หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์และออกแบบเอซี-ชอปเปอร์ความถี่สูงสำหรับ
	แหล่งจ่ายแรงดันเอซี 50 Hz ปรับค่าได้
นักศึกษา	ว่าที่ รต. ณัฐวุฒิ พลชะติน
รหัสประจำตัว	48060219
ປรີญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนช์	รศ. คร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนซ์นี้ได้นำเสนอหลักการทำงานของวงจรเอซีชอปเปอร์ความถิ่สูงซึ่งมีความถิ่ ในการชอปหรือในการสับเท่ากับ 20 kHz เอซีชอปเปอร์ดังกล่าวจะใช้ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนหรือ สับคลื่นไซน์ของแรงดังแหล่งจ่ายไฟการไฟฟ้า 50 Hz เป็นคลื่นตัวใหม่ในลักษณะของแรงดันเอซีที่ ถูกสับเป็นส่วนย่อยๆหรือเป็นแท่งๆที่มีพัลล์แต่ละแท่งกว้างเท่ากัน และสามารถปรับความกว้างพัลล์ ได้โดยการปรับควบคุมค่าดิวตี้ไซเคิล แรงดันเอซีที่ถูกสับเป็นส่วนย่อยๆ และสามารถปรับความ กว้างพัลล์ได้นี้ยังได้นำไปวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาองก์ประกอบฟันดาเมนทอลและฮาร์โมนิกส์ต่างๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในการออกแบบวงจรฟิลเตอร์เพื่อกรองให้ได้ความถิ่ 50 Hz ออกมาทางด้าน เอาท์พุทของวงจรที่นำเสนอ ในส่วนของวงจรฟิลเตอร์ก็ได้ทำการออกแบบเพื่อให้มีผลในการ กำจัดองก์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ทั้งหมดโดยเริ่มตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ต่ำสุดตัวแรกในลำดับที่ 399 นอกจากนั้นยังได้ทำการวิเคราะห์อย่างละเอียดเกี่ยวกับการทำงานของวงจร RC สนับเบอร์ซึ่งได้ต่อ เพิ่มเข้าไปในวงจรเอซีชอปเปอร์เพื่อช่วยในการจำกัดแรงดันสไปก์ไม่ให้มีระดับเกินค่าพิกัดของ แรงดันระหว่างเดรน-ซอร์สของอุปกรณ์สวิตช์แต่ละตัวซึ่งผลปรากฏว่าวงจรสนับเบอร์สามารถ ทำงานร่วมกับวงจรเอซีชอปเปอร์ได้เป็นอย่างดี และวงจรรวมทั้งหมดก์ยังสามารถทำงานได้ดี เช่นกันโดยสามารถสร้างแรงดันคลื่นไซน์ 50 Hz ทางด้านเอาต์พุตที่สามารถปรับระดับแรงดันได้ ตั้งแต่ 0-200 V ภายใต้พิกัดโหลดสูงสุดเท่ากับ 500 วัตต์

Thesis Title	Analysis and Design of High-Frequency AC Chopper for
	Variable 50-Hz Sinusoidal Voltage source
Student	Mr. Natavut Polchatin
Student ID.	48060219
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Assoc .Prof . Dr . Viriya Phichetjamroen

