFORMER KVA RATING สำหรับในแต่ละกรณีข้างบน เราให้ TRANSFORMER มีค่า FACTOR K_1 เป็น RATIO ของ (VOLT RADIAN PRODUCT) อินทิเกรตเหนือช่วงเวลาที่ FLUX เปลี่ยนจาก 0 ถึงค่า PEAK ถึงยอดของส่วนประกอบของ FUNDAMENTAL ของ WAVEFORM ของ APPLIED VOLTAGE ดังนั้น สำหรับ WAVEFORM INPUT (SINE)

$$K_1 = \int_0^{\pi} \sin \theta \, d\theta = 1 \quad (17)$$

และสำหรับ SQUARE WAVE $K_1 = (\pi/2)/(4/\pi) = 1.234 \quad (18)$

ความหมายของ K_1 คือ KVA RATING ของ INVERTER TRANSFORMER ส่วน SQUARE WAVE EXCITATION ที่ 1.234 เท่าของ (SINUSOIDALLY EXCITED TRANSFORMER) ส่งกำลังงาน FUNDAMENTAL เดียวกัน



รูปที่ 4.18 แสดง Normalized KVA rating ของ inverter transform

สำหรับ 2 และ 3 LEVEL TYPE PWM WAVEFORM เราสามารถหา TRANSFORMER RATING โดยการคำนวณ STEADY-STATE FLUX PATTERN ได้พอดีข้างบน สำหรับ VARIOUS MODULATION INDEX และ FREQUENCY RATIO รูป 4.18 แสดงถึง INVERTER TRANSFORMER NORMALIZED KVA RATING จากลักษณะ เห็นได้ว่า KVA ของหม้อแปลงใกล้เคียง UNITY และมี FREQUENCY RATIO เพิ่มขึ้น เนื่องจากความจริงที่ว่า FREQUENCY RATIO สูง , PWM WAVEFORM จะใกล้เคียง SINEWAVE อย่างไรก็ตามที่ MODULATION INDEX ต่ำ ๆ TP KVA RATING เพิ่มขึ้น เนื่องจาก DISTORTION เพิ่มขึ้น มี PULSEWIDTH ต่ำ ๆ ดังนั้น มี MODULATION INDEX < 0.3 ไม่เหมาะสำหรับ 2-LEVEL PWM INVERTER

VOLTAMPERE RATING ของ INVERTER

ใน SECTION นี้จะบอก KVA RATINGS ของ TRANSFORMER และ FILTER คำนวณจากการสมมติให้วงจร PWM INVERTER ในทางเป็นจริง วงจร THYRISTER POWER มี LIMIT แน่นนอน เพราะว่า SWITCHING LOSSES ในทางเดียวกันต้องการช่วงเวลาต่ำที่สุดระหว่าง COMMUTATION ก่อนหยุด COMMUTATION-RESET COMMUTATION CAPACITOR VOLTAGE NO AVALUE REQUIRED สำหรับ NEXT COMMUTATION ให้ N_c เป็น MAXIMUM NUMBER ของ COMMUTATION ต่อ 1/2 CYCLE แล้ว $T/2 N_c$ เป็นช่วงเวลาต่ำสุดระหว่าง COMMUTATION ซึ่ง T คือ PERIOD ของ OUTPUT WAVEFORM ในกรณีของ PWM รูปแบบ SINE ช่วงเวลาต่ำสุดที่ต้องการเกิดขึ้นระหว่าง 2 PULSEWIDTH สูงสุดมีกำหนด และกำหนดขีดจำกัดสูงสุดของ MODULATION INDEX ลองพิจารณาจะได้ Y_m ในกรณีของ 2-LEVEL PWM

$$Y_m = 1 - \frac{N}{N_c}, \quad N = 5, 9, 13, 17, \dots \quad (19)$$

$$Y_m = 1 - \frac{N}{N_c} \frac{1}{\cos(\pi/N)}, \quad N = 7, 11, 15, 19, \dots \quad (20)$$

$$\text{และ } Y_m = 1 - \frac{N}{N_c} \frac{1}{\cos(\pi/2N)}, \quad N = 4, 6, 8, 10, 12, \dots \quad (21)$$

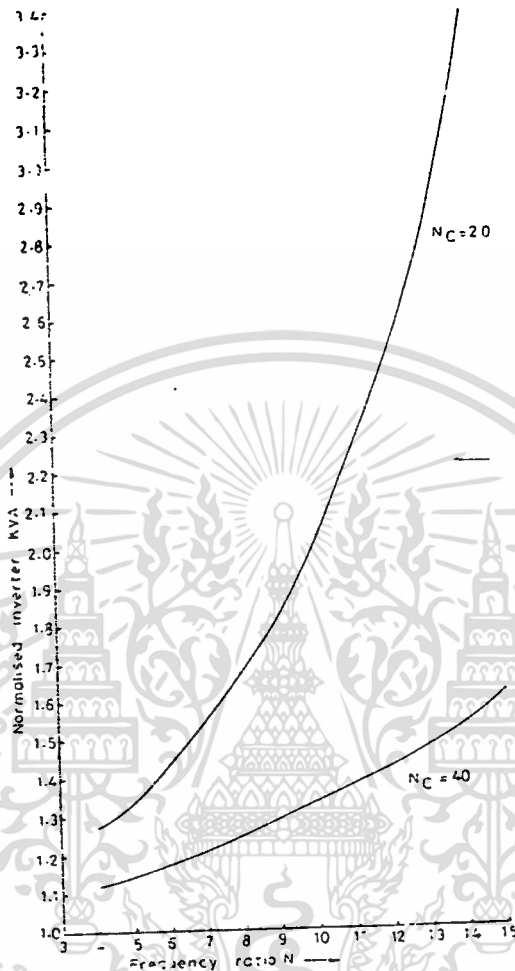
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการข้างต้นแสดงว่าในความเป็นจริง บิดจำกัดบนสุดของ MODULATION INDEX ลดลง ขณะที่ FREQUENCY RATIO (N) เพิ่มขึ้น จากนั้นแสดงว่าสำหรับ DC LINK VOLTAGE เดียวกัน ค่า VOLTAGE OUTPUT RMS ของส่วน FUNDAMENTAL ของ INVERTER ลดลง ขณะที่ค่าของ N เพิ่มขึ้น ขณะที่ $(V_o)_{RMS} = 0.707 Y_m E$ ซึ่ง E คือ DC LINK VOLTAGE ซึ่ง KVA ของ LOAD และ KVA ที่ INVERTER คงที่กระแส RATING ของ INVERTER ของ POWER SWITCHING เพิ่มขึ้น ตามค่าของ N อย่างไรก็ตาม ตาม VOLTAGE RATING ของ POWER SWITCH ขึ้นอยู่กับเพียง DC LINK VOLTAGE และไม่ขึ้นกับ N

กระแส RATING ของ THYRISTOR POWER SWITCHES = $\frac{\text{OUTPUT KVA}}{V_o(rms)}$ (22)

ซึ่ง K_s คือค่าคงที่ Y_m

ดังนั้น NORMALIZED INVERTER เท่ากับ KVA HANDLE โดย PWM POWER SWITCHES พร้อม PULSEWIDTH LIMITATION ทารด้วย KVA ซึ่งควบคุมด้วย IDEAL PWM POWER SWITCHES ซึ่งเท่ากับ $1/Y_m$



รูปที่ 4.19 แสดง Normalized kVA rating ของ PWM inverter

KVA CHARACTERISTIC ของ NORMALIZED INVERTER แสดงในรูป 4.19 เป็นฟังก์ชันของ N และ N_c ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสำหรับค่า N สูง ๆ, INVERTER KVA เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ถ้าวงจร INVERTER มีค่า RESTRICTION ต่ำ บน N_c

สมการ 19 - 21 ใช้ได้สำหรับ 3-LEVEL PWM WAVEFORM ด้วยค่าแทน N ด้วย $N/2$ เห็นได้ชัดจากบทความก่อนหน้านี้ สำหรับการสร้าง 3-LEVEL PWM WAVEFORM ถ้าให้ค่า N_c 3-LEVEL PWM INVERTER มีกระแส RATING RMS ของ POWER SWITCH ต่ำกว่าชนิด 2-LEVEL PWM INVERTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมช่วยในการคำนวณหาค่า VA1 และ VA2 ในส่วนของ shunt และ series ของวงจร filter และค่าของ L C ตามรูปที่ 4.15 โดยเปลี่ยนค่า modulation index(Y)คือ 0.4 และ 0.8 โดยใช้ภาษา Pascal เขียนโดยใช้สูตรที่ (3)(7)(8) ช่วยในการคำนวณ

```

Program Noload;

Uses crt;

Var N,j,i,har,h      : Integer ; { N = Frequency Ratio }
    Y,B,total       : Integer ; { Y = Modulation Index }
    ch               : Char    ;
    va1,va2,va,t,pdis: Real    ;
    vin,har1,sumv,k  : Real    ;
    svo1,svo2,pf,d   : Real    ;
    vo1,vo2,vo11,vo12: Real    ;
    e,Y,ei,svo21     : Real    ;
    x,Xm,sn,sn       : Real    ;
    ls,cs,lsh,cs     : Real    ;
    tota,totb,harx   : Real    ; { har = Harmonic nth }
    Angle,cn         : Array [1..10,1..200] of Real;
                        { Angle [Modulation Index,Switch Angle nth] }
                        { cn = Total Magnitude of Harmonic nth }
                        { cn [Modulation Index,Switch Angle nth] }
    pwm              : Text    ;
    f                 : Char    ;

VI,VO,VT            : Array [1..10,1..55] of Real;

Const error = 0.000000001 ;

Function Power(j:Integer):Real;

begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 if odd(j) = true then Power := -1 { j = odd }
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else Power := +1 [ j = even ]

end;

Function DIS (svo1,svo2:real):real;

begin

DIS := 100*sqrt(svo2/svo1) ;

end;

Procedure distortion;

begin

svo1 := 0;
svo2 := 0;
svo21 := 0;
for har := 1 to 20 do
begin
svo21 := sqrt(vT[a,har]) + svo21 ;
end;

svo2 := svo21 - sqrt(vT[a,1]) ;

svo1 := vT[a,1];
{t := 100*sqrt(svo2) / svo1;}

pdls := 100*sqrt(svo2/svo21) ;

end;

```

```

var code: integer;
    vil : Array [1..10,1..55] of String [17] ;

begin
    assign (PWM,'pwm4.dat');
    reset (PWM);

    a := 4 ;

    for har := 1 to 50 do
        begin
            readln(PWM,vil[a,har]);
            val(vil[a,har],vi[a,har],code);
            [ writeln (vi[a,har]); ]
            [ delay (1000); ]
        end;
    close (PWM);
end;

Procedure Voutput;
begin
    a := 4;

    for har := 1 to 50 do
        begin
            d := (sqr(cos(pf))) + (sqr(har*sin(pf))) ;
            vol1 := 1 + ((sqr(har-1/har)) * VA1 * VA2) ;
            vol2 := (har * (har-1/har) * VA * VA1 * sin(pf)) /d ;
            vol := sqr(vol1+vol2)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    vo2 := sqr(((har-1/har) * VA * VA1 * cos(pf))/d) ;
    VOCA,har] := 1/(sqrt(vo1+vo2)) * VICA,har] ;
end;

```

```
end;
```

```
Procedure Cal;
```

```
begin
```

```
  write ('Please, insert the power factor angle of the load = ');
```

```
  readln (pf);
```

```
  write ('And the voltampere rating of the load normalized (VA)
```

```
  = ');
```

```
  readln (VA);
```

```
  VA1 := 0.1;
```

```
  repeat
```

```
    VA2 := 3.0;
```

```
    repeat
```

```
      voutput ;
```

```
      distortion;
```

```
      VA2 := VA2 + 0.1 ;
```

```
      t:=dis(sv01,sv02);
```

```
    until ( t<= 5) or (VA2 > 15.1);
```

```
    va2 := va2 - 0.1;
```

```
    write (va2);
```

```
    VA1 := VA1 + 0.1 ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end;
```

```
Procedure noLoad1;
```

```
var dd,dd1,dd2 : real;
```

```
begin
```

```
  k := 0.1 ;
```

```
  repeat
```

```
    for har := 1 to 50 do
```

```
      begin
```

```
        dd := 1 + sqr(har-1/har) ;
```

```
        dd1 := (1/dd) ; (main equa vo)
```

```
        dd2 := 1/(1-(sqr(har-1/har))*k) ; (no load equa vt)
```

```
        vo[a,har] := (dd1) * vi[a,har] ;
```

```
        vt[a,har] := (dd2) * vi[a,har] ;
```

```
        vo[a,har] := abs(vo[a,har]) ;
```

```
        vt[a,har] := abs(vt[a,har]) ;
```

```
      ( writeln('',har,' ',dd1:10:8,' ',dd2:10:8,' ',vi[a,har]:10:8,' '
```

```
        ,vo[a,har]:10:8,' ',vt[a,har]:10:8);)
```

```
    end;
```

```
  distortion;
```

```
    k := k + 0.01;
```

```
  until pdis < 5.5;
```

```
    k := k - 0.01;
```

```
  val := sqrt(k);
```

```
  val2 := val ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

writeLN (' Total Harmonic Distortion (%) = ',pdis:7:5,'
        Constant',k);

writeLn (' Minimum Value of VA1 = ',val:8:5,' VA2 = ',
        va2:8:5);

( writeLN ('no load book = ',t:10:5,' paper = ',pdis:10:5);)
( distortion);

writeLN ('main book = ',L:10:5,' paper = ',pdis:10:5);)
ch := readkey;

end;

Procedure ReLC;
begin
    val := 0.0;
    repeat
        val := val + 0.1 ;
        va2 := k/VA1 ;
        Is := val/2/pi/50;
        cs := 1/(val*2*pi*50);
        csh := va2/2/pi/50;
        lsh := 1/(va2*2*pi*50);
        writeLn (val:7:5,' ',va2:7:5,Is:15,cS:15,lsh:15,csh:15);
    until va2 < 0.1;

    ch := readkey;

end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Main Program)

Begin

