เครื่องจ่ายไฟไร้สาย
Cordless Power Supply

จิระพงษ์ แก้วปรีชา
JIRAPONG KEAWPREECHA
ชนะพล สุวภาพ
CHANAPOL SUWAPAP
พสิษฐ์ ใจตรงฉัตรพงศ์
PHASIT JAITRONGCHATPONG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เครื่องจ่ายไฟไร้สาย
Cordless Power Supply

โดย

นายจิระพงษ์ แก้วปรีชา

นายชนะพล สุวภาพ

นายพสิษฐ์ ใจตรงฉัตรพงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ประภาภร สุวรรณะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2557

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2557
สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง เครื่องจ่ายไฟไร้สาย
Cordless Power Supply

ผู้จัดทำ	นายจิระพงษ์	แก้วปรีชา	รหัส 54010216
	นายชนะพล	สุวภาพ	รหัส 54010265
	นายพสิษฐ์	ใจตรงฉัตรพงศ์	รหัส 54010895

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(ผศ. ประภากร สุวรรณะ)
อาจารย์ที่ปรึกษา

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องจ่ายไฟไร้สาย		
นักศึกษา	นาย จิระพงษ์	แก้วปรีชา	รหัส 54010216
	นาย ชนะพล	สุวภาพ	รหัส 54010265
	นาย พสิษฐ์	ใจตรงฉัตรพงศ์	รหัส 54010895
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ.ประภากร สุวรรณะ		

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ อธิบายการออกแบบและการสร้างเครื่องจ่ายไฟไร้สาย วงจรของเครื่องจ่ายไฟไร้สาย ประกอบด้วยวงจรหลักสองส่วน คือ วงจรภาคส่งพลังงานและวงจรภาครับพลังงาน โดยวงจรภาคส่งพลังงานมีหลักการทำงานคือใช้ IC TL494 ในการสร้างสัญญาณพัลส์ ที่สามารถกำหนดความถี่และกำหนด Dead Time สำหรับการเปิด ปิด มอสเฟต 2 ตัว สลับกัน จาก IC TL494 ส่งสัญญาณพัลส์ให้กับ IC PC923L0NIP0F ซึ่งเป็นอุปกรณ์ opto isolator ความถี่สูง สำหรับการขับมอสเฟต 2 ตัว ที่ต่อกับขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ไปยังวงจรภาครับพลังงานซึ่งประกอบด้วย ขดลวดเหนี่ยวนำ วงจรเรียงกระแส และ วงจรรักษาระดับแรงดัน โดยใช้ IC TL494 และวงจร Half Bridge Converter เพื่อทำให้เป็นไฟกระแสตรงให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการใช้งาน

Thesis Title	Cordless power Supply
Student	Mr. Jirapong Kaewpreecha student ID 54010216
	Mr. Chanapol Suwapap student ID 54010265
	Mr. Phasit Jaitrongchatpong student ID 54010895
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2014
Thesis Advisor	Assist.Prof. Prapakorn Suwanna

Abstract

This report describe the design and construction of cordless power supply. The main circuit of cordless power supply consists of two parts. The transmitter energy and receiver energy circuits.The circuit of transmitter energy has a working principle is used IC TL494 to generate pulse signals to determine the frequency and the Dead Time for ON/OFF two MOSFETs . Signal pulse from IC TL494 to IC PC923L0NIP0F which is a high frequency opto isolator device for driving the MOSFETs ,that is connected to the induction coil and the capacitor. Causes to the receiver circuit resonance energy, consisting of coil , rectifier circuit and voltage regulator circuit by IC TL494 and Half Bridge Converter circuit , to make a direct current power to the device you want to use.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานและรายงานเรื่อง เครื่องจ่ายไฟไร้สายนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทำทดลอง เพื่อให้ได้ข้อมูลขอรายงานฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ประภากร สุวรรณะ ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหา ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นตลอดการทำงานและความช่วยเหลืออย่างเต็มที่ ท่านเป็นที่ปรึกษาที่ดีมาก ท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่าของท่าน เพื่อมาให้คำแนะนำและคำปรึกษาอย่างสม่ำเสมอ รู้สึกซาบซึ้งและเคารพรักในตัวท่าน

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่สอนวิชาความรู้และให้คำแนะนำและช่วยเหลืออย่างเต็มที่ ได้รับคำแนะนำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงพัฒนาได้ดีขึ้น ตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้อบรมเลี้ยงดูและให้ความช่วยเหลือในการศึกษา รวมทั้งขอบคุณเพื่อนๆทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือให้รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

จิระพงษ์ แก้วปรีชา
ชนะพล สุวภาพ
พสิษฐ์ ใจตรงฉัตรพงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
บทที่ 1 บทนำ.....1
บทที่ 2 ทฤษฎี.....2
2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator).....2
2.1.1 ประเภทของรูปคลื่นแบบต่าง ๆ.....3
2.1.2 คำจำกัดความของรูปคลื่นพัลส์.....3
2.2 วงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า.....6
2.2.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์.....6
2.2.2 ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์.....8
2.2.3 พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์.....10
2.2.4 ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์.....11
2.2.5 ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์.....13
2.2.5.1 มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET).....14
2.2.5.2 วงจรขับนำสวิตช์ที่เป็นทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟต.....14
2.3 เรโซแนนซ์(resonance).....16
2.3.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม RLC.....16
2.3.1.1พลังงานที่ส่งผ่านระหว่าง L กับ C.....18
2.3.1.2 Q แฟคเตอร์ของวงจรอนุกรม RLC.....19
2.3.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน RLC.....19
2.3.2.1 Q แฟคเตอร์ของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน.....21
2.4 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor).....21
2.4.1 การเหนี่ยวนำในตัวเอง.....22
2.4.2 การเหนี่ยวนำระหว่างขดลวด 2 ขด.....22
2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ.....24
2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ.....24
2.4.4.1จำนวนรอบของขดลวด.....24
2.4.4.2 พื้นที่ของขดลวด.....24
2.4.4.3 ความยาวของขดลวด.....24
2.4.4.4 วัสดุที่นำมาทำแกนภายในขดลวด (u).....25
2.4.4.5 สูตรการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ.....25
2.5 อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Optocouplers).....26
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องจ่ายไฟไร้สาย.....28
3.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องชาร์ตไร้สาย.....28

3.2 การออกแบบภาคส่งพลังงาน....28
3.2.1 วงจรภาคควบคุมสัญญาณพัลส์....28
3.2.2 วงจรขับMOSFET....30
3.2.3วงจรสร้างไฟเลี้ยงลอย 12V....31
3.2.4 วงจร Full Bridge converter....32
3.3) การออกแบบภาครับพลังงาน....33
3.3.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)....33
3.3.2 วงจรกรองสัญญาณ (Ripple Filter)....33
3.3.3 วงจรรักษาระดับแรงดัน....34
บทที่ 4 การทดสอบคุณสมบัติของคอร์ดเรสพาวเวอร์ซัพพลาย....37
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบคุณสมบัติของวงจร....49
เอกสารอ้างอิง....50
ภาคผนวก....51

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงรูปทรงและลักษณะของคลื่นไฟฟ้า (แรงดันหรือกระแส) อย่างพื้นฐาน....4
รูปที่ 2.2 แสดงรูปคลื่นลักษณะต่าง ๆ....5
รูปที่ 2.3 แสดงรูปคลื่นจัตุรัส....6
รูปที่ 2.4 สัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle ค่าต่างๆ....7
รูปที่ 2.5 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์....8
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงาน....10
รูปที่2.7 วงจรพื้นฐานของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์....11
รูปที่2.8 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงาน....12
รูปที่2.9 วงจรพื้นฐานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์....13
รูปที่2.10 วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์....15
รูปที่2.11 (บน) ขณะ Q1 นำกระแส (ล่าง) ขณะ Q2 นำกระแส....16
รูปที่2.12 วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์....17
รูปที่2.13 มอสเฟตกำลัง....18
รูปที่2.14 (ก)กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณประจุภายในและแรงดันv_{GS}....20
(ข) การใช้ DS0026 หรือ TLP250 ในการขับมอสเฟตกำลัง....20
รูปที่2.15 การพล็อตค่า $+jX_L$ และ jX_C กับความถี่สำหรับวงจรอนุกรม RLC เรโซแนนซ์....21
รูปที่2.16 แสดงกราฟอิมพีแดนซ์ กระแส และมุมเฟส กับความถี่ สำหรับเรโซแนนซ์แบบอนุกรม....22
รูปที่2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า V_R V_L และ V_C กับความถี่....23
รูปที่2.18 รูปเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันในวงจร RLC เรโซแนนซ์....24
รูปที่2.19 เฟสเซอร์ไดอะแกรมรูปคลื่นกระแสที่จุดเรโซแนนซ์ของวงจร RLC ขนาน....25
รูปที่2.20 กราฟค่าอิมพีแดนซ์และกระแสต่อความถี่สำหรับเรโซแนนซ์แบบขนาน....26
รูปที่2.21 การต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคร่อมเข้ากับขดลวด....28
รูปที่2.22 (ก) สนามแม่เหล็กเกิดการขยายตัว....29
(ข) สนามแม่เหล็กอยู่ในสภาวะคงที่....29
(ค) สนามแม่เหล็กเกิดการยุบตัว....29
รูปที่2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ....30
รูปที่2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ....31
รูปที่2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุที่นำมาทำแกนภายในขดลวดกับ ค่าความเหนี่ยวนำ....31
รูปที่2.26 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง....33
รูปที่2.27 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าและตัวถังของ 4N35 แบบ 6 ขา....34
รูปที่2.28 ตัวอย่างอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงที่ใช้ตัวถังแบบต่างๆ....34

รูปที่3.1 ลักษณะการเลือกใช้เอาท์พุตของไอซี TL 494.....37
รูปที่3.2 วงจรกำเนิดพัลส์ โดยใช้ IC TL494 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์
ควบคุมการ on off ของมอสเฟต2 ชุด.....38
รูปที่3.3 วงจรสำหรับขับมอสเฟตโดยใช้ IC IPC923L0NIP0F.....39
รูปที่3.4 วงจรสร้างไฟเลี้ยงลอย 12 Vเพื่อป้อนให้กับ IC IPC923L0NIP0Fโดยใช้ IC
IR 2153 ในการขับมอสเฟตที่ต่อแบบ ฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์.....40
รูปที่3.5 วงจร Full Bridge converter.....41
รูปที่3.6 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)เต็มคลื่นแบบบริดจ์.....42
รูปที่3.7 วงจรฟิลเตอร์.....43
รูปที่ 3.8 Error-Amplifier Sensing Techniques.....43
รูปที่ 3.9 Representative Block Diagram.....45
รูปที่ 3.10 Timing Diagram.....45

บทที่ 1
บทนำ

เครื่องจ่ายไฟไร้สายนั้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับชาร์จอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบไร้สายซึ่งมีแนวโน้มว่าจะได้รับความนิยม เพราะมีความสะดวกสบายในการใช้งานและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้หลายประเภท เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ โน้ตบุ๊คแท็บเล็ต และอาจจะรวมไปถึงรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตส่วนสำคัญของการชาร์จไร้สาย คือ การส่งต่อพลังงานด้วยการเหนี่ยวนำ (Inductive Charger) ส่วนประกอบหลักทั้งหมด 2 ส่วน คือ ภาคส่งพลังงาน ภาครับพลังงาน

องค์ประกอบหลักของ Cordless Charger

1.ภาคส่งพลังงาน ประกอบไปด้วย

-วงจรกำเนิดพัลส์ เป็นวงจรที่ใช้ไอซี TL494 ในการสร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่สามารถปรับความถี่และดิวตี้ไซเคิลได้ จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณเป็นตัวควบคุมการสวิตช์ของมอสเฟตสำหรับวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

-วงจรขับมอสเฟต เป็นวงจรที่ใช้ไอซี PC923L0NIP0F ซึ่งเป็นอุปกรณ์ optoisolator ความถี่สูง ทำหน้าที่เป็น gate driver floating supply ขับมอสเฟตสองตัวให้เปิด ปิด สลับกัน

-วงจรจ่ายไฟเลี้ยง 12 v ใช้ICIR2153ขับมอสเฟตสองตัวต่อแบบวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ต่อกับหม้อแปลงขนาดเล็กความถี่สูงต่อกับ IC L7812 เพื่อทำการเร็กกูเลทให้ได้ไฟ 12 v

- ขดลวดปฐมภูมิ ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กเพื่อส่งพลังงานผ่านอากาศในรูปของสนามแม่เหล็กไปยังขดลวดทุติยภูมิ

2.ภาครับพลังงาน ประกอบไปด้วย

-ขดลวดทุติยภูมิ ใช้ในการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กจากขดลวดปฐมภูมิเพื่อนำไปผ่านวงจรเรียงกระแสต่อไป

-วงจรเรียงกระแส ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยผ่านชุดของไดโอด 4 ตัว ต่อแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นในการจัดเรียงกระแส เพื่อให้ได้สัญญาณซีกบวกเพียงอย่างเดียวและจากนั้นก็จะนำมาผ่านวงจรกรองสัญญาณเพื่อลดแรงดันกระเพื่อมทำให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีความสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าทางออกสูงกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

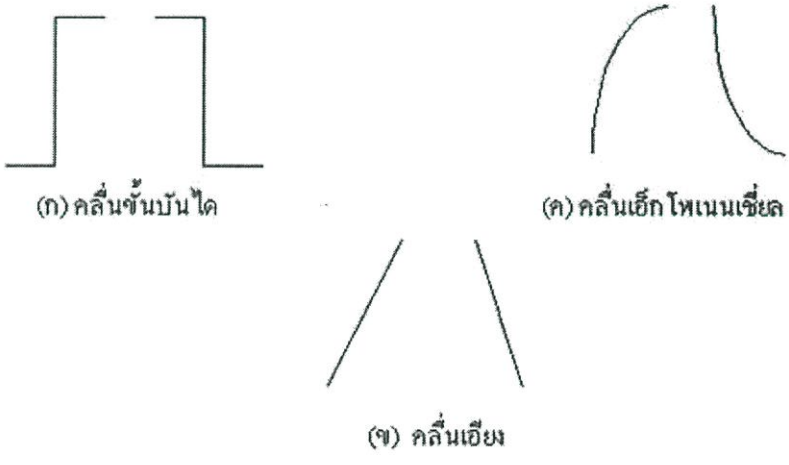
-วงจรรักษาระดับแรงดัน ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงที่สำหรับจ่ายให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator)

วงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator or Waveform Generator) เป็นวงจรหนึ่งที่มีความสำคัญในทางอิเล็กทรอนิกส์และการสื่อสาร วงจรกำเนิดสัญญาณสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ วงจรกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ (Sinusoidal Waveform) และวงจรกำเนิดสัญญาณรูปอื่นๆ ที่ไม่ใช่สัญญาณไซน์ (Non-Sinusoidal Waveform) ซึ่งได้แก่สัญญาณรูปสามเหลี่ยม (Triangular) และสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square) เป็นต้น

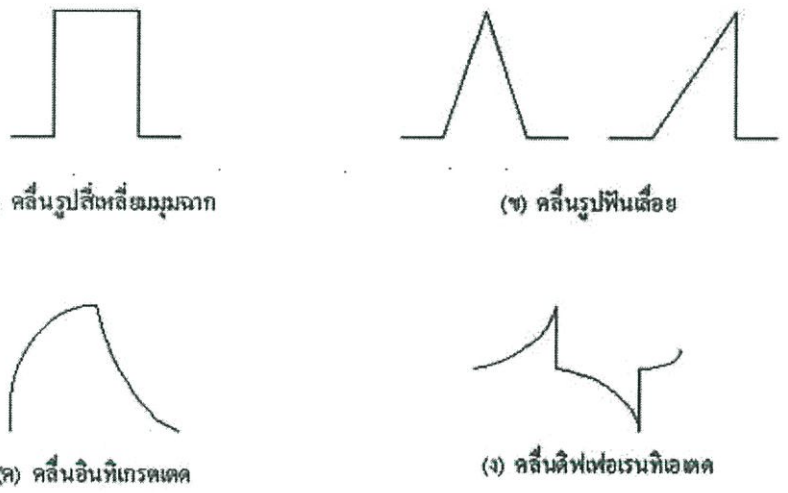
สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆเช่นไดโอด , ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพล่าร์ , ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์(FET) และสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษอื่นๆอีกเป็นจำนวนมากสามารถถูกนำมาใช้งานเป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ได้เป็นอย่างดีการนำสิ่งประดิษฐ์เหล่านี้มาใช้งานเพื่อเป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ปกติมักจะมีชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เช่น ตัวต้านทาน , ตัวเก็บประจุไฟฟ้ามาประกอบร่วมกันเป็นวงจรไฟฟ้า วงจรไฟฟ้านี้ถูกเรียกว่า "วงจรสวิตช์ชิ่ง" (Switching circuits) ซึ่งผลการทำงานของวงจรสวิตช์นี้จะทำให้ได้สัญญาณไฟฟ้าซึ่งอาจเป็นกระแสหรือแรงดันก็ได้ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นห้วงๆซึ่งไม่ใช่คลื่นไซน์ (Nonsinusoidal wave) แต่เป็นลักษณะของคลื่นที่มีเหลี่ยมมีมุม โดยที่รูปคลื่นแต่ละช่วงอาจจะซ้ำกันหรือไม่ก็ได้ คลื่นไฟฟ้าดังกล่าวนี้เราเรียกว่า "พัลส์"(Pulse) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าวงจรสวิตช์ชิ่งสามารถทำหน้าที่สร้างพัลส์ของกระแส หรือแรงดันออกมาได้



รูปที่ 2.1 แสดงรูปทรงและลักษณะของคลื่นไฟฟ้า (แรงดันหรือกระแส) อย่างพื้นฐาน

พัลส์เหล่านี้เมื่อพิจารณาดูให้ดีแล้วจะเห็นว่า ส่วนใหญ่เกิดจากการประกอบของรูปคลื่นขั้นบันได (Step)คลื่นเอียง (Ramp)หรือคลื่นเอ็กโพเนนเชี่ยล ดังแสดงในรูปที่ 2.1(ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าที่เรานิยมนำมาใช้งานกันมากที่สุดก็คือรูปคลื่นที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากดังแสดงในรูปที่ 2.2(ก) คลื่นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular wave) นี้ก็ได้มาจากการรวมตัวกันของรูปคลื่นขั้นบันได 2 ส่วนนั้นเองและมักถูกเรียกว่าพัลส์หรือในกรณีของคลื่นรูปฟันเลื่อย (Sawtooth wave) แสดงในรูปที่ 2.2(ข) ก็ได้มาจากการรวมกันของคลื่นเอียง 2 ส่วน หรืออาจเป็นการรวมกันของคลื่นเอียงหนึ่งส่วนกับคลื่นขั้นบันไดอีกหนึ่งส่วนก็ได้นอกจากนี้คลื่นอินติเกรตเตด (Integrated) ดังแสดงในรูปที่2.2(ค) ก็คือรูปคลื่นซึ่งประกอบขึ้นมาจากคลื่นย่อยรูปเอ็ก-โพเนนเชียลและคลื่นดิฟเฟอเรนทิเอต ดังแสดงในรูปที่ 2.2(ง) ก็คือคลื่นซึ่งประกอบขึ้นจากคลื่นย่อยขั้นบันไดและคลื่นเอ็กโพเนนเชียล รวมตัวกันนั่นเอง