ABSTRACT

This thesis presents an operating principle of a high-frequency ac chopper circuit with the chopping frequency of 20 kHz. The chopper is used to change or chop the sinusoidal waveform of 50 Hz utility supply voltage into another waveform of ac chopped voltage with each pulse width being equal and variable by duty cycle control. The ac chopped voltage with variable pulse width will be analyzed in the next step for its fundamental and harmonic content which is again necessary for use in LC-filter circuit design for 50 Hz sinusoidal filtering on the output side of the proposed circuit. The filter circuit is designed to be effective for eliminating all the harmonics content starting from the first lowest harmonic of the order of 399.In addition, the circuit operation of the RC-Snubber circuit, which is added in the ac chopper circuit to help limiting the voltage spike not to exceed the rated value of voltage across the drain-source of each switching device, will be also analyzed in details. As a result, the snubber circuit can co-operate very well with the ac chopper circuit and the whole circuit can operate successfully with a 50 Hz sinusoidal voltage obtained on the output side. The voltage is variable from 0-200 V under a maximum load of 500 watts.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการ คำเนินการศึกษาและวิจัยจาก รศ.ดร. วิริยะ พิเชษจำเริญ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัย รู้สึกซาบซึ้งในพระคุณในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง ขอขอบคุณ คุณยงยุทธ นาราษฎร์ คุณศักดา พรหมเหมือน ที่ให้ความช่วยเหลือและ ปลอบใจในยามที่ผู้เขียนหมดกำลังใจที่จะทำงานต่อ ตลอดจนเพื่อนเอก น้องโจ น้องหนึ่ง น้อง สร้อยและทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือทั้งแรงกายแรงใจจนงานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ จ่ายสิบเอก สมศักดิ์ และนาง ซุ้ยลั่น พลชะติน ผู้ที่ได้ ให้ชีวิตและทุกสิ่งทุกอย่างให้ผู้เขียนได้ยืนอยู่ทุกวันนี้ ผู้ที่ไม่เคยหวังให้ลูกได้เป็นใหญ่เป็นโตหวังแก่ ให้ลูกเป็นคนดี ให้กำลังใจตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จสมความตั้งใจ กราบขอบพระคุณ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ณัฐวุฒิ พลชะติน

สารบัญ

หน้า
บทคัดย่อภาษาไทยI
บทคัดย่อภาษาอังกฤษII
กิตติกรรมประกาศIII
สารบัญIV
สารบัญตารางVII
สารบัญรูป
บทที่ 1 บทนำ1
1.1 ที่มาของการวิจัย1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์2
1.3 แนวความกิดที่ใช้ในงานวิจัย2
1.4 ขอบเขตการวิจัย4
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของวงจรเอซีชอปเปอร์
2.1บทนำ6
2.2 หลักการสร้างคลื่นไซน์ 50 Hz เอาต์พุตที่สามารถปรับค่า rms ของแรงคันได้6
2.3หลักการทำงาน
2.4 สัญญาณขับ8
2.5 เดคไทม์ (Dead time)12
2.5.1 หลักการทำงานของวงจรสร้างเคคไทม์
2.6 สรุป14
บทที่ 3 การทำงานของวงจรเอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ความถี่สูง15
3.1บทนำ15
3.2 โหมดการทำงานของวงจรเอซี-ชอปเปอร์16
3.2.1 โหมดจ่ายกำลัง (Powering Mode)17
3.2.2 โหมดฟรีวิล (Freewheeling Mode)19
3.2.3 โหมดรีเจนเนอร์เรทีฟ(Regenerative Mode)20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า
3.3 ลักษณะคลื่นของวงจรเอซีชอปเปอร์ที่ได้จากการทำงานเป็นโหมด
3.4 สนับเบอร์
3.4.1 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร RC สนับเบอร์ในวงจรเอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่
ความถี่สูง27
3.4.2 หลักการทำงานของวงจร R-C สนับเบอร์
3.4.3 การคำนวณหาค่า RC สนับเบอร์ที่ใช้ในวงจร40
3.4.4 ผลการทดลองและผลจากการซิมูเลตที่ได้จากวงจรสนับเบอร์41
3.5 สรุป49
บทที่ 4 การวิเคราะห์คลื่นเอาต์พุตและสมการของวงจรเอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่
ความถี่สูงที่ 20 kHz51
4.2 การวิเคราะห์หาสมการและคลื่นแรงดันเอาต์พุต51
4.3 การวิเคราะห์โดยให้สวิตชิ่งฟังก์ชั่นเป็นฟังก์ชั่นกู่ (Even Function)53
4.3.1 การคูณสมการของสวิตชิ่งฟังชั่นกับสมการของแรงคันอินพุต
4.3.2 การวิเคราะห์หากลื่นแรงดันเอาต์พุต58
4.3.3 การคำนวณหาค่า LC ฟิลเตอร์ที่ใช้ในวงจร
4.4 สรุป
บทที่ 5 ผลการทคลองและผลการซิมมูเลต
5.1บทนำ
5.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองทางทฤษฎี และผลการทคลองคลื่นแรงคันและกระแส
พร้อมแถบสเปกตรัมตามจุคต่าง ๆ ในวงจรเอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ความถี่สูง 20 kHz
กรณีป้อนแรงคันให้ทางค้านอินพุตเป็นไซน์การไฟฟ้า 220 V (rms) 50 Hz88
5.2.1 ขั้นตอนในการทำการทคลอง88
5.2.2 ขั้นตอนการซิมมูเลตด้วยโปรแกรม PSpice
5.2.3 ผลการทคลองและผลจากการซิมูเลต
5.3 การหากำลังไฟฟ้าด้านอินพุต $P_{_{in}}$ เอาต์พุต $P_{_o}$ และประสิทธิภาพ η ของ
เอซีชอปเปอร์153
5.3.1กำลังไฟฟ้ทางด้านแหล่งจ่ายไยน์การไฟฟ้า 50 Hz : P _{in}