```
clschr;
```

```
Revinput;
```

```
noload;
```

```
Relc  ;
```

```
CH := READKEY;
```

end.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Program Pwin;
Uses crt;

Var N,j,i,har,h      : Integer  ; { N = Frequency Ratio  }
    A,B,total       : Integer  ; { Y = Modulation Index }
    ch               : Char     ;
    va1,va2,va,t,pdis: Real    ;
    vin,har1,sumv    : Real     ;
    svo1,svo2,pf,d   : Real     ;
    vol,vo2,voll,vol2: Real    ;
    e,Y,ei,svo2l    : Real     ;
    x,Xm,en,bn      : Real     ;
    tots,totb,harx   : Real     ; { har = Harmonic nth  }
    Angle,cn,cp      : Array [1..10,1..200] of Real;
                                { Angle [Modulation Index,Switch Angle nth] }
                                { cn = Total Magnitude of Harmonic nth  }
                                { cn [Modulation Index,Switch Angle nth]  }
    pwm,pwml        : Text     ;
    f                : Char    ;
    VI,VO,VT        : Array [1..10,1..55] of Real;

Const error = 0.0000000001 ;

Function Power(j:Integer):Real;
begin
    if odd(j) = true then Power := -1 { j = odd  }
    else Power := +1 { j = even  }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;

Function FX (j,N:integer;Y,x:real):real;
begin
    if odd(j) = true then
        begin { j = odd }
            FX := Y*sin(x)+(2*N*x/pi)-(2*j);
        end
    else
        begin { j = even }
            FX := Y*sin(x)-(2*N*x/pi)+(2*j);
        end;
    end;
end;

Function DX (j,N:integer;Y,x:real):real;
begin
    if odd(j) = true then
        begin { j = odd }
            DX := Y*cos(x)+(2*N/pi) ;
        end
    else
        begin { j = even }
            DX := Y*cos(x)-(2*N/pi) ;
        end;
    end;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Function DIS (svo1,svo2:real):real;
```

```
begin
```

```
DIS := 100*sqrt(svo2/svo1) ;
```

```
end;
```

```
Procedure Cut(N:integer;Y:real);
```

```
begin
```

```
for i := 1 to 10 do
```

```
begin
```

```
angle[i,1] := 0 ;
```

```
end;
```

```
for j := 1 to 2*N do
```

```
begin
```

```
x := ((2*j)-1)*pi/(2*N);
```

```
repeat
```

```
Xm := x - (FX(j,N,Y,x)/DX(j,N,Y,x)) ;
```

```
e := (Xm-x)/x ;
```

```
x := Xm ;
```

```
until e < error ;
```

```
Angle [A,j+1] := Xm ;
```

```
end;
```

```
C Write Switch Angle ;
```

```
C for i := 1 to j+1 do writeln (i:4,angle[A,i]); ;
```

```
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Procedure Sum ;
begin
{ total := 2*(N+1)-1; } { Total = Total Switch Angle }
total := 2*N;
for har := 1 to 50 do
begin
j := 0 ;
total := 0 ;
totb := 0 ;
repeat
{ Angle[Modulation Index,Switch Angle nth] }
j := j + 1 ;
harx := har*Angle[A,j] ;
total := Power(j)*sin(harx) + total ;
totb := Power(j+1)*cos(harx) + totb ;
until j = total ;
an := 2/(har*pi)*total ;
bn := 2/(har*pi)*totb ;
cn[A,har] := sqrt(an*an+bn*bn)*100;
end;
end;

Procedure Pu;

```

```

Begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 for s:= 1 to 10 do
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
  for har := 1 to 50 do
    cp[a,har] := cn[A,har]/cn[a,1]
  end;
end;

Procedure Vinput4;
begin
  a := 4 ;
  for har := 1 to 50 do
    begin
      sumv := 0
      for i := 2 to N do
        begin
          hari := har*angle[A,i] ;
          (e := power(i)*cos(hari) ;
          sumv := (power(i)*cos(hari)) + sumv ;
          (ei := sumv - e ;
        end;
      vin := (-1*cos(har*angle[A,1])) - (power(N+1)*cos(har*
        angle[A,N+1])) ;
      V[A,har] := (sqrt(2)/pi/har)*(vin + (2*sumv)) ;
      V[A,har] := abs(V[A,har])*cp[a,har] ;
    end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

[ writeln ('Frequency Ratio = ',N,' ',i,' ',angle[A,i],' ',
          cos(angle[A,i])) ;
  for har := 1 to 10 do
    writeln (har,' ',V[A,har]) ;]
[ch := readkey ;]
end;

```

```

Procedure Vinput8;

```

```

begin

```

```

a := 8 ;

```

```

for har := 1 to 50 do

```

```

begin

```

```

  sumv := 0

```

```

  for i := 2 to N do

```

```

    begin

```

```

      hari := har*angle[A,i] ;

```

```

      (e := power(i)*cos(hari) ;)

```

```

      sumv := (power(i)*cos(hari)) + sumv ;

```

```

      (ei := sumv - e ;)

```

```

    end;

```

```

vin := (-1*cos(har*angle[A,1])) - (power(N+1)*cos(har*
angle[A,N+1]));

```

```

V[A,har] := (sqrt(2)/pi/har)*(vin + (2*sumv)) ;

```

```

V[A,har] := abs(V[A,har])*cp[b,har] ;

```

```

end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    for i := 1 to N+1 do
      [ writeIn ('Frequency Ratio = ',N,' ',i,' ',angle[α,i],' ',
                cos(angle[α,i])) ;
      for har := 1 to 10 do
        writeIn (har,' ',VICA,har] {}
    {ch := readkey ;}
  end;

```

```

Procedure Fivinput4;

```

```

begin

```

```

  assign (PWM,'pwm4.dat');

```

```

  rewrite (PWM);

```

```

  a := 4 ;

```

```

  for har := 1 to 50 do

```

```

    begin

```

```

      writeIn(PWM,vi[α,har]:0:15);

```

```

    end;

```

```

  close (PWM);

```

```

end;

```

```

Procedure Fivinput8;

```

```

begin

```

```

  assign (PWM1,'pwm8.dat');

```

```

  rewrite (PWM1);

