



มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รายงานการวิจัย

เรื่อง

แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งด้วยตัวประมวลสัญญาณแบบ ARM7 LPC 2138

FULL BRIDGE SWITCHED MODE POWER SUPPLY

USING ARM7 LPC 2138

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
วรพงษ์ ไพรินทร์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2551

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำงานวิจัยนี้ต้องขอขอบคุณทางท่านอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติพันธุ์ เตชะกิตติโรจน์ หัวหน้าภาควิชาเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย อัสสัมชัญ ซึ่งในฐานะผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ในคำแนะนำในเรื่องต่างๆ เกี่ยวกับงานวิจัยนี้ ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี พร้อมกันนี้ทางคณะจัดทำอยากจะขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. นิमित บุญภิรมย์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้โอกาสในการทำวิจัยครั้งนี้ และให้คำปรึกษาเกี่ยวกับชิ้นงานนี้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัย

เมษายน 2552



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย : แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงด้วยตัวประมวลสัญญาณแบบ ARM7 LPC 2138
ผู้วิจัย : นายวรพงษ์ ไพรินทร์
หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2552

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีเนื้อหางานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ จำลองการทำงานโดยคอมพิวเตอร์ การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟสวิตชิงแบบฟลูบริดจ์ ขนาดกำลัง 500 วัตต์โดยใช้ตัวควบคุม ARM7 LPC2138 มีการควบคุม พีดับเบิ้ลยูเอ็ม ของอินเวอร์เตอร์แบบดิจิทัล ณ. ระดับแรงดันกระแสตรงที่แตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมที่ความถี่สวิตชิง ทั้งนี้การออกแบบตัวควบคุมแบบ พี ไอ เพื่อรักษาระดับแรงดันขนาด 48 โวลต์ ทั้งนี้จะมีการแยกทางไฟฟ้าของด้านกำลัง และ ด้านตัวประมวลสัญญาณ

แหล่งจ่ายไฟสวิตชิงแบบฟลูบริดจ์ มีการทดสอบโดยใช้การจำลองการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม MATLAB ทั้งนี้ตัวประมวลผลสัญญาณหรือตัวควบคุม LPC2138 นี้จะทำการเขียนโปรแกรมผ่านทางภาษาซี โดยการทดสอบประสิทธิภาพของระบบจะทำการทดสอบทั้งลูปเปิดและลูปปิด ที่ค่า K_p และ K_i ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับความสามารถของระบบ จึงออกแบบระลอกคลื่นไว้ที่ 10 เปอร์เซ็นต์และ ประสิทธิภาพที่ 80 เปอร์เซ็นต์ในการควบคุมแบบลูปปิด

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

คำสำคัญ : แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง

Research Title : Full Bridge Switched Mode Power Supply using ARM7 LPC2138
Name of Researcher : Mr. Worapong Pairindra
Name of Institution : Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Sripatum University
Year of Publication : B.E. 2552

ABSTRACT

The research deals with the design, simulation, implementation and performance analysis of a full bridge switched mode dc power supply (SMPS) rated for 500W. An ARM7 LPC2138 Controller is used to control the SMPS. The single phase inverter of the DC power supply is controlled employing a PWM controller in the digital processor where a variable DC voltage is compared with a triangular carrier signal at the switching frequency. A discrete type PI controller is used to regulate the output dc voltage at 48 V. The electrical isolation in the feedback loop is provided through an opto- coupler.

The SMPS is simulated using MATLAB and has been successfully implemented. The control software for the LPC2138 Controller is written in C language. A detailed performance analysis of the implemented SMPS is carried out under open loop as well as closed loop operating conditions and with different values of K_P and K_i of the controller. It was also demonstrated that its performance should have less than 10 percent of ripple voltage. Furthermore, design objective set efficiency of this SMPS at 80 percent.

Keyword : Switched Mode Power Supply (SMPS)

สารบัญ

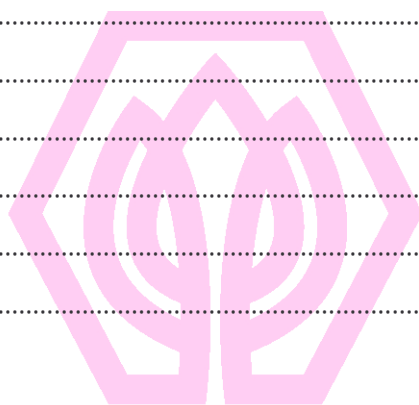
บทที่	หน้า
1	บทนำ..... 1
1.1	ความสำคัญของปัญหา 1
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.2.1	ตัวประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัล..... 2
1.2.2	การศึกษาเกี่ยวกับภาระแบบสถิต..... 2
1.3	วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง..... 3
1.3.1	แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง..... 3
1.3.2	อินเวอร์เตอร์กระแสตรง..... 3
1.3.3	ตัวประมวลผลสัญญาณทางดิจิทัล..... 4
1.3.4	การควบคุมแรงดันแรงดันของภาระแบบสถิต..... 4
1.4	สรุปบทวิจัย..... 4
2	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง..... 5
2.1	วงจรเรียงกระแสด้านเข้า..... 6
2.1.1	วงจรเรียงกระแสด้านเข้าพร้อมทั้งวงจรกรองสัญญาณแบบ RLC..... 6
2.1.2	ฟิวส์ (Fuse)..... 8
2.1.3	วงจรกรองสัญญาณ RFI..... 9
2.2	อินเวอร์เตอร์แรงดันกระแสตรง (DC to DC converter)..... 9
2.2.1	ฟลายเบ็ค หรือ บั๊ก-บูสต์ คอนเวอร์เตอร์ (Flyback or Buck-Boost)..... 10
2.2.2	ฟอว์เวิร์ด หรือ บั๊ก คอนเวอร์เตอร์ (Forward or Buck)..... 11
2.2.3	พูช – พูล คอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull or Buck-Derived)..... 13
2.2.4	ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Half bridge converter)..... 14
2.2.5	ฟูลบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Full bridge converter) 15
2.2.6	หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer) 16
2.2.7	ทรานซิสเตอร์กำลัง 21
2.2.8	มอสเฟตกำลัง 22
2.2.9	ไดโอดในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง..... 23
2.3	วงจร snubber (Snubbers)..... 23
2.4	ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล..... 25

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3	การออกแบบแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง.....26
3.1	โครงสร้างหลักของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง26
3.2	ลำดับและขั้นตอนการออกแบบ27
3.3	การออกแบบวงจรเรียงกระแสด้านเข้า.....27
3.4	อินเวอร์เตอร์30
3.4.1	การแยกทางไฟฟ้า.....32
3.4.2	ตัวกระดัดแรงดันไฟฟ้า33
3.4.3	ชุดขับมอสเฟส33
3.4.4	แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง.....34
3.5	หม้อแปลงความถี่สูง35
3.6	วงจรเรียงกระแสด้านเอาต์พุต พร้อมกับวงจรกรองแรงดัน38
3.6.1	การออกแบบวงจรกรองแรงดัน RLC.....38
3.7	ตัวประมวลสัญญาณแบบ ARM7 LPC213840
3.7.1	การแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล41
3.7.2	สัญญาณป้อนกลับ43
3.8	การออกแบบตัวควบคุม พี ไอ ของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง.....45
4	การทดสอบและเก็บผล.....49
4.1	ภาพรวมของการทดสอบและการเก็บผล.....49
4.2	ผลการทดสอบด้วยอุปกรณ์จริง.....49
4.2.1	สัญญาณ พีดับเบิลยูเอ็ม จากตัวประมวลผล ARM7 LPC2138 (PWM2 P0.7 และ PWM4 P0.8).....50
4.2.2	สัญญาณ พีดับเบิลยูเอ็ม ในชุดขับมอสเฟส.....51
4.2.3	ผลแรงดันที่ด้านเอาต์พุตแบบรูปเปิด52
4.2.4	ผลแรงดันที่ด้านเอาต์พุตแบบรูปปิด ($K_p = 0.1$ $K_i = 0.1$)54
4.2.4	ผลแรงดันที่ด้านเอาต์พุตแบบรูปปิด โดยการปรับโพลด์แบบจับปล้น ($K_p = 0.1$ $K_i = 0.1$)55
4.3	ผลของการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....57

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.3.1 แรงดันด้านเอาต์พุตแบบลูปเปิดที่โหลดแตกต่างกัน.....	58
4.3.2 แรงดันด้านเอาต์พุตแบบลูปปิดที่โหลดแตกต่างกัน ($K_p=1$ $K_i=3$).....	58
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	59
5.1 บทสรุปโดยรวม.....	59
5.2 บทสรุปหลัก.....	59
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	60
บรรณานุกรม.....	61
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก.....	64
ภาคผนวก ข.....	66
ภาคผนวก ค.....	69
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	71



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการจัดกลุ่มของเทพนิพนวนตามอัตราทนอนุมิ.....	21



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพประกอบที่ 2-1 ภาพรวมของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตชิ่ง.....	5
ภาพประกอบที่ 2-2 วงจรเรียงกระแสอินพุท.....	6
ภาพประกอบที่ 2-3 วงจร ฟลายเบ็ค หรือ บั๊ก-บูสต์ คอนเวอร์เตอร์.....	10
ภาพประกอบที่ 2-4 วงจร ฟลายเบ็ค คอนเวอร์เตอร์ที่มีการแยกทางไฟฟ้า.....	10
ภาพประกอบที่ 2-5 วงจรบั๊ก คอนเวอร์เตอร์.....	11
ภาพประกอบที่ 2-6 พอร์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์.....	12
ภาพประกอบที่ 2-7 วงจรพุ่ม – พูล คอนเวอร์เตอร์.....	13
ภาพประกอบที่ 2-8 วงจรฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์.....	14
ภาพประกอบที่ 2-9 วงจรฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์.....	15
ภาพประกอบที่ 2-10 วงจรกรองแรงดันด้านเอาต์พุท.....	16
ภาพประกอบที่ 2.11 รูปแบบของแกนเฟอร์ไรต์.....	19
ภาพประกอบที่ 2-12 ผลของการต่อวงจรสแน็บเบอร์.....	24
ภาพประกอบที่ 2-13 วงจรสแน็บเบอร์.....	24
ภาพประกอบที่ 3-1 โครงสร้างหลักแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง.....	26
ภาพประกอบที่ 3-2 วงจรเรียงกระแสด้านอินพุทของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง.....	27
ภาพประกอบที่ 3-3 วงจรอินเวอร์เตอร์.....	30
ภาพประกอบที่ 3-4 รูปสัญญาณของชุดขับกับแรงดันด้านเอาต์พุท.....	31
ภาพประกอบที่ 3-5 วงจรชุดขับมอสเฟต.....	32
ภาพประกอบที่ 3-6 ตัวแยกทางไฟฟ้า.....	33
ภาพประกอบที่ 3-7 การต่ออินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์.....	34
ภาพประกอบที่ 3-8 วงจรไฟเลี้ยงกระแสตรง.....	35
ภาพประกอบที่ 3-9 แกนเฟอร์ไรต์แบบ EE.....	36
ภาพประกอบที่ 3-10 วงจรกรองแรงดันเอาต์พุทจากการออกแบบ.....	38
ภาพประกอบที่ 3-11 ตัวประมวลสัญญาณ LPC2138.....	41
ภาพประกอบที่ 3-12 การแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	42
ภาพประกอบที่ 3-13 การเปรียบเทียบแรงดันกับสัญญาณสามเหลี่ยม.....	43
ภาพประกอบที่ 3-14 แรงดันด้านเอาต์พุทที่เกิดจากการสวิตชิ่งแบบฟลูบริดจ์.....	44
ภาพประกอบที่ 3-15 วงจรการลดทอนแรงดันเพื่อใช้ในการป้อนกลับ.....	45

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพประกอบที่ 3-16 วงจรกรองแรงดันแบบ RC	45
ภาพประกอบที่ 3-17 การป้อนกลับของสัญญาณลดทอนเพื่อใช้ในการควบคุม	46
ภาพประกอบที่ 3-18 ตัวควบคุมแบบ Proportional และ Integral แบบต่อขนาน.....	46
ภาพประกอบที่ 4-1 สัญญาณตัวประมวลผล ที่ขา P0.7	50
ภาพประกอบที่ 4-2 สัญญาณตัวประมวลผล LPC2138 ที่ขา P0.8	50
ภาพประกอบที่ 4-3 สัญญาณที่ออกจาก 6N137 (High Frequency Opto-Coupler)	51
ภาพประกอบที่ 4-4 สัญญาณที่ออกจาก MC14504 (5 to 15V Level Shifter).....	51
ภาพประกอบที่ 4-5 สัญญาณที่ขา G1 S1 ขณะจ่ายโหลด 300 วัตต์	52
ภาพประกอบที่ 4-6 แรงดันเอาต์พุตแบบลูปเปิด (โหลดขนาด 180 วัตต์)	52
ภาพประกอบที่ 4-7 แรงดันเอาต์พุตแบบลูปเปิด (โหลดขนาด 300 วัตต์)	53
ภาพประกอบที่ 4-8 แรงดันเอาต์พุตแบบลูปเปิด (โหลดขนาด 500 วัตต์)	53
ภาพประกอบที่ 4-9 แรงดันเอาต์พุตแบบลูปปิด (โหลดขนาด 180 วัตต์)	54
ภาพประกอบที่ 4-10 แรงดันเอาต์พุตแบบลูปปิด (โหลดขนาด 300 วัตต์)	54
ภาพประกอบที่ 4-11 แรงดันเอาต์พุตแบบลูปปิด (โหลดขนาด 500 วัตต์)	55
ภาพประกอบที่ 4-12 ผลแรงดันขณะปรับ โหลดจาก 180 วัตต์เป็น 300 วัตต์.....	55
ภาพประกอบที่ 4-13 ผลแรงดันขณะปรับ โหลดจาก 180 วัตต์เป็น 500 วัตต์.....	56
ภาพประกอบที่ 4-14 ผลแรงดันขณะปรับ โหลดจาก 300 วัตต์เป็น 500 วัตต์.....	56
ภาพประกอบที่ 4-15 วงจรของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งโดยจำลองด้วย MATLAB.....	57
ภาพประกอบที่ 4-16 แรงดันด้านเอาต์พุตแบบลูปเปิดที่โหลดแตกต่างกัน	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

หลักการพื้นฐานของการแปลงพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบที่แตกต่างไปนั้นได้มีการพัฒนาให้มีรูปแบบที่ดีและมีประสิทธิภาพ ขึ้นมาเรื่อยๆ การควบคุมนั้นเป็นส่วนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในปัจจุบัน จากแต่ก่อนซึ่งมีการควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่แปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีการใช้ ตัวต้านทานปรับค่าได้ จนมาถึงการใช้ หลักการสวิตซ์ของตัวสวิตซ์ต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย ทรานซิสเตอร์กำลัง, ไทริสเตอร์, มอสเฟสกำลัง จนถึง ไอ.จี.บี.ที. ซึ่งเป็นที่มาของการสร้างชุดแปลงแรงดันต่างๆ ที่ใช้ตัวสวิตซ์ นั้นๆ เป็นตัวทำงาน ขึ้นอยู่กับว่าเรานำไปใช้งานในการแปลงรูปแบบของแรงดันที่เราต้องการ ในงานวิจัย นี้จะเป็นในส่วนของการแปลงแรงดัน กระแสสลับ ให้เป็นกระแสตรง ที่เราต้องการ หรือเรียกชุดแปลงแรงดันนี้ว่า แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงนี้นั้นจะมีใช้งานอยู่ในหลายรูปแบบ อย่างเช่น เป็นแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่เพื่อเลี้ยง ขดลวดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่มีขนาดใหญ่มาก หรือ การใช้งานในอุปกรณ์สื่อสาร ที่ต้องการแรงดันกระแสตรงที่คงที่ จากการศึกษา และ เปรียบเทียบรูปแบบที่มีการใช้งานในเชิงพาณิชย์อยู่นั้น ส่วนใหญ่แล้ว จะเป็นในลักษณะที่มีการออกแบบมาเพื่อตอบสนองความต้องการระดับกำลัง นั้นๆ

หลักการพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงนี้นั้นจะใช้งาน โดยการแปลงแรงดัน กระแสสลับที่เข้ามาแล้วปรับให้อยู่ในรูปแบบของ แรงดันกระแสตรง แล้วทำการปรับระดับแรงดัน โดยอาศัยวงจรแปลงผันกำลังกระแสตรงเป็นกระแสตรง ซึ่งจะมีรูปแบบของการสวิตซ์แบบฟลูบริดจ์ ซึ่งรูปแบบการควบคุมแรงดันนั้นจะใช้การควบคุมการชดเชยแบบ Proportional และ Integrator ทั้งนี้ การควบคุมแรงดันด้านออก จะอยู่ที่ระดับ 48 โวลต์ ± 5 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ใช้แรงดันด้านเข้า ที่มีแรงดัน 220 โวลต์ ± 10 เปอร์เซ็นต์ 50 เฮิร์ตซ์

จากที่กล่าวข้างต้นแล้วนั้น เราจะทำการควบคุมระดับของแรงดันกระแสตรง ที่เราต้องการ จาก แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ เปลี่ยนจากการควบคุมที่มีการใช้งานแบบอนาล็อก มาเป็นการควบคุมเชิง ดิจิตอล ด้วยการใช้งานตัวประมวลสัญญาณแบบดิจิตอล สำหรับการใช้งานตัวประมวลผลตัวนี้นั้น ในงานวิจัยนี้ นี้จะใช้งานรุ่น Arm7 LPC2138 ของบริษัท Phillips

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เนื้อหาของงานวิจัยนี้นั้น จะเน้นในส่วนของการ ออกแบบ และ สร้างอุปกรณ์จริงที่สามารถใช้งานเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้นั้นจะแบ่งออกเป็น การ ออกแบบ และ สร้างชุดขับพร้อมชุดควบคุม รวมทั้ง ภาระทางไฟฟ้าที่เป็นภาระแบบให้ความร้อน สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซ์ชิ่ง รวมทั้งการจำลองการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ ส่วนต่อไปคือ การศึกษาผลการตอบสนองของแรงดันที่ค่าของกำลังที่แตกต่างกัน พร้อมทั้งเก็บค่าของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้การทำงานจะมีพิกัดของภาระที่ 500 วัตต์

1.2.1 ตัวประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัล

การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซ์ชิ่ง นั้นจะประกอบด้วยกันหลายๆส่วน ซึ่งมีการทำงานร่วมกัน โดยมีตัวควบคุมหรือตัวประมวลผลสัญญาณคือ Phillip LPC2138 เป็นตัวควบคุมตัวสวิตซ์ชิ่งนี้เนื่องจากงานวิจัยได้เลือกใช้งานตัวสวิตซ์ชิ่งของบริษัท IR โดยใช้รหัสของตัวสวิตซ์ชิ่งคือ มอสเฟส IRFP 450 จึงจำเป็นต้องมีชุดขับให้แก่ตัวสวิตซ์ชิ่งนี้ด้วย การออกแบบสวิตซ์ชิ่งนี้นั้น จะต้องคำนึงถึงการเข้ากันได้ของสัญญาณที่จะนำไปควบคุม รวมถึง ความปลอดภัยของตัวควบคุมด้วย ดังนั้นการแยกอิสระทางไฟฟ้าจึงต้องมีการคำนึงถึงด้วย ในที่นี้นั้นชุดขับจะมีการรวมกันเป็นแผ่นเดียวที่มีการจ่ายไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์

การออกแบบควบคุมนั้นจะทำการควบคุมโดยการใช้ โปรแกรมที่ใช้ภาษาซี เป็นตัวเขียน การควบคุมแรงดันเอาท์พุทจะถูกป้อนกลับ ผ่านโดย ตัวแยกแรงดันทางไฟฟ้าซึ่งจะป้อนระดับแรงดันเข้า ตัวประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัล ในรูปแบบของการแปลงสัญญาณเป็นตัวเลขทางดิจิทัล ผ่าน ADC ports ทั้งนี้การศึกษาเรื่องการตอบสนองของแรงดันที่เราต้องการจะเป็นสิ่งที่เป็นหลักการสำคัญ

1.2.2 การศึกษาเกี่ยวกับภาระแบบสถิต

ส่วนนี้จะมีการนำเสนอเกี่ยวกับเรื่องของ การเปลี่ยนภาระแบบสถิตที่มีระดับของกำลังต่างๆ รวมถึงการที่เราจะศึกษาเกี่ยวกับเรื่องของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับภาระนี้ด้วยว่า มีผลกระทบอย่างไรต่อการตอบสนองของระบบ ทั้งนี้แล้วถ้าเปรียบเทียบกับเชิงพาณิชย์ที่มีอยู่ตามท้องตลาด มีรูปแบบและแตกต่างอย่างไร

1.3 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

พื้นฐานของหลักการการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง จะมีรูปแบบของการทำงานในลักษณะของการสวิตช์ ที่ความถี่ระดับ 115 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อสร้างสัญญาณ ที่มีรูปแบบเป็นลักษณะสัญญาณที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม การทำงานของอินเวอร์เตอร์ ของวงจรแปลงแรงดันแบบฟลูบริดจ์ ที่ประกอบด้วยสวิตช์ 4 ตัวทำงานในระดับกำลังที่สูงกว่า 400 วัตต์ มีการชดเชยแรงดันด้วย PI ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟ ทั้งนี้ขอบเขตของโครงการนี้จะแบ่งออกย่อยเป็นหัวข้อต่างๆ

ในการศึกษาในหัวข้อย่อยนี้นั้นจะแบ่งส่วนที่น่าสนใจออกเป็น 1) แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง 2) วงจรแปลงผันกำลังกระแสตรงเป็นกระแสตรง 3) ตัวประมวลผลสัญญาณทางดิจิทัล 4) การควบคุมแรงดันแรงดันของภาระแบบสถิต

1.3.1 แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง

การทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง นั้นมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีการทำงานของระบบการแปลงแรงดันหลายๆส่วนมาประกอบกัน ทั้งนี้ระบบทั้งหลายจะมีการควบคุมผ่านทางสวิตช์มอสเฟต 4 ตัว ซึ่งการทำงานจะอาศัยหลักการการทำงานที่มีการแบบฟลูบริดจ์เป็นวงจรแปลงผันกำลังกระแสตรงเป็นกระแสตรง มีหม้อแปลงความถี่สูงเป็นตัวแยกสัญญาณทางไฟฟ้าของแรงดันด้านเข้าและออก เพื่อป้องกันการลัดวงจรที่ภาระ จะมีผลกระทบต่อระบบควบคุมของเรา ผลตอบสนองของระดับแรงดันจะเป็นตัวแปรที่จะทำการควบคุม ซึ่งทั้งนี้ งานที่เกี่ยวข้องกับวิจัยนี้ จะสนใจในส่วนของการตอบสนองของแรงดันควบคุม ที่ใช้การควบคุมแบบดิจิทัล เข้ามาเป็นตัวควบคุมระบบ ในสภาวะที่ภาระ มีค่าที่เปลี่ยนไปในลักษณะที่มีการเพิ่มกำลังทางไฟฟ้า หรือในลักษณะที่ควบคุมแรงดันที่คงที่ ขณะที่กระแสภาระเปลี่ยนไปนั่นเอง

1.3.2 อินเวอร์เตอร์กระแสตรง

หลักการแปลงแรงดันพื้นฐานที่มีการศึกษานั้นจะมีหลายๆประเภทของชุดแปลงแรงดัน ทั้งนี้การเลือกใช้งานชุดแปลงแรงดันนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของกำลังที่ใช้งาน ดังนั้นเพื่อให้ได้ตามที่กำหนด (ขนาดมากกว่า 400 วัตต์) เราจึงเลือกชุดแปลงแรงดัน ที่มีการสวิตช์ด้วย ตัวสวิตชิง 4 ตัว ต่อกันแบบฟลูบริดจ์โดยทั้งนี้จะมีหม้อแปลงความถี่สูง และ ชุดเรียงกระแสเอาท์พุทเป็นตัวแปลงแรงดันให้อยู่ในรูปของแรงดันกระแสตรง โดยใช้วงจรกรองสัญญาณแบบ RLC อีกทั้ง การศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบนั้นจะเป็นสิ่งที่เน้นในการทำในงานวิจัยนี้ด้วย

1.3.3 ตัวประมวลผลสัญญาณทางดิจิทัล

หลักการประมวลผลสัญญาณทางดิจิทัลเข้ามามีบทบาทสำคัญกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และ อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ในการเลือกใช้ตัวประมวลผลของบริษัท Phillips รุ่น LPC2138 นี้มีข้อได้เปรียบกว่าแบบเก่าคือ ความสามารถในการประมวลผลสัญญาณที่มีความถี่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับรุ่น หรือ ของบริษัทอื่นๆ ทั้งนี้การใช้งานตัวประมวลผลสัญญาณนี้นั้นได้กล่าว ซึ่งเป็นการควบคุมที่มีความซับซ้อน การควบคุมที่มีความหลากหลายเป็นข้อได้เปรียบในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง

1.3.4 การควบคุมแรงดันแรงดันของภาระแบบสถิต

การควบคุมนี้จะเน้นในส่วนของการชดเชยแรงดันที่เราตั้งไว้ โดยการทดสอบกับภาระที่เป็นภาระแบบสถิต ทั้งนี้เนื่องจากการออกแบบ แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิงนี้นั้นเหมาะกับการใช้งานเชิงพาณิชย์เกี่ยวกับไฟเลี้ยงต่างๆที่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับภาระแบบสถิตในหัวข้อนี้ เราได้เลือกที่จะใช้งานภาระ ที่เป็นขดลวดความร้อน เนื่องจากมีค่าความต้านทานต่ำ แต่กำลังทางไฟฟ้าค่อนข้างที่จะมีค่าสูงคือประมาณ ทั้งนี้ ยังมีภาระทดสอบที่เป็นภาระ ที่มีค่าความเป็นเชิงเส้นอีกมากมาย