สารบัญ (ต่อ)

หน้า
5.3.2 กำลังไฟฟ้าที่โหลดของวงจรเอซีชอปเปอร์ : P _o
5.3.3ประสิทธิภาพระหว่างโหลดของวงจรเอซีชอปเปอร์กับทางค้านแหล่งจ่ายไซน์การ
ใฟฟ้า 50 $_{ m Hz}$: η
5.4 สรุป156
บทที่ 6 สรุปผลที่ได้จากการวิจัยและข้อเสนอแนะ157
เอกสารอ้างอิง159
ภาคผนวก160
ภาคผนวก ก161
ภาคผนวก ข169
ภาคผนวก ค174
ภาคผนวก ง
ประวัติผู้เขียน

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
4.1 เปรียบเทียบการกรองแรงคันที่มีความถี่ตั้งแต่20 kHz กับ50 Hz
4.2 เปรียบเทียบการกรองแรงคันที่มีความถี่ตั้งแต่20kHz กับ50 Hzที่มีโหลด เป็น R
4.3 เปรียบเทียบการกรองแรงคันที่มีความถี่ตั้งแต่60 kHz กับ50Hzมี โหลดเป็น R-L ขนาน85
5.1 อุปกรณ์และค่าพิกัคต่าง ๆ ของวงจรเอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ความถี่สูง 20 kHz
ป้อนแรงคันเป็นไซน์การไฟฟ้า220 V(rms) 50 Hz ให้ทางค้านอินพุตของวงจร
ที่ใช้ในการทคลองจริง

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า
รูปที่1.1 แนวความคิดที่ใช้สร้างคลื่นไซน์สับทางคณิตศาสตร์
รูปที่ 1.2 แนวความคิดของการคูณกันของคลื่นไซน์ 50 Hz กันกับคลื่นสแควส์
รูปที่ 2.1 บล็อกไคอะแกรมของวงจรเอซีชอปสวิตช์ที่ความถี่สูง 20 kHzเปอร์ที่มี LC ฟิลเตอร์แล้ว7
รูปที่ 2.2 วงจรกำลังของ AC Chopper
รูปที่ 2.3 บล็อกไคอะแกรมของการสร้างสัญญาณขับของวงจรเอซีชอปเปอร์
รูปที่ 2.4 แสดงการรวมสัญญาณของสัญญาณสี่เหลี่ยม 50 Hz และสัญญาณ PWM 20 kHz
ในช่วง แรงคันไซน์จากบวกไปลบที่ก่าคิวตี้ไซเกิล (D= 80%)9
รูปที่2.5 แสดงการรวมสัญญาณของสัญญาณสี่เหลี่ยม 50 Hz และสัญญาณ PWM 20 kHz
ในช่วง แรงคันไซน์จากลบไปบวกที่ค่าคิวตี้ไซเคิล (D= 80%)10
รูปที่2.6 สัญญาณของสัญญาณสี่เหลี่ยม 50 Hz และสัญญาณ PWM 20 kHz ในช่วงแรงคันไซน์
จากบวกไปลบที่ก่าดิวตี้ไซเกิล(D= 20%)11
รูปที่ 2.7 แสดงการรวมสัญญาณของสัญญาณสี่เหลี่ยม 50 Hz และสัญญาณ PWM 20 kHzในช่วง
แรงคันไซน์จากลบไปบวกที่ค่าคิวตี้ไซเกิล (D= 20%)11
รูปที่ 2.8 วงจรสร้างเคคไทม์12
รูปที่ 2.9สัญญาณที่จะสร้างเคคไทม์13
รูปที่2.10 สัญญาณที่สร้างให้กลับกัน13
รูปที่2.11 สัญญาณที่ถูกหน่วงการลงออกไป13
รูปที่2.12 สัญญาณที่มีจุดทับกัน14
รูปที่2.13 สัญญาณที่มีเคคไทม์ที่สามารถนำไปใช้งานได้แล้ว14
รูปที่ 3.1 วงจรเอซีชอปเปอร์และบล็อกไคอะแกรมของการสร้างสัญญาณขับเกท15
รูปที่ 3.2 ลักษณะสัญญาณขับเกทและคลื่นอินพุตเอาต์พุต16
รูปที่3.3 ลักษณะของคลื่นก่อนเข้าและหลังเข้าวงจรเอซีชอปเปอร์17
รูปที่3.4 ลักษณะคลื่นก่อนผ่านและหลังผ่าน LC ฟิลเตอร์17
รูปที่3.5 ลักษณะวงจรของโหมคจ่ายกำลังในครึ่งไซเคิลบวก18
รูปที่3.6 ลักษณะวงจรของโหมคจ่ายกำลังในครึ่งไซเคิลลบ18
รูปที่3.7 โหมคฟรีวีลในครึ่งไซเคิลบวก19
รูปที่3.8 โหมคฟรีวีลในครึ่งไซเคิลลบ20
รูปที่3.9 โหมครีเจนเนอร์เรทีฟในครึ่งไซเคิลลบ20
รูปที่3.10 โหมครีเจนเนอร์เรทีฟในครึ่งไซเคิลบวก21