```

```

  a := 8 ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for har := 1 to 50 do
    begin
        writeln(PWM1,v[ca,har]:0:15);
    end;
close (PWM1);

end;

[ Main Program ]

Begin
    clrscr;
    Write(' Frequency Ratio:(N) = ');
    readln(N);
    [ Write('Modulation Index ( 0.1 - 1.0 ):(Y) = ');
    readln(a); ]
    for A := 1 to 10 do [ For Modulation Index = 0.1 - 1.0 ]
        begin
            Y := a/10 ;
            Cut(n,Y) ;
            Sum
        end;
    pu;
    vinput4 ;
    vinput8 ;
    Fivinput4;
    Fivinput8;
    [CH := READKEY;]
end.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VA1 & VA2 at Modulation Index = 0.4

VA1	VA2						
	N = 4	N = 6	N = 8	N = 10	N = 12	N = 14	N = 16
0.1	37.3	16.9	9.8	6.4	4.5	3.4	2.6
0.2	18.65	8.45	4.9	3.2	2.25	1.7	1.3
0.3	12.43333	5.63333	3.26667	2.13333	1.5	1.13333	0.86667
0.4	9.325	4.225	2.45	1.6	1.125	0.85	0.65
0.5	7.46	3.38	1.96	1.28	0.9	0.68	0.52
0.6	6.21667	2.81667	1.63333	1.06667	0.75	0.56667	0.43333
0.7	5.32857	2.41429	1.4	0.91429	0.64286	0.48571	0.37143
0.8	4.6625	2.1125	1.225	0.8	0.5625	0.425	0.325
0.9	4.14444	1.87778	1.08889	0.71111	0.5	0.37778	0.28889
1	3.73	1.69	0.98	0.64	0.45	0.34	0.26
1.1	3.39091	1.53636	0.89091	0.58182	0.40909	0.30909	0.23636
1.2	3.10833	1.40833	0.81667	0.53333	0.375	0.28333	0.21667
1.3	2.86923	1.3	0.75385	0.49231	0.34615	0.26154	0.2
1.4	2.66429	1.20714	0.7	0.45714	0.32143	0.24286	0.18571
1.5	2.48667	1.12667	0.65333	0.42667	0.3	0.22667	0.17333
1.6	2.33125	1.05625	0.6125	0.4	0.28125	0.2125	0.1625
1.7	2.19412	0.99412	0.57647	0.37647	0.26471	0.2	0.15294
1.8	2.07222	0.93889	0.54444	0.35556	0.25	0.18889	0.14444
1.9	1.96316	0.88947	0.51579	0.33684	0.23684	0.17895	0.13684
2	1.865	0.845	0.49	0.32	0.225	0.17	0.13
2.1	1.77619	0.80476	0.46667	0.30476	0.21429	0.1619	0.12381
2.2	1.69545	0.76818	0.44545	0.29091	0.20455	0.15455	0.11818
2.3	1.62174	0.73478	0.42609	0.27826	0.19565	0.14783	0.11304
2.4	1.55417	0.70417	0.40833	0.26667	0.1875	0.14167	0.10833
2.5	1.492	0.676	0.392	0.256	0.18	0.136	0.104
2.6	1.43462	0.65	0.37692	0.24615	0.17308	0.13077	0.1
2.7	1.38148	0.62593	0.36296	0.23704	0.16667	0.12593	0.0963
2.8	1.33214	0.60357	0.35	0.22857	0.16071	0.12143	0.09230
2.9	1.28621	0.58276	0.33793	0.22069	0.15517	0.11724	0.08912
3	1.24333	0.56333	0.32667	0.21333	0.15	0.11333	0.08549
3.1	1.20323	0.54516	0.31613	0.20645	0.14516	0.10968	0.08267
3.2	1.16562	0.52813	0.30625	0.2	0.14063	0.10625	0.080185
3.3	1.1303	0.51212	0.29697	0.19394	0.13636	0.10303	0.07804
3.4	1.09706	0.49706	0.28824	0.18824	0.13235	0.1	0.07622
3.5	1.06571	0.48286	0.28	0.18286	0.12857	0.09714	0.07440
3.6	1.03611	0.46944	0.27222	0.17778	0.125	0.09459	0.07284
3.7	1.00811	0.45676	0.26486	0.17297	0.12162	0.09177	0.07136
3.8	0.98158	0.44474	0.25789	0.16842	0.11842	0.08905	0.07008
3.9	0.95641	0.43333	0.25128	0.1641	0.11538	0.08644	0.06886
4	0.9325	0.4225	0.245	0.16	0.1125	0.08393	0.06776
4.1	0.90976	0.4122	0.23902	0.1561	0.11	0.08152	0.06676
4.2	0.8881	0.40238	0.23333	0.15238	0.10714	0.07917	0.06583
4.3	0.86744	0.39302	0.22791	0.14884	0.10465	0.07687	0.06496
4.4	0.84773	0.38409	0.22273	0.14545	0.10227	0.07462	0.06414
4.5	0.82889	0.37556	0.21778	0.14222	0.1	0.07242	0.06336
4.6	0.81087	0.36739	0.21304	0.13913	0.09783	0.07027	0.06263
4.7	0.79362	0.35957	0.20851	0.13617	0.09563	0.06817	0.06195
4.8	0.77708	0.35208	0.20417	0.13333	0.09353	0.06612	0.06132
4.9	0.76122	0.3449	0.2	0.13061	0.09153	0.06412	0.06073
5	0.746	0.338	0.196	0.128	0.08963	0.06223	0.06018
5.1	0.73137	0.33137	0.19216	0.12549	0.08783	0.06044	0.05973
5.2	0.71731	0.325	0.18846	0.12308	0.08613	0.05873	0.05928
5.3	0.70377	0.31887	0.18491	0.12075	0.08453	0.05713	0.05883

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขการใช้งานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VA1 & VA2 at Modulation Index = 0.4

VA1	VA2						
	N = 4	N = 6	N = 8	N = 10	N = 12	N = 14	N = 16
5.4	0.69074	0.31296	0.18148	0.11852	0.017188	0.000589	0.026857
5.5	0.67818	0.30727	0.17818	0.11636	0.017507	0.000578	0.027354
5.6	0.66607	0.30179	0.175	0.11429	0.017825	0.000568	0.027852
5.7	0.65439	0.29649	0.17193	0.11228	0.018143	0.000558	0.028349
5.8	0.6431	0.29138	0.16897	0.11034	0.018461	0.000548	0.028846
5.9	0.6322	0.28644	0.1661	0.10847	0.018780	0.000539	0.029344
6	0.62167	0.28167	0.16333	0.10667	0.019098	0.000530	0.029841
6.1	0.61148	0.27705	0.16065	0.10492	0.019416	0.000521	0.030338
6.2	0.60161	0.27258	0.15806	0.10323	0.019735	0.000513	0.030836
6.3	0.59206	0.26825	0.15556	0.10159	0.020053	0.000505	0.031333
6.4	0.58281	0.26406	0.15313	0.1	0.020371	0.000497	0.031830
6.5	0.57385	0.26	0.15077	0.09846	0.020690	0.000489	0.032328
6.6	0.56515	0.25606	0.14848	0.021008	0.000482	0.021437	0.000472
6.7	0.55672	0.25224	0.14627	0.021326	0.000475	0.021762	0.000465
6.8	0.54853	0.24853	0.14412	0.021645	0.000468	0.022086	0.000458
6.9	0.54058	0.24493	0.14203	0.021963	0.000461	0.022411	0.000452
7	0.53286	0.24143	0.14	0.022281	0.000454	0.022736	0.000445
7.1	0.52535	0.23803	0.13863	0.0226	0.000448	0.023061	0.000439
7.2	0.51806	0.23472	0.13611	0.022918	0.000442	0.023386	0.000433
7.3	0.51096	0.23151	0.13425	0.023236	0.000436	0.023710	0.000427
7.4	0.50405	0.22838	0.13243	0.023554	0.000430	0.024035	0.000421
7.5	0.49733	0.22533	0.13067	0.023873	0.000424	0.024360	0.000415