การควบคุมแรงดันใน ภาระแบบสถิตนั้น เนื่องจากเป็นภาระที่ มีความเป็น เชิงเส้น ดังนั้นเราสามารถป้อนกลับแรงดัน แล้วทำการเปรียบเทียบกับแรงดันที่เราตั้งไว้ได้ในโปรแกรม ซี ที่เขียนลงบนตัวควบคุมตัวประมวลผลของบริษัท Phillips รุ่น LPC2138 สามารถที่จะปรับแต่งค่าที่ควบคุมได้โดยการปรับจูนค่าได้ตามที่เราต้องการได้

1.4 สรุปบทวิจัย

บทที่ 2 จะนำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของ แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้ วงจรเรียงกระแสด้านเข้า, อินเวอร์เตอร์กระแสตรง, ตัวประมวลผลสัญญาณทางดิจิทัล, หม้อแปลงความถี่สูง, วงจรกรองแรงดัน

บทที่ 3 จะกล่าวถึงการออกแบบอุปกรณ์จริงในส่วนต่างของโครงสร้าง แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง รวมถึงการออกแบบโปรแกรมที่ทำการแปลงจากสมการคณิตศาสตร์ โดยใช้ภาษา ซี เขียนบน ตัวประมวลผลสัญญาณทางดิจิทัล เป็นตัวควบคุม

บทที่ 4 จะเป็นผลการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองที่กำลังทางไฟฟ้า ระดับต่างๆพร้อมทั้งแสดงค่าตัวแปรที่มีผลกระทบกับการตอบสนองของ ส่วนต่างของโครงสร้าง แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง

บทที่ 5 คือบทสรุปของการทำงานในงานวิจัยทั้งหมด รวมถึงการ เสนอข้อคิดเห็นในการปรับปรุงโครงงานนี้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

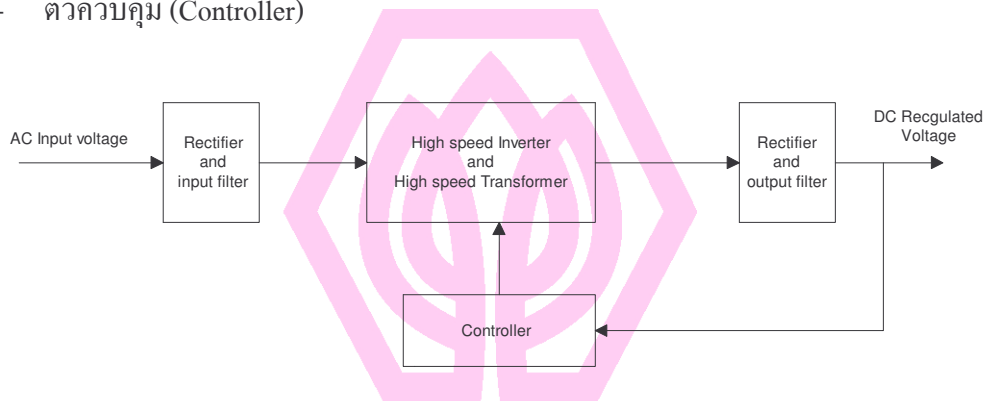
บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซิ่ง

ภาพรวมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซิ่ง

แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซิ่งโดยทั่วไปนั้นมีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกันเป็นไปตามภาพประกอบที่ 2-1 คือ

- วงจรเรียงกระแสด้านเข้า (Input rectifier with RC filter)
- วงจรอินเวอร์เตอร์กระแสตรงและหม้อแปลงความถี่สูง (High frequency Inverter and High frequency transformer)
- วงจรเรียงกระแสด้านออกพร้อมกับวงจรกรองแรงดัน (Output Rectifier and Filter Circuit)
- ตัวควบคุม (Controller)



ภาพประกอบที่ 2-1 ภาพรวมของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซิ่ง

แหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตซิ่งโดยทั่วไป ถูกออกแบบมาให้ใช้กับระบบแรงดันไฟสลับ ซึ่งแรงดันไฟสลับจะต่อเข้ากับวงจรเรียงกระแสด้านเข้า ซึ่งจะถูกละเปลี่ยนเป็นไฟกระแสตรงแรงดันสูง จากนั้นวงจรอินเวอร์เตอร์จะทำการสวิตช์เปลี่ยนแรงดันไฟให้เป็นพัลส์สี่เหลี่ยมความถี่สูง ซึ่งในส่วนของวงจรสวิตซ์นี้อาจจะสร้างได้จากอุปกรณ์หลายชนิดอาทิเช่น ทรานซิสเตอร์กำลัง, มอสเฟสกำลัง และรูปคลื่นที่ออกจากวงจรสวิตซ์จะถูกส่งเข้าหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตตามต้องการ และแรงดันเอาต์พุตที่ได้นี้จะถูกส่งเข้า อีกครั้งหนึ่ง เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและจะได้แรงดันเอาต์พุตตามต้องการ แต่ถึงอย่างไร แรงดันไฟสลับทางด้านอินพุต หรือ โหลดทางด้านเอาต์พุตอาจเปลี่ยนแปลงไปบ้างเป็นผลทำให้แรงดันเอาต์พุตไม่คงที่ ดังนั้นแรงดันไฟตรงที่ได้จาก วงจรเรียงกระแสด้านออกพร้อมกับวงจรกรองกระแสจะถูกป้อนกลับมาควบคุม และตรวจสอบแรงดันที่เอาต์พุตให้มีค่าคงที่ด้วยอีกทีหนึ่ง

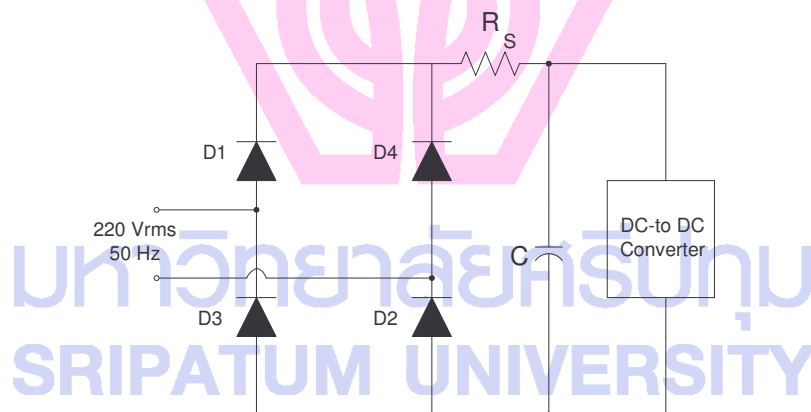
2.1 วงจรเรียงกระแสด้านเข้า

ในส่วนวงจรอินพุทของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตช์ซึ่งวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดันนับว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก เพราะในส่วนนี้จะรับกำลังงานโดยตรงจากแหล่งจ่าย ซึ่งเราอาจจะแยกส่วนที่สำคัญๆ ของวงจรเรียงกระแสด้านเข้าและวงจรกรองแรงดันด้านอินพุทได้ออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ คือ

- วงจรเรียงกระแสด้านเข้า (Input rectifier)
- ฟิวส์ (fuse)
- วงจรกรองสัญญาณรบกวน(Radio frequency interference, RFI)

2.1.1 วงจรเรียงกระแสด้านเข้าพร้อมกับวงจรกรองสัญญาณแบบ RLC

มีหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรงเพื่อนำไปเป็นแรงดันด้านอินพุทให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์แรงดันกระแสตรงต่อไป ซึ่งวงจรเรียงกระแสสามารถแสดง ได้ดังภาพประกอบที่ 2-2



ภาพประกอบที่ 2-2 วงจรเรียงกระแสอินพุท

เมื่อดูจากวงจรในภาพประกอบที่ 2-2 จะเห็นว่า วงจรเรียงกระแสมีอุปกรณ์ที่สำคัญ 3 ตัวด้วยกันคือ

- 2.1.1.1 ความต้านทานแฝง (R_s)
- 2.1.1.2 ตัวเก็บประจุ (Filter Capacitor, C)
- 2.1.1.3 ไดโอดเรียงกระแส (Rectifier diode, D_1 - D_4)

2.1.1.1 ความต้านทานแฝง(Rs)

ความต้านทาน R_s เกิดขึ้นมาจากความต้านทานรวมทั้งหมดที่แฝงมาในอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ ฟิวส์อินพุท, ไดโอด ซึ่งความต้านทาน R_s จะมีประโยชน์มากในวงจรเรียงกระแส คือ เป็นตัวจำกัดกระแสกระชาก ที่เกิดขึ้นในขณะที่เริ่มเปิดเครื่องทำงาน ฉะนั้นในการเพื่อเป็นการลดกระแสกระชาก จะทำได้โดยนำความต้านทานมาต่อเพิ่ม

2.1.1.2 ตัวเก็บประจุ (Filter capacitor)

ตัวเก็บประจุกรองแรงดันจะเป็นตัวกรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของ ไดโอด ทั้ง 4 ตัว ให้เป็นแรงดันไฟตรงที่เรียบมากขึ้น และช่วยให้กระแสที่ได้มีค่าสูงพอแก่ความต้องการของวงจรแปลงแรงดัน ซึ่งการทำงานของตัวเก็บประจุกรองแรงดันนั้นจะทำงานในลักษณะการเก็บและคายประจุ ในทางปฏิบัตินั้นเราจะมีหลักเกณฑ์ในการเลือกขนาดและค่าของตัวเก็บประจุจะกรองแรงดัน ดังนี้

อัตราทนกระแสเพื่อเพิ่ม นี้ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุกระแส และแรงดันที่เกิดขึ้นจากการเก็บประจุและคายประจุ ของตัวเก็บประจุเองด้วย

แรงดันกระแสเพื่อเพิ่ม ซึ่งข้อกำหนดนี้ จะให้กำหนดค่าของตัวเก็บประจุอย่างต่ำในวง โดยทั่วไปการออกแบบเรียงกระแสจะกำหนดให้มีแรงดันกระแสเพื่อเพิ่มได้ไม่เกิน 10เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันไฟตรงที่เอาท์พุท ซึ่งแรงดันกระแสเพื่อเพิ่ม นี้จะมีค่าขึ้นเมื่อภาระใช้กระแสมาก และเราสามารถกำหนดค่าของตัวเก็บประจุกรองแรงดัน เพื่อให้ได้ค่าแรงดันกระแสเพื่อเพิ่ม ไม่เกิน 10เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันไฟตรงที่เอาท์พุท ได้ดังนี้

$$C = \frac{I_{dc} \Delta t}{\Delta V_{r(p-p)}} \quad (2.1)$$

อัตราทนแรงดัน ตัวเก็บประจุกรองแรงดันที่ใช้ควรรทนแรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 1.5 เท่าของแรงดันไฟตรงที่เอาท์พุท เช่น ที่แรงดันไฟตรงเอาท์พุทเท่ากับ 300 โวลท์ ตัวเก็บประจุกรองแรงดันในกรณีวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์จะต้องทนได้อย่างน้อย 450 โวลท์ เป็นต้น

ขนาดราคา ตัวเก็บประจุกรองแรงดันที่ใช้กันโดยทั่วไปนั้นจะเป็นชนิดอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะมีคุณสมบัติให้ความจุและทนแรงดันได้สูง แต่จะมีข้อเสีย คือมีขนาดใหญ่และราคาแพง ยิ่งตัวเก็บประจุมีค่าสูงและทนแรงดันได้สูงมากเท่าไร ก็จะมีราคาแพงและขนาดใหญ่มากขึ้นเท่านั้น

Hold up time เป็นช่วงระยะเวลาอย่างต่ำที่แหล่งจ่ายไฟจะยังคงรักษาแรงดันที่เอาท์พุทได้ตามปกติที่โหลดสูงสุด เพิ่มอินพุทหยุดจ่ายหรือลดลงต่ำกว่าขีดจำกัดที่กำหนดไว้ hold up time นี้จะขึ้นอยู่กับค่าของตัวเก็บประจุกรองแรงดัน ภาระ และแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุกรองแรงดัน

ขณะที่แรงดันอินพุตตกหรือหยุดจ่ายกระแสไป

2.1.1.3 ไดโอดเรียงกระแส (Rectifier diode)

ในวงจรเรียงกระแส นั้น เรามีหลักในการพิจารณาไดโอดที่จะนำมาใช้งาน จะต้องมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

กระแสกระชาก ค่ากระแสสูงสุด ในวงจรเรียงกระแส จะเกิดขึ้นในจังหวะที่เกิดการเก็บประจุที่ตัวเก็บประจุกรองแรงดันอีกครั้ง หลังจากการคายประจุแก่ภาระ

อัตราทนกระแสไปอัสตรง เป็นค่ากระแสสูงสุดที่ไดโอดทนได้ โดยไม่พังเสียก่อน โดยทั่วไปควรมีค่ามากกว่า 1.5-2 เท่าของค่ากระแสปกติ

อัตราแรงดันไปอัสกลับสูงสุด หรือเรียกอีกชื่อว่าแรงดันสูงสุดของการไปอัสย้อนกลับ เมื่อต่อไดโอดแบบบริดจ์ จะมีแรงดันตกคร่อมไดโอดเมื่อไปอัสกลับเท่ากับแรงดันเอาต์พุตของวงจรแต่เมื่อต่อแบบวงจรเรียงกระแส แบบทวิแรงดันจะมีแรงดันไปอัสกลับเป็น 2 เท่าของแรงดันเอาต์พุต ไดโอดที่ใช้ควรมีค่าอัตราทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด ไม่ต่ำกว่าข้อกำหนดข้างต้น

2.1.2 ฟิวส์ (Fuse)

ในวงจรเรียงกระแส นี้จะมีอุปกรณ์สำคัญสำหรับป้องกันความเสียหายเนื่องจากกระแสเกิน และแยกส่วนวงจรออกจากแหล่งจ่ายไฟกรณีที่มีการลัดวงจรเกิดขึ้น อุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในวงจรเรียงกระแส คือ ฟิวส์ ควรพิจารณาดังนี้คือ

ค่าอัตราทนแรงดัน ค่าอัตราทนแรงดันของฟิวส์นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรนำมาพิจารณา โดยที่ค่าอัตราทนแรงดันของฟิวส์ที่ใช้ควรมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับค่าของแรงดันในวงจร เพื่อลดการอาร์ตของฟิวส์ขณะตัดวงจร ซึ่งฟิวส์มาตรฐานสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์จะมีอัตราทนแรงดันได้ คือ 30, 60, 125, 250, 300, 600 และ 700 โวลท์ เป็นต้น

ค่าอัตราทนกระแส ค่าอัตราทนกระแสของฟิวส์สามารถกำหนดได้จากค่ากราฟ RMS ด้านอินพุต ของวงจรเรียงกระแสซึ่งว่าค่ากระแส RMS ของวงจรเรียงกระแส จะขึ้นอยู่กับค่าของภาระ ค่าความต้านทาน R_L และตัวเก็บประจุกรองแรงดัน ดังนั้นการพิจารณาอัตราทนกระแสของฟิวส์ จึงอาจกำหนดได้จากค่ากระแสของวงจรเรียงกระแส นั้นเอง และเพื่อเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานเราอาจจะเผื่อค่าอัตราทนกระแสไว้อีก 50 เปอร์เซ็นต์ ก็ได้

ชนิดของฟิวส์ในงานอิเล็กทรอนิกส์ เราอาจจะแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด โดยพิจารณาจากความเร็วในการตัดวงจรของฟิวส์ดังนี้ คือ

- ฟิวส์ขาดเร็วมาก
- ฟิวส์ขาดเร็ว
- ฟิวส์ขาดช้าปานกลาง

- พิวส์ขาดช้า
- พิวส์ขาดช้ามาก

ดังนั้นในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงจะมีพิวส์ที่ใช้สำหรับวงจรเรียงกระแส หลายชนิด แต่ที่นิยมนำมาใช้ในวงจรเรียงกระแส คือ พิวส์ชนิดขาดช้า เพราะขณะเริ่มทำงานจะมีกระแสกระชากสูง เนื่องจากตัวเก็บประจุกรองแรงดัน ดังนั้นการใช้พิวส์ขาดช้านี้จะทำให้พิวส์ไม่ตัดวงจรขณะเปิดเครื่อง

2.1.3 วงจรกรองสัญญาณ RFI

ในการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง จะเป็นการงานในลักษณะการเปลี่ยนแปลงกระแสอย่างทันทีทันใดที่ค่ากระแสสูงๆ ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงจึงเป็นตัวสร้างสัญญาณรบกวนแม่เหล็ก(EMI) และสัญญาณรบกวนความถี่วิทยุ(RFI) ได้อย่างดี ซึ่งจะมีช่วงความถี่รบกวนอยู่ในช่วง 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 30 กิโลเฮิร์ตซ์ เกิดจากการสวิตชิงในภาคอินเวอร์เตอร์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจะเป็นรูปแบบของฮาร์มอนิกความถี่สูงอย่างโดดเด่น และความถี่เหล่านี้จะไปรบกวนการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ได้ไม่ว่าจะเป็นเครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องมือวัดระบบคอมพิวเตอร์ ระบบสื่อสาร ระบบควบคุม ดังนั้นในแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิงที่ดีจึงต้องมีวงจรกรองสัญญาณรบกวน EMI/RFI ด้วย

2.2 อินเวอร์เตอร์แรงดันกระแสตรง (DC to DC converter)

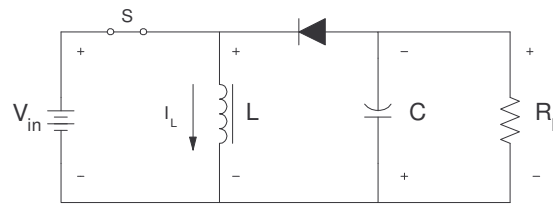
หลังจากที่ได้เรียนรู้ถึงหลักการออกแบบวงจรเรียงกระแส และวงจรกรองมาแล้ว ต่อไปจะมาพิจารณาถึงอินเวอร์เตอร์แรงดันกระแสตรง ซึ่งจากไดอะแกรมในภาพประกอบที่ 2-1 จะเป็นได้ว่าในส่วนของอินเวอร์เตอร์แรงดันกระแสตรง จะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญดังต่อไปนี้

- อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (High frequency inverter)
- หม้อแปลงความถี่สูง (High frequency transformer)
- วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดัน(Input and output rectifier)
- ตัวควบคุม (Controller)

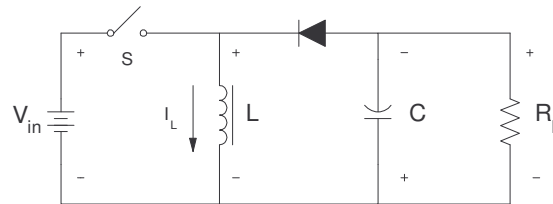
ถึงแม้ว่าคอนเวอร์เตอร์จะมีหลายแบบ แต่ก็ล้วนมีพื้นฐานมาจากวงจร 3 แบบคือ

- ฟลายแบ็ค หรือ บั๊ก-บูสต์ คอนเวอร์เตอร์ (Flyback or Buck-Boost)
- ฟอว์เวิร์ด หรือ บั๊ก คอนเวอร์เตอร์ (Forward or Buck)
- พูช – พูล คอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull or Buck-Derived) ซึ่งในตระกูล พูช – พูล นี้ จะสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น ฮาร์ฟบริดจ์ และ ฟูลบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Half bridge and full bridge)

2.2.1 ฟลายแบ็ก หรือ บั๊ก-บูสต์ คอนเวอร์เตอร์ (Flyback or Buck-Boost)



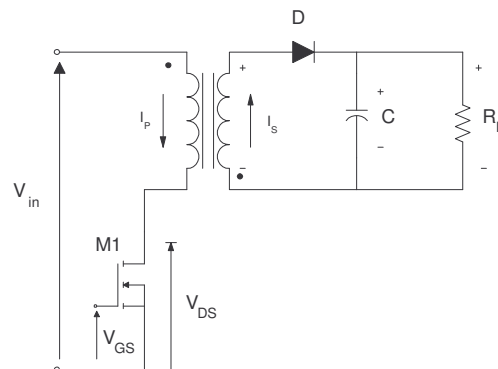
(a)



(b)

ภาพประกอบที่ 2-3 วงจร ฟลายแบ็ก หรือ บั๊ก-บูสต์ คอนเวอร์เตอร์

ภาพประกอบที่ 2-3 แสดงลักษณะของฟลายแบ็ก คอนเวอร์เตอร์ เมื่อสวิตช์ S ปิด รูป (a) กระแสจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ สะสมพลังงานในรูปของสนามแม่เหล็ก ไดโอด D จะถูกไบอัสกลับจึงยังไม่มีแรงดันตกคร่อม R_L ในขณะนี้ต่อมา เมื่อสวิตช์เปิด รูป (b) ตัวเหนี่ยวนำก็จะคายพลังงานออกมาเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กยุบตัว แต่ขั้วของแรงดันจะกลับกันกับที่ป้อนเข้ามาทำให้ ไดโอดได้รับ ไบอัสตรงนำกระแสจากการคายพลังงานกลับของตัวเหนี่ยวนำไปสู่ภาระ และจะมีชั่ว แรงดันตรงข้ามกับแรงดันอินพุท ถ้าสวิตช์เปิด-ปิดเป็นจังหวะอย่างต่อเนื่องกระแสอินพุทและเอาต์พุทก็จะมีลักษณะเป็นรูปเคลื่อนที่เหลี่ยมอย่างต่อเนื่องด้วย จึงสามารถจะสรุปได้ว่า ในคอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้นั้นพลังงานจะถูกเก็บในตัวเหนี่ยวนำ ในระหว่างที่สวิตช์ปิดและพลังงานจะถูกปล่อยไปสู่ภาระในระหว่างสวิตช์เปิด

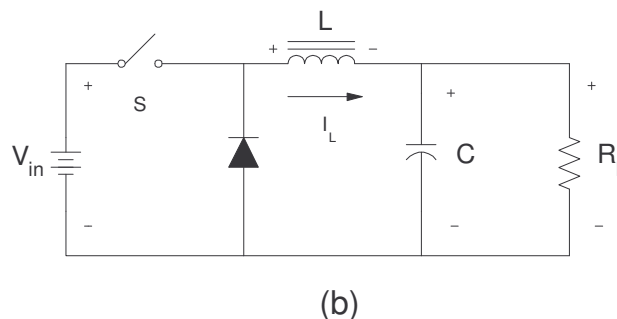
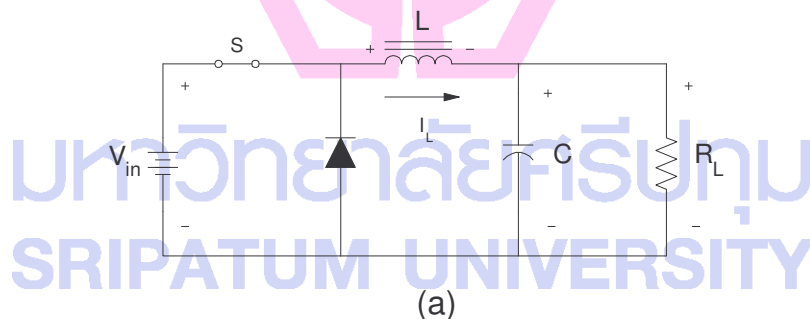


ภาพประกอบที่ 2-4 วงจร ฟลายแบ็ก คอนเวอร์เตอร์ที่มีการแยกทางไฟฟ้า

รูปแบบพื้นฐานของฟลายแบ็ก คอนเวอร์เตอร์ ที่ได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 2-3 นั้นไม่ได้รับการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตจึงไม่ค่อยปลอดภัยเท่าไร ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งที่ใช้ในทางปฏิบัติจึงจำเป็นที่จะต้องมีย่อแปลงแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างไฟตรง 300 โวลท์กับเอาต์พุต ฟลายแบ็ก คอนเวอร์เตอร์ ที่ใช้กันในทางปฏิบัติคือภาพประกอบที่ 2-4

การทำงานของฟลายแบ็ก คอนเวอร์เตอร์ ก็คือ เมื่อมอเตอร์เฟส M_1 นำกระแส กระแสจะไหลผ่านขดปฐมภูมิ และสะสมพลังงานไว้ แต่แรงดันที่เกิดขึ้นที่ขดทุติยภูมิจะมีขั้วตรงกันข้ามกับขดปฐมภูมิ (สังเกตจากจุดที่ขดปฐมภูมิ) ดังนั้นจึงไม่มีพลังงานปล่อยไปยังภาระ เพราะไดโอดถูกไบอัสกลับ และเมื่อ M_1 หยุดนำกระแสของปฐมภูมิ ของหม้อแปลงจะคายพลังงานออกมาแต่ขั้วแรงดันจะกลับกัน ทำให้ไดโอดด้านทุติยภูมิ ได้รับไบอัสตรงนำกระแสผ่านไปยัง ภาระและตัวเก็บประจุ แม้ว่าหม้อแปลงจะทำให้หน้าที่แยกจากกันทางไฟฟ้าแล้วยังกระทำตัวเป็นโช้ค อีกด้วย ซึ่งในทางทฤษฎีไม่จำเป็นต้องใส่ตัวเหนี่ยวนำที่เอาต์พุตอีก แต่ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องใส่ตัวเหนี่ยวนำค่าน้อยๆ ไว้ตรงระหว่างไดโอด และตัวเก็บประจุ เพื่อทำการกำจัดสัญญาณรบกวน EMI/RFI ที่เกิดจากการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์เอง