รูปที่ หน้า
รูปที่3.11 รูปคลื่นไซน์อินพุต 50 Hz ที่ถูกสับด้วยความถี่ 20 kHz
รูปที่3.12 รูปคลื่นไซน์อินพุท 50 Hz ที่ถูกสับด้วยความถี่ 2 kHz
รูปที่3.13 คลื่นแรงคันและกระแสอินพุตของวงจรเอซีชอปเปอร์ที่ค่าคิวตี้ไซเกิล D เท่ากับ 10 %23
รูปที่3.14 คลื่นแรงคันและกระแสเอาต์พุตที่ยังไม่กรองเอาฮาโมนิกส์ความถี่สูงออกของ
วงจรเอซีชอปเปอร์ที่ค่าคิวตี้ไซเคิล D เท่ากับ 10 %
รูปที่3.15 คลื่นแรงคันและกระแสเอาต์พุตที่กรองเอาฮาโมนิกส์ความถี่สูงออกแล้วของ
วงจรเอซีชอปเปอร์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิล D เท่ากับ 10 %
รูปที่ 3.16 คลื่นแรงและกระแสดันอินพุตของวงจรเอซีชอปเปอร์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิล D เท่ากับ 50 %24
รูปที่ 3.17 คลื่นแรงคันและกระแสเอาต์พุตที่ยังไม่กรองเอาฮาโมนิกส์ความถี่สูงออกของ
วงจรเอซีชอปเปอร์ที่ก่าคิวตี้ไซเกิล D เท่ากับ 50 %24
รูปที่ 3.18 คลื่นแรงคันและกระแสเอาต์พุตที่กรองเอาฮาโมนิกส์ความถี่สูงออกแล้วของ
วงจรเอซีชอปเปอร์ที่ค่าคิวตี้ไซเคิล D เท่ากับ 50 %
รูปที่ 3.19 คลื่นแรงคันและกระอินพุตของวงจรเอซีชอปเปอร์ที่ค่าคิวตี้ไซเคิล D เท่ากับ 90 %25
รูปที่ 3.20 คลื่นแรงคันและกระแสเอาต์พุตที่ยังไม่กรองเอาฮาโมนิกส์ความถี่สูงออกของ
วงจรเอซีชอปเปอร์ที่ค่าคิวตี้ไซเกิล D เท่ากับ 90 %
รูปที่ 3.21 คลื่นแรงคันและกระแสเอาต์พุตที่กรองเอาฮาโมนิกส์ความถี่สูงออกแล้วของ
วงจรเอซีชอปเปอร์ที่ค่าคิวตี้ไซเคิล D เท่ากับ 90 %
รูปที่ 3.22 ลักษณะของแรงคันเอาต์พุต(v _{o,chop})ในหนึ่งไซเคิลของวงจรเอซีชอปเปอร์ที่ยังไม่ผ่าน
วงจร LC ฟิลเตอร์และยังไม่ได้ใส่สนับเบอร์27
รูปที่ 3.23 วงจรเอซีชอปเปอร์ที่มีวงจรสนับเบอร์ต่ออยู่
รูปที่ 3.24 ลักษณะของแรงคันเอาต์พุต(_{V_{o,แนย})ในหนึ่งไซเคิลของวงจรเอซีชอปเปอร์ที่ยังไม่ผ่าน}
วงจร LC ฟิลเตอร์ที่ใส่สนับเบอร์แล้ว28
รูปที่ 3.25 คลื่นแรงคันและกระแสตามจุคต่างๆ ของสนับเบอร์ในครึ่งไซเคิลบวก
รูปที่ 3.26ลักษณะการทำงานของวงจรเอซีชอปเปอร์ในโหมคจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power Mode) ในครึ่ง
ไซเคิลบวก30
รูปที่ 3.27 ลักษณะการใหลของกระแสที่ชาร์ตเข้า C _{si} และดิสชาร์ตประจุของ C _{s4} ในโหมดฟรีวิลริ่ง
(Freewheeling Moad)ในครึ่งไซเคิลบวก
รูปที่ 3.28 แรงคันที่ตกคร่อม C _{s1} และแรงคันที่ตกคร่อม R _{s1} ในครึ่งไซเกิลบวก