7.6	0.49079	0.22237	0.12895	0.024191	0.000418	0.024685	0.000410
7.7	0.48442	0.21948	0.12727	0.024509	0.000413	0.025010	0.000405
7.8	0.47821	0.21667	0.12564	0.024828	0.000408	0.025334	0.000399
7.9	0.47215	0.21392	0.12405	0.025146	0.000402	0.025659	0.000394
8	0.46625	0.21125	0.1225	0.025464	0.000397	0.025984	0.000389
8.1	0.46049	0.20864	0.12099	0.025783	0.000392	0.026309	0.000385
8.2	0.45483	0.2061	0.11951	0.026101	0.000388	0.026634	0.000380
8.3	0.4494	0.20361	0.11807	0.026419	0.000383	0.026958	0.000375
8.4	0.44405	0.20119	0.11667	0.026738	0.000378	0.027283	0.000371
8.5	0.43882	0.19882	0.11529	0.027056	0.000374	0.027608	0.000366
8.6	0.43372	0.19651	0.11395	0.027374	0.000370	0.027933	0.000362
8.7	0.42874	0.19425	0.11264	0.027692	0.000365	0.028258	0.000358
8.8	0.42386	0.19205	0.11136	0.028011	0.000361	0.028582	0.000354
8.9	0.4191	0.18989	0.11011	0.028329	0.000357	0.028907	0.000350
9	0.41444	0.18778	0.10889	0.028647	0.000353	0.029232	0.000346
9.1	0.40989	0.18571	0.10769	0.028966	0.000349	0.029557	0.000342
9.2	0.40543	0.1837	0.10652	0.029284	0.000345	0.029882	0.000339
9.3	0.40108	0.18172	0.10538	0.029602	0.000342	0.030206	0.000335
9.4	0.39681	0.17979	0.10426	0.029921	0.000338	0.030531	0.000331
9.5	0.39263	0.17789	0.10316	0.030239	0.000335	0.030856	0.000328
9.6	0.38854	0.17604	0.10208	0.030557	0.000331	0.031181	0.000324
9.7	0.38454	0.17423	0.10103	0.030876	0.000328	0.031506	0.000321
9.8	0.38061	0.17245	0.1	0.031194	0.000324	0.031830	0.000318
9.9	0.37677	0.17071	0.09899	0.031512	0.000321	0.032155	0.000315

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VA1 & VA2 at Modulation Index = 0.8

VA1	VA2						
	N = 4	N = 6	N = 8	N = 10	N = 12	N = 14	N = 16
0.1	27.5	7.8	4.5	2.9	2.1	1.6	1.2
0.2	13.75	3.9	2.25	1.45	1.05	0.8	0.6
0.3	9.16667	2.6	1.5	0.96667	0.7	0.53333	0.4
0.4	6.875	1.95	1.125	0.725	0.525	0.4	0.3
0.5	5.5	1.56	0.9	0.58	0.42	0.32	0.24
0.6	4.58333	1.3	0.75	0.48333	0.35	0.26667	0.2
0.7	3.92857	1.11429	0.64286	0.41429	0.3	0.22857	0.17143
0.8	3.4375	0.975	0.5625	0.3625	0.2625	0.2	0.15
0.9	3.05556	0.86667	0.5	0.32222	0.23333	0.17778	0.13333
1	2.75	0.78	0.45	0.29	0.21	0.16	0.12
1.1	2.5	0.70909	0.40909	0.26364	0.19091	0.14545	0.10909
1.2	2.29167	0.65	0.375	0.24167	0.175	0.13333	0.1
1.3	2.11538	0.6	0.34615	0.22308	0.16154	0.12308	
1.4	1.96429	0.55714	0.32143	0.20714	0.15	0.11429	
1.5	1.83333	0.52	0.3	0.19333	0.14	0.10667	
1.6	1.71875	0.4875	0.28125	0.18125	0.13125	0.1	
1.7	1.61765	0.45882	0.26471	0.17059	0.12353		
1.8	1.52778	0.43333	0.25	0.16111	0.11657		
1.9	1.44737	0.41053	0.23684	0.15263	0.11053		
2	1.375	0.39	0.225	0.145	0.105		
2.1	1.30952	0.37143	0.21429	0.1381	0.1		
2.2	1.25	0.35455	0.20455	0.13182			
2.3	1.19565	0.33913	0.19565	0.12609			
2.4	1.14583	0.325	0.1875	0.12083			
2.5	1.1	0.312	0.18	0.116			
2.6	1.05769	0.3	0.17308	0.11154			
2.7	1.01852	0.28889	0.16667	0.10741			
2.8	0.98214	0.27857	0.16071	0.10357			
2.9	0.94828	0.26897	0.15517	0.1			
3	0.91667	0.26	0.15				
3.1	0.8871	0.25161	0.14516				
3.2	0.85937	0.24375	0.14063				
3.3	0.83333	0.23636	0.13636				
3.4	0.80882	0.22941	0.13235				
3.5	0.78571	0.22286	0.12857				
3.6	0.76389	0.21667	0.125				
3.7	0.74324	0.21081	0.12162				
3.8	0.72368	0.20526	0.11842				
3.9	0.70513	0.2	0.11538				
4	0.6875	0.195	0.1125				
4.1	0.67073	0.19024	0.10976				
4.2	0.65476	0.18571	0.10714				
4.3	0.63953	0.1814	0.10465				
4.4	0.625	0.17727	0.10227				
4.5	0.61111	0.17333	0.1				
4.6	0.59783	0.16957					
4.7	0.58511	0.16596					
4.8	0.57292	0.1625					
4.9	0.56122	0.15918					
5	0.55	0.156					
5.1	0.53922	0.15294					
5.2	0.52885	0.15					
5.3	0.51887	0.14717					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VA1 & VA2 at Modulation Index = 0.8

VA1	VA2						
	N = 4	N = 5	N = 8	N = 10	N = 12	N = 14	N = 16
5.4	0.50926	0.14444					
5.5	0.5	0.14182					
5.6	0.49107	0.13929					
5.7	0.48246	0.13684					
5.8	0.47414	0.13448					
5.9	0.4661	0.1322					
6	0.45833	0.13					
6.1	0.45082	0.12787					
6.2	0.44355	0.12581					
6.3	0.43651	0.12381					
6.4	0.42969	0.12188					
6.5	0.42308	0.12					
6.6	0.41667	0.11818					
6.7	0.41045	0.11642					
6.8	0.40441	0.11471					
6.9	0.39855	0.11304					
7	0.39286	0.11143					
7.1	0.38732	0.10986					
7.2	0.38194	0.10833					
7.3	0.37671	0.10685					
7.4	0.37162	0.10541					
7.5	0.36667	0.104					
7.6	0.36184	0.10263					
7.7	0.35714	0.1013					
7.8	0.35256	0.1					
7.9	0.3481						
8	0.34375						
8.1	0.33951						
8.2	0.33537						
8.3	0.33133						
8.4	0.32738						
8.5	0.32353						
8.6	0.31977						
8.7	0.31609						
8.8	0.3125						
8.9	0.30899						
9	0.30556						
9.1	0.3022						
9.2	0.29891						
9.3	0.2957						
9.4	0.29255						
9.5	0.28947						
9.6	0.28646						
9.7	0.28351						
9.8	0.28061						
9.9	0.27778						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data of Ls, Cs, Lsh, Csh (N = 8 ; Y = 0.4)

VA1	VA2	Ls (mH)	Cs (uF)	Lsh (mH)	Csh (uF)	VA
0.1	9.8	0.318309	31830.99	0.324806	31194.37	1
0.2	4.9	0.636619	15915.49	0.649612	15597.18	1
0.3	3.26657	0.954929	10610.33	0.974418	10398.12	1
0.4	2.45	1.27324	7957.747	1.299224	7798.592	1
0.5	1.96	1.591549	6366.198	1.62403	6238.874	1
0.6	1.63333	1.909859	5305.165	1.948836	5199.061	1
0.7	1.4	2.228169	4547.284	2.273642	4456.338	1
0.8	1.225	2.546479	3978.874	2.598448	3899.296	1