2.2.2 ฟอว์เวิร์ด หรือ บัค คอนเวอร์เตอร์ (Forward or Buck)

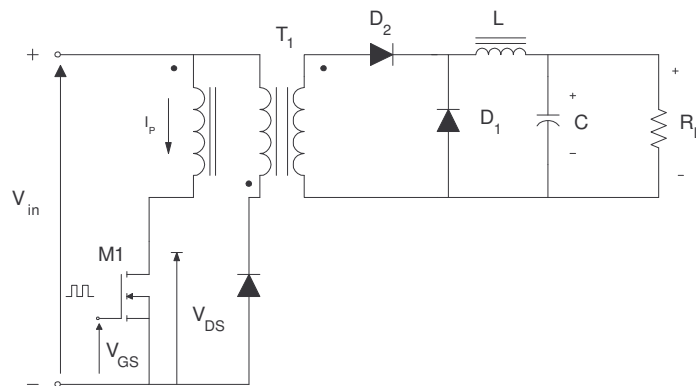


ภาพประกอบที่ 2-5 วงจรบัค คอนเวอร์เตอร์

ภาพประกอบที่ 2-5 แสดงการทำงานของ ฟอร์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์เมื่อสวิตช์ปิดกระแสจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไปสู่ภาระ ทำให้มีแรงดันตกคร่อมภาระและมีขั้วเหมือนกับอินพุท ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-5(a) ไดโอดจะถูกไบอัสกลับ ในตอนนี้และเมื่อสวิตช์เปิดสนามแม่เหล็กที่ตัวเหนี่ยวนำจะยุบตัวคายพลังงานออกมาในรูปกระแสและมีขั้วแรงดันดังภาพประกอบที่ 2-5(b) ทำให้ไดโอดได้รับ ไบอัสตรงนำกระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุและ ภาระ แรงดันที่ตกคร่อมภาระจึงยังมีขั้วเหมือนเดิม ไดโอดในวงจรนี้มักจะถูกเรียกว่า free wheeling หรือ flywheel diode เพราะการทำงานดังกล่าวกระแสเอาต์พุท ที่ได้จะต่อเนื่อง ถึงแม้ขณะที่กระแสอินพุทจะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมก็ตาม

แต่ถึงอย่างไรก็ตามรูปแบบวงจรพื้นฐานของฟอร์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์ ที่แสดงในภาพประกอบที่ 2-5 นั้นจะไม่ได้รับการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุท กับ เอาต์พุท จึงไม่ค่อยปลอดภัยนัก ดังนั้นจึงพัฒนามาเป็นวงจรในภาพประกอบที่ 2-6 การทำงานของฟอร์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์ ดังที่ได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 2-6 เมื่อ M_1 ทำงานจะมีกระแสไหลผ่านขดทุติยภูมิ ของหม้อแปลง และเก็บพลังงานไว้ในรูปสนามแม่เหล็กและยังส่งสนามแม่เหล็กบางส่วนไปคล้องเกี่ยวอีก 2 ขด ที่เหลือโดยแรงกันที่จุดของ ปฐมภูมิ และ ทุติยภูมิ จะมีขั้วเหมือนกันตลอด ดังนั้นในขณะนี้จึงมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_2 พลังงานในตัวเหนี่ยวนำ และส่งต่อไปยังภาระ R_L ส่วน D_3 จึงจะถูก ไบอัสกลับ เมื่อ M_1 หยุดทำงานสนามแม่เหล็กในหม้อแปลงจะยุบตัวทำให้ขั้วแรงดันที่จุดทางด้านทุติยภูมิ เปลี่ยนเป็นลบ D_2 จึงถูกไบอัสกลับ ดังนั้นตัวเหนี่ยวนำจึงคายพลังงานโดยผ่าน R_L และ D_3 แต่สำหรับขดกลาง คือ ขด Magnetization ของหม้อแปลง T_1 นั้นจะทำหน้าที่หักล้างสนามแม่เหล็กตกค้าง เมื่อ M_1 หยุดทำงาน โดยจะส่งพลังงานแม่เหล็กกลับจากทิศทางเดิมในรูปของกระแส โดยกระแส Magnetization มีค่าเท่ากับ สมการที่ 2.2

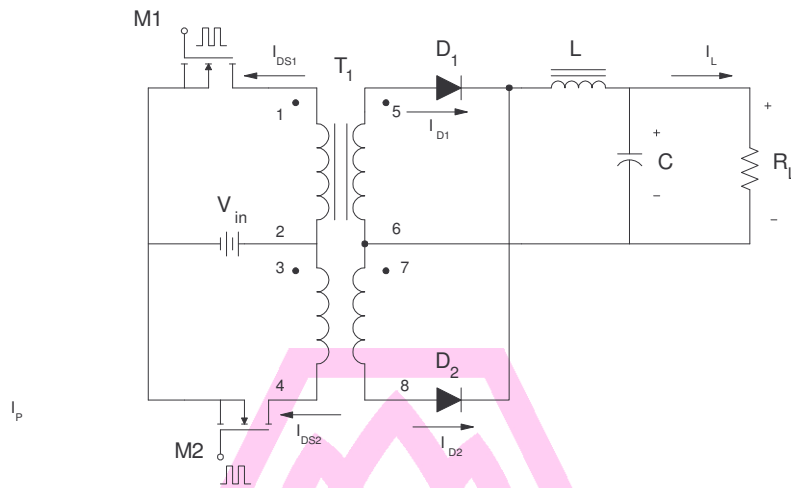
$$I_{max} = \frac{TD_{(max)}V_m}{L} \quad (2.2)$$



ภาพประกอบที่ 2-6 ฟอร์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์

2.2.3 พูช – พูล คอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull or Buck-Derived)

การทำงานของพูช – พูล คอนเวอร์เตอร์ เปรียบเหมือนการนำ ฟอร์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์ 2 วงจรมาต่อร่วมกันโดยผลัดกันทำงานในแต่ละครึ่งคาบเวลาในลักษณะกัลบเฟส ลักษณะวงจรพื้นฐานของ พูช – พูล คอนเวอร์เตอร์ จะแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 2-7



ภาพประกอบที่ 2-7 วงจรพูช – พูล คอนเวอร์เตอร์

ลักษณะการทำงานของ พูช – พูล คอนเวอร์เตอร์ จะทำงานดังนี้คือ เมื่อ M_1 นำกระแสก็จะมีการไหลผ่านขดปฐมภูมิของ T_1 จากจุด 2 ไปยังจุด 1 ดังนั้นจุด 5 และ 7 ทางด้านขดทุติยภูมิจึงมีศักย์เป็นลบ เมื่อเทียบกับจุด 6 และ 8 ตามลำดับ D_1 จึงถูกไบอัสกลับในขณะที่ D_2 ได้รับไบอัสตรง นำกระแส I_{D2} ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและภาระ และในลักษณะเดียวกันเมื่อ M_2 นำกระแสก็จะมีการไหลผ่านจากจุด 3 ไปจุด 4 ของขดปฐมภูมิ ทำให้จุด 5 และ 7 มีศักย์เป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด 6 และ 8 ตามลำดับ D_1 จึงนำกระแส I_{D1} ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและภาระ ในขณะที่ D_2 ถูกไบอัสกลับ แรงดันเอาต์พุตที่ตกคร่อมภาระ (R_L) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.3

$$V_{out} = 2D \times V_{in} \left(\frac{N_s}{N_p} \right) \quad (2.3)$$

ข้อดีของ พูช – พูล คอนเวอร์เตอร์

- ปริมาตรของแกนเล็กลง
- มอสเฟสทั้งสองถูกขับด้วยกราวด์เดียวกัน ทำให้วงจรขับเคลื่อนไม่ยุ่งยาก

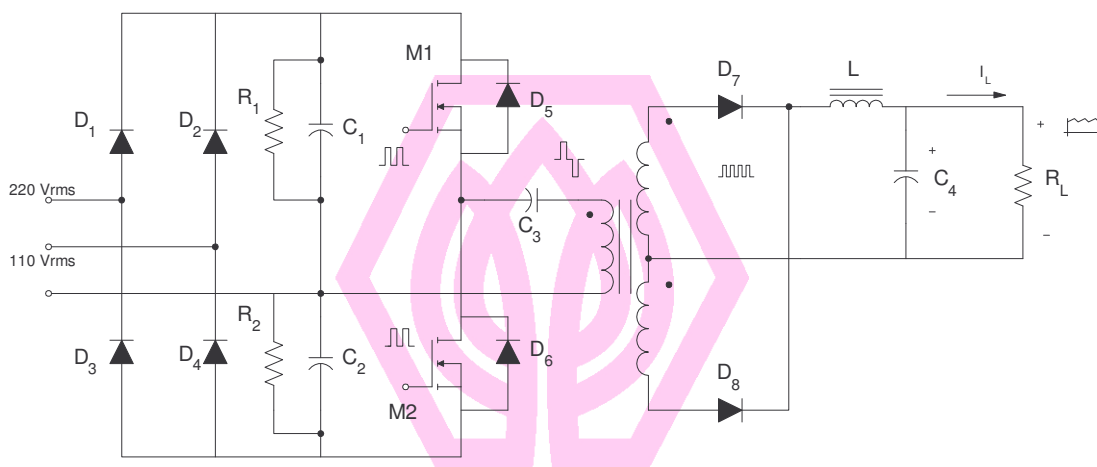
ข้อเสียของ พูช – พูล คอนเวอร์เตอร์

- มอสเฟสกำลังที่ใช้จะต้องสามารถทนแรงดันได้มากกว่า 2 เท่าของแรงดันอินพุต

- มอสเฟสกำลังที่ทนกระแสและแรงดันสูงๆ หาได้ยากและมีราคาแพง
- เกิดปัญหาฟลักซ์ไม่สมมาตรในแกนเฟอร์ไรต์ของวงจร

2.2.4 ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Half bridge converter)

ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ จัดว่าเป็นคอนเวอร์เตอร์ตระกูลเดียวกับฟูล – พูล คอนเวอร์เตอร์ เพราะใช้หลักการเดียวกัน แต่ลักษณะการจัดวงจรของ ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ จะทำให้มอสเฟสภายในวงจรมีแรงดันตกคร่อมขณะหยุดนำกระแสเพียงค่าแรงดันอินพุตเท่านั้นแสดงในภาพประกอบที่ 2-8



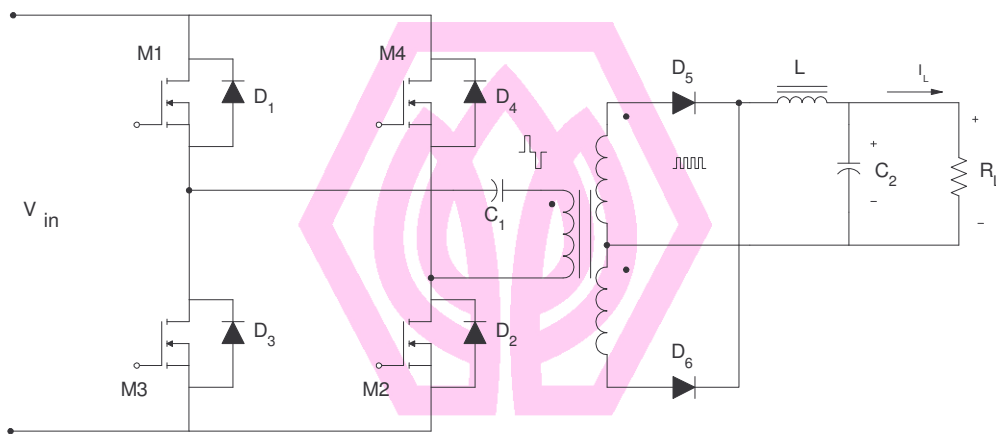
ภาพประกอบที่ 2-8 วงจรฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์

จากภาพประกอบที่ 2-8 ได้ว่าขดปฐมภูมิแต่ละด้านของหม้อแปลง จะถูกต่ออยู่กับจุดที่มีแรงดันไฟตรงเป็นครั้งหนึ่ง โดยมีมอสเฟส M_1 และ M_2 เป็นสวิตช์ตัดต่อ ทำให้ได้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมป้อนแก่ขดปฐมภูมิ ของหม้อแปลง จากนั้นจึงทำการเรียงกระแสและกรอง ด้านเอาต์พุตของทุติยภูมิด้วย D_7 , D_8 , L และ C_4 ได้เป็นไฟกระแสตรงป้อนแก่ภาระ

ซึ่งลักษณะการทำงานของ ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ จะมีข้อดี คือ ขณะที่ มอสเฟส M_1 และ M_2 ไม่ทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมน้อยกว่าแรงดันอินพุตครึ่งหนึ่ง จึงทำให้สามารถใช้มอสเฟสที่ทนแรงดันไม่สูงนักได้ แต่จะมีข้อเสีย คือ กระแสที่ไหลผ่านมอสเฟสกำลังขณะทำงานจะมีค่าเป็น 2 เท่าของแบบ ฟูล – พูล คอนเวอร์เตอร์

2.2.5 ฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Full bridge converter)

จาก ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ ที่สามารถลดแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ลงมาครึ่งหนึ่งของ V_{in} และสามารถป้องกันไม่ให้แกนของหม้อแปลงอิ่มตัวแล้ว แต่ว่าจะมีปัญหาเรื่องกระแสที่ไหลผ่านมอสเฟสกำลัง ทำงานเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของแบบพุก-พุลคอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นจากข้อจำกัดของฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ ที่กล่าวไปแล้วนั้น จะเป็นผลทำให้ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ ในงานที่ต้องการกำลังต่ำ และปานกลางไม่สูงมากนัก เพราะว่า มอสเฟสกำลัง ที่ทนแรงดันประมาณ 400-500 โวลท์ แต่ทนกระแสได้สูงๆ นั้นหายากและมีราคาแพงดังนั้น จึงได้พัฒนาจนได้ฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ ขึ้นมา ซึ่งคอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้จะรวมเอาข้อดีทางด้านกระแสของ พุก-พุล และ ลักษณะเด่นด้านแรงดันของวงจรฮาร์ฟบริดจ์ ไว้ด้วยกัน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-9



ภาพประกอบที่ 2-9 วงจรฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์

โดยการทำงานของฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ นั้น จะทำงานโดยที่มอสเฟสกำลัง M_1 นำกระแสพร้อมกับ M_2 และ M_3 นำกระแสพร้อมกับ M_4 โดยแต่ละคู่จะผลัดกันทำงาน ซึ่งจากการทำงานในลักษณะเช่นนี้ จะทำให้แรงดันที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลง มีแรงดันเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง V_{in} อีกทั้งกระแสที่ไหลผ่านก็ยังเท่ากับวงจรพุก-พุลอีกด้วย แต่ข้อเสียของวงจรนี้ก็คือ ต้องใช้มอสเฟส ถึง 4 ตัว และเนื่องจากต้องให้คู่มอสเฟส ทำงานไม่พร้อมกัน ดังนั้นจึงต้องแยกใช้วงจรับเขตของมอสเฟส แต่ละคู่ออกจากกัน โดยเด็ดขาด

วงจรกรองแรงดันด้านเอาต์พุต ของแหล่งจ่ายไฟสวิตติง แบบฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ หรือแบบ ฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ นิยมจะใช้โครงสร้างวงจร ตามภาพประกอบที่ 2-10 จากทฤษฎีพื้นฐานแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ

$$V_L = L \frac{di}{dt}$$

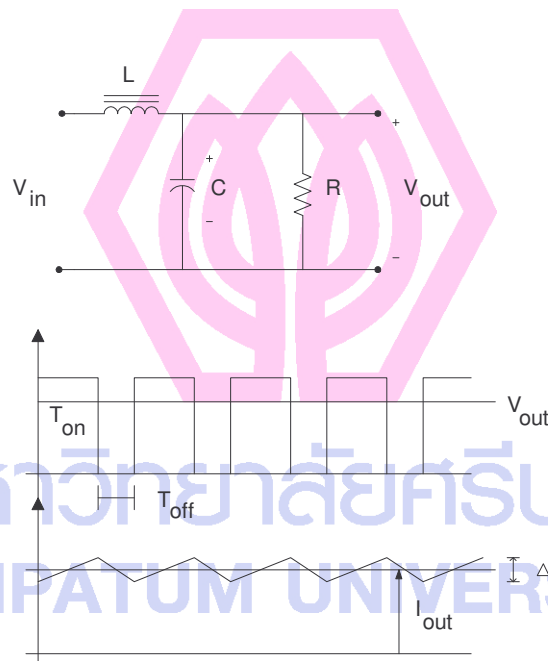
$$di = \Delta L_L$$

$$dt = t_{off} = \frac{(1-D)}{2f}$$

ในกรณีของ ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ หรือฟูลบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ แรงดัน V_{in} จะมีค่าเป็นสองเท่าของแรงดัน V_{out} ทำให้ได้สมการหาค่าความเหนี่ยวนำในวงจรกรองแรงดันด้านเอาต์พุต (L) ได้จากสมการที่ 2.4

$$L = \frac{V_{out}(1-D) \times 10^4}{2f\Delta I_L} \quad (2.4)$$

จากรูป 2-10 ในทางปฏิบัติเพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตที่ราบเรียบ ΔI_L จะต้องไม่เกิน $0.25I_{out}$



ภาพประกอบที่ 2-10 วงจรกรองแรงดันด้านเอาต์พุต

2.2.6 หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer)

เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด จะพบว่ารอบๆแกนปิด จะเกิดการเหนี่ยวนำฟลักซ์ขึ้นภายในแกน และถ้าเพิ่มจำนวนขดลวดอีกขดหนึ่ง ให้พันอยู่ในแกนเดียวกันฟลักซ์ จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันและกระแสไหลที่ขดลวดที่สอง เราเรียกขดลวดที่หนึ่งว่า ขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดที่สองที่พันเพิ่มเข้าไปว่า ขดลวดทุติยภูมิ

โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงจะมีแรงดันเอาต์พุตสูงหรือต่ำ เกิดจากสัดส่วนการพัน โดย

กำหนดจากสมการที่ 2.5

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \quad (2.5)$$

ดังนั้นหม้อแปลงก็จะสามารถทำงานเป็น Step-up หรือ Step-down ได้โดยสามารถทำให้แรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ นั้นสูงกว่า หรือต่ำกว่าที่ขดลวดปฐมภูมิ และถ้าเพิ่มขดลวดทุติยภูมิ มีอีกหลายๆ ขด เราก็จะได้แรงดันเอาต์พุตอีกหลายระดับตามสัดส่วนการพันเช่นกัน ประโยชน์ที่สำคัญอีกข้อหนึ่ง โดยใช้ลักษณะสมบัติของหม้อแปลงที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือการแยกกันทางไฟฟ้า (Electrical Isolation) ที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิ

จากความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง สมการที่ 2.6

$$e = NA_e \left(\frac{dB}{dt} \right) \times 10^{-8} \quad (2.6)$$

เราสามารถคำนวณหาความหนาแน่นฟลักซ์ (B) ที่แน่นอนได้ โดยกำหนดการทำงานของหม้อแปลงให้อยู่ในส่วนที่เป็นเชิงเส้นของกราฟ ดังสมการที่ 2.7

$$B_{\max} = \frac{V_p \times 10^8}{KfN_p A_e} \quad (2.7)$$

ปกติแล้วผู้ออกแบบหม้อแปลงมักจะกำหนด B_{\max} ด้วยตนเอง ภายในบริเวณเชิงเส้นตรงของกราฟ B-H จุดที่เหมาะสมที่สุดก็คือ $B_{\max} = \frac{B_{\text{sat}}}{2}$ จากสมการที่ 2.7 จะได้จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ จากสมการที่ 2.8

$$N_p = \frac{(V_p)10^8}{4fB_{\max} A_e} \quad (2.8)$$

ในกรณีเลือกแกนนั้นก็ยังมีความพารามิเตอร์ที่สำคัญๆ อีก 2 ตัวแปรก็คือ พื้นที่การพันของแกน (หรือบอบบิ้น) ซึ่งจะต้องเลือกให้กว้างพอกับขนาดของเส้นลวด เพื่อให้เกิด winding loss น้อยที่สุด และตัวแปรสองคือ Core's Power Handling Capability

สมการของตัวพารามิเตอร์มีดังสมการที่ 2.9

$$P_{out} = (1.16B_{max} fdA_e A_e)10^{-9} \quad (2.9)$$

เมื่อ P_{out} คือ power handing of core, W

ผู้ผลิตบางรายใช้สัญลักษณ์ W_a สำหรับพื้นที่หน้าตัดของบอบบิ้น แทนสัญลักษณ์ A_e โดยปกติแล้ว ความหนาแน่นกระแสมีหน่วยใน Circular Mills Per Ampere ใช้สัญลักษณ์เป็น D โดยเขียนเป็นความสัมพันธ์กับ d ได้ดังสมการที่ 2.10

$$d = \frac{1.27 \times 10^6}{D} \quad (2.10)$$

แทนสมการทั้งสองข้างต้นจะได้สมการที่ 2.11

$$P_{out} = \frac{(1.47 fB_{max} A_e A_e)10^{-3}}{D} \quad (2.11)$$

สมการที่ 2.12 เป็นสมการที่ใช้กันมากในการคำนวณ และเลือกขนาดของแกนหม้อแปลง

$$A_e A_e = \frac{(0.68 P_{out} D)10^3}{fB_{max}} cm^4 \quad (2.12)$$

ความหนาแน่นกระแส (D) จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตเส้นลวด ที่ความหนาแน่นกระแส 1000 centimeter per ampere (cm/A) ในทางปฏิบัติ จะใช้ความหนาแน่นกระแสต่ำกว่า ค่าที่ใช้คือ 200 cm/A เพื่อความปลอดภัย

ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตชิง

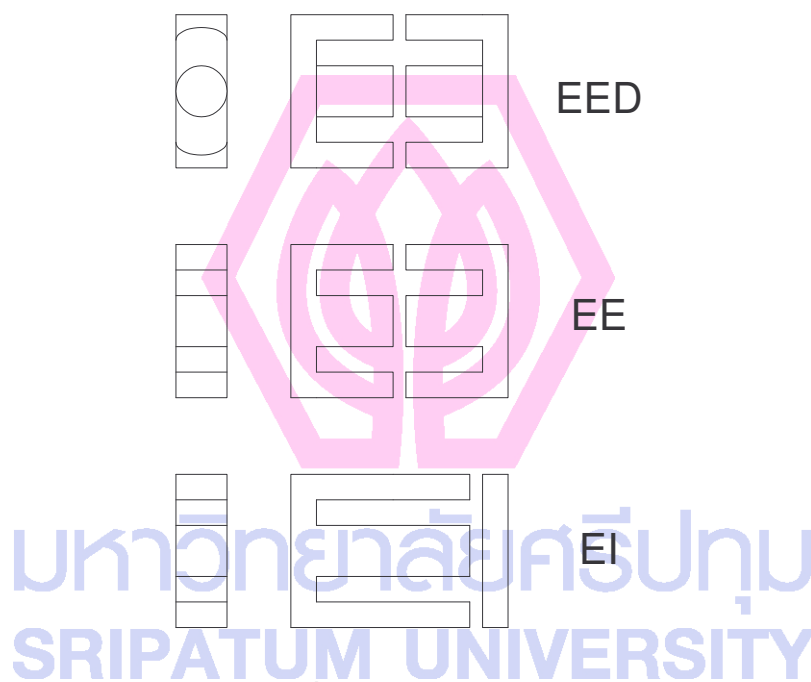
หม้อแปลงสวิตชิงมีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันไฟตรงที่อินพุทของคอนเวอร์เตอร์ซึ่งอาจมีค่าสูงได้ถึง 310 โวลต์ ให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟต่ำที่เอาท์พุท และทำให้เกิดการแยกกันทางไฟระหว่างแรงดันอินพุท และแรงดันเอาท์พุทที่ได้ เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูดส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงสวิตชิงมีรายละเอียดดังนี้

แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศมาก เฟอร์ไรต์มีค่าจูดอิมิตีฟลักซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูง

ประมาณในช่วง 3,000 ถึง 4,000 เก้าส์ และเกิดการสูญเสียในตัวมันต่ำที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นหม้อแปลงสวิตชิงจึงนิยมใช้แกนเป็นแกนเฟอร์ไรต์มากที่สุด เฟอร์ไรต์ที่นำมาใช้ทำแกนของหม้อแปลงสวิตชิงจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานในการออกแบบ

ลักษณะและขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ ซึ่งแกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงสวิตชิงโดยทั่วไป จะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่างๆ ตามมาตรฐานเดียวกัน เช่น แกนแบบ EI, EE, ETD หรือแกนแบบ POT เป็นต้น ปกติผู้ผลิตจะทำแกนเฟอร์ไรต์ออกมาในลักษณะของกลุ่มประกอบเพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับบอบบิ้น การประกอบแกนเฟอร์ไรต์บนบอบบิ้นจะทำให้ทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นวงบรรจบได้ ตัวอย่างของแกนเฟอร์ไรต์แบบต่างๆ แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 2.11