รูปที่ หน้า
รูปที่ 3.29 คลื่นแรงคัน V_{s1} ที่ (y=50V/div,x=10us/div) และ V_{cs1} ที่ (y=50V/div,x=10us/div) ที่ได้
จากการซิมูเลตและการทคลอง32
รูปที่ 3.30 ถื่นแรงดัน V _{s1} ที่ <i>(y=50V/div,x=10us/div)</i> และ I _{cs1} ที่ <i>(y=5V/div,x=10us/div)</i> ที่ได้
จากการซิมูเลตและการทคลอง32
รูปที่ 3.31 ถิ่นแรงคัน V _{cs1} ที่ <i>(y=50V/div,x=10us/div)</i> และ V _{RS1} ที่ <i>(y=50V/div,x=10us/div)</i> ที่ได้
จากการซิมูเลตและการทดลอง32
รูปที่ 3.32 ถิ่นแรงคัน V _{cs1} ที่ <i>(y=50V/div,x=2us/div)</i> และ V _{RS1} ที่ <i>(y=50V/div,x=2us/div)</i> ในช่วง
ขาลงที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง33
รูปที่ 3.33 คลื่นแรงคัน V_{CS1} ที่ (y=50V/div,x=2us/div) และ V_{RS1} ที่ (y=50V/div,x=2us/div) ในช่วง
ขาขึ้นที่ได้จากการซิมูเลตและการทคลอง33
รูปที่ 3.34 งจรเอซีชอปเปอร์ในขณะที่สวิตช์ S $_4$ นำกระแสและ C $_{ m S1}$ ถูกชาร์ตประจุเต็มแล้ว
เป็นทำงานในโหมคฟรีวิสริ่ง (Free wheeling Moad) ในครึ่งไซเกิลบวก
รูปที่ 3.35 การทำงานของวงจรเอซีชอปเปอร์ขณะสวิตช์ S ₁ เริ่มนำกระแสโดยที่ C _{s1} ดิสชาร์ตประจุ
ผ่าน $\mathbf{R}_{_{\mathrm{S1}}}$ ผ่านไปยังสวิตช์ $\mathbf{S}_{_{1}}$ และสวิตช์ $\mathbf{S}_{_{4}}$ หยุดนำกระแสทำให้ $\mathbf{C}_{_{\mathrm{S4}}}$ ชาร์ตประจุ34
รูปที่ 3.36 กษณะการทำงานของวงจรเอซีชอปเปอร์ในโหมคจ่ายกำลังไฟฟ้า (Powering Mode) ใน
ครึ่งไซเกิลลบ35
รูปที่ 3.37 คลื่นแรงคันและกระแสตามจุดต่างๆ ของสนับเบอร์ในครึ่งไซเกิลลบ
รูปที่ 3.38 ลักษณะการใหลของกระแสที่ชาร์ตเข้า C _{s2} และดิสชาร์ตประจุของ C _{s3} ในโหมคฟรีวิลริ่ง
(Freewheeling Moad)ในครึ่งไซเกิลลบ36
รูปที่ 3.39 แรงคันที่ตกคร่อม C _{s2} และแรงคันที่ตกคร่อม R _{s2} ในครึ่งไซเคิลบวก
รูปที่ 3.40 คลื่นแรงคัน V _{s2} ที่ <i>(y=50V/div,x=10us/div)</i> และ V _{cs2} ที่ <i>(y=50V/div,x=10us/div)</i> ที่ได้
จากการซิมูเลตและการทคลอง37
รูปที่ 3.41 คลื่นแรงคัน V _{s2} ที่ <i>(y=50V/div,x=10us/div)</i> และ I _{cs2} ที่ <i>(y=5V/div,x=10us/div)</i> ที่ได้
จากการซิมูเลตและการทคลอง
รูปที่ 3.42 คลื่นแรงคัน V _{cs2} ที่ (<i>y=50V/div,x=10us/div</i>) และ V _{rs2} ที่ (<i>y=50V/div,x=10us/div</i>) ที่ได้
จากการซิมูเลตและการทคลอง
รูปที่ 3.43 คลื่นแรงคัน V _{cs2} ที่ (<i>y=50V/div,x=2us/div</i>) และ V _{Rs2} ที่ (<i>y=50V/div,x=2us/div</i>) ในช่วง
ขาลงที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง

รูปที่ หน้า
รูปที่ 3.44 คลื่นแรงคัน V_{cs2} ที่ (y=50V/div,x=2us/div) และ V_{Rs2} ที่ (y=50V/div,x=2us/div) ในช่วง
ขึ้นลงที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง
รูปที่ 3.45 วงจรเอซีชอปเปอร์ในขณะที่สวิตช์ S ₃ นำกระแสและ C _{s2} ถูกชาร์ตประจุเต็มแล้ว
เป็นทำงานในโหมดฟรีวิลริ่ง (Free wheeling Moad) ในครึ่งไซเกิลลบ
รูปที่ 3.46 การทำงานของวงจรเอซีชอปเปอร์ขณะสวิตช์ S_2 เริ่มนำกระแส โดยที่ C_{s2} ดิสชาร์ตประจุ
ผ่าน R $_{ m S2}$ ผ่านไปยังสวิตช์ S $_2$ และสวิตช์ S $_3$ หยุดนำกระแสทำให้ C $_{ m S3}$ ชาร์ตประจุ40
รูปที่ 3.47 ลักษณะคลื่นแรงคันและกระแสตามจุคต่างๆ ของสนับเบอร์ของสวิตช์ตัวที่หนึ่งที่
ค่าดิวตี้ไซเกิลทำกับ 10% และความถี่สวิตชิ่งเท่ากับ 20kHz42
รูปที่ 3.48 ลักษณะคลื่นแรงคันและกระแสตามจุคต่างๆ ของสนับเบอร์ของสวิตช์ตัวที่หนึ่งที่
ค่าดิวตี้ไซเกิลทำกับ 50% และความถี่สวิตชิ่งเท่ากับ 20kHz44
รูปที่ 3.49 ลักษณะคลื่นแรงคันและกระแสตามจุคต่างๆ ของสนับเบอร์ของสวิตช์ตัวที่หนึ่งที่
ค่าดิวตี้ไซเกิลทำกับ 90% และความถี่สวิตชิ่งเท่ากับ 20kHz47
รูปที่ 4.1 แนวคิดในการวิเคราะห์กลื่นแรงคันเอาต์พุตของเอซีชอปเปอร์ที่นำเสนอ52
รูปที่ 4.2 สัญญาณของสวิตชิ่งฟังก์ชั่นเป็นฟังก์ชั่นแบบคู่ (Even Function)53
รูปที่ 4.3 การกระจายฮาโมนิกส์ของสวิตชิ่งฟังค์ชั่น56
รูปที่ 4.4 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o.chop} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวตี้ไซเกิล 10%59
รูปที่ 4.5 ลักษณะคลื่นแรงคัน _{Vchop} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวตี้ไซเกิล 20%60
รูปที่ 4.6 ถั กษณะคลื่นแรงคัน v _{o.swite} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวตี้ไซเกิล 30%61
รูปที่4.7 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o.chop} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวตี้ไซเกิล 40%63
รูปที่4.8 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o.chop} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวตี้ไซเกิล 50%64
รูปที่4.9 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o.chop} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่ดิวตี้ไซเกิล 60%65
รูปที่4.10 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o.swite} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวตี้ไซเกิล 70%67

รูปที่ หน้า
รูปที่4.11 ลักษณะคลื่นแรงคัน _{vchop} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวตี้ไซเคิล 80%
รูปที่ 4.12 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{a.chop} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวตี้ไซเกิล 90%
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงคันเอาต์พุตที่ยังไม่ได้กรองฮาโมนิกส์ความถี่สูงออก
(v _{ochopc})กับค่าดิวตี้ไซเคิลต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 171
รูปที่ 4.14 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o.50Hz} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวศี้ไซเคิล 10%72
รูปที่4.15 ลักษณะคลื่นแรงคัน _{v.,50Hz} พร้อมแถบสเปกตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวศี้ไซเคิล 20%73
รูปที่4.16 ลักษณะคลื่นแรงคัน _{v.,souz} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวตี้ไซเกิล 30%74
รูปที่4.17 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{a.50Hz} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทดลองที่ดิวตีไซเกิล 40%75
รูปที่4.18 ลักษณะคลื่นแรงคัน _{v.50Hz} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทดลองที่ดิวตี้ไซเกิล 50%76
รูปที่ 4.19 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o,50Hz} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวตี้ไซเคิล 60%77
รูปที่ 4.20 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o.50Hz} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวตี้ไซเกิล 70%78
รูปที่4.21 ลักษณะคลื่นแรงคัน _{v,sollz} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวตี้ไซเคิล 80%79
รูปที่4.22 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o.50Hz} พร้อมแถบสเปคตรัมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการ
ทคลองที่คิวตี้ไซเคิล 90%80
รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงคันเอาต์พุตที่กรองฮาโมนิกส์ความถี่สูงออก(v _{o.sottz})กับ
ก่าดิวตี้ไซเกิลต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 1
รูปที่ 4.24 ผลตอบสนองต่อความถี่ของวงจร LC ฟิลเตอร์
รูปที่5.1 วงจรเอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ความถี่สูง 20 kHz ป้อนแรงคันเป็นไซน์การไฟฟ้า220 v(rms)
50 Hz ให้ทางค้านอินพุตของวงจรที่ใช้ในการทคลองจริง

รูปที่ หน้า
รูปที่ 5.2 ลักษณะคลื่นแรงคัน _v , และกระแส <i>i</i> , ทางค้านอินพุตพร้อมแถบสเปคตรัมในกรณีที่
วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 10 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz90
รูปที่ 5.3 ถักษณะคลื่นแรงดัน _{v_{ochop} และกระแส i_{o,chop} ทางด้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปคตรัมใน กรณีที่วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเดิลเท่ากับ 10 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง}
เท่ากับ 20 kHz92
รูปที่5.4 ลักษณะคลื่นแรงคัน _{V_{0.50Hz} และกระแส i_{0.50Hz} ทางด้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปกตรัมใน กรณีที่วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 10 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง}
เท่ากับ 20 kHz95
รูปที่ 5.5 ลักษณะคลื่นแรงคัน _{v,} และกระแส <i>i</i> , ทางด้านอินพุตพร้อมแถบสเปคตรัมในกรณีที่ วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 20 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz97
รูปที่ 5.6 ลักษณะคลื่นแรงคัน _{v_{a.chop} และกระแส i_{a.chop} ทางด้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปคตรัมใน กรณีที่วงจร เอซีชอปเปอร์สวิทช์ที่ค่าดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 20 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง}
เท่ากับ 20 kHz
รูปที่5.7 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o.50Hz} และกระแส i _{o.50Hz} ทางด้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปกตรัมใน
กรณีที่วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวดี้ไซเกิลเท่ากับ 20 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz102
รูปที่ 5.8 ลักษณะคลื่นแรงคัน _{v,} และกระแส i, ทางค้านอินพุตพร้อมแถบสเปคตรัมในกรณีที่
วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 30 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz104
รูปที่ 5.9
เท่ากับ 20 kHz106
รูปที่ 5.10 ลักษณะคลื่นแรงคัน _{v_{a.soHz} และกระแส i_{a.soHz} ทางด้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปคตรัมใน กรณีที่วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 30 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง}
เท่ากับ 20 kHz

รูปที่ หน้า
รูปที่ 5.12 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o,chop} และกระแส i _{o,chop} ทางค้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปคตรัมใน
กรณีที่วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 40 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz113
รูปที่ 5.13 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o.50Hz} และกระแส <i>i_{o.50Hz}</i> ทางด้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปกตรัมใน
กรณีที่วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 40 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz116
รูปที่5.14 ลักษณะคลื่นแรงคัน _v , และกระแส i, ทางด้านอินพุตพร้อมแถบสเปคตรัมในกรณีที่
วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 50 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz118
รูปที่ 5.15 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o,chop} และกระแส i _{o,chop} ทางค้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปคตรัมใน
กรณีที่วงจรเอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าคิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 50 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz120
รูปที่ 5.16
กรณีที่วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าคิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 50 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz123
รูปที่5.17 ถักษณะคลื่นแรงคัน v, และกระแส i, ทางค้านอินพุตพร้อมแถบสเปคตรัมในกรณีที่
วงจรเอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าคิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 60 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz125
รูปที่ 5.18 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{ochop} และกระแส i _{o,chop} ทางค้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปคตรัมใน
กรณีที่วงจรเอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าคิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 60 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz127
รูปที่ 5.19 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o.souz} และกระแส i _{o.souz} ทางค้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปคตรัมใน
กรณีที่วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ก่าดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 60 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz 130
รูปที่5.20 ลักษณะคลื่นแรงคัน _v , และกระแส _้ i, ทางด้านอินพุตพร้อมแถบสเปคตรัมในกรณีที่
วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 70 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz

รูปที่ หน้า
รูปที่5.20 ลักษณะคลื่นแรงคัน _v , และกระแส i, ทางค้านอินพุตพร้อมแถบสเปคตรัมในกรณีที่
วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 70 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz132
รูปที่ 5.21 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o.chop} และกระแส i _{o.chop} ทางค้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปคตรัมใน
กรณีที่วงจรเอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 70 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz134
รูปที่ 5.22 ถักษณะคลื่นแรงคัน v _{o,souz} และกระแส <i>i_{o,souz}</i> ทางค้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปคตรัมใน
กรณีที่วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 70 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz137
รูปที่5.23 ลักษณะคลื่นแรงคัน _v , และกระแส i, ทางค้านอินพุตพร้อมแถบสเปคตรัมในกรณีที่
วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 80 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz139
รูปที่ 5.24 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{o,chop} และกระแส i _{o,chop} ทางค้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปคตรัมใน
กรณีที่วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ก่าดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 80 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz141
รูปที่ 5.25 ลักษณะคลื่นแรงคัน _{v_{o.souz} และกระแส i_{o.souz} ทางค้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปกตรัมใน}
กรณีที่วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ก่าคิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 80 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz144
รูปที่5.26 ถักษณะคลื่นแรงคัน _v , และกระแส _i , ทางด้านอินพุตพร้อมแถบสเปคตรัมในกรณีที่
วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 90 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz146
รูปที่ 5.27 ลักษณะคลื่นแรงคัน v _{ochop} และกระแส i _{o.chop} ทางค้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปกตรัมใน
กรณีที่วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ก่าดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 90 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kH148
รูปที่ 5.28 ลักษณะคลื่นแรงคัน _{v_{o,souz} และกระแส i_{o,souz} ทางด้านเอาต์พุตพร้อมแถบสเปกตรัมใน}
กรณีที่วงจร เอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ก่าดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 90 % มีความถี่ในการสวิตชิ่ง
เท่ากับ 20 kHz151
รูปที่ 5.29 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุตกับค่าดิวตี้ไซเกิล154
รูปที่ 5.30 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตกับก่าคิวตี้ไซเกิล

รูปที่		หน้า
รูปที่ 5.31	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับค่า ดิวตี้ไซเคิลที่กระแสเอาต์พุตคงที่	.155
รูปที่ 6.1	ชุดทดลองของวงจรเอซีชอปเปอร์ที่จ่ายโหลดไฟ	.15 8
รูปที่ 6.2	ชุดทดลองของวงจรเอซีชอปเปอร์ที่จ่ายโหลดมอเตอร์พัดลม	.15 8