0.9	1.08889	2.864789	3536.777	2.923254	3466.041	1
1	0.98	3.183099	3183.099	3.24806	3119.437	1
1.1	0.89091	3.501409	2893.726	3.572866	2835.852	1
1.2	0.81667	3.819719	2652.582	3.897672	2599.531	1
1.3	0.75385	4.138029	2448.538	4.272478	2399.567	1
1.4	0.7	4.456338	2273.642	4.547284	2228.169	1
1.5	0.65333	4.774648	2122.066	4.87209	2079.625	1
1.6	0.6125	5.092958	1989.437	5.196896	1949.648	1
1.7	0.57647	5.411268	1872.411	5.521702	1834.963	1
1.8	0.54444	5.729578	1768.388	5.846508	1733.02	1
1.9	0.51579	6.047888	1675.315	6.171314	1641.809	1
2	0.49	6.366198	1591.549	6.49612	1559.718	1
2.1	0.46667	6.684508	1515.761	6.820926	1485.446	1
2.2	0.44545	7.002817	1446.863	7.145732	1417.926	1
2.3	0.42609	7.321127	1383.956	7.470538	1356.277	1
2.4	0.40833	7.639437	1326.291	7.795344	1299.765	1
2.5	0.392	7.957747	1273.24	8.12015	1247.775	1
2.6	0.37692	8.276057	1224.269	8.444956	1199.783	1
2.7	0.36236	8.594367	1178.926	8.769762	1155.347	1
2.8	0.35	8.912677	1136.821	9.094568	1114.085	1
2.9	0.33793	9.230987	1097.62	9.419374	1075.668	1
3	0.32667	9.549297	1061.033	9.74418	1039.812	1
3.1	0.31613	9.867606	1026.806	10.06899	1006.27	1
3.2	0.30625	10.18592	994.7184	10.39379	974.824	1
3.3	0.29697	10.50423	964.5754	10.7186	945.2839	1
3.4	0.28824	10.82254	936.2055	11.0434	917.4814	1
3.5	0.28	11.14085	909.4568	11.36821	891.2677	1
3.6	0.27222	11.45916	884.1941	11.69302	866.5102	1
3.7	0.26486	11.77747	860.297	12.01782	843.031	1
3.8	0.25789	12.09578	837.6576	12.34263	820.9044	1
3.9	0.25128	12.41409	816.1792	12.66743	799.8556	1
4	0.245	12.7324	795.7747	12.99224	779.8592	1
4.1	0.23902	13.05071	776.3656	13.31705	760.8383	1
4.2	0.23333	13.36902	757.8807	13.64185	742.7231	1
4.3	0.22791	13.68733	740.2555	13.96666	725.4504	1
4.4	0.22273	14.00563	723.4316	14.29146	708.9629	1
4.5	0.21778	14.32394	707.3553	14.61627	693.2082	1
4.6	0.21304	14.64225	691.978	14.94108	678.1385	1
4.7	0.20851	14.96056	677.2551	15.26588	663.71	1
4.8	0.20417	15.27887	663.1456	15.59069	649.8827	1
4.9	0.2	15.59718	649.612	15.91549	636.6198	1
5	0.196	15.91549	636.6198	16.2403	623.8874	1
5.1	0.19216	16.2338	624.137	16.56511	611.6543	1
5.2	0.18846	16.55211	612.1344	16.88991	599.8917	1
5.3	0.18491	16.87042	600.5847	17.21472	588.573	1
5.4	0.18148	17.18873	589.4628	17.53952	577.6735	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data of L_s , C_s , L_{sh} , C_{sh} ($N = 8$; $Y = 0.4$)

VA1	VA2	L_s (mH)	C_s (uF)	L_{sh} (mH)	C_{sh} (uF)	VA
5.5	0.17818	17.50704	578.7452	17.86433	567.1703	1
5.6	0.175	17.82535	568.4105	18.18914	557.0423	1
5.7	0.17193	18.14366	558.4384	18.51394	547.2636	1
5.8	0.16897	18.46197	548.8101	18.83875	537.8339	1
5.9	0.1661	18.78028	539.5003	19.16355	528.7181	1
6	0.16333	19.09859	530.5165	19.48836	519.9061	1
6.1	0.16066	19.4169	521.8195	19.81317	511.3831	1
6.2	0.15806	19.73521	513.403	20.13797	503.135	1
6.3	0.15556	20.05352	505.2538	20.46278	495.1487	1
6.4	0.15313	20.37183	497.3592	20.78758	487.412	1
6.5	0.15077	20.69014	489.7011	21.11238	479.9134	1
6.6	0.14848	21.00845	482.2877	21.4372	472.642	1
6.7	0.14627	21.32676	475.0894	21.762	465.5876	1
6.8	0.14412	21.64507	468.1028	22.08681	458.7407	1
6.9	0.14203	21.96338	461.3187	22.41161	452.0923	1
7	0.14	22.28169	454.7284	22.73642	445.6338	1
7.1	0.13803	22.6	448.3238	23.06123	439.3573	1
7.2	0.13611	22.91831	442.0971	23.38603	433.2551	1
7.3	0.13425	23.23662	436.0409	23.71084	427.3201	1
7.4	0.13243	23.55493	430.1485	24.03564	421.5455	1
7.5	0.13067	23.87324	424.4132	24.36045	415.9249	1
7.6	0.12895	24.19155	418.8288	24.68526	410.4522	1
7.7	0.12727	24.50986	413.3895	25.01006	405.1217	1
7.8	0.12564	24.82817	408.0896	25.33487	399.9278	1
7.9	0.12405	25.14648	402.9239	25.65967	394.8654	1
8	0.1225	25.46479	397.8874	25.98448	389.9296	1
8.1	0.12099	25.7831	392.9752	26.30929	385.1157	1
8.2	0.11951	26.10141	388.1828	26.63409	380.4191	1
8.3	0.11807	26.41972	383.5059	26.95889	375.8358	1
8.4	0.11667	26.73803	378.9403	27.2837	371.3615	1
8.5	0.11529	27.05634	374.4822	27.60851	366.9926	1
8.6	0.11395	27.37465	370.1278	27.93332	362.7252	1
8.7	0.11264	27.69296	365.8734	28.25812	358.555	1
8.8	0.11136	28.01127	361.7158	28.58293	354.4815	1
8.9	0.11011	28.32958	357.6516	28.90773	350.4985	1
9	0.10889	28.64789	353.6777	29.23254	346.6041	1
9.1	0.10769	28.9662	349.7911	29.55735	342.7953	1
9.2	0.10652	29.28451	345.989	29.88215	339.0692	1
9.3	0.10538	29.60282	342.2687	30.20696	335.4233	1
9.4	0.10426	29.92113	338.6275	30.53176	331.855	1
9.5	0.10316	30.23944	335.063	30.85657	328.3618	1
9.6	0.10208	30.55775	331.5728	31.18138	324.9413	1
9.7	0.10103	30.87606	328.1545	31.50618	321.5914	1
9.8	0.1	31.19437	324.806	31.83099	318.3099	1
9.9	0.09899	31.51268	321.5251	32.15579	315.0946	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

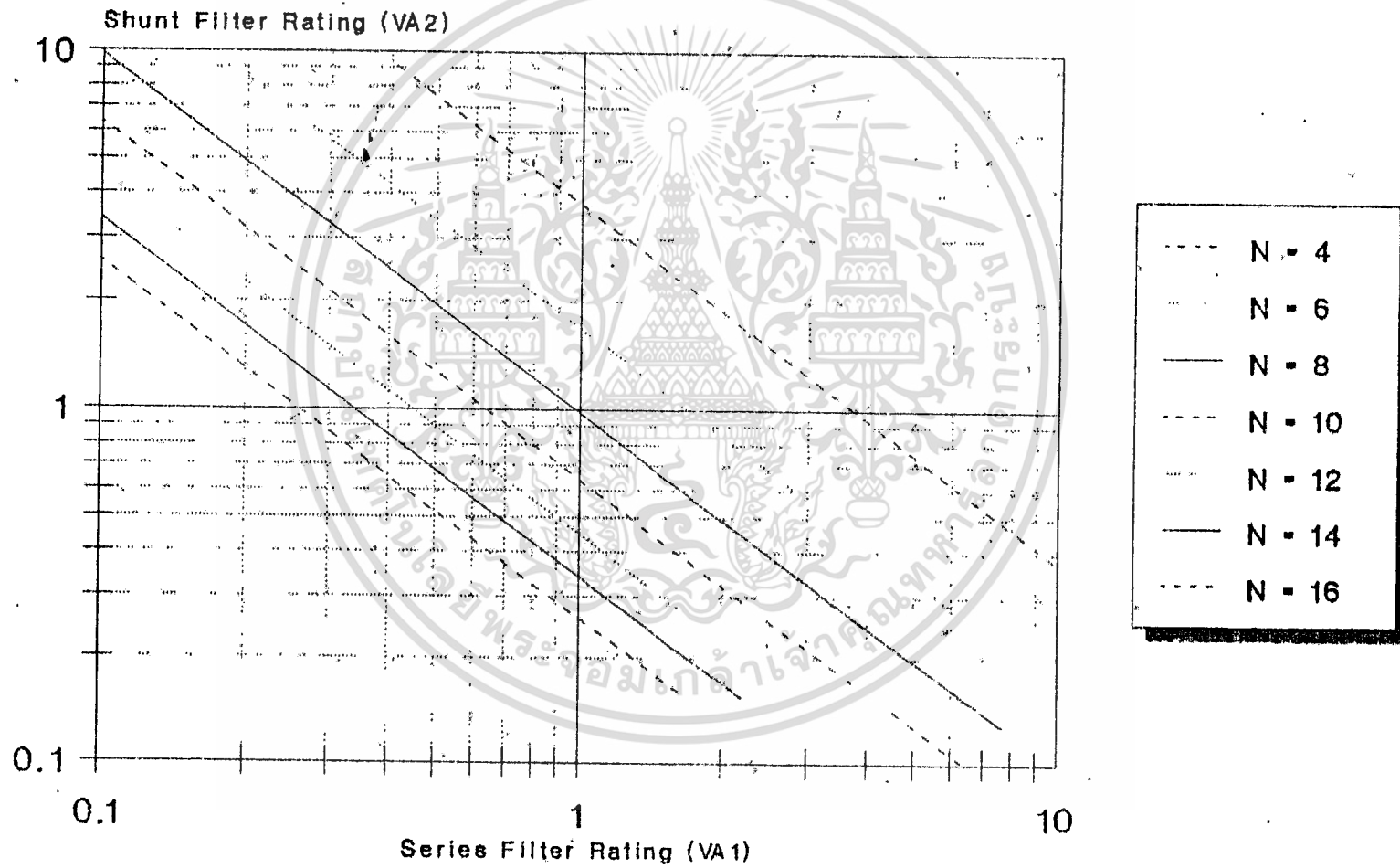
Data of Ls, Cs, Lsh, Csh (N = 8 ; Y = 0.8)

VA1	VA2	Ls	Cs	Lsh	Csh	VA
0.1	4.5	0.318309	31830.99	0.707355	14323.94	1
0.2	2.25	0.636619	15915.49	1.414711	7161.972	1
0.3	1.5	0.954929	10610.33	2.122066	4774.649	1
0.4	1.125	1.27324	7957.747	2.829421	3580.986	1
0.5	0.9	1.591549	6366.198	3.536777	2864.789	1
0.6	0.75	1.909859	5305.165	4.244132	2387.324	1
0.7	0.64285	2.228169	4547.264	4.951457	2000.976	1
0.8	0.5625	2.546479	3978.874	5.656842	1790.493	1
0.9	0.5	2.864789	3536.777	6.366198	1591.549	1
1	0.45	3.183099	3183.099	7.073553	1432.394	1