ภาพประกอบที่ 2.11 รูปแบบของแกนเฟอร์ไรต์

แกนแบบ POT นั้นจะใช้กับหม้อแปลงสวิตชิงที่ไม่ต้องการกำลังสูงไม่เกิน 125 วัตต์ และในงานที่ต้องการสัญญาณรบกวน EMI/RFI ต่ำ เนื่องจากลักษณะรูปทรงของมันสามารถป้องกันการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนได้ดี แต่แกนแบบ POT มีช่องสำหรับให้ขดลวดลอดออกมาภายนอกได้ค่อนข้างเล็ก จึงเป็นอุปสรรคในการพันลวดทองแดงขนาดใหญ่ เมื่อหม้อแปลงต้องการกำลังสูงๆ แกนที่นิยมใช้กันมากสำหรับหม้อแปลงสวิตชิงที่ต้องการกำลังงานสูง จะเป็นแกนแบบ EI, EE และ ETD เนื่องจากสามารถพันขดลวดรอบแกนบนบอบบิ้นได้สะดวก แกนในกลุ่มนี้จะมีขนาดต่างๆ ให้เลือกใช้งานได้เป็นจำนวนมาก โดยสามารถให้กำลังงานได้ตั้งแต่ 5 วัตต์ ไปจนถึง 10 กิโลวัตต์ อย่างไรก็ตามสัญญาณรบกวน EMI/RFI ที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากกว่าแกนแบบ

POT

ยังมีแกนเฟอร์ไรต์ในแบบอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้งานได้ อีก เช่น แกนแบบ RM, PQ และ LP แต่มักไม่ค่อยพบเห็นตามท้องตลาดทั่วไป และไม่ค่อยเป็นที่นิยม

บอบบี้น

บอบบี้นหรือแบบรองพัน ปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนได้สูง และไม่ติดไฟบอบบี้นจะช่วยให้การพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ บอบบี้นจะมีขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ บอบบี้นส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้มีขาพักลวดทองแดงเพื่อความสะดวกในการพันขดลวดและบัดกรีติดกับแผ่น PCB

ลวดทองแดงอาบน้ำยา

การพันขดลวดทั้งขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงสวิตชิงที่ กำลังไม่สูงมากนัก ปกติจะใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาพันบนแกนบอบบี้นเพื่อให้ได้จำนวนรอบตามต้องการขนาดของขดลวดทองแดงที่จะใช้พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวด ความถี่ และผลข้างเคียงอื่นๆ ในขณะที่หม้อแปลงทำงาน สำหรับหม้อแปลงสวิตชิงกระแสลับที่ไหลผ่านขดลวดนั้นมีความถี่สูง ที่ความถี่สูงๆ ลวดทองแดงจะนำกระแสได้เพียงที่ผิว ซึ่งมีผลทำให้พื้นที่หน้าตัดในการนำกระแสของลวดทองแดงลดลง การสูญเสียในขดลวดจะมีมากขึ้น รวมทั้งการเรียงซ้อนกันของขดลวดก็ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นในขดลวดได้เช่นเดียวกัน กำลังงานที่สูญเสียเหล่านี้จะทำให้ขดลวดร้อน ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในขณะที่หม้อแปลงทำงาน การกำหนดขนาดและวิธีการพันขดลวดจึงต้องทำอย่างเหมาะสม เพื่อลดการสูญเสียในขดลวดทองแดงให้มีค่าน้อยที่สุด

เทปฉนวน

เทปฉนวนใช้พันสำหรับเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตชิง และมีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ โดยวัสดุที่ใช้ทำเทปฉนวนอาจจะป็นพวกไมลาร์ หรือ โพลีเอสเตอร์ ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.05-0.1 มิลลิเมตร การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลง สวิตชิงเป็นหลัก

เทปฉนวนสามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มตามวัสดุที่ใช้ อัตราทนอุณหภูมิขณะใช้งานของมันดังแสดงในตารางที่ 2.1 การเลือกใช้เทปฉนวนไม่ว่าจะเป็นกลุ่มใด จะต้องเลือกใช้ให้มีอัตราทนอุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิใช้งานสูงสุดคือ กลุ่ม H นั้นมีอัตราทนอุณหภูมิสูงสุดขณะใช้งาน

เพียง 180 องศา อุณหภูมิสูงสุดของขดลวดในหม้อแปลงจึงไม่ควรเกิน 130 องศา ในทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยควรกำหนดอุณหภูมิสูงสุดของหม้อแปลงสวิตชิงไว้ไม่เกิน 85 องศา ตามอัตราทนอุณหภูมิปกติ (typical ambient temperature) ของเทปฉนวน

อย่างไรก็ตามเพื่อความปลอดภัยในการฉนวนที่หม้อแปลงหรือวงจรทำงานผิดปกติอาจทำให้เกิดความร้อนสูงในขดลวดเช่นกรณีการลัดวงจร ดังนั้นเทปฉนวนจะต้องทำจากวัสดุไม่ติดไฟเพื่อป้องกันการลัดติดไฟที่เทปฉนวน ตัวอย่างรายละเอียดคุณสมบัติของเทปฉนวน แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการจัดกลุ่มของเทปฉนวนตามอัตราทนอุณหภูมิ (Thermal strength)

Class off insulation	Typical ambient Temperature in °C	Maximum operating Temperature in °C
0	40	90
A	40	105
B	75	130
F	75	155
H	85	180

2.2.7 ทรานซิสเตอร์กำลัง

ในระบบแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง ส่วนมากมักจะใช้ทรานซิสเตอร์กำลังราวๆ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ในสภาวะปัจจุบัน มอสเฟตได้เข้ามาแทนที่อย่างรวดเร็ว แต่ข้อดีของทรานซิสเตอร์กำลังก็มีอยู่ คือ มีอัตราทนแรงดันสูงและมีราคาถูก

การออกแบบทรานซิสเตอร์กำลังนั้นต้องคำนึงถึงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์กำลังตัวนั้นๆ ด้วย เพราะทรานซิสเตอร์นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยกระแส โดยกระแสควบคุมนั้นได้จากสมการที่ 2.13

$$I_b > \frac{I_e}{h_{fe}} \quad (2.13)$$

กำลังงานสูญเสียในรูปแบบความร้อนของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์กำลัง

กำลังงานสูญเสียเป็นไปได้อีก 2 ลักษณะ คือ กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน (Switching loss) และกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว (Saturation loss) แต่กำลังงานสูญเสียนั้นจะเกิดขณะที่เริ่มหยุดนำกระแสเป็นหลัก

การทำให้กำลังสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแสมีค่าน้อยที่สุดจะทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังมีประสิทธิภาพสูงสุด และจะช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นที่ทรานซิสเตอร์กำลังขณะทำงานด้วย

การพิจารณาในการเลือกใช้ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์กำลัง

ควรพิจารณาดังนี้ คือ

- อัตราทนแรงดันและกระแสสูงสุด
- ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะ
- อัตราทนกำลังสูญเสีย

โดยทั่วไปผู้ผลิตมักจะให้กราฟแสดงพิกัดปลอดภัย SOA(Safe Operating Area) มาพร้อมกับข้อมูลอุปกรณ์ กราฟ SOA จะมี 2 ลักษณะคือ FBSOA(Forward Bias Safe Operating Area) และ RBSOA(Reverse Bias Safe Operating Area)

FBSOA และช่วงเวลาขณะเริ่มนำกระแส

การออกแบบควรพิจารณาเงื่อนไขต่างๆ ที่เกิดกับทรานซิสเตอร์กำลังขณะเริ่มนำกระแสด้วย โดยต้องจำกัดค่าแรงดันตกคร่อมและกระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแส ให้มีค่าอยู่ภายใต้พื้นที่ของกราฟ FBSOA

RBSOA และช่วงเวลาขณะเริ่มหยุดนำกระแส

เมื่อทรานซิสเตอร์กำลังเริ่มหยุดนำกระแส พิกัดความปลอดภัยจะแสดงโดยกราฟ RBSOA และขึ้นอยู่กับแรงดันไบแอสกลับของทรานซิสเตอร์กำลังขณะเริ่มหยุดนำกระแสด้วย ดังนั้นช่วงนี้ควรให้ความระมัดระวัง

2.2.8 มอสเฟตกำลัง

ในปัจจุบัน มอสเฟตได้มีบทบาทมากในวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง เพราะสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง และใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น มอสเฟตกำลังจะใช้แรงดันเป็นตัวควบคุมการทำงานและเช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์กำลังขณะอิ่มตัวจะได้

$$g_m = \frac{l}{R_{DS(on)}} \quad (2.14)$$

$$I_D = \frac{g_m}{2} (V_{GS} - V_T) \quad (2.15)$$

กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของมอสเฟตกำลัง

มี 2 ลักษณะเช่นเดียวกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ คือ กำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะ และกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแส แต่ช่วงเวลาที่เปลี่ยนสถานะของมอสเฟตกำลังจะสั้นกว่า เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะตามโครงสร้างจะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้นในตัวมอสเฟตกำลัง แต่จะมีค่าความต้านทานขณะนำกระแสสูงกว่าทรานซิสเตอร์กำลัง

เงื่อนไขของวงจรมอสเฟตกำลัง

ค่าความจุไฟฟ้า (Mosfet Capacitor) เนื่องจากโครงสร้างภายในตัวมอสเฟตกำลัง เหมือนมีตัวเก็บประจุต่ออยู่รอบๆ ขา ตัวเก็บประจุจะทำให้มอสเฟตกำลังต้องเก็บประจุเข้าไปที่ตัวเก็บประจุ ก่อน เพื่อที่จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมขาเกต (V_{GS}) มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันเริ่มทำงาน ส่วนในการที่จะทำให้มอสเฟตกำลังหยุดนำกระแส ก็จะต้องทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกจนแรงดันตกคร่อมที่ขาเกตลดลงต่ำกว่าแรงดันเริ่มทำงาน จึงเป็นผลให้มอสเฟตกำลังหยุดนำกระแส

ค่าความจุของตัวเก็บประจุที่อยู่ในตัวมอสเฟตกำลังนี้ จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของตัวมอสเฟตกำลังเอง ดังนั้นการขับมอสเฟตกำลังให้นำกระแสได้นั้น จะต้องมีการเก็บประจุและคายประจุที่ขาเกต และต้องให้แรงดันตกคร่อมที่ขาเกตมีค่ามากพอ เพื่อที่มอสเฟตกำลังจะได้ทำงานเต็มประสิทธิภาพ

2.2.9 ไดโอดในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง

เนื่องจากไดโอดอยู่ด้านเอาต์พุต จะต้องทำงานที่ความถี่สูงจึงเกิดกำลังงานสูญเสียทั้งขณะนำกระแส และขณะเปลี่ยนสถานะ ส่วนการใช้งานไดโอดที่ความถี่ต่ำ ๆ กำลังงานสูญเสียส่วนใหญ่เกิดขึ้นขณะนำกระแสเท่านั้น ดังที่เราทราบว่าคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าความถี่ในการทำงานตั้งแต่ 20 กิโลเฮิร์ตขึ้นไป การเลือกใช้ชนิดของไดโอดจึงต้องมีคุณสมบัติดังนี้ มีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำ มีช่วงเวลาดำเนินตัวสั้น และสามารถทนกำลังได้สูง ไดโอดที่ใช้งานในวงจรเรียงกระแสโดยทั่วไปไม่สามารถนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากมีช่วงเวลาดำเนินตัวมาก ดังนั้นการเลือกใช้งานจากไดโอด 3 ชนิด คือ

- Fast Recovery Diode
- Ultra Fast Recovery Diode
- Schottky Diode

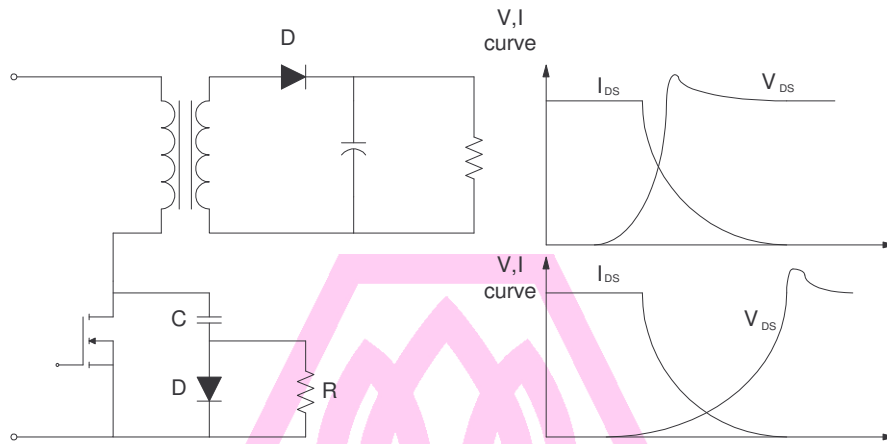
2.3 วงจร snubber (Snubbers)

เป็นส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาในวงจรคอนเวอร์เตอร์เพื่อลดกำลังงานสูญเสียและป้องกันการเสียหายของสวิตชิงกำลัง อาจแบ่งได้ 2 ลักษณะ วงจร snubber ช่วงหยุดนำกระแส และวงจร snubber

เบอร์ป้องกันแรงดันเกิน

วงจรสับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส

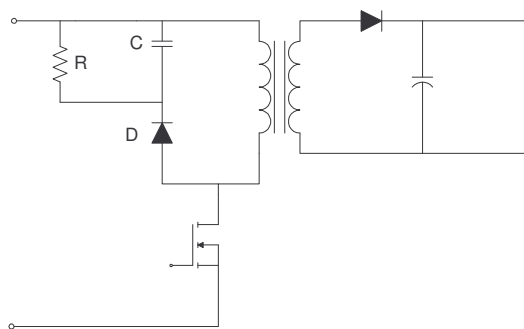
การใส่วงจรสับเบอร์เข้าไปในส่วนนี้ก็เพื่อลดการเกิดกำลังงานสูญเสีย ซึ่งจะควบคุมแรงดันที่ตกคร่อม drain และ source ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านตัวสวิตช์กำลังนั้นลดลงได้ทันกัน ลักษณะการต่อวงจรเป็นดังภาพประกอบที่ 2-12



ภาพประกอบที่ 2-12 ผลของการต่อวงจรสับเบอร์

วงจรสับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน

โดยทั่วไปการพังเสียหายของสวิตช์กำลังนั้น ส่วนมากมักจะมาจากการทำงานที่เกินพิกัดความปลอดภัย ซึ่ง spice voltage ขณะหยุดนำกระแส มักทำให้ค่าของแรงดันตกคร่อมสวิตช์กำลังขณะเริ่มหยุดนำกระแสมีค่าสูงจนเกินแรงดันสูงสุดที่ตัวมันจะทนได้ วงจรในส่วนนี้จะเป็นวงจรที่ป้องกัน spice voltage ที่เกิดขึ้น ไม่ให้เกินพิกัดความปลอดภัยของตัวสวิตช์กำลัง โดยมีลักษณะการต่อวงจรดังรูป 2-13



ภาพประกอบที่ 2-13 วงจรสับเบอร์

2.4 ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

ตัวประมวลผลสัญญาณที่ใช้งานของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมีอย่างหลากหลาย ทั้งนี้ในงานการควบคุมระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งงานวิจัยนี้มีการเลือกย่านความถี่ในการสวิตชิ่ง ณ ระดับเกิน 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งการใช้งานนี้นั้นจะต้องคำนึงถึง ความสามารถในการประมวลผลตัวนั้นๆ การวิจัยนี้เลือกที่จะใช้ตัวประมวลผลของบริษัท Phillips รุ่น LPC2138 ซึ่งให้ความถี่ในการสวิตชิ่งที่สูงมากเมื่อเทียบกับรุ่นอื่นๆ

ตัวประมวลผลนี้มีช่อง พินับเบิ้ลยูเอ็ม อยู่ทั้งหมด 6 ช่องซึ่งสามารถบังคับได้เป็นอิสระซึ่งกันและกัน โดยมี GPIO ที่สามารถเลือกใช้งานได้อีกจำนวน 32 ช่อง การต่อสัญญาณเชื่อมระหว่างคอมพิวเตอร์อินเตอร์เฟซกับกับตัวประมวลผลสัญญาณนี้สามารถต่อผ่าน Serial port (UART0,1) รวมถึงความสามารถของการรับค่า ADC ในตัวซึ่งมีขนาด 10 บิต 10 ช่อง



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

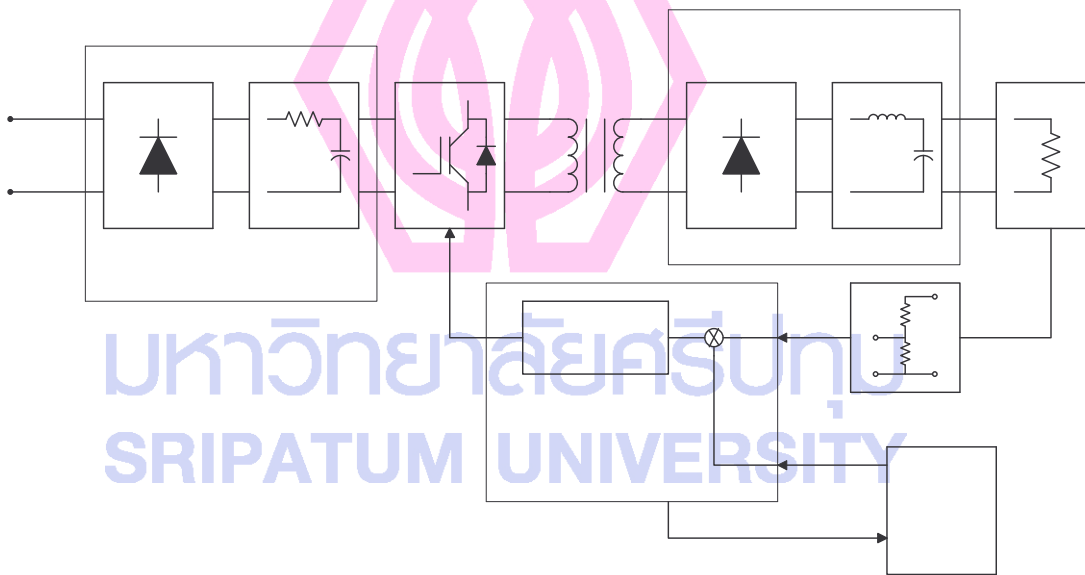
บทที่ 3

การออกแบบแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง

3.1 โครงสร้างหลักของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง

การออกแบบระบบจ่ายไฟแบบสวิตชิง ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบ แหล่งจ่ายไฟ สวิตชิงแบบฟลูบริดจ์ ขนาด 500 วัตต์ 48 โวลต์ ที่ใช้ระดับแรงดันอินพุทขนาด 220 โวลต์ ± 5 เปอร์เซ็นต์ โดยทั้งนี้ การควบคุมระบบจะใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 LPC2138 ของบริษัท Phillips เป็นตัวประมวลผลการควบคุม

หลักการออกแบบ แหล่งจ่ายไฟสวิตชิง นี้จะสามารถแบ่งแยกออกเป็นทั้งหมด 6 ส่วน หลักๆ ซึ่งประกอบกันเข้าเป็น แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบทาง วิศวกรรม การเลือกใช้งานอุปกรณ์ต่าง สาเหตุในการเลือกใช้งาน จะอธิบายตามลำดับต่อไปนี้



ภาพประกอบที่ 3-1 โครงสร้างหลักแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง

1. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ใช้อินพุท เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ พร้อมอุปกรณ์ปกป้องต่างๆ
2. อินเวอร์เตอร์ใช้งานโดยการสวิตซ์ที่ระดับความถี่ขนาด 115 กิโลเฮิร์ตซ์ แบบฟลูบริดจ์ สัญญาณสี่เหลี่ยม
3. หม้อแปลงความถี่สูงใช้แกนเฟอร์ไรต์ เป็นตัวส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้หม้อแปลง แบบนี้ จะเหมาะสมกับการสวิตซ์ที่ความถี่สูง

Inverter

4. วงจรเรียงกระแสเอาต์พุตที่ประกอบด้วย Fast Recovery Diode ที่ทำงานที่ระดับความถี่ 230 กิโลเฮิรตซ์
5. วงจรกรองเอาต์พุตแบบ RLC ใช้งานในการกรองแรงดันเอาต์พุตให้เหลือแค่แรงดันกระแสตรง
6. ตัวควบคุมและประเมินผล เป็น การควบคุมแบบป้อนกลับประมวลสัญญาณเชิงดิจิทัลที่ใช้ตัวประมวลสัญญาณ ARM7 LPC2138 เป็นตัวควบคุมระบบ

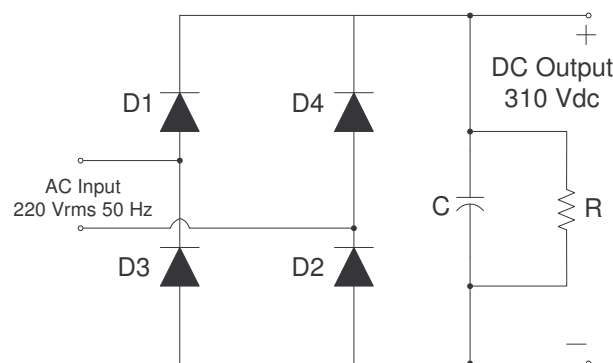
3.2 ลำดับและขั้นตอนการออกแบบ

ขั้นตอนในการออกแบบอย่างทีกล่าวข้างต้นนี้ นั้น จะสามารถแยกการคำนวณออกมาเป็นชุดหลักๆ ได้ดังนี้

1. การออกแบบวงจรเรียงกระแสด้านเข้า
2. การออกแบบระบบขับสัญญาณมอสเฟส
3. การเลือกใช้งานมอสเฟส และ ชุดขับสัญญาณที่เหมาะสม
4. การออกแบบ หม้อแปลงความถี่สูง
5. การออกแบบวงจรเรียงกระแสเอาต์พุต
6. การออกแบบวงจรกรอง RLC
7. การควบคุมระบบ โดยตัวประมวลผล

3.3 การออกแบบวงจรเรียงกระแสด้านเข้า

การออกแบบแหล่งจ่ายหลักให้กับชุดอินเวอร์เตอร์นั้นมีความสำคัญมากกับแหล่งจ่ายไฟสวิตซ์ เนื่องจาก ถ้าการออกแบบที่ไม่เหมาะสมนั้นจะทำให้ แหล่งจ่ายไฟสวิตซ์ ทำงานผิดพลาดทั้งระบบ รวมถึงการเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมเช่นกัน อย่างเช่น ตัวเก็บประจุที่ใช้งานต้องมีค่ามากพอหรือมีค่า ESR ที่น้อยขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละระบบ อย่างที่กล่าวข้างต้น



ภาพประกอบที่ 3-2 วงจรเรียงกระแสด้านอินพุตของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์

กำหนดให้แรงดันอินพุต เท่ากับ 220 โวลต์ ± 10 เปอร์เซ็นต์ 50 เฮิร์ตซ์ เอาท์พุทสูงสุดที่ กำหนดไว้คือขนาด 500 วัตต์ ให้ประสิทธิภาพของระบบเป็นขนาด 80 เปอร์เซ็นต์ เราจะสามารถหา กำลังไฟฟ้าอินพุตได้ดังสมการ(3.1)

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} \quad (3.1)$$

$$= \frac{500}{0.8}$$

$$= 625 \quad \text{วัตต์}$$

จากแรงดันที่ไฟฟ้ากระแสสลับไหลเข้า 220 โวลต์ นั้นจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ปลายทางที่มีขนาด 310 โวลต์ กระแสไฟกระแสตรงเฉลี่ยจะได้ดังสมการ(3.2)

$$I_{dc} = \frac{P_{in}}{V_{in}} \quad (3.2)$$

$$= \frac{625}{310}$$

$$= 2.01 \quad \text{แอมป์}$$

จากการคำนวณข้างต้นนั้นเราสามารถที่จะคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่ใช้กรองแรงดัน เอาท์พุทให้เรียบได้จากสมการด้านล่าง เมื่อกำหนดให้ริปเปิลมีขนาด 10 เปอร์เซ็นต์ หรือ เปรียบเทียบจะได้แรงดันขนาด 310 โวลต์ ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ แบบฟลูบริดจ์จะมีคาบเวลาเท่ากับ 10 มิลลิวินาที

$$C_t = \frac{I_{dc} \Delta t}{\Delta V_{r(P-P)}} \quad (3.3)$$

$$= \frac{I_{dc} \cdot T/2}{0.1 \cdot V_{in}}$$

$$= \frac{2.01 \cdot 20 \cdot 10^{-3} / 2}{0.1 \cdot 310}$$

$$= 6.484 \cdot 10^{-4} \quad F$$

หรือ

$$= 648.4 \quad \mu F$$

ผลของการเลือกค่าตัวเก็บประจุที่ได้จากการคำนวณจะทำให้เราทราบถึงขนาดของตัวเก็บประจุที่แท้จริง แต่การเลือกตัวเก็บประจุนั้นจะต้องเน้นที่ตัวเก็บประจุที่มีขนาดมากกว่าที่เราคำนวณได้ ในกรณีนี้ ตัวเก็บประจุที่เราคำนวณได้ มีค่าเท่ากับ 648.4 μF ทั้งนี้เราเลือกที่จะใช้งานที่ 750 μF ที่แรงดันขนาด 450 โวลต์ และไดโอดที่ใช้งานต้องทนกระแสได้มากกว่า 1.5 เท่าของกระแสตรงนั้นก็หมายความว่า ควรเลือกไดโอดที่มีความทนกระแสได้เท่ากับ 3 แอมป์ และแรงดันต้องมีขนาดมากกว่า 450 โวลต์