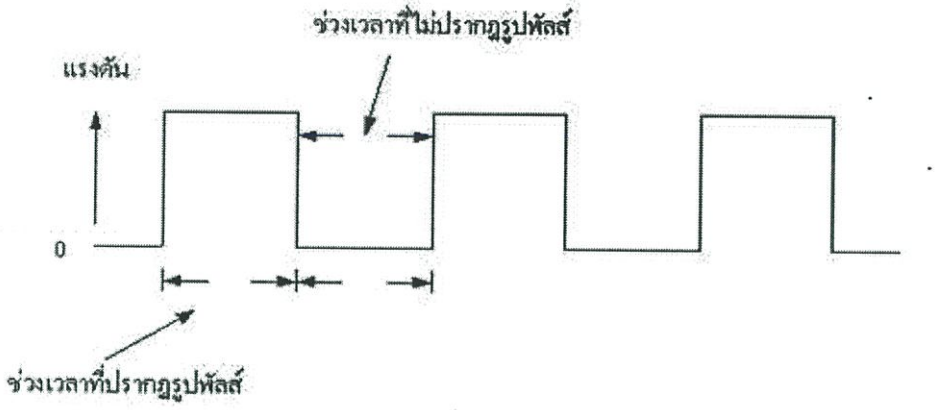
2.1.1 ประเภทของรูปคลื่นแบบต่าง ๆ



รูปที่ 2.2 แสดงรูปคลื่นลักษณะต่าง ๆ

2.1.2 คำจำกัดความของรูปคลื่นพัลส์

คลื่นทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสของแรงดันไฟฟ้าเรามักนิยมเรียกว่า "คลื่นจัตุรัส" (Square wave) คลื่นจัตุรัสจะมีลักษณะคล้ายคลื่นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากซึ่งปรากฏอย่างต่อเนื่องเป็นช่วง ๆ โดยลักษณะพิเศษประการหนึ่งคือ ช่วงเวลาของพัลส์ที่ปรากฏกับช่วงเวลาของพัลส์ที่ไม่ปรากฏจะมีค่าเท่าหรือไม่เท่ากันดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงรูปคลื่นจัตุรัส

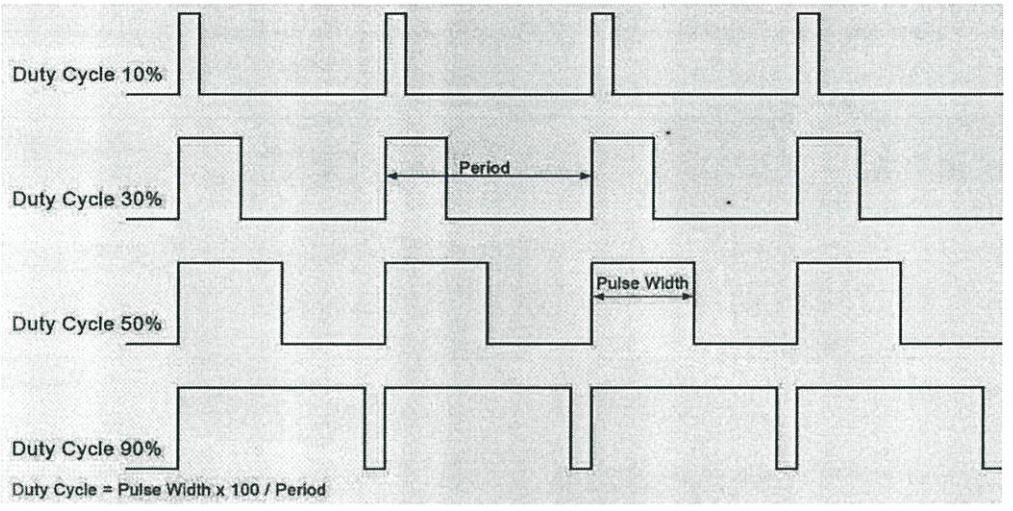
พารามิเตอร์ที่ควรรู้อีกตัวหนึ่งซึ่งใช้งานเกี่ยวกับพัลส์คือ ดิวตี้ไซเคิ้ล (Duty cycle)แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ ช่วงที่ high ต่อ คาบเวลาของพัลส์ (Pulse periode) โดยมีการคิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์(%)ค่าดิวตี้ไซเคิ้ล (Duty cycle) สามารถหาได้จากสูตร

$$\%Duty\ cycle = \frac{t_h}{T} \times 100 \qquad (2.1)$$

โดย Duty cycle หรือดิวตี้ไซเคิ้ล คืออัตราส่วนระหว่างช่วงที่มีพัลส์ต่อคาบเวลาของพัลส์

t_h คือ ช่วงเวลาที่สัญญาณพัลส์มีลอจิก high (Second)

T คือคาบเวลาของสัญญาณ หรือ ความกว้างของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม 1 ลูก (Second)



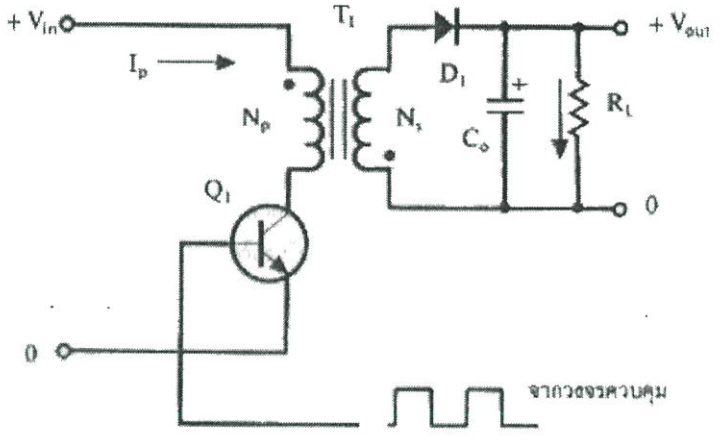
รูปที่ 2.4 สัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle ค่าต่างๆ

2.2 วงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า

วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นวงจรที่ใช้เพื่อเปลี่ยนลักษณะของพลังงานไฟฟ้าในหลากหลายรูปแบบตัวอย่างเช่นจากไฟตรงเป็นไฟสลับจากไฟสลับเป็นไฟสลับจากศักดาไฟฟ้าระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งเป็นต้นซึ่งเราเรียกวงจรในลักษณะนี้ว่าตัวแปลงผัน (Converter)

วงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าทั้ง 5 แบบนี้มีลักษณะการทำงานที่ไม่แตกต่างกันจนเกินไปนักและค่อนข้างง่ายต่อการทำความเข้าใจและศึกษาวงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าเหล่านี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีกหลายประเภทโดยการเพิ่มเทคนิคบางประการให้กับวงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าในที่นี้จะกล่าวถึงแต่เพียงการทำงานพื้นฐานเท่านั้น

2.2.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

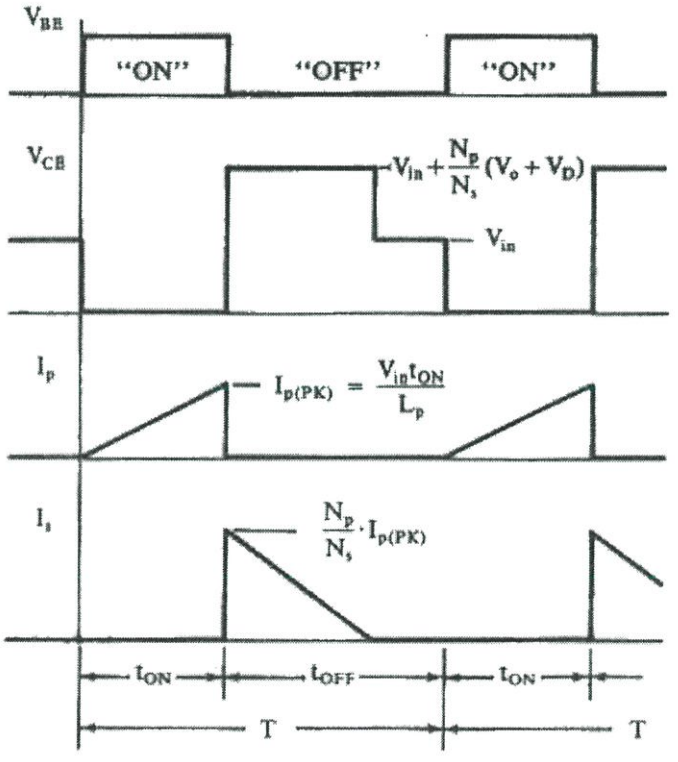


รูปที่ 2.5 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.5 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้ทางขาเบสเนื่องจากหม้อแปลง T1จะกำหนดขดไพรมารี่และขดเซคันดารี่ให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ดังนั้นเมื่อ Q1 นำกระแสไดโอด D1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแสจึงมีการสะสมพลังงานที่ขดไพรมารี่ของหม้อแปลง T1 แทนเมื่อ Q1 หยุดนำกระแสสนามแม่เหล็ก T1 ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วแรงดันที่ขดไพรมารี่และเซคันดารี่ D1 ก็จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรงพลังงานที่สะสมในขดไพรมารี่ของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังขดเซคันดารี่และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต Co และโหลดได้ค่าของแรงดันทีเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่การทำงานของ Q1 ช่วงเวลานำกระแสของ Q1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงและค่าของแรงดันที่อินพุตเมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการ

$$V_{out} = \frac{t_{ON} \times (N_s / N_p)(V_{in} - V_{CE(sat)})}{(T - t_{ON})} - V_D \qquad (2.2)$$

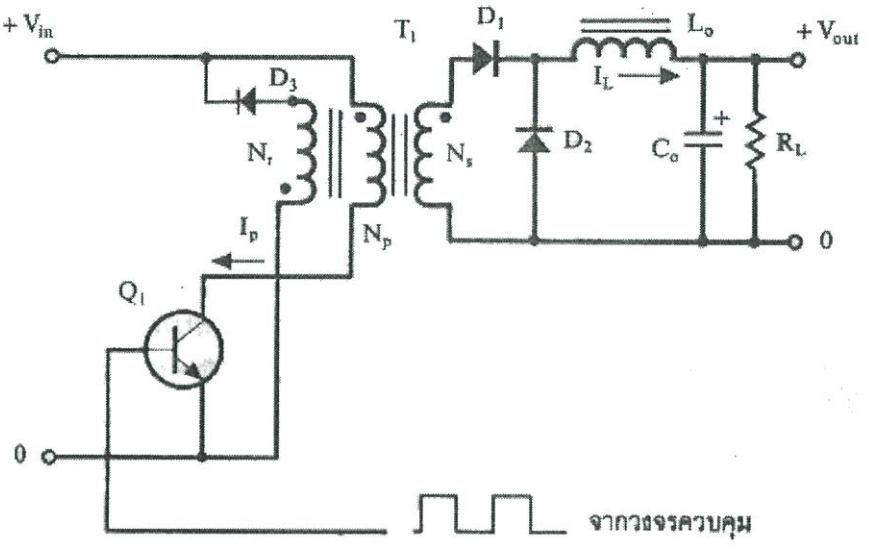
เมื่อ T คือคาบเวลาการทำงานของ Q1 เป็นวินาที
tON คือช่วงเวลาเป็นวินาที
Np คือจำนวนรอบของขดไพรมารี่เป็นรอบ
Ns คือจำนวนรอบของขดเซคันดารี่เป็นรอบ
Vout คือแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์เป็นโวลต์
Vin คือแรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์เป็นโวลต์
Vce(sat) คือแรงดันตกคร่อม Q1 ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัวเป็นโวลต์
VD คือแรงดันตกคร่อมไดโอด D1 ขณะนำกระแสเป็นโวลต์



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังงานได้ไม่สูงนักโดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMI ค่อนข้างสูงแต่ใช้อุปกรณ์น้อยและมีราคาถูก

2.2.2 ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

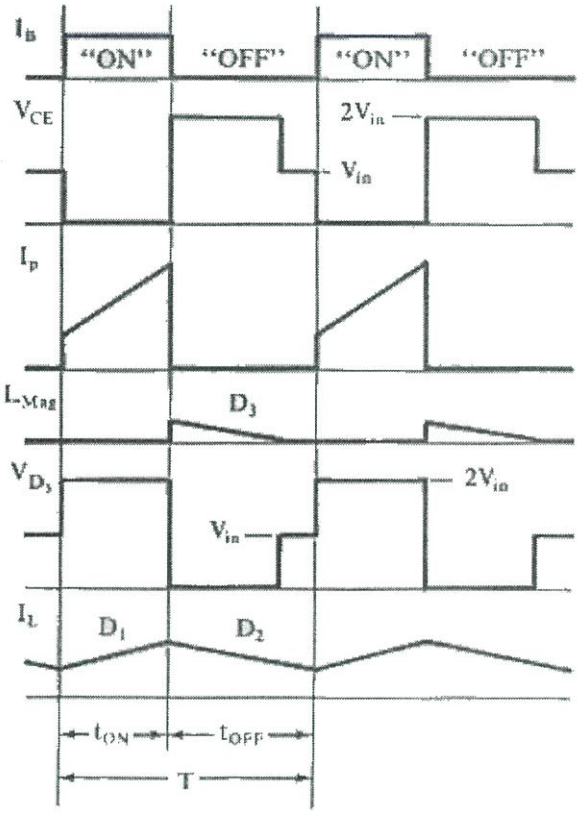


รูปที่2.7วงจรพื้นฐานของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่2.7จะเห็นได้ว่าฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แต่พื้นฐานการทำงานจะแตกต่างกันคือหม้อแปลงในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานในช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์กระแสต่างจากฟลาย. แบคคอนเวอร์เตอร์ซึ่งหม้อแปลงจะสะสมพลังงานในช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสแล้วจึงถ่ายเทพลังงานออกไปขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแสการทำงานของ วงจรจะเป็นดังนี้

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันไปเมื่อ Q1 นำกระแสจะมีกระแสIp ไหลผ่านขดไพรมารี่ Np และตัวมันเนื่องจากหม้อแปลง T1 ในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์จำกำหนดขดไพรมารี่และเซคันดารี่ให้มีเฟสตรงกันดังนั้นไดโอด D1 จึงถูกไบแอสตรงทำให้มีกระแสไหลที่เซคันดารี่ Ns ผ่านตัวเหนี่ยวนำ Lo ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต Co และโหลดได้ขณะที่มีกระแสไหลผ่าน Lo จะมีการสะสมพลังงานไว้ในตัวมันด้วยส่วนโดโอด D2 จะอยู่ในลักษณะไบแอสกลับจึงไม่มีการนำกระแสเช่นเดียวกันไดโอด D3 เนื่องจากขดลวดดีแมกเนไตซิ่ง Nr ถูกพันไว้ในทิศตรงข้ามกับขดไพรมารี่ Npไดโอด D3 จึงอยู่ในลักษณะไบแอสกลับและไม่มีกระแสไหลเมื่อ Q1 หยุดนำกระแสไดโอด D1 จะถูกไบแอสกลับและไม่มีกระแสไหลจากขอเซคันดารี่ Nsแต่ในขณะเดียวกันสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นใน Lo ยุบตัวทำให้มีการกลับขั้วแรงดันที่ Lo ไดโอด D2จึงถูกไบแอสตรงพลังงานที่ถูกสะสมไว้ใน Lo จะถูกถ่ายเทออกมาทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอด D2 ไปยังตัวเก็บประจุ Co และโหลดได้กระแสที่ไหลผ่านโหลดจึงมีลักษณะต่อเนื่องทั้งในช่วงที่ Q1นำกระแสและหยุดนำกระแสทำให้มีการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาต์พุตต่ำกว่าฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ในขณะที่ Q1 หยุดนำกระแสสนามแม่เหล็กที่ตกค้างภายในหม้อแปลงจะมีการยุบตัวและกลับขั้วแรงดันที่ขดNp,Nsและ Nr ไดโอด D3 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรงทำให้มีการถ่ายเทพลังงานที่เหลือค้างนี้ออกไปได้ขดลวดดีแมกเนไตซิ่งNr และไดโอด D3 นี้มีความสำคัญมาก

เพราะถ้าไม่มีการถ่ายเทพลังงานที่ตกค้างออกไปจากขดไพรมารี่ในขณะที่ Q1 หยุดนำกระแสเมื่อ Q1 เริ่มนำกระแสอีกครั้งสนามแม่เหล็กที่หลงเหลืออยู่จะทำให้ Q1 เป็นอันตรายได้



รูปที่2.8 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน

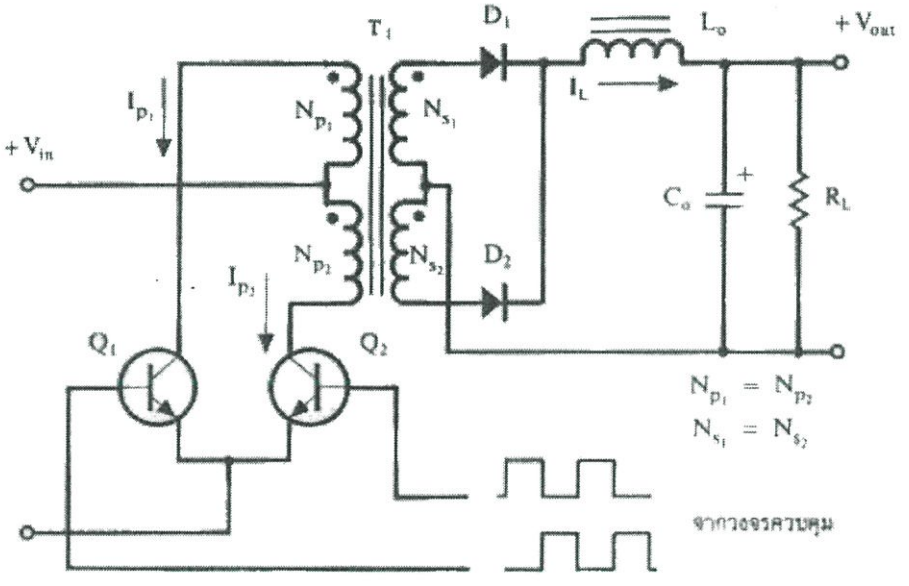
สำหรับฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการ

$$V_{out} = \frac{(N_p / N_s)(V_{in} - V_{CE(sat)})t_{ON}}{T} - V_D \qquad (2.3)$$

ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ให้กำลังงานได้ในช่วงเดียวกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (ในช่วง 100-200 วัตต์) แต่กระแสที่ได้จะมีการกระเพื่อมต่ำกว่าอย่างไรก็ตามตัวอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามาจะให้มีราคาสูงกว่า

2.2.3 พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่จ่ายกำลังได้สูงในช่วง200-1000วัตต์แต่มีข้อเสียคือมักเกิดการไม่สมมาตรของฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลงซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่ายในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมแบบควบคุมกระแสช่วยลดปัญหานี้ลงได้ดังนั้นพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์จึงเป็นคอนเวอร์เตอร์ที่น่าสนใจสำหรับสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่ต้องการกำลังสูงการทำงานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เปรียบเสมือนการนำฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์สองชุดมาทำงานร่วมกันโดยผลัดกันทำงานในแต่ละครึ่งคาบเวลาในลักษณะกลับเฟสทำให้จ่ายกำลังได้สูงเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรยังคงมีแรงดันตกคร่อมในขณะหยุดนำกระแสค่อนข้างสูงเช่นเดียวกับฟลายแบคและฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์รวมทั้งปัญหาการเกิดฟลักซ์ไม่สมมาตรในแกนเฟอร์ไรต์ของวงจรทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายง่ายพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เป็นพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งมีการทำงานคล้ายกันแต่มีข้อบกพร่องน้อยกว่า



รูปที่2.9 วงจรพื้นฐานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

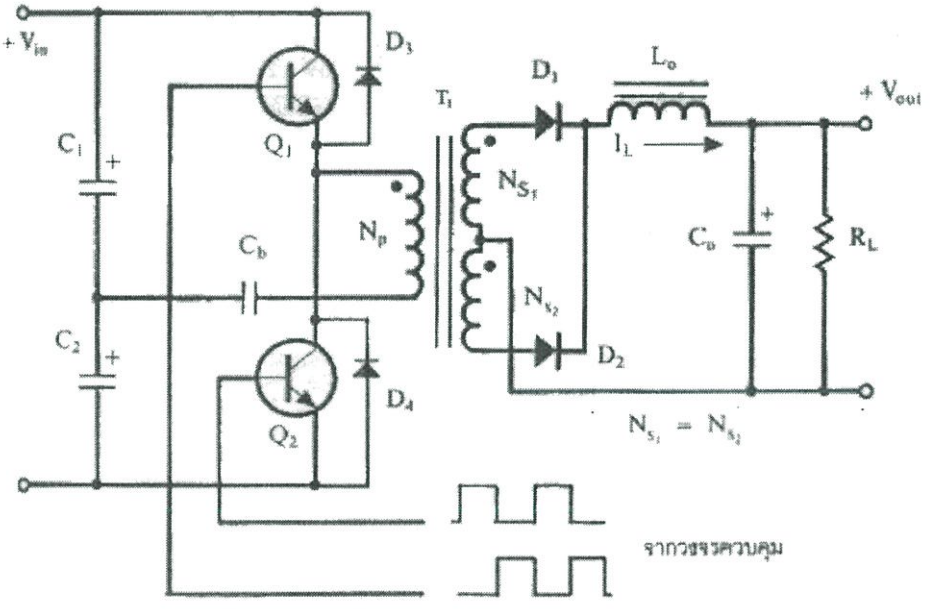
วงจรพื้นฐานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 จากรูป Q1 และ Q2 จะสลับกันทำงานโดยผลัดกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบเวลา T ในขณะที่ Q1 นำกระแสจะมีกระแสIpไหลผ่านขดไพรมารี่ Np1 และไดโอด D1 จะถูกไบแอสกลับส่วนไดโอด D2 จะถูกไบแอสตรงทำให้มีกระแสไหลที่ขดไพรมารี่ Ns2 ผ่านไดโอด D2 และ Lo ไปยังตัวเก็บประจุ Co และโหลด

ในจังหวะนี้แรงดันตกคร่อม Q2 จะมีค่าเป็น 2Vin (จำนวนรอบ Np1 = Np2 และ Ns1 =Ns2) ในทำนองเดียวกันขณะที่ Q2 นำกระแส Q1 และ D2 จะไม่นำกระแสเนื่องจากถูกไบแอสกลับ D1 ซึ่งถูกไบแอสตรงจะนำกระแสจากขดเซคันดารี่ Ns1 ผ่าน Lo ไปยังตัวเก็บประจุ Co และโหลดจะเห็นได้ว่าในหนึ่งคาบเวลาการทำงานขดเซคันดารี่จะให้กระแสไหลผ่าน Lo ได้ถึงสองครั้งพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์จึง

สามารถจ่ายกำลังงานได้มากเป็นสองเท่าของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ที่ค่ากระแสสูงสุดด้านไพรมารี่มีค่าเท่ากันและโหลดมีกระแสไหลต่อเนื่องตลอดเวลากระแสที่ได้ทางเอาต์พุตจึงค่อนข้างเรียบ

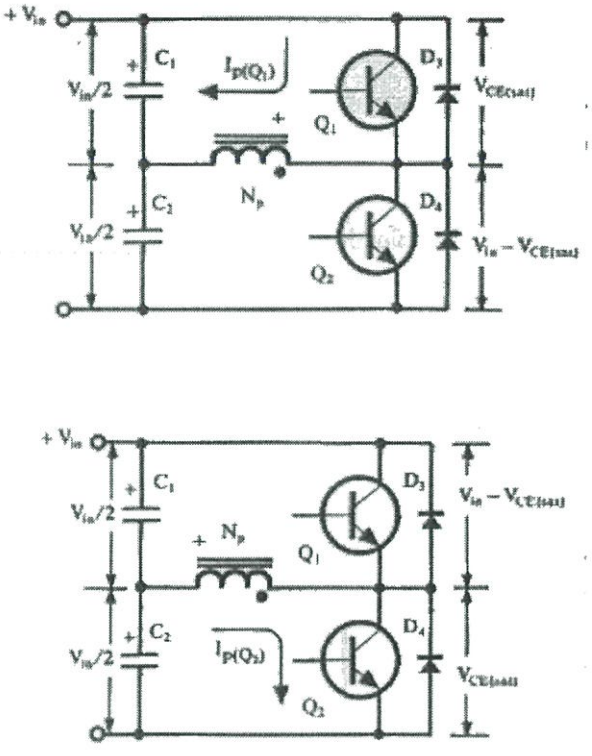
2.2.4 ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ฮาลฟ์บริดจ์คอนเวอร์เตอร์จัดอยู่ในตระกูลเดียวกับพุชพูลคอนเวอร์เตอร์แต่ลักษณะการจัดวงจรจะทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรมีแรงดันตกคร่อมขณะหยุดนำกระแสเพียงค่าแรงดันอินพุตเท่านั้น ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้มีราคาถูกและหาได้ง่ายกว่าและลดข้อจำกัดเมื่อใช้กับระบบแรงดันไฟสูงได้มากรวมทั้งยังไม่มีปัญหาการไม่สมมาตรของฟลักซ์ในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงได้ด้วย



รูปที่2.10 วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 การทำงานเป็นดังต่อไปนี้ตัวเก็บประจุ C1 และ C2 ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากันต่ออนุกรมกันอยู่ทางด้านอินพุตเพื่อแบ่งครึ่งแรงดันแรงดันตกคร่อม C1 และ C2 จึงมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันที่อินพุตเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 จะสลับกันทำงานคนละครึ่งคาบเวลาเช่นเดียวกับพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาวงจรจะพิจารณาในกรณีที่ไม่มีตัวเก็บประจุCbต่อยู่ในวงจรโดยให้ปลายของขดไพรมารี่Npที่ต่ออยู่กับCbนั้นต่อโดยตรงเข้ากับจุดต่อระหว่างตัวเก็บประจุ C1 และ C2 ดัง แสดงในรูป

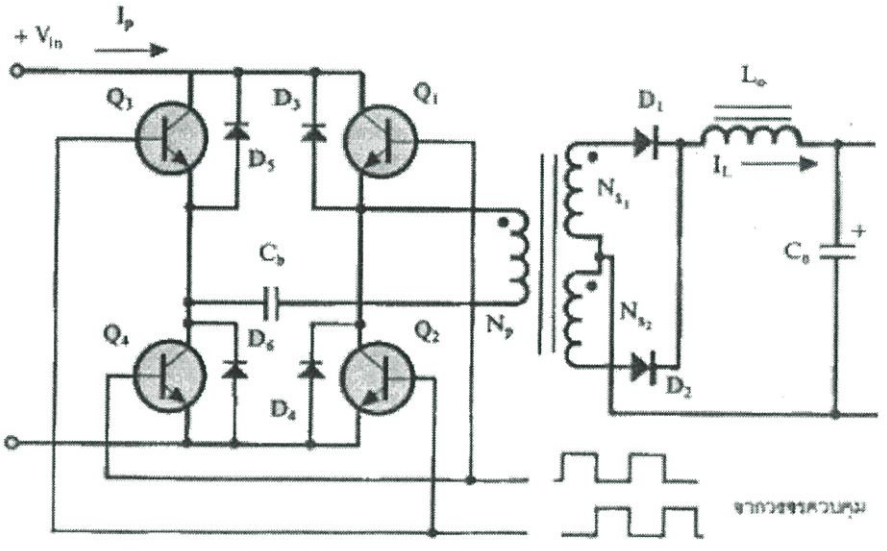


รูปที่2.11 (บน) ขณะ Q1 นำกระแส (ล่าง) ขณะ Q2 นำกระแส

เมื่อ Q1 เริ่มนำกระแสและ Q2 ไม่นำกระแสแรงดันตกค่อม Q2 จะมีค่าเท่ากับ Vin-Vce(sat) ส่วนแรงดันตกคร่อมของไพรมารี่Npจะมีค่าเท่ากับ Vc1 - Vce(sat) หรือมีค่าเท่ากับ Vin/2 - Vce(sat) นั่นเองในทำนองเดียวกันเมื่อ Q2 นำกระแสและ Q1 ไม่นำกระแสแรงดันตกคร่อม Q1 จะมีค่าเท่ากับ Vin-Vce(sat) เช่นเดียวกันแรงดันตกคร่อมที่ขดไพรมารี่Npก็ยังคงมีค่าเท่ากับ Vin/2 - Vce(sat) เนื่องจาก Vce(sat) มีค่าประมาณ0.51โวลต์ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงดันตกคร่อมQ1และQ2ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเพียงแรงดันอินพุตเท่านั้นผลของการทำงานของQ1และQ2 ที่ด้านเซคันดารี่จะมีลักษณะเดียวกันกับพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

2.2.5 ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมขดไพรมารี่เท่ากับแรงดันอินพุตแต่แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุตเท่านั้นและค่ากระแสสูงสุดที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนั้นมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่ากระแสสูงสุดในฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่กำลังขาออกเท่ากันเนื่องจากข้อจำกัดด้านเพาเวอร์ทรานซิส - เตอร์ลดน้อยลงไปกำลังงานสูงสุดที่ได้จากฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จึงมีค่าสูงตั้งแต่ 500 - 1000 วัตต์



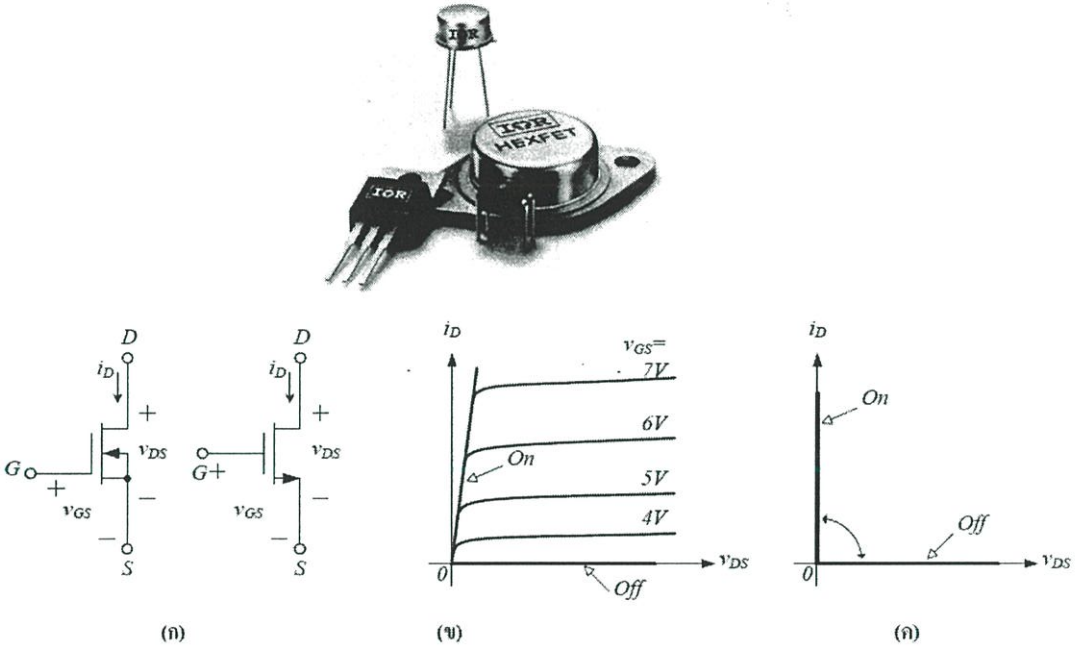
รูปที่2.12 วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรประกอบด้วยทรานซิสเตอร์สองชุดชุดที่หนึ่ง (Q1 กับ Q4) และจะทำงานตรงกันข้ามกับชุดที่สอง (Q3 และ Q2) และทรานซิสเตอร์ในแต่ละชุดจะยังคงทำงานในจังหวะเดียวกันผลการปิด-เปิดวงจรของทรานซิสเตอร์ทั้งสองชุดทำให้แรงดันที่โหลดมีค่าระหว่าง +Vin กับ -Vin ดังนั้นแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ขณะเปิดวงจรก็จะไม่มีทางเกินกว่า Vin อย่างแน่นอนและกระแสเดรนที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ขณะปิดวงจรก็จะลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับวงจร Half bridge converter ดังนั้น Full bridge converter จึงจำเป็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์ถึงสี่ตัวและใช้วงจรขับเกตที่มีระบบแยกกราวนด์เพื่อขับเกตของทรานซิสเตอร์ในแต่ละชุด

สำหรับวงจรดังรูป ใช้ พาวเวอร์มอสเฟต4 ตัว ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ การที่จะทำให้ Q1,Q4 และ Q2,Q3 มีสถานะ on ได้นั้นต้องใช้วงจรขับเกต เช่น IC IR2110 IC IR2153 รวมถึง opto isolator ซึ่งทำหน้าที่แยกกราวน์ของวงจรแต่ละส่วนเพื่อความปลอดภัยของวงจร

2.2.5.1 มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET)

ลักษณะของมอสเฟตแบบต่างๆแสดงได้ดังรูปที่ 2.13(ก)อุปกรณ์ชนิดนี้มีขาใช้งานสามขาคือเกท (Gate) เดรน (Drain) และซอส (Source) ในการขับนำให้เกิดการนำกระแสหรือหยุดนำกระแสขึ้นอยู่กับชนิดของ MOSFET ซึ่งแบ่งได้เป็นสองชนิดคือแบบ N-channel หรือเรียกว่า NMOS และแบบ P-channel หรือเรียกว่า PMOSโดยการทำงานคล้ายกับ BJT แต่แตกต่างกันที่การไบอัส MOSFET จะทำการไบอัสด้วยแรงดันและมีความต้องการกระแสเฉลี่ยที่ขาเกทต่ำ (ทางอุดมคติIG=0) ซึ่งสัญลักษณ์และกราฟความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของ MOSFET แบบ N-channel ในทางปฏิบัติและในอุดมคติแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 (ข),(ค) MOSFET เป็นอุปกรณ์ที่นิยมนำมาใช้ในการแปลงผันกำลังงานสำหรับวงจรที่มีความถี่การสวิตช์สูงๆ(หลายสิบกิโลเฮิรตซ์) โดยมีพิกัดกระแสและแรงดันสูงสุด 100แอมแปร์ 1000 โวลต์

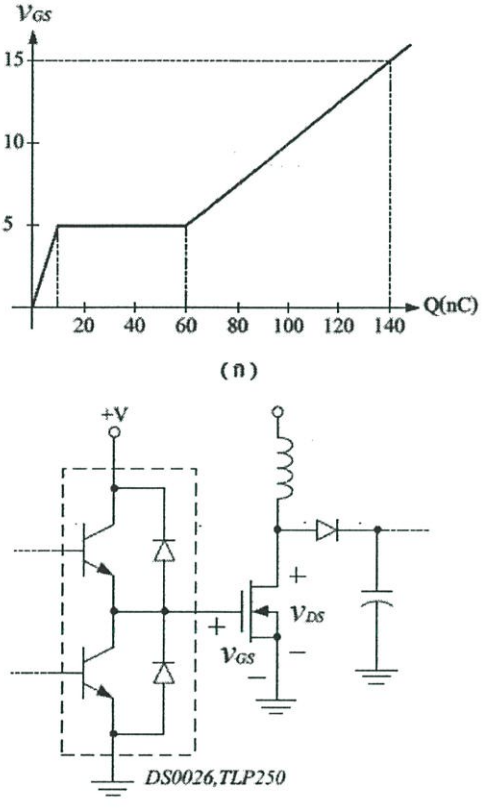


รูปที่2.13 มอสเฟตกำลัง

2.2.5.2 วงจรขับนำสวิตช์ที่เป็นทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟต

ปัญหาที่สำคัญของการทำให้ทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟต(MOSFET)ทำงานได้เร็วก็คือการให้ประจุเข้าและการคายประจุออกจากขาเกตอย่างรวดเร็วเนื่องจากที่ขาเกตจะประพฤติตัวเป็นตัวเก็บประจุซึ่งเรียกว่าC_Gดังนั้นการเพิ่มประจุให้กับตัวเก็บประจุนี้ก็จะเป็นการเพิ่มค่าแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุนั่นก็คือค่าของแรงดันV_{GS}โดยจะเป็นตัวกำหนดขนาดของช่องทางเดินของกระแส (Channel) ซึ่งเป็นตัวกำหนดปริมาณกระแสเดรนนั่นเองและในการหยุดทำงานก็เช่นเดียวกันที่จำเป็นต้องดึงประจุออกจากตัวเก็บประจุนี้อย่างเร็วเพื่อทำให้ช่องทางเดินกระแสหายไปจึงจะทำให้กระแสเดรนกลายเป็นศูนย์ดังนั้นจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการขับเกตที่มีความสามารถในการขับกระแสยอด(Peak

current)ได้สูงทั้งเข้าและออกจากขาเกตกระแสที่สูงนี้จะเป็นเพียงชั่วขณะเวลาสั้นๆเป็นนาโนวินาทีเท่านั้น เนื่องจากโดยธรรมชาติของตัวเก็บประจุเมื่อแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง ก็จะเกิดกระแสไหลเข้าหรือไหลออกจากตัวเก็บประจุแต่เมื่อแรงดันมีค่าคงที่ตามต้องการแล้วกระแสจะกลายเป็นศูนย์ดังนั้นโดยทั่วไปจึงมักจะเข้าใจว่ากระแสที่ขาเกตของมอสเฟตมีค่าเป็นศูนย์ซึ่งไม่เป็นความจริงหากเราออกแบบวงจรขับเกตไม่ถูกต้องเช่นวงจรนั้นไม่สามารถขับกระแสได้สูงพอปัญหาที่เกิดขึ้นคือมอสเฟตจะเริ่มต้นทำงานและหยุดทำงานได้ช้าดังนั้นจึงไม่สามารถทำงานที่ความถี่สูงได้นั่นเอง



รูปที่2.14 (ก)กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณประจุภายในและแรงดันv_{GS}
(ข) การใช้ DS0026 หรือ TLP250 ในการขับมอสเฟตกำลัง

ในรูปที่2.14 (ก) แสดงถึงกราฟความสัมพันธ์ของปริมาณประจุภายในและแรงดันv_{GS}สังเกตที่ตำแหน่งแรงดันv_{GS}เท่ากับ 5 V นั้นจะเป็นตำแหน่งแรงดันขีดเริ่ม(Thread hold voltage)ของมอสเฟต ความหมายคือที่แรงกันขีดเริ่มนี้จะมอสเฟตจะเริ่มเกิดช่องทางเดินกระแสนั่นหมายถึงจะเริ่มมีกระแสเดรนไหลนั่นเองเราจะเลือกใช้ค่าv_{GS}เท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับว่าเราต้องการกระแสเท่าใดดังนั้นจึงจำเป็นต้องดูจากคุณสมบัติของมอสเฟตที่เลือกนำมาให้โดยปกติจะเลือกใช้ประมาณ 10-15 V ส่วนในรูปที่2.14 (ข) เป็นการใช้DS0026 ในการขับมอสเฟตกำลังโดยDS0026 มีความสามารถขับกระแสยอดได้สูงถึง 1.5A หรือ

หากต้องการใช้วงจรขับมอสเฟตแบบแยกโดดทางแสง (Opto-isolater) ก็สามารถใช้TLP250 หรือหากต้องการนำไปขับวงจรบริดจ์ก็สามารถใช้ IR2110,IR2113 และ HIP4081

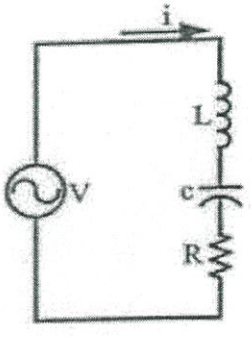
2.3 หลักการเรโซแนนซ์

เมื่อปรับความถี่ที่ป้องให้กับวงจรอนุกรม RLC จะพบว่ามีความถี่ค่าหนึ่งค่า X_L จะเท่ากับX_Cเป็นผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร RLC มีค่าต่ำสุดนั้นคือ Z = R ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า " ปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ " และความถี่ที่เกิดขึ้นณจุดเรโซแนนซ์นี้เราจะเรียกว่า" ความถี่เรโซแนนซ์ " และเนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดเรโซแนนซ์มีค่าต่ำสุดดังนั้นค่ากระแสที่ไหลผ่านในวงจรจึงมีค่ามากสุดในทำนองเดียวกันถ้าเราปรับค่าความถี่ที่ป้อนให้กับวงจร RLC แบบขนานจนถึงค่าหนึ่งก็จะพบว่าสามารถเกิดปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ได้เช่นกันนั่นคือค่า $X_L = X_C$อย่างไรก็ตามค่าอิมพีแดนซ์ที่เกิดขึ้นณจุดเรโซแนนซ์ที่ต่อแบบขนานนี้จะมีค่ามากที่สุดและจะทำให้ค่ากระแสที่ไหลในวงจรมีค่าน้อยที่สุดซึ่งจะมีลักษณะตรงกันข้ามกับแบบอนุกรม

2.3.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมRLC

จากรูป 2.15ก) จะเห็นว่าค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร RLC ที่ต่อแบบอนุกรมจะมีค่าดังสมการ

$$Z=R+j(X_L - X_C) \qquad (2.4)$$

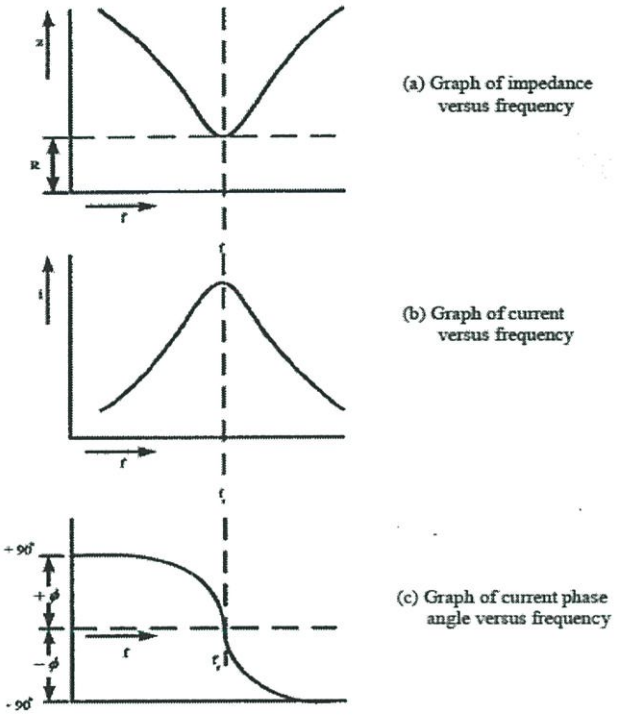


รูปที่2.15 การพล็อตค่า $+jX_L$และ jX_Cกับความถี่สำหรับวงจรอนุกรม RLC เรโซแนนซ์

เนื่องจากค่า $X_L = 2\pi fL$และ$X_C = 1/2\pi fC$ ดังนั้นค่าอิมพีแดนซ์จึงขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟจากรูป 2.15ข) จะเห็นว่าเมื่อความถี่ของแหล่งจ่ายไฟมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น

ค่าX_L ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นส่วน X_Cจะมีค่าลดลงอย่างเป็นเชิงเส้นโดยที่ค่าผลรวมของค่ารีแอคแตนซ์มีค่าเท่ากับ (X_L -X_C) ดังนั้นถ้าหากค่าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟมีค่าเท่ากับความถี่เรโซแนนซ์และก็จะมีผลทำให้ค่านั้นคือค่ารีแอคแตนซ์จะมีค่าเท่ากับศูนย์นั่นคือค่าอิมพีแดนซ์รวมจะมีค่าเท่ากับความต้านทานของวงจรZ= R

จากรูปที่ 2.16ค่าอิมพีแดนซ์รวมและกระแสที่ไหลในวงจรที่มีความถี่ใดๆจะได้สมการดังนี้



รูปที่ 2.16 แสดงกราฟอิมพีแดนซ์ กระแส และมุมเฟส กับความถี่ สำหรับเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \tag{2.5}$$

$$I = \frac{V}{Z} \tag{2.6}$$

และที่ความถี่เรโซแนนซ์จะได้ดังสมการ

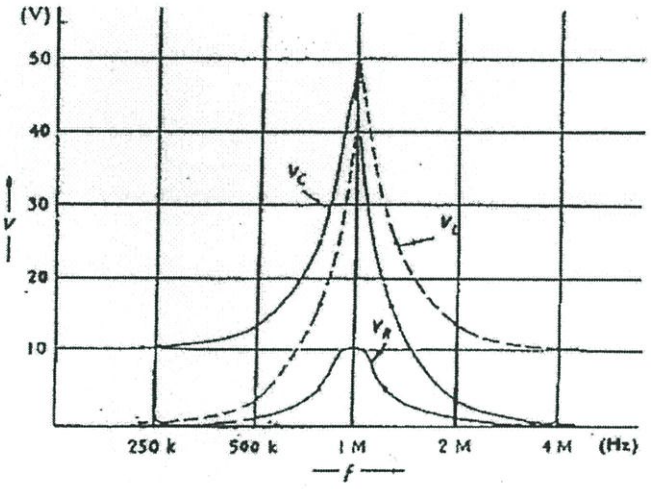
$$Z = R \tag{2.7}$$

$$I = \frac{V}{R} \tag{2.8}$$

เพราะฉะนั้นจะได้สมการของแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน , ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุความถี่ใดๆดังสมการ

$$V_R = IR, V_L = IX_L, V_C = IX_C \qquad (2.9)$$

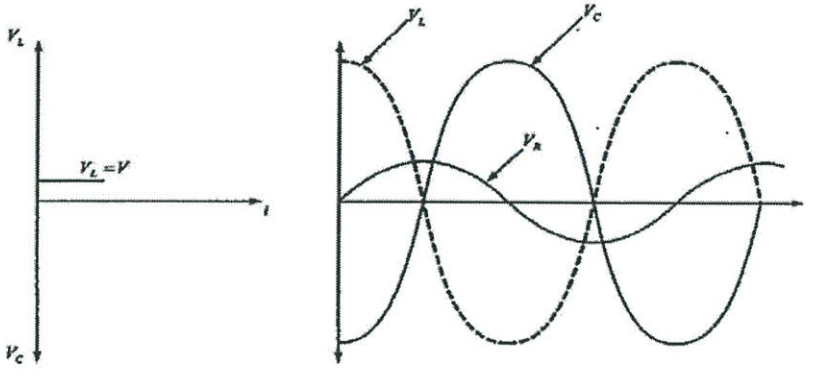
เมื่อนำค่า V_R V_L และ V_C ที่ความถี่ใดๆมาพล็อตจะได้ดังรูป 2.17 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ความถี่เรโซแนนซ์นั้นค่า V_L และ V_C จะมีค่ามากกว่าแรงดันของแหล่งจ่ายหลายเท่าแต่ค่า V_R จะมีค่าเท่ากับแรงดันของแหล่งจ่าย



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า V_R V_L และ V_C กับความถี่

2.3.1.1 พลังงานที่ส่งผ่านระหว่าง L กับ C

เมื่อเรานำรูปคลื่นแรงดัน V_R V_L และ V_C ที่ความถี่เรโซแนนซ์มาพล็อตจะได้ดังรูป 2.18 จะเห็นว่ารูปคลื่นแรงดัน V_R V_L และ V_C จะกลับเฟสกันอยู่ 180 องศาส่วนรูปคลื่น V_R จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ V_L และ V_C มีค่าเท่ากับศูนย์จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าจะมีการส่งผ่านพลังงานกันระหว่าง L กับ C อย่างไรก็ตามก็จะไม่มีการสะสมพลังงานเกิดขึ้นที่จุดเรโซแนนซ์นี้



ก) รูปเฟสเซอร์ไดอะแกรม ข) รูปคลื่น V_R, V_L และ V_C ที่

รูปที่ 2.18 รูปเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันในวงจร RLC เรโซแนนซ์

2.3.1.2 Q แฟคเตอร์ของวงจรอนุกรมRLC

พิจารณาสมการI, V_Lและ V_Cที่สุดเรโซแนนซ์จะได้ดังสมการ

$$I = \frac{V}{R} \tag{2.10}$$

$$V_L = IX_L = \frac{VX_L}{R} \tag{2.11}$$

$$V_C = IX_C = \frac{VX_C}{R} \tag{2.12}$$

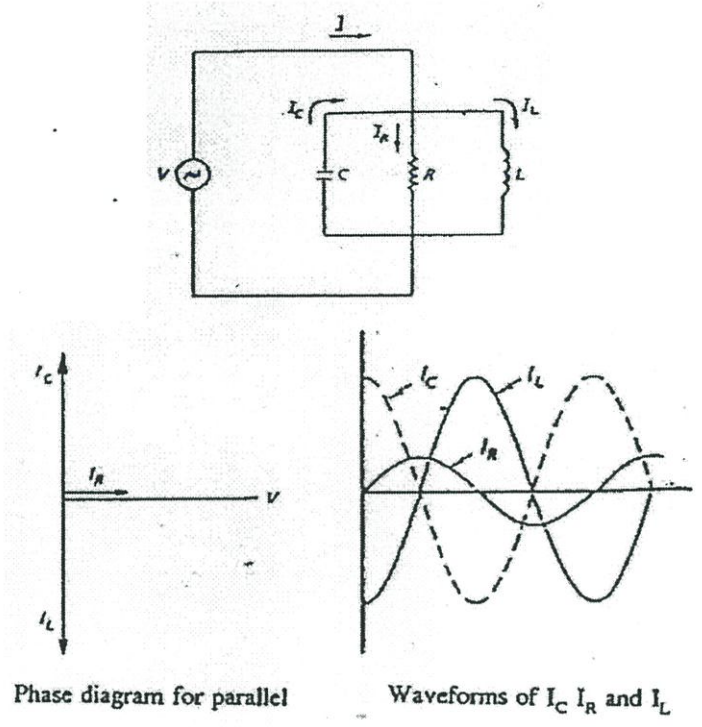
โดยที่อัตราส่วน $\frac{V_L}{V}$ **และ** $\frac{V_C}{V}$ **จะเรียกว่า " QUALITY FACTOR " ซึ่งจะมีค่าดังสมการ**

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R} = \frac{I}{\omega CR} \tag{2.13}$$

2.3.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน RLC

จากรูป 2.19 จะเห็นว่าค่าอิตมิตแตนซ์ของวงจรมีค่าดังสมการ

$$Y = \frac{I}{R} + j\left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right) \tag{2.14}$$



Phase diagram for parallel Waveforms of I_C I_R and I_L

รูปที่2.19 เฟสเซอร์ไดอะแกรมรูปคลื่นกระแสที่จุดเรโซแนนซ์ของวงจร RLC ขนาน

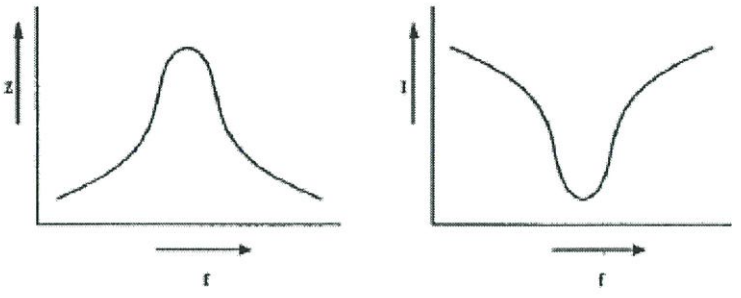
ถ้าหากปรับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟไปจนมีค่าเท่ากับความถี่เรโซแนนซ์แล้วจะมีผลทำให้ค่าX_Lมีค่าเท่ากับX_Cเพราะฉะนั้นแอตมิตเตนซ์รวมจะมีค่าเท่าส่วนกลับของค่าความต้านทานของวงจร I/R และกระแสที่ไหลในวงจรจะมีค่าต่ำสุดโดยจะมีค่าเท่ากับ V/R นอกจากนี้ก็จะมีการส่งผ่านพลังงานกันระหว่าง L กับ C เช่นเดียวกับวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมในทางปฏิบัติวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะเป็นลักษณะดังรูป 2.18 โดยที่ค่าอิตมิตแตนซ์รวมของวงจรจะมีค่าดังสมการ

$$Y = \frac{I}{(R + jX_L)} + \frac{I}{jX_C} \tag{2.15}$$

โดยที่จุดเรโซแนนซ์นั้นค่าX_Cจะมีค่าดังสมการ

$$X_C = \frac{(R^2 + X_L^2)}{X_L} \tag{2.16}$$

$$Z = \frac{L}{R_C} \tag{2.17}$$



ก) ค่าอิมพีแดนซ์กับความถี่ ข) ค่ากระแสกับความถี่

รูปที่2.20 กราฟค่าอิมพีแดนซ์และกระแสต่อความถี่สำหรับเรโซแนนซ์แบบขนาน

2.3.2.1 Q แฟคเตอร์ของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

ค่า Q แฟคเตอร์ของวงจรนี้จะมีค่าดังสมการ

$$Q = \frac{I_L}{I} = \frac{I_C}{I} = \frac{X_C}{R} = \left(\frac{R^2 + X_L^2}{RX_L} \right) \tag{2.18}$$

โดยที่ความถี่รีโซแนนซ์ (f_r) จะมีค่าดังสมการ

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{CR_L^2}{L}} \tag{2.19}$$

จากรูปที่ 2.20จะพบว่าวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานในทางปฏิบัตินั้นจะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงสุดและกระแสจะมีค่าสูงสุดที่ความถี่เรโซแนนซ์จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าการทำงานที่จุดเรโซ-แนนซ์จะให้ค่ากำลังที่สูงที่สุด(P_{MAX})เนื่องจากว่าจะให้ค่ากระแสที่ไหลในขดลวดเหนี่ยวนำได้สูงสุด

2.4 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

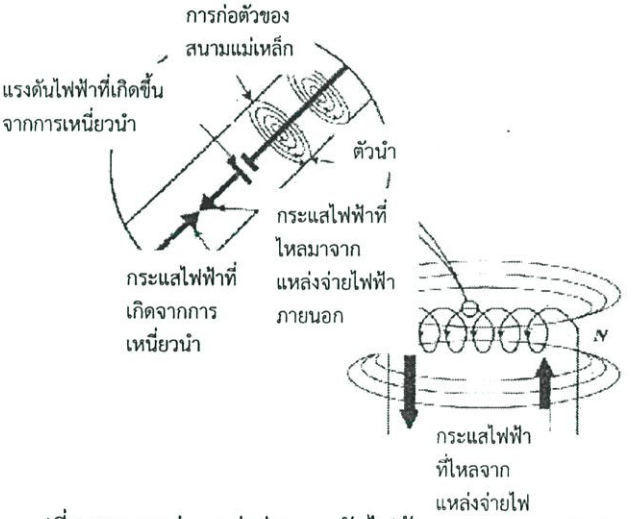
เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการปรับความถี่ของเครื่องรับวิทยุและโทรทัศน์โดยอาศัยหลักการของลวดทองแดง นำมาขดหลาย ๆ รอบที่เรียกว่าคอย (Coil) แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไป เพื่อให้แสดงคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำ โครงสร้างประกอบด้วยขดลวด (Coil) พันรอบแกน (Core) ซึ่งแกนนี้อาจจะเป็นแกนอากาศ, แกนเหล็ก, หรือแกนเฟอร์ไรท์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการเหนี่ยวนำไฟฟ้า ตัวเหนี่ยวนำชนิดต่าง ๆ

2.4.1 การเหนี่ยวนำในตัวเอง (self inductance)

เมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลเข้าไปในเส้นลวดตัวนำจะปรากฏว่ามีเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นที่รอบๆเส้นลวดตัวนำ และมีทิศทางตามกฎมือซ้ายถ้าเรานำเอาลวดมาขดเป็นคอยล์เพื่อให้เกิดคุณสมบัติของตัวนำโดย ต่อจากแหล่งจ่ายไฟ กระแสตรงแล้วใช้กฎมือซ้าย ซึ่งจะบอกให้เราทราบว่านิ้วหัวแม่มือซ้ายจะแสดง ทิศทางของสนามแม่เหล็กขั้วเหนือ ของขดลวดและจำนวนนิ้วที่เหลือทั้ง4 นิ้ว ที่กำรอบขดลวดจะเป็นทิศทางการไหลของกระแสอิเล็กตรอน

2.4.2 การเหนี่ยวนำระหว่างขดลวด 2 ขด

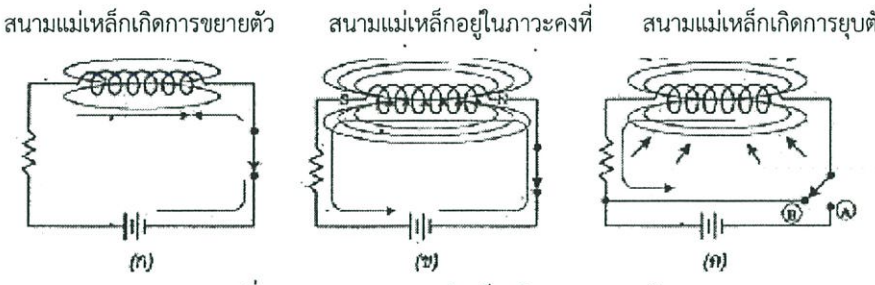
เมื่อเรานำขดลวด 2 ขดมาวางไว้ใกล้กันแล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวดตัวนำขดหนึ่งจะพบว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงย่อมจะทำให้เส้นแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงและสามารถยุบตัวตัดกับขดลวดตัวนำอีกตัวหนึ่งที่วางอยู่ใกล้ ได้ซึ่งจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตกคร่อมที่ขดลวดตัวนำทั้งสองเรียกว่า เกิดการเหนี่ยวนำการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอันดับ ค่าอินดัคแตนซ์รวมของวงจรจะเท่ากัน ค่าอินดัคแตนซ์ของตัวเหนี่ยวนำแต่ละตัวรวมกันการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน ค่าอินดัคแตนซ์รวมจะมีค่าน้อยเท่ากับตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าอินดัคแตนซ์ที่น้อยที่สุดในวงจร



รูปที่2.21 การต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้

รูปที่ 2.21แสดงการต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคร่อมเข้ากับขดลวด เป็นผลทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และความเข้มของนามแม่เหล็ก จะเพิ่มขึ้นจากค่าศูนย์ไปจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาสั้นๆ โดยการขยายตัวของนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะเริ่มจากส่วนกลางของลวดตัวนำ ซึ่งการขยายตัวของเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเป็นการเคลื่อนที่ตัดกับตัวนำที่อยู่กับที่ ดังนั้น จึงส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น(การเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า) การที่

กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำแล้วทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในนี้ เรียกว่า การเหนี่ยวนำภายใน (Self Inductance)



รูปที่ 2.22 (ก) สนามแม่เหล็กเกิดการขยายตัว
(ข) สนามแม่เหล็กอยู่ในสภาวะคงที่
(ค) สนามแม่เหล็กเกิดการยุบตัว

เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดจะทำให้สนามแม่เหล็กซึ่งจะมีปริมาณมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าก็ถึงค่าสูงสุดด้วย และทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่เกิดการขยายตัว อีกต่อไปโดยจะรักษาระดับให้คงที่ไว้เมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่แล้วการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กจึงไม่เกิดขึ้นดังนั้น การเคลื่อนที่ตัดกันระหว่างตัวเหนี่ยวนำและสนามแม่ เหล็กที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงไม่เกิดขึ้น และสุดท้าย กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะไปต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร ก็จะไม่เกิดขึ้นด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูป 2.22 (ข) ขดลวดจะรับพลังงานไฟฟ้า และเก็บไว้ในรูปของพลังงานสนามแม่เหล็ก เช่นเดียวกับกรณีที่ตัวเก็บประจุ ที่เก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปของสนามไฟฟ้านั่นเองถ้าปรับสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง B ดังแสดงในรูป2.22(ค) กระแสไฟฟ้าที่ไหลมาจากแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับศูนย์ และทำให้สนามแม่เหล็กยุบตัวลงมา ทั้งนี้เนื่องจาก ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวงจรจึง ไม่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กอีกต่อไป และถึงแม้เส้นแรงแม่เหล็กจะยุบตัวลงมา แต่ก็ยังเป็นการเคลื่อนที่ตัดกับขดลวดตัวนำอยู่ เป็นเหตุให้มีการเคลื่อนที่ตัดกันระหว่างตัวเหนี่ยวนำ และสนามแม่เหล็ก ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวด ซึ่งผลที่ตามมาก็คือ เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่จะไหลไปในทิศทางเดียวกันกับกระแสไฟฟ้าของวงจรซึ่งไหลอยู่ก่อนหน้านี้แล้ว ขดลวดในขณะนี้จะเปลี่ยนพลังงานสนามแม่เหล็กไปเป็นพลังงานไฟฟ้า และคืนพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในตอนแรกออกมา

2.4.3 หน่วยของค่าความเหนี่ยวนำ

หน่วยที่ใช้ในการวัดค่าความเหนี่ยวนำ คือ เฮนรี่ ซึ่งได้ชื่อนักฟิสิกส์ชาวอเมริกา คือ ท่านโยเซฟ เฮนรี่ เป็นผู้ทำการทดลองเรื่องแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ค่าความเหนี่ยวนำ 1เฮนรี่ คือเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในขดลวดตัวนำ เปลี่ยนแปลง 1แอมป์/วินาที ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 โวลท์