1.1	0.40909	3.501409	2893.726	7.780908	1302.177	1
1.2	0.375	3.819719	2652.582	8.488264	1193.662	1
1.3	0.34615	4.138029	2446.538	9.195619	1101.842	1
1.4	0.32143	4.456338	2273.642	9.902974	1023.139	1
1.5	0.3	4.774648	2122.056	10.61033	954.9297	1
1.6	0.28125	5.092958	1969.427	11.31768	895.2466	1
1.7	0.26471	5.411268	1872.411	12.02504	842.585	1
1.8	0.25	5.729578	1768.388	12.7324	795.7747	1
1.9	0.23654	6.047888	1675.315	13.43975	753.8918	1
2	0.225	6.366198	1591.549	14.14711	716.1972	1
2.1	0.21429	6.684508	1515.761	14.85446	682.0926	1
2.2	0.20455	7.002817	1446.863	15.56182	651.0884	1
2.3	0.19565	7.321127	1383.956	16.26917	622.7802	1
2.4	0.1875	7.639437	1326.291	16.97653	596.831	1
2.5	0.18	7.957747	1273.24	17.68388	572.9578	1
2.6	0.17308	8.276057	1224.269	18.39124	550.921	1
2.7	0.16667	8.594367	1178.926	19.09859	530.5165	1
2.8	0.16071	8.912677	1136.821	19.80595	511.5695	1
2.9	0.15517	9.230987	1097.62	20.5133	493.9291	1
3	0.15	9.549297	1061.033	21.22066	477.4648	1
3.1	0.14516	9.867605	1026.806	21.92801	462.0627	1
3.2	0.14063	10.18592	994.7184	22.63537	447.6233	1
3.3	0.13636	10.50423	964.5754	23.34272	434.0589	1
3.4	0.13235	10.82254	936.2055	24.05008	421.2925	1
3.5	0.12857	11.14085	909.4568	24.75744	409.2556	1
3.6	0.125	11.45916	884.1941	25.46479	397.8874	1
3.7	0.12162	11.77747	860.297	26.17215	387.1335	1
3.8	0.11842	12.09578	837.6576	26.8795	376.9459	1
3.9	0.11538	12.41409	816.1792	27.58686	357.2806	1
4	0.1125	12.7324	795.7747	28.29421	358.0986	1
4.1	0.10976	13.05071	776.3656	29.00157	349.3645	1
4.2	0.10714	13.36902	757.8807	29.70892	341.0463	1
4.3	0.10465	13.68733	740.2555	30.41628	333.115	1
4.4	0.10227	14.00563	723.4316	31.12363	325.5442	1
4.5	0.1	14.32394	707.3553	31.83099	318.3099	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filter KVA characteristic for 2-level PWM waveform

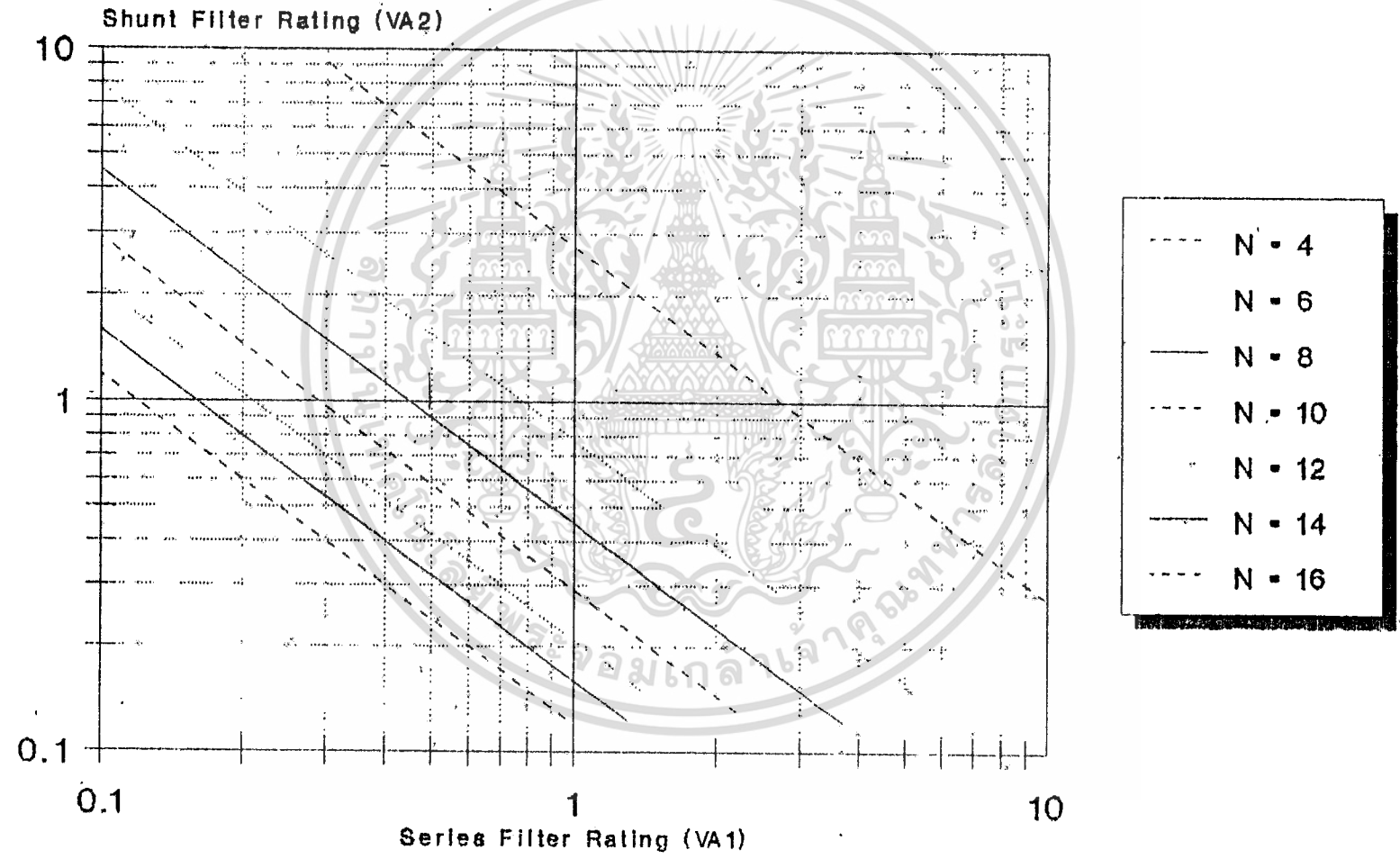
Modulation Index (γ) = 0.4



AT NO LOAD

Filter KVA characteristic for 2-level PWM waveform

Modulation Index (γ) = 0.8



AT NO LOAD

บทที่ 5

ผลการทดลอง

จากการออกแบบและวิเคราะห์วงจรของควมถี่ในแหล่งกำเนิด voltage source inverter 1- ϕ พร้อมได้สร้างวงจรส่วนต่าง ๆ ซึ่งจะแสดงผลการทดลองโดยแสดงด้วยรูปคลื่นสัญญาณที่ต่างจาก สวิตช์สามารถแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆดังนี้

1. ส่วน INPUT ของ วงจรของควมถี่ (ส่วนของการสร้างสัญญาณ PWM ที่ค่า frequency ratio และ modulation index ที่ ต่างๆกัน)
2. ส่วนของวงจรของควมถี่โดยได้เปลี่ยนแปลงค่าของ IC ของวงจรตามค่าของ frequency ratio และ modulation index ตามส่วนของ input

ส่วนของ INPUT ของวงจรของควมถี่

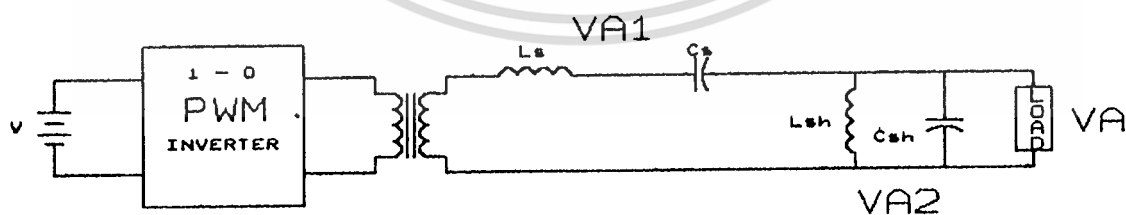
จะเห็นว่าจากการสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมด้วยสัญญาณซายน์เวฟโดยในวงจรได้กำหนดความถี่ต้นแบบที่คือ 50 Hz แอมป์จูดของซายน์เวฟคือ 2 V และจากคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) ที่สามารถเปลี่ยนความถี่ได้โดยสามารถเปลี่ยนความถี่ ที่ 500 Hz (N=10) และที่ 400 Hz (N=8) จะสังเกตได้ว่า การเปลี่ยนความถี่ของคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นการเปลี่ยนค่า frequency ratio ที่เลขเมื่อได้คลื่นสี่เหลี่ยมที่ค่า frequency ratio ที่ต้องการแล้ว ก็นำไปผ่านวงจรอินทิเกรตเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่สามารถปรับค่าแอมป์จูดได้โดยสามารถเปลี่ยนค่าแอมป์จูด ได้คือที่ 5 V (Y=0.4) และ 2.5 V (Y=0.8) โดยได้รูปแบบ 1-2 ชุดตามค่าของ frequency ratio ที่เปลี่ยนไป 2 ค่า คือ N=10 และ N=8 จะเห็นว่าการปรับค่าของแอมป์จูดของสัญญาณสามเหลี่ยมเป็นการปรับค่าของ modulation index ที่เลข เมื่อได้สัญญาณสามเหลี่ยม และสัญญาณซายน์เข้ามาผ่านวงจรเปรียบเทียบจะได้สัญญาณสี่เหลี่ยมแล้ว เมื่อนำสัญญาณนี้ไปวิเคราะห์ที่สาร์โมนิคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นด้วยสวิตช์แบบสเปคตัมจะได้รูปสัญญาณที่ค่าของ frequency ratio และ modulation index ตามที่จะแสดงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับโรงเรียนในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากได้สัญญาณพัลส์บวกลบแล้วผ่านวงจร LOCK-OUT โคคิที่ใช้ IC เบอร์ 4093 แล้ว
 เพื่อไปเข้าวงจรกับเบส ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์กำลังที่ต่อแบบฟูลบริดจ์ สัญญาณกับ
 เบสของคู่ความถี่สเตรอร์ในแต่ละก็จะมีการหน่วงเวลาในการนำส่งกระแสเรียกว่า ช่วง
 เดเลย์ไทม์ หลังจากที่ได้ให้สัญญาณกับเบสแก่ความถี่สเตรอร์กำลังทั้ง 4 ตัวแล้วจะนำสัญญาณนี้ไป
 ไปลงในวงจรกรองความถี่ต่อไป

ส่วนวงจรกรองความถี่

จากค่าของ modulation index และ ค่าของ frequency ratio ที่ค่าต่าง ๆ
 ของสัญญาณพัลส์บวกลบแล้ว จะสามารถเลือกแบบวงจรกรองความถี่ที่ no load เพื่อที่จะ
 สามารถกำจัดฮาร์โมนิคต่าง ๆ ที่เกิดได้โดยได้ค่าความถี่ L และ C ตามวงจรดังรูป
 ด้านล่างนอกจากนี้ได้นำสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองความถี่ ไปวิเคราะห์ฮาร์โมนิคที่เกิดขึ้นด้วย
 สโคปแบบสเปคตัม ซึ่งจะแสดงรูปสัญญาณฮาร์โมนิค ต่าง ๆ ดังรูปที่แสดงต่อไปนี้



Component of Single Phase Inverter System

รูปที่ 5.1 วงจรกรองความถี่ที่ใช้ในการออกแบบสำหรับปรีเพนดิเฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 1 ค่า frequency ratio(N)=8 (400 Hz) ค่า modulation index (Y) 0.4

$$\text{ได้ } C_p = 60 \mu\text{F}$$

$$L_p = 168.86 \text{ mH}$$

$$C_{pn} = 60 \mu\text{F}$$

$$L_{pn} = 168.86 \text{ mH}$$

กรณีที่ 2 ค่า frequency ratio(N)=8 (400 Hz) ค่า modulation index (Y)=0.8

$$\text{ได้ } C_p = 142 \mu\text{F}$$

$$L_p = 71.34 \text{ mH}$$

$$C_{pn} = 60 \mu\text{F}$$

$$L_{pn} = 168.86 \text{ mH}$$

กรณีที่ 3 ค่า frequency ratio(N)=10 (500 Hz) ค่า modulation index (Y)=0.4