การทำงานเริ่มแรกของการเปิดไฟไหลเข้าระบบนั้นจะเกิดปัญหาหลักคือ เมื่อเริ่มต้นทำงานโดยการสับสวิตช์เข้านั้น ตัวเก็บประจุในสถานะเริ่มต้นจะมีการลัดวงจร ในขณะที่เปิด เพราะฉะนั้นถ้าต้องการลดกระแสกระชากนั้นๆ จึงต้องมีการแก้ปัญหาโดยการนำเอาค่าความต้านทานไปอนุกรมกับสายนำกระแสซึ่งเมื่อเราเริ่มสับสวิตช์นั้น แทนที่กระแสจะมีค่าสูงเนื่องมีตัวเก็บประจุตัวเดียว กระแสจะไหลผ่านตัวต้านทานนั้น หลังจากกระแสไหลเข้าจนแรงดันคงที่ เราจะทำการสับสวิตช์ไปที่ตำแหน่งที่ปราศจากตัวต้านทาน ทั้งนี้เพื่อลดค่าการสูญเสียในระบบให้เหลือน้อยที่สุด เนื่องจาก ตัวต้านทานจะทำให้เกิดความร้อนที่สะสมเนื่องจาก I^2R

ส่วนสุดท้ายที่ต้องคำนึงถึงคือ การออกแบบตัวต้านทานท้าย(Dummy load) ตัวต้านทานนี้มีหน้าที่ในการรับการคายประจุจาก ตัวเก็บประจุ เมื่อกรณีที่ ปิดวงจรโดยจับปลั๊ก ความหมายคือ ถ้าไม่มี ตัวต้านทานตัวนี้ แรงดันที่ ตัวเก็บประจุจะยังคงมีแรงดันที่ตกคร่อมอยู่ ตัวต้านทานตัวนี้มีค่ากำลังสูงมากยิ่งขึ้นก็เนื่องจะยังคงรับโหลดตลอดเวลา จากสมการด้านล่างจะเป็นตัวกำหนดขนาด และกำลังที่ตัวต้านทานต้องรับ ถ้าเลือกค่าความต้านทานขนาด 15 กิโลโอห์ม

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (3.4)$$

$$= \frac{310^2}{15 \cdot 10^3}$$

$$= 6.41 \quad \text{วัตต์}$$

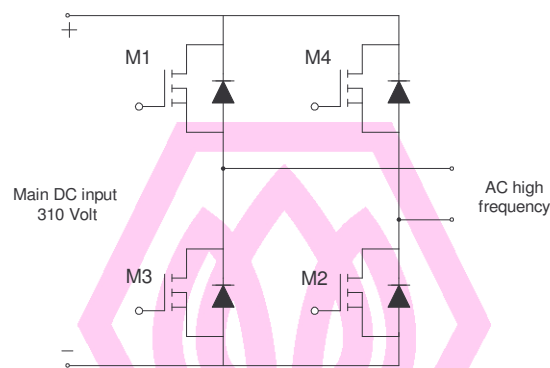
ดังนั้นเราควรเลือก ค่าความต้านทานนี้ที่ค่า 15 กิโลโอห์ม 10 วัตต์ หรือ มากกว่า

3.4 อินเวอร์เตอร์

พื้นฐานของการแปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับนั้นเราจะทำการแปลงโดยให้ อินเวอร์เตอร์ การออกแบบอินเวอร์เตอร์นั้นหลักๆ อยู่ที่ขนาดของกำลัง(วัตต์) ที่เราใช้งาน รูปแบบการสวิตช์ THD และอีกหลายๆอย่างที่จะกล่าวต่อไป

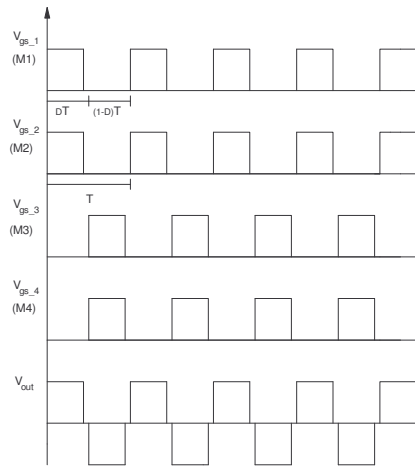
การออกแบบอินเวอร์เตอร์ ที่ใช้งานในที่นี้นั้นใช้ความถี่ในการสวิตช์ ที่ 115 กิโลเฮิรตซ์ เป็น

ฟลูบริจอินเวอร์เตอร์ ซึ่งการออกแบบนี้นั้นเหมาะสมกับขนาดของแรงดันสูง กำลังตั้งแต่ 400-2000 วัตต์ขึ้นไป จากรูป ด้านล่างแสดงให้เห็นการจัดเรียงของมอสเฟส จำนวน 4 ตัว



ภาพประกอบที่ 3-3 วงจรอินเวอร์เตอร์

ถ้าสังเกตถึงการจัดรูปแบบของตัวสวิตช์ซึ่ง ต่างๆนั้นจะเห็นว่า M1 และ M2 จะทำงานพร้อมกันที่ความถี่ 115 กิโลเฮิรตซ์ แต่ละจะมีค่า Duty Cycle ไม่เกินตัวละ 0.5 หรืออีกความหมายก็คือ ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.5 นั่นเอง ในทำนองเดียวกันนี้ M3 และ M4 ก็จะมีค่าได้ไม่เกิน 0.5 เช่นกัน หลักการของการทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ตัวนี้จะเป็นไปตามภาพประกอบด้านล่าง



ภาพประกอบที่ 3-4 รูปสัญญาณของชุดขับกับแรงดันด้านเอาต์พุต

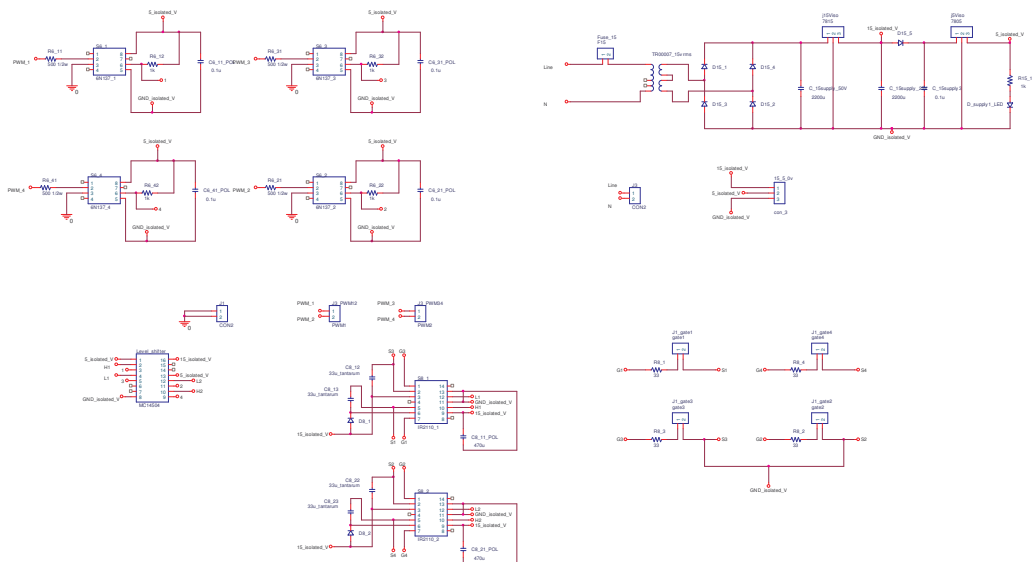
สาเหตุหลักของการจำกัดขอบเขตของ Duty Cycle ของแต่ละชุดก็คือ ถ้าสังเกตจากรูปแล้ว นั้น M1 และ M3 ทำงานพร้อมกันไม่ได้ ในทำนองเดียวกัน M4 และ M2 ก็ไม่สามารถที่จะทำงาน พร้อมกันได้เนื่องจาก หากคู่ใดคู่หนึ่งเกิดทำงานพร้อมกันขึ้นมา จะเกิด การลัดวงจรขึ้นทันที การ ลัดวงจรนี้นั้นจะ เกิดขึ้นและแรงที่สุด เนื่องแรงดันที่ตกคร่อม สวิตช์ ทั้งสองตัวในกลุ่มของมันมีค่าสูง ถึง 310 โวลต์และเป็นแรงดันกระแสตรง แต่ Ron ใน ขณะที่มอสเฟส ทำงานมีค่าเพียง 0.33 โอห์ม ต่อตัว ดังนั้นกระแสจะมีค่าสูงมาก

จากหลักการทำงานเบื้องต้นของอินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์นั้นเป็นพื้นฐานในการแปลง กระแสตรงเป็นกระแสสลับ การเลือก มอสเฟส พร้อมทั้งชุดขับจึงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากในการ ออกแบบระบบโดยรวม

มอสเฟสที่มีขายอยู่ในท้องตลาดจะมีหลายรูปแบบ มีทั้งแบบเดี่ยว อย่างเช่นมอสเฟส ตระกูล IR ซึ่งเป็นที่นิยม แพร่หลายกับการใช้งานในระดับการทดลองเนื่องจากมีราคาค่อนข้างจะ ประหยัด การที่เราจะเลือกใช้งาน มอสเฟส ตัวใดนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยหลักๆแล้วนั้น แรงดัน และกระแส จะเป็น ตัวเลือกแรกของการกำหนดอุปกรณ์นั้นๆ

จากการคำนวณกระแสที่ไหลผ่านตัวมอสเฟส นี้ตามสมการด้านล่าง เนื่องจากแรงดันที่เรา ใช้งานอยู่ที่ 310 โวลต์ ขนาดของเอาพุต เท่ากับ 500 วัตต์ กระแสสูงสุดที่ไหลผ่านมอสเฟสตัวนี้จะมี ค่าเท่ากับ 1.61 แอมป์ ในที่นี้ได้เลือก IRFP460 ซึ่งตาม Datasheet แล้วนั้นทนกระแสได้ถึง 16 แอมป์ แรงดันที่สามารถใช้งานได้จะอยู่ระดับ 600 โวลต์

การใช้งานมอสเฟส นั้นต้องทำการต่อชุดขับให้เหมาะสมกับการใช้งาน ในภาพด้านล่าง เป็น Schematic ของชุดขับที่ถูกออกแบบมาเพื่อขับมอสเฟส 4 ตัว ซึ่งหลักๆแล้วจะมีการอธิบายใน อุปกรณ์แต่ละตัวในหัวข้อต่อไป



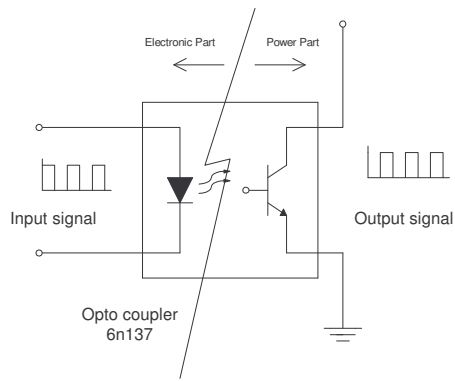
ภาพประกอบที่ 3-5 วงจรชุดขับมอเตอร์

ชุดขับมอเตอร์ สามารถแบ่งออกเป็นทั้งหมด 4 ส่วน

1. ตัวแยกทางไฟฟ้า: การแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างด้านกำลังและทางด้านอิเล็กทรอนิกส์
2. ตัวยกระดับแรงดัน: ส่วนของการปรับระดับแรงดันให้เข้าสู่ระดับที่เราต้องการ
3. ชุดขับมอเตอร์: ส่วนนี้จะมีหน้าที่ตรงในการขับมอเตอร์ซึ่งจะมีสัญญาณขับชุดล่างและบน
4. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง: ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไปเลี้ยงส่วนต่างๆของวงจร ไอซี

3.4.1 การแยกทางไฟฟ้า

การแยกกันทางไฟฟ้า มีความจำเป็นมากสำหรับแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง เนื่องจากการแยกกันทางไฟฟ้างดกป้องกันการลัดวงจรหาซึ่งกันและกัน หรือเรียกง่าย ๆ ว่าเป็นระบบป้องกันอย่างหนึ่ง ในชุดที่ทำการทดลองนี้นั้น เราเลือกที่จะใช้ Opto Coupler เป็นตัวแยกทางไฟฟ้า การทำงานของ Opto Coupler นั้นจะทำงานด้วยแสง กล่าวคือถ้ามีสัญญาณทางด้านอินพุต แล้วนั้นจะเกิดแสงไปปัดวงจรอีกฝั่ง ดังนั้นวงจรอีกฝั่งจึงต้องมี แรงดัน หรือ ไฟเลี้ยงเสมอ อธิบายได้ดังรูปด้านล่าง



ภาพประกอบที่ 3-6 ตัวแยกทางไฟฟ้า

สัญญาณที่ได้รับนั้นจะมีลักษณะสัญญาณตรงกันข้าม เพราะฉะนั้นการต่ออินพุต ต้องคำนึงถึงส่วนนี้ด้วย ในกรณีนี้สามารถใช้ Buffer จำพวก 74HCxxx ต่อก่อนเข้า opto coupler ได้ การเลือกใช้งานในงานนี้นั้น เราเลือกใช้ High speed opto 6n137 ผลิตโดย บริษัท Sharps ถ้าสังเกตจาก Datasheet นั้น Opto Coupler รุ่นนี้นั้นจะทำงานหรือมี Rise time กับ Fall time ที่อยู่ในย่านที่เราสามารถไปใช้งานได้

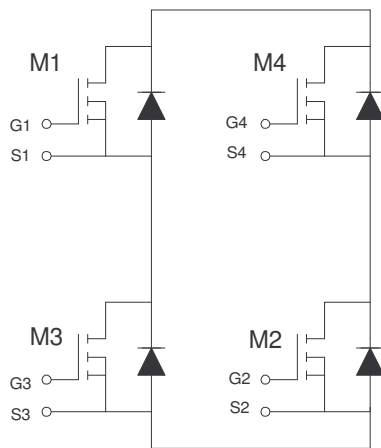
ปัญหาที่มักเจอกับ Opto Couple นั้นจะมีข้อเสียคือ การที่จะคงแรงดันไว้ที่ระดับ 5 โวลท์ เมื่อเปิดเสมอถ้าไม่มีสัญญาณใดในฝั่งอินพุต เพราะฉะนั้นควรระวังเกี่ยวกับการที่มอสเฟส ในกึ่งจะทำงาน พร้อมกัน ทำให้เกิดการลัดวงจร และเสียหายได้

3.4.2 ตัวยกระดับแรงดันไฟฟ้า

เป็นตัวแปลงสัญญาณแรงดันที่ได้รับจาก Opto Couple ซึ่งมีระดับแรงดันเพียง 5 โวลท์ ให้มีค่าเพิ่มขึ้นไปอยู่ในระดับ 15 โวลท์ ใช้สำหรับการปรับแรงดันเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานกับ Driver chip ทั้งนี้การแปลงระดับสามารถปรับได้มากกว่าระดับ 15 โวลท์ ขึ้นอยู่กับ ไฟเลี้ยงที่ป้อนให้แก่ ตัวยกระดับแรงดันไฟฟ้า นี้ ในงานวิจัยนี้เราเลือกที่จะใช้งาน CMOS แบบ MC14504 ของ บริษัท Motorola ซึ่งสามารถใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน มีความสามารถที่จะปรับระดับสัญญาณได้ 4 สัญญาณพร้อมกันใน 1 ตัว

3.4.3 ชุดขับมอสเฟส

ในการที่จะทำการขับมอสเฟสนั้น เราจะต้องให้ความสนใจทั้ง ระดับแรงดัน และ กระแสที่เหมาะสมกับมอสเฟส ชนิดนั้นๆ ในที่นี้สัญญาณ พัลส์เบิกลยูเอ็ม ทั้ง สองจะถูกต่อกับ IR2110 ซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลายในท้องตลาด การทำงานของ ตัวขับมอสเฟส ตัวนี้นั้นจะทำการต่อโดยตรงกับ มอสเฟส ที่เราใช้งาน ตามที่บริษัท IR International กำหนด Datasheet 1 ตัว สามารถที่จะขับ มอสเฟสได้สองตัวในรูปแบบของ High กับ Low ความหมายก็คือ ใช้งาน IR2110 2 ตัว

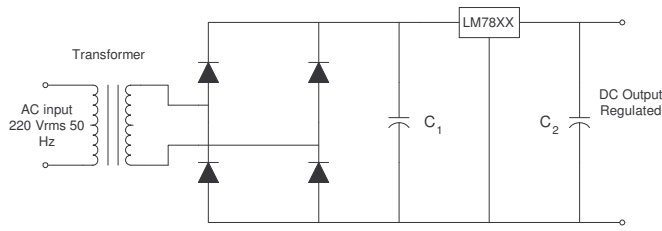


ภาพประกอบที่ 3-7 การต่ออินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์

กล่าวคือ IR2110 ตัวที่ 1 จะต่อ High (G1 S1) เข้ากับเกทของมอสเฟส ตัวที่ 1 สัญญาณ Low (G3 S3)ตัวที่ 1 จะต่อ เข้ากับมอสเฟส ตัวที่ 3ถ้าสังเกตตามรูป สัญญาณ Low มักจะต่อ Source ของมอสเฟส ตัวนั้นกับ Ground เสมอ ส่วน High จะมีลักษณะ Ground ลอย การทำงานของชุดขับ ตัวที่สองจะทำงานในลักษณะที่เหมือนกับตัวที่หนึ่ง กล่าวคือ การทำงานของชุดขับ ตัวที่ 2 สัญญาณ High (G4 S4) จะต่อเข้ากับมอสเฟสตัวที่ 4 และ Low(G2 S2) จะต่อกับมอสเฟส ตัวที่ 2 ซึ่ง Source ของมอสเฟส ตัวที่ 2 จะ ต่อกับ Ground เสมอตามที่กล่าวข้างต้น

3.4.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงมีความสำคัญอย่างมากในการขับมอสเฟส กล่าวคือ ถ้าออกแบบอย่างไม่เหมาะสมแล้วนั้น บางครั้งกระแสอาจจะไม่พอสำหรับการใช้งาน ในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟให้กับชิป ต่างๆนั้นเราจะให้หม้อแปลงแบบที่แปลงแรงดันขนาด 220 โวลต์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 15 โวลต์ และ 5 โวลต์ ตามลำดับ จากรูปด้านล่างจะเห็นว่าจะมีการแยกระบบอย่างชัดเจน โดยการแยกนี้มันต้องคำนึงถึง Ground ของระบบด้วย ว่าเราใช้ไฟเลี้ยงกับ ระบบใด ถ้าใช้กับ ARM7 LPC2138 เราก็ต้องทำการแยกหม้อแปลง ให้ไม่มีการต่อ Ground ร่วมกันกับระบบของ ไฟเลี้ยงทางด้าน กำลัง เนื่องจากถ้ามีการต่อทางไฟฟ้า หรือการเชื่อมเส้นถึงกัน ถ้ามีการลัดวงจร ระบบทั้งหมดจะพังหรือเกิดการเสียหายพร้อมกัน



ภาพประกอบที่ 3-8 วงจรไฟเลี้ยงกระแสตรง

การคำนึงถึงการออกแบบ หลักๆ แล้วนั้นต้องมีการตรวจสอบการใช้งานไฟเลี้ยงในระบบให้ครบซะก่อน แล้วทำการออกแบบตัวปรับแรงดันว่าควรใช้งาน ตัวรักษาระดับแรงดันชนิดไหน ในที่นี้เราใช้ LM7815 เพื่อรักษาระดับแรงดัน 15 โวลท์ และ LM7805 เพื่อรักษาระดับแรงดันขนาด 5 โวลท์ โดยที่ต่อ LED ไว้ด้านท้ายเพื่อที่จะตรวจสอบระดับแรงดันว่าเริ่มใช้งานหรือยัง

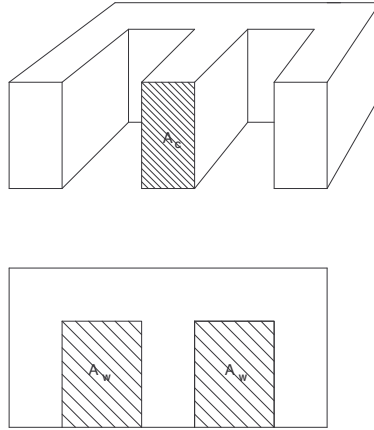
3.5 หม้อแปลงความถี่สูง

หม้อแปลงความถี่สูง มีความสำคัญต่อแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซิ่ง เป็นอย่างมากเมื่อที่ต้องการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า สำหรับหัวข้อนี้จะอธิบายถึงหลักการ พื้นฐานของการออกแบบหม้อแปลง แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซิ่ง ในวงจรของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซิ่งแบบฟลูบรีดจ์ การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงโดยทั่วไปแล้วนั้น ในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงนิยมที่จะใช้วิธีการออกแบบ แบบ Area product ซึ่งนิยามสมการได้ดังนี้

$$Ap = \text{Area product} = \text{core cross section}(Ac) \times \text{window area}(Aw)$$

- เมื่อ Ac หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของแกน (core area)
- Aw หมายถึง พื้นที่ภายในกรอบว่างของแกน (window area)

ในกรณี que เลือกใช้แกน E จะมีลักษณะตามภาพประกอบด้านล่าง



ภาพประกอบที่ 3-9 แกนเฟอร์ไรต์แบบ EE

จากสมการพื้นฐานของการคำนวณวงจรถูบริดจ์ แบบ Area product

$$A_p = A_c A_w = \frac{P_{O2} \left[\sqrt{2} + \frac{1}{\eta} \right]}{4JK_w B_m f_s} \quad (3.5)$$

กำหนดให้ค่า $K_w = 0.4$ $n = 0.8$ เมื่อใช้งานกับวงจรถูบริดจ์ จะได้สมการใหม่เป็น

$$A_p = A_c A_w = \frac{P_{O2} \times 1.67}{JB_m f_s} \quad (3.6)$$

จากการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆของวงจรถูบริดจ์ จะมีค่าตามรายละเอียดด้านล่าง

แรงดันเอาต์พุต	(Output voltage)	48	โวลต์
แรงดันริปเปิลเอาต์พุต	(Output ripple voltage)	10	เปอร์เซ็นต์
กระแสเอาต์พุต	(Output current)	10	แอมป์
ความถี่สวิตซิ่ง	(Switching frequency)	115	กิโลเฮิรตซ์
แรงดันอินพุต	(Input voltage)	310	โวลต์

ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด(B_m) ของแกนแบบเฟอร์ไรต์ นั้นจะมีค่าประมาณ 0.2 เทสลา และ ค่าของความหนาแน่นกระแส (J) มีค่า 3 A/mm^2 หรือ $3 \times 10^6 \text{ A/m}^2$

การเลือกขนาดของแกน

จากการแทนค่าสมการ (3.6) จะได้

$$A_p = 12.1 \times 10^{-9} \text{ m}^4 \quad \text{หรือ} \quad 12,101 \text{ mm}^4$$

ทำการเลือกแกนเหล็กจากตารางในภาคผนวก 1 ให้ได้ A_p ในตารางที่มีค่ามากกว่าที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นเราจะได้แกนแม่เหล็กเบอร์ E36/18/11 ที่มีค่า $A_p = 1.41 \times 10^4 \text{ mm}^4$

$$A_c = 1.31 \times 10^2 \text{ mm}^2, \quad A_w = 1.41 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

จำนวนรอบในการพัน

จำนวนรอบด้านปฐมภูมิ

$$N_1 = \frac{V_{ss, \max}}{4A_c B_m f_s} \quad (3.7)$$

แทนค่าตัวแปรต่างๆลงในสมการเราจะได้

$$N_1 = 25.72 \text{ รอบ}$$

จากการคำนวณนั้นเราจะได้การพันทางด้านปฐมภูมิ ที่ 25.72 รอบ เพราะฉะนั้นเราเลือกที่จะพัน โดยการพิเศษได้เท่ากับ 27 รอบ เนื่องจากหม้อแปลงนี้เป็นหม้อแปลงอัตรา 3:1 เพราะฉะนั้น เราจึงได้รอบทางด้านทุติยภูมิ เท่ากับด้านปฐมภูมิ คือ 9 รอบ เท่ากัน

การเลือกขนาดของขดลวดตัวนำ

ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสมีค่าเท่ากับ

$$I_2 = I_o \sqrt{D_{\max}} = 6.71 \quad \text{A}$$

$$I_1 = nI_o = 30 \quad \text{A}$$

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของขดลวดจาก $A_1 = I_1/J$ และ $A_2 = I_2/J$ แทนค่าตัวแปรต่างๆเราจะได้

$$A_1 = 10 \times 10^{-6} \quad \text{m}^2$$

$$A_2 = 2.233 \times 10^{-6} \quad \text{m}^2$$

จากภาคผนวกที่ 1 เราจะต้องเลือกหลอดอาบน้ำยาที่ สูงกว่าโดยที่กำหนด ขดลวด SWG9 ($A_1 = 10.51 \text{mm}^2$) และ SWG15 ($A_2 = 2.62 \text{mm}^2$)

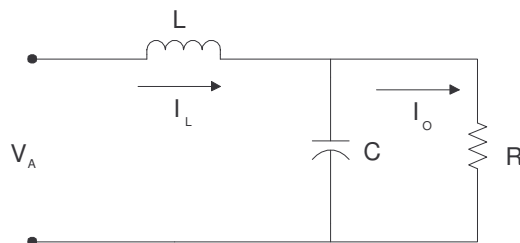
3.6 วงจรเรียงกระแสต้านเอาต์พุต พร้อมกับวงจรกรองแรงดัน

ในกรณีของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์ นั้นจะมีรูปแบบของแรงดันที่ด้านเอาต์พุต จะเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม ดังตัวอย่างที่กล่าวไปแล้วนั้น การส่งผ่านแรงดันที่ทางด้านอินพุตของหม้อแปลงความถี่สูง ที่ความถี่ 115 กิโลเฮิร์ตซ์ สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุต ของหม้อแปลงนั้น ควรจะมีรูปร่างที่เหมือนแรงดันที่ป้อนเข้าด้านอินพุตเสมอ

เนื่องจากรูปแบบของสัญญาณมีความถี่สูงในระดับ 115 กิโลเฮิร์ตซ์ วงจรเรียงกระแสเอาต์พุต ก็ควรที่จะมีความเร็วสูง เพื่อตอบสนองระบบได้ การใช้งานในส่วนของการแปลงแรงดันที่มีรูปแบบของสัญญาณสี่เหลี่ยม นั้นจะต้องเลือกไดโอดที่มีลักษณะที่ตอบสนองความถี่นั้นๆ ได้

3.6.1 การออกแบบวงจรกรองแรงดัน RLC

เนื่องจากแรงดันที่ได้จากการใช้ วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์ จะอยู่ในรูปแบบของแรงดันที่เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมดังภาพประกอบที่ 3-10 ด้านล่าง ซึ่งเป็นกระแสสลับ ทั้งนี้ แรงดันที่เราต้องการเป็นรูปแบบของแรงดันกระแสตรง ที่มีค่ารีปเปิลอยู่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของขนาดของกระแสต้านเอาต์พุต จึงต้องมีการกรองแรงดันมีสัญญาณของกระแสสลับออกไปเพื่อให้เหลือแค่ค่าแรงดันที่เป็นกระแสตรงเท่านั้น การกรองนั้นมีหลายรูปแบบ แต่แบบที่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากที่สุดก็คือการกรองแบบ Passive ที่ประกอบด้วยตัวกรองแบบ RLC



ภาพประกอบที่ 3-10 วงจรกรองแรงดันเอาต์พุตจากการออกแบบ

3.6.1.1 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ

คำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการสำหรับแหล่งจ่ายไฟสวิตชิ่งแบบฟลูบรีดจ์

$$L = \frac{V_o(1 - D_{\min})}{\Delta I f_s} \quad (3.8)$$

เมื่อกำหนดให้ความต้องการของกระแสรีปเปล (ΔI) อยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของกระแสโหลด

ดังนั้นเมื่อกำหนดกระแสโหลดอยู่ที่ 5 แอมป์ $\Delta I = 0.5$ แอมป์ โดยที่

$$D_{\min} = \frac{V_o}{V_{in, \max}} \quad (3.9)$$

เมื่อแทนค่าตัวแปรต่างจะได้ค่าความเหนี่ยวนำเท่ากับ

$$L = 222.88 \mu\text{H}$$

คำนวณหาผลคูณพื้นที่ (A_p)

เริ่มต้นคำนวณพลังงานสะสม

$$E = \frac{1}{2} L I_m^2 \quad (3.10)$$

โดย

$$I_m = I_o + \frac{\Delta I}{2} \quad (3.11)$$

แทนค่าสมการด้วยตัวแปรต่างๆ จะได้

$$E = 0.012 \text{ J}$$

สามารถแทนค่าสมการ $B_m = 0.2$ เทสลา $J = 3 \text{ A/mm}^2$ $K_c = 1$ $K_w = 1$

$$A_c = A_w A_c = \frac{2E}{K_w K_c J B_m} \quad (3.12)$$

$$A_p = 4 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \text{ หรือ } 40,000 \text{ mm}^4$$

เลือกขนาดแกนจากภาคผนวกที่ 1 โดยเลือกค่าที่มีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้ $40,000 \text{ mm}^4$ จะได้แกนเบอร์ P42/26 ($A_p = 4.77 \times 10^4 \text{ mm}^4$, $A_c = 2.64 \times 10^5 \text{ mm}^2$, $A_w = 1.81 \times 10^5 \text{ mm}^2$)

3.6.1.2 คำนวณค่าตัวเก็บประจุ

การกรองแรงดันเอาต์พุตให้อยู่ในรูปแบบของกระแสตรงนั้นเราจะต้องใช้ตัวเก็บประจุเป็นตัวกรอง เนื่องจากคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ แล้วนั้นมีหน้าที่ในการกรองแรงดันกระแสสลับ และทั้งนี้รีปเปิลเอาพุทของแรงดันจะขึ้นอยู่กับตัวแปรความถี่ และ โหลดด้วยการคำนวณนี้มีความสำคัญมาก เนื่องจาก การป้อนสัญญาณกลับต้องอาศัย แรงดันที่มีค่ารีปเปิล น้อยมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ จากสูตรด้านล่าง

$$C = \frac{V_o}{\Delta V_o} \cdot \frac{(1-D)}{8f_s^2 L} \quad (3.13)$$

เมื่อแทนค่าตัวแปรต่างๆ จะได้ค่าตัวเก็บประจุ

$$C = 0.264 \mu F$$

ที่แรงดันรีปเปิล 10 เปอร์เซ็นต์จากการคำนวณแล้วนั้นค่าที่จะเลือกใช้งานต้องมามีค่ามากกว่า $0.264 \mu F$

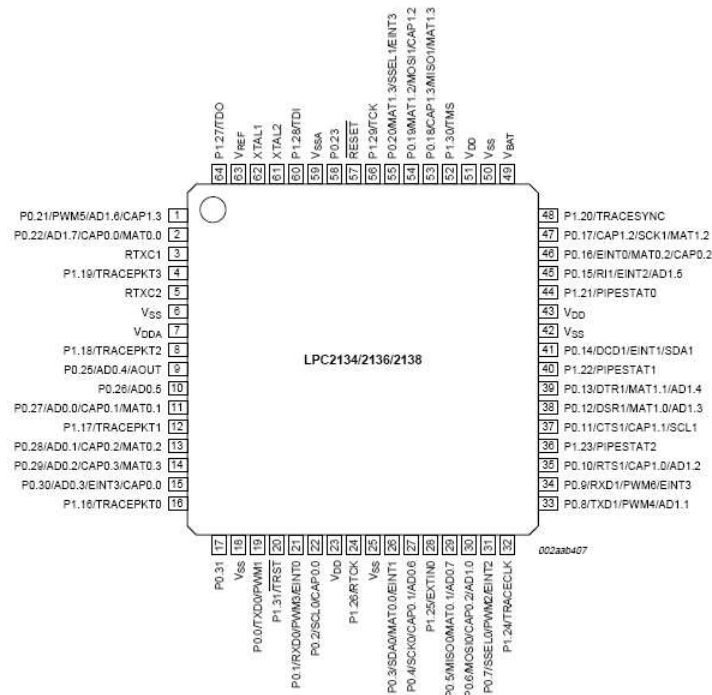
3.7 ตัวประมวลสัญญาณแบบ ARM7 LPC2138

ตัวประมวลสัญญาณ ARM7 โดยบริษัท Phillips ที่ใช้ในการควบคุมแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งนี้ นั้น ทางผู้วิจัยได้ใช้รุ่น LPC 2138 ซึ่งจะมีความสามารถดังนี้

- 32 Bit Microprocessor based on RISC
- 512 KB Flash memory
- 32 Bit Static RAM (SRAM)
- ADC: Dual 8 channels 10 Bit (conversion time = $2.44 \mu s$ /channel)
- DAC: Single 10 Bit
- PWM: 6 channels single edge or 3 double edge

- 47 of GPIO pins (5V tolerance)
- UART: 2 Serial UART0 and UART1
- SPI: 4 Standard serial Interfacing
- I²C: 2 fast serial interfacing 400kb/s

ภาพประกอบที่ 3-11 จะแสดงตัวประมวลสัญญาณ LPC2138 AMR7 โดยบริษัท Phillips โดยการประมวลสัญญาณจะใช้ พีดีบีเบิลยูเอ็ม เอาท์พุท ซึ่งมีด้วยกันทั้งหมด 6 ขา สามารถแบ่งการใช้งานเป็น Double edge 3 ขา



ภาพประกอบที่ 3-11 ตัวประมวลสัญญาณ LPC2138

การใช้งานแหล่งจ่ายไฟแบบฟลูบริดจ์นั้นจะมีสัญญาณที่ถูกนำมาใช้ประมวลสัญญาณเพียง 2 ขา คือ p0.7 และ p0.8 หรือ pwm2 และ pwm4 แบบ Double edge นั่นเอง ขนาดของแรงดันสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากการโปรแกรมผ่านทาง ภาษาซีจะมีขนาดเพียง 3.3 โวลท์ การกำหนดค่า Duty cycle ของ พีดีบีเบิลยูเอ็ม จะถูกโปรแกรมให้มีค่าตามข้อกำหนด กล่าวคือ แรงดันที่เอาท์พุทของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งจะถูกควบคุมโดยตัวประมวลสัญญาณนั่นเอง

3.7.1 การแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

การแปลงสัญญาณที่มีความต่อเนื่องของเวลาเป็นสัญญาณที่จะใช้กับตัวประมวลผลทางดิจิทัลนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการ Sampling ของสัญญาณที่ต่อเนื่องนั้นๆ ออกเป็นขั้นหรือการ

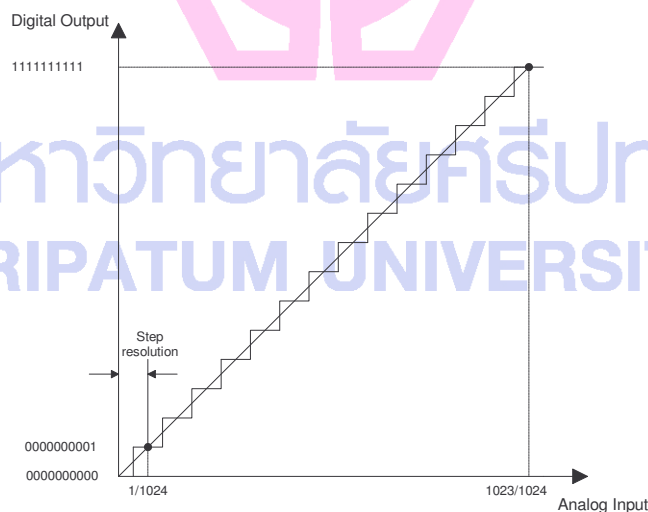
Sampling and Hold คำนั่นๆไว้ เนื่องจาก LPC2138 AMR7 controller นั้นจะมี ขาสำหรับการแปลง สัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลในตัวอยู่แล้ว แต่หลักการของการแปลงจะขึ้นอยู่กับ การเขียนโปรแกรม และ การกำหนดค่าต่างๆในโปรแกรมนั้นๆ

การทำงานของตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล นั้นจะอยู่ในรูปแบบของ การรับค่าของแรงดันที่ระดับ 0-3.3 โวลต์ตามที่เรากำหนดตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็น สัญญาณดิจิทัล ใน LPC2138 AMR7 controller นั้นมีขนาด 10 บิตซึ่งค่าสูงสุดของแรงดันเทียบเท่า กับ 3.3 โวลต์ ค่าของ Digital number จะมีค่าทั้งหมด 1024 ค่า ความละเอียดของแรงดันที่ได้จะอยู่ ในรูปแบบสมการ(3.14)

$$ADC_{resolution} = \frac{V_{ref}}{2^n} \quad (3.14)$$

$$ADC_{resolution} = 0.00322 \text{ โวลต์}$$

ความละเอียดของระดับแรงดันในการใช้งานตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ตามค่าที่คำนวณได้จะมีลักษณะตามภาพประกอบที่ 3-12



ภาพประกอบที่ 3-12 การแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ดังนั้นค่าที่เราจะได้สูงสุดที่ป้อนเข้าตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล นั้นจะมีค่า เท่ากับ

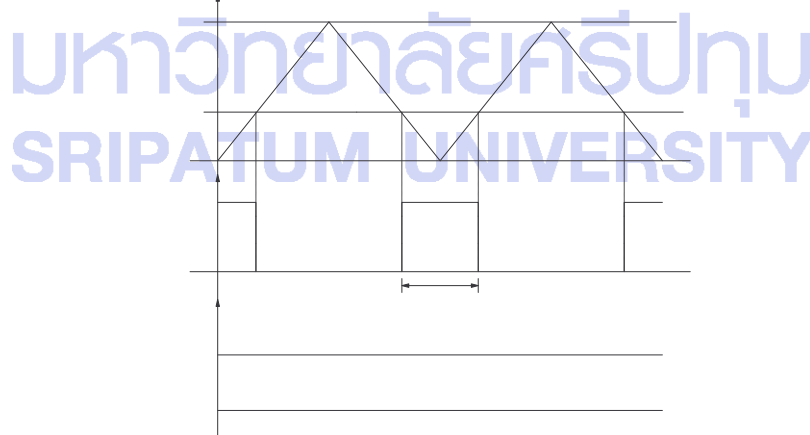
$$V_{DC,max} = \frac{V_{ref} \cdot 1023}{1024} = 3.296 \text{ โวลต์} \quad (3.15)$$

การทำงานโดยการป้อนแรงดันย้อนกลับเข้าสู่ชุด พีดีบีเบิลยูเอเอ็ม ที่จับมอสเฟตนั้นจะต้องป้อนผ่านโปรแกรมที่กำหนดระดับแรงดันที่เราต้องการ ในการออกแบบ smps นั้น เราตั้งค่าที่จะป้อนกลับนั้นมีค่าเท่ากับระดับแรงดัน 48 โวลต์ เพราะฉะนั้น การกำหนดระดับแรงดันเป็นสิ่งสำคัญมากในการป้อนกลับ ทั้งนี้การต่อตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลของวงจรที่ใช้งานอยู่ ต้องพึงระวังเกี่ยวกับเรื่องของการ Float ของ Ground แรงดันที่เราทำการป้อนด้วย

3.7.2 สัญญาณป้อนกลับ

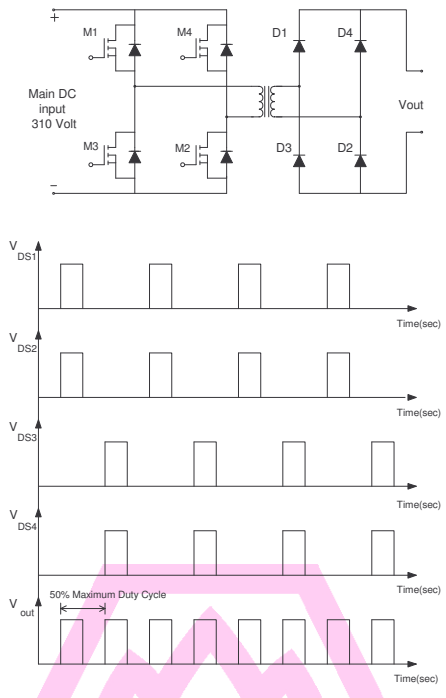
หลักทั่วไปของการส่งสัญญาณเข้าตัวควบคุมแบบ ARM7 เพื่อป้อนกลับนั้น เนื่องจากดังที่กล่าวมาแล้วว่าตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ของตัวควบคุมแบบ ARM7 นั้น ประกอบอยู่ในตัวควบคุมและถูกจำกัดความสามารถในการรับแรงดันอยู่ที่ระดับ 0-3.3 โวลต์ดังนั้นการป้อนกลับของแรงดันที่เข้ามาควบคุมแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง หรือ Duty cycle ของมอสเฟตนั้นๆจะต้องลดระดับแรงดันลงมาให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของ ตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ด้วย ดังตัวอย่างด้านล่างในการคำนวณการป้อนกลับของสัญญาณที่ระดับแรงดันสูงสุด

แรงดันจะมีค่าสูงสุดก็ต่อเมื่อแรงดันเอาท์พุท จะมีค่าเท่ากับ 103 โวลต์ หรือ Duty cycle 100 เปอร์เซ็นต์ และ แปรตามลำดับ คือ ถ้าแรงดันด้านออกมีค่า 48 โวลต์ ค่า duty cycle จะมีค่าเท่ากับ $48/103$ คูณด้วย 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าเท่ากับ 46.6 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพประกอบที่ 3-13



ภาพประกอบที่ 3-13 การเปรียบเทียบแรงดันกับสัญญาณสามเหลี่ยม

การทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง นั้นเราต้องการสัญญาณที่เหมือนกัน ความหมายก็คือเราต้องการสัญญาณที่เหมือนกันแต่มีมุมแตกต่างกันที่มุม 180 องศา ตามภาพประกอบที่ 3-14

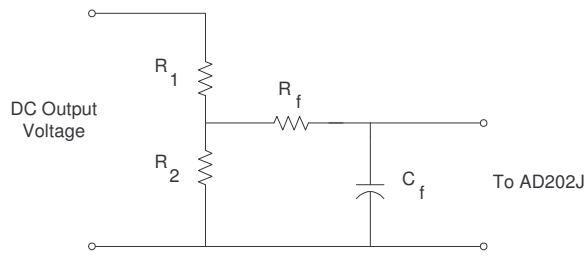


ภาพประกอบที่ 3-14 แรงดันด้านเอาต์พุตที่เกิดจากการสวิตช์แบบฟลูบริดจ์

จากรูป 3-12 เราจะเห็นได้ว่าระดับแรงดันที่ป้อนกลับนั้นสูงสุดจะอยู่ที่ระดับ 3.3 โวลต์ ซึ่งมีค่าป้อนเข้าอนาล็อกอยู่ 1024 แต่ระดับแรงดันที่แท้จริงจะถูกจำกัดให้มีระดับแรงดันที่ครั้งเดียวคือ 1.75 โวลต์ เพื่อให้เกิดการสวิตช์ Duty cycle < 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ทับกันระหว่าง M1 กับ M3 หรือ M4 กับ M2

จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้นจะนำไปสู่การออกแบบป้อนกลับที่ต้องการจำกัด ค่าของแรงดันที่จะสามารถป้อนเข้าได้ ทั้งนี้การจำกัดแรงดันที่จะแบ่งแรงดันมา นั้นจะมีค่าที่ไม่ควรเกินค่า 1.75 โวลต์

ตามภาพประกอบที่ 3-15 นั้นจะทำการแปลงแรงดันที่มีขนาด 103 โวลต์เหลือแรงดันที่ 1.75 โวลต์ โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นตัวปรับจูนความละเอียดของแรงดันที่จะป้อนกับเข้าตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล การปรับค่าแรงดันนั้นจะถูกส่งผ่านเข้าตัวแยกทางไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการแยกทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันเอาต์พุตและ ในส่วนของตัวประเมินผล LPC2138 ตัวแยกทางไฟฟ้าตัวนี้นั้นเราเลือกใช้ AD202J ในระบบการป้อนกลับ เนื่องจากตัวแยกทางไฟฟ้าตัวนี้นั้นทำงานโดยการป้อนแรงดันด้านเอาต์พุตเป็นลักษณะค่าอิมพีแดนซ์สูงเมื่อมีการลัดวงจรที่ด้านเอาต์พุต กระแสการลัดวงจรนั้นจะไม่วิ่งไหลเข้ากลับไปใน LPC2138 ซึ่งป้องกันปัญหาที่จะตามมาในระบบ



ภาพประกอบที่ 3-15 วงจรการลดทอนแรงดันเพื่อใช้ในการป้อนกลับ

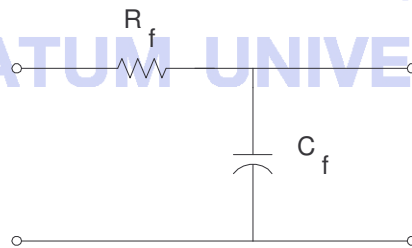
การคำนวณค่าตัวต้านทานต่าง ๆ นั้นต้องคำนึงถึงค่าที่กำลังที่เหมาะสมให้กับตัวต้านทานนั้นๆ ด้วย จากสมการด้านล่างกำหนดให้

$$V_{sense} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{output} \quad (3.16)$$

เมื่อกำหนดให้แรงดันที่ป้อนกลับ LPC2138 สูงสุดที่ 1.75 โวลต์ แรงดันด้านออก มีค่าเท่ากับ 103 โวลต์ คำนวณหาอัตราส่วนของค่าความต้านทานได้

$$R_1 = 58R_2$$

เมื่อเราทำการเลือกค่าความต้านทาน $R_1 = 600$ กิโลโอห์ม แทนในสมการแล้วนั้นจะได้ค่า ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 15 กิโลโอห์ม มาใช้งาน ส่วนค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุในการ กรองแรงดันก่อนเข้า AD202J สามารถหาได้จากค่าดังนี้

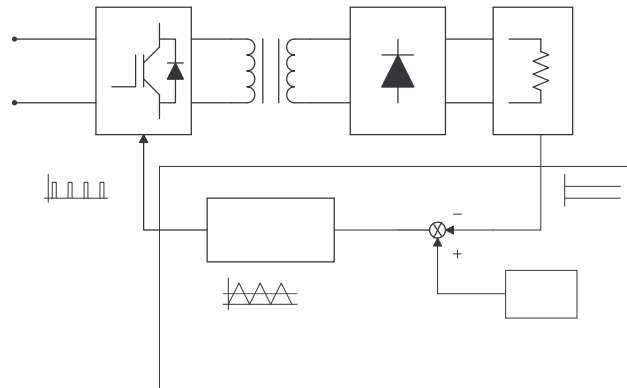


ภาพประกอบที่ 3-16 วงจรกรองแรงดันแบบ RC

3.8 การออกแบบตัวควบคุม พี ไอ ของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิทชิง

จากการออกแบบระบบเปิดที่ผ่านมานั้นขั้นตอนที่เราจะมาสนใจในส่วนของการออกแบบ ระบบปิดที่มีการชดเชยค่าผิดพลาดด้วยตัวควบคุมแบบ พี ไอ จากภาพประกอบด้านล่าง แรงดัน ผิดพลาดจะถูกป้อนกลับผ่านทางตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลของ LPC2138 ซึ่งจะมีทำ การเปรียบเทียบกับระดับแรงดันที่ตั้งไว้ในโปรแกรม ซึ่งทั้งนี้จะมี ตัวชดค่าความผิดพลาด จนให้ ค่าความผิดพลาดนั้นมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ โดยรวมของระบบแล้วนั้น ตัวควบคุมแบบ พีไอ นั้นไม่สามารถ

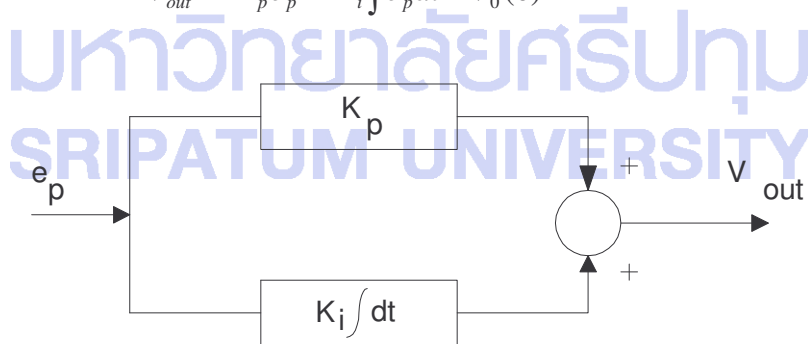
ทำงานตามลำพังได้โดยที่จะชดเชยค่าความผิดพลาดให้เป็นศูนย์ เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการเพิ่มตัวควบคุมแบบ ไอ ต่อ แบบขนานเข้าไปด้วยเพื่อให้เกิดการชดเชยจนค่าความผิดพลาดสามารถเข้าเป็นศูนย์ได้



ภาพประกอบที่ 3-17 การป้อนกลับของสัญญาณคตอนเพื่อใช้ในการควบคุม

การออกแบบเพื่อใช้งานในรูปแบบของการควบคุมโดยสัญญาณดิจิทัล นั้นจะต้องคำนึงถึงส่วนของการแปลงในรูปแบบตัวแปรเวลาให้อยู่ในรูปแบบของตัวแปรเชิงดิจิทัล จากสมการ 3.17 เป็นสมการของการต่อแบบขนานในแบบของตัวแปรตามเวลา

$$V_{out} = K_p e_p + K_i \int e_p dt + V_0(0) \quad (3.17)$$



ภาพประกอบที่ 3-18 ตัวควบคุมแบบ Proportional และ Integral แบบต่อขนาน

ในที่นี้จะสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดให้ค่าของตัวควบคุมแบบ พี ไอ นั้นอยู่ในรูปแบบของตัวแปรเชิงดิจิทัลได้ดังนี้

ในส่วนของตัวควบคุมแบบ Proportional นั้นสามารถแยกเขียนในตัวแปรเชิงเวลาได้ดังนี้

$$m(t) = K_p e_p(t) \quad (3.18)$$

ในเมื่อกำหนดให้ K_p คือค่าคงที่ เราสามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบของตัวแปรเชิงดิจิทัลได้ดังนี้

$$m_n = K_p e_n \quad (3.19)$$

ใช้สมการ Backward เราสามารถแปลงสมการให้อยู่ในรูปแบบของตัวแปรเชิงดิจิทัล ดังนี้

$$m_{n-1} = K_p e_{n-1} \quad (3.20)$$

ผลต่างของสมการ(3.19) และ(3.20) จะได้ดังสมการด้านล่าง(3.21)

$$\Delta m = m_n - m_{n-1} = K_p (e_n - e_{n-1}) \quad (3.21)$$

จากการเขียน โปรแกรมที่สั่งงานตัวประมวลสัญญาณ LPC2138 นั้น เราจะใช้พื้นฐานจากสมการ ด้านบนเพื่อหาค่าของ $K_p e_p$