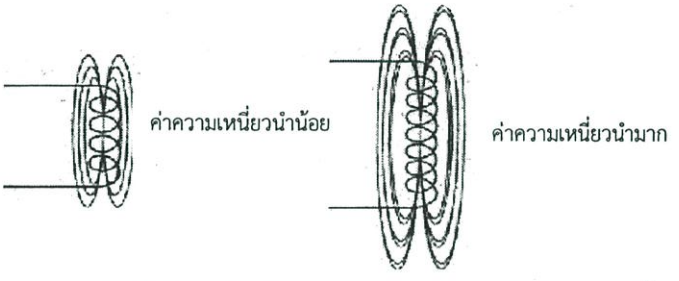
2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำถูกกำหนดโดย 4 ปัจจัย ดังนี้

2.4.4.1จำนวนรอบของขดลวด

ถ้าตัวเหนี่ยวนำมีจำนวนรอบของขดลวดมากขึ้น ดังแสดงในรูป สนามแม่เหล็กที่เกิดจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในขดลวดก็จะเกิดขึ้นมากด้วย สนามแม่เหล็กปริมาณมากนี้ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในตัวเหนี่ยวนำที่เรียกว่า "Counter EMF หรือ Back EMF" และจากการที่มีเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนมากตัดกับขดลวด จึงส่งผลให้ค่าความเหนี่ยวนำมากตามไปด้วย ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำ (L) จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวด (N)

$$L \propto N$$



รูปที่2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ

2.4.4.2 พื้นที่ของขดลวด

ถ้าพื้นที่ของขดลวดเพิ่มขึ้นสำหรับขดลวดที่มีจำนวนรอบใดๆ ดังแสดงในรูป จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กมีจำนวนมากขึ้นด้วย และการมีสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำ (L) จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ของขดลวด (A)

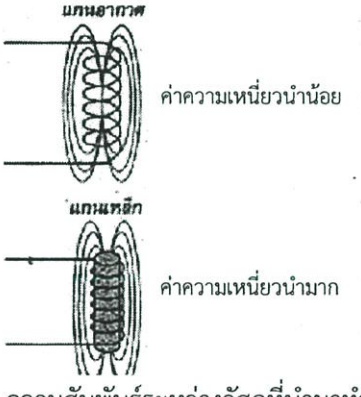
2.4.4.3 ความยาวของขดลวด

ถ้าทำให้ขดลวดจำนวน 4 รอบ ขยายพื้นที่ออก (นั่นคือความยาวของขดลวดเพิ่มขึ้น) ดังแสดงในรูป ผลรวมของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดแต่ละขดจะมีปริมาณลดลงในทางกลับกันถ้าขดลวดที่มีจำนวนเท่าเดิมนี้นำมาพันให้อยู่ชิดกันมากขึ้น (ความยาวของขดลวดสั้นลง) สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดในแต่ละขดจะเสริมซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีปริมาณมากขึ้น ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำจึงเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวของขดลวด

รูปที่2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ

2.4.4.4วัสดุที่นำมาทำแกนภายในขดลวด (u)

ตัวเหนี่ยวนำส่วนมากมีแกนที่ทำจากวัสดุจำพวกนิกเกิล โคบอลต์ เหล็ก เฟอร์ไรต์หรืออัลลอยซึ่งแกนเหล่านี้มีคุณสมบัติที่จะช่วยรวมหรือเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ดังนั้น ค่าความซาบซึมได้ (Permeability) จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ โดยถ้าค่าความซาบซึมได้ของวัสดุที่ใช้ทำแกนมีค่ามาก ก็จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย ดังแสดงในตารางแสดงตัวอย่างของวัสดุหลายชนิดที่นำมาใช้ทำแกน



ค่าความซาบซึมได้ของวัสดุชนิดต่าง ๆ	
วัสดุ	ค่าความซาบซึมได้ (μ)
สุญญากาศ	1.26×10^{-6}
นิกเกิล	6.26×10^{-6}
เหล็กหล่อ	1.1×10^{-4}
เหล็กแท่ง	5.56×10^{-4}
เหล็กซิลิกอน	0.126
เพอร์มาลอย	1.26
ซุปเปอร์มาลอย	

รูปที่2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุที่นำมาทำแกนภายในขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ

2.4.4.5 สูตรการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ

จากปัจจัยทั้ง 4 ประการที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ ดังนั้นจึงสามารถนำมาเขียนเป็นสูตรคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำได้ดังนี้

$$L = \frac{N^2 \times A \times \mu}{l} \qquad (2.20)$$

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น เฮนรี่ (H)

N = จำนวนของขดลวด มีหน่วยเป็นรอบ

A = พื้นที่ของขดลวด มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

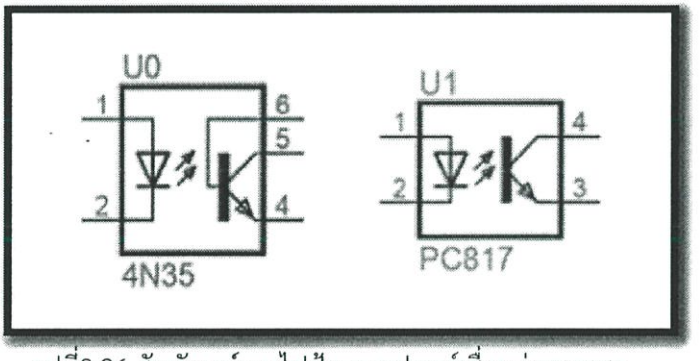
u = ค่าความซาบซึมได้ (Permeability) มีหน่วยเป็นเฮนรี/เมตร (H/m)

l = ความยาวของวัสดุที่นำมาทำแกน มีหน่วยเป็น เมตร (m)

2.5 อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Optocouplers)

อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง หรือที่เรียกว่า "ออปโต้คัปเปลอร์" (Opto-Coupler) หรือบางทีก็เรียกว่า อุปกรณ์แยกสัญญาณทางแสง (Opto-Isolator) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการเชื่อมต่อทางแสง โดยการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นแสงแล้วเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม นิยมใช้สำหรับการ เชื่อมต่อสัญญาณระหว่างสองวงจร และต้องการแยกกันทางไฟฟ้าโดยเด็ดขาด เพื่อป้องกันการรบกวนกันทางไฟฟ้าระหว่างสองวงจร ภายในของอุปกรณ์ประเภทนี้ประกอบด้วย
ไดโอดเปล่งแสง (LED) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งแสง
(Optical Transmitter) เช่น แสงอินฟราเรด (Infrared) และสำหรับตัวรับแสง (Optical Receiver) ซึ่งมักนิยมใช้โฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) เป็นตัวรับโดยจะถูกผลิตรวมอยู่ในตัวถังเดียวกัน

โฟโต้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ในลักษณะเดียวกับทรานซิสเตอร์รอยต่อคู่แบบ NPN แต่ไม่มีขาเบส (B) และถูกแทนที่ด้วยส่วนรับแสง เมื่อได้รับแสงหรืออนุภาคของแสง หรือที่เรียก ว่า โฟตอน (Photons) ในปริมาณมากพอ จะทำให้เกิดอนุภาคอิสระที่มีประจุในบริเวณรอย ต่อระหว่างเบสและคอลเลคเตอร์ (Base-Collector Region)และให้ผลเหมือนมีกระแสไหลเข้าที่ขาเบสรูปที่ 2.26 แสดงสัญลักษณ์ของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงแบบ 4 ขา
(เบอร์ PC817) และ 6 ขา (เบอร์ 4N35)



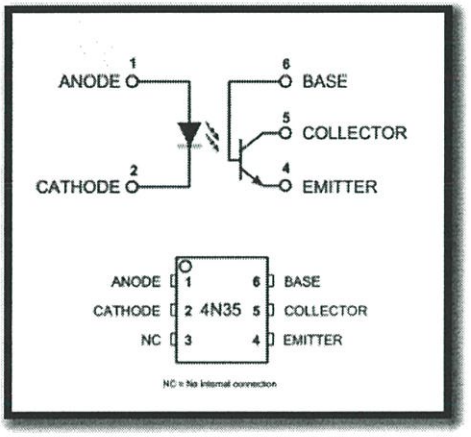
รูปที่2.26 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง

อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงสามารถรับสัญญาณอินพุต (ดิจิทัล) เช่น จากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้เปิด-ปิดไดโอดเปล่งแสงที่อยู่ภายในตัวอุปกรณ์ (ทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอดเปล่งแสง) และทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ด้วยแสง ดังนั้นจึงนำไปใช้ในลักษณะเป็นอุปกรณ์สวิตเปิด-ปิด หรือนำไป ต่อกับวงจรทรานซิสเตอร์ภายนอกเพื่อให้สามารถขับกระแสได้ในปริมาณที่สูงขึ้น

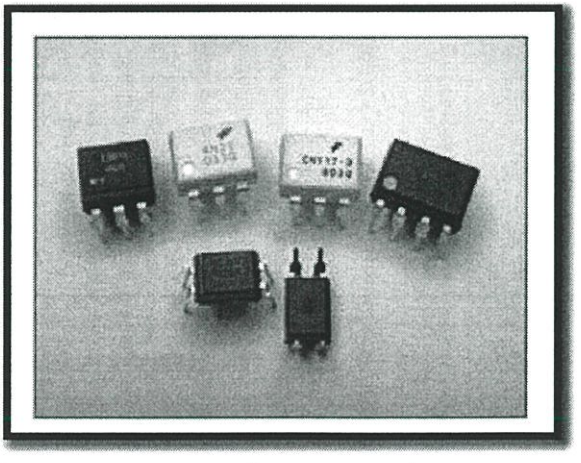
เมื่อแรงดันอินพุตอยู่ในระดับที่สูงกว่าแรงดันไบอัสตรงของไดโอดเปล่งแสง(V_F)จะทำให้เกิดกระแสไหล หรือที่เรียกว่า กระแสอินพุต หรือ กระแสไบอัสตรง (I_F) ทำให้ไดโอตเปล่งแสงตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหล ในการต่อวงจรจะต้องมีตัวต้านทานต่ออนุกรมอยู่ด้วย เพื่อจำกัดปริมาณของกระแสที่ไหลไม่ให้สูงเกิน ซึ่งขึ้นอยู่กับอุปกรณ์แต่ละตัวที่ใช้ แต่โดยทั่วไปแล้ว ควรจะให้อยู่ในช่วง 5-50 มิลลิแอมป์ (mA) เมื่อโฟโต้ทรานซิสเตอร์ได้รับแสงจะทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้ระหว่างขาCและEซึ่งให้ผล

เหมือนในกรณีที่จ่ายกระแส เข้าที่ขาเบส (B)ของทรานซิสเตอร์รอยต่อคู่แบบ NPN และถ้ามีแรงดันตกคร่อมที่ขา C และขา E(V_{CE}>0V)ก็จะทำให้มีกระแสเอาต์พุตไหล

ตัวถังของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงที่พบเห็นได้บ่อย คือ ตัวถังแบบ 4 ขา และตัวถังแบบ 6 ขา แต่มีไดโอดเปล่งแสงและโฟโต้ทรานซิสเตอร์เพียงหนึ่งคู่ อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงในตัวถังแบบ 6 ขา ตามตัวอย่าง ในรูปที่ 2.27 จะมีขาเบส (Base Connection Pin) ที่เชื่อมต่อมาจากบริเวณเบสของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ที่อยู่ภายใน และใช้ในการปรับความไวในการตอบสนองเชิงเวลาของสัญญาณไฟฟ้า (หรือกล่าวได้ว่า สามารถเปิด– ปิดสวิตช์ไฟฟ้าได้เร็วขึ้น) โดยการนำขาเบสไปต่อกับ ตัวต้านทานที่มีค่าอยู่ในช่วง 200kΩ ถึง 1MΩ ไปยัง GND ของวงจรเอาต์พุต แต่ถ้าไม่สนใจเรื่องความไวในการตอบสนองก็ไม่จำเป็นต้องต่อขอเบส



รูปที่ 2.27 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าและตัวถังของ 4N35 แบบ 6 ขา



รูปที่ 2.28 ตัวอย่างอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงที่ใช้ตัวถังแบบต่างๆ

บทที่ 3
การออกแบบเครื่องจ่ายไฟไร้สาย

3.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องจ่ายไฟไร้สาย

3.1.1 ภาคส่งพลังงาน

3.1.2 ภาครับพลังงาน

3.2 การออกแบบภาคส่งพลังงาน

3.2.1 วงจรภาคควบคุมสัญญาณพัลส์

ภาคควบคุมสัญญาณพัลส์ในการออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ TL494 เพื่อทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์แบบพุช–พูลควบคุมการทำงานของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งคุณสมบัติของไอซี TL494 แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1คุณสมบัติของไอซีเบอร์ TL494

องค์ประกอบ	ขนาดพิกัดใช้งาน
แรงดันไฟฟ้าใช้งาน (V_{CC})	กระแสตรง 7 ถึง 40 โวลต์
แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V_O)	40 โวลต์
กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต (I_O)	200 มิลลิแอมป์
ความต้านทาน (R_T)	1.8 ถึง 500 กิโลโอห์ม
ค่าคาปาซิเตอร์ (C_T)	0.47 ถึง 10,000 นาโนฟารัด
ความถี่สวิตช์ (f_{OSC})	1 ถึง 300 กิโลเฮิร์ต

1) การกำหนดคาบเวลาการทำงานวงจรของไอซีเบอร์ TL494 เป็นวงจรพีดับเบิลยูเอ็มที่มีความถี่คงที่คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์จะถูกกำหนดโดยค่าของความต้านทาน R_L และค่าของคาปาซิเตอร์ C_Tจากภายนอกที่ขา 6 และขา 5 ของไอซีคาบเวลาการทำงานกำหนดได้จากการคำนวณตามสมการดังนี้

$$T = \frac{R_T C_T}{1.1} \qquad (3.1)$$

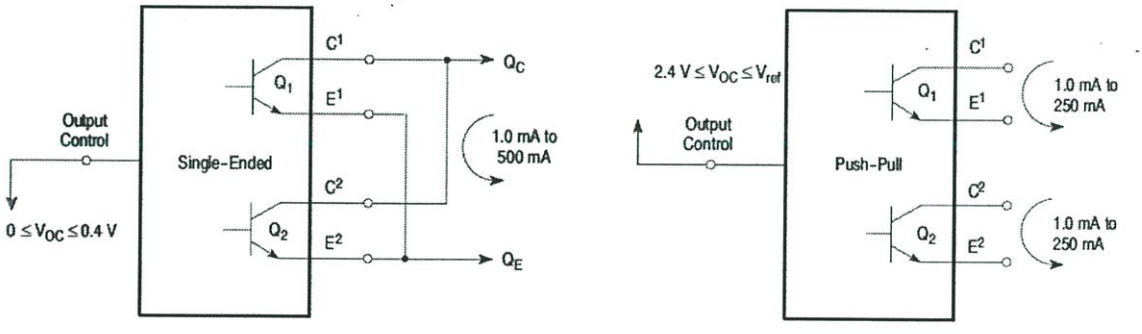
เมื่อ T คือคาบเวลาทำงาน(f=1/T)

R_T คือความต้านทานใช้งาน

C_T คือค่าคาปาซิเตอร์ใช้งาน (กำหนดเป็นค่าคงที่)

2) การกำหนดค่าเวลาเผื่อt_Dของไอซีเบอร์TL494 สามารถออกแบบกำหนดค่าเวลาเผื่อt_Dของวงจรได้เองด้วยการต่อแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0 ถึง 3.3 โวลต์ที่ขา 4 ของไอซีหากแรงดันไฟฟ้าที่ขา 4 มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ค่าเวลาเผื่อต่ำสุดของไอซีจะไม่ต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ของค่าคาบเวลาการทำงานเนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าออฟเซต 120 มิลลิโวลต์ต่ออยู่ภายในวงจรของไอซีดังนั้นช่วงเวลาทำงานt_{ON}สูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ที่ได้จากไอซีเมื่อต่อขา 13 (Output Control) เข้ากับขาที่ 14 ที่เป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (+5Vref) จะให้ค่าเท่ากับ 48 เปอร์เซ็นต์ของค่าคาบเวลาและเมื่อต่อขาที่ 13 ลงกราวด์จะให้มีค่าเท่ากับ 96 เปอร์เซ็นต์ของค่าคาบเวลา

3) การเลือกใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ที่เอาต์พุตของไอซีเบอร์TL494 ดังรูปที่ 3.7 เนื่องจากเอาต์พุต Q1 และ Q2 สามารถทำงานได้ 2โหมดคือทำงานพร้อมกันหรือสลับกันได้ซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13โดยขณะที่คาปาซิเตอร์ CT ดิสชาร์จเอาต์พุตของ Dead-Time Comparator จะให้สัญญาณพัลส์ออกมาCkจะมีสถานะเป็น High และหยุดการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น High ต่อเข้ากับขา 4 ที่เป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (+5Vref) เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 จะสลับกันทำงานตามการควบคุมของ Flip-Flop ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเป็นสองเท่าของค่าคาบเวลาสัญญาณฟันเลื่อยของไอซีแต่ถ้าทำงานพร้อมกันจะสามารถทำการขนานเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 เข้าด้วยกันได้ซึ่งทำให้นำกระแสได้มากขึ้นในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเท่ากับค่าคาบเวลาของสัญญาณฟันเลื่อยของไอซีที่ได้ทำการสร้างขึ้น

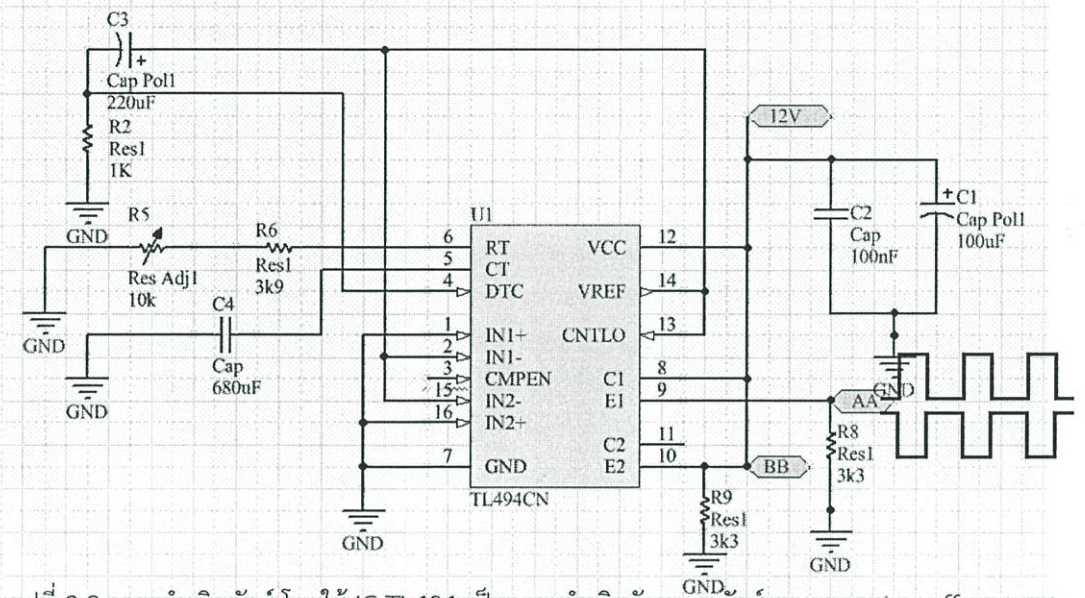


รูปที่3.1 ลักษณะการเลือกใช้เอาท์พุตของไอซี TL 494

สำหรับไอซีเบอร์ TL494 ต้องการไฟเลี้ยงในช่วง $7<V_{CC}<40$ โวลต์มีแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงภายในVrefเท่ากับ 5 โวลต์และสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ถึง 10 มิลลิแอมป์เพื่อใช้งานร่วมกับวงจรภายนอกได้โดยมีค่าความถูกต้อง ±1.5 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนทางอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า 50 มิลลิโวลต์เมื่อทำงานในช่วง 0 ถึง 70 องศาเซลเซียส

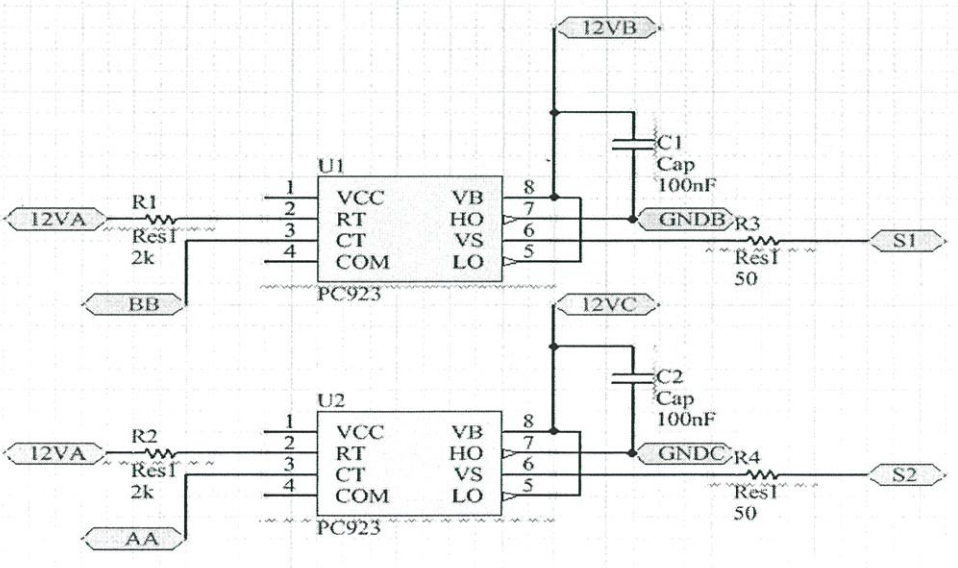
การออกแบบโดยให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงใช้งานในวงจร 15 โวลต์จ่ายให้กับไอซีเบอร์ TL494 ที่เป็นตัวกำหนดและสร้างสัญญาณพัลส์โดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้ (R-adjust) ขนาด 10 กิโลโอห์มทำหน้าที่สำหรับปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์และมีตัวเก็บประจุ (CT) ขนาด680พิโกฟารัดเป็นตัวกำหนดความถี่ประมาณ 0 ถึง120กิโลเฮิร์ตโดยความถี่ที่ต้องการจะอาศัยการปรับตัวต้านทานแบบปรับ

ค่าได้ (R-trim) ดังแสดงในรูปที่ 3.2ซึ่งแสดงวงจรภาคควบคุมสัญญาณพัลส์เมื่อได้สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม ตามค่าความถี่ที่ต้องการแล้วจะส่งสัญญาณดังกล่าวไปยังขา 9 และขา 10 ของไอซีเบอร์ TL494 ไปยังวงจรภาคขับมอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) ต่อไป

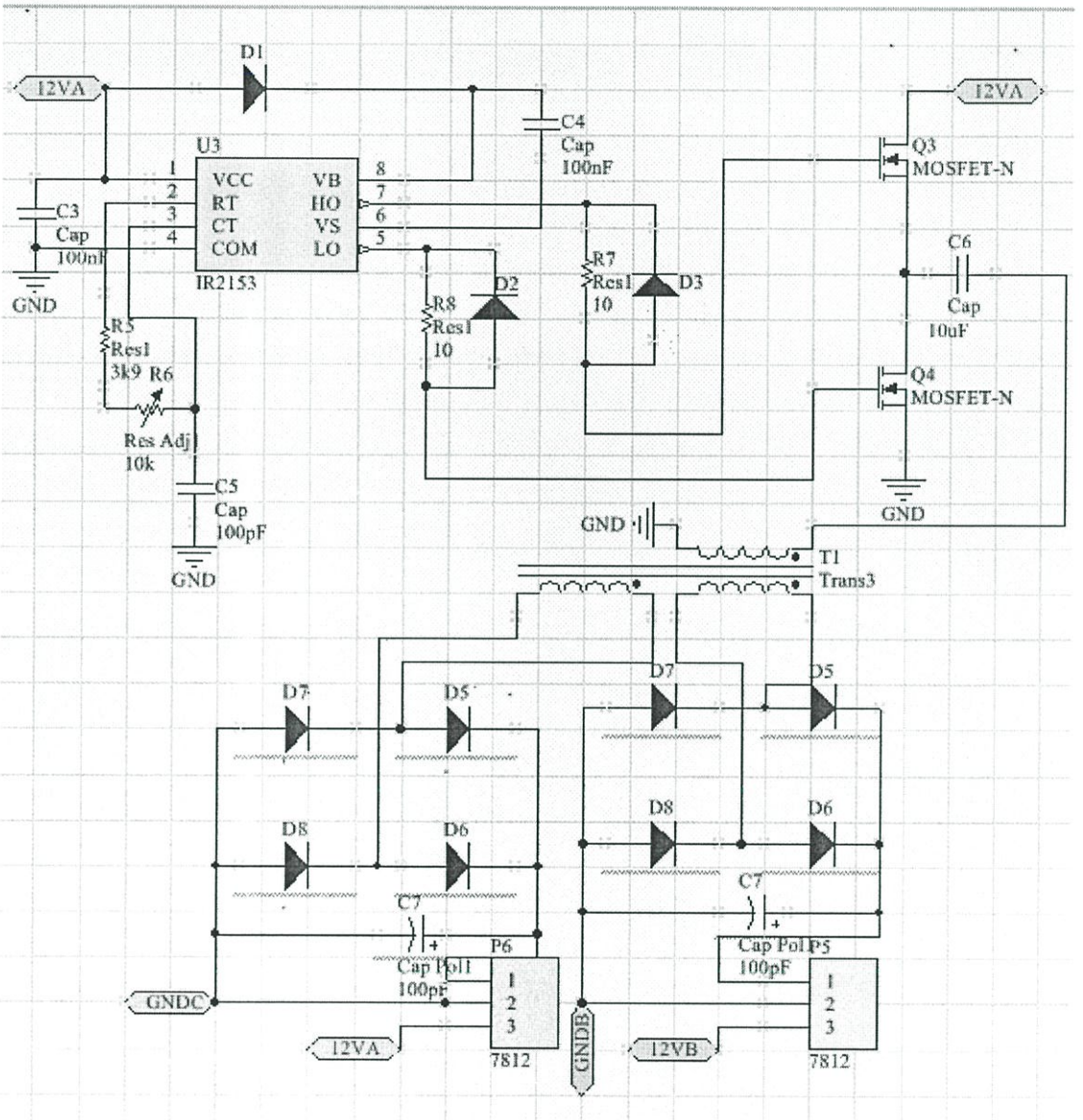


รูปที่ 3.2 วงจรกำเนิดพัลส์ โดยใช้ IC TL494 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ควบคุมการ on-off ของมอสเฟต2 ชุด

3.2.2 วงจรขับMOSFET



3.2.3 วงจรสร้างไฟเลี้ยงลอย 12V

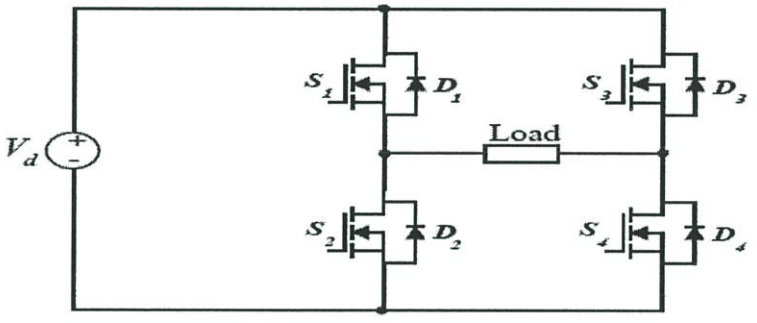


รูปที่ 3.4 วงจรสร้างไฟเลี้ยงลอย 12 Vเพื่อป้อนให้กับ IC IPC923L0NIP0F โดยใช้ IC IR 2153 ในการขับมอสเฟตที่ต่อแบบ ฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

3.2.4 วงจร Full Bridge converter

ในส่วนนี้ประกอบไปด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์และหม้อแปลงความถี่สูงซึ่งมีหน้าที่หลักคือจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูงให้แก่โหลดทางด้านเอาท์พุทโดยในวงจรอินเวอร์เตอร์นั้นจะมีด้วยกันอยู่หลายแบบแต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์เท่านั้นเนื่องจากเป็นวงจรที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ซึ่งมีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 3.5

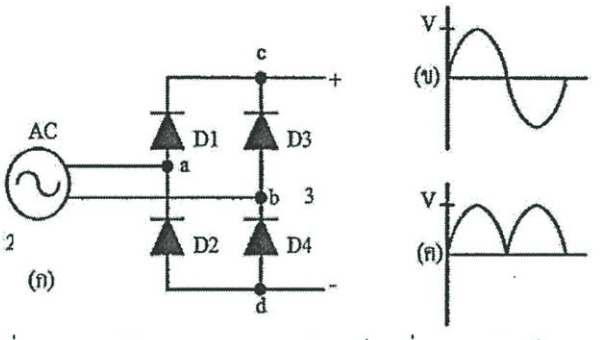
จากรูป 3.5 จะเห็นได้ว่าวงจรจะประกอบไปด้วยสวิทช์ทั้งหมด 4 ตัวนั่นคือสวิทช์ S_1 S_2 S_3 และ S_4โดยจะมีลักษณะการทำงานดังนี้คือคู่สวิทช์ S_1 S_4และ S_2 S_3 จะทำงาน ON – OFF สลับกันไปเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง



รูปที่3.5 วงจร Full Bridge converter

3.3) การออกแบบภาครับพลังงาน

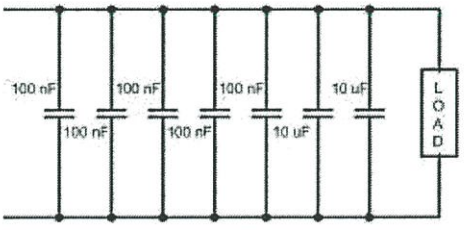
3.3.1วงจรเรียงกระแส (Rectifier)



รูปที่3.6 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)เต็มคลื่นแบบบริดจ์

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ดังรูปที่ 3.6 (ข) ให้เป็นไฟกระแสตรง 310 โวลต์รูปที่ 3.6 (ค) เพื่อเป็นวงจรขาเข้าให้กับอินเวอร์เตอร์ซึ่งในวงจรส่วนนี้ได้ใช้ไดโอดบริดจ์เบอร์MUR 460 และมีลักษณะวงจรดังรูปที่ 3.6 (ก) การทำงานของวงจรบริดจ์เร็กติไฟร์ดังรูปที่ 3.6 (ก) ขณะที่จุด a มีแรงดันเป็นบวกและที่จุด b มีแรงดันเป็นลบทำให้ไดโอด D1 ในวงจรนำกระแสและแรงดันที่จุด c จะเป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด d มีแรงดันที่จุด a มีแรงดันเป็นลบและจุด b มีแรงดันเป็นบวกทำให้ไดโอด D3 ในวงจรในวงจรนำกระแสและกรงดันที่จุด c จะเป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด d รูปคลื่นที่ได้จะเป็นรูปคลื่นซายน์แบบฟูลเวฟดังรูป 3.6 (ค)

3.3.2วงจรกรองสัญญาณ (Ripple Filter)

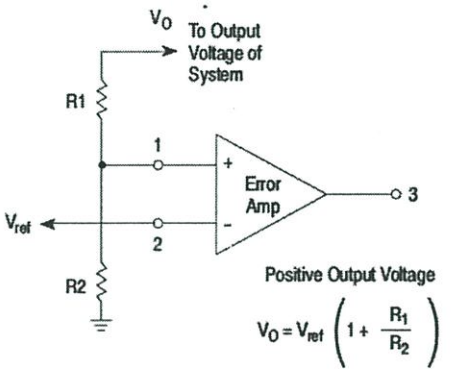


รูปที่3.7 วงจรฟิลเตอร์

วงจรนี้จะใช้ตัวเก็บประจุขนาด 100 nF 5 ตัว และ 10 uF 2 ตัว ต่อแบบขนานกันเพื่อกรองกรองแรงดันกระเพื่อมให้มีการกระเพื่อมน้อยลง ทำให้ไฟฟ้ากระแสตรงเรียบขึ้น

3.3.3 วงจรรักษาระดับแรงดัน

วงจรรักษาระดับแรงดันนี้ ใช้ IC TL494 โดยการป้อน FEEDBACK กลับมาที่ขาที่ 1 ของ TL 494 ซึ่งทำหน้าที่เป็น input (+) ของ Error Amp



รูปที่ 3.8 Error-Amplifier Sensing Techniques

การคำนวณหาค่า R1และ R2

กำหนด Vo=19V ,Vref=5V,R1=56KΩ

$$Vo = Vref\left(1 + \frac{R1}{R2}\right) \tag{3.2}$$

$$19 = 5\left(1 + \frac{56K}{R2}\right)$$

$$R2 = 20K$$

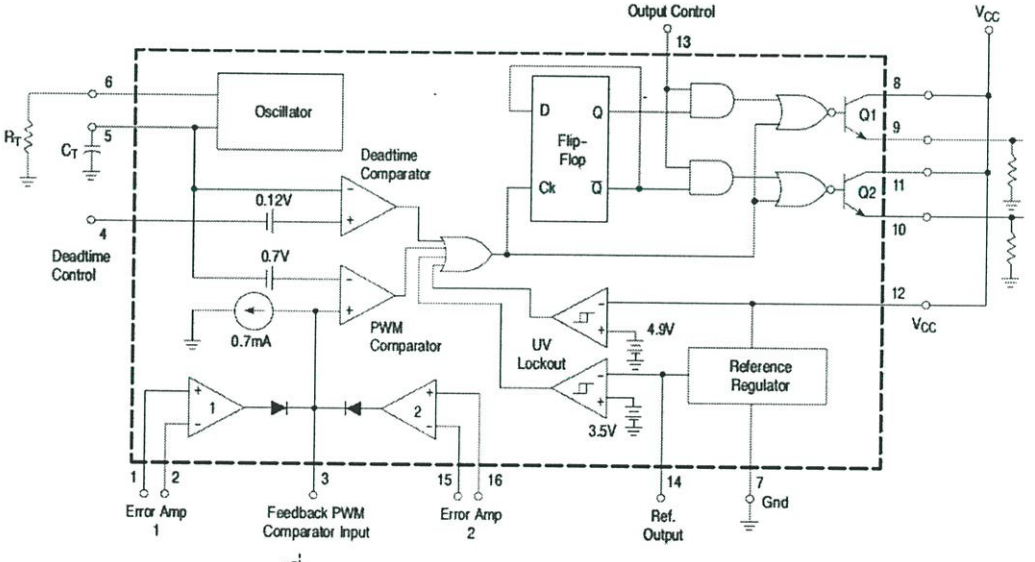
จากการคำนวณ ได้ค่า R2= 20 KΩ

การทำงานของไอซีสำหรับคงค่าแรงดันไฟฟ้าของไอซีเบอร์ TL494 ดังแสดงในรูปที่ 3.8 เพื่อใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์โดยความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะได้มาจากการเปรียบเทียบของสัญญาณฟันเลื่อยที่ขา S กับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรขยายความต่าง Error Amp ทั้งสองตัว ผ่านทาง PWM Comparator ส่วน NOR Gate ที่ควบคุมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เอาต์พุต Q1 และ Q2 จะทำงานก็ต่อเมื่อขาCkของ Flip-Flop อยู่ในสถานะ Low ซึ่งCkจะมีสถานะ Low ได้เมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าแรงดันที่มาจาก Error Amp ทั้งสองตัวนั่นคือแรงดัน

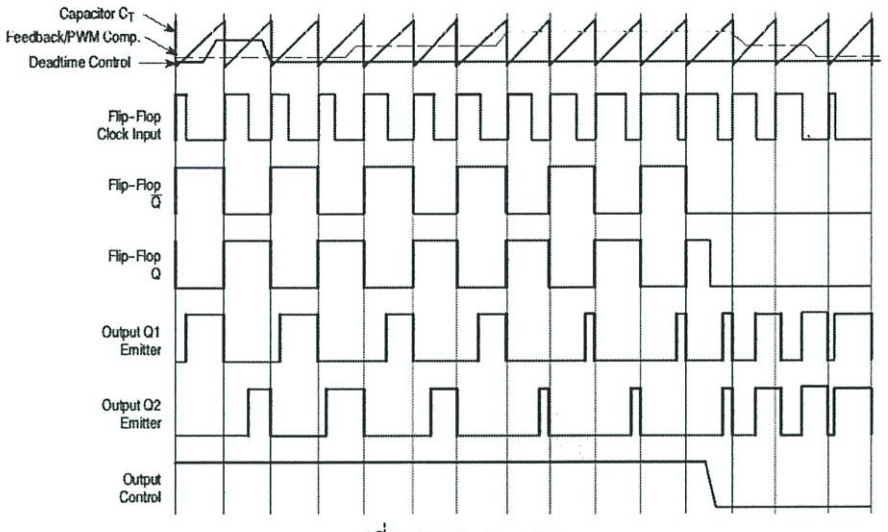
ป้อนกลับจากเอาต์พุตหากมีค่าสูงขึ้นความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะมีค่าลดลงในทางกลับกันแรงดันป้อนกลับหากมีค่าลดลงความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะมีค่าเพิ่มขึ้น

ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีนี้สามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ขา 3 จาก 0.5 ถึง 3.5 โวลต์ส่วนวงจรขยายความต่าง Error Amp ทั้งสองตัวจะมีช่วงของอินพุตคอมมอนโหมดตั้งแต่ -0.3 ถึง -2 โวลต์และสามารถใช้ในการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ได้วงจรขยายความต่าง Error Amp ทั้ง 2 ตัวจะให้เอาต์พุตในลักษณะให้สถานะ High (Active high) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะOR ที่ขา Non Inverting ของ PWM Comparator การต่อกันในลักษณะนี้วงจรขยายความต่าง Error Amp ตัวที่ทำให้เกิดความกว้างเอาต์พุตพัลส์ต่ำสุดจะเป็นตัวควบ

คุมความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของไอซีเนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรขยายความต่าง Error Amp ผลต่างของแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอ้างอิงจึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่ 180 องศาเมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้นความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจรพีดับเบิลยูเอ็มจะมีค่าลดลงและช่วงนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ก็จะลดลงถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลงความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจรพีดับเบิลยูเอ็มจะมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้สามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตไว้ได้



รูปที่3.9 Representative Block Diagram



รูปที่3.10 Timing Diagram

บทที่ 4
การทดสอบคุณสมบัติของคอร์ดเรสพาวเวอร์ซัพพลาย

ตอนที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ค่า ตัวเหนี่ยวนำ และ ค่าตัวเก็บประจุ ต่างๆ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ค่า L = 33.25 uH และ C = 78.44 nF

Frequency = 100 kHz Q = 5 RL = 100 Ω

L = 33.25 uH C = 78.44 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	0.90	10k	57.80	10.80	0.33	3.06
12	0.28	100	13.80	3.36	1.90	56.55
20	0.44	100	23.24	8.80	5.40	61.36
30	0.64	100	34.91	19.20	12.19	63.49
45	0.96	100	52.50	43.20	27.56	63.79
60	1.27	100	69.70	76.20	48.58	63.75

ตารางที่ 4.2 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 47.50 uH และ C = 53.32 nF

Frequency = 100 kHz Q = 3 RL = 100 Ω

L = 47.50uH C = 53.32 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	0.90	10k	86.70	10.80	0.75	6.94
12	0.16	100	10.80	1.92	1.17	60.94
20	0.25	100	17.99	5.00	3.24	64.80
30	0.36	100	26.97	10.80	7.27	67.31
45	0.52	100	40.33	23.40	16.27	69.53
60	0.69	100	53.80	41.40	28.94	69.90

ตารางที่ 4.3 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 76.90 uH และ C = 33.50 nF

Frequency = 100 kHz Q = 2 RL = 100 Ω

L = 76.90 uH C = 33.50 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	1.00	10k	101.70	12.00	1.03	8.58
12	0.13	100	10.01	1.56	1.00	64.10
20	0.21	100	16.80	4.20	2.82	67.14
30	0.30	100	25.42	9.00	6.46	71.78
45	0.44	100	37.99	19.80	14.43	72.88
60	0.59	100	50.80	35.40	25.81	72.91

ตารางที่ 4.4 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 37.59 uH และ C = 122 nF

Frequency = 80 kHz Q = 5 RL = 100 Ω

L = 37.59 uH C = 122 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	1.07	10k	61.80	12.84	0.38	2.96
12	0.32	100	14.92	3.84	2.23	58.07
20	0.52	100	24.96	10.40	6.23	59.90
30	0.77	100	37.78	23.10	14.27	61.77
45	1.13	100	56.50	50.85	31.92	62.77
60	1.15	100	75.30	69.0	47.61	69.00

ตารางที่ 4.5 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 70.30 uH และ C = 60.76 nF

Frequency = 80 kHz Q = 3 RL = 100 Ω

L = 70.30 uH C = 60.76 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	0.05	10k	24.20	0.60	0.06	9.83
12	0.18	100	11.85	2.16	1.40	65.0
20	0.29	100	19.91	5.80	3.96	68.34
30	0.43	100	30.01	12.90	9.01	69.81
45	0.63	100	45.0	28.35	20.25	71.43
60	0.84	100	60.10	50.40	36.12	71.67

ตารางที่ 4.6 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 92.29 uH และ C = 43.70 nF

Frequency = 80 kHz Q = 2 RL = 100 Ω

L = 92.29 uH C = 43.70 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	0.02	10k	20.64	0.24	0.04	17.92
12	0.20	100	12.89	2.40	1.66	69.25
20	0.34	100	21.82	6.40	4.76	70.00
30	0.48	100	31.90	14.40	10.18	70.69
45	0.72	100	48.40	32.40	23.43	72.34
60	0.83	100	61.00	49.80	31.21	74.72

ตารางที่ 4.7 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 47.69 uH และ C = 155.23 nF

Frequency = 60 kHz Q = 5 RL = 100 Ω

L = 47.69 uH C = 155.23 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	1.23	10k	76.70	14.76	0.58	3.93
12	0.30	100	14.73	3.60	2.17	60.28
20	0.47	100	24.47	9.40	5.99	63.72
30	0.70	100	37.19	21.0	13.83	65.86
45	1.02	100	55.30	45.90	30.58	66.62
60	1.36	100	73.90	81.60	54.61	66.93

ตารางที่ 4.8 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 84.49 uH และ C = 83.38 nF

Frequency = 60 kHz Q = 3 RL = 100 Ω

L = 84.49 uH C = 83.38 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	0.08	10k	29.30	0.96	0.09	9.38
12	0.29	100	15.40	3.48	2.37	68.10
20	0.47	100	25.85	9.40	6.68	71.06
30	0.69	100	38.90	20.70	15.13	73.09
45	1.02	100	58.30	45.90	33.98	74.03
60	1.35	100	77.50	81.0	60.06	74.15

ตารางที่ 4.9 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 129.92 uH และ C = 54.39 nF

Frequency = 60 kHz Q = 2 RL = 100 Ω

L = 129.92 uH C = 54.39 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	1.24	10k	123.9	14.88	1.54	10.35
12	0.28	100	15.07	3.36	2.27	67.56
20	0.44	100	24.56	8.80	6.03	68.52
30	0.59	100	35.95	17.7	12.67	70.45
45	0.87	100	53.71	39.15	28.85	73.69
60	1.12	100	71.30	67.20	50.84	75.65

ตารางที่ 4.10 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 16.67 uH และ C = 142.60 nF

Frequency = 100 kHz Q = 5 RL = 50 Ω

L = 16.67 uH C = 142.60 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	0.67	10k	41.70	8.04	0.17	2.11
12	0.20	50	8.30	2.40	1.38	57.50
20	0.31	50	13.94	6.20	3.89	62.74
30	0.45	50	21.11	13.50	8.91	66.0
45	0.67	50	31.40	30.15	19.72	65.41
60	0.88	50	41.60	52.80	34.61	65.51

ตารางที่ 4.11 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 25.11 uH และ C = 107.0 nF

Frequency = 100 kHz Q = 3 RL = 50 Ω

L = 25.11 uH C = 107.0 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	0.82	10k	63.90	9.84	0.41	4.17
12	0.15	50	7.18	1.80	1.03	57.22
20	0.22	50	11.75	4.40	2.76	62.73
30	0.31	50	17.62	9.30	6.21	66.77
45	0.46	50	26.58	20.70	14.13	68.26
60	0.60	50	35.20	36.0	24.78	68.83

ตารางที่ 4.12 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 37.59 uH และ C = 64.15 nF

Frequency = 100 kHz Q = 2 RL = 50 Ω

L = 37.59 uH C = 64.15 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	0.91	10k	63.30	10.92	0.40	3.66
12	0.20	50	8.89	2.40	1.58	65.83
20	0.30	50	14.10	6.0	3.98	66.33
30	0.44	50	21.22	13.20	9.01	68.26
45	0.65	50	31.82	29.25	20.25	69.23
60	0.85	50	42.10	51.0	35.45	69.51

ตารางที่ 4.13 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 16.67 uH และ C = 232.22 nF

Frequency = 80 kHz Q = 5 RL = 50 Ω

L = 16.67 uH C = 232.22 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	1.03	10k	42.80	12.36	0.18	1.48
12	0.32	50	10.39	3.84	2.16	56.25
20	0.52	50	17.58	10.40	6.18	59.42
30	0.76	50	26.32	22.80	13.85	60.75
45	1.12	50	39.40	50.40	31.05	61.61
60	1.50	50	52.30	90.0	54.71	60.79

ตารางที่ 4.14 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 33.25 uH และC = 115.0 nF

Frequency = 80 kHz Q = 3 RL = 50 Ω

L = 33.25 uH C = 115.0 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	0.89	10k	49.0	10.68	0.24	2.25
12	0.26	50	9.22	3.12	1.70	54.49
20	0.41	50	15.71	8.20	4.94	60.24
30	0.60	50	23.69	18.0	11.22	62.33
45	0.88	50	35.21	39.60	24.79	62.60
60	1.16	50	46.60	69.60	43.43	62.39

ตารางที่ 4.15 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 47.74 uH และ C = 90.50 nF

Frequency = 80 kHz Q = 2 RL = 50 Ω

L = 47.74 uH C = 90.50 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	0.62	10k	97.30	7.44	0.95	12.77
12	0.20	50	8.82	2.40	1.56	65.0
20	0.29	50	14.38	5.80	4.14	71.38
30	0.42	50	21.35	12.60	9.12	72.38
45	0.63	50	32.31	28.35	20.88	73.65
60	0.82	50	42.70	49.20	36.47	74.13

ตารางที่ 4.16 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 25.11 uH และ C = 292.0 nF

Frequency = 60 kHz Q = 5 RL = 50 Ω

L = 25.11 uH C = 292.0 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	1.20	10k	52.20	14.40	0.27	1.88
12	0.29	50	9.97	3.48	1.99	57.18
20	0.51	50	17.72	10.20	6.28	61.57
30	0.75	50	26.55	22.50	14.09	62.62
45	1.11	50	40.02	49.95	32.03	64.12
60	1.27	50	52.30	76.20	54.71	71.79

ตารางที่ 4.17 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 47.22 uH และ C = 150.24 nF

Frequency = 60 kHz Q = 3 RL = 50 Ω

L = 47.22 uH C = 150.24 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	0.95	10k	72.90	11.40	0.53	4.65
12	0.20	50	8.51	2.40	1.45	60.42
20	0.26	50	12.71	5.20	3.23	62.12
30	0.38	50	18.93	11.40	7.17	62.89
45	0.55	50	28.41	24.75	16.14	65.21
60	0.88	50	42.30	52.80	35.78	67.77

ตารางที่ 4.18 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 66.49 uH และ C = 100.0 nF

Frequency = 60 kHz Q = 2 RL = 50 Ω

L = 66.49 uH C = 100.0 nF

VIN (V)	IIN (A)	RL (Ω)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff (%)
12	1.41	10k	88.30	16.92	0.78	4.61
12	0.19	50	8.02	2.28	1.29	56.58
20	0.30	50	13.48	6.0	3.63	60.50
30	0.43	50	20.09	12.90	8.07	62.56
45	0.62	50	30.0	27.9	18.0	64.52
60	0.83	50	40.11	49.80	32.18	64.62

ตอนที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพของวงจรเมื่อไม่เกิดการเรโซแนนซ์

ตารางที่ 4.19 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 129.92 uH

Frequency = 160.18 kHz L = 129.92 uH

RL (Ω)	VIN (V)	IIN (A)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff(%)
10k	60	0.04	53.80	2.40	0.29	12.08
1k	60	0.06	43.50	3.60	1.89	52.50
500	60	0.09	40.90	5.40	3.35	62.03
300	60	0.12	37.80	7.20	4.76	66.11
200	60	0.14	34.23	8.40	5.86	69.76
100	60	0.16	25.71	9.60	6.61	68.85
50	60	0.16	16.64	9.60	5.54	57.70

ตารางที่ 4.20 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 76.90 uH

Frequency = 159.58 kHz L = 76.90 uH

RL (Ω)	VIN (V)	IIN (A)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff(%)
10k	60	0.03	43.50	1.80	0.19	10.56
1k	60	0.05	32.73	3.0	1.07	35.67
500	60	0.06	31.84	3.60	2.03	56.39
300	60	0.08	30.29	4.80	3.06	63.75
200	60	0.10	28.20	6.0	3.98	66.33
100	60	0.13	22.79	7.80	5.19	66.54
50	60	0.14	15.99	8.40	5.11	60.83

ตารางที่ 4.21 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 47.74 uH

Frequency = 154.99 kHz L = 47.74 uH

RL (Ω)	VIN (V)	IIN (A)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff(%)
10k	60	0.03	33.15	1.80	0.11	6.11
1k	60	0.03	22.53	1.80	0.51	28.33
500	60	0.04	21.15	2.40	0.89	37.08
300	60	0.05	20.61	3.0	1.42	47.33
200	60	0.06	20.0	3.60	2.0	55.56
100	60	0.09	17.90	5.40	3.20	59.26
50	60	0.11	14.42	6.60	4.16	63.03

ตอนที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพของวงจรเมื่อเกิดการเรโซแนนซ์

ตารางที่ 4.22 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 129.92 uH และ C=54.39 nF

Frequency = 60 kHz L = 129.92 uH C=54.39 nF

RL (Ω)	VIN (V)	IIN (A)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff(%)
10k	60	-	-	-	-	-
1k	60	-	-	-	-	-
500	60	3.04	228.50	182.40	104.42	57.25
300	60	2.78	184.10	166.80	112.98	67.73
200	60	2.16	136.60	129.60	93.29	71.98
100	60	1.31	74.70	78.60	55.80	70.99
50	60	0.81	39.92	48.60	31.87	65.58

ตารางที่ 4.23 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 76.90 uH และ C=33.5 nF

Frequency = 106.82 kHz L = 76.90 uH C=33.5 nF

RL (Ω)	VIN (V)	IIN (A)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff(%)
10k	60	-	-	-	-	-
1k	60	2.63	257.70	157.80	66.41	42.08
500	60	2.03	186.60	121.80	69.64	57.18
300	60	1.51	131.50	90.60	57.64	63.62
200	60	1.17	96.70	70.20	46.75	66.59
100	60	0.73	53.70	43.80	28.84	65.84
50	60	0.43	29.30	25.80	17.17	66.55

ตารางที่ 4.24 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 47.74 uH และ C=114 nF

Frequency = 86.92 kHz L = 47.74 uH C=114 nF

RL (Ω)	VIN (V)	IIN (A)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff(%)
10k	60	-	-	-	-	-
1k	60	-	-	-	-	-
500	60	-	-	-	-	-
300	60	2.80	170.10	168.0	96.45	57.41
200	60	2.28	133.60	136.80	89.24	65.23
100	60	1.47	78.10	88.20	60.99	69.15
50	60	0.91	42.80	54.60	36.64	67.11

ตอนที่ 4 ทดสอบประสิทธิภาพของวงจรเมื่อเกิดการเรโซแนนซ์ (เปลี่ยนรูปแบบโดยใช้วงจรแมทชิง)

ตารางที่ 4.25 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่L = 129.92 uH ,
C1 = 44.21 nF ,C2 = 88.42 nF
Q = 2 Frequency = 65.45 kHz L = 129.92 uH
R1 = 100Ω , R2 =20 Ω C1 = 44.21 nF , C2 = 88.42 nF

VIN (V)	IIN (A)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff(%)
60	1.39	33.71	83.40	56.82	68.13

ตารางที่ 4.26 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ L = 112.63 uH,
C1 = 68 nF , C2 = 122.0 nF
Q = 2 Frequency = 63.0 kHz L = 112.63 uH
R1 = 100Ω , R2 =30 Ω C1 = 68 nF , C2 = 122.0 nF

VIN (V)	IIN (A)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff(%)
60	1.20	37.3	72.0	46.38	64.40

ตารางที่ 4.27 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่L = 108.0 uH ,
C1 = 36.9 nF , C2 = 83.0 nF
Q = 2 Frequency = 83.45 kHz L = 108.0 uH
R1 = 100Ω , R2 =20 Ω C1 = 36.9 nF , C2 = 83.0 nF

VIN (V)	IIN (A)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff(%)
60	1.25	31.25	75.00	48.83	65.11

ตารางที่ 4.28 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่L = 108.0 uH ,
C1 = 47.0 nF , C2 = 93.0 nF
Q = 2 Frequency = 82.71 kHz L = 108.0 uH
R1 = 100Ω , R2 =30 Ω C1 = 47.0 nF , C2 = 93.0 nF

VIN (V)	IIN (A)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff(%)
60	1.17	37.33	70.20	46.45	66.16

ตารางที่ 4.29 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่L = 78.20 uH ,
C1 = 132.63 nF ,C2 = 191.63 nF
Q = 3 Frequency = 63.82 kHz L = 78.20 uH
R1 = 100 Ω , R2 =20 Ω C1 = 132.63 nF , C2 = 191.63 nF

VIN (V)	IIN (A)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff(%)
60	1.32	32.40	79.20	52.49	66.28

ตารางที่ 4.30 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่L = 78.20 uH ,
C1 = 125.06 nF , C2 = 207.25 nF
Q = 3 Frequency = 63.81 kHz L = 78.20 uH
R1 = 100 Ω , R2 =30 Ω C1 = 125.06 nF , C2 = 207.25 nF

VIN (V)	IIN (A)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff(%)
60	1.30	38.80	78.0	50.18	64.33

ตารางที่ 4.31 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่L = 70.0 uH,
C1 = 99.47 nF , C2 = 136.47 nF
Q = 3 Frequency = 82.18 kHz L = 70.0 uH
R1 = 100 Ω , R2 =20 Ω C1 = 99.47 nF , C2 = 136.47 nF

VIN (V)	IIN (A)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff(%)
60	1.28	31.70	76.80	50.24	65.42

ตารางที่ 4.32 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่L = 70.0 uH ,
C1 = 100 nF ,C2 = 125.44 nF
Q = 3 Frequency = 82.62 kHz L = 70.0 uH
R1 = 100 Ω , R2 =30 Ω C1 = 100 nF , C2 = 125.44 nF

VIN (V)	IIN (A)	VO (V)	PIN (W)	PO (W)	%Eff(%)
60	1.16	30.50	69.60	46.51	66.82

ตอนที่ 5 ทดสอบประสิทธิภาพของวงจรเมื่อใช้ วงจรแมทชิง และ วงจรรักษาระดับแรงดันคงที่ 19 V

ตารางที่ 4.33 แสดงผลทดสอบประสิทธิภาพที่ L = 129.92 uH ,C1 = 44.21 nF ,C2 = 88.42 nF

$R_L(\Omega)$	V_{IN} (V)	I_{IN} (A)	V_O (V)	P_{IN} (W)	P_O (W)	%Eff(%)
10K	128	0.13	18.90	16.64	0.04	0.24
5	129	0.9	18.75	116.1	72.2	62.19
10	128	0.53	18.75	67.84	35.16	51.83
50	128	0.23	18.88	29.44	7.13	24.22
100	128	0.19	18.88	24.32	3.56	14.64
200	128	0.16	18.89	20.48	1.78	8.69
300	128	0.15	18.89	19.20	1.19	6.20
500	128	0.15	18.90	19.20	0.71	3.70
1K	128	0.15	18.91	19.20	0.36	1.88

บทที่5
วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบคุณสมบัติของวงจร

จากการทดลองเพื่อทดสอบคุณสมบัติของวงจรcordless power supply พบว่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับหลายตัวแปรเช่นความถี่,ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดขนาดของขดลวดระยะห่างระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ รวมถึงโหลดที่นำมาใช้ทดสอบนอกจากนี้ยังพบว่าถ้ามีการเรโซแนนซ์ที่ขดลวดฝั่งทุติยภูมิ จะทำให้เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพสูงขึ้นอีกถึง 5-20 เปอร์เซ็นต์ แต่อาจจะต้องคำนึงถึงค่าแฟกเตอร์คุณภาพ (Q)เนื่องจากถ้าค่า Q สูงจะทำให้ช่วงแบนวิธของการเรโซแนนซ์แคบ นอกจากนี้ หากค่า Q มีค่ามากเนื่องจากค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ที่ใช้มีค่าสูงกว่าค่าตัวเหนี่ยวนำของขดลวดฝั่งรับมากๆ จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปในรูปของความร้อนที่ขดลวดได้โดยสามารถแก้ไขเรื่องความร้อนได้โดยการนำลวดทองแดงหลายเส้นมาถักเกลียวเพื่อลดผลของสกินเอฟเฟ็กโดยผลที่ได้คือประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอีก 5-10% และวงจรสามารถรักษาระดับแรงดันได้ 19 V คงที่ ประสิทธิภาพมากกว่า 60 %

จากการทดลอง สามารถอธิบายได้ว่าหากต้องการประสิทธิภาพที่สูงควรเลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำค่าสูงและถักเกลียวสายเพื่อลดผลของสกินเอฟเฟ็ก กำหนดความถี่ประมาณ 60 kHz และใช้วงจรเรโซแนนซ์เพื่อให้มีการส่งผ่านพลังงานสูง

ตอนที่ 1 จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่า ที่ความถี่60kHz ค่าตัวเหนี่ยวนำที่ฝั่งรับมีค่า129.92 uHและใช้ค่าตัวเก็บประจุ ที่ก่อให้เกิดการเรโซแนนซ์ มีค่า 54.39 nF โดยทดสอบที่ แรงดันทางเข้า 60 Volt และ ค่าความต้านทานภาระ 100 ohm พบว่า มีค่าประสิทธิภาพ 75.65 %

ตอนที่ 2 จากการทดลองพบว่าเมื่อ ไม่มีไม่เกิดการเรโซแนนซ์ระหว่างตัวเหนี่ยวนำ กับ ตัวเก็บประจุ ส่งผลให้ กำลังทางออกมีค่าต่ำมากอยู่ในระดับ 5-7 วัตต์

ตอนที่ 3 เมื่อเกิดการเรโซแนนซ์ จะทำให้ กำลังทางออกมีค่าสูงขึ้นและประสิทธิภาพดีขึ้น

ตอนที่ 4 เมื่อทำการเปลี่ยนรูปแบบของตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุที่ทำให้เกิดเรโซแนนซ์โดยใช้ความรู้เรื่องของการแมทชิง พบว่า ยังคงให้กำลังทางออกที่สูงมีค่า 40-60 วัตต์ และมีค่า load regulation ที่ดีกว่าตอนที่ 3

ตอนที่ 5 ทดสอบประสิทธิภาพของวงจรเมื่อใช้ วงจรแมทชิง และ วงจรรักษาระดับแรงดันคงที่ได้แรงดันทางออก 18.75 V ที่ ความต้านทานภาระ 5 ohm มีค่าประสิทธิภาพ 62.19 %

เอกสารอ้างอิง

[1] วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ 1 ผศ.ประภากร สุวรรณะ, ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[2] http://www.wellwave-tech.com/article-knowledge/resonance-frequency เรื่องเรโซแนนซ์

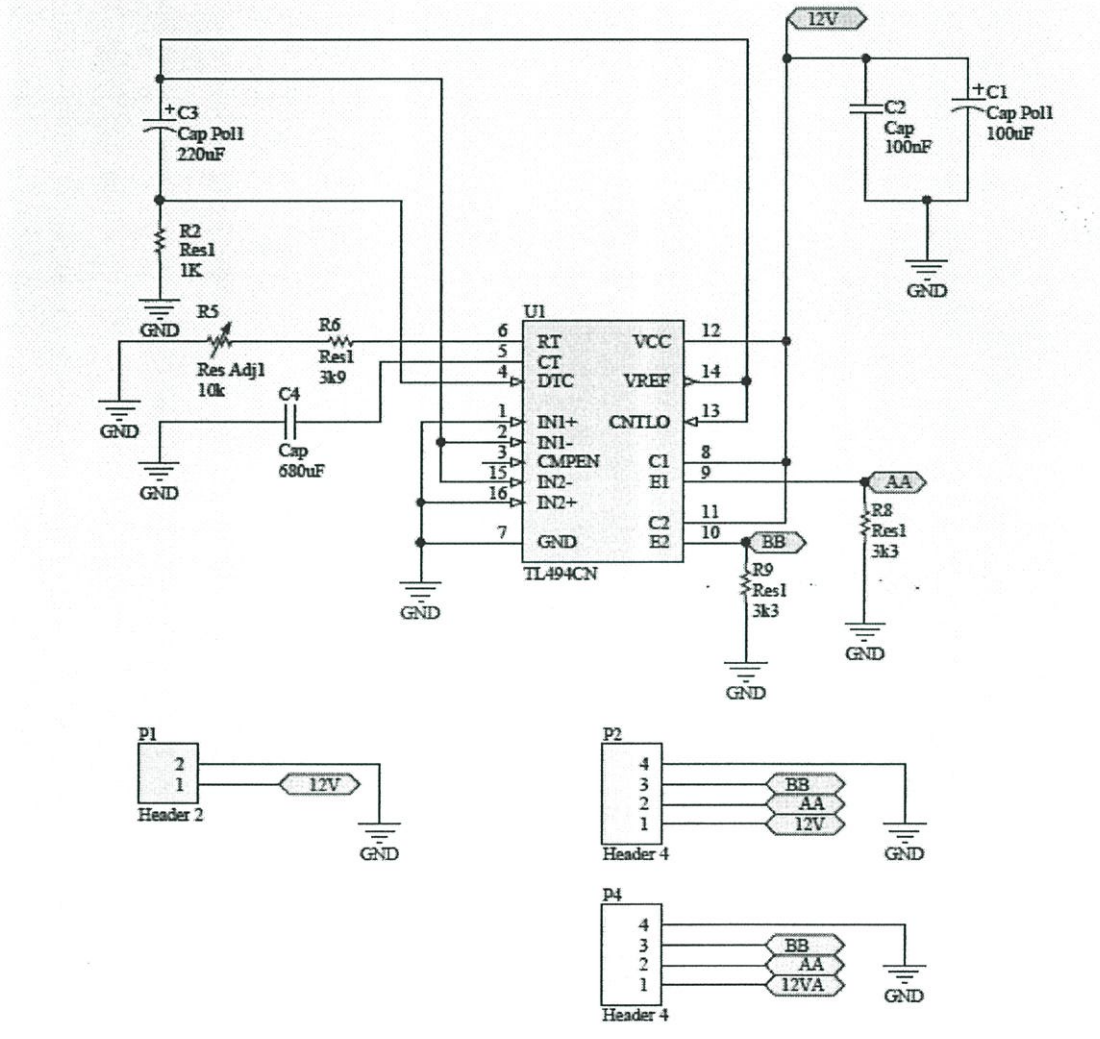
[3] http://www.elecnet.chandra.ac.th/learn/elearning/electronics1/inducter.phpเรื่อง ตัวเหนี่ยวนำ

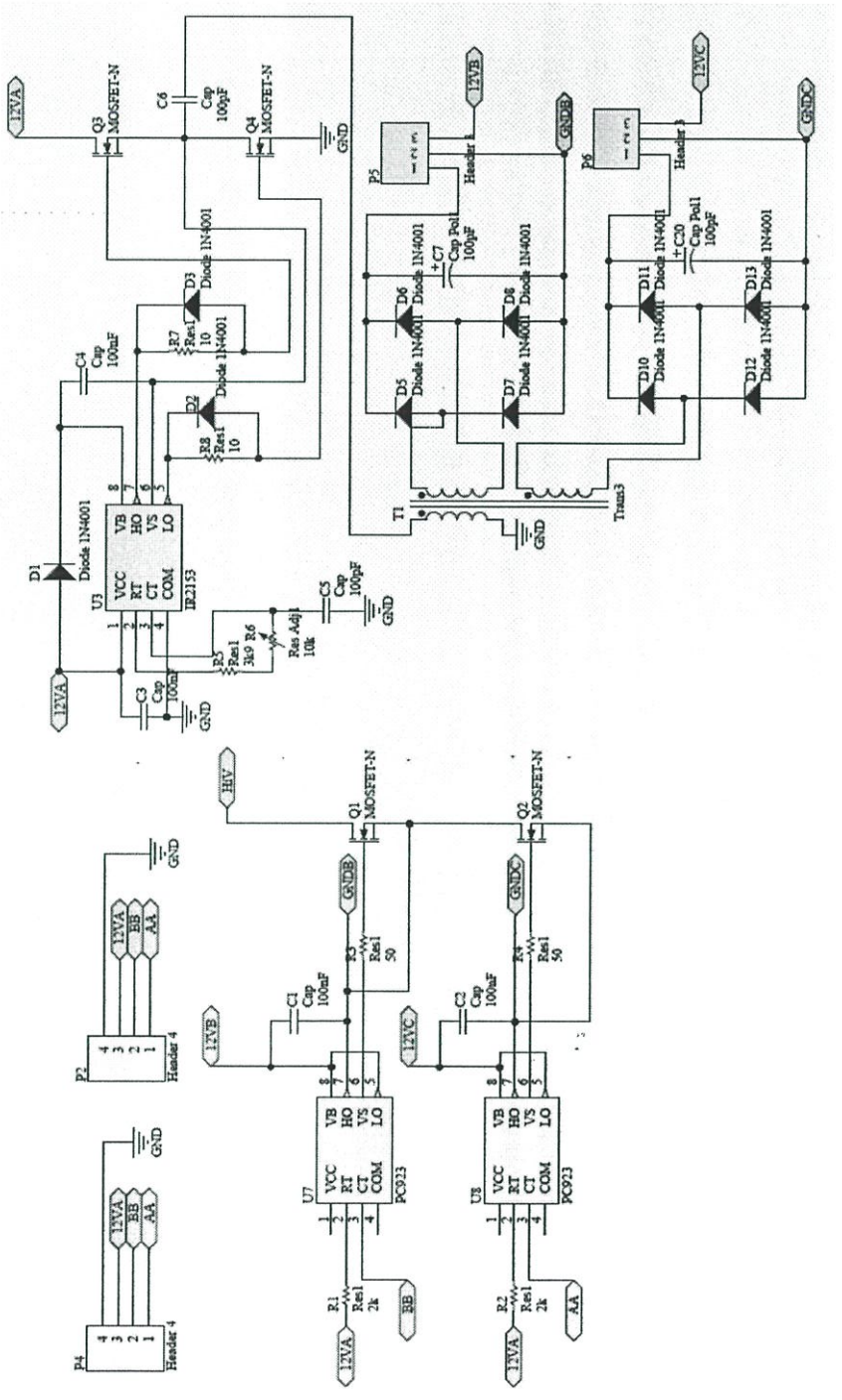
[4] http://www.kmitl.ac.th/~kpteeraw/data_com/datacom_52/Filter.htmเรื่องวงจรกรองความถี่

[5] http://203.172.182.172/~kriengsak/project/data/rectifier.htm เรื่องการเปลี่ยนไฟสลับเป็นไฟตรง

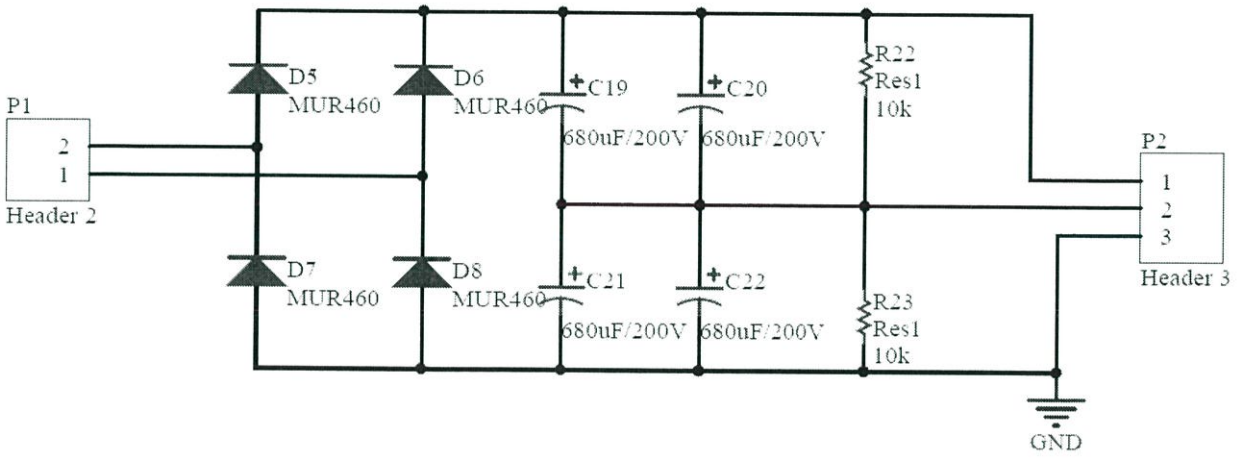
ภาคผนวก

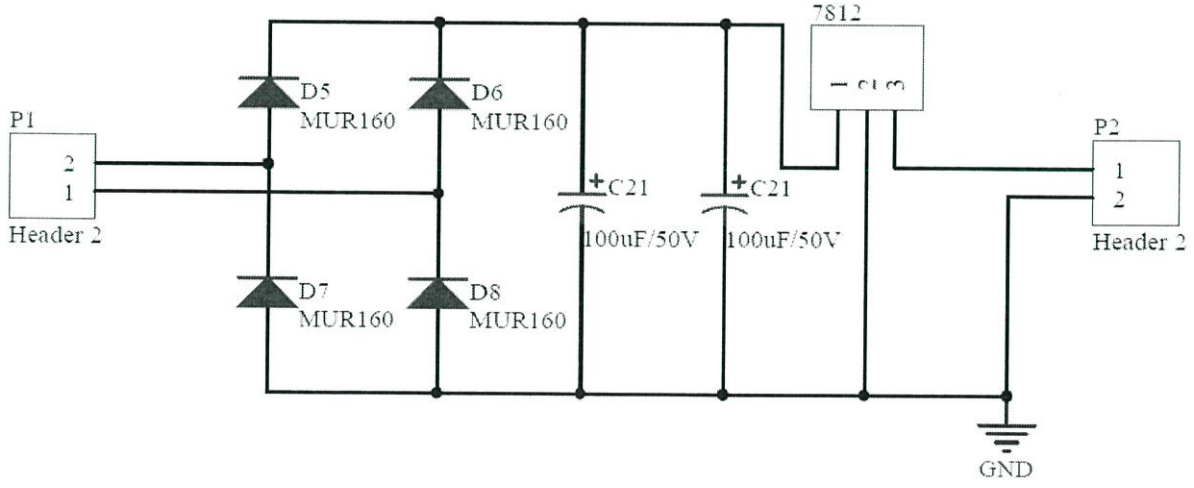
วงจรภาคส่งพลังงาน

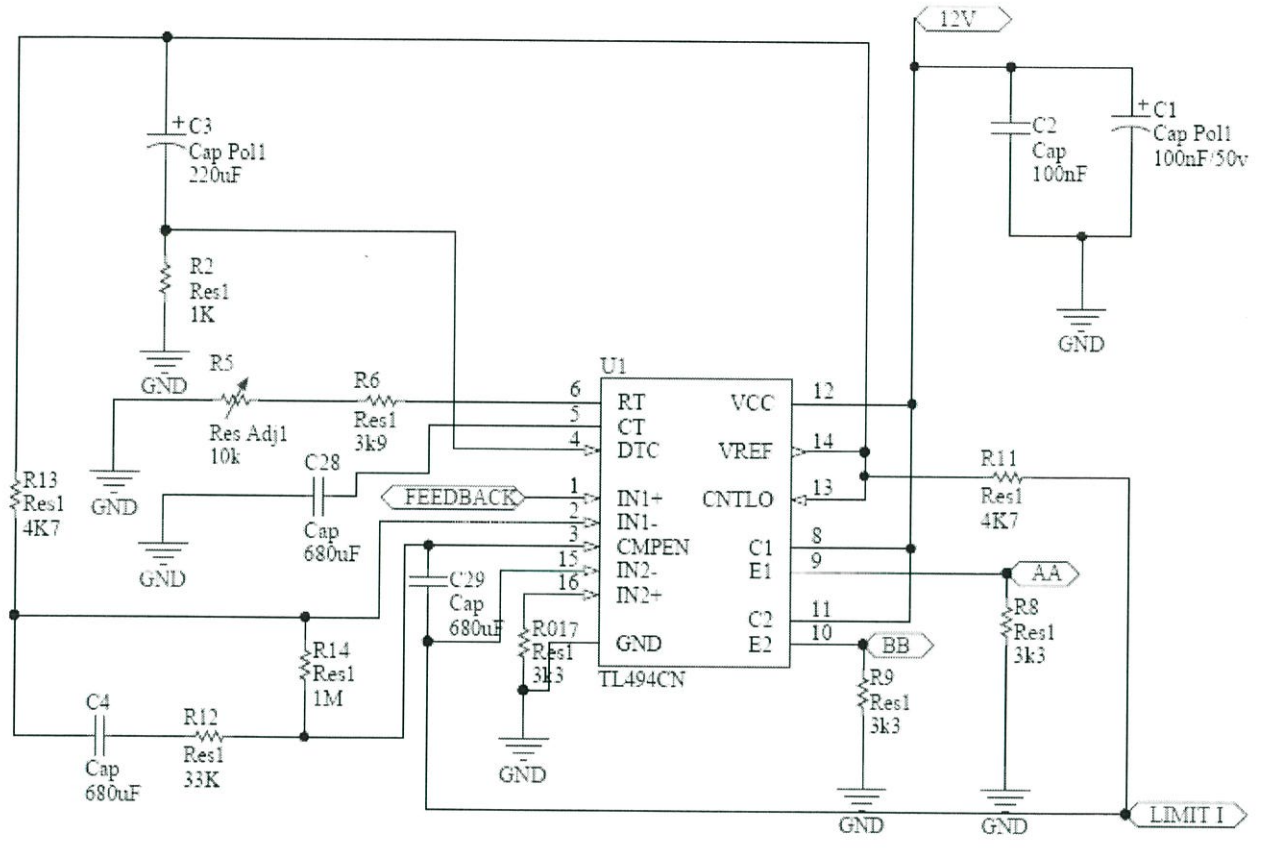


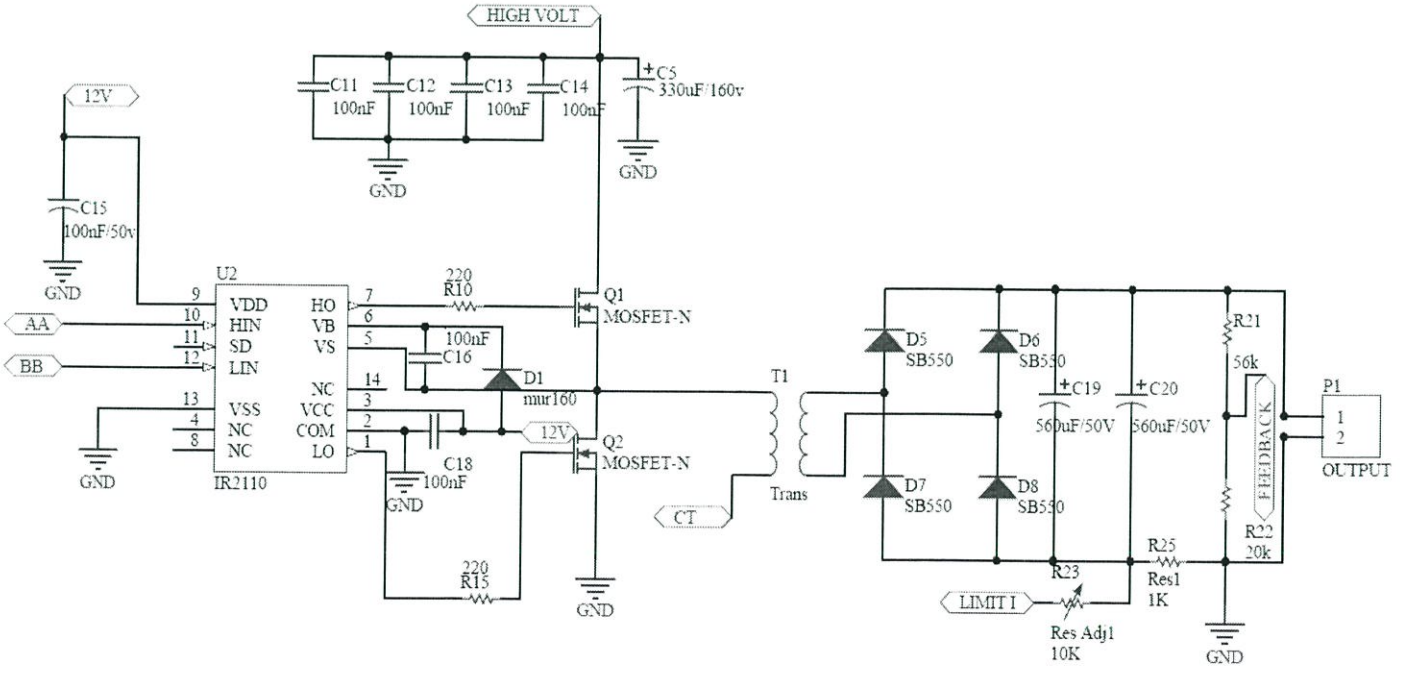

12VA
Q3
MOSFET-N
C6
Cap
100pF
Q4
MOSFET-N
GND
12VB
GNDB
12VC
GNDC
P5
Header 1
P6
Header 3
D3
Diode 1N4001
D2
Diode 1N4001
D1
Diode 1N4001
R7
Res1
10
R8
Res1
10
C4
Cap
100nF
D6
Diode 1N4001
D8
Diode 1N4001
D5
Diode 1N4001
D7
Diode 1N4001
C7
Cap Pol1
100pF
D11
Diode 1N4001
D13
Diode 1N4001
D10
Diode 1N4001
D12
Diode 1N4001
C20
Cap Pol1
100pF
T1
Trans3
U3
IR2153
VCC
RT
CT
COM
VB
HO
VS
LO
R5
Res1
3k9
R6
Res Adj
10k
C5
Cap
100pF
C3
Cap
100nF
HV
Q1
MOSFET-N
Q2
MOSFET-N
C1
Cap
100nF
C2
Cap
100nF
R3
Res1
50
R4
Res1
50
U7
PC923
U8
PC923
R1
Res1
2k
R2
Res1
2k
BB
AA
P2
Header 4
P4
Header 4

วงจรภาครับพลังงาน






12V
C3
Cap Pol1
220uF
C2
Cap
100nF
C1
Cap Pol1
100nF/50v
GND
R2
Res1
1K
R5
Res Adj1
10k
R6
Res1
3k9
U1
RT
CT
DTC
IN1+
IN1-
CMPEN
IN2-
IN2+
GND
VCC
VREF
CNTLO
C1
E1
C2
E2
TL494CN
C28
Cap
680uF
FEEDBACK
R13
Res1
4K7
R11
Res1
4K7
C29
Cap
680uF
R017
Res1
3k3
R14
Res1
1M
C4
Cap
680uF
R12
Res1
33K
AA
BB
R8
Res1
3k3
R9
Res1
3k3
LIMIT I


HIGH VOLT
C11
C12
C13
C14
100nF
C5
330uF/160v
12V
C15
100nF/50v
U2
VDD
HIN
SD
LIN
VSS
NC
NC
HO
VB
VS
NC
VCC
COM
LO
IR2110
R10
220
Q1
MOSFET-N
C16
100nF
D1
mur160
T1
Trans
CT
Q2
MOSFET-N
C18
100nF
R15
220
AA
BB
D5
SB550
D6
SB550
D7
SB550
D8
SB550
C19
560uF/50V
C20
560uF/50V
R21
56k
R22
20k
R23
Res Adj1
10K
R25
Res1
1K
LIMIT I
P1
OUTPUT
FEEDBACK