$$\text{ได้ } C_p = 93.75 \mu\text{F}$$

$$L_p = 108.07 \text{ mH}$$

$$C_{pn} = 60 \mu\text{F}$$

$$L_{pn} = 168.86 \text{ mH}$$

กรณีที่ 4 ค่า frequency ratio(N)=10 (500 Hz) ค่า modulation index (Y)=0.8

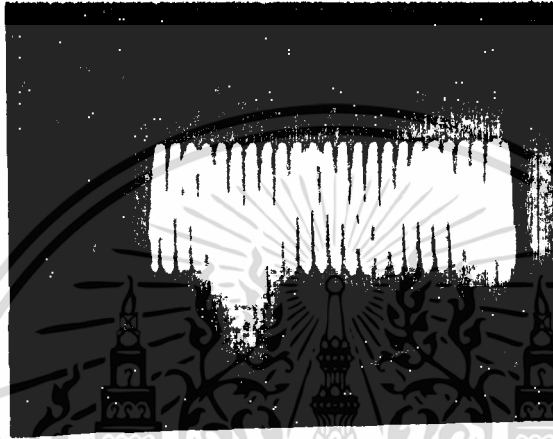
$$\text{ได้ } C_p = 206.89 \mu\text{F}$$

$$L_p = 48.97 \text{ mH}$$

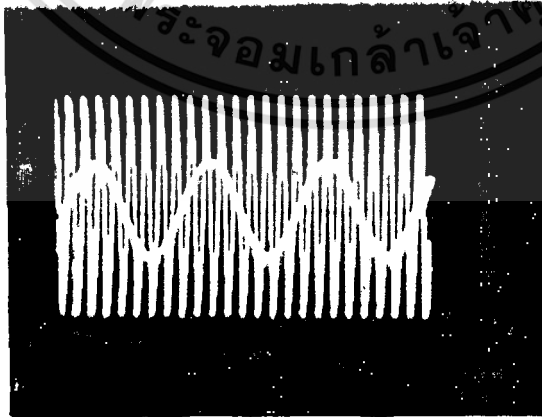
$$C_{pn} = 60 \mu\text{F}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนขึ้นที่ 168.86 เท่านั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

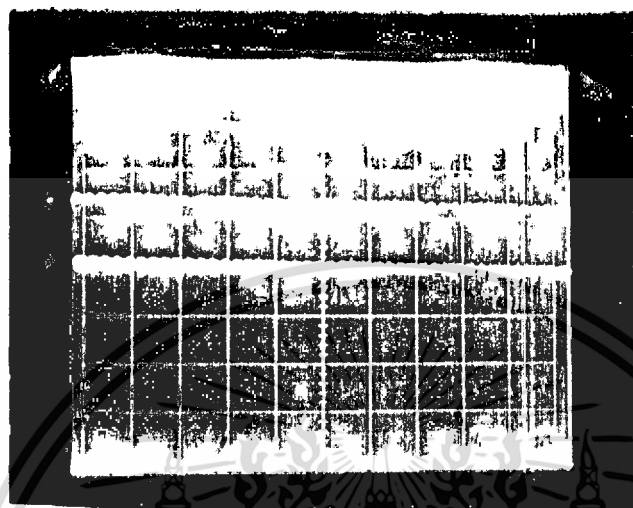
ผลการทดลองของรูปสัญญาณ INPUT ของ วงจรกรองความถี่



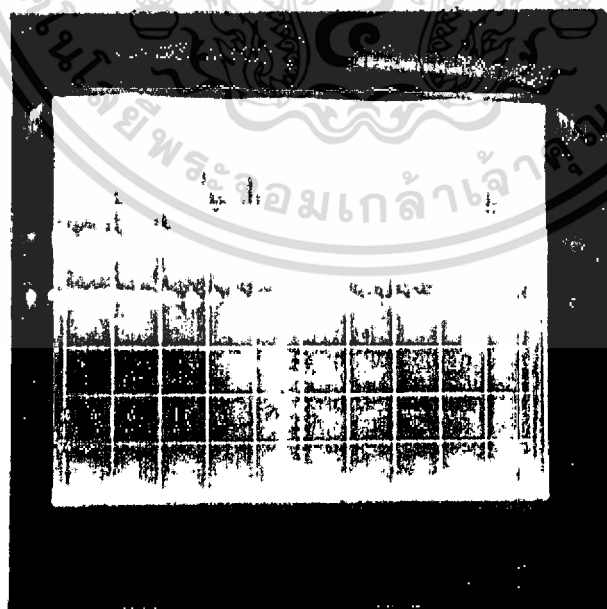
รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณคลื่นความถี่ 50 Hz กับสัญญาณคลื่นสามเหลี่ยมที่ความถี่ 400 Hz ที่ค่า $Y=0.8$



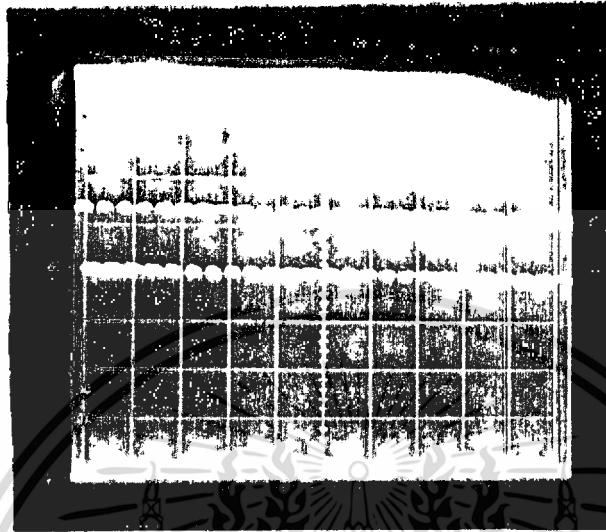
รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณคลื่นความถี่ 50 Hz กับสัญญาณคลื่นสามเหลี่ยมที่ความถี่ 400 Hz ที่ค่า $Y=0.4$
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



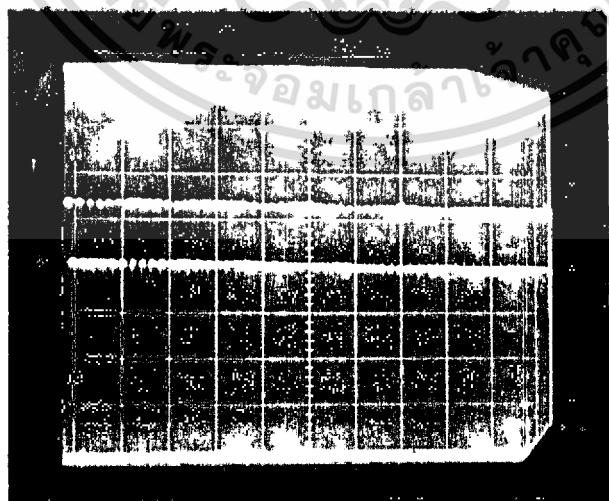
รูปที่ 5.4 แสดงรูปคลื่น PWM ที่ 400 Hz ($N=8$) และค่า modulation index (Y) 0.4



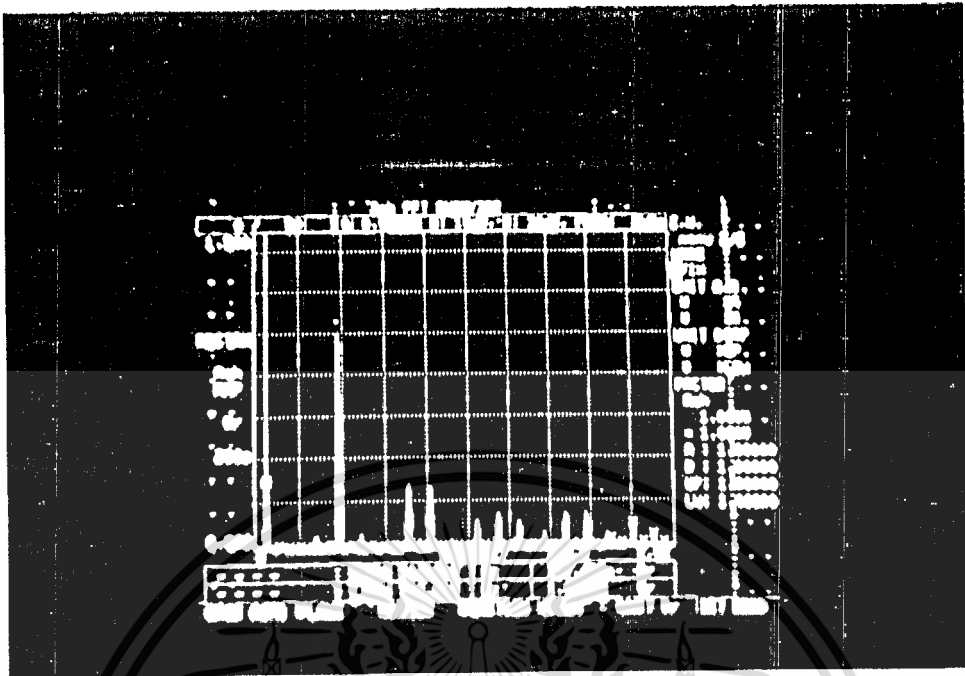
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานที่ละเมิดลิขสิทธิ์ของงานนี้ ไม่สมควรให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 5.5 แสดงรูปคลื่น PWM ที่ 400 Hz ($N=8$) และค่า modulation index (Y)=0.8
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



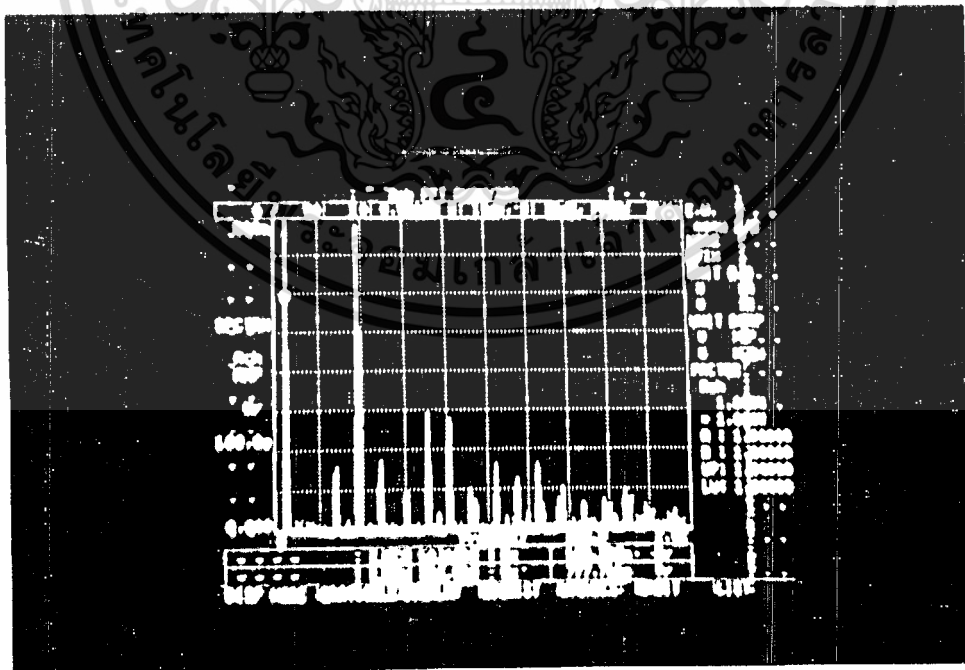
รูปที่ 5.6 แสดงรูปคลื่น PWM ที่ 500 Hz (N=10) และค่า modulation index (Y)=0.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 5.7 แสดงรูปคลื่น PWM ที่ 500 Hz (N=10) และค่า modulation index (Y)=0.8
 ไม่ว่าจะเห็นใดๆ ทั้งสิ้น ออกทั้งหมดมเหตตแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

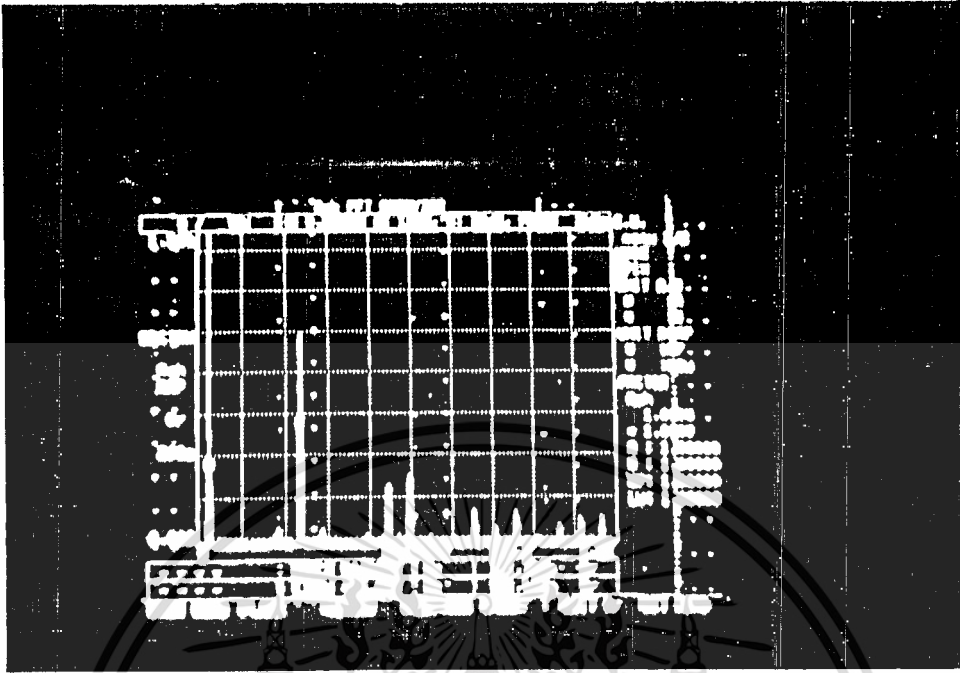


รูปที่ ๕.๘ แสดงลักษณะและการกระจายของ HARMONIC ของสัญญาณ INPUT ที่ frequency ratio = ๘ (400 Hz) modulation index = 0.4

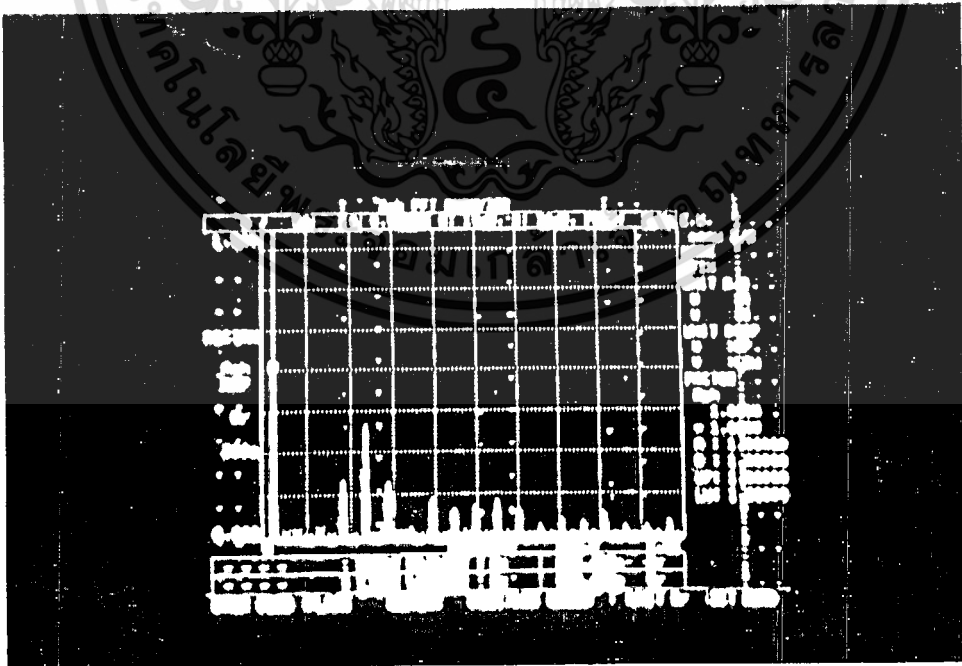


รูปที่ ๕.๙ แสดงลักษณะและการกระจายของ HARMONIC ของสัญญาณ INPUT ที่ frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ratio = 8 (400 Hz) modulation index = 0.6
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

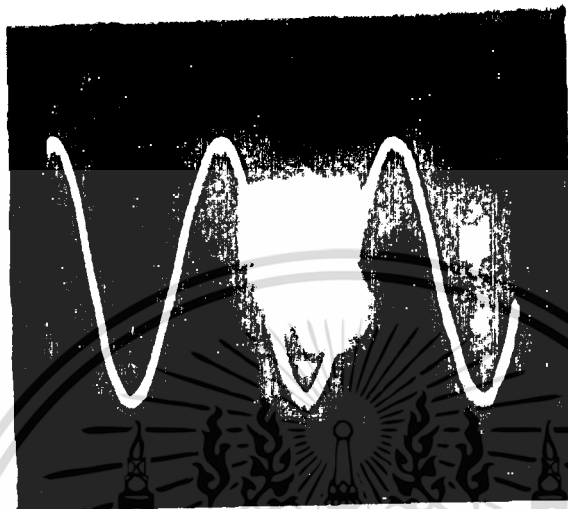


รูปที่ 5.10 แสดงลักษณะการกระจายของ HARMONIC ของสัญญาณ INPUT ที่ frequency ratio = 10 (500 Hz) modulation index = 0.4

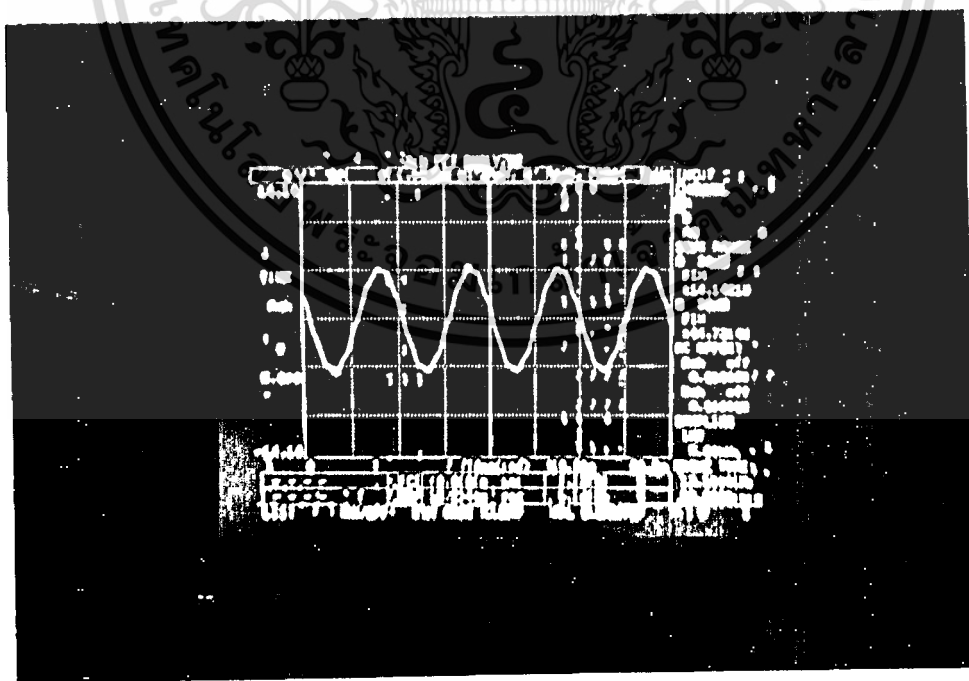


รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะการกระจายของ HARMONIC ของสัญญาณ INPUT ที่ frequency ratio = 10 (500 Hz) modulation index 0.0
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของรูปเปลี่ยนตำแหน่งจากผ่านวงจรมอดูเลชัน

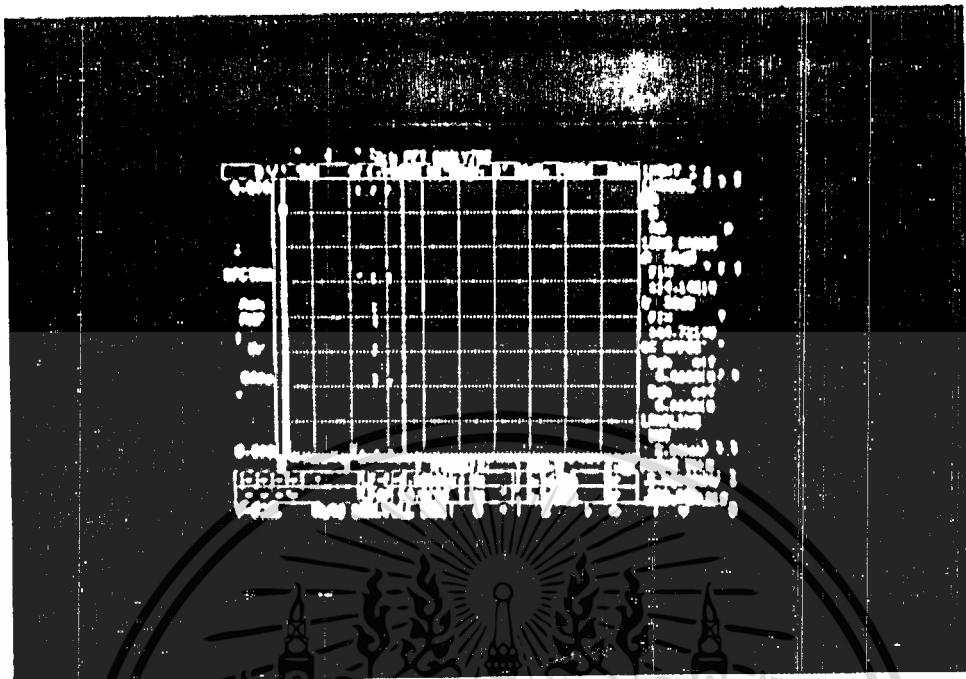


รูปที่ 5.12 แสดงลักษณะของสัญญาณ OUTPUT ที่ frequency ratio =8(400 Hz)
modulation index=0.4 ที่จับจาก OSCILLOSCOPE

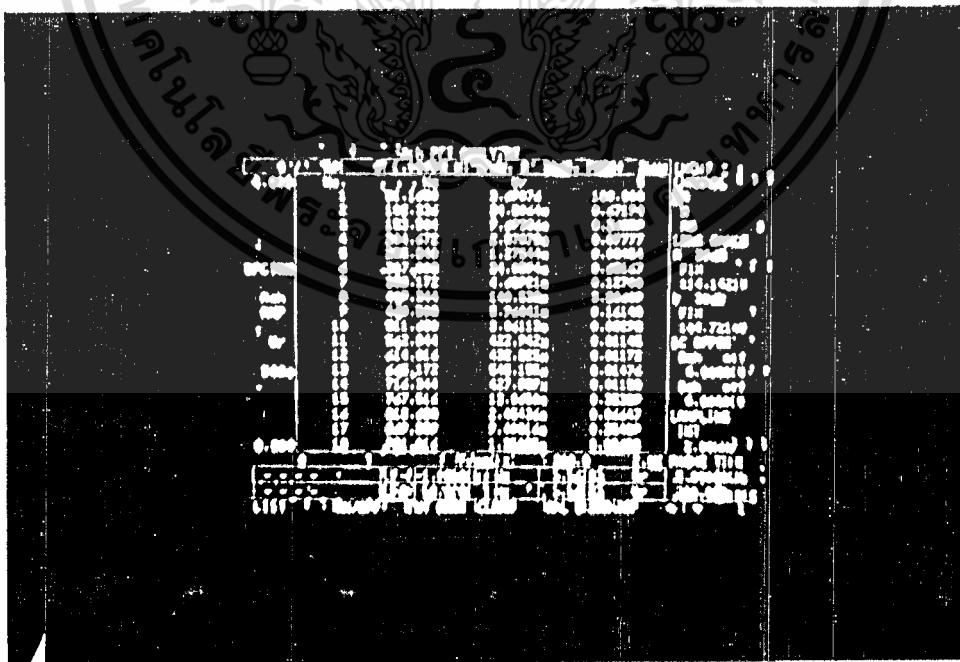


รูปที่ 5.13 แสดงลักษณะของสัญญาณ OUTPUT ที่ frequency ratio =8(400 Hz)

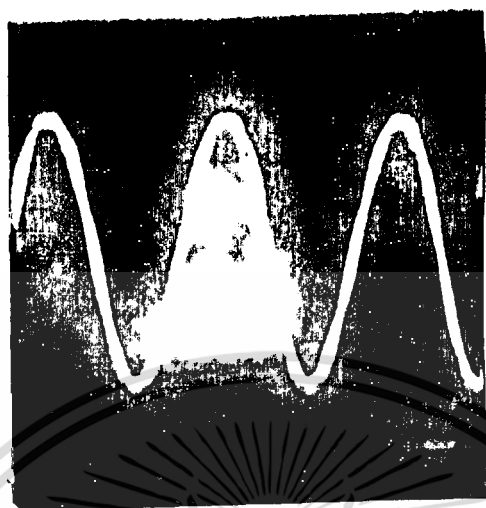
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
modulation index=0.4 ที่จับจาก SPECTRUM SCOPE
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



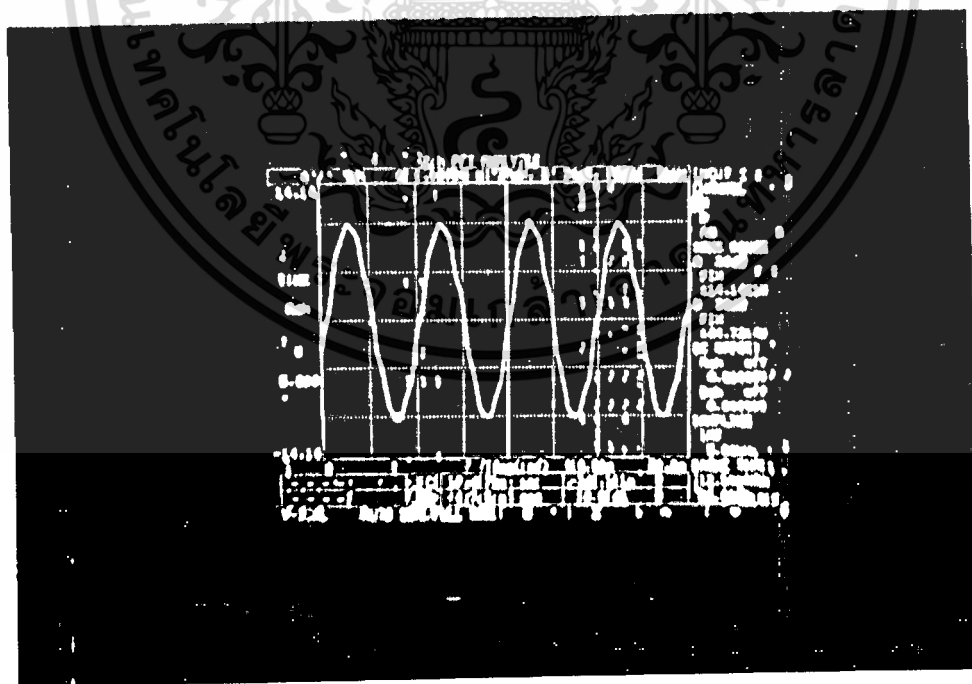
รูปที่ 5.14 แสดงลักษณะการกระจายของ HARMONIC ของสัญญาณ OUTPUT ที่ frequency ratio = 8 (400 Hz) modulation index = 0.4



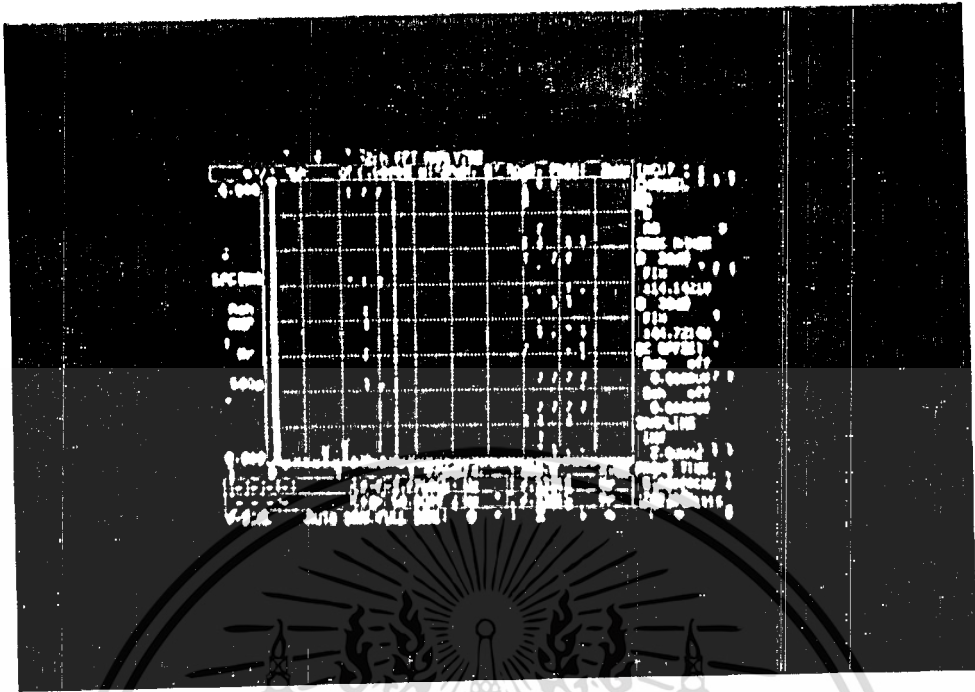
รูปที่ 5.15 แสดงค่า PERCENTAGE OF HARMONIC ต่าง ๆ ที่ได้จาก SPECTRUM SCOPE เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



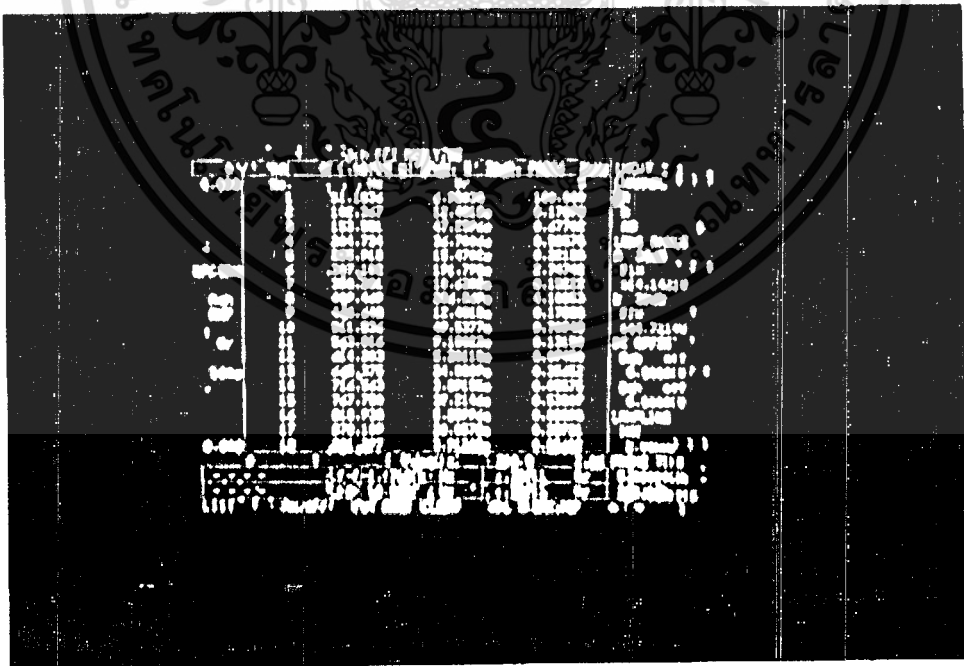
รูปที่ 5.16 แสดงลักษณะของสัญญาณ OUTPUT ที่ frequency ratio = 8 (400 Hz)
modulation index = 0.8 ที่จับจาก OSCILLOSCOPE



รูปที่ 5.17 แสดงลักษณะของสัญญาณ OUTPUT ที่ frequency ratio = 8 (400 Hz)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
modulation index = 0.8 ที่จับจาก SPECTRUM SCOPE
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

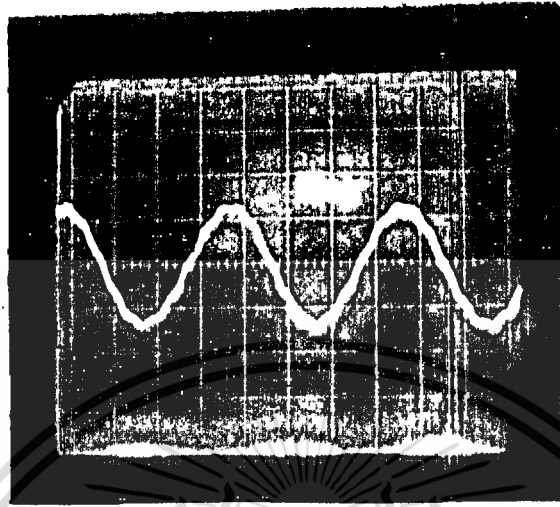


รูปที่ 5.18 แสดงลักษณะการกระจายของ HARMONIC ของสัญญาณ OUTPUT ที่ frequency ratio = 8 (400 Hz) modulation index = 0.8

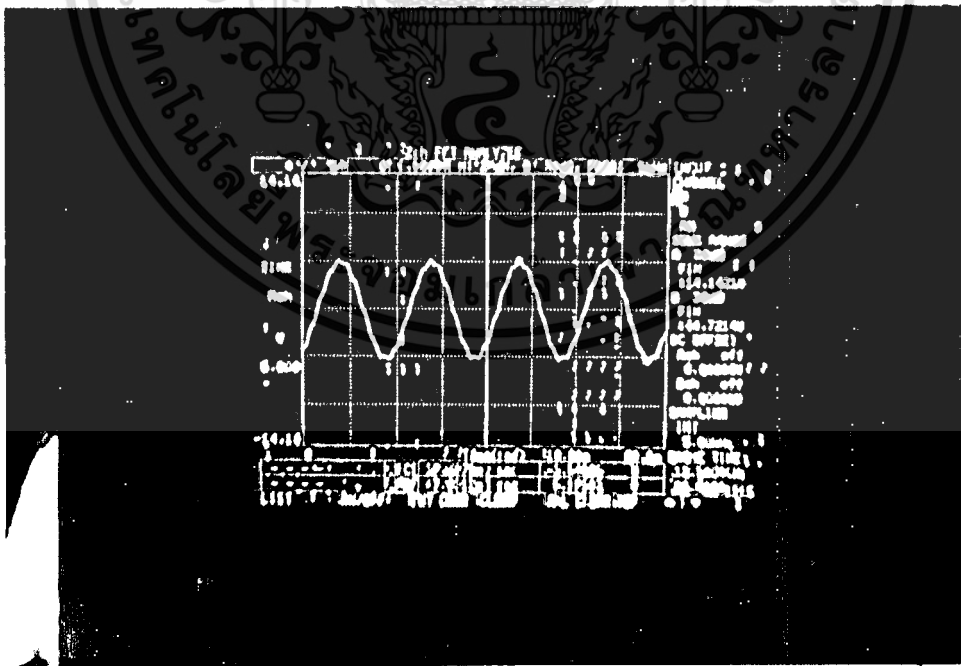


รูปที่ 5.19 แสดงค่า PERCENTAGE OF HARMONIC ต่าง ๆ ที่ได้จาก SPECTRUM SCOPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้เงื่อนไขของ (400 Hz) ที่ modulation index 0.8 ยืนยันด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

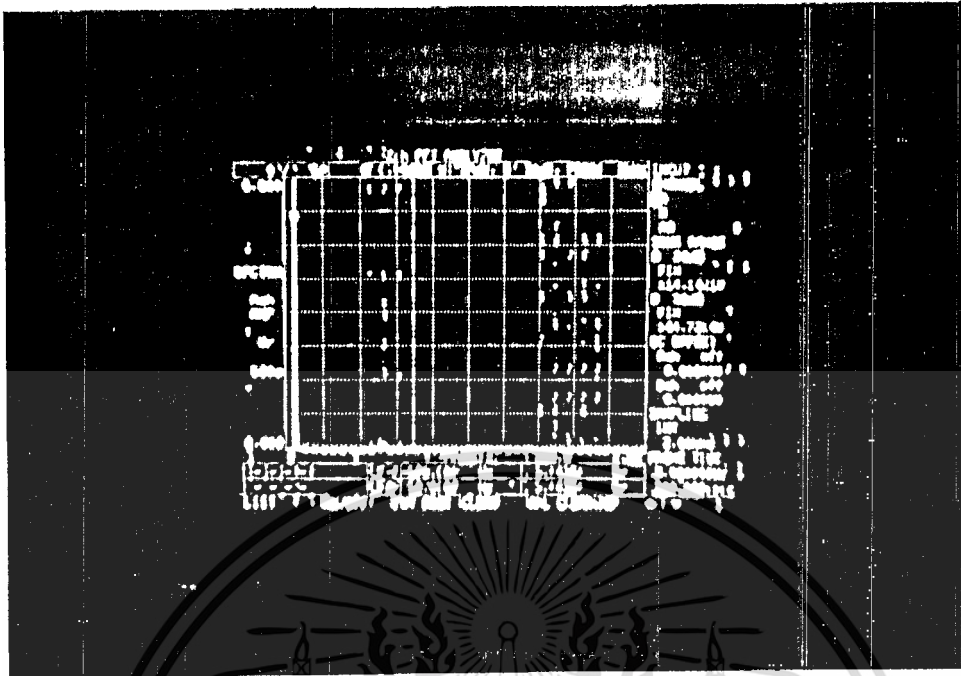


รูปที่ 5.20 แสดงลักษณะของสัญญาณ OUTPUT ที่ frequency ratio = 10 (500 Hz)
modulation index = 0.4 ที่จับจาก OSCILLOSCOPE

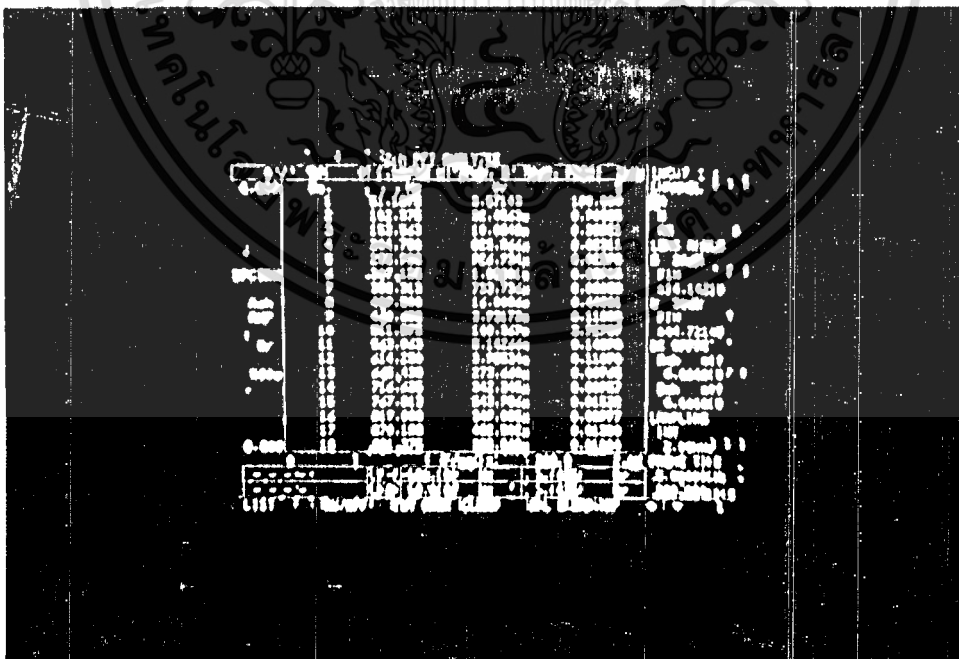


รูปที่ 5.21 แสดงลักษณะของสัญญาณ OUTPUT ที่ frequency ratio = 10 (500 Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
modulation index = 0.4 ที่จับจาก SPECTRUM SCOPE
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

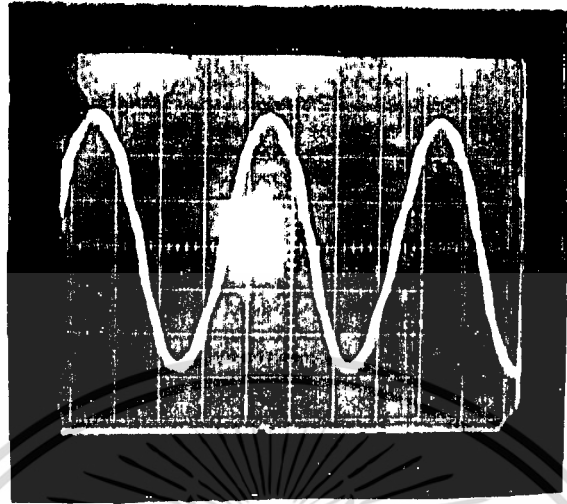


รูปที่ 5.22 แสดงลักษณะการกระจายของ HARMONIC ของสัญญาณ OUTPUT ที่ frequency ratio = 10 (500 Hz) modulation index = 0.4

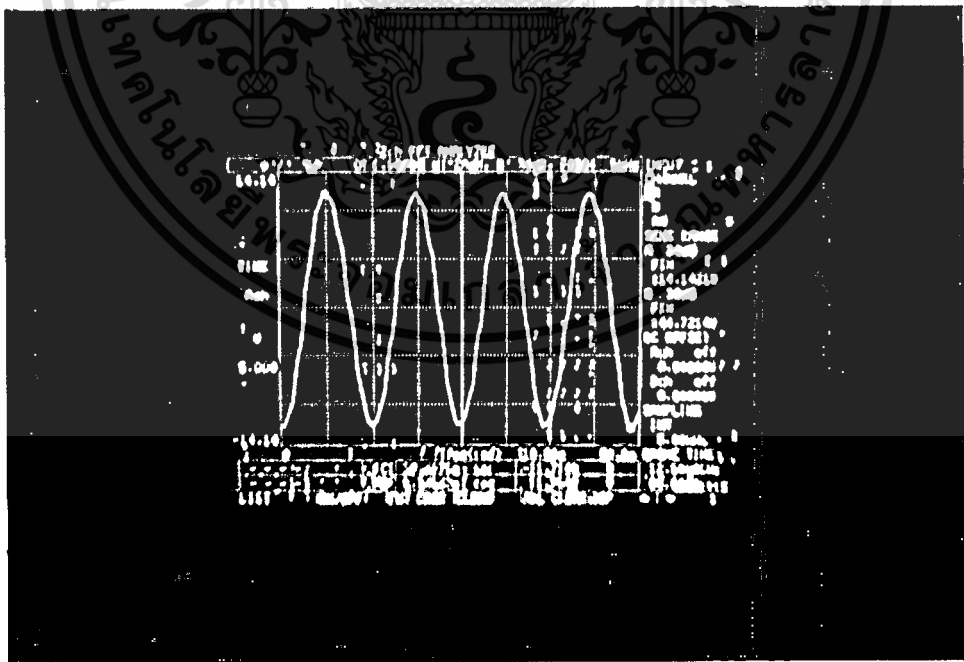


รูปที่ 5.23 แสดงค่า PERCENTAGE OF HARMONIC ต่าง ๆ ที่ได้จาก SPECTRUM SCOPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ที่ frequency ratio = 10 (500 Hz) modulation index = 0.4
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

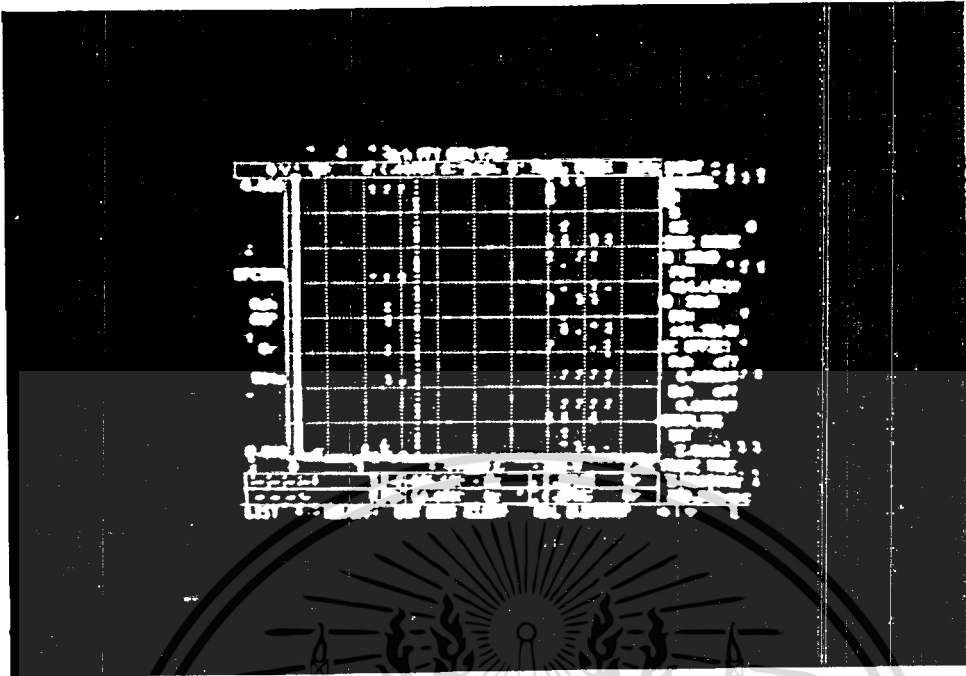