ตัวควบคุมแบบ Integral จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของตัวแปรเชิงเวลา ได้ดังรูปแบบสมการ ด้านล่างโดยการอินทิเกรตค่าของความผิดพลาด

$$m(t) = K_i \int_0^t e_p(t) dt \quad (3.22)$$

หลังจากการแปลงตัวแปรเชิงเวลาให้อยู่ในรูปแบบของ ตัวแปรเชิงดิจิทัลแล้วนั้นเราจะได้รูปแบบ ของสมการดังสมการ(3.27) ที่เกิดจากผลคูณของ e_p กับ Sampling time Δt . ที่จุด Sampling ต่างๆกัน

$$m_n = K_i \sum_{j=1}^n T e_j \quad (3.23)$$

เรานำมาเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายขึ้น จะได้ดังสมการ (3.24)

$$m_n = K_i \sum_{j=1}^{n-1} T e_j + K_i T e_n \quad (3.24)$$

ในกรณีที่

$$m_{n-1} = K_i \sum_{j=1}^{n-1} T e_j \quad (3.25)$$

ผลต่างของสมการ(3.24) และ (3.25) จะได้ดังสมการด้านล่าง (3.26)

$$\Delta m_n = m_n - m_{n-1} = K_i T e_n \quad (3.26)$$

ตั้งสมการที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วนั้น เราสามารถหาผลรวมของ ตัวควบคุมแบบ พี ไอ เพื่อเขียนใน โปรแกรมสั่งงาน LPC2138 ได้ดังนี้

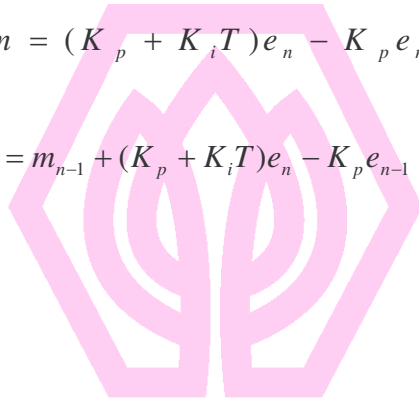
$$\Delta m_n = (\Delta m_n)_p + (\Delta m_n)_i \quad (3.27)$$

รวมสมการที่(3.21) กับ (3.26) เราจะได้สมการในรูปตัวแปรเชิงดิจิทัลเป็นสมการดังนี้

$$\Delta m = m_n - m_{n-1} = K_p (e_n - e_{n-1}) + K_i T e_n \quad (3.28)$$

$$\Delta m = (K_p + K_i T) e_n - K_p e_{n-1} \quad (3.29)$$

$$m_n = m_{n-1} + (K_p + K_i T) e_n - K_p e_{n-1} \quad (3.30)$$



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 4

การทดสอบและเก็บผล

4.1 ภาพรวมของการทดสอบและการเก็บผล

การทดสอบระบบของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งที่เราจะกล่าวถึงบทนี้จะมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบในบทที่ผ่านมา กล่าวคือ การทดสอบและการเก็บผลนั้นจะสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของการทดสอบด้วยอุปกรณ์จริงที่ได้จากการออกแบบ และ ส่วนที่สองคือ ส่วนที่ได้จากการจำลองการทำงานของระบบด้วยคอมพิวเตอร์ ระบบแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งการเก็บค่าของผลทดสอบมีความสำคัญอย่างมากต่อการประเมินผล วิเคราะห์ และทำการสรุป ในการทำงานวิจัยนี้ นี้เป็นอย่างยิ่ง

เนื้อหาของส่วนประกอบในการทดสอบจะทำการแบ่งแยกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

- ผลการทดสอบด้วยอุปกรณ์จริง
- ผลของการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.2 ผลการทดสอบด้วยอุปกรณ์จริง

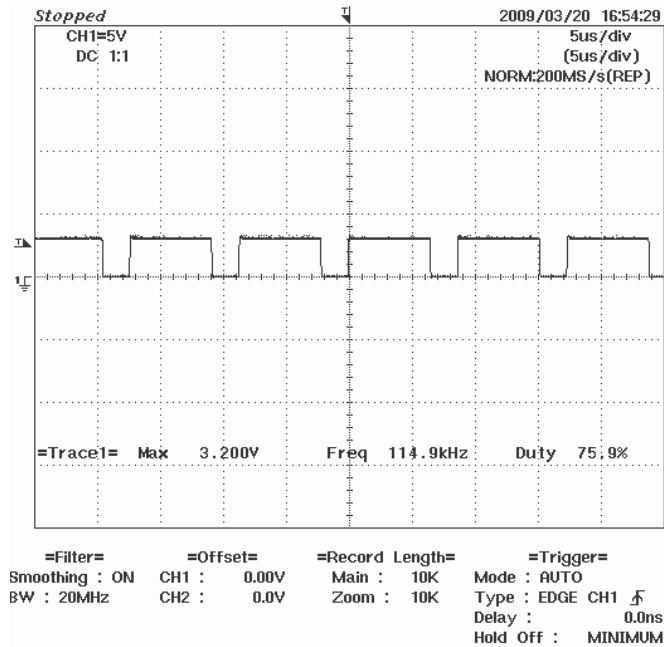
การออกแบบที่ผ่านมานั้นเน้นพื้นฐานของการประยุกต์ทฤษฎีต่างๆมาอยู่ในรูปแบบของอุปกรณ์จริง อย่างเช่นการออกแบบระบบที่เหมาะสมในการควบคุมหรือเลือกชิ้นส่วนต่างให้ถูกต้อง การทดสอบผลต่างๆของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งนี้นั้นจะประกอบด้วยการทดลองที่เป็นโหลด ความต้านทาน ขนาดต่างๆ สามารถแบ่งออกเป็นดังนี้

- โหลดทดสอบขนาด 180 วัตต์
- โหลดทดสอบขนาด 300 วัตต์
- โหลดทดสอบขนาด 500 วัตต์

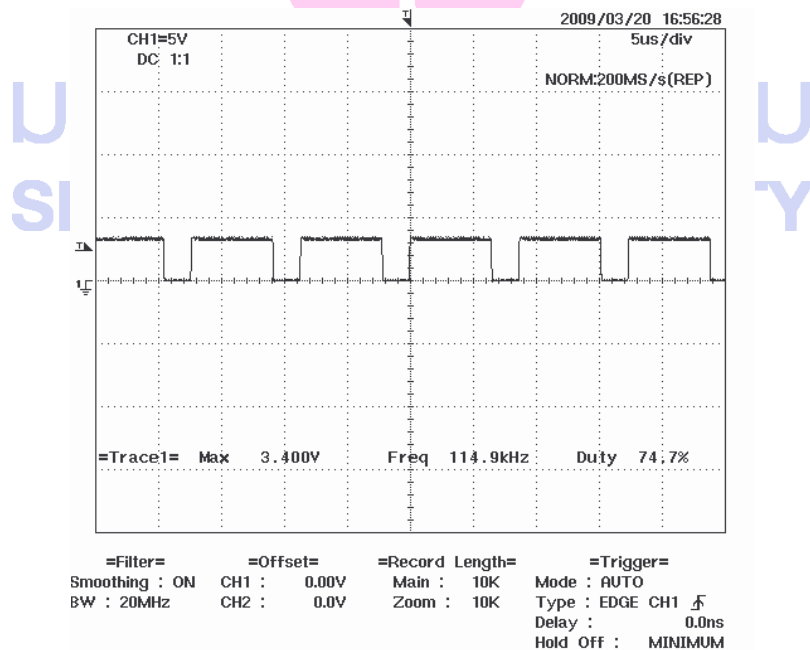
ซึ่งทั้งนี้การทดสอบที่ สภาวะของโหลดขนาดต่างๆนั้นจะทำการเก็บค่าที่แยกออกเป็นหัวข้อที่สนใจดังต่อไปนี้

- สัญญาณพีคเบิลยูเอ็มจากตัวประมวลผล ARM7 LPC2138
- สัญญาณพีคเบิลยูเอ็มในชุดขับมอเตอร์เฟส
- ผลการตอบสนองของแรงดันเอาต์พุท ที่ไม่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ
- ผลการตอบสนองของแรงดันเอาต์พุท ที่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ

4.2.1 สัญญาณ พีดีบีเปิดยูเอม จากตัวประมวลผล ARM7 LPC2138 (PWM2 P0.7 และ PWM4 P0.8)

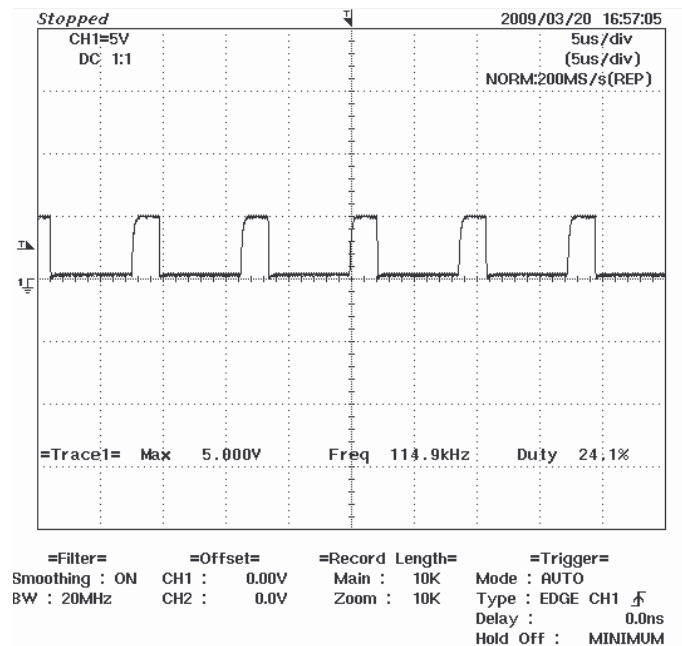


ภาพประกอบที่ 4-1 สัญญาณตัวประมวลผล ที่ขา P0.7

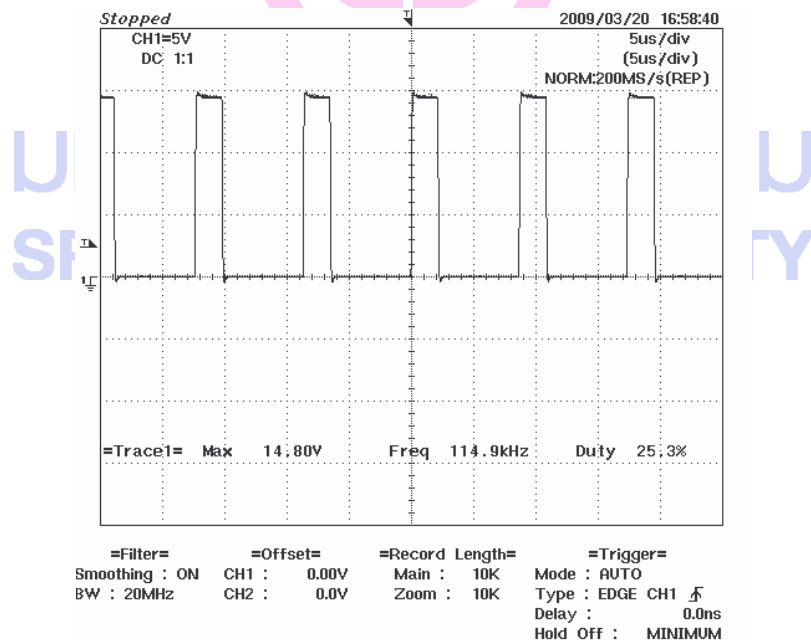


ภาพประกอบที่ 4-2 สัญญาณตัวประมวลผล LPC2138 ที่ขา P0.8

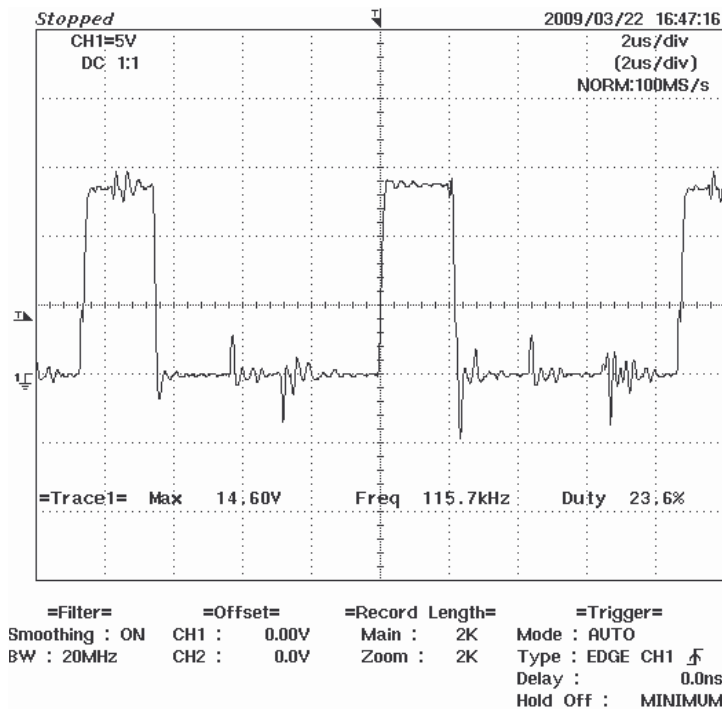
4.2.2 สัญญาณ พัลส์เบิรลยูเอ็ม ในชุดขับมอเตอร์เฟส



ภาพประกอบที่ 4-3 สัญญาณที่ออกจาก 6N137 (High Frequency Opto-Coupler)

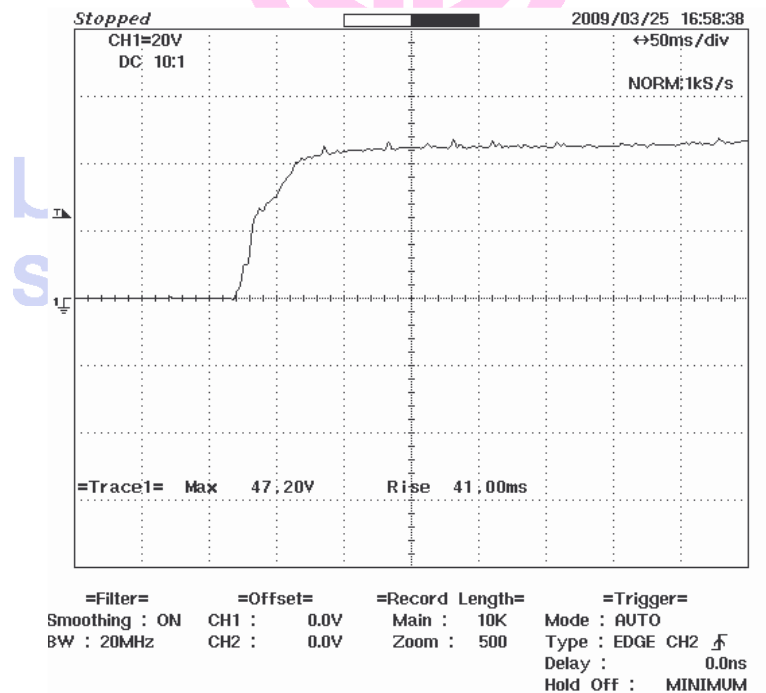


ภาพประกอบที่ 4-4 สัญญาณที่ออกจาก MC14504 (5 to 15V Level Shifter)

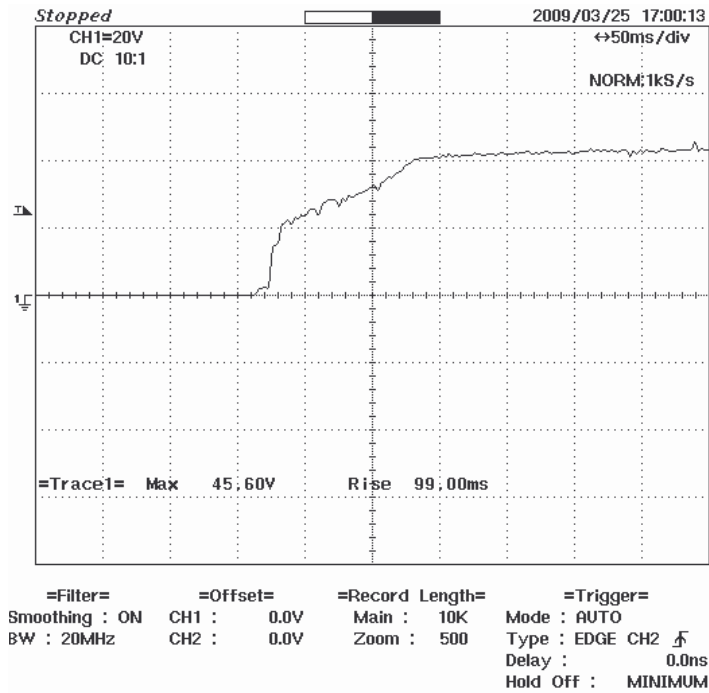


ภาพประกอบที่ 4-5 สัญญาณที่ขา G1 S1 ขณะจ่ายโหลด 300 วัตต์

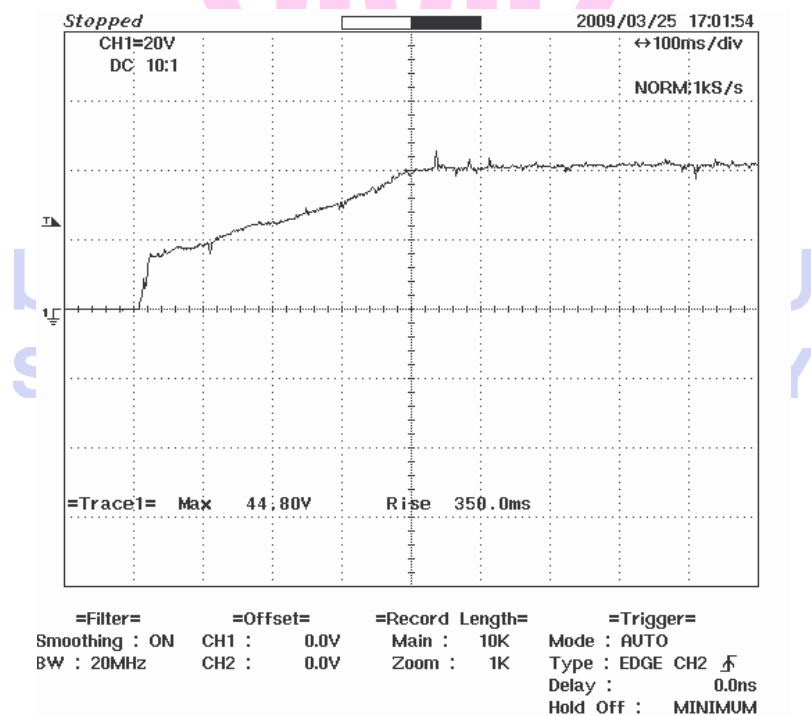
4.2.3 ผลแรงดันที่ด้านเอาต์พุตแบบรูปเปิด



ภาพประกอบที่ 4-6 แรงดันเอาต์พุตแบบรูปเปิด (โหลดขนาด 180 วัตต์)

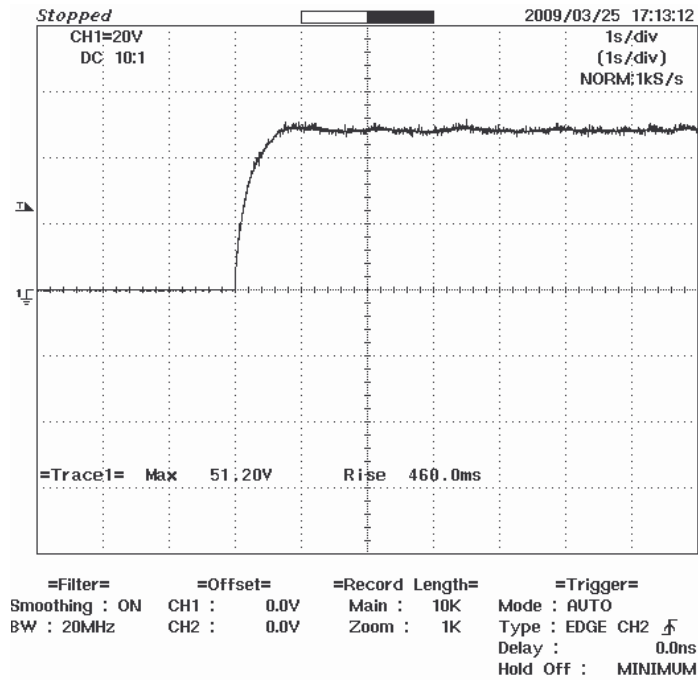


ภาพประกอบที่ 4-7 แรงดันเอาต์พุตแบบลูปเปิด (โหลดขนาด 300 วัตต์)

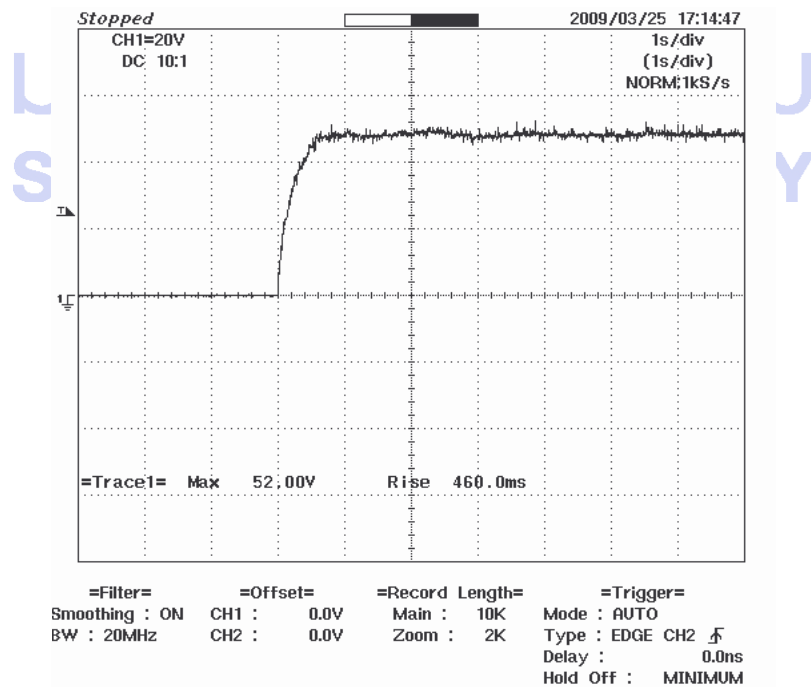


ภาพประกอบที่ 4-8 แรงดันเอาต์พุตแบบลูปเปิด (โหลดขนาด 500 วัตต์)

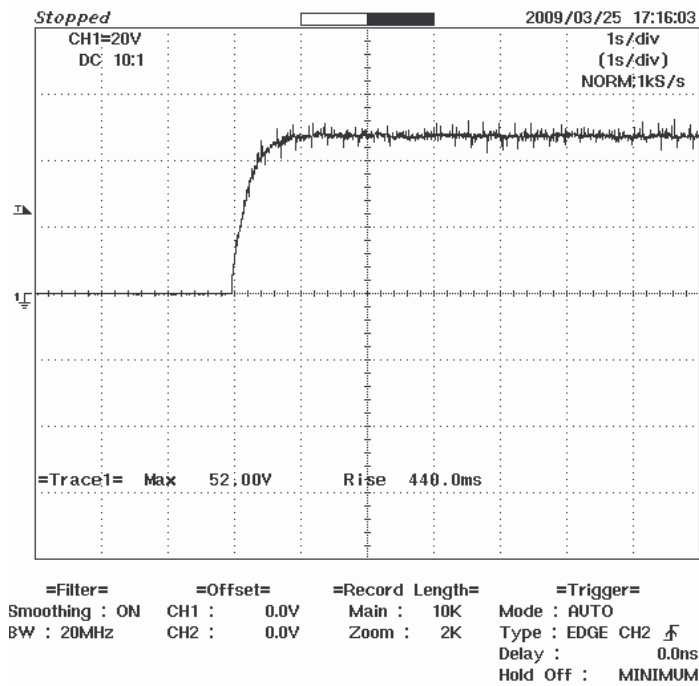
4.2.4 ผลแรงดันที่ด้านเอาต์พุตแบบลูปปิด ($K_p = 0.1$ $K_i = 0.1$)



ภาพประกอบที่ 4-9 แรงดันเอาต์พุตแบบลูปปิด (โหลดขนาด 180 วัตต์)

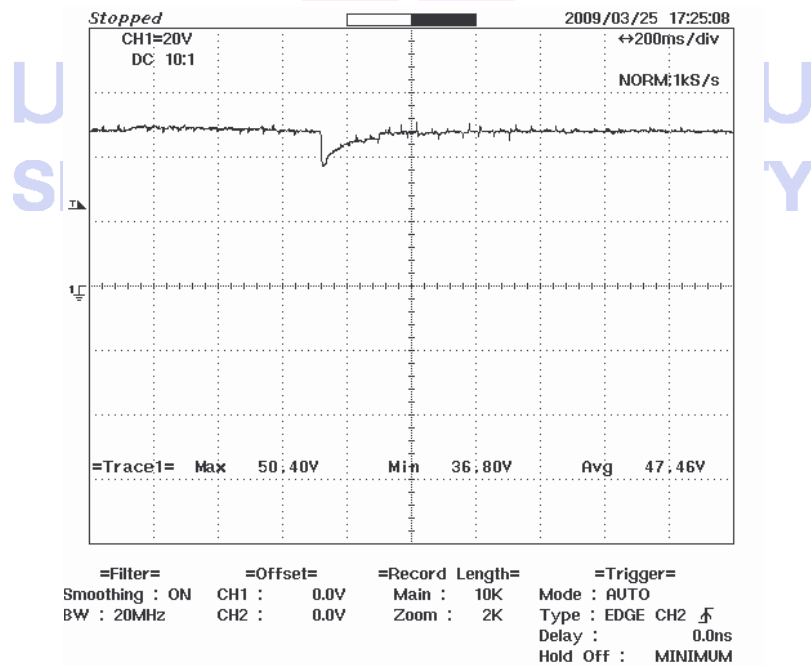


ภาพประกอบที่ 4-10 แรงดันเอาต์พุตแบบลูปปิด (โหลดขนาด 300 วัตต์)