รูปที่ 5.24 แสดงลักษณะของสัญญาณ OUTPUT ที่ frequency ratio = 10 (500 Hz)
modulation index = 0.8 ที่จับจาก OSCILLOSCOPE

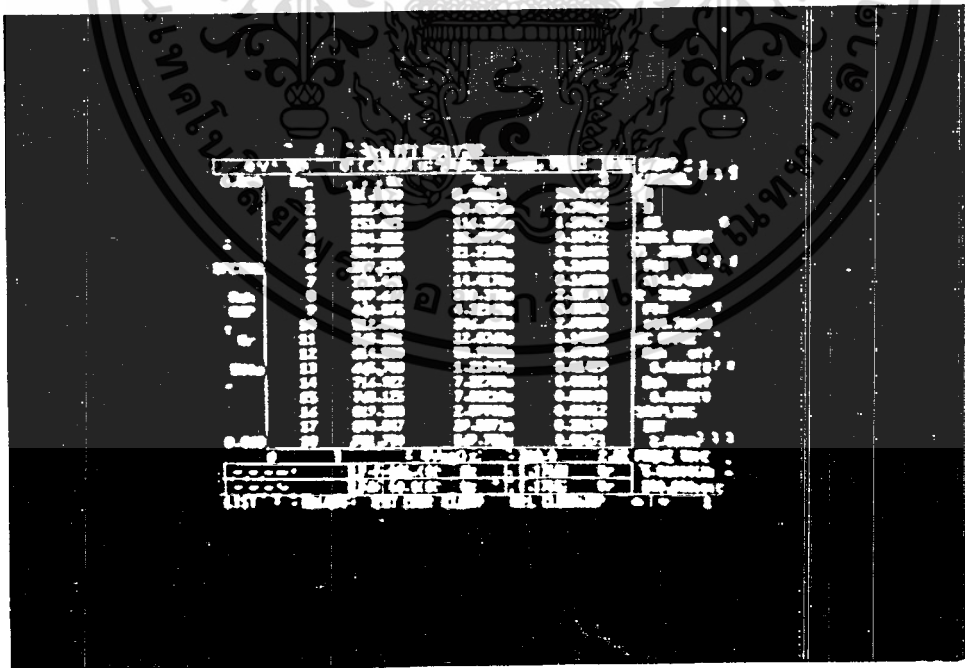


รูปที่ 5.25 แสดงลักษณะของสัญญาณ OUTPUT ที่ frequency ratio = 10 (500 Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น
modulation index = 0.4 ที่จับจาก SPECTRUM SCOPE
ถ้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.26 แสดงลักษณะการกระจายของ HARMONIC ของสัญญาณ OUTPUT ที่ frequency ratio = 10 (500 Hz) modulation index = 0.8



รูปที่ 5.27 แสดงค่า PERCENTAGE OF HARMONIC ต่าง ๆ ที่ได้จาก SPECTRUM SCOPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ frequency ratio = 10 (500 Hz) modulation index = 0.8 นี้เป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุป

6.1 ในส่วนของทฤษฎีการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ (HARMONIC)

บทความนี้ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์หาลักษณะการกระจายของกลุ่มฮาร์โมนิกสำหรับคลื่น SPWM (Sinusoidal Pulse-width Modulation) ของอินเวอร์เตอร์ชนิดที่ ให้สัญญาณสวิทช์บางรอบ 2 ระดับ โดยอาศัยวิธีการ Double Fourier Series Expansion ในการวิเคราะห์ ผลการคำนวณที่ได้มีปรากฏว่ามีลักษณะเกี่ยวกับวิธีการของ Fourier Series Expansion แบบทั่ว ๆ ไป ผลการคำนวณทั้งสองนี้ ยังได้นำมา สันนิษฐานเปรียบเทียบกับผลการวัดทดสอบจากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมความถี่ ซึ่งปรากฏว่า ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันจากผลการพิจารณาในบทความนี้จะแยกสรุปเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

- 1) ในขณะที่ให้ขนาดของสัญญาณการควบคุมคลื่นไซน์ ต่อคลื่นสามเหลี่ยมมีอัตรา ส่วนคงที่ แต่อัตราส่วนของความถี่เปลี่ยนไป ลำดับของฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นในระบบคือ

$$f_r \pm K$$

$$f_c$$

$$\text{โดยที่ } n = 1, 3, 5, \dots, \quad K = 0, 2, 4, \dots$$

$$n = 2, 4, 6, \dots, \quad K = 1, 3, 5, \dots$$

- 2) ลักษณะการเกิดฮาร์โมนิกจะแยกกระจายออกเป็นกลุ่ม ๆ โดยที่ในแต่ละกลุ่มจะ ประกอบด้วย หนึ่งฮาร์โมนิกหลัก และอีกหลาย ๆ ฮาร์โมนิกย่อย ฮาร์โมนิกหลักที่มีกำลัง แรงสุด จะอยู่ตรงตำแหน่งเดียวกับค่าอัตราส่วนระหว่างความถี่คลื่นสามเหลี่ยม ต่อความถี่ คลื่นไซน์ หรือ Frequency Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) อัตราส่วนระหว่างความถี่คลื่นสามเหลี่ยมต่อความถี่คลื่นซายน์ ที่มีค่าสูงขึ้นจะมีผลทำให้ กลุ่มฮาร์โมนิกที่มีลำดับต่ำ ๆ เลื่อนตำแหน่งไปอยู่ในลำดับที่สูงขึ้น

4) ขณะที่อัตราส่วนระหว่างความถี่คลื่นสามเหลี่ยม ต่อความถี่คลื่นซายน์ที่มีค่าคงที่ แต่ขนาดของคลื่นเปลี่ยนไป (Modulation Index) ในอัตราส่วนระหว่าง 0 ถึง 1 นั้น สำหรับคลื่นความถี่ Fundamental ขนาดที่ได้จะขึ้นกับอัตราส่วนของขนาดคลื่น (Modulation Index) โดยตรง ขนาดที่ได้คือ

aE โดยที่ a คือ อัตราส่วนระหว่างขนาดของคลื่นซายน์ต่อขนาดของคลื่นสามเหลี่ยม และ E คือ ศ.ซี.โวลต์เฉลี่ยของแหล่งจ่ายที่ป้อนให้กับอินเวอร์เตอร์

5) ขณะที่อัตราส่วนระหว่างขนาดของคลื่นซายน์ ต่อขนาดของคลื่นสามเหลี่ยมมีค่าลดต่ำลง. ฮาร์โมนิกหลักที่มีกำลังสูงสุดจะมีขนาดสูงขึ้น ในขณะที่ฮาร์โมนิกย่อยอื่น ๆ ในกลุ่มนี้มีขนาดลดลง

6.2 บทสรุปในส่วนของการออกแบบวงจรของความเร็ว

ใน ปริมาณหนึ่ง นี้ วิธีการพิจารณา KVA RATING ของส่วนประกอบ ระบบ UPS KVA RATING แสดงถึง ขนาด FILTER KVA และ TRANSFORMER KVA จะมีขนาดลดลงขณะที่ FREQUENCY RATIO เพิ่มขึ้น อัตราการลดลงมีสูงมากในเริ่มต้น แต่ค่าขณะที่ จะมี FREQUENCY RATIO ที่เหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายๆ สิ่ง ความสัมพันธ์ราคาต่อ KVA ของ INVERTER และส่วนประกอบที่ส่งราคารวมของทั้งระบบต่ำสุด

KVA RATING คำนวณจากสำหรับวิธี MODULATION ที่ให้มา เปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดขึ้น จากวิธี MODULATION อื่น ๆ ที่แตกต่างกัน กลายเป็นเส้นตรงในนี้ ได้

เปรียบเทียบวิธี MODULATION ของ 2 กับ 3-LEVEL ซึ่ง 3-LEVEL PWM ดีที่สุด จากวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การนี้สามารถขยายการ MODULATION ที่แตกต่างกันซึ่งสามารถทำนายผลกระทบที่เกิดขึ้น

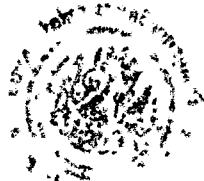
เอกสารอ้างอิง

1) S.M.Sriraghavan, G.N.Revanakar and Bishnu D. Pradhan, "Voltampere Ratings of Components of Pulsewidth-Modulated Inverter System", IEEE Transcation on Industrial Electronics and Control Instrumentation, Vol.IECI-25, No.3, August 1978, P.278-284

2) S.B.Dewan and P.D.Ziogas, "Optimum Filter Design For a Single-Phase Solid State UPS System", IEEE Transcation on Industry Applications, Vol.1A-15, No.6, November 1979, P.664-669

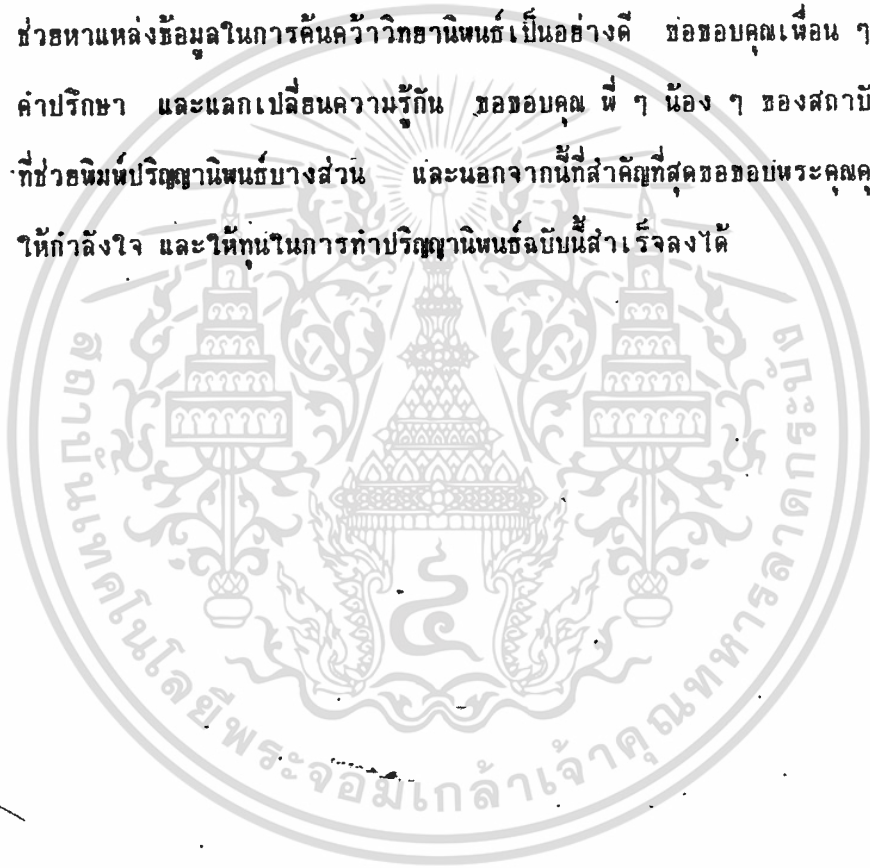
3) R.M.Hilloowala and S.M.Sriraghavan, "Selection and design of inverter output filters for UPS systems", INT.J. Electronics, Vol.61, No.3, 1986, P.371-385

4) สุวิทย์ คงพิทักษ์ศิลป์ และ สมานี เจียมท้วม, "อินเวอร์เตอร์ความถี่คงที่เฟสเดียวโวลต์แอมป์สเฟดกำลัง", วิทยานพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2532



กตติประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ ศุภกิจ จุตะวิริยะ เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และ
ช่วยแก้ปัญหาตลอดทั้งประวัติศาสตราจารย์ให้แก่ผู้จัดทำงานปฏิญานพันธันี้สำเร็จลงได้รวมทั้ง
ช่วยเหลือแหล่งข้อมูลในการค้นคว้าวิทยานพันธันี้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุก ๆ คนที่ให้
คำปรึกษา และแลกเปลี่ยนความรู้กัน ขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ ของสถาบัน THE BRAIN
ที่ช่วยพิมพ์ปฏิญานพันธันี้บางส่วน และนอกจากนี้ที่สำคัญที่สุดขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ที่ช่วย
ให้กำลังใจ และให้ทุนในการทำปฏิญานพันธันี้สำเร็จลงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้