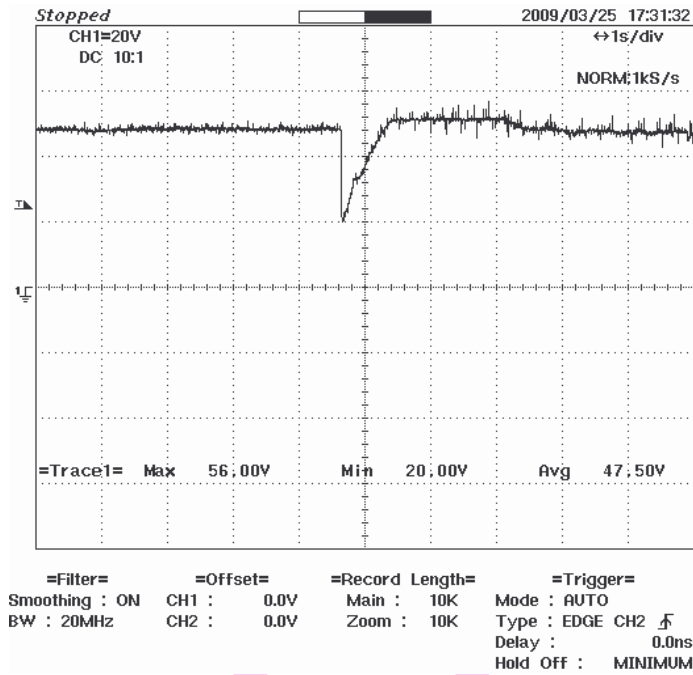


ภาพประกอบที่ 4-11 แรงดันเอาต์พุตแบบลูปปิด (โหลดขนาด 500 วัตต์)

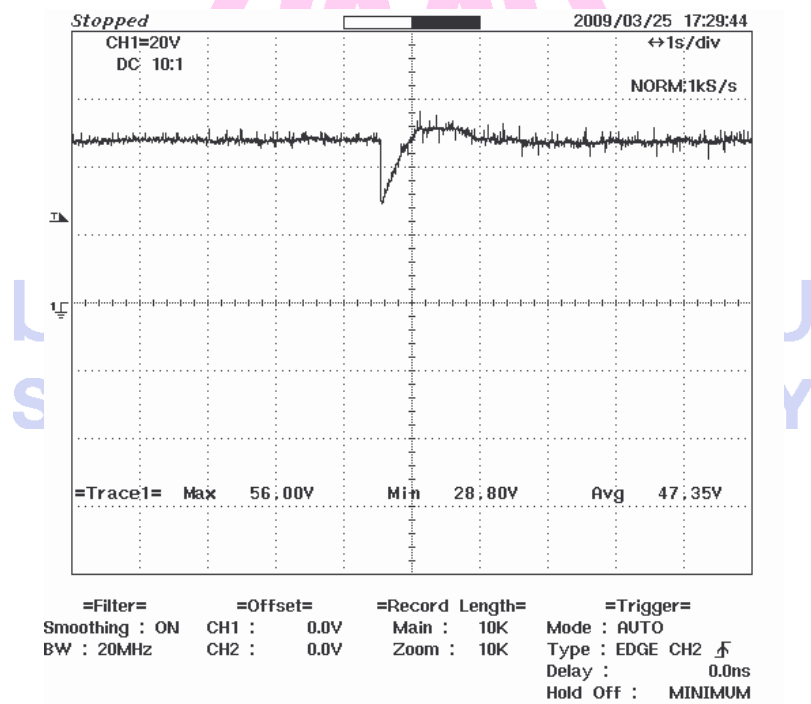
4.2.4 ผลแรงดันที่ด้านเอาต์พุตแบบลูปปิด โดยการปรับโหลดแบบจัมป์ล้น ($K_p = 0.1$ $K_i =$
0.1)



ภาพประกอบที่ 4-12 ผลแรงดันขณะปรับโหลดจาก 180 วัตต์เป็น 300 วัตต์



ภาพประกอบที่ 4-13 ผลแรงดันขณะปรับโหลดจาก 180 วัตต์เป็น 500 วัตต์



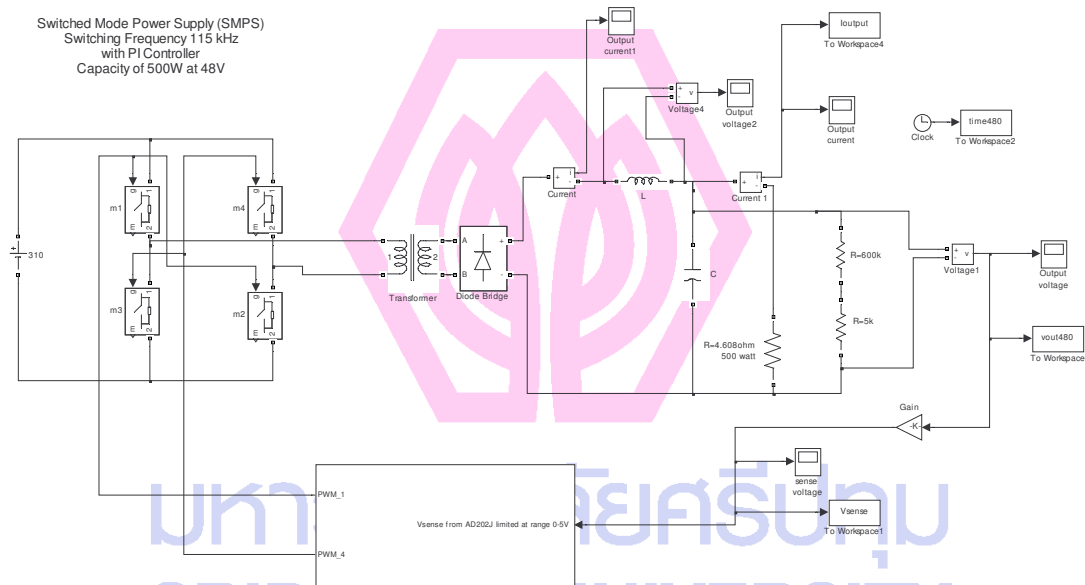
ภาพประกอบที่ 4-14 ผลแรงดันขณะปรับโหลดจาก 300 วัตต์เป็น 500 วัตต์

4.3 ผลของการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การออกแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้าจำลองการทำงานของระบบนั้น มีประโยชน์อย่างมาก เนื่องจากโปรแกรมรุ่นใหม่ มีความชาญฉลาดในการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับระบบจริงมาก ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม Simulink ขึ้นมาใช้งาน ซึ่งโปรแกรมนี้จะเป็นโปรแกรมที่เพิ่มมาจากโปรแกรม MATLAB

โปรแกรมนี้ใช้วิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบและสามารถปรับจูนค่าตัวแปรต่างๆ ได้อย่างง่ายดาย โดยการใช้นามค่าตัวแปรต่างๆ เราสามารถหาผลตอบสนองของระบบได้ดังนี้

จากภาพด้านล่างเป็นการต่อวงจรจรรยา ซึ่งจะแยกออกเป็นส่วนต่างๆ ของระบบ นำมาประกอบกันเป็นแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง



ภาพประกอบที่ 4-15 วงจรของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งโดยจำลองด้วย MATLAB

โดยกำหนดค่าตัวแปรหลักต่างๆ ดังนี้

$$L_f = 222.88 \times 10^{-6} \text{ H}$$

$$C_f = 0.264 \times 10^{-6} \text{ F}$$

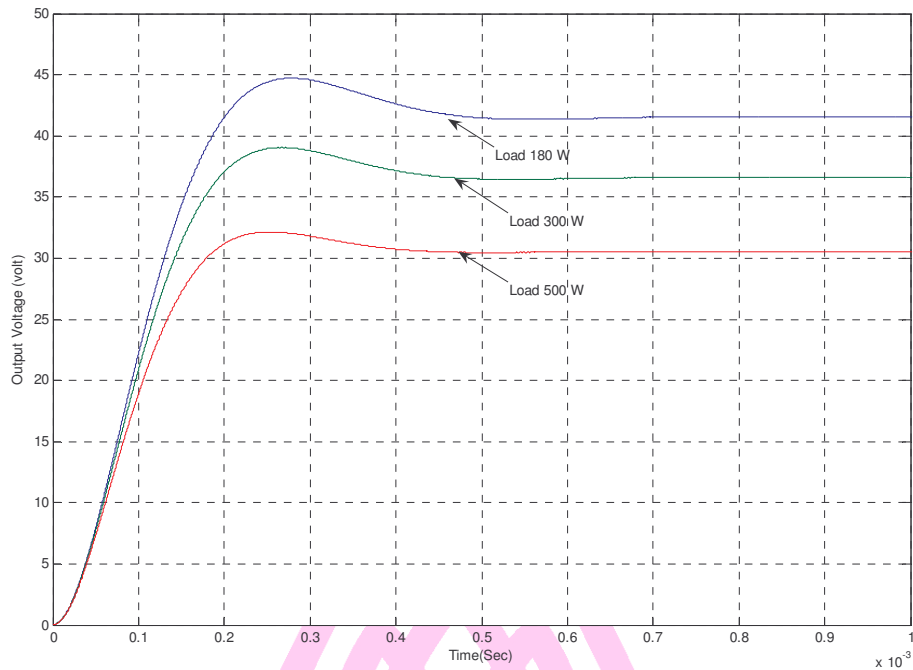
$$R_{\text{load}} = 10 \text{ } \Omega$$

$$R_{\text{sense}} = 620 \text{ k}\Omega \text{ and } 15 \text{ k}\Omega$$

$$K_p = 1, K_i = 1$$

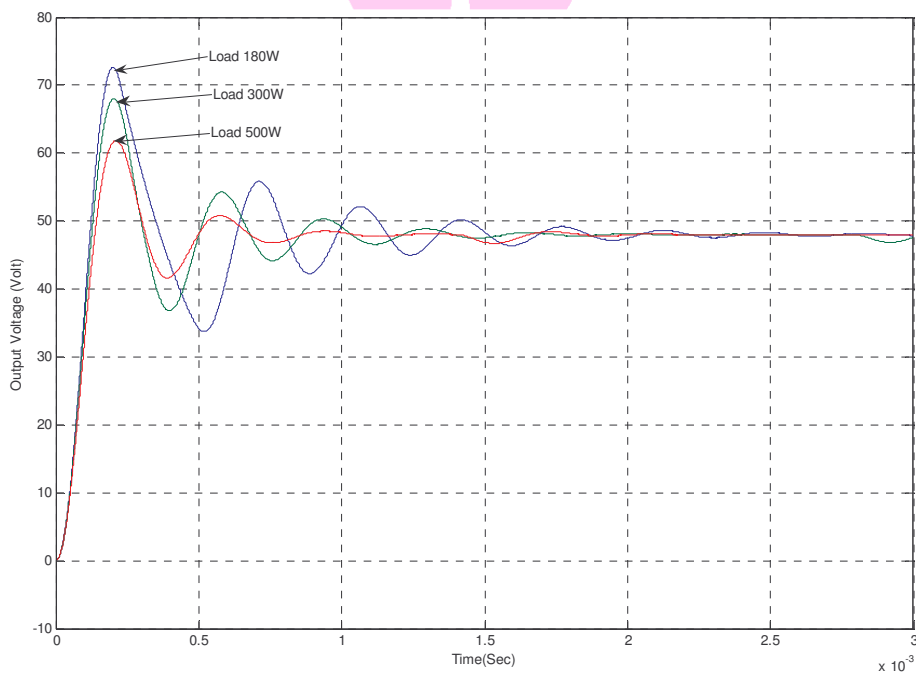
$$V_{\text{in}}(\text{dc}) = 310 \text{ โวลท์s}$$

4.3.1 แรงดันด้านเอาต์พุตแบบรูปเปิดที่โหลดแตกต่างกัน



ภาพประกอบที่ 4-16 แรงดันด้านเอาต์พุตแบบรูปเปิดที่โหลดแตกต่างกัน

4.3.2 แรงดันด้านเอาต์พุตแบบรูปปิดที่โหลดแตกต่างกัน ($K_p=1$ $K_i=3$)



ภาพประกอบที่ 4-17 แรงดันด้านเอาต์พุตแบบรูปปิดที่โหลดแตกต่างกัน

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปโดยรวม

การทำงานโดยใช้งานการควบคุมในเชิงดิจิทัล ที่ใช้ในรูปแบบตามเวลาจริงนั้นถูกนำเสนอในงานวิจัยนี้ในรูปแบบของการควบคุมแรงดันด้านออก การทดสอบค่าของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ ดันแบบนี้เราจะทำการทดสอบทั้งสองรูปแบบคือ การทดสอบด้วยการสร้างอุปกรณ์จริง และ การทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้กล่าวในบทที่ 4 ที่ผ่านมา การจากการสร้าง แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ ดันแบบนี้จะเห็นได้ว่าจะมีปัญหาที่เราต้องทำการแก้ไข ปรับแต่ง พร้อมทั้งคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่นำมาอ้างอิง การทดสอบนี้เราได้ทำการเก็บค่าในรูปแบบของภาระที่เปลี่ยนไปเพื่อวัดการตอบสนองของระบบ ว่าเป็นไปตามที่เราต้องการหรือ จุดที่เหมาะสม การสรุปผลนี้จะแบ่งออกเป็นการสรุปย่อในแต่ละบทที่ผ่านมา พร้อมทั้งนำเสนอสิ่งที่เราจะทำการปรับปรุงเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

5.2 บทสรุปหลัก

หลังจากการศึกษาในส่วนของวงจรแปลงสัญญาณ ต่างๆ ทำให้เกิดแนวคิดที่จะทำการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีรูปแบบการควบคุมเชิงดิจิทัลขึ้นมา จากทฤษฎีพื้นฐานสู่การออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ ดันนี้จะประกอบจากการนำวงจรแปลงสัญญาณ หลายตัวมาประกอบกัน ทั้งนี้ในรูปแบบของการส่วนต่างจะสรุปอย่างละเอียดในบทนี้

การทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ ดันเริ่มจากการเลือกที่จะใช้งานการควบคุมเชิงดิจิทัล คำถามนี้ถูกตอบโดยการเลือกใช้งานของ ARM7 LPC2138 รูปแบบของ LPC2138 ที่ใช้งานนั้นสามารถตอบสนองความถี่ที่ ระดับ 115 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งพอเพียงพอต่อการสร้างวงจรแปลงสัญญาณแบบ แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ ดัน มีช่องการใช้งานที่จะตอบสนองแบบป้อนกลับ ที่มีตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลในตัว หลังจากการเลือกใช้งานตัวควบคุมแบบ LPC2138 แล้วนั้น สิ่งต่อไปก็คือ ทำอย่างไรให้สามารถทำการสร้างวงจรไฟฟ้า แบบวงจรเรียงกระแสและวงจรแปลงระดับแรงดันกระแสตรงได้

การเลือกใช้งานในส่วนของวงจรเรียงกระแสเราจะเลือกการใช้งานวงจรฟลูบริดจ์โดยใช้ไดโอดเรียงกระแสที่มีขนาดของกำลังมากกว่า 500 วัตต์ พร้อมกันนี้ในส่วนของวงจรแปลงระดับแรงดันกระแสตรงนั้นเราจะเลือกใช้งานวงจรแปลงสัญญาณแบบฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์ (เลือกใช้ตัวสวิตซ์แบบมอสเฟตเนื่องจากความถี่ใช้งานที่ระดับ 115 กิโลเฮิร์ตซ์) พร้อมทั้งใช้หม้อแปลงความถี่

สูงต่อกับชุดเรียงกระแสแบบความถี่สูงพร้อมทั้งกรองออกด้วยวงจรกรองแรงดันที่เป็น RLC เพื่อให้แรงดันป้อนกลับเป็นแรงดันที่เป็นแรงดันกระแสตรงที่มีrippleที่เรากำหนดที่ไม่เกิน ± 10 เปอร์เซ็นต์

ในเนื้องานที่ผ่านมาประสบกับปัญหาหลายอย่างก่อนที่จะเสร็จสมบูรณ์ ทั้งนี้ในตัวอุปกรณ์สวิตชิง มีความไวในการตอบสนองมาก การกำหนดค่าต่างๆในการควบคุมที่ผิดพลาด อาจนำมาซึ่งการเสียหายของอุปกรณ์ ตัวอย่างเช่นการป้อนกลับในค่าของ K_p หรือ K_i ที่ไม่เหมาะสมจะเกิดความเสียหายโดยทันทีต่อ แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง งานส่วนใหญ่จะมีเนื้องานอยู่ที่การออกแบบวงจรชุดขับมอสเฟตในงานวิจัยนี้นั้นทางผู้จัดทำได้ทำการทดสอบมอสเฟต กับวงจรชุดขับมากกว่า 3 แบบ ซึ่งในที่สุดก็หาวงจรถูกขับที่เหมาะสมกับ แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง ที่ ARM7 LPC2138 ตัวนี้ได้

สำหรับการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงนั้นจะทำการทดสอบด้วยภาระที่ระดับแตกต่างกัน ระดับ คือที่ 180 วัตต์, 300 วัตต์ และ 500 วัตต์เพื่อดูผลการตอบสนองระบบ ว่าแรงดันที่เราควบคุมนั้นจะมีสัญญาณที่มีลักษณะแบบใด หลังจากการทดสอบแบบป้อนกลับ ในระบบปิดพบว่าระบบจริงแล้วนั้นไม่เป็นเชิงเส้นที่แท้จริง เนื่องจากมีหมีอแปลงความถี่สูงมีระดับของการถ่ายทอดพลังงานที่ไม่เป็นเชิงเส้นกล่าวคือ ในหมีอแปลงความถี่สูงที่มีการถ่ายเทพลังงานที่ต่ำกว่าระดับ 300 วัตต์ จากบทที่ 4 ในการวัดแรงดันตกคร่อมหมีอแปลงความถี่สูงจะสังเกตได้ว่า แรงดันจะไม่เป็นลักษณะที่มีรูปคลื่นสี่เหลี่ยม การทดสอบในรูปแบบของเชิงการตอบสนองจึงมีการสั้นในช่วงแรกที่กำลังน้อยรวมทั้ง แบบไม่มีโหลดด้วย จากเหตุนี้จึงมีหลายส่วนที่ต้องทำการปรับปรุงที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการทดสอบตัวแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง นั้นจะสำเร็จด้วยดี แต่ทั้งนี้ยังมีการสังเกตว่า มีหลายอย่างที่จะต้องทำการปรับปรุง เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดี ขึ้น จากการทดสอบที่ผ่านมา นั้น สามารถแยกออกเป็นรายละเอียดย่อยได้ดังนี้

5.3.1 การพัฒนาในส่วนของคุณภาพของชุดขับวงจรมอสเฟตให้มีคุณภาพขึ้นโดยการปรับปรุงขนาดและปรับแปรอินพุตส่วนอุปกรณ์ เพื่อให้สามารถใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้

5.3.2 การควบคุมในระบบการป้อนกลับ อาจใช้วิธีการชดเชยด้วยตัวควบคุมแบบต่างๆที่ อย่างเช่น PID or Fuzzy logic ซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น

5.3.3 ควรปรับปรุงคุณภาพกระแสด้านอินพุตของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง โดยใช้หลักการของการ Power Factor Correction(PFC)



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

- Aphiratsakun N., Bhaganagarapu R. S., Techakittiroj K. 2005. "Implementation of Single Phase Unipolar Inverter Using DSP TMS320F241." **AU Journal**, April 2005/Vol 8, No 4: pp191-195.
- Aphiratsakun N. 2004. "Effect of Sampling Time, Switching Frequency and Output Quantization Step on Vector Controlled Cage Motor." Master's Thesis, Assumption University.
- Katsuhiko Ogata. 1987. **Discrete-Time Control Systems**. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Katsuhiko Ogata. 1997. **Modern Control Engineering**. Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall.
- Mohan Ned, Underland M.Tore, Robinsons P. William. 2003. **Power Electronics Converter, Applications and Design**. 3rd ed. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Rashid H. Mohammad. 1993. **Power Electronics circuit, device and applications**. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Techakittiroj K., Aphiratsakun N., Three-vithayanon W, Nyun S.2003. "TMS320F241 DSP board for power electronics applications." **AU Journal**, April 2003/Vol 6, No 4: pp168-172.



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

AREA PRODUCT OF FERRITE CORE

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

AREA PRODUCT OF FERRITE CORE

Cores without airgap	Mean length per turn le (mm)	Mean magnetic length lm (mm)	Core cross section area Ac*100 (mm ²)	Window area Aw*100 (mm ²)	Area product Ap*104 (mm ⁴)	μ_e	A_L (nH/turn ²)
P18/11	35.6	26	0.43	0.266	0.114	1480	3122
P26/16	52	37.5	0.94	0.53	0.498	1670	5247
P30/19	60	45.2	1.36	0.747	1.016	1760	6703
P36/22	73	53.2	2.01	1.01	2.010	2030	9500
P42/29	86	68.6	2.64	1.81	4.778	2120	10250
P66/56	130	123	7.15	5.18	37.03		
E20/10/5	38	42.8	0.31	0.478	0.149	1770	1624
E25/9/6	51.2	48.8	0.40	0.78	0.312	1840	1895
E25/13/7	52	57.5	0.55	0.87	0.478	1900	2285
E30/15/7	56	66.9	0.597	1.19	0.71		
E36/18/11	70.6	78	1.31	1.41	1.847	2000	4200
E42/21/9	77.6	108.5	1.07	2.56	2.739	2100	2613
E42/21/15	93	97.2	1.82	2.56	4.659	2030	4778
E42/21/20	99	98	2.35	2.56	6.016	2058	6231
E65/32/13	150	146.3	2.66	5.37	14.284	2115	4833

L.UMANAND and S.R. BHAT, "Design of Magnetic Components for Switch Mode Power Converters", Wiley Eastern Limited, 1992.



ภาคผนวก ข

STANDARD WIRE GAUGE DATA

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

STANDARD WIRE GAUGE DATA

SWG	Diameter with Enamel (mm)	Area of bare Conductor (mm ²)	R/Km@20°C (Ohm)	Weight (Kg/Km)
45	0.086	0.003973	4340	0.0369
44	0.097	0.005189	3323	0.0481
43	0.109	0.006567	2626	0.0610
42	0.119	0.008107	2127	0.0750
41	0.132	0.009810	1758	0.0908
40	0.142	0.011675	1477	0.1079
39	0.152	0.013700	1258	0.1262
38	0.175	0.018240	945.2	0.1679
37	0.198	0.023430	735.9	0.2202
36	0.218	0.029270	589.1	0.2686
35	0.241	0.035750	482.2	0.3281
34	0.264	0.04289	402.0	0.3932
33	0.287	0.05067	340.3	0.4650
32	0.307	0.05910	291.7	0.5408
31	0.330	0.06818	252.9	0.6245
30	0.351	0.07791	221.3	0.7121
29	0.384	0.09372	184.0	0.8559
28	0.417	0.11100	155.3	1.0140
27	0.462	0.13630	126.5	1.2450
26	0.505	0.16420	105.0	1.4990
25	0.561	0.20270	85.1	1.8510
24	0.612	0.24520	70.3	2.2330
23	0.665	0.29190	59.1	2.6550
22	0.770	0.39730	43.4	3.6070
21	0.874	0.51890	33.2	4.7020

20	0.978	0.65670	26.3	5.9390
19	1.082	0.81070	21.3	7.3240
SWG	Diameter with Enamel (mm)	Area of bare Conductor (mm ²)	R/Km@20°C (Ohm)	Weight (Kg/Km)
18	1.293	1.16700	14.8	10.5370
17	1.501	1.58900	10.8	14.3130
16	1.709	2.07500	8.3	18.6780
15	1.920	2.62700	6.6	23.6400
14	2.129	3.24300	5.3	29.1500
13	2.441	4.28900	4.0	38.5600
12	2.756	5.48000	3.1	49.2200
11	3.068	6.81800	2.5	61.0000
10	3.383	8.30200	2.1	74.0000
9	3.800	10.5100	1.6	94.0000
8	4.219	12.9700	1.3	116.0000

L.UMANAND and S.R. BHAT, “Design of Magnetic Components for Switch Mode Power Converters”, Wiley Eastern Limited, 1992.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาคผนวก ค

SMPS COMPONENTS

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

SMPS COMPONENTS

1. Switching Device : IRFP450
2. Opto-coupler: Sharps 6N137
3. Driver: IR2110
4. Level shifter: Motorola MC14504
5. Digital Signal Controller: Phillips ARM7 LPC2138
6. Voltage Isolator: AD202J
7. Transformer Ferrite Core: EE36/18/11
8. Filter Inductor Core: P42/26



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นายวรพงษ์ ไพรินทร์
วัน เดือน ปีเกิด	8 มกราคม 2516
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	30/41 ซ. ชินเขต 2/3 ถ. งามวงศ์วาน แขวง ทุ่งสองห้อง เขต หลัก สี่ กทม 10210
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2540 วศ.บ. (ไฟฟ้ากำลัง) มหาวิทยาลัยศรีปทุม พ.ศ. 2550 M.Eng (Power Electronics) Assumption University

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY