มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การประยุกต์ตัวควบคุมแบบฟัซซีกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิง

APPLICATION OF FUZZY CONTROLLER FOR DC SWITCHING POWER SUPPLY

กษิเดช ทิพย์อมรวิวัฒน์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีการศึกษา 2552

คำนำ

รายงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการสนับสนุนให้บุคลากรในมหาวิทยาลัยศรีปทุม ได้มีโอกาสผลิตผลงานวิจัยที่มีคุณภาพและเผยแพร่ออกสู่ภายนอก โดยให้อาจารย์นำเสนอโครงการที่สำนักวิจัย ทั้งนี้เพื่อให้คณาจารย์ได้พัฒนาในเชิงองค์ความรู้และประสบการณ์ทางด้านวิชาการ นอกจากนี้ยังนำไปสู่แนวทางการร่วมมือและการขอรับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากหน่วยงานภายนอก

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการประยุกต์การใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิง เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของแรงดันด้านเอาต์พุตที่คงที่ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าในค่าต่างๆ

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการนำเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี ไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมกับระบบการทำงานอื่นๆได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับและรับฟังข้อเสนอแนะที่ดี เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขต่อไป

นายกษิเดช ทิพย์อมรวิวัฒน์
ผู้วิจัย
มิถุนายน 2554

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำงานวิจัย ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร. กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ อาจารย์ประจำบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งในฐานะผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆ เกี่ยวกับงานวิจัยนี้ ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี พร้อมทั้งขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ ดร. นิมิต บุญภิรมย์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้โอกาสในการทำวิจัยครั้งนี้ และให้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยเป็นอย่างดี

คณะผู้วิจัย

มิถุนายน 2554

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย	:	การประยุกต์ตัวควบคุมแบบฟัซซีกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิง
ผู้วิจัย	:	นายกษิเดช ทิพย์อมรวิวัฒน์
หน่วยงาน	:	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีที่พิมพ์	:	พ.ศ. 2554

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอตัวควบคุมแบบฟัซซีกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวควบคุมฟัซซีสำหรับควบคุมระดับแรงดันเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีเป็นการควบคุมแบบฐานความรู้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อแก้ปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้นของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงอีกทั้งยังหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ยาก ตัวควบคุมฟัซซีที่นำเสนอเป็นตัวควบคุมฟัซซีแบบพีไอ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ฟัซซิฟิเคชั่น ฐานความรู้และดีฟัซซีฟิเคชั่นตามลำดับ สร้างขึ้นบนไมโครคอนโทรลเลอร์ อาร์ม 7 ควบคุมในรูปแบบของแรงดันเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 480 วัตต์ 48 โวลต์ การทดสอบในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เพื่อทดสอบหาสมรรถนะของการตอบสนองช่วงครู่และการตอบสนองคงตัว ในขนาดโหลด 25, 50, 75และ100เปอร์เซ็นต์ของพิกัด ได้รับผลการทดสอบตรงตามวัตถุประสงค์

คำสำคัญ : แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิง หมายถึง แหล่งจ่ายที่ใช้การเปิด ปิด วงจรด้วยความถี่สูง

ตัวควบคุมแบบฟัซซี หมายถึง เทคนิคการควบคุมเชิงฐานข้อมูลความรู้จากมนุษย์ เพื่อใช้ควบคุมขบวนการเรียนรู้ การตัดสินใจที่คลุมเครือ

ฟัซซิฟิเคชั่น หมายถึง ส่วนที่ใช้แปลงปริมาณของคลิปเซตที่ผ่านการนอเมอไรซ์แล้วให้เป็นค่าความเป็นสมาชิก ของฟัซซีเซต โดยมีย่านอยู่ระหว่าง [0,1]

ฐานความรู้ ประกอบด้วย ฐานข้อมูล (Data Base) ฐานกฎ (Rules Base)

ดีฟัซซีฟิเคชั่น ทำหน้าที่แปลงค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากกลไกการประเมิน กลับมาเป็นค่าเซต

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Research Title	: Application of Fuzzy Controller for DC Switching Power Supply
Name of Researcher	: Mr. Kasidej Tipamornwiwat
Name of Institution	: Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University
Year of Publication	: B.E. 2554

ABSTRACT

This research presents the fuzzy control for switching power supply (SPS). The main objective is to apply the fuzzy control, which is really suitable to employ in non-linear system or the complicated mathematic model system, to regulate the output voltage of the SPS. The structure of fuzzy control which consists of fuzzification path, rule base path and defuzzification path respectively based on micro-controller ARM-7 is proposed. In the experimental results, the fuzzy control on 480 watt, 48 volts, SPS in case of no load output voltage step response and output voltage step load as 25, 50, 75 and 100% respectively are efficiently obtained.

Keywords : Switching Power Supply (SPS)
Direct Current (DC)
DC power supply switching
Proportional Integral (PI)
Fuzzy control

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.2.1 ตัวประมวลผลสัญญาณแบบดิจิตอล 2

1.3 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 2

1.3.1 แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง 2

1.3.2 อินเวอร์เตอร์กระแสตรง 3

1.3.3 ตัวประมวลผลสัญญาณทางดิจิตอล 3

1.3.4 การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีในการควบคุมแรงดัน 3

1.4 สรุปบทวิจัย 3

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซิง 5

2.1 วงจรเรียงกระแสด้านอินพุต 5

2.1.1 วงจรเรียงกระแสด้านเข้าพร้อมกับวงจรกรองสัญญาณแบบ RLC 6

2.1.2 ฟิวส์ (Fuse) 8

2.1.3 วงจรกรองสัญญาณ RFI 8

2.2 อินเวอร์เตอร์แรงดันกระแสตรง (DC TO DC CONVERTER) 8

2.2.1 ฟลายเบ็ค หรือ บั๊ก-บูสต์ คอนเวอร์เตอร์ (Flyback or Buck-Boost) 9

2.2.2 ฟอร์เวิร์ด หรือ บั๊ก คอนเวอร์เตอร์ (Forward or Buck) 10

2.2.3 พุช – พูล คอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull or Buck-Derived) 11

2.2.4 ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Half Bridge Converter) 12

2.2.5 ฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Full Bridge Converter) 13

2.2.6 หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer) 15

2.2.7 ทรานซิสเตอร์กำลัง 18

2.2.8 มอสเฟตกำลัง 18

2.2.9 ไดโอดในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง 19

2.3 วงจรสนับเบอร์ (Snubbers) 20

2.4 ตัวควบคุมประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก (FUZZY LOGIC) 21

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ **หน้า**

2.4.1 นิยามพื้นฐานของฟัซซีเซต.. 22
2.4.2 ตัวปฏิบัติการฟัซซี.. 23
2.4.3 ความสัมพันธ์ของฟัซซี (Fuzzy Relation).. 25
2.4.4 ตัวแปรลิงค์จีสติก (Linguistic Variable).. 26
2.4.5 กฎของฟัซซี (Fuzzy Rule).. 27
2.4.6 ประพจน์แบบฟัซซี (Fuzzy Proposition).. 28
2.4.7 ตัวควบคุมฟัซซี (Fuzzy Controller) 28
2.4.8 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในตัวควบคุมฟัซซี.. 32
2.4.9 ชนิดของตัวควบคุมฟัซซีแบบฐานความรู้.. 32
2.4.10 การกำหนดฐานข้อมูลของตัวควบคุมฟัซซี.. 33
2.4.11 ฐานของกฎ 36
2.4.12 หลักการประมวลผลของตรรกศาสตร์คลุมเครือ.. 38

บทที่ 3 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง 40

3.1 โครงสร้างหลักของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง.. 40
3.2 ลำดับและขั้นตอนการออกแบบ 41
3.3 การออกแบบวงจรเรียงกระแสด้านเข้า 41
3.4 อินเวอร์เตอร์.. 43
3.4.1 การแยกทางไฟฟ้า.. 45
3.4.2 ตัวยกระดับแรงดันไฟฟ้า.. 46
3.4.3 ชุดขับมอสเฟต 46
3.4.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง.. 47
3.5 หม้อแปลงความถี่สูง.. 47
3.6 วงจรเรียงกระแสด้านเอาต์พุต พร้อมกับวงจรกรองแรงดัน.. 50
3.6.1 การออกแบบวงจรกรองแรงดัน RLC 50
3.7 ตัวประมวลสัญญาณแบบ ARM7 LPC2138.. 52
3.7.1 การแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล 53

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ **หน้า**

3.7.2 สัญญาณป้อนกลับ 54
3.8 การออกแบบตัวควบคุม พี ไอ ของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง 56
3.9 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี ของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง 58
3.9.1 กลไกการเรียนรู้ (Learning Mehanism) 58
3.9.2 ตัวควบคุมฐานความรู้ฟัซซี (Fuzzy Knowledge Base Controller) 59

บทที่ 4 การทดสอบและเก็บผล 61

4.1 ภาพรวมของการทดสอบและการเก็บผล 61
4.2 ผลการทดสอบ 61
4.2.1 สัญญาณ PWM จากตัวประมวลผล ARM7 LPC2138 62
4.2.2 สัญญาณ PWM ในชุดขับมอสเฟต 62
4.2.3 ผลแรงดันที่ด้านเอาต์พุตแบบลูปเปิด 63
4.2.4 ผลแรงดันที่ด้านเอาต์พุตแบบลูปปิดควบคุมด้วยวิธีการ พี ไอ 64
4.2.5 ผลแรงดันที่ด้านเอาต์พุตแบบลูปปิดควบคุมด้วยวิธีการ ฟัซซี 68

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 72

5.1 บทสรุปโดยรวม 72
5.2 บทสรุปหลัก 72
5.3 ข้อเสนอแนะ 73

บรรณานุกรม 74

ภาคผนวก 76

ประวัติย่อผู้วิจัย 79

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตของการออกแบบกฎฟัซซี 60

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

2.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง 5

2.2 วงจรเรียงกระแส 6

2.3 วงจรฟลายเบ็ค หรือ บั๊ก-บูสต์ คอนเวอร์เตอร์ 9

2.4 การแยกจากกันทางไฟฟ้าของวงจรฟลายเบ็ค คอนเวอร์เตอร์ 10

2.5 วงจรฟอร์เวิร์ด หรือ บั๊ก คอนเวอร์เตอร์ 10

2.6 การแยกจากกันทางไฟฟ้าของวงจรฟอร์เวิร์ด หรือ บั๊ก คอนเวอร์เตอร์ 11

2.7 วงจรพุช – พูล คอนเวอร์เตอร์ 12

2.8 วงจรฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ 13

2.9 วงจรฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ 14

2.10 วงจรและรูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุต 15

2.11ตัวอย่างแกนเฟอร์ไรต์ 17

2.12 วงจรสนับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส 20

2.13 วงจรสนับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน 20

2.14 แสดง LINGISTIC VARIABLE กำหนดย่านค่าแรงดัน 27

2.15 แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีแบบฐานความรู้ 29

2.16 การอนุมานโดยวิธีของ MAMDANI 31

2.17 แสดงฟังก์ชันสมมาตร 34

2.18 แสดงความกว้างของจุดตัดของทั้งสองฟังก์ชัน 35

2.19 แสดงความต่อเนื่องของเอาต์พุต 35

2.20 แสดงความไม่ต่อเนื่องของเอาต์พุต 36

2.21ระบบควบคุมฟัซซีแบบลูปปิดแบบฟัซซี 37

2.22 ผลการตอบสนองของการเปลี่ยนระดับเพื่อหาความสัมพันธ์ของ E และ CE 38

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

2.23 PHASE PLANT ของ E และ CE 38
3.1 โครงสร้างการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง 40
3.2 วงจรเรียงกระแสด้านเข้า 41
3.3 วงจรการจัดเรียงมอสเฟต 44
3.4 รูปสัญญาณการทำงานของมอสเฟต 44
3.5 การทำงานของ OPTO COUPLER 45
3.6 วงจรสวิตช์มอสเฟต 46
3.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 47
3.8 ลักษณะพื้นที่หน้าตัดของแกน 48
3.9 วงจรกรองแรงดัน RLC 50
3.10 ตัวประมวลสัญญาณ LPC213 52
3.11 ตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล 53
3.12 การคำนวณการป้อนกลับของสัญญาณที่ระดับแรงดันสูงสุด 54
3.13 รูปแบบสัญญาณการสวิตซ์ของมอสเฟต 55
3.14 วงจรการแปลงค่าแรงดันกลับ 56
3.15 โครงสร้างการทำงานของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก 58
3.16 การกระจายของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก 59
4.1 สัญญาณตัวประมวลผล LPC2138 62
4.2 สัญญาณที่ออกจาก 6N137 62
4.3 สัญญาณที่ออกจาก MC14504 62
4.4 การควบคุมแบบลูปเปิด ที่สภาวะโหลด 125 วัตต์ 63

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

4.5 การควบคุมแบบลูปเปิด ที่สภาวะโหลด 250 วัตต์ 63

4.6 การควบคุมแบบลูปเปิด ที่สภาวะโหลด 375 วัตต์ 63

4.7 การควบคุมแบบลูปเปิด ที่สภาวะโหลด 500 วัตต์ 64

4.8 การควบคุมด้วย พี ไอ แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 125 วัตต์ 64

4.9 การควบคุมด้วย พี ไอ แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 250 วัตต์ 65

4.10 การควบคุมด้วย พี ไอ แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 375 วัตต์ 66

4.11 การควบคุมด้วย พี ไอ แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 500 วัตต์ 67

4.12 การควบคุมด้วยฟัซซี แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 125 วัตต์........ 68

4.13 การควบคุมด้วยฟัซซี แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 250 วัตต์........ 69

4.14 การควบคุมด้วยฟัซซี แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 375 วัตต์........ 70

4.15 การควบคุมด้วยฟัซซี แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 500 วัตต์........ 71

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมีใช้งานอยู่ในหลายรูปแบบ เช่น เป็นแหล่งจ่ายไฟใช้กับงานในอุปกรณ์สื่อสารที่มีขนาดใหญ่ ใช้ในการควบคุมขดลวดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรคเกอร์ เป็นต้น หลักการพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงนั้น จะทำงานโดยการแปลงแรงดันกระแสสลับที่ด้านเข้ามาแล้วปรับให้อยู่ในรูปแบบของแรงดันกระแสตรง แล้วทำการปรับระดับแรงดันโดยอาศัยวงจรแปรผันกำลังกระแสตรงเป็นกระแสตรง ซึ่งจะมีรูปแบบของการสวิตชิงแบบฟลูบริดจ์ ซึ่งรูปแบบการควบคุมแรงดันนั้นจะใช้การควบคุมการชดเชยแบบ Proportional และ Integrator ทั้งนี้ การควบคุมแรงดันด้านเอาต์พุต จะอยู่ที่ระดับ 48 โวลต์ ± 5% โดยที่แรงดันด้านอินพุต ที่มีแรงดัน 220 volt ± 10 % 50 Hz หลักการพื้นฐานของการแปลงพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบที่แตกต่างไปนั้นได้มีการพัฒนาให้มีรูปแบบที่ดีและมีประสิทธิภาพขึ้น การควบคุมนั้นเป็นส่วนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ซึ่งแต่ก่อนมีการควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ที่แปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีการใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ จนมาถึงการใช้หลักการสวิตซิงของตัวสวิตซิงต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย ไทริสเตอร์, ทรานซิสเตอร์กำลัง, มอสเฟตกำลัง จนถึง ไอ.จี.บี.ที. ซึ่งเป็นที่มาของการสร้างชุดแปลงแรงดันต่างๆ ที่ใช้ตัวสวิตซิงเป็นตัวทำงาน

จากที่กล่าวข้างต้นแล้วนั้น เราจะทำการควบคุมระดับของแรงดันกระแสตรง ที่เราต้องการจากแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง เปลี่ยนจากการควบคุมที่มีการใช้งานแบบอนาล็อก มาเป็นการควบคุมแบบดิจิตอล ด้วยตัวประมวลสัญญาณแบบดิจิตอล รุ่น Arm7 LPC2138 ของบริษัท Phillips และประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการแรงดันด้านเอาต์พุตที่คงที่

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เนื้อหาของงานวิจัยนี้ จะเน้นในส่วนของการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ ที่สามารถใช้งานเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น การออกแบบและสร้างชุดขับพร้อมชุดควบคุม รวมทั้งภาระทางไฟฟ้าที่เป็นภาระแบบให้ความร้อน สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซิง รวมถึงศึกษาผลการตอบสนองของแรงดันที่ค่าของกำลังทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง พร้อมทั้งเก็บค่าของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้การทำงานจะมีพิกัดของภาระที่ 480 วัตต์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

1.2.1 ตัวประมวลผลสัญญาณแบบดิจิตอล

การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง นั้นจะประกอบด้วยกันหลายๆ ส่วน ซึ่งมีการทำงานร่วมกัน โดยมีตัวควบคุมหรือตัวประมวลสัญญาณคือ Phillip LPC2138 เป็นตัวควบคุมตัวสวิตซ์ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยได้เลือกใช้งานตัวสวิตซิงของบริษัท IR โดยใช้รหัสของตัวสวิตซ์คือ มอสเฟต IRFP 460 จึงจำเป็นที่ต้องมีชุดขับให้แก่ตัวสวิตชิงนี้ด้วย การออกแบบสวิตซ์นี้ จะต้องคำนึงถึงการเข้ากันได้ของสัญญาณที่จะนำไปควบคุม รวมถึงความปลอดภัยของตัวควบคุมด้วย ดังนั้นการแยกอิสระทางไฟฟ้าจึงต้องมีการคำนึงถึงด้วย

การออกแบบควบคุมนั้นจะทำการควบคุมโดยการใช้ โปรแกรมที่ใช้ภาษาซี ซึ่งการควบคุมแรงดันด้านเอาต์พุตจะถูกป้อนกลับผ่าน โดยตัวแยกแรงดันทางไฟฟ้าซึ่งจะป้อนระดับแรงดันอินพุต ตัวประมวลผลสัญญาณแบบดิจิตอล ในรูปแบบของการแปลงสัญญาณเป็นตัวเลขทางดิจิตอล ผ่าน ADC ports ทั้งนี้การศึกษาเรื่องการตอบสนองของแรงดันที่เราต้องการจะเป็นสิ่งที่เป็นหลักการสำคัญ

1.3 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

พื้นฐานของหลักการการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง จะมีรูปแบบของการทำงานในลักษณะของการสวิตช์ เพื่อสร้างสัญญาณที่มีรูปแบบเป็นลักษณะสัญญาณที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม การทำงานของอินเวอร์เตอร์ ของวงจรแปลงแรงดันแบบฟลูบริดจ์ ที่ประกอบด้วยสวิตซ์ 4 ตัวทำงาน มีการชดเชยแรงดันด้วยตัวควบคุม PI Controllers ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟ เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของแรงดันด้านเอาต์พุตที่คงที่ เมื่อสภาวะที่ภาระทางไฟฟ้าเกิดเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ขอบเขตของโครงงานนี้จะแบ่งออกย่อยเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1.3.1 แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง

การทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีการทำงานของระบบการแปลงแรงดันหลายๆ ส่วนมาประกอบกัน ทั้งนี้ระบบทั้งหลายจะมีการควบคุมผ่านทางสวิตซ์มอสเฟต 4 ตัว ซึ่งการทำงานจะอาศัยหลักการทำงานที่มีการแบบฟลูบริดจ์เป็นวงจรแปรผันกำลังกระแสตรงเป็นกระแสตรง มีหม้อแปลงความถี่สูงเป็นตัวแยกสัญญาณทางไฟฟ้าของแรงดันด้านอินพุตและเอาต์พุต เพื่อป้องกันการลัดวงจรที่ภาระ ผลตอบสนองของระดับแรงดันจะเป็นตัวแปรที่จะทำการควบคุม ซึ่งทั้งนี้งานที่เกี่ยวข้องกับวิจัยนี้ จะสนใจในส่วนของการตอบสนองของแรงดันควบคุม ที่ใช้การควบคุมแบบดิจิตอล เข้ามาเป็นตัวควบคุมระบบ ในสภาวะที่ภาระมีค่าที่เปลี่ยนไปในลักษณะที่มีการเพิ่มกำลังทางไฟฟ้า หรือในลักษณะที่ควบคุมแรงดันด้านเอาต์พุตที่คงที่ ขณะที่กระแสภาระเปลี่ยนไป

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

1.3.2 อินเวอร์เตอร์กระแสตรง

หลักการแปลงแรงดันพื้นฐานที่มีการศึกษานั้นจะมีหลายๆ ประเภทของชุดแปลงแรงดัน ทั้งนี้การเลือกใช้งานชุดแปลงแรงดันนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของกำลังที่ใช้งาน ดังนั้นเพื่อให้ได้ตามที่กำหนด (ขนาด 480 วัตต์) เราจึงเลือกชุดแปลงแรงดัน ที่มีการสวิตช์ด้วย ตัวสวิตชิง 4 ตัว ต่อกันแบบฟลูบริดจ์ โดยทั้งนี้จะมีหม้อแปลงความถี่สูง และ ชุดเรียงกระแสด้านเอาต์พุตเป็นตัวแปลงแรงดันให้อยู่ในรูปของแรงดันกระแสตรง โดยใช้วงจรกรองสัญญาณแบบ RLC อีกที การศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบนั้นจะเป็นสิ่งที่เน้นในการทำในงานวิจัยนี้ด้วย

1.3.3 ตัวประมวลผลสัญญาณทางดิจิตอล

หลักการประมวลสัญญาณทางดิจิตอลเข้ามามีบทบาทสำคัญกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ในการเลือกใช้ตัวประมวลผลของบริษัท Phillip รุ่น LPC2138 นี้นั้นมีข้อได้เปรียบกว่าแบบเก่าคือ ความสามารถในการประมวลสัญญาณที่มีความถี่สูง ทั้งนี้การใช้งานตัวประมวลสัญญาณนี้ เป็นการควบคุมที่มีความซับซ้อน การควบคุมที่มีความหลากหลายเป็นข้อได้เปรียบในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง

1.3.4 การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีในการควบคุมแรงดัน

การควบคุมนั้นจะเน้นในส่วนของการชดเชยแรงดันที่ต้องการ โดยการทดสอบกับภาระที่เป็นภาระแบบสถิต การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง เหมาะกับการใช้งานที่เกี่ยวกับไฟเลี้ยงต่างๆ ที่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับภาระแบบสถิตในหัวข้อนี้นั้น เราได้เลือกที่จะใช้ภาระที่เป็นขดลวดความร้อน เนื่องจากมีค่าความต้านทานต่ำ แต่กำลังทางไฟฟ้าค่อนข้างที่จะมีค่าสูง

การควบคุมแรงดันในภาระแบบสถิตนั้น เนื่องจากเป็นภาระที่ มีความเป็นเชิงเส้น ดังนั้นเราสามารถป้อนกลับแรงดันเอาต์พุตด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี แล้วทำการเปรียบเทียบกับแรงดันที่เขียนโปรแกรมไว้ ปรับแต่งค่าแรงดันเอาต์พุตที่ควบคุมได้โดยการปรับจูนค่าแรงดันเอาต์พุตตามสภาวะที่ภาระมีค่าที่เปลี่ยนไป

1.4 สรุปบทวิจัย

บทที่ 2 นำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของ แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ตัวประมวลสัญญาณทางดิจิตอล, ตัวควบคุมแบบฟัซซี

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบอุปกรณ์ในส่วนต่างของโครงสร้าง แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง รวมถึงการออกแบบโปรแกรมที่ทำการแปลงจากสมการคณิตศาสตร์ ด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี

บทที่ 4 ผลการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองที่กำลังทางไฟฟ้า ระดับต่างๆ พร้อมทั้งแสดงค่าตัวแปรที่มีผลกระทบกับการตอบสนองของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 5 บทสรุปของการทำงานในงานวิจัยทั้งหมด รวมถึงข้อคิดเห็น เสนอแนะในการปรับปรุงโครงงานนี้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซิง

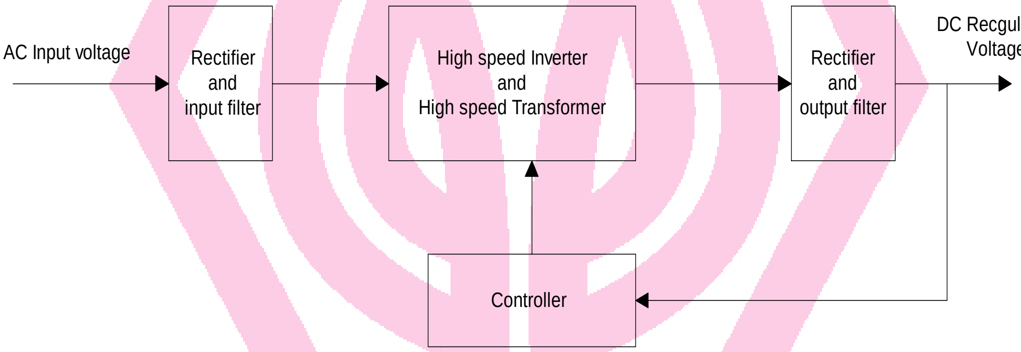
แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงโดยทั่วไปนั้นมีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกันเป็นไปตามภาพประกอบที่ 2.1 คือ

1.วงจรเรียงกระแสด้านอินพุต (Input rectifier with RC filter)

2.วงจรอินเวอร์เตอร์กระแสตรงและหม้อแปลงความถี่สูง (High frequency Inverter and High frequency transformer)

3.วงจรเรียงกระแสด้านออกพร้อมกับวงจรกรองแรงดัน (Output Rectifier anf Filter Circuit)

4.ตัวควบคุม (Controller)



ภาพประกอบที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซิง

แหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิงโดยทั่วไป ถูกออกแบบมาให้ใช้กับระบบแรงดันไฟสลับ ซึ่งแรงดันไฟสลับจะต่อเข้ากับวงจรเรียงกระแสด้านอินพุต ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นไฟกระแสตรงแรงดันสูง จากนั้นวงจรอินเวอร์เตอร์จะทำการสวิตช์เปลี่ยนแรงดันไฟให้เป็นพัลส์สี่เหลี่ยมความถี่สูง ซึ่งในส่วนของวงจรสวิตช์นี้อาจจะสร้างได้จากอุปกรณ์หลายชนิดอาทิเช่น ทรานซิสเตอร์กำลัง, มอสเฟตกำลัง และรูปคลื่นที่ออกจากวงจรสวิตช์จะถูกส่งเข้าหม้อแปลงความถี่สูง เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตตามต้องการ และแรงดันเอาต์พุตที่ได้นี้จะถูกส่งเข้า อีกครั้งหนึ่ง เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและจะได้แรงดันเอาต์พุตตามต้องการ แต่ถึงอย่างไรแรงดันไฟสลับทางด้านอินพุต หรือภาระทางด้านเอาต์พุตอาจเปลี่ยนแปลงไปบ้างเป็นผลทำให้แรงดันเอาต์พุตไม่คงที่ ดังนี้แรงดันไฟตรงที่ได้จาก วงจรเรียงกระแสด้านเอาต์พุตพร้อมกับวงจรกรองกระแสจะถูกป้อนกลับมาควบคุม และตรวจสอบแรงดันที่เอาต์พุตให้มีค่าคงที่ด้วยอีกที่หนึ่ง

2.1 วงจรเรียงกระแสด้านอินพุต

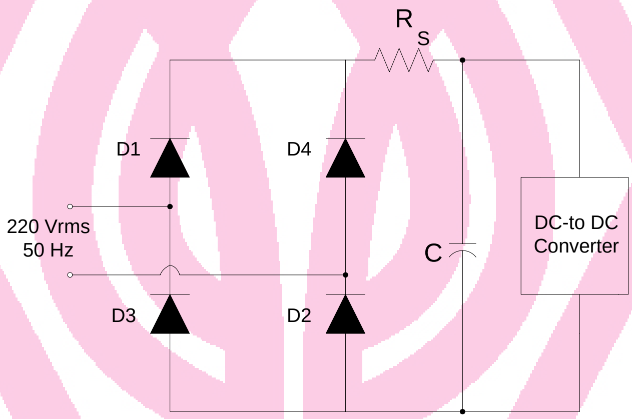
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ในส่วนวงจรอินพุตของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดัน นับว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก เพราะว่าในส่วนนี้จะรับกำลังงานโดยตรงจากแหล่งจ่าย ซึ่งเราอาจจะแยกส่วนที่สำคัญๆ ของวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดันด้านอินพุตได้ ออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ คือ

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

2.1.1 วงจรเรียงกระแสด้านเข้าพร้อมกับวงจรกรองสัญญาณแบบ RLC

มีหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรงเพื่อนำไปเป็นแรงดันด้านอินพุตให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์แรงดันกระแสตรง ซึ่งวงจรเรียงกระแสสามารถแสดง ได้ดังภาพประกอบที่ 2.2



ภาพประกอบที่ 2.2 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสนั้นมีอุปกรณ์ที่สำคัญ 3 ตัว ด้วยกันคือ

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 ฟิวส์อินพุต, ไดโอด ซึ่งความต้านทาน R_s จะมีประโยชน์มากในวงจรเรียงกระแส คือ เป็นตัวจำกัดกระแสกระชาก ที่เกิดขึ้นในขณะเริ่มเปิดเครื่องทำงาน ฉะนั้นในการเพื่อเป็นการลดกระแสกระชากจะทำได้โดยนำความต้านทานมาต่อเพิ่ม

2.1.1.2 ตัวเก็บประจุ (Filter capacitor)

ตัวเก็บประจุกรองแรงดันจะเป็นตัวกรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของ ไดโอดทั้ง 4 ตัว ให้เป็นแรงดันไฟตรงที่เรียบมากขึ้น และช่วยให้กระแสที่ได้มีค่าสูงพอแก่ความต้องการของ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

วงจรแปลงแรงดัน ซึ่งการทำงานของตัวเก็บประจุกรองแรงดันนั้นจะทำงานในลักษณะการเก็บและคายประจุ ในทางปฏิบัตินั้นเราจะมีหลักเกณฑ์ในการเลือกขนาดและค่าของตัวเก็บประจุกรองแรงดัน ดังนี้

อัตราทนกระแสกระเพื่อม นี้ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุภาระ และแรงดันเกิดขึ้นจากการเก็บประจุและคายประจุ ของตัวเก็บประจุเองด้วย

แรงดันกระเพื่อม ซึ่งข้อกำหนดนี้ จะให้กำหนดค่าของตัวเก็บประจุอย่างต่ำในวงจร โดยทั่วไปการออกแบบเรียงกระแสจะกำหนดให้มีแรงดันกระเพื่อมได้ไม่เกิน 10% ของแรงดันไฟตรงที่เอาต์พุต ซึ่งแรงดันกระเพื่อม นี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อภาระใช้กระแสมาก และเราสามารถกำหนดค่าของตัวเก็บประจุกรองแรงดัน เพื่อให้ได้ค่าแรงดันกระเพื่อม ไม่เกิน 10% ของแรงดันไฟตรงที่เอาต์พุต ได้ดังนี้

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

อัตราทนแรงดันตัวเก็บประจุกรองแรงดันที่ใช้ ควรทนแรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 1.5 เท่าของแรงดันไฟตรงที่เอาต์พุต เช่น ที่แรงดันไฟตรงเอาต์พุตเท่ากับ 300 โวลต์ ตัวเก็บประจุกรองแรงดัน ในกรณีวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์จะต้องทนได้อย่างน้อย 450 โวลต์ เป็นต้น

ตัวเก็บประจุกรองแรงดันที่ใช้กันโดยทั่วไปนั้นจะเป็นชนิดอิเล็กทรอไลต์ ซึ่งจะมีคุณสมบัติให้ความจุและทนแรงดันได้สูง แต่จะมีข้อเสีย คือมีขนาดใหญ่และราคาแพง ยิ่งตัวเก็บประจุมีค่าสูงและทนแรงดันได้สูงมากเท่าไร ก็จะยิ่งมีราคาแพงและขนาดใหญ่มากขึ้นเท่านั้น

Hold up time เป็นช่วงระยะเวลาอย่างต่ำที่แหล่งจ่ายไฟจะยังคงรักษาแรงดันที่เอาต์พุตได้ตามปกติที่โหลดสูงสุด เพิ่มอินพุตหยุดจ่ายหรือลดลงต่ำกว่าขีดจำกัดที่กำหนดไว้ hold up time นี้จะขึ้นอยู่กับค่าของตัวเก็บประจุกรองแรงดันภาระและแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุกรองแรงดัน ขณะที่แรงดันอินพุตตกหรือหยุดจ่ายกระแสไป

2.1.1.3 ไดโอดเรียงกระแส (Rectifier didoe)

ในวงจรเรียงกระแสนั้น เรามีหลักในการพิจารณาไดโอดที่จะนำมาใช้งาน จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

กระแสกระชาก ค่ากระแสสูงสุดในวงจรเรียงกระแส จะเกิดขึ้นในจังหวะที่เกิดการเก็บประจุที่ตัวเก็บประจุกรองแรงดันอีกครั้ง หลังจากการคายประจุแก่ภาระ

อัตราทนกระแสไบอัสตรง เป็นค่ากระแสสูงสุดที่ไดโอดทนได้ โดยไม่พังเสียก่อน โดยทั่วไปควรมีค่ามากกว่า 1.5 - 2 เท่าของค่ากระแสปกติ

อัตราแรงดันไบอัสกลับสูงสุด หรือเรียกอีกชื่อว่าแรงดันสูงสุดของการไบอัสย้อนกลับ เมื่อต่อไดโอดแบบบริดจ์ จะมีแรงดันตกคร่อมไดโอดเมื่อไบอัสกลับเท่ากับแรงดันเอาต์พุตของวงจร แต่เมื่อต่อแบบวงจรเรียงกระแส แบบทวีแรงดันจะมีแรงดันไบอัสกลับเป็น 2 เท่าของแรงดันเอาต์พุตไดโอดที่ใช้ควรมีค่าอัตราทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด ไม่ต่ำกว่าข้อกำหนดข้างต้น

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

2.1.2 ฟิวส์ (Fuse)

ในวงจรเรียงกระแสนี้จะมีอุปกรณ์สำคัญสำหรับป้องกันความเสียหายเนื่องจากกระแสเกินและแยกส่วนวงจรออกจากแหล่งจ่ายไฟกรณีที่มีการลัดวงจรเกิดขึ้น อุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในวงจรเรียงกระแส คือ ฟิวส์ ควรพิจารณาดังนี้คือ

ค่าอัตราทนแรงดัน ค่าอัตราทนแรงดันของฟวิส์นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรนำมาพิจารณาโดยที่ค่าอัตราทนแรงดันของฟิวส์ที่ใช้ควรจะมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับค่าของแรงดันในวงจร เพื่อลดการอาร์ตของฟิวส์ขณะตัดวงจร ซึ่งฟิวส์มาตรฐานสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์จะมีอัตราทนแรงดันได้ คือ 30, 60, 125, 250, 300, 600 และ 700 โวลต์ เป็นต้น

ค่าอัตราทนกระแส ค่าอัตราทนกระแสของฟิวส์สามารถกำหนดได้จากค่ากราฟ RMS ด้านอินพุต ของวงจรเรียงกระแสซึ่งว่าค่ากระแส RMS ของวงจรเรียงกระแส จะขึ้นอยู่กับค่าของภาระ ค่าความต้านทาน R_s และตัวเก็บประจุกรองแรงดัน ดังนั้นการพิจารณาอัตราทนกระแสของฟิวส์ จึงอาจกำหนดได้จากค่ากระแสของวงจรเรียงกระแสนั้นเอง และเพื่อเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานเราอาจจะเผื่อค่าอัตราทนกระแสไว้อีก 50% ก็ได้

ดังนั้นในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงจะมีฟิวส์ที่ใช้สำหรับวงจรเรียงกระแส หลายชนิด แต่ที่นิยมนำมาใช้ในวงจรเรียงกระแส คือ ฟิวส์ชนิดขาดช้า เพราะขณะเริ่มทำงานจะมีกระแสกระชากสูงเนื่องจากตัวเก็บประจุกรองแรงดัน ดังนั้นการใช้ฟิวส์ขาดช้านี้จะทำให้ฟิวส์ไม่ตัดวงจรขณะเปิดเครื่อง

2.1.3 วงจรกรองสัญญาณ RFI

ในการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง จะเป็นการงานในลักษณะการเปลี่ยนแปลงกระแสอย่างทันทีทันใดที่ค่ากระแสสูงๆ ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงจึงเป็นตัวสร้างสัญญาณรบกวนแม่เหล็ก(EMI) และสัญญาณรบกวนความถี่วิทยุ (RFI) ได้อย่างดี ซึ่งจะมีช่วงความถี่รบกวนอยู่ในช่วง 10 kHz ถึง 30 kHz เกิดจากการสวิตซ์ในภาคอินเวอร์เตอร์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วนี้จะเป็นรูปแบบของฮาร์มอนิกความถี่สูงอย่างโดดเด่น และความถี่เหล่านี้จะไปรบกวนการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ได้ไม่ว่าจะเป็นเครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องมือวัด ระบบคอมพิวเตอร์ ระบบสื่อสาร ระบบควบคุม ดังนั้นในแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตซิงที่ดีจึงต้องมี วงจรกรองสัญญาณรบกวน EMI/RFI

2.2 อินเวอร์เตอร์แรงดันกระแสตรง (DC to DC converter)

หลังจากที่ได้เรียนรู้ถึงหลักการออกแบบวงจรเรียงกระแส และวงจรกรองมาแล้ว ต่อไปจะมาพิจารณาถึงอินเวอร์เตอร์แรงดันกระแสตรง ซึ่งจากไดอะแกรมในภาพประกอบที่ 2.1 จะเป็นได้ว่าในส่วนของอินเวอร์เตอร์แรงดันกระแสตรง จะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญดังต่อไปนี้

- อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (High frequency inverter)
- หม้อแปลงความถี่สูง (High frequency transformer)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

- วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดัน(Input and output rectifier)

- ตัวควบคุม (Controller)

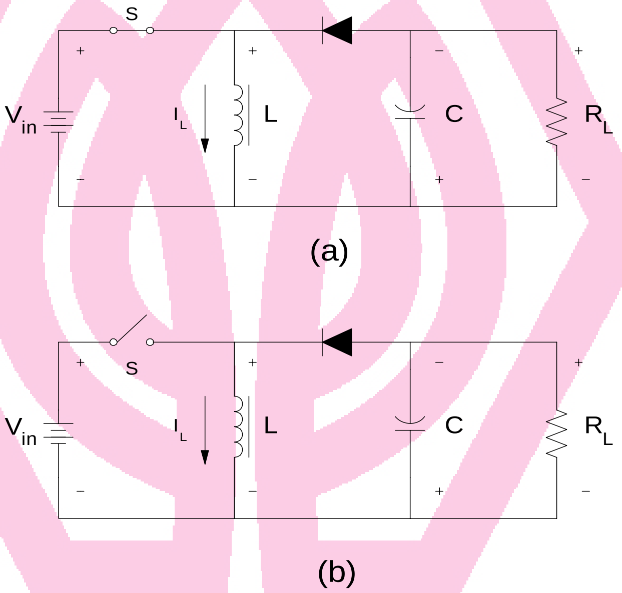
ถึงแม้ว่าคอนเวอร์เตอร์จะมีหลายแบบ แต่ก็ล้วนมีพื้นฐานมาจากวงจร 3 แบบคือ

- ฟลายเบ็ค หรือ บั๊ก-บูสต์ คอนเวอร์เตอร์ (Flyback or Buck-Boost)

- ฟอร์เวิร์ด หรือ บั๊ก คอนเวอร์เตอร์ (Forward or Buck)

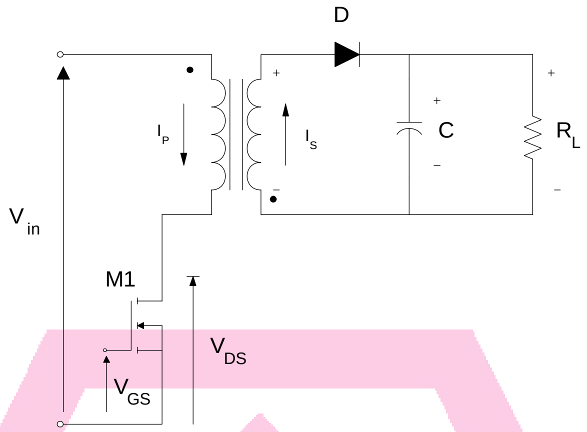
- พุช – พูล คอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull or Buck-Derived) ซึ่งในตระกูล พุช – พูล นี้ จะสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น ฮาร์ฟบริดจ์ และ ฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Half bridge and full bridge)

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



ภาพประกอบที่ 2.3 วงจรฟลายเบ็ค หรือ บั๊ก-บูสต์ คอนเวอร์เตอร์

ภาพประกอบที่ 2.3 แสดงลักษณะของฟลายเบ็ค คอนเวอร์เตอร์ เมื่อสวิตช์ S ปิด ภาพประกอบที่ 2.3 (a) กระแสจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ สะสมพลังงานในรูปของสนามแม่เหล็ก ไดโอด D จะถูกไบอัสกลับจึงยังไม่มีแรงดันตกคร่อม R_L ในขณะนี้ต่อมา เมื่อสวิตช์เปิด ภาพประกอบที่ 2.3 (b) ตัวเหนี่ยวนำก็จะคายพลังงานออกมาเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กยุบตัว แต่ขั้วของแรงดันจะกลับกันกับที่ป้อนเข้ามาทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรงนำกระแสจากการคายพลังงานกลับของตัวเหนี่ยวนำไปสู่ภาระและจะมีขั้วแรงดันตรงข้ามกับแรงดันอินพุต ถ้าสวิตช์เปิด-ปิดเป็นจังหวะอย่างต่อเนื่องกระแสอินพุตและเอาต์พุตก็จะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมอย่างต่อเนื่องด้วย จึงสามารถจะสรุปได้ว่า ในคอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้นั้นพลังงานจะถูกเก็บในตัวเหนี่ยวนำ ในระหว่างที่สวิตช์ปิดและพลังงานจะถูกปล่อยไปสู่ภาระในระหว่างสวิตช์เปิด

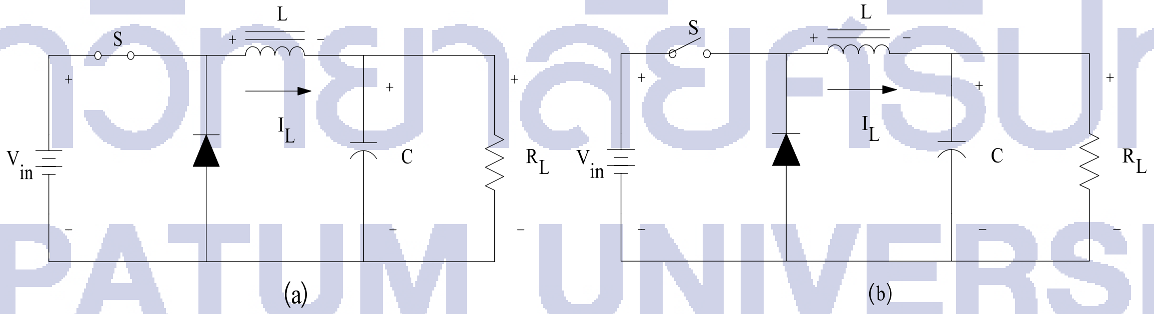


ภาพประกอบที่ 2.4 การแยกจากกันทางไฟฟ้าของวงจรฟลายเบ็ค คอนเวอร์เตอร์

แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงที่ใช้ในงานวิจัย หม้อแปลงแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างไฟตรง 310 โวลต์กับเอาต์พุต ฟลายเบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ที่ใช้กันในทางปฏิบัติดังภาพประกอบที่ 2.4

การทำงานฟลายเบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ก็คือ เมื่อมอสเฟต M_1 นำกระแส กระแสจะไหลผ่านขดปฐมภูมิ และสะสมพลังงานไว้ แต่แรงดันที่เกิดขึ้นที่ขดทุติยภูมิจะมีขั้วตรงกันข้ามกับขดปฐมภูมิ (สังเกตจากจุดที่ขดปฐมภูมิ) ดังนั้นจึงไม่มีพลังงานปล่อยไปยังภาระ เพราะไดโอดถูกไบอัสกลับและเมื่อ M_1 หยุดนำกระแสของปฐมภูมิ ของหม้อแปลงจะคายพลังงานออกมาแต่ขั้วแรงดันจะกลับกัน ทำให้ไดโอดด้านทุติยภูมิ ได้รับไบอัสตรงนำกระแสผ่านไปยัง ภาระและตัวเก็บประจุ แม้ว่าหม้อแปลงจะทำให้หน้าที่แยกจากกันทางไฟฟ้าแล้วยังกระทำตัวเป็นโชค์ก อีกด้วย ซึ่งในทางทฤษฎีไม่จำเป็นต้องใส่ตัวเหนี่ยวนำที่เอาต์พุตอีก แต่ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องใส่ตัวเหนี่ยวนำค่าน้อยๆ ไว้ตรงระหว่างไดโอดและตัวเก็บประจุ เพื่อทำการกำจัดสัญญาณรบกวน EMI/RFI ที่เกิดจากการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์เอง

2.2.2 ฟอร์เวิร์ด หรือ บั๊ก คอนเวอร์เตอร์ (Forward or Buck)



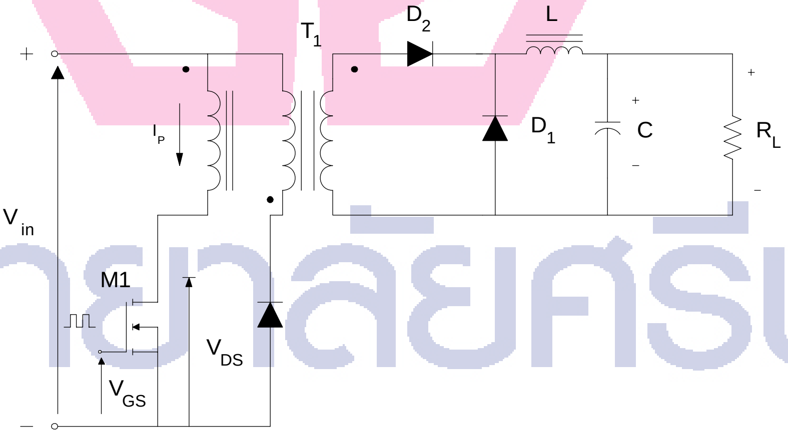
ภาพประกอบที่ 2.5 วงจรฟอร์เวิร์ด หรือ บั๊ก คอนเวอร์เตอร์

ภาพประกอบที่ 2.5 แสดงการทำงานของ ฟอร์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์เมื่อสวิตช์ปิดกระแสจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไปสู่ภาระ ทำให้มีแรงดันตกคร่อมภาระและมีขั้วเหมือนกับอินพุต ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.5(a) ไดโอดจะถูกไบอัสกลับ ในตอนนี้และเมื่อสวิตช์เปิดสนามแม่เหล็กที่ตัวเหนี่ยวนำจะยุบตัวคายพลังงานออกมาในรูปกระแสและมีขั้วแรงดันดังภาพประกอบที่ 2.5(b) ทำให้

ไดโอดได้รับ ไบอัสตรงนำกระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุและภาระ แรงดันที่ตกคร่อมภาระจึงยังมีขั้วเหมือนเดิม ไดโอดในวงจรนี้มักจะถูกเรียกว่า free wheeling หรือ flywheel diode เพราะการทำงานดังกล่าวกระแสเอาต์พุต ที่ได้จะต่อเนื่อง ถึงแม้ขณะที่กระแสอินพุตจะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมก็ตาม

แต่ถึงอย่างไรก็ตามรูปแบบวงจรพื้นฐานของฟอร์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์ ที่แสดงในภาพประกอบที่ 2.5 นั้นจะไม่ได้รับการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุต กับ เอาต์พุต จึงไม่ค่อยปลอดภัยนัก ดังนั้นจึงพัฒนามาเป็นวงจรในภาพประกอบที่ 2.6 เมื่อ M_1 ทำงานจะมีกระแสไหลผ่านขดทุติยภูมิ ของหม้อแปลงและเก็บพลังงานไว้ในรูปสนามแม่เหล็กและยังส่งสนามแม่เหล็กบางส่วนไปคล้องเกี่ยวอีก 2 ขด ที่เหลือโดยแรงดันที่จุดของ 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 หยุดทำงานโดยจะส่งพลังงานแม่เหล็กกลับจากทิศทางเดิมในรูปของกระแส โดยกระแส Magnetization มีค่าเท่ากับสมการที่ 2.2

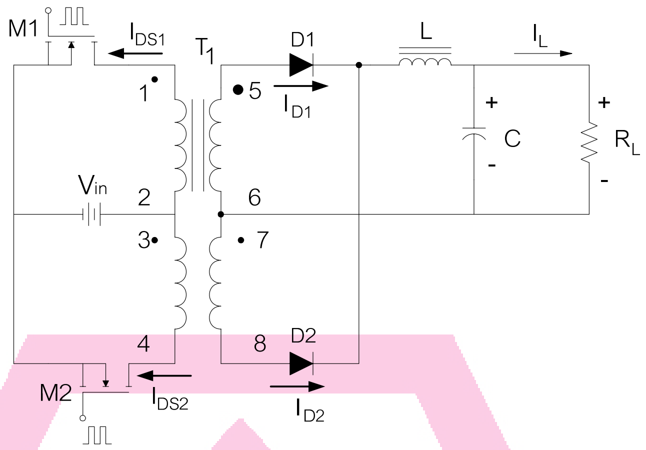
$$I_{\max} = \frac{TD_{(\max)}V_m}{L} \qquad (2.2)$$



ภาพประกอบที่ 2.6 การแยกจากกันทางไฟฟ้าของวงจรฟอร์เวิร์ด หรือ บั๊ก คอนเวอร์เตอร์

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

การทำงานของพุช – พูล คอนเวอร์เตอร์ เปรียบเหมือนการนำ ฟอร์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์ 2 วงจรมาต่อร่วมกันโดยผลัดกันทำงานในแต่ละครึ่งคาบเวลาในลักษณะกลับเฟส ลักษณะวงจรพื้นฐานของพุช – พูล คอนเวอร์เตอร์ ดังภาพประกอบที่ 2.7



ภาพประกอบที่ 2.7 วงจรพุช – พูล คอนเวอร์เตอร์

ลักษณะการทำงานของ พุช – พูล คอนเวอร์เตอร์ จะทำงานดังนี้คือ เมื่อ M_1 นำกระแสก็จะมีกระแสไหลผ่านขดปฐมภูมิของ T_1 จากจุด 2 ไปยังจุด 1 ดังนั้นจุด 5 และ 7 ทางด้านขดทุติยภูมิจึงมีศักย์เป็นลบ เมื่อเทียบกับจุด 6 และ8 ตามลำลับ D_1 จึงถูกไบอัสกลับในขณะที่ D_2 ได้รับไบอัสตรงนำกระแส I_{D2} ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและภาระ และในลักษณะเดียวกันเมื่อ M_2 นำกระแสก็จะมีกระแสไหลผ่านจากจุด 3 ไปจุด 4 ของขดปฐมภูมิ ทำให้จุด 5 และ 7 มีศักย์เป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด 6 และ 8 ตามลำดับ D_1 จึงนำกระแส I_{D1} ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและภาระในขณะที่ D_2 ถูกไบอัสกลับแรงดันเอาต์พุตที่ตกคร่อมภาระ (R_L) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.3

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

ข้อดีของ พุช – พูล คอนเวอร์เตอร์

- ปริมาตรของแกนเล็กลง
- มอสเฟตทั้งสองถูกขับด้วยกราวด์เดียวกัน ทำให้วงจรขับเกทไม่ยุ่งยาก

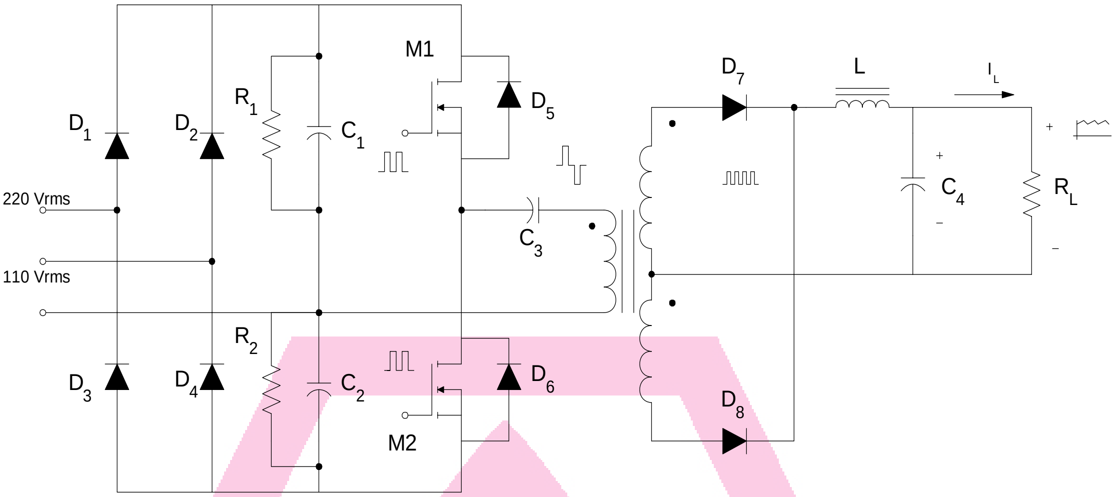
ข้อเสียของ พุช – พูล คอนเวอร์เตอร์

- มอสเฟตกำลังที่ใช้จะต้องสามารถทนแรงดันได้มากกว่า 2 เท่าของแรงดันอินพุต
- มอสเฟตกำลังที่ทนกระแสและแรงดันสูงๆ หาได้ยากและมีราคาแพง
- เกิดปัญหาฟลั๊กซ์ไม่สมมาตรในแกนเฟอร์ไรต์ของวงจร

2.2.4 ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Half Bridge Converter)

ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ จัดว่าเป็นคอนเวอร์เตอร์ตระกูลเดียวกันกับพุช – พูล คอนเวอร์เตอร์ เพราะใช้หลักการเดียวกัน แต่ลักษณะการจัดวงจรของ ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ จะทำให้มอสเฟตภายในวงจรมีแรงดันตกคร่อมขณะหยุดนำกระแสเพียงค่าแรงดันอินพุตเท่านั้น ดังภาพประกอบที่ 2.8

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY



ภาพประกอบที่ 2.8 วงจรฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์

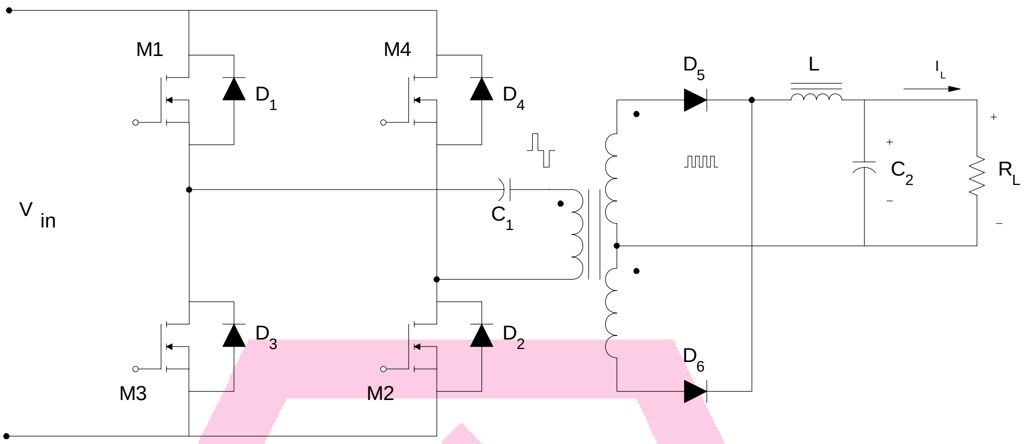
จากภาพประกอบที่ 2.8 ได้ว่าขดปฐมภูมิแต่ละด้านของหม้อแปลง จะถูกต่ออยู่กับจุดที่มีแรงดันไฟตรงเป็นครึ่งหนึ่ง โดยมีมอสเฟต M_1 และ M_2 เป็นสวิตช์ตัดต่อ ทำให้ได้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมป้อนแก่ขดปฐมภูมิ ของหม้อแปลง จากนั้นจึงทำการเรียงกระแสและกรอง ด้านเอาต์พุตของทุติยภูมิ ด้วย D_7 D_8 L และ C_4 ได้เป็นไฟกระแสตรงป้อนแก่ภาระ

ซึ่งลักษณะการทำงานของ ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ จะมีข้อดี คือ ขณะที่ มอสเฟต M_1 และ M_2 ไม่ทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมน้อยกว่าแรงดันอินพุตครึ่งหนึ่ง จึงทำให้สามารถใช้ มอสเฟตที่ทนแรงดันไม่สูงนักได้ แต่จะมีข้อเสีย คือ กระแสที่ไหลผ่านมอสเฟตกำลังขณะทำงานจะมีค่าเป็น 2 เท่าของแบบ พุช – พูล คอนเวอร์เตอร์

2.2.5 ฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Full Bridge Converter)

จาก ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ ที่สามารถลดแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ลงมาครึ่งหนึ่งของ V_{in} และสามารถป้องกันไม่ให้แกนของหม้อแปลงอิ่มตัวแล้ว แต่ว่าจะมีปัญหาเรื่องกระแสที่ไหลผ่านมอสเฟตกำลัง ทำงานเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของแบบพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นจากข้อจำกัดของฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ ที่กล่าวไปแล้วนั้น จะเป็นผลทำให้ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ ในงานที่ต้องการกำลังต่ำ และปานกลางไม่สูงมากนัก เพราะว่า มอสเฟตกำลัง ที่ทนแรงดันประมาณ 400-500 โวลต์ แต่ทนกระแสได้สูงๆ นั้นหายากและมีราคาแพง ดังนั้นจึงได้พัฒนาจนได้ฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ ขึ้นมา ซึ่งคอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้จะรวมนำเอาข้อดีทางด้านกระแสของ พุช-พูล และลักษณะเด่นด้านแรงดันของวงจรฮาร์ฟบริดจ์ ไว้ด้วยกัน ดังภาพประกอบที่ 2.9

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY



ภาพประกอบที่ 2.9 วงจรฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์

โดยการทำงานของฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ นั้น จะทำงานโดยที่มอสเฟตกำลัง M_1 นำกระแสพร้อมกับ M_2 และ M_3 นำกระแสพร้อมกับ M_4 โดยแต่ละคู่จะผลัดกันทำงาน ซึ่งจากการทำงานในลักษณะเช่นนี้ จะทำให้แรงดันที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลง มีแรงดันเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง V_{in} อีกทั้งกระแสที่ไหลผ่านก็ยังเท่ากับวงจรพุช-พูลอีกด้วย แต่ข้อเสียของวงจรนี้ก็คือ ต้องใช้มอสเฟต ถึง 4 ตัว และเนื่องจากต้องให้คู่มอสเฟต ทำงานไม่พร้อมกัน ดังนั้นจึงต้องแยกใช้วงจรขับเกทของมอสเฟต แต่ละคู่ออกจากกันโดยเด็ดขาด

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

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

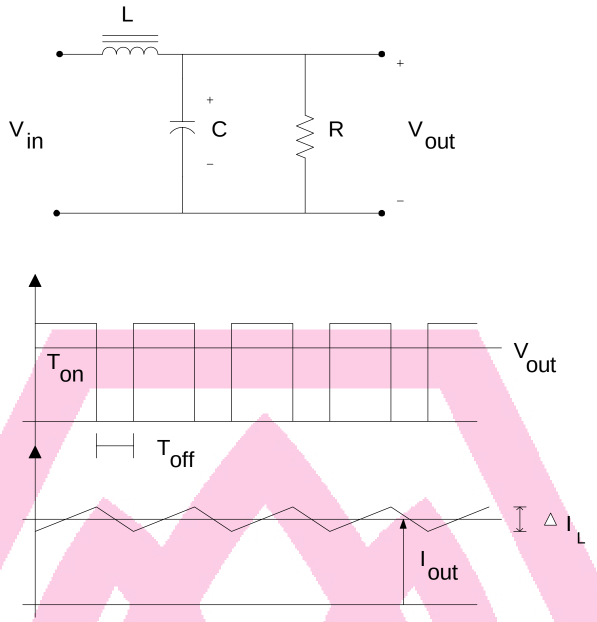
$$di = \Delta L_L$$

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

ในกรณีของ ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ หรือฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ แรงดัน V_{in} จะมีค่าเป็นสองเท่าของแรงดัน V_{out} ทำให้ได้สมการหาค่าความเหนี่ยวนำในวงจรกรองแรงดันด้านเอาต์พุต ได้จากสมการที่ 2.4

$$L = \frac{Vout(1-D)\times 10^4}{2f\Delta I_1} \quad (2.4)$$

จากภาพประกอบที่ 2.10 ในทางปฏิบัติเพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตที่ราบเรียบ ΔI_L จะต้องไม่เกิน $0.25I_{out}$



ภาพประกอบที่ 2.10 วงจรและรูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุต

2.2.6 หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer)

เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด จะพบว่ารอบๆ แกนปิด จะเกิดการเหนี่ยวนำฟลั๊กซ์ขึ้นภายในแกน และถ้าเพิ่มจำนวนขดลวดอีกขดหนึ่งให้พันอยู่ในแกนเดียวกัน ฟลั๊กซ์จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันและกระแสไหลที่ขดลวดที่สอง เราเรียกขดลวดที่หนึ่งว่า ขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดที่สอง ที่พันเพิ่มเข้าไปว่า ขดลวดทุติยภูมิ

โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงจะมีแรงดันเอาต์พุตสูงหรือต่ำ เกิดจากสัดส่วนการพัน โดยกำหนดจากสมการที่ 2.5

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \tag{2.5}$$

ดังนั้นหม้อแปลงก็จะสามารถทำงานเป็น Step-up หรือ Step-down ได้โดยสามารถทำให้แรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ นั้นสูงกว่าหรือต่ำกว่าที่ขดลวดปฐมภูมิ และถ้าเพิ่มขดลวดทุติยภูมิ มีอีกหลายๆ ขด เราก็จะได้แรงดันเอาต์พุตอีกหลายระดับตามสัดส่วนการพันเช่นกัน ประโยชน์ที่สำคัญอีกข้อหนึ่งโดยใช้ลักษณะสมบัติของหม้อแปลงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือการแยกกันทางไฟฟ้า (Electrical Isolation) ที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ จากความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง สมการที่ 2.6

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

เราสามารถคำนวณหาความหนาแน่นฟลั๊กซ์ (B) ที่แน่นอนได้ โดยกำหนดการทำงานของหม้อแปลงให้อยู่ในส่วนที่เป็นเชิงเส้นของกราฟ ดังสมการที่ 2.7

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

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

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

ในกรณีเลือกแกนนั้นก็ยังมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญๆ อีก 2 ตัวแปรก็คือ พื้นที่การพันของแกน (หรือบอบบิ้น) ซึ่งจะต้องเลือกให้กว้างพอกับขนาดของเส้นลวด เพื่อให้เกิด Wirding loss น้อยที่สุด และตัวแปรสองคือ Core’s Power Handing Capability สมการของตัวพารามิเตอร์มีดังสมการที่ 2.9

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

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

ผู้ผลิตบางรายใช้สัญลักษณ์ W_a สำหรับพื้นที่หน้าต่างของบอบบิ้น แทนสัญลักษณ์ A_e โดยปกติแล้ว ความหนาแน่นกระแสมีหน่วยใน Circular Mils Per Ampere ใช้สัญลักษณ์เป็น D โดยเขียนเป็นความสัมพันธ์กับ d ได้ดังสมการที่ 2.10

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

แทนสมการทั้งสองข้างต้นจะได้สมการที่ 2.11

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

สมการที่ 2.12 เป็นสมการที่ใช้กันมากในการคำนวณ และเลือกขนาดของแกนหม้อแปลง

$$A_c A_w = \frac{(0.68 P_{out} D)10^3}{fB_{\max}} \qquad (2.12)$$

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ความหนาแน่นกระแส (D) จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตเส้นลวด ที่ความหนาแน่นกระแส 1000 centimeter per ampere(cm/A) ในทางปฏิบัติจะเลือกใช้ความหนาแน่นกระแส 500 cm/A

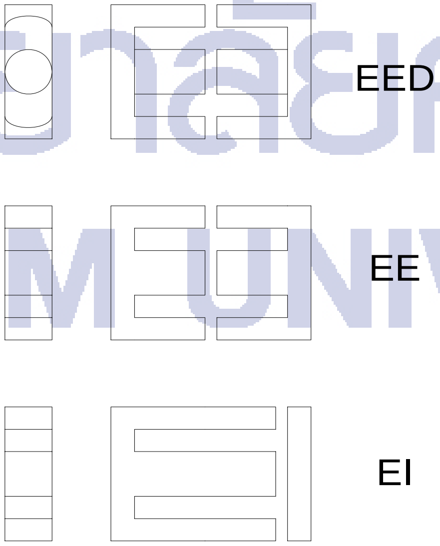
ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตชิง

หม้อแปลงสวิตชิงมีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันไฟตรงที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ซึ่งอาจมีค่าสูงได้ถึง 310 โวลต์ ให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟค่าต่ำที่เอาต์พุต และทำให้เกิดการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุต และแรงดันเอาต์พุตที่ได้ เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูดส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงสวิตชิงมีรายละเอียดดังนี้

แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กสูงกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศมาก เฟอร์ไรต์มีค่าจุดอิ่มตัวฟลั๊กซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูง ประมาณในช่วง 3,000 ถึง 4,000 เก๊าส์ และเกิดการสูญเสียในตัวมันต่ำที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นหม้อแปลงสวิตชิงจึงนิยมใช้แกนเป็นแกนเฟอร์ไรต์มากที่สุด เฟอร์ไรต์ที่นำมาใช้ทำแกนของหม้อแปลงสวิตชิงจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานในการออกแบบ

ลักษณะและขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ ซึ่งแกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงสวิตชิงโดยทั่วไป จะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่างๆ ตามมาตรฐานเดียวกัน เช่น แกนแบบ EI,   EE, ETD หรือแกนแบบ POT เป็นต้น ปกติผู้ผลิตจะทำแกนเฟอร์ไรต์ออกมาในลักษณะของคู่ประกบเพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับบอบบิ้น การประกอบแกนเฟอร์ไรต์บนบอบบิ้นจะทำให้ทางเดินของฟลั๊กซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นวงบรรจบได้ ลักษณะของแกนเฟอร์ไรต์แบบต่างๆ ดังภาพประกอบที่ 2.11



ภาพประกอบที่ 2.11 ลักษณะแกนเฟอร์ไรต์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

2.2.7 ทรานซิสเตอร์กำลัง

ในระบบแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง ส่วนมากมักจะใช้ทรานซิสเตอร์กำลังราวๆ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ในสภาวะปัจจุบัน มอสเฟตได้เข้ามาแทนที่อย่างรวดเร็ว แต่ข้อดีของทรานซิสเตอร์กำลังก็มีอยู่ คือ มีอัตราทนแรงดันสูงและมีราคาถูก

การออกแบบทรานซิสเตอร์กำลังนั้น ต้องคำนึงถึงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์กำลังตัวนั้นๆ ด้วย เพราะทรานซิสเตอร์นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยกระแส โดยกระแสควบคุมนั้นได้จากสมการที่ 2.13

$$I_b > \frac{I_e}{h_{fe}} \tag{2.13}$$

กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์กำลัง

กำลังงานสูญเสียเป็นไปได้ 2 ลักษณะ คือ กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน (Switching loss) และกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว (Saturation loss) แต่กำลังงานสูญเสียนั้นจะเกิดขณะ ที่เริ่มหยุดนำกระแสเป็นหลัก

การทำให้กำลังสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแสมีค่าน้อยที่สุดจะทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังมีประสิทธิภาพสูงสุดและจะช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นที่ทรานซิสเตอร์กำลังขณะทำงานด้วย

การพิจารณาในการเลือกใช้ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์กำลังควรพิจารณาดังนี้ 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)

การออกแบบควรพิจารณาเงื่อนไขต่างๆ ที่จะเกิดกับทรานซิสเตอร์กำลัง ขณะเริ่มนำกระแสด้วย โดยต้องจำกัดค่าแรงดันตกคร่อมและกระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแส ให้มีค่าอยู่ภายใต้พื้นที่ของกราฟ FBSOA และพิจารณาช่วงเวลาขณะเริ่มหยุดนำกระแสจะแสดงโดยกราฟ RBSOA และขึ้นอยู่กับแรงดันไบแอสกลับของทรานซิสเตอร์กำลังขณะเริ่มหยุดนำกระแสด้วย

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

2.2.8 มอสเฟตกำลัง

ในปัจจุบัน มอสเฟตได้มีบทบาทมากในวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง เพราะสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง และใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น มอสเฟตกำลังจะใช้แรงดันเป็นตัวควบคุมการทำงานและเช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์กำลังขณะอิ่มตัวจะได้

$$g_m = \frac{1}{R_{DS(on)}} \qquad (2.14)$$

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

กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของมอสเฟตกำลัง

มี 2 ลักษณะเช่นเดียวกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ คือ กำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะและกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแส แต่ช่วงเวลาการเปลี่ยนสถานะของมอสเฟตกำลังจะสั้นกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะตามโครงสร้างจะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้นในตัวมอสเฟตกำลัง แต่จะมีค่าความต้านทานขณะนำกระแสสูงกว่าทรานซิสเตอร์กำลัง

เงื่อนไขของวงจรขับมอสเฟตกำลัง

ค่าความจุไฟฟ้า (Mosfet Capacitor) เนื่องจากโครงสร้างภายในตัวมอสเฟตกำลัง เหมือนมีตัวเก็บประจุต่ออยู่รอบๆ ขาตัวเก็บประจุจะทำให้มอสเฟตกำลังต้องเก็บประจุเข้าไปที่ตัวเก็บประจุก่อนเพื่อที่จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมขาเกท (V_{GS}) มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันเริ่มทำงาน ส่วนในการที่จะทำให้มอสเฟตกำลังหยุดนำกระแส ก็จะต้องทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกจนแรงดันตกคร่อมที่ขาเกทลดลงต่ำกว่าแรงดันเริ่มทำงาน จึงเป็นผลให้มอสเฟตกำลังหยุดนำกระแส

ค่าความจุของตัวเก็บประจุที่อยู่ในตัวมอสเฟตกำลังนี้ จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของตัวมอสเฟตกำลังเอง ดังนั้นการขับมอสเฟตกำลังให้นำกระแสได้นั้น จะต้องมีการเก็บประจุและคายประจุที่ขาเกท และต้องให้แรงดันตกคร่อมที่ขาเกทมีค่ามากพอ เพื่อที่มอสเฟตกำลังจะได้ทำงานเต็มประสิทธิภาพ

2.2.9 ไดโอดในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง

เนื่องจากไดโอดอยู่ด้านเอาต์พุตจะต้องทำงานที่ความถี่สูง จึงเกิดกำลังงานสูญเสียทั้งขณะนำกระแสและขณะเปลี่ยนสถานะ ส่วนการใช้งานไดโอดที่ความถี่ต่ำๆ กำลังงานสูญเสียส่วนใหญ่เกิดขึ้นขณะนำกระแสเท่านั้น ดังที่เราทราบว่าคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าความถี่ในการทำงานตั้งแต่ 20 kHz ขึ้นไป การเลือกใช้ชนิดของไดโอดจึงต้องมีคุณสมบัติดังนี้ มีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำ มีช่วงเวลาคืนตัวสั้นและสามารถทนกำลังได้สูง ไดโอดที่ใช้งานในวงจรเรียงกระแสโดยทั่วไปไม่สามารถนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากมีช่วงเวลาคืนตัวมาก ดังนั้นการเลือกใช้งานจากไดโอด 3 ชนิด คือ

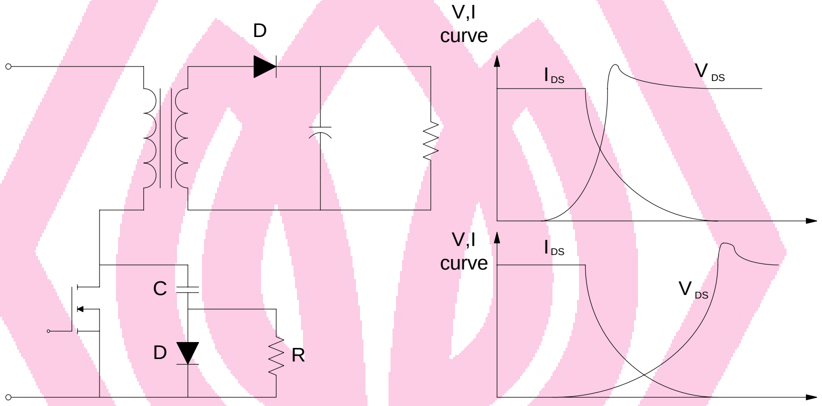
- Fast Recovery Diode
- Ultra Fast Recovery Diode
- Schottky Diode

2.3 วงจรสนับเบอร์ (Snubbers)

เป็นส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาในวงจรคอนเวอร์เตอร์เพื่อลดกำลังงานสูญเสียและป้องกันการเสียหายของสวิตชิงกำลัง อาจแบ่งได้ 2 ลักษณะ วงจรสนับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส และวงจรสนับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน

วงจรสนับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส

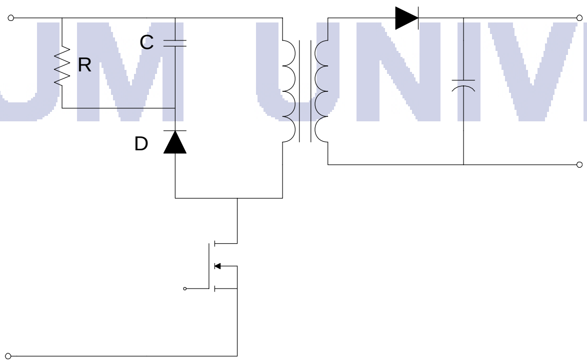
การใส่วงจรสนับเบอร์เข้าไปในส่วนนี้ก็เพื่อลดการเกิดกำลังงานสูญเสีย ซึ่งจะควบคุมแรงดันที่ตกคร่อม drain และ source ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านตัวสวิตช์กำลังนั้นลดลงได้ทันกัน ลักษณะการต่อวงจร ดังภาพประกอบที่ 2.12



ภาพประกอบที่ 2.12 วงจรสนับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส

วงจรสนับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน

โดยทั่วไปการพังเสียหายของสวิตช์กำลังนั้น ส่วนมากมักจะมาจากการทำงานที่เกินพิกัดความปลอดภัย ซึ่ง spice voltage ขณะหยุดนำกระแส มักทำให้ค่าของแรงดันตกคร่อมสวิตช์กำลังขณะเริ่มหยุดนำกระแสมีค่าสูงจนเกินแรงดันสูงสุดที่ตัวมันจะทนได้ วงจรในส่วนนี้จะเป็นวงจรที่ป้องกัน spice voltage ที่เกิดขึ้น ไม่ให้เกินพิกัดความปลอดภัยของตัวสวิตช์กำลัง โดยมีลักษณะการต่อวงจร ดังภาพประกอบที่ 2.13



ภาพประกอบที่ 2.13 วงจรสนับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

2.4 ตัวควบคุมประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระบบการควบคุมแบบฟัซซี ซึ่งเป็นการควบคุมความไม่แน่นอนของเอาต์พุตเพื่อให้ระบบ ให้มีการทำงานตามต้องการ โดยการใช้ตัวประมวลผลของบริษัท Phillip รุ่น LPC2138 มีข้อเด่นทางฮาร์ดแวร์ไม่ว่าจะเป็น ดิจิตอลอินพุตพอร์ต อนาล็อกอินพุตพอร์ต วงจรตั้งเวลาตัวนับ และส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ตัวโปรแกรมที่ใช้เขียนโดยภาษาซี สิ่งที่ทำการควบคุมในวิจัยนี้ คือเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของแรงดันด้านเอาต์พุตที่คงที่และมีค่าสมรรถนะในการควบคุมได้ ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในค่าต่างๆ

ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) หรือ ตรรกศาสตร์คลุมเครือ เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ (แบบ logic หรือตรรกศาสตร์) ผู้ให้กำเนิดทฤษฎีเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกแบบที่ใช้กันอยู่ทั่วไป คือ ลอฟติ เอ. ซาดาห์ เมื่อปี พ.ศ. 2508 ที่จะเชื่อมโยงระบบเกี่ยวกับการทำงานสองระบบที่แตกต่างกัน ในเรื่องความชัดเจน โดยที่ผลการคำนวณหรือวิธีการคำนวณ ไม่เป็นไปตามกฎทางคณิตศาสตร์กฎใดกฎหนึ่งเพียงอย่างเดียว ส่วนอีกระบบหนึ่งผลการคำนวณหรือวิธีการคำนวณ เป็นไปตามกฎทางคณิตศาสตร์กฎใดกฎหนึ่ง

ยังมีคำอธิบายความหมายอีกอย่างหนึ่งของฟัซซีลอจิก โดยเน้นระบบที่เหมาะสมสำหรับ ฟัซซีลอจิกหรือฟัซซีคอนโทรลคือ ฟัซซีลอจิก เป็น logic หรือ method ที่จะใช้จัดการกับระบบที่มีความแปรปรวนของกระบวนการสูง และผลที่ออกมาก็มีความไม่แน่นอนสูง ตัวอย่างดีที่สุดสำหรับฟัซซีลอจิกก็คือสมองมนุษย์นี่เอง ที่กระบวนการทำงานออกมาเป็นความคิดซับซ้อน ไม่คงเส้นคงวา หรือขึ้นอยู่กับปัจจัยอย่างใดอย่างหนึ่งคงที่ตลอดเวลา

เนื่องจากฟัซซีลอจิกเป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้จัดการปัญหาที่มีความไม่แน่นอนหรือความน่าจะเป็นอยู่ด้วย คณิตศาสตร์ที่ใช้จึงเป็นคณิตศาสตร์เกี่ยวกับ "ความน่าจะเป็น" คือ "probability" ตัวคณิตศาสตร์เองที่ใช้มากที่สุด คือ "Set" (เซต) หรือ "Set Theory" หรือ "Set Logic" ตรรกศาสตร์คลุมเครือนั้น สามารถระบุความเป็นสมาชิกของเซต (set membership values) ด้วยค่าระหว่าง 0 และ 1 ทำให้เกิดระดับกึ่งในลักษณะของ สีเทา นอกจาก ขาว และ ดำ ซึ่งมีประโยชน์ในการจำลอง ระดับซึ่งสามารถระบุด้วยคำพูด “ เล็กน้อย ” “ ค่อนข้าง ” “ มาก ” โดยใช้ค่าความเป็นสมาชิกของเซตบางส่วน ตรรกศาสตร์คลุมเครือนี้มีความสัมพันธ์กับ เซตวิภัชนัย (en : fuzzy set) และ ทฤษฎีความเป็นไปได้ (en : possibility theory) โดยเป็นการใช้แหตุผลแบบประมาณ ซึ่งแตกต่างจากการใช้เหตุผลแบบเด็ดขาดในลักษณะ ถูก \ ผิด , ใช่ \ ไม่ใช่ ของตรรกศาตร์แบบฉบับ (Classical Logic) ตรรกศาตร์คลุมเครือนั้นสามารถถือเป็นการประยุกต์ใช้งานเซตวิภัชนัย เพื่อจำลองการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญต่อปัญหาที่ซับซ้อน ค่าระดับความจริง ในตรรกศาตร์คลุมเครือนั้นมักจะสับสนกับ ค่าความน่าจะเป็น ซึ่งมีแนวความคิดที่แตกต่างกัน ค่าระดับความจริงคลุมเครือนั้นใช้ในการระบุ ค่าความเป็นสมาชิกของเซต แต่ความน่าจะเป็นนั้น ระบุความเป็นไปได้ของสภาพการณ์แต่ละรูปแบบที่อาจจะเกิดขึ้น

ตัวอย่างบทบาทของฟัซซีลอจิกที่ได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษ คือ การพัฒนาคอมพิวเตอร์ให้เลียนแบบการคิดของมนุษย์ดังเช่น artificial intelligence (ปัญญาประดิษฐ์) และ expert system (ระบบหรือคอมพิวเตอร์ผู้เชี่ยวชาญ)

ฟัซซีลอจิก (fuzzy logic) พัฒนาจาก ทฤษฎีเซตวิภัชนัย โดยเป็นการใช้เหตุผลแบบประมาณ ซึ่งแตกต่างจากการใช้เหตุผลแบบเด็ดขาดในลักษณะ ถูก/ผิด ใช่/ไม่ใช่ ของ ตรรกศาสตร์แบบฉบับ (classical logic) ตรรกศาสตร์คลุมเครือนั้นสามารถถือเป็นการประยุกต์ใช้งานเซตวิภัชนัย เพื่อจำลองการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ ต่อปัญหาที่ซับซ้อน ซึ่งใช้ตัวเลขแทนตัวแปรที่เป็นภาษาพูดตามธรรมชาติที่คลุมเครือไม่ชัดเจนของมนุษย์ เนื่องจากฟัซซีลอจิกจัดการกับข้อมูล โดยประมาณอย่างเป็นระบบ ทำให้สามารถนำฟัซซีลอจิกมาใช้ควบคุมระบบนอนลิเนียร์ (non-linear หรือ ไม่เป็นเชิงเส้น) หรือจำลองระบบที่ซับซ้อน (complex system modeling) ได้อย่างง่ายดายและมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีหลักการใช้โดยการลอกเลียนแบบความคิดของมนุษย์ โดยไม่เน้นแค่ ถูกหรือ ผิด เพียงอย่างเดียว และปัจจุบันได้มีการนำไปใช้ประโยชน์กับเทคโนโลยีต่างๆ มากมาย เป็นการประมวลผลของข้อมูลโดยใช้เฉพาะบางส่วนของสมาชิกภายในเซต โดยใช้หลักแนวคิดแบบเดียวกันกับมนุษย์ เช่น การแก้ไขปัญหา การตัดสินใจแต่การทำงานจะทำให้การตัดสินใจนั้นรวดเร็วยิ่งขึ้น จะเป็นไปตามขั้นตอน คือ กำหนดวัตถุประสงค์กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต ใช้โครงสร้างพื้นฐาน โดยกำหนดปัญหาให้อยู่ในรูปของ X และ Y แล้ว Z แทนการใช้แบบจำลองระบบทางคณิตศาสตร์ สร้างสมาชิกของฟังก์ชันของตรรกศาสตร์คลุมเครือ สร้างลำดับของตรรกศาสตร์คลุมเครือ การทดสอบระบบการประเมินผลจนได้เป็นข้อสรุปที่มีการยอมรับ การประมวลผลของข้อมูลที่คล้ายคลึงกับการตัดสินใจของมนุษย์ แนวคิดที่มีความซับซ้อนมากกว่าถูกหรือผิดเพียงอย่างเดียว โดยการทำงานนั้นจะมีความสามารถมากยิ่งขึ้น ขึ้นอยู่กับการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงกฎและข้อสรุปที่ใช้

การประยุกต์ใช้งานตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยทั่วไปจะใช้ในการจำลองความรู้หรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้เหตุผลหรือการตัดสินใจต่อสภาวะการณ์ต่างๆ ของมนุษย์นั้นสามารถเขียนอยู่ในรูปเชิงภาษาศาสตร์ของระบบกฎเกณฑ์ (Rule – Based system) คือ กฎเกณฑ์การพิจารณาเงื่อนไข IF (ถ้า) <เงื่อนไข> THEN (แล้ว) <ผลที่ตามมา> หรือ อยู่ในรูปอื่นที่เท่าเทียมกัน เช่น เมตริกซ์เปลี่ยนหมู่ฟัซซี (fuzzy associative matrices) เซตที่สร้างขึ้นนี้เรียกว่าเซตของความคลุมเครือ หรือ ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) หรือ เซตวิภัชนัย (ตามศัพท์บัญญัติของราชบัณฑิตยสถาน)

2.4.1 นิยามพื้นฐานของฟัซซีเซต

ซัพพอร์ตของฟัซซีเซต (Support of fuzzy set) คือ คลิปเซตของสมาชิก x ในเอกภพสัมพัทธ์ ที่มีอัตราความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต มากกว่า 0 เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$\sup(A) = \{x \in U / \mu_A(x) > 0\} \quad (2.16)$$

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

A = ฟัซซีเซตใดๆ

Sup(A) = ซัพพอร์ตของฟัซซีเซต A

ฟัซซีซิงเกิลตัน (Fuzzy Singleton) คือ ซัพพอร์ตของฟัซซีเซตที่มีสมาชิกเพียงตัวเดียว

ศูนย์กลางของฟัซซี (Centre of fuzzy) คือ ค่ากึ่งกลางของฟัซซีเซต หรือค่าสูงสุดของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

จุดแบ่งของฟัซซีเซต (Crossover point of fuzzy set) คือ จุดใด ๆ ในเอกภพสัมพัทธ์ ที่มีอัตราความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.5

ความสูงของฟัซซีเซต (Height of Fuzzy Set) คือ ค่าสูงสุดของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

α - cut เซตของฟัซซีเซต (α-cut set of fuzzy set) คือ คลิปเซตของสมาชิก x ทั้งหมด ที่มีอัตราความเป็นสมาชิก มากกว่าหรือเท่ากับ α เขียนแทนด้วย

$$A_a = \{x \in U / \mu_A(x) \geq a\} \tag{2.17}$$

2.4.2 ตัวปฏิบัติการฟัซซี

การเท่ากันของฟัซซีเซต (Equality)

ฟัซซีเซต A และ B จะเท่ากันก็ต่อเมื่อ ฟัซซีเซตทั้งสองถูกนิยามบนเอกภพสัมพัทธ์เดียวกันและมีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเหมือนกัน นั่นคือ

$$\mu_A(x) = \mu_B(x) \qquad \forall x \in U \tag{2.18}$$

การเป็นสับเซตของฟัซซีเซต (Contain)

ฟัซซีเซต A จะบรรจุอยู่ในฟัซซีเซต B ก็ต่อเมื่อ สมาชิก x ทุกตัวในเอกภพสัมพัทธ์ U มีอัตราความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A น้อยกว่าหรือ เท่ากับ อัตราความเป็นสมาชิกของเซต B เขียนแทนด้วย

$$A \subset B \text{ ก็ต่อเมื่อ } \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad \forall x \in U \tag{2.19}$$

คอมพลีเมนท์ (complement)

คอมพลีเมนท์ของฟัซซีเซต A ที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_A(x)$ เขียนแทนด้วย A' ถูกนิยามดังนี้

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x) \tag{2.20}$$

ยูเนียน (Union)

ถ้า A และ B เป็นฟัซซีเซตใน U การรวมสมาชิกทั้งหมดของทั้ง 2 เซต จะเขียนได้เป็น $A \cup B$ โดย

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \tag{2.21}$$

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

อินเตอร์เซคชัน (Intersection)

ถ้า A และ B เป็นฟัซซีเซตใน U การรวมสมชิกที่เป็นสมาชิกทั้ง 2 เซต จะเขียนได้เป็น

$$A \cap B \quad \text{โดย} \quad \mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \tag{2.22}$$

กฎของดีมอแกนต์ (Demorgan's law)

กฎของดีมอแกนต์ กล่าวว่า คอมพลีเมนต์ของฟัซซีเซตสองเซตที่ยูเนี่ยนกันจะสมมูลกับการอินเตอร์เซคชันกันระหว่างคอมพลีเมนตท์ของแต่ละฟัซซีเซตซึ่งเขียนแทนได้ด้วย

$$\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B} \tag{2.23}$$

S - Norm (Triangular co-norms)

ให้ $S : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$

เป็นการถ่ายโอนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A และ B ค่าความเป็น สมาชิกจะเป็นการยูเนียน ระหว่าง A และ B สามารถเขียนได้เป็น

$$S[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_{A \cup B}(x) \tag{2.24}$$

ซึ่งสามารถจะแยกได้เป็น 4 เงื่อนไข

1) Boundary condition

$$S(1,1) = 1 \ , \ S(0,a) = S(a,0) = a$$

2) Commutative condition

$$S(a,b) = S(b,a)$$

3) Nondecreasing condition

$$S(a,b) \leq S(a',b')$$

เมื่อ $a \leq a'$ และ $b \leq b'$

4) Associative condition

$$S(S(a,b),c) = S(a,S(b,c))$$

T - Norm (Triangular norms)

ให้ $t:[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$

เป็นการถ่ายโอนฟังก์ชันความเป็นสมชิกของฟัซซีเซต A และ B ค่าความเป็นสมาชิก จะเป็นการ อินเตอร์เซ็กชันระหว่าง A และ B สามารถเขียนได้เป็น

$$t[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_{A \cap B}(x) \tag{2.25}$$

แบ่งออกเป็น 4 เงื่อนไขดังนี้

1) Boundary condition

$$t(0,0) = 0 \ , \ t(a,1) = t(1,a) = 0$$

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

2) Commutative condition

$$t(a,b) = t(b,a)$$

3) Nondecreasing condition

$$t(a,b) \leq t(a',b')$$

เมื่อ $a \leq a'$ และ $b \leq b'$

4) Associativity

$$t(t(a,b),c) = t(a,t(b,c))$$

2.4.3 ความสัมพันธ์ของฟัซซี (Fuzzy Relation)

ความสัมพันธ์ของฟัซซี (Fuzzy Relation) หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก 2 คู่ขึ้นไป โดยมีอัตราความเป็นสมาชิกหรือ Degree of Membership อยู่ในช่วง 0 - 1 โดยกำหนดคำนิยามดังนี้

ถ้า U และ V เป็นเอกภพสัมพัทธ์ต่อเนื่องนับไม่ได้ (Uncountable continuous universes) และ $\mu_R : U \times V \rightarrow [0,1]$ จะได้ว่า

$$R = \int_{U \times V} \mu_R(u,v)/(u,v) \qquad (2.26)$$

(u,v) คือ คู่อันดับใดๆ ในเซตของผลคูณคาร์ทีเซียน U×V โดยที่ $u \in U$ และ $v \in V$

R คือ ความสัมพันธ์ของฟัซซี

สัญลักษณ์ อินทิกรัล แทน เซตของ $\mu_R(u,v)/(u,v)$ ทั้งหมด ใน U×V

ถ้า U และ V เป็นเอกภพสัมพัทธ์เชิงจำนวนนับได้ (countable discret universe)

โดยที่ $\mu_R(u,v) = \mu_{U \times V}(u,v) = \min(\mu_U(u), \mu_V(v))$

2.4.3.1 การปฏิบัติการบนความสัมพันธ์ฟัซซี (Operation on Fuzzy Relation)

การอินเตอร์เซ็กชั่นของความสัมพันธ์ (intersection of fuzzy relation)

ถ้า R และ S เป็นความสัมพันธ์แบบฟัซซีบน X ×Y อินเตอร์เซ็กชั่นของ R และ S กำหนดได้เป็น

$$\forall (x,y) \in X \times Y : \mu_{R \cap S}(x,y) = \min(\mu_R(x,y), \mu_S(x,y)) \qquad (2.27)$$

การปฏิบัติการ min อาจเรียกว่า “T-norm”

การยูเนี่ยนของความสัมพันธ์ (Union of fuzzy relation)

การยูเนี่ยนของ R และ S กำหนดได้เป็น

$$\forall(x,y)\in X\times Y:\mu_{R\cup S}(x,y) \quad = \quad \max(\mu_R(x,y),\mu_S(x,y)) \tag{2.28}$$

การปฏิบัติการ max อาจเรียกว่า “S-norm”

โพรเจกชั่นของ R บน Y

กำหนดได้เป็น ถ้า R เป็นความสัมพันธ์ฟัซซีบน X × Y เมื่อ X, Y เป็นค่าต่อเนื่อง

$$\text{projRonY} \quad = \quad \int_Y \sup_x \mu_R(x,y)/y \tag{2.29}$$

ถ้า X, Y เป็นค่าจำนวน (discrete domain) ให้ใช้ตัวปฏิบัติการ MAX แทน supremum

Total Projection บนความสัมพันธ์ R

กำหนดให้ R เป็นความสัมพันธ์แบบฟัซซี บน X×Y total projection บน R คือ อัตราความเป็นสมาชิกสูงสุดของความสัมพันธ์ R

$$\begin{aligned} R &= \{[(x,y),\mu_R(x,y)]/(x,y)\in X\times Y\} \\ \text{projRonX} &= \{(x,\max_Y \mu_R(x,y))/(x,y)\in X\times Y\} \\ \text{projRonY} &= \{(y,\max_X \mu_R(x,y))/(x,y)\in X\times Y\} \\ \text{total.proj} &= \max_X.\max_Y\{\mu_R(x,y)/(x,y)\in X\times Y\} \end{aligned} \tag{2.30}$$

2.4.3.2 การคอมโพซิชั่นของความสัมพันธ์ฟัซซี (Composition of Fuzzy Relation)

ให้ A เป็นฟัซซีบนเอกภพสัมพัทธ์ X

R เป็นความสัมพันธ์ฟัซซี

$R = X \times Y$

คอมโพซิชั่นของ A และ R เท่ากับ B บนเอกภพสัมพัทธ์ Y หมายถึง

$$B \quad = \quad A\circ R \quad = \quad \text{proj}(\text{ce}(A)\cap R) \tag{2.31}$$

- Max-Min composition

$$\mu_B(y) \quad = \quad \max_x \min(\mu_A(x),\mu_R(x,y)) \tag{2.32}$$

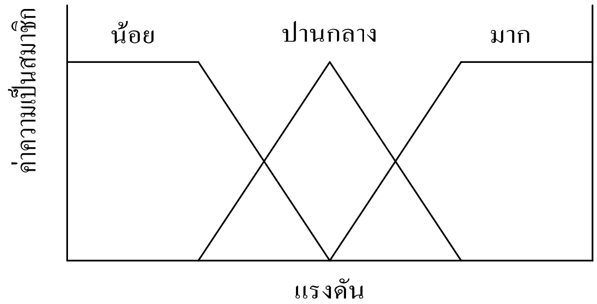
- Max-product composition

$$\mu_B(y) \quad = \quad \max_X(\mu_A(x),\mu_R(x,y)) \tag{2.33}$$

2.4.4 ตัวแปรลิงค์จีสติก (Linguistic Variable)

หมายถึง ตัวแปรที่กำหนดย่านหรือขนาดปริมาณ ที่สามารถกำหนดเป็นภาษามนุษย์ เช่น “อากาศร้อน” “อุณหภูมิสูง” “รถมีความเร็วสูง” หรือ “ค่าแรงดัน” เป็นต้นโดยปริมาณเหล่านี้จะใช้ เป็นตัวกำหนดชื่อของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซี ดังภาพประกอบที่ 2.14

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาพประกอบที่ 2.14 แสดง lingistic variable กำหนดย่านค่าแรงดัน

2.4.4.1 การกำหนดคุณสมบัติของตัวแปรลิงค์จีสติก

การกำหนดคุณสมบัติของตัวแปร จะใช้เป็น (X, T, U, M)

X = ปริมาณ หรือตัวแปรทางฟิสิกส์ที่ใช้แทน เช่น แรงดัน เป็นต้น

T = เซตของตัวแปรทั้งหมดของตัวแปร X เช่น { น้อย ปานกลาง และ มาก }

U = เอกภพสัมพัทธ์ของ X เช่น [0, V_{MAX}]

M = ความสัมพันธ์ของ T แต่ละค่า

ค่า linguistic variable นี้ ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญและการจำแนกปริมาณทางฟิสิกส์ โดยความรู้สึกของมนุษย์หรือประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ เพื่อที่จะนำไปประเมินผลจากเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นแล้วในอดีต

2.4.4.2 ขอบเขตของตัวแปรลิงค์จีสติก (Linguistic Hedges)

การกำหนดย่านและ linguistic hedges นอกจากจะกำหนดเป็นระดับของแรงดัน แล้วแต่ละตัวแปรยังสามารถขยาย หรือเพิ่มลดระดับจากความรู้สึกได้ เช่น “น้อย” “ปานกลาง” “มาก” โดยทั่วไปเราจะกำหนดระดับของตัวแปรได้ 3 ระดับ

1) ตัวแปรหลัก เช่น “น้อย” “ปานกลาง” “มาก”

2) ค่าตรงข้าม เช่น “ ไม่..” “ หรือ ” “ และ ”

3) ขอบเขต เช่น “แรงดันน้อย” “แรงดันค่อนข้างมาก”

การกำหนดขอบเขต อาจกำหนดค่าของความเป็นสมาชิก ได้ดังนี้

$$\mu_{veryA}(x) = [\mu_A(x)]^2$$
$$\mu_{lessA}(x) = [\mu_A(x)]^{1/2} \qquad (2.34)$$

2.4.5 กฎของฟัซซี (Fuzzy Rule)

ในระบบของฟัซซี จะเป็นการสรุปจากเหตุ และผลตามฐานความรู้ของมนุษย์ ซึ่งเราจะกำหนดให้อยู่ใน รูปของ IF - THEN เช่น

IF <fuzzy proposition>, THEN <fuzzy proposition>

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

2.4.6 ประพจน์แบบฟัซซี (Fuzzy Proposition)

ประพจน์หมายถึงการกล่าวถึงความจริงทางคุณสมบัติ หรือค่าปริมาณของวัตถุใด หรือ ตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งประพจน์แบบฟัซซีจะแบ่งได้เป็น 2 ชนิด

2.4.6.1 ประพจน์เดี่ยว หมายถึงการบอกคุณสมบัติของตัวแปรค่าเดียวโดยกำหนดตัวแปรนี้ให้เป็น linguistic เช่น กำหนดให้

X เป็น linguistic variable ของความเร็ว

S, M, F เป็น linguistic variable จำแนกย่านของความเร็วออกเป็น Slow , Medium , Fast ตามลำดับ เขียนได้ว่า

X IS S

X IS M

X IS F เป็นต้น

2.4.6.2 ประพจน์แบบผสม หมายถึงการรวมประพจน์เดี่ยว 2 ประพจน์หรือมากกว่าโดยเชื่อมด้วยตัวปฏิบัติการ "AND", "OR" หรือ "NOT" เชื่อมเพื่อใช้เป็นการสรุปเหตุและผล เช่น

X IS S OR X IS NOT M

ลักษณะการเชื่อมด้วยตัวปฏิบัติการ จะแบ่งได้หลายชนิด ถ้ากำหนดให้ X และ Y เป็นตัวแปรลิงค์จีสติก อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ U และ V ตามลำดับ A และ B เป็นฟัซซีเซต

- การเชื่อมด้วย "AND"

X IS A AND Y IS B

หรือเขียนได้

$$\mu_{A\cap B}(x,y) = t[\mu_A(x), \mu_B(y)]$$

- การเชื่อมด้วย "OR"

X IS A OR Y IS B

หรือเขียนได้

$$\mu_{A\cup B}(x,y) = S[\mu_A(x), \mu_B(y)]$$

2.4.7 ตัวควบคุมฟัซซี (Fuzzy Controller)

ตัวควบคุมฟัซซีที่กล่าวนี้จะเป็นตัวควบคุมแบบใช้ฐานความรู้ (knowledge base) หรือประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ เป็นกฎหรือแนวทางในการควบคุมเราจะเรียกตัวควบคุม ได้อีกชื่อหนึ่งว่า "ตัวควบคุมฟัซซีแบบ ฐานความรู้ " (Fuzzy Knowledge Base Controller) ใช้ค่าย่อว่า FKBC

2.4.7.1 โครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีแบบฐานความรู้ (FKBC)

โครงสร้างของ FKBC จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.15

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

1) ฟัซซีพิเคชั่นโมดูล (Fuzzification Module)

2) ฐานความรู้ (Knowledge Base)

3) กลไกการอนุมาน (Inference Engine)

4) ดีฟัซซิฟิเคชั่นโมดูล (Defuzzication Module)

2.4.7.2 ฟัซซิฟิเคชั่นโมดูล

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

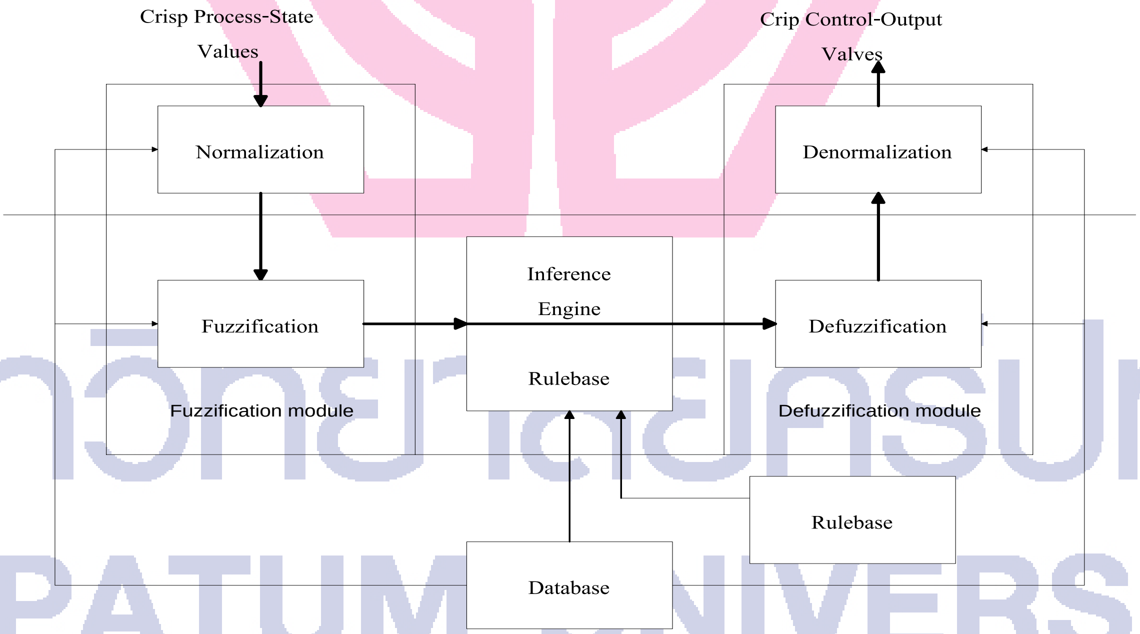
1) นอเมอร์ไรซ์เซชั่น (Normalization) เป็นส่วนที่ใช้เปลี่ยนสเกลของตัวแปรอินพุตหรือคลิปเซตให้อยู่ ในสเกลของเอกภพสัมพัทธ์ของย่านการควบคุม

2) ฟัซซิฟิเคชั่น (Fuzzification) เป็นส่วนที่ใช้แปลงปริมาณของคลิปเซตที่ผ่านการนอเมอไรซ์แล้วให้เป็น ค่าความเป็นสมาชิก ของฟัซซีเซต โดยมีย่านอยู่ระหว่าง [0,1]

2.4.7.3 ฐานความรู้

ส่วนประกอบของฐานความรู้จะประกอบด้วย

- ฐานข้อมูล (Data Base) เป็นที่เก็บของข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในส่วนประกอบของตัวควบคุมฟัซซีเช่น ค่าคงที่ของส่วนฟัซซิฟิเคชั่นโมดูล, กฎ, ดีฟัซซิฟิเคชั่นโมดูล, ค่าสเกลเฟคเตอร์, ฟังก์ชันต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีแบบฐานความรู้

- ฐานกฎ (Rules Base) เป็นที่เก็บของกฎการควบคุมอาจจะอยู่ในรูปของ IF_THEN หรือเป็นตารางความสัมพันธ์ฟัซซี แนวทางในการออกแบบฐานกฎ จะใช้กลไกการอนุมาน และจากพฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่จะควบคุม ซึ่งจะกล่าวต่อไป

2.4.7.4 กลไกการอนุมาน

กลไกการอนุมานมีหน้าที่สรุปผล (consequent) จากเหตุ (antecedent) และเงื่อนไขโดยทั่วไป การเชื่อมโยงของเหตุผลจะมี 2 ชนิดคือ

- Generalized modus ponens (GMP) คือการสรุปจากเหตุไปหาผล

- Generalized modeus tollens (GMT) คือการสรุปจากผลไปหาเหตุ

รูปแบบของทั้ง 2 วิธีมีดังนี้

1) GMP:

Premise	:	x is A'
implication	:	if x is A then y is B
consequence	:	y is B'

2) GMT:

Premise	:	y is B'
implication	:	if x is A then y is B
consequence	:	x is A'

โดย

A, A', B, B'	=	เป็นฟัซซีเซต
x, y	=	ตัวแปรลิงค์จีสติค
$\mu_R(x,y)$	=	ค่าความเป็นสมาชิกของความสัมพันธ์ของ A และ B
$\mu_A(x),\ \mu_B(y)$	=	ค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปร x, y
f_{imp}	=	ฟังก์ชันการอิมพลิเคชัน (implication) หรือฟังก์ชันการเชื่อมโยงค่าความเป็นสมาชิกของความสัมพันธ์ฟัซซี

$$\mu_R(x,y) = f_{imp}(\mu_A(x),\ \mu_B(y)) \qquad x \in U,\ y \in V \qquad (2.35)$$

โดยทั่วไป ในการสร้างตัวควบคุมฟัซซีจะนิยามใช้การเชื่อมโยง แบบ GMP และใช้ f_{imp} ด้วยวิธี Mamdani โดยสร้างเป็นกฎได้ดังนี้

R_1 : IF X IS A_1 AND Y IS B_1 THEM Z IS C_1

R_2 :IF X IS A_2 AND Y IS B_2 THEM Z IS C_2

กำหนดให้

A_1, B_1, A_2, B_2	=	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต
C_1, C_2	=	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

R_1, R_2 = กฎความสัมพันธ์ฟัซซี

z = ตัวแปรลิงค์จีสติก ในเอกภพสัมพัทธ์ U, V, W ตามลำดับ

α_1, α_2 = ระดับความเป็นสมชิกของ 2 อินพุต (fire strength)

จะได้ค่าความเป็นสมาชิกของผลสรุป (μ_c)

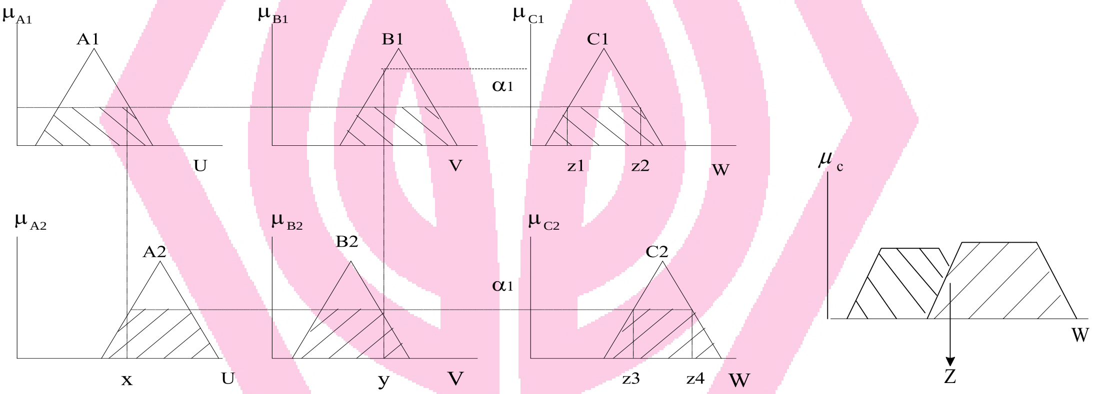
α_1 = $\min(\mu_{A1}(x_0), \mu_{B1}(y_0))$

α_2 = $\min(\mu_{B1}(x_o), \mu_{B1}(y_o))$

$\mu_{ci}(z)$ = $\min(\alpha_i, \mu_c(z))$

$\mu_c(z)$ = $\max(\mu_{c1}, \mu_{c2})$

จากผลของการหาค่า ระดับความเป็น สมาชิก สามารถทำการอนุมานได้ ในที่นี้จะแสดงการอนุมานในแบบของ Mamdani ดังภาพประกอบที่ 2.16



ภาพประกอบที่ 2.16 การอนุมานโดยวิธีของ Mamdani

2.4.7.5 ดีฟัซซิฟิเคชั่นโมดูล

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

1) ดีฟัซซิฟิเคชั่น ทำหน้าที่แปลงค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากกลไกการประเมิน กลับมาเป็นค่าเซต เพื่อใช้เป็นค่าที่นำไปควบคุมต่อไป วิธีการดีฟัซซิฟิเคชั่นที่นิยมใช้ในตัวควบคุมฟัซซี คือวิธี Center of Gravity (COG.)

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_c(z) * z_i}{\sum_{i=1}^{n} \mu_c(z_i)} \qquad (2.36)$$

z_0 = ตัวแปรเอาต์พุตอยู่ในรูปของคลิปเซต

z_i = ตัวแปรเอาต์พุตที่ได้แต่ละกฎ

i = จำนวนกฎที่ถูกประเมิน

$\mu_c(z_i)$ = ค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากการประเมิน

2) ดีนอเมอไรเซชั่น (Denormalization)

เป็นส่วนที่แปลงค่าสเกลของตัวแปรเอาต์พุตจากดีฟัซซิฟิเคชั่น ให้อยู่ในย่านของปริมาณที่ใช้ควบคุมจริง

2.4.8 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในตัวควบคุมฟัซซี

ตัวควบคุมฟัซซีที่นิยมใช้จะมีชนิดต่าง ๆ คล้ายกับการควบคุมแบบดั้งเดิม เช่น แบบ P , PD, PI, PID เป็นต้น การกำหนดตัวแปรอินพุต และตัวแปรเอาต์พุตจะสอดคล้องกับรูปแบบของตัวควบ คุม และเพื่อไปใช้เป็นตัวแปรในส่วนเหตและผลสรุปของกฎ การกำหนดตัวแปร กำหนดได้ดังนี้ [7]

ตัวแปรอินพุต e = ค่าผิดพลาดระหว่างค่าอ้างอิงและค่าที่ได้จริง (error)

ce = ค่าผิดพลาดในรอบปัจจุบันกับรอบที่ผ่านมา (change error)

δe = ผลรวมของค่าผิดพลาด

ตัวแปรเอาต์พุต u = ตัวแปรเอาต์พุตซึ่งเป็นผลลัพธ์ของตัวควบคุม

du = อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเอาต์พุต

จะหาค่าตัวแปรได้จาก

$$e(k) = y_{sp} - y(k) \tag{2.37}$$

$$ce(k) = e(k) - e(k-1) \tag{2.38}$$

$$du(k) = u(k) - u(k-1) \tag{2.39}$$

กำหนดให้

y_{sp} = ค่าเอาต์พุตของกระบวนการที่ออกแบบ

$y(k)$ = ค่าเอาต์พุตของกระบวนการจริง

k = จำนวนรอบของการทำงาน

2.4.9 ชนิดของตัวควบคุมฟัซซีแบบฐานความรู้ (Type of FKBC)

การแบ่งชนิดของตัวควบคุมฟัซซีจะอ้างอิงถึงคุณสมบัติเดิมของการควบคุมแบบคอนเวอร์ชั่นเนล โดยการควบคุมแบบฟัซซี จะกำหนดความสัมพันธ์จากกฎ และประเมินแบบ GMP จากเหตุเพื่อให้ได้ ผลสรุปกำหนดให้ส่วนของเหตุและผลสรุปจะอยู่ในรูปของตัวแปรลิงค์จีสติค

2.4.9.1 ตัวควบคุมแบบ Proportional (P)

จากสมการ

$$u = K_p.e \tag{2.40}$$

โดย K_p = Proportional gain

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

แสดงในรูปกฎของฟัซซี

if e(k) is (antecedent) then u(k) is (consequent)

2.4.9.2 ตัวควบคุมแบบ Proportional-Deriative (PD)

จากสมการ

$$u = K_P \cdot e + K_d \cdot ce \qquad (2.41)$$

โดย K_p = proportional gain

K_d = deriative gain

แสดงในรูปกฎของฟัซซี

if e(k) is (antecedent) and ce (k) is (antecedent) then u(k) is (consequent)

2.4.9.3 ตัวควบคุมแบบ Proportional-Intergral (PI)

จากสมการ

$$u = K_p \cdot e + K_I \cdot \int edt \qquad (2.42)$$

$$Du = K_p \cdot \dot{e} + K_I \cdot e \qquad (2.43)$$

โดย K_I = intergral gain

แสดงในรูปกฎของฟัซซี

if e(k) is (antecedent) and ce (k) is (antecedent) then Δ u (k) is (consequent)

2.4.9.4 ตัวควบคุมแบบ Proportional-Intergral-deriative (PID)

จากสมการ

$$u = K_P \cdot e + K_d \cdot \dot{e} + K_I \cdot \int edt \qquad (2.44)$$

กำหนด δe = ผลรวมของค่าผิดพลาด

$$\delta e = \sum_{i=1}^{k-1} e(i) \qquad (2.45)$$

แสดงด้วยกฎของฟัซซี

if e(k)is(antecedent)and ce (k)is (antecedent) and δe is (antecedent) then u(k) is (consequent)

2.4.10 การกำหนดฐานข้อมูลของตัวควบคุมฟัซซี

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ตัวควบคุมฟัซซีจะประกอบด้วยฐานข้อมูล ซึ่งเป็นที่เก็บของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก สเกลของส่วนอินพุตและเอาต์พุตในหัวข้อนี้ เราจะกล่าวถึงรายละเอียดของการกำหนดฟังก์ชันและสเกลต่าง ๆ

2.4.10.1 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ในการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต เราอาจจะกำหนดได้ 2 แบบ คือ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

1) แบบตัวเลข หมายถึง การแสดงอัตราของความเป็นสมาชิกเชิงตัวเลขในเอกภพสัมพัทธ์

2) แบบแสดงเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ในที่นี้จะขอกล่าวในแบบของฟังก์ชัน โดยที ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะจำแนกระดับของค่าลิงก์จีสติค ในเอกภพสัมพัทธ์ เพื่อทำหน้าที่แปลง ปริมาณอินพุตที่อยู่ในรูปของคลิปเซตให้อยู่ในโดเมนของฟัซซีเซต ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่นิยมใช้ จะมีหลายชนิด เช่น s-ฟังก์ชัน, π-ฟังก์ชัน, ฟังก์ชันเหลี่ยม, Trapezoid function และ เอ็กซ์โปเนนเชียล ฟังก์ชัน เป็นต้น

หลักเกณฑ์ในการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

2.1) การกระจายของข้อมูลหรือคุณลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุต ของ กระบวนการที่ควบคุมว่าเป็นสมาชิกเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้น ถ้าเป็นเชิงเส้นควรใช้ฟังก์ชันสาม เหลี่ยม ถ้าไม่เป็นเชิงเส้นควรใช้แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

2.2) คุณสมบัติในการคำนวณ เช่นความเร็วในการคำนวณขนาดของหน่วยความจำ

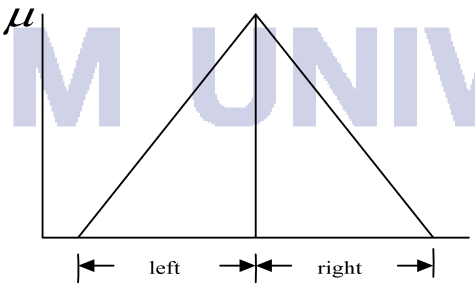
2.3) ความต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่องของข้อมูล โดยทั่วไปจำนวนฟังก์ชันที่ใช้กำหนดระดับ ของ ค่าลิงก์จีสติคควรไม่ต่ำกว่า 5 ถึง 7 ระดับ ถ้าต่ำกว่านี้จะเกิดความไม่ต่อเนื่อง และเกิดความผิดพลาดใน ผลลัพธ์ ถ้ามีจำนวนมากกว่านี้ จะทำให้เพิ่มเวลาการคำนวณให้มากขึ้น

2.4) การกำหนดฟังก์ชัน แต่ละฟังก์ชันควรให้มีการทับกันระหว่างฟังก์ชัน (overlap) ของ เซตที่ อยู่ติดกัน เพื่อให้แน่ใจว่าการควบคุมต้องมีกฎควบคุมอย่างน้อย 1-2 กฎ ในการรองรับตัวแปรอินพุต เปอร์เซ็นต์การการทับกันจะอยู่ที่ประมาณ 15-50 %

2.5) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

- ค่าสูงสุด (Peak Value) หมายถึง ค่าสูงสุดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในแต่ละเทอม จะต้องมีค่าเท่ากับ 1

- ความกว้างทางซ้าย และขวา (Left and Right Width) หมายถึง ช่วงของความกว้าง ระหว่างจุดสูงสุด และจุดศูนย์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก หรือเรียกว่า ซัพพอร์ตของค่าสมาชิก ทั้ง ซ้าย และขวา ถ้าความกว้างทั้งสองเท่ากัน เราเรียกว่าฟังก์ชันนี้เป็นฟังก์ชันสมมาตร ดังภาพประกอบที่ 2.17



ภาพประกอบที่ 2.17 แสดงฟังก์ชันสมมาตร

- จุดตัด (Crosspoints) จุดที่ฟังก์ชัน 2 ฟังก์ชันที่อยู่ใกล้เคียงกันตัดกัน จากภาพประกอบที่ 2.18

กำหนดให้

x เท่ากับจุดตัด

d_1 เท่ากับความกว้างระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดตัดของฟังก์ชันที่ 1.

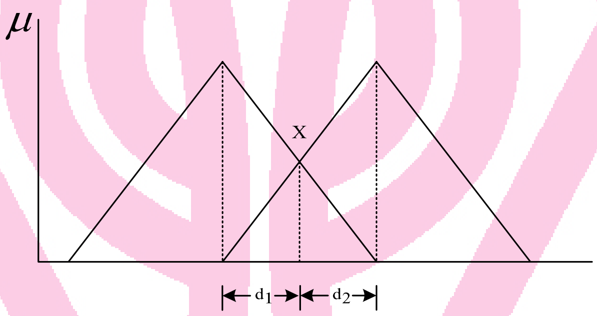
d_2 เท่ากับความกว้างระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดตัดของฟังก์ชันที่ 2.

ระดับของจุดตัด (Cross-point level) เท่ากับ ระยะระหว่างจุดตัดถึงแกน x

อัตราส่วนของจุดตัด (Cross-point ratio) เท่ากับ d_1/d_2

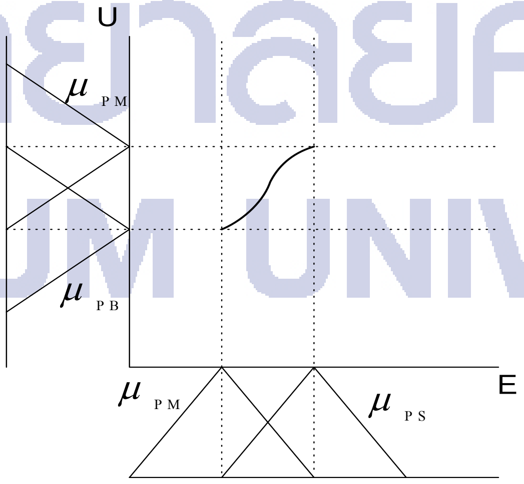
ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบที่เป็นเชิงเส้นการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสมมาตร มีระดับของจุดตัดเท่ากับ 0.5 และมีอัตราส่วนจุดตัดเท่ากับ 1 จะทำให้มีค่าสมรรถนะของระบบดีคือมจุดพุ่งเกิน (overshoot) ต่ำ เวลาการเข้าถึง (Rise Time) เร็ว

ในส่วนของความต่อเนื่องของการควบคุม ควรจะให้ระยะ d_1 และ d_2 ของทั้งสองฟังก์ชัน ที่ใกล้กันมีระยะเท่ากัน และที่ตำแหน่งศูนย์ของค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองฟังก์ชัน จะตรงกับ ตำแหน่งที่เป็นค่าสูงสุดพอดี ดังภาพประกอบที่ 2.18



ภาพประกอบที่ 2.18 แสดงความกว้างของจุดตัดของทั้งสองฟังก์ชัน

จะเห็นความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง (จากภาพประกอบที่ 2.19, 2.20) ของค่าเอาต์พุต จากการกำหนดระยะของจุดตัดและความกว้างทางซ้าย และทางขวาของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

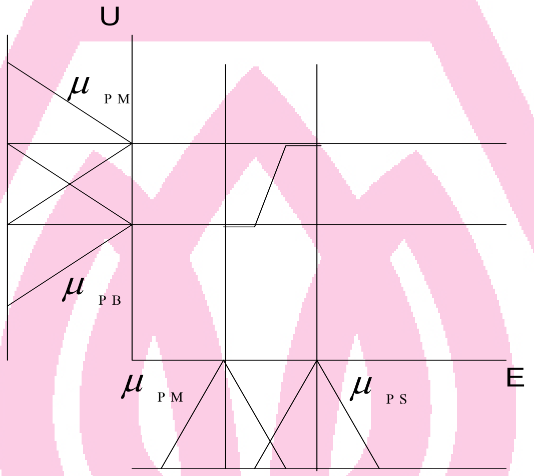


ภาพประกอบที่ 2.19 แสดงความต่อเนื่องของเอาต์พุต

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

2.4.10.2 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเชิงตัวเลข

การกำหนดฟังก์ชันเชิงตัวเลขในโดเมนที่ต่อเนื่อง หมายถึงการแบ่งย่านในเอกภพสัมพัทธ์ออกเป็นเซกเมนต์ เราเรียกว่า "การควอนไตซ์เซชั่น (quantization)" และกำหนดดีกรีค่าลิงค์จีสติค แต่ละค่าเป็นตัวเลข การกำหนดฟังก์ชันวิธีนี้ การกำหนดระดับของการควอนไตซ์จะมีผลต่อการ ควบคุมแบบหยาบ และควบคุมแบบละเอียด ถ้าให้ระดับมากจะมีผลให้ค่าเอาต์พุตละเอียด แต่จะใช้ เวลานานขึ้นและจะต้องใช้หน่วยความจำมากขึ้น



ภาพประกอบที่ 2.20 แสดงความไม่ต่อเนื่องของเอาต์พุต

2.4.11 ฐานของกฎ

กฎ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการควบคุมแบบฟัซซี กฎจะเป็นส่วนที่โยงถึงความ สัมพันธ์ของตัวแปรลิงค์จีสติค ในส่วนของอินพุตและเอาต์พุต ใช้ในการประเมินผลลัพธ์ ของฟัซซีรูปแบบของฐานกฎที่นิยมใช้ แบ่งเป็น 2 ชนิด

1) ระบบที่มี 1 อินพุต 1 เอาต์พุต จะอยู่ในรูป

กฎที่ 1 : IF x is A1 THEN y is B1

กฎที่ 2 : IF x is A2 THEN y is B2

กฎที่ N : IF x is AN THEN y is BN

โดยให้ x = ตัวแปรลิงค์จีสติคของอินพุต

y = ตัวแปรลิงค์จีสติคของเอาต์พุต

A1, B1 = ลิงค์จีสติคฟังก์ชัน หรือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต และเอาต์พุตตามลำดับ

N = จำนวนกฎ

จำนวน N จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการออกแบบ แต่โดยทั่วไปจะใช้จำนวนกฎเท่ากับ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

2) ระบบที่มี 2 อินพุต 1 เอาต์พุต จะอยู่ในรูป

กฎที่ 1 : IF x is A1 AND y is B1 THEN z is C1

กฎที่ 2 : IF x is A2 AND y is B2 THEN z is C2

กฎที่ N : IF x is AN AND y is BN THEN z is CN

2.4.11.1 แนวทางการออกแบบฐานกฎ

แนวทางการออกแบบกฎแบบได้เป็น 2 วิธี คือ

1) วิธี เฮอร์รีสติค (Heuristic approach)

วิธีเฮอร์รีสติคเป็นการออกแบบกฎ จากพฤติกรรมการตอบสนองของระบบ ที่ได้จากประสบการณ์หรือจากการทดสอบและค่าสมรรถนะที่ต้องการนำมาออกแบบกฎ โดยประมาณได้โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของอินพุตและผลการตอบสนอง

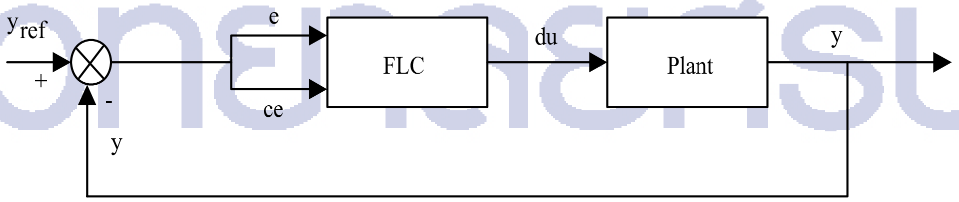
สมมุติว่าพิจารณาระบบควบคุมฟัซซีแบบปิด ดังภาพประกอบที่ 2.21 มีค่าอินพุต 2 ตัวคือ ค่าผิดพลาด (e) และอัตราการผิดพลาด (ce) ค่าเอาต์พุต (du) การตอบสนองของการเปลี่ยนแปลงระดับ (step responce) ดังภาพประกอบที่ 2.22 สามารถสร้างระบบฟัซซีที่มี phase plant ระหว่าง ค่าอินพุตทั้งสอง ดังภาพประกอบที่ 2.23 ค่าสมรรถนะที่เราต้องการคือค่าเวลาการเข้าถึงสั้น (short rise time) และเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินต่ำ (overshoot) เราสามารถแบ่งช่วงผลการตอบสนองของเอาต์พุตออกเป็นช่วงๆ และกำหนดกฎเพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตตามที่เราต้องการ เช่น

- ถ้าต้องการค่าเวลาการเข้าสั้น เราสามารถออกแบบกฎได้เป็น

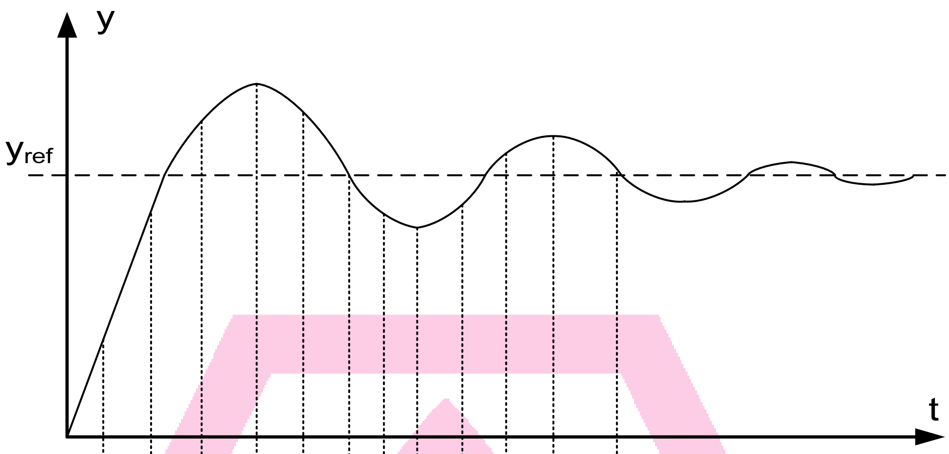
IF e is positive AND ce is negative THEN u is positive

- ถ้าต้องการลดค่าเปอร์การพุ่งเกิน

IF e is negative AND ce is negative THEN u is negative

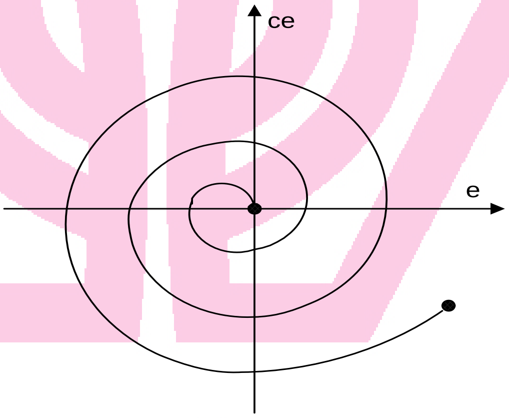


ภาพประกอบที่ 2.21 ระบบควบคุมฟัซซีแบบลูปปิดแบบฟัซซี



e	+	-	-	-	0	+	+	+	-	-	0
ce	-	+	-	+	-	0	+	-	0	-	+

ภาพประกอบที่ 2.22 ผลการตอบสนองของการเปลี่ยนระดับเพื่อหาความสัมพันธ์ของ e และ ce



ภาพประกอบที่ 2.23 Phase plant ของ e และ ce

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าว สามารถสร้างเป็นตารางความสัมพันธ์อินพุตและเอาต์พุต และใช้เป็นแนวทางในการสร้างกฎของฟัซซีต่อไป

2) วิธี ดีเทอร์มินิสติค (Deterministic approach) เป็นวิธีสร้างแบบจำลองอ้างอิงและนำไปออกแบบกฎ

2.4.12 หลักการประมวลผลของตรรกศาสตร์คลุมเครือ

1) กำหนดวัตถุประสงค์การควบคุมและกฎเกณฑ์

2) กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต และเลือกตัวแปรให้มีค่าน้อยที่สุดสำหรับเป็นอินพุตลงในตรรกศาสตร์คลุมเครือ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

3) ใช้โครงสร้างกฎพื้นฐานกฎของตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยกำหนดปัญหาการควบคุมให้ อยู่ในรูปแบบของ ถ้า x และ y แล้ว ซึ่งเอาต์พุตที่ต้องการขึ้นอยู่กับเงื่อนไขแต่ละข้อของอินพุต จำนวนและความซับซ้อนของกฎ ขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรของอินพุตที่เกี่ยวข้องกัน

4) สร้างสมาชิกของฟังก์ชันของตรรกศาสตร์คลุมเครือ

5) สร้างลำดับของตรรกศาสตร์คลุมเครือที่จำเป็นต้องประมวลผลก่อนและหลัง จึงนำซอฟแวร์ไปติดตั้งในฮาร์ดแวร์

6) การทดสอบระบบการประเมินผล ปรับกฎและสมาชิกของฟังก์ชันให้เหมาะสมและทดสอบซ้ำจนได้ผลลัพธ์เป็นที่พอใจและได้รับการยอมรับ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

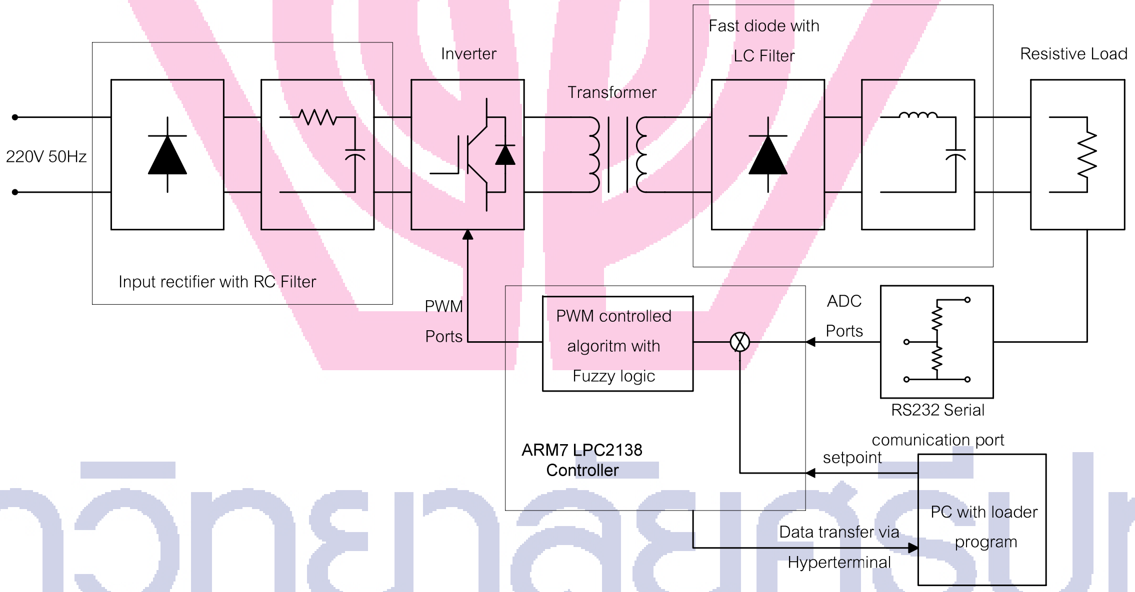
บทที่ 3

การออกแบบแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง

3.1 โครงสร้างหลักของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง

การออกแบบระบบจ่ายไฟแบบสวิตชิง ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบ แหล่งจ่ายไฟสวิตชิงแบบฟลูบริดจ์ ขนาด 500 วัตต์ 48 โวลต์ ที่ใช้ระดับแรงดันอินพุตขนาด 220 โวลต์ ± 5 เปอร์เซ็นต์ โดยทั้งนี้ การควบคุมระบบจะใช้ ไมโครคอนโทรเลอร์ ARM7 LPC2138 ของบริษัท Phillips เป็นตัวประมวลผลและใช้โปรแกรมฟัซซีในการควบคุมแรงดันด้านเอาต์พุต

หลักการออกแบบ แหล่งจ่ายไฟสวิตชิง นี้จะสามารถแบ่งแยกออกเป็นทั้งหมด 6 ส่วน หลักๆ ซึ่งประกอบกันเข้าเป็น แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบทางวิศวกรรม การเลือกใช้งานอุปกรณ์ต่าง สาเหตุในการเลือกใช้งาน จะอธิบายตามลำดับต่อไปนี้



ภาพประกอบที่ 3.1 โครงสร้างการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง

1. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ใช้อินพุต เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ พร้อมอุปกรณ์ปกป้องต่างๆ
2. อินเวอร์เตอร์ใช้งานโดยการสวิตช์ที่ระดับความถี่ 60 kHz แบบฟลูบริดจ์สัญญาณสี่เหลี่ยม
3. หม้อแปลงความถี่สูงใช้แกนเฟอร์ไรต์ เป็นตัวส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้หม้อแปลงแบบนี้จะเหมาะสมกับการสวิตช์ที่ความถี่สูง
4. วงจรเรียงกระแสด้านท้ายที่ประกอบด้วย Fast Recovery Diode

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

5. วงจรกรองด้านท้ายแบบ RLC ใช้งานในการกรองแรงดันด้านท้าย ให้เหลือแค่แรงดันกระแสตรง

6. ใช้ตัวประมวลสัญญาณ ARM7 LPC2138 และใช้โปรแกรมฟังซีในการควบคุมการป้อนกลับของแรงดันด้านเอาต์พุตประมวลสัญญาณเชิงดิจิตอล ที่เป็นตัวควบคุมระบบ

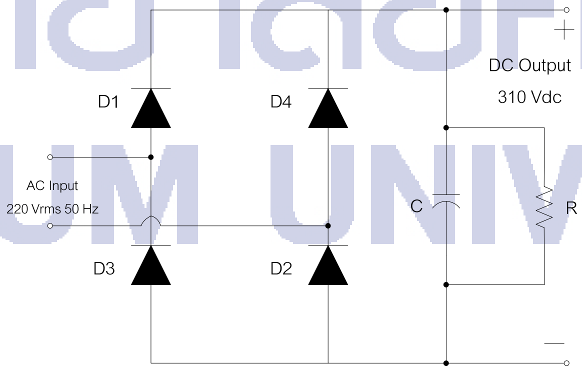
3.2 ลำดับและขั้นตอนการออกแบบ

ขั้นตอนในการออกแบบอย่างที่กล่าวข้างต้นนี้นั้น จะสามารถแยกการคำนวณออกมาเป็นชุดหลักๆ ได้ดังนี้

1. การออกแบบวงจรเรียงกระแสด้านอินพุต
2. การออกแบบระบบขับสัญญาณมอสเฟต
3. การเลือกใช้งานมอสเฟต และ ชุดขับสัญญาณที่เหมาะสม
4. การออกแบบ หม้อแปลงความถี่สูง
5. การออกแบบวงจรเรียงกระแสด้านเอาต์พุต
6. การออกแบบวงจรกรอง RLC
7. การควบคุมระบบโดยตัวประมวลผลและเขียนโปรแกรมฟังซี ควบคุมการป้อนกลับของแรงดัน

3.3 การออกแบบวงจรเรียงกระแสด้านเข้า

การออกแบบแหล่งจ่ายหลักให้กับชุดอินเวอร์เตอร์นั้น มีความสำคัญมากกับแหล่งจ่ายไฟสวิตชิง เนื่องจากถ้าการออกแบบที่ไม่เหมาะสมนั้นจะทำให้ แหล่งจ่ายไฟสวิตชิง ทำงานผิดพลาดทั้งระบบ รวมถึงการเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะเช่นกัน อย่างเช่น ตัวเก็บประจุที่ใช้งานต้องมีค่ามากพอหรือมีค่า ESR ที่น้อยขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของ แต่ละระบบ อย่างที่กล่าวข้างต้น



ภาพประกอบที่ 3.2 วงจรเรียงกระแสด้านเข้า

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

กำหนดให้แรงดันอินพุต เท่ากับ 220 โวลต์ ± 10 เปอร์เซ็นต์ 50 Hz เอาต์พุตสูงสุดที่กำหนดไว้คือขนาด 500 วัตต์ ให้ประสิทธิภาพของระบบเป็นขนาด 80 เปอร์เซ็นต์ เราจะสามารถหา กำลังไฟฟ้าอินพุตได้ดังสมการ(3.1)

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} \tag{3.1}$$

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

$$= 625 \quad \text{วัตต์}$$

จากแรงดันที่ไฟฟ้ากระแสสลับไหลเข้า 220 โวลต์ นั้นจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ปลายทางที่มีขนาด 310 โวลต์ กระแสไฟกระแสตรงเฉลี่ยจะได้ดังสมการ(3.2)

$$I_{dc} = \frac{P_{in}}{V_{in}} \tag{3.2}$$

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

$$= 2.01 \quad \text{แอมป์}$$

จากการคำนวนข้างต้นนั้นเราสามารถที่จะคำนวนหาค่าตัวเก็บประจุที่ใช้กรองแรงดันด้านเอาต์พุตให้เรียบได้จากสมการด้านล่าง เมื่อกำหนดให้ริปเปิ้ลมีขนาด 10 เปอร์เซ็นต์ หรือเปรียบเทียบจะได้แรงดันขนาด 310 โวลต์ ที่ความถี่ 50 Hz แบบฟลูบริดจ์จะมีคาบเวลาเท่ากับ 10 ms

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

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

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

$$= 6.484 \times 10^{-4} \quad = 648.4 \quad \mu F$$

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

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

การทำงานเริ่มแรกของการเปิดไฟไหลเข้าระบบนั้นจะเกิดปัญหาหลักคือ เมื่อเริ่มต้นทำงานโดยการสับสวิตช์เข้านั้น ตัวเก็บประจุในสถานะเริ่มต้นจะมีการลัดวงจรในขณะเปิด เพราะฉะนั้นถ้าต้องการลดกระแสกระชากนี้นั้น จึงต้องมีการแก้ปัญหานี้โดยการนำเอาค่าความต้านทานไปอนุกรมกับสายนำกระแสซึ่งเมื่อเราเริ่มสับสวิตช์นั้น แทนที่กระแสจะมีค่าสูงเนื่องมีตัวเก็บประจุตัวเดียว กระแสจะไหลผ่านตัวต้านทานนั้น หลังจากกระแสไหลเข้าจนแรงดันคงที่ เราจะทำการสับสวิตช์ไปที่ตำแหน่งที่ปราศจากตัวต้านทาน ทั้งนี้เพื่อลดค่าการสูญเสียในระบบให้เหลือน้อยที่สุด เนื่องจาก ตัวต้านจะทำให้เกิดความร้อนที่สะสมเนื่องจาก I^2R

ส่วนสุดท้ายที่ต้องคำนึงถึงคือ การออกแบบตัวต้านทานท้าย (Dummy load) ตัวต้านทานนี้มีหน้าที่ในการรับการคายประจุจาก ตัวเก็บประจุ เมื่อกรณีที่ ปิดวงจรโดยฉับพลัน ความหมายคือ ถ้าไม่มีตัวต้านทานตัวนี้ แรงดันที่ ตัวเก็บประจุจะยังคงมีแรงดันที่ตกคร่อมอยู่ ตัวต้านทานตัวนี้มีค่ากำลังสูงมากยิ่งดีเนื่องจะยังคงรับโหลดตลอดเวลา จากสมการด้านล่างจะเป็นตัวกำหนดขนาด และกำลังที่ตัวต้านทานต้องรับ ถ้าเลือกค่าความต้านทานขนาด 15 กิโลโอห์ม

$$P = \frac{V^2}{R} \tag{3.4}$$

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

$$= 6.41 \quad \text{วัตต์}$$

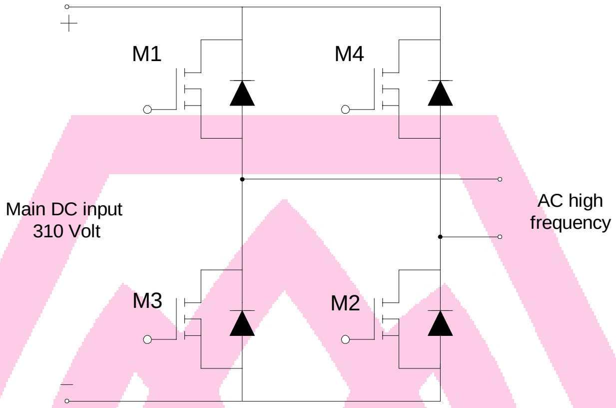
ดังนั้นเราควรเลือก ค่าความต้านทานนี้ที่ค่า 15 กิโลโอห์ม 10 วัตต์ หรือ มากกว่า

3.4 อินเวอร์เตอร์

พื้นฐานของการแปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับนั้นเราจะทำการแปลงโดยให้อินเวอร์เตอร์ การออกแบบอินเวอร์เตอร์นั้นหลักๆ อยู่ที่ขนาดของกำลัง(วัตต์) ที่เราใช้งาน รูปแบบการสวิตช์ THD และอีกหลายๆ อย่างที่จะกล่าวต่อไป

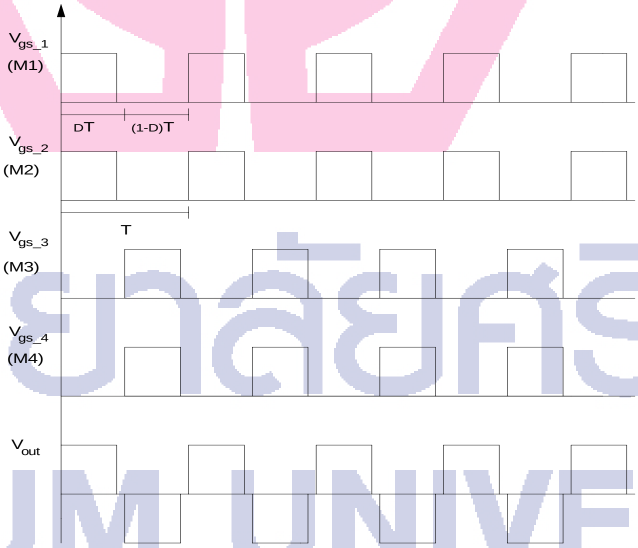
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

การออกแบบอินเวอร์เตอร์ ที่ใช้งานในที่นี้นั้นใช้ความถี่ในการสวิตช์ ที่ 60 kHz เป็นฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ซึ่งการออกแบบนี้นั้นเหมาะสมกับขนาดของแรงดันสูง กำลังตั้งแต่ 400 - 2000 วัตต์ขึ้นไป จากภาพประกอบที่ 3.3 แสดงให้เห็นการจัดเรียงของมอสเฟต จำนวน 4 ตัว



ภาพประกอบที่ 3.3 วงจรการจัดเรียงมอสเฟต

ถ้าสังเกตถึงการจัดรูปแบบของตัวสวิตชิง ต่างๆ นั้นจะเห็นว่า M1 และ M2 จะทำงานพร้อมกันที่ความถี่ 60 kHz แต่ละจะมีค่า Duty Cycle ไม่เกินตัวละ 0.5 หรืออีกความหมายก็คือ ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.5 นั่นเอง ในทำนองเดียวกันนี้ M3 และ M4 ก็จะมีค่าได้ไม่เกิน 0.5 เช่นกัน หลักการของการทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ตัวนี้จะเป็นไปตามรูปด้านล่าง



ภาพประกอบที่ 3.4 รูปสัญญาณการทำงานของมอสเฟต

สาเหตุหลักของการจำกัดขอบเขตของ Duty Cycle ของแต่ละชุดก็คือ ถ้าสังเกตจากรูปแล้วนั้น M1 และ M3 ทำงานพร้อมกันไม่ได้ ในทำนองเดียวกัน M4 และ M2 ก็ไม่สามารถที่จะทำงานพร้อมกันได้เนื่องจาก หากคู่ใดคู่หนึ่งเกิดทำงานพร้อมกันขึ้นมา จะเกิด การลัดวงจรขึ้นทันที การลัดวงจรนี้นั้นจะ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

เกิดขึ้นและแรงที่สุด เนื่องแรงดันที่ตกคร่อมสวิตซ์ ทั้งสองตัวในคู่ของมันมีค่าสูงถึง 310 โวลต์ ดังนั้นกระแสจะมีค่าสูงมาก

จากหลักการทำงานเบื้องต้นของอินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์นั้น เป็นพื้นฐานในการแปลงกระแสตรงเป็นกระแสสลับ การเลือกมอสเฟตพร้อมทั้งชุดขับจึงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากในการออกแบบระบบโดยรวม

มอสเฟตที่มีขายอยู่ในท้องตลาดจะมีหลายรูปแบบ มีทั้งแบบเดี่ยว อย่างเช่นมอสเฟต ตระกูล IR ซึ่งเป็นที่นิยม แพร่หลายกับการใช้งานในระดับการทดลอง การที่เลือกใช้งานมอสเฟต โดยหลักการเลือก แรงดันและกระแส จะเป็น ตัวเลือกแรกของการกำหนดอุปกรณ์นั้นๆ

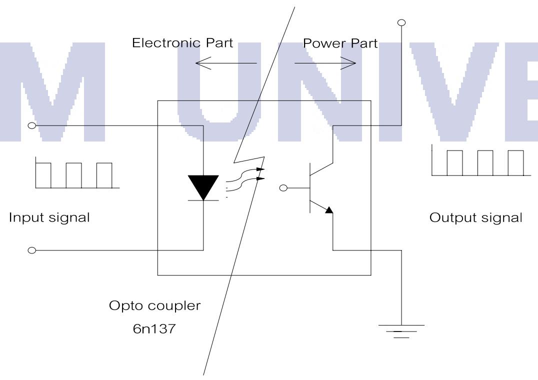
จากการคำนวณกระแสที่ไหลผ่านตัวมอสเฟต เนื่องจากแรงดันที่เราใช้งานอยู่ที่ 310 โวลต์ ขนาดของเอาต์พุต สูงสุดเท่ากับ 500 วัตต์ กระแสสูงสุดที่ไหลผ่านมอสเฟตตัวนี้จะมีค่าเท่ากับ 1.7 แอมป์ ในที่นี้ได้เลือก IRFP 460 ซึ่งตาม Datasheet แล้วนั้นทนกระแสได้ถึง 4 แอมป์ แรงดันที่สามารถใช้งานได้จะอยู่ระดับ 600 โวลต์

การใช้งานชุดขับมอสเฟต สามารถแบ่งออกเป็นทั้งหมด 4 ส่วน

1. ตัวแยกทางไฟฟ้า: การแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างด้านกำลังและทางด้านอิเล็กทรอนิกส์
2. ตัวยกระดับแรงดัน:ส่วนของการปรับระดับแรงดันให้เข้าสู่ระดับที่เราต้องการ
3. ชุดขับมอสเฟต:ส่วนนี้จะมีหน้าที่ตรงในการขับมอสเฟตซึ่งจะมีสัญญาณขับชุดล่างและบน
4. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง: ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของวงจร ไอซี

3.4.1 การแยกทางไฟฟ้า

การแยกกันทางไฟฟ้า มีความจำเป็นมากสำหรับแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง เนื่องจากการแยกกันทางไฟฟ้าดังกล่าวป้องกันการลัดวงจรหาซึ่งกันและกัน หรือเรียกง่ายๆ ว่าเป็นระบบป้องกันอย่างหนึ่ง ในชุดที่ทำการทดลองนี้เลือกใช้ Opto Coupler เป็นตัวแยกทางไฟฟ้า การทำงานของ Opto Coupler นั้นจะทำงานด้วยแสง กล่าวคือถ้ามีสัญญาณทางด้านอินพุต แล้วนั้นจะเกิดแสงไปปิดวงจรอีกฝั่ง ดังนั้นวงจรอีกฝั่งจึงต้องมีแรงดัน หรือไฟเลี้ยงเสมอ อธิบายได้ดังภาพประกอบที่ 3.5



ภาพประกอบที่ 3.5 การทำงานของ Opto Coupler

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สัญญาณที่ได้รับนั้นจะมีลักษณะสัญญาณตรงกันข้าม เพราะฉะนั้นการต่ออินพุต ต้องคำนึงถึงส่วนนี้ด้วย ในกรณีนี้สามารถที่จะใช้ 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

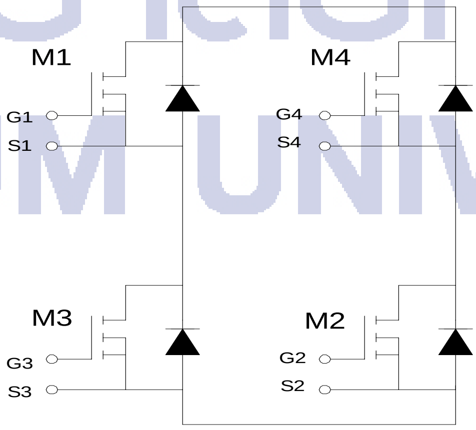
ปัญหาที่มักเจอกับ Opto Couple นี้นั้นจะมีข้อเสียคือ การที่จะคงแรงดันไว้ที่ระดับ 5 โวลต์ เมื่อเปิดเสมอถ้าไม่มีสัญญาณใดในฝั่งอินพุต เพราะฉะนั้นควรระวังเกี่ยวกับการที่มอสเฟต ในกิ่งจะทำงานพร้อมกัน ทำให้เกิดการลัดวงจร และเสียหายได้

3.4.2 ตัวยกระดับแรงดันไฟฟ้า

เป็นตัวแปลงสัญญาณแรงดันที่ได้รับจาก Opto Couple ซึ่งมีระดับแรงดันเพียง 5 โวลต์ ให้มีค่าเพิ่มขึ้นไปอยู่ในระดับ 15 โวลต์ ใช้สำหรับการปรับแรงดันเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานกับ Driver chip ทั้งนี้การแปลงระดับสามารถปรับได้มากกว่าระดับ 15 โวลต์ ขึ้นอยู่กับ ไฟเลี้ยงที่ป้อนให้แก่ ตัวยกระดับแรงดันไฟฟ้า นี้ ในงานวิจัยนี้เราเลือกที่จะใช้งาน CMOS แบบ MC14504 ของบริษัท Motorolla ซึ่งสามารถใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน มีความสามรถที่จะปรับระดับสัญญาณได้ 4 สัญญาณพร้อมกันใน 1 ตัว

3.4.3 ชุดขับมอสเฟต

ในการที่จะทำการขับมอสเฟตนั้น เราจะต้องให้ความสนใจทั้ง ระดับแรงดัน และ กระแสที่เหมาะสมกับมอสเฟต ชนิดนั้นๆ ในที่นี้สัญญาณ PWM ทั้ง สี่จะถูกต่อกับ IR2110 ซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลายในท้องตลาด การทำงานของ ตัวขับมอสเฟต ตัวนี้นั้นจะทำการต่อโดยตรงกับมอสเฟต ที่เราใช้งาน ตามที่บริษัท IR International กำหนด Datasheet 1 ตัว สามารถที่จะขับมอสเฟตได้สองตัวในรูปแบบของ High กับ Low ความหมายก็คือ ใช้งาน IR2110 2 ตัว

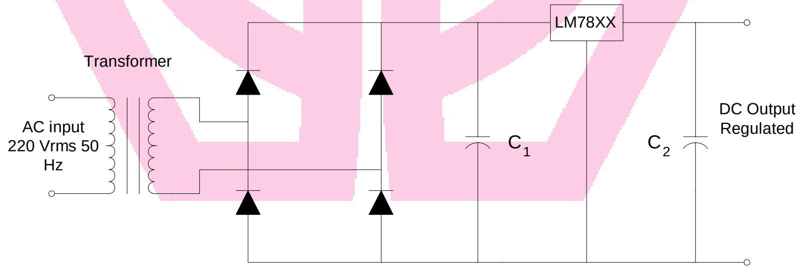


ภาพประกอบที่ 3.6 วงจรสวิตช์มอสเฟต

กล่าวคือ IR2110 ตัวที่ 1 จะต่อ High (G1 S1) เข้ากับเกทของมอสเฟต ตัวที่ 1 สัญญาณ Low (G3 S3) ตัวที่ 1 จะต่อ เข้ากับมอสเฟต ตัวที่ 3ถ้าสังเกตตามรูป สัญญาณ Low มักจะต่อ Source ของมอสเฟต ตัวนั้นกับ Ground เสมอ ส่วน High จะมีลักษณะ Ground ลอย การทำงานของชุดขับ ตัวที่สองจะทำงานในลักษณะที่เหมือนกับตัวที่หนึ่ง กล่าวคือ การทำงานของชุดขับ ตัวที่ 2 สัญญาณ High (G4 S4) จะต่อเข้ากับมอสเฟตตัวที่ 4 และ Low(G2 S2) จะต่อกับมอสเฟต ตัวที่ 2 ซึ่ง Source ของมอสเฟต ตัวที่ 2 จะ ต่อกับ Ground เสมอตามที่กล่าวข้างต้น

3.4.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

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



ภาพประกอบที่ 3.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

การคำนึงถึงการออกแบบ หลักๆแล้วนั้นต้องมีการตรวจสอบการใช้งานไฟเลี้ยงในระบบให้ครบซะก่อน แล้วทำการออกแบบตัวปรับแรงดันว่าควรใช้งาน ตัวรักษาระดับแรงดันชนิดไหน ในที่นี้เราใช้ LM7815 เพื่อรักษาระดับแรงดัน 15 โวลต์ และ LM7805 เพื่อรักษาระดับแรงดันขนาด 5 โวลต์ โดยที่ต่อ LED ไว้ด้านท้ายเพื่อที่จะตรวจสอบระดับแรงดันว่าเริ่มใช้งานหรือยัง

3.5 หม้อแปลงความถี่สูง

หม้อแปลงความถี่สูง มีความสำคัญต่อแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง เป็นอย่างมากเมื่อที่ต้องการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า สำหรับหัวข้อนี้จะอธิบายถึงหลักการ พื้นฐานของการออกแบบหม้อแปลงแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง ในวงจรของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงแบบฟลูบริดจ์ การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

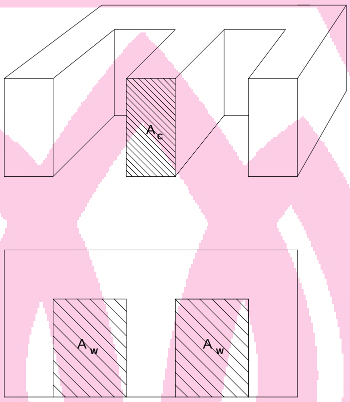
โดยทั่วไปแล้วนั้น ในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงนิยมที่จะใช้วิธีการออกแบบ แบบ Area product ซึ่งนิยามสมการได้ดังนี้

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

เมื่อ Ac หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของแกน (core area)

Aw หมายถึง พื้นที่ภายในกรอบว่างของแกน (window area)

ในกรณีที่เลือกใช้แกน E จะมีลักษณะตามรูปด้านล่าง



ภาพประกอบที่ 3.8 ลักษณะพื้นที่หน้าตัดของแกน

จากสมการ (2.12) พื้นฐานของการคำนวณวงจรฟลูบริดจ์ แบบ Area product

$$A_c A_w = \frac{(0.68 P_{out} D)10^3}{f B_{\max}}$$

ความหนาแน่นกระแส (D) ในทางปฏิบัติจะเลือกใช้ความหนาแน่นกระแส 500 cm/A

ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด (B_m) ของแกนเฟอร์ไรต์ ที่ใช้มีค่าประมาณ 1200 – 1600 G

จากการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆของวงจรฟลูบริดจ์ จะมีค่าตามรายละเอียดด้านล่าง

แรงดันเอาต์พุต	(Output voltage)	70	โวลต์
แรงดันริปเปิ้ลเอาต์พุต	(Output ripple voltage)	10	เปอร์เซ็นต์
กระแสเอาต์พุต	(Output current)	10	แอมป์
ความถี่สวิตชิ่ง	(Switching frequency)	60	kHz
แรงดันอินพุต	(Input voltage)	310	โวลต์

จากสมการ (2.12) ทำให้ได้ค่า

$$A_c A_w = \frac{(0.68 \times 600 \times 500)10^3}{60 \times 10^3 \times 1200}$$

$$= 2.833 \text{ cm}^4$$

การเลือกขนาดของแกน ทำการเลือกแกนเหล็กจากตารางในภาคผนวก เราจะได้แกนแม่เหล็กเบอร์ EE42/42/15 ที่มีค่า Ac = 1.82 cm^2, Aw = 1.78 cm^2

ทำให้ได้ Ac. Aw = 1.82 x 1.78 = 3.239 cm^4

การคำนวณจำนวนรอบในการพันด้านปฐมภูมิ

$$N_P = \frac{[V_{in} - 2V_{DS}]t_{on} \times 10^8}{A_C B_m} \quad (3.5)$$

ค่า t_{on} ได้จากการหาจากสมการ (3.6)

$$t_{on} = \frac{D_{eff} T}{2} = \frac{D_{eff}}{2f} \quad (3.6)$$

$$t_{on} = \frac{0.8}{2 \times 60 \times 10^3}$$

$$t_{on} = 6.66 \quad \mu s$$

ค่า V_{DS} หาจากผลคูณระหว่างกระแสสูงสุดกับค่าความต้านทานขณะนำกระแสของมอสเฟต จากตารางในภาคผนวก 1

$$V_{DS} = I_D r_{DS} \quad (3.7)$$

$$V_{DS} = 20 \times 0.27 = 5.4 \quad v$$

แทนค่าตัวแปรต่างๆ ลงในสมการ (3.5) เราจะได้

$$N_P = \frac{[310 - 2(5.4)]6.66 \times 10^{-6} \times 10^8}{1.82 \times 1200}$$

$$N_P = 91.24 \quad \text{รอบ}$$

จากการคำนวณได้จำนวนขดลวดการพันทางด้านปฐมภูมิ ที่ 91.24 รอบ เพื่อให้ค่า N มีค่าลงตัวโดยการปัดเศษได้เท่ากับ 93 รอบ เป็นผลให้คำนวณจำนวนขดลวดการพันทางด้านทุติยภูมิ ตามสมการ (2.5) โดยกำหนดค่าแรงดันทางด้านทุติยภูมิ 70 โวลต์ เพื่อคำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดและค่ากระแส

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

$$N_s = \frac{V_s}{V_p} N_p$$

$$N_s = \frac{70}{310} \times 93 = 21 \quad \text{รอบ}$$

การคำนวณค่ากระแสทางด้านทุติยภูมิ คิดจากค่ากำลังงานของหม้อแปลงที่ต้องการ 500 วัตต์ 48 โวลต์ ได้ค่ากระแส 10.4 แอมป์ คิดเพิ่มอีก 25 เปอร์เซ็นต์ ได้ค่ากระแส 13 แอมป์ นำไปหาค่ากระแสทางด้านขดลวดปฐมภูมิจากสมการ

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{V_p}{V_s} \quad (3.8)$$

$$I_1 = \frac{V_s}{V_p} I_2$$

$$I_1 = \frac{70}{310} \times 13 = 2.935 \quad A$$

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

การเลือกขนาดของขดลวดตัวนำ (AWG) จากตารางในภาคผนวก

ค่ากระแสทางด้านขดลวดปฐมภูมิ 2.935 แอมป์ ใช้ขดลวดตัวนำขนาดเบอร์ 24 ทนกระแสได้ 3.5 แอมป์

ค่ากระแสทางด้านขดลวดทุติยภูมิ 13 แอมป์ ใช้ขดลวดตัวนำขนาดเบอร์ 18 ทนกระแสได้ 16 แอมป์

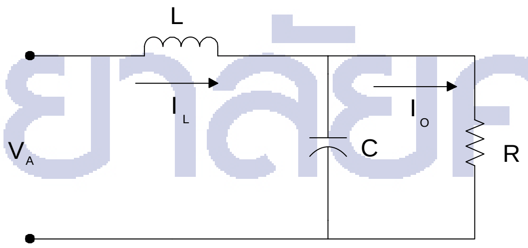
3.6 วงจรเรียงกระแสด้านเอาต์พุต พร้อมกับวงจรกรองแรงดัน

ในกรณีของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์ นั้นจะมีรูปแบบของแรงดันที่ด้านเอาต์พุต จะเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม ดังตัวอย่างที่กล่าวไปแล้วนั้น การส่งผ่านแรงดันที่ทางด้านอินพุตของหม้อแปลงความถี่สูง ที่ความถี่ 60 kHz สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุต ของหม้อแปลงนั้น ควรจะมีรูปร่างที่เหมือนแรงดันที่ป้อนเข้าด้านอินพุตเสมอ

เนื่องจากรูปแบบของสัญญาณมีความถี่สูงในระดับ 60 kHz วงจรเรียงกระแสเอาต์พุต ก็ควรที่จะมีความเร็วสูง เพื่อตอบสนองระบบได้ การใช้งานในส่วนของการแปลงแรงดัน ที่มีรูปแบบของสัญญาณสี่เหลี่ยม นั้นจะต้องเลือกไดโอดที่มีลักษณะที่ตอบสนองความถี่นั้นๆได้

3.6.1 การออกแบบวงจรกรองแรงดัน RLC

เนื่องจากแรงดันที่ได้จากการใช้ วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์ จะอยู่ในรูปแบบของแรงดันที่เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมดังภาพประกอบที่ 3.9 ซึ่งเป็นกระแสสลับ ทั้งนี้ แรงดันที่เราต้องการเป็นรูปแบบของแรงดันกระแสตรง ที่มีค่าริปเปิ้ลอยู่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของขนาดของกระแสด้านเอาต์พุต จึงต้องมีการกรองแรงดันมีสัญญาณของกระแสสลับออกไป เพื่อให้เหลือแค่ค่าแรงดันที่เป็นกระแสตรงเท่านั้น การกรองนั้นมีหลายรูปแบบ แต่แบบที่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากก็คือการกรองแบบ Passive ที่ประกอบด้วยตัวกรองแบบ RLC



ภาพประกอบที่ 3.9 วงจรกรองแรงดัน RLC

3.6.1.1 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ

คำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการสำหรับแหล่งจ่ายไฟสวิตชิงแบบฟลูบริดจ์

$$L = \frac{V_o(1-D_{\min})}{\Delta I f_S} \qquad (3.10)$$

เมื่อกำหนดให้ความต้องการของกระแสริปเปิ้ล (ΔI) อยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของกระแสโหลด

ดังนั้นเมื่อกำหนดกระแสโหลดอยู่ที่ 5 แอมป์ ΔI =0.5 แอมป์ โดยที่

$$D_{\min} = \frac{V_o}{V_{in,\max}} \tag{3.11}$$

เมื่อแทนค่าตัวแปรต่างจะได้ค่าตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ

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

คำนวณหาผลคูณพื้นที่ (Ap)

เริ่มต้นคำนวณพลังงานสะสม

$$E = \frac{1}{2} L I_m^2 \tag{3.12}$$

โดย

$$I_m = I_o + \frac{\Delta I}{2} \tag{3.13}$$

แทนค่าสมการด้วยตัวแปรต่างๆ จะได้

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

สามารถแทนค่าสมการ Bm = 0.2 เทสลา J = 3A/mm^2 Kc = 1 , Kw = 1

$$A_P = A_w A_c = \frac{2E}{K_w K_c J B_m} \tag{3.14}$$

Ap = 4×10^{-8} m^4 หรือ 40,000 mm^4

เลือกขนาดแกนโดยเลือกค่าที่มีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้ 40,000 mm^4 จะได้แกนเบอร์ P42/26(Ap=4.77$\times$10^4 mm^4, Ac=2.64$\times$100 mm^2,Aw=1.81$\times$100 mm^2)

3.6.1.2 คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ

การกรองแรงดันเอาต์พุตให้อยู่ในรูปแบบของกระแสตรงนั้นเราจะต้องใช้ตัวเก็บประจุ เป็นตัวกรอง เนื่องจากคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ มีหน้าที่ในการกรองแรงดันกระแสสลับและทั้งนี้ริปเปิ้ลเอาต์พุตของแรงดันจะขึ้นอยู่กับตัวแปรความถี่และโหลดด้วย การคำนวณนี้มีความสำคัญมาก เนื่องจากการป้อนสัญญาณกลับต้องอาศัยแรงดันที่มีค่าริปเปิ้ลน้อยมากที่สุดเท่าที่จะทำได้จากสมการ (3.15)

$$C = \frac{V_o}{\Delta V_o} \cdot \frac{(1-D)}{8 f_s^2 L} \tag{3.15}$$

เมื่อแทนค่าตัวแปรต่างๆ จะได้ค่าตัวเก็บประจุ

$$\text{C} = 0.264\ \mu F$$

ที่แรงดันริปเปิ้ล 10 เปอร์เซ็นต์จากการคำนวณค่าที่จะเลือกใช้งานต้องมีค่ามากกว่า 0.264 μF

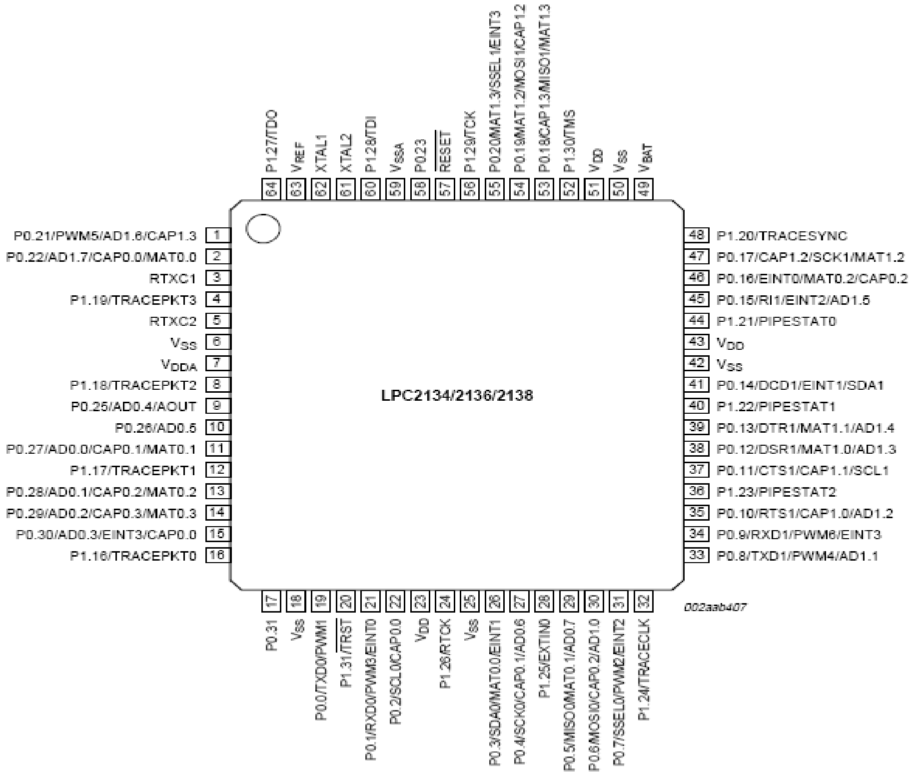
มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

3.7 ตัวประมวลสัญญาณแบบ ARM7 LPC2138

ตัวประมวลสัญญาณ ARM7 โดยบริษัท Phillips ที่ใช้ในการควบคุมแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงนี้นั้น 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 μs/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
- I^2C: 2 fast serial interfacing 400kb/s

ภาพประกอบที่ 3-10 จะแสดงตัวประมวลสัญญาณ LPC2138 AMR7 โดยบริษัท Phillips โดยการประมวลสัญญาณจะใช้ PWM เอาต์พุต ซึ่งมีด้วยกันทั้งหมด 6 ขา สามารถแบ่งการใช้งานเป็น Double edge 3 ขา



ภาพประกอบที่ 3.10 ตัวประมวลสัญญาณ LPC2138

การใช้งานแหล่งจ่ายไฟแบบฟลูบริดจ์นั้น จะมีสัญญาณที่ถูกนำมาใช้ประมวลสัญญาณเพียง 2 ขา คือ p0.7 และ p0.8 หรือ pwm2 และ pwm4 แบบ Double edge นั่นเอง ขนาดของแรงดันสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากการโปรแกรมผ่านทาง ภาษาซีจะมีขนาดเพียง 3.3 โวลต์ การกำหนดค่า Duty cycle ของ PWM จะถูกโปรแกรมให้มีค่าตามข้อกำหนด กล่าวคือ แรงดันที่ด้านท้ายของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงจะถูกควบคุมโดยตัวประมวลสัญญาณนั่นเอง

3.7.1 การแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

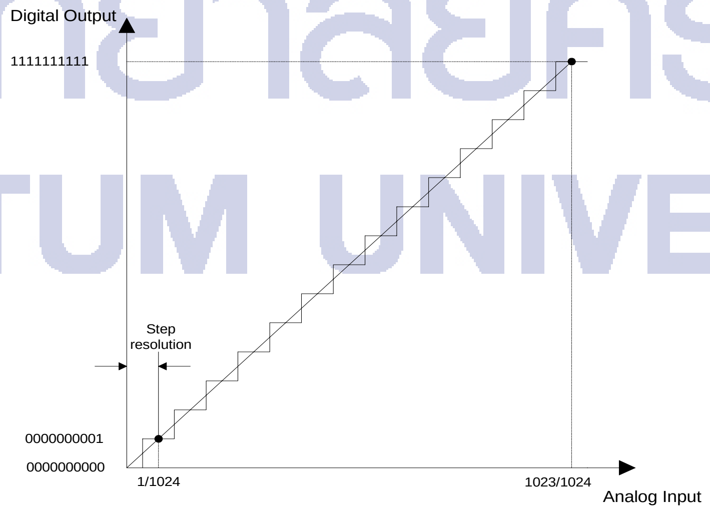
การแปลงสัญญาณที่มีความต่อเนื่องของเวลาเป็นสัญญาณที่จะใช้กับตัวประมวลผลทาง ดิจิตอลนี้นั้น จำเป็นที่จะต้องมีการ Sampling ของสัญญาณที่ต่อเนื่องนั้นๆ ออกเป็นขั้นหรือการ Sampling and Hold ค่านั้นๆไว้ เนื่องจาก LPC2138 AMR7 controller นั้นจะมี ขาสำหรับการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลในตัวอยู่แล้ว แต่หลักการของการแปลงจะขึ้นอยู่กับการเขียนโปรแกรม และ การกำหนดค่าต่างๆ ในโปรแกรมนั้นๆ

การทำงานของตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล นั้นจะอยู่ในรูปแบบของการรับค่าของแรงดันที่ระดับ 0 - 3.3 โวลต์ ตามที่เรากำหนดตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ใน LPC2138 AMR7 controller นั้นมีขนาด 10 บิทซึ่งค่าสูงสุดของแรงดันเทียบเท่ากับ 3.3 โวลต์ ค่าของ Digital number จะมีค่าทั้งหมด 1024 ค่า ความละเอียดของแรงดันที่ได้จะอยู่ในรูปแบบสมการ(3.16)

$$ADC_{resolution} = \frac{V_{ref}}{2^n} \qquad (3.16)$$

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

ความละเอียดของระดับแรงดันในการใช้งานตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ตามค่าที่คำนวณได้จะมีลักษณะตามภาพประกอบที่ 3.11



ภาพประกอบที่ 3.11 ตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ดังนั้นค่าที่เราจะได้สูงสุดที่ป้อนเข้าตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลนั้นจะมีค่าเท่ากับ

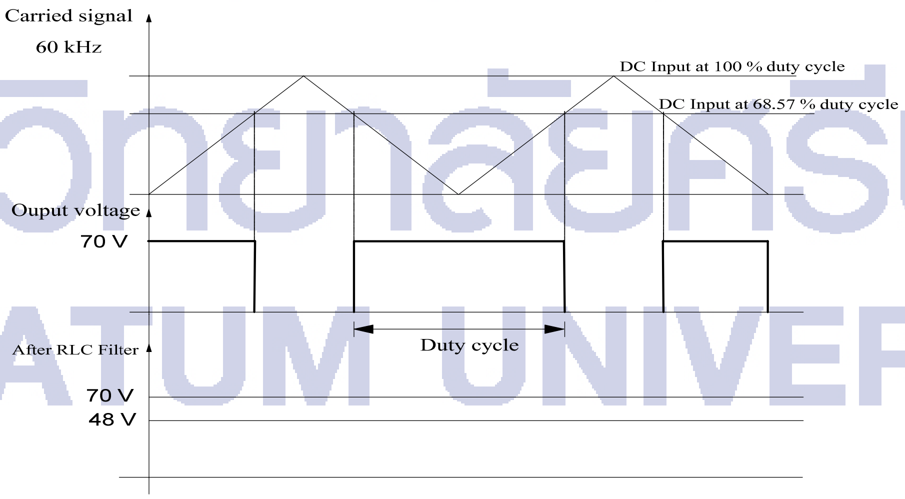
$$V_{DC,\max} = \frac{V_{ref} \cdot 1023}{1024} = 3.296 \text{ volt} \qquad (3.17)$$

การทำงานโดยการป้อนแรงดันย้อนกลับเข้าชุด PWM ที่ขับมอสเฟตนั้นจะต้องป้อนผ่านโปรแกรมที่กำหนดระดับแรงดันที่เราต้องการ ในการออกแบบ smps นี้นั้น เราตั้งค่าที่จะป้อนกลับนั้นมีค่าเท่ากับระดับแรงดัน 48 โวลต์ เพราะฉะนั้น การกำหนดระดับแรงดันเป็นสิ่งสำคัญมากในการป้อนกลับ ทั้งนี้การต่อตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลของวงจรที่ใช้งานอยู่ต้องพึ่งระวังเกี่ยวกับเรื่องของการ Float ของ Ground แรงดันที่เราทำการป้อนด้วย

3.7.2 สัญญาณป้อนกลับ

หลักทั่วไปของการส่งสัญญาณเข้าตัวควบคุมแบบ ARM7 เพื่อป้อนกลับนั้น เนื่องจากดังที่กล่าวมาแล้วว่าตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ของตัวควบคุมแบบ ARM7 นั้นประกอบอยู่ในตัวควบคุมและถูกจำกัดความสามารถในการรับแรงดันอยู่ที่ระดับ 0 - 3.3 โวลต์ ดังนั้นการป้อนกลับของแรงดันที่เข้ามาควบคุมแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง หรือ Duty cycle ของมอสเฟต นั้นๆ จะต้องลดระดับแรงดันลงมาเพื่อให้ตอบรับกับข้อกำหนดของ ตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ด้วย ดังตัวอย่างด้านล่างในการคำนวณการป้อนกลับของสัญญาณที่ระดับแรงดันสูงสุด

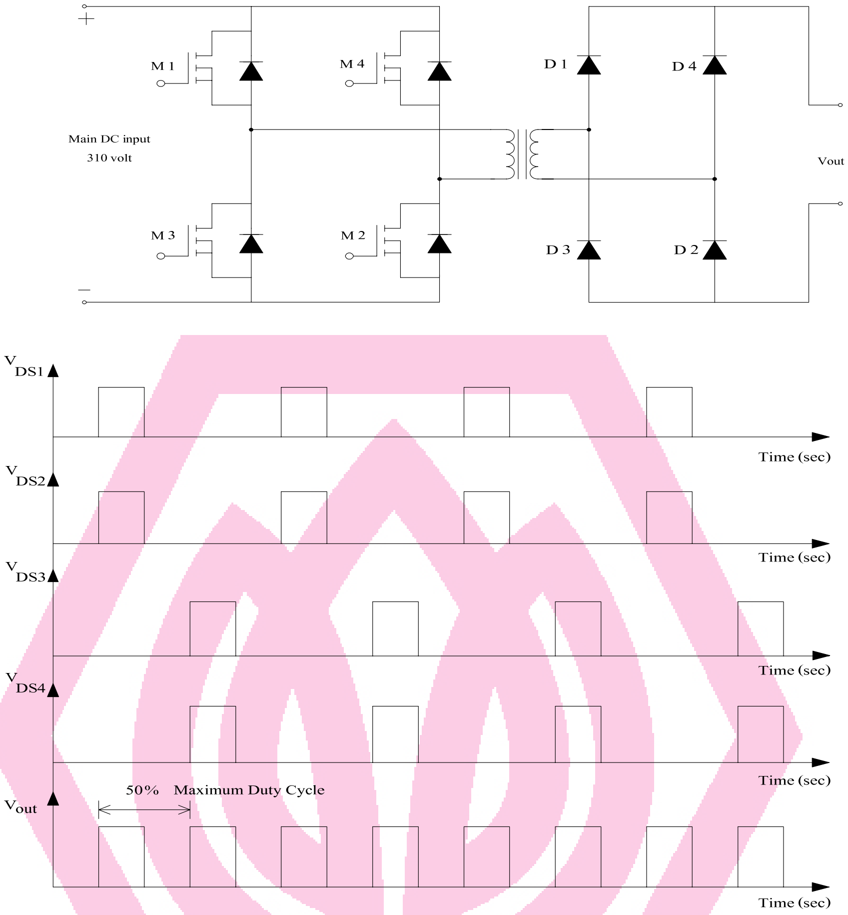
แรงดันจะมีค่าสูงสุดก็ต่อเมื่อแรงดันเอาต์พุต จะมีค่าเท่ากับ 70 โวลต์ หรือ Duty cycle 100 เปอร์เซ็นต์ และ แปรตามลำดับ คือ ถ้าแรงดันด้านออกมีค่า 48 โวลต์ ค่า duty cycle จะมีค่าเท่ากับ 48/70 คูณด้วย 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าเท่ากับ 68.57 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพประกอบที่ 3.12



ภาพประกอบที่ 3.12 การคำนวณการป้อนกลับของสัญญาณที่ระดับแรงดันสูงสุด

การทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง นั้นเราต้องการสัญญาณที่เหมือนกัน ความหมายก็คือเราต้องการสัญญาณที่เหมือนกันแต่มีมุมแตกต่างกันที่มุม 180 องศา ตามภาพประกอบที่ 3.13

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

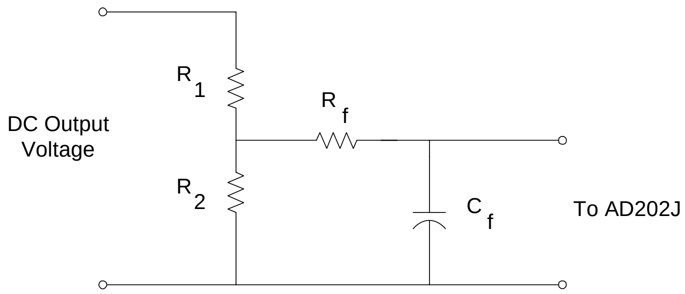


ภาพประกอบที่ 3.13 รูปแบบสัญญาณการสวิตซ์ของมอสเฟต

จากภาพประกอบที่ 3.13 เราจะเห็นได้ว่าระดับแรงดันที่ป้อนกลับนั้นสูงสุดจะอยู่ที่ระดับ 3.3 โวลต์ ซึ่งมีค่าป้อนเข้าอนาลอกอยู่ 1024 แต่ระดับแรงดันที่แท้จริงจะถูกจำกัดให้มีระดับแรงดันที่ครึ่งเดียวคือ 1.75 โวลต์ เพื่อให้เกิดการสวิตซ์ Duty cycle < 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ทับกันระหว่าง M1, M3 หรือ M4, M2

จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้นจะนำไปสู่การออกแบบป้อนกลับที่ต้องการจำกัด ค่าของแรงดันที่จะสามารถป้อนเข้าได้ ทั้งนี้นั้นการจำกัดแรงดันที่จะแบ่งแรงดันมา นั้นจะมีค่าที่ไม่ควรเกินค่า 1.75 โวลต์

ตามภาพประกอบที่ 3.14 นั้นจะทำการแปลงแรงดันที่มีขนาด 70 โวลต์เหลือแรงดันที่ 1.75 โวลต์ โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นตัวปรับจูนความละเอียดของแรงดันที่จะป้อนกับเข้า ตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล การปรับค่าแรงดันนั้นจะถูกส่งผ่านเข้าตัวแยกทางไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการแยกทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันเอาต์พุตและในส่วนของตัวประเมินผล LPC2138 ตัวแยกทางไฟฟ้าตัวนี้นั้นเราเลือกใช้ AD202J ในระบบการป้อนกลับ เนื่องจากตัวแยกทางไฟฟ้าตัวนี้นั้นทำงานโดยการป้อนแรงดันด้านเอาต์พุตเป็นลักษณะค่าอิมพิแดนซ์สูงเมื่อมีการ ลัดวงจรที่ด้านเอาต์พุตกระแสการลัดวงจรนั้นจะไม่วิ่งไหลเข้ากลับไปใน LPC2138 ซึ่งป้องกันปัญหาที่จะตามมาในระบบ



ภาพประกอบที่ 3.14 วงจรการแปลงค่าแรงดันกลับ

การคำนวณหาค่าตัวต้านทานต่างๆนั้นต้องคำนึงถึงค่าที่กำลังที่เหมาะสมให้กับตัวต้านทานนั้นๆ ด้วย จากสมการด้านล่างกำหนดให้

$$V_{sense} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{output} \tag{3.18}$$

เมื่อกำหนดให้แรงดันที่ป้อนกลับ LPC2138 สูงสุดที่ 1.75 โวลต์ แรงดันด้านออก มีค่าเท่ากับ 70 โวลต์ คำนวณหาอัตราส่วนของค่าความต้านทานได้

$$R_1 = 39R_2$$

3.8 การออกแบบตัวควบคุม พี ไอ ของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง

จากการออกแบบระบบเปิดที่ผ่านมานั้น ณ. ขั้นตอนนี้เราจะมาสนใจในส่วนของการออกแบบระบบปิดที่มีการชดเชยค่าผิดพลาดด้วยตัวควบคุมแบบ พี ไอ จากรูปด้านล่าง แรงดัน ผิดพลาดจะถูกป้อนกลับผ่านทางตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลของ LPC2138 ซึ่งจะมีทำการเปรียบเทียบกับระดับแรงดันที่ตั้งไว้ในโปรแกรม ซึ่งทั้งนี้นั้นจะมี ตัวชดเชยค่าความผิดพลาด จนให้ค่าความผิดพลาดนั้นมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ โดยรวมของระบบแล้วนั้น ตัวควบคุมแบบพี นั้นไม่สามารถทำงานตามลำพังได้ โดยที่จะชดเชยค่าความผิดพลาดให้เป็นศูนย์ เพราะฉนั้นจึงต้องมีการเพิ่มตัวควบคุมแบบไอ ต่อ แบบขนานเข้าไปด้วยเพื่อให้เกิดการชดเชยจนค่าความผิดพลาด สามารถเข้าใกล้ศูนย์ได้ การออกแบบเพื่อใช้งานในรูปแบบของการควบคุมโดยสัญญาณดิจิตอล นั้นจะต้องคำนึงถึงส่วนของการแปลงในรูปแบบตัวแปรเวลาให้อยู่ในรูปแบบของตัวแปรเชิงดิจิตอล จากสมการ 3.19 เป็นสมการของการต่อแบบขนานในแบบของตัวแปรตามเวลา

$$V_{out} = K_p e_p + K_i \int e_p dt + V_0(0) \tag{3.19}$$

ในที่นี้จะสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดให้ค่าของตัวควบคุมแบบ พี ไอ อยู่ในรูปแบบของตัวแปรเชิงดิจิตอลได้ ส่วนของตัวควบคุมแบบ Proportional นั้นสามารถแยกเขียนในตัวแปรเชิงเวลาได้ดังนี้

$$m(t) = K_p e_p(t) \tag{3.20}$$

ในเมื่อกำหนดให้ Kp คือค่าคงที่ เราสามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบของตัวแปรเชิงดิจิตอลได้ดังนี้

$$m_n = K_p e_n \qquad (3.21)$$

ใช้สมการ Backward เราสามรถแปลงสมการให้อยู่ในรูปแบบของตัวแปรเชิงดิจิตอล ดังนี้

$$m_{n-1} = K_p e_{n-1} \qquad (3.22)$$

ผลต่างของสมการ(3.21) และ(3.22) จะได้ดังสมการด้านล่าง(3.23)

$$\Delta m = m_n - m_{n-1} = K_p(e_n - e_{n-1}) \qquad (3.23)$$

จากการเขียนโปรแกรมที่สั่งงานตัวประมวลสัญญาณ LPC2138 นั้น เราจะใช้พื้นฐานจากสมการด้านบน เพื่อหาค่าของ K_p e_p ตัวควบคุมแบบ Integral จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของตัวแปรเชิงเวลา ได้ดังรูปแบบสมการด้านล่างโดยการอินทิเกรตค่าของความผิดพลาด

$$m(t) = K_i \int_0^t e_p(t)dt \qquad (3.24)$$

หลังจากการแปลงตัวแปรเชิงเวลาให้อยู่ในรูปแบบของ ตัวแปรเชิงดิจิตอลแล้วนั้นเราจะได้รูปแบบของสมการ ที่เกิดจากผลคูณของ e_p กับ Sampling time ณ. ที่จุด Sampling ต่างๆกัน

$$m_n = K_i \sum_{j=1}^{n} Te_j \qquad (3.25)$$

เรานำมาเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายขึ้น จะได้ดังสมการ (3.26)

$$m_n = K_i \sum_{j=1}^{n-1} Te_j + K_i Te_n \qquad (3.26)$$

ในกรณีที่

$$m_{n-1} = K_i \sum_{j=1}^{n-1} Te_j \qquad (3.27)$$

ผลต่างของสมการ(3.26) และ (3.27) จะได้ดังสมการด้านล่าง (3.28)

$$\Delta m_n = m_n - m_{n-1} = K_i Te_n \qquad (3.28)$$

ดังสมการที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วนั้น เราสามารถหาผลรวมของตัวควบคุมแบบ พี ไอ เพื่อเขียนในโปรแกรมสั่งงาน LPC2138 ได้ดังนี้

$$\Delta m_n = (\Delta m_n)_P + (\Delta m_n)_I \qquad (3.29)$$

รวมสมการที่ (3.23) กับ (3.28) เราจะได้สมการในรูปตัวแปรเชิงดิจิตอลเป็นสมการดังนี้

$$\Delta m = m_n - m_{n-1} = K_p(e_n - e_{n-1}) + K_i Te_n \qquad (3.30)$$

$$\Delta m = (K_p + K_i T)e_n - K_p e_{n-1} \qquad (3.31)$$

$$m_n = m_{n-1} + (K_p + K_i T)e_n - K_p e_{n-1} \qquad (3.32)$$

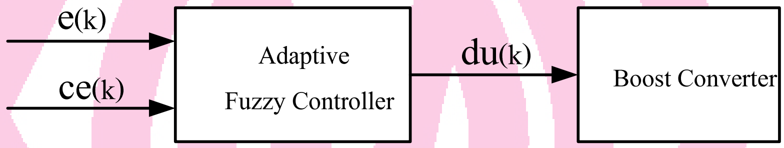
มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

3.9 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี ของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง

หลักการควบคุมแบบฟัซซี ใช้หลักการเดียวกับระบบควบคุมพีไอ ซึ่งโครงสร้างของระบบควบคุมฟัซซีลอจิกแบบปรับตัว ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กลไกการเรียนรู้และตัวควบคุมฐานความรู้

3.9.1 กลไกการเรียนรู้ (Learning Mehanism)

กลไกการเรียนรู้ทำหน้าที่ปรับฐานความรู้ของตัวควบคุมฟัซซีพื้นฐาน โดยจะทำการปรับรูปฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซี ในการตอบสนองให้สอดคล้องกับสภาวะการทำงาน ในส่วนนี้นำมาปรับองค์ประกอบที่สำคัญของฟัซซี 2 องค์ประกอบ คือ การปรับขนาดของค่าความผิดพลาดและค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด ส่วนเอาต์พุต คือ การเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันควบคุม (Change of control output:du) ตามภาพประกอบที่ 3.15



ภาพประกอบที่ 3.15 โครงสร้างการทำงานของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก

ในการหาค่าความผิดพลาด โดยการตรวจจับค่าแรงดันด้านเอาต์พุต มาทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดและค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด ได้จากสมการ (2.37) และ (2.38) จากนั้นกระบวนการฟัซซีลอจิก จะเป็นกลไกการควบคุม PWM โดยส่งสัญญาณควบคุมแรงดันออกมาตามสมการ (2.39) ซึ่งกลไกการควบคุม PWM หรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ จะคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกและแรงดันขาเข้า เพื่อนำมาปรับอัตราสวิตช์ของมอสเฟต (Duty cycle) ตามสมการ (3.34) และมีความพันธ์กับวงจรอินเวอร์เตอร์ ตามสมการ (3.35)

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1-D} \qquad (3.34)$$

$$L\frac{d_i}{d_t} + R_i = V \qquad (3.35)$$

$$L\frac{d_i}{d_t} + R_i = -V \qquad (3.36)$$

เมื่อ V_o คือ แรงดันขาออกของบูสต์คอนเวอร์เตอร์

V_i คือ แรงดันขาเข้าของบูสต์คอนเวอร์เตอร์

D คือ Duty cycle

V คือ แรงดันขาเข้าของอินเวอร์เตอร์

L คือ ค่าความเหนี่ยวนำของวงจร

R คือ ค่าภาระทางไฟฟ้าของวงจร

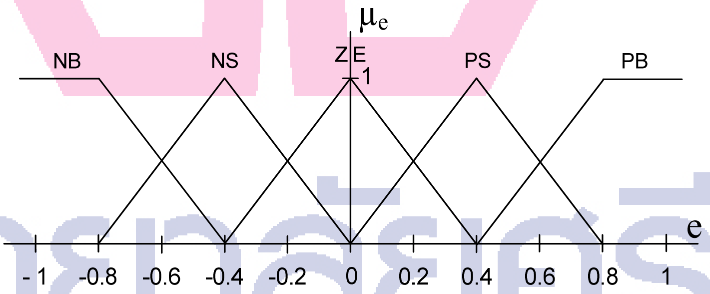
3.9.2 ตัวควบคุมฐานความรู้ฟัซซี (Fuzzy Knowledge Base Controller)

การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี จะเป็นการกำหนดค่าแบบตัวเลข เพื่อนำไปใช้ในการแสดงเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทางด้านเอาต์พุต ของกระบวนการควบคุมชุดของ PWM ซึ่งเป็นการควบคุมอัตราการสวิตซ์หรือค่าเกณฑ์การขยาย Duty cycle ของมอสเฟต ให้เหมาะสมกับค่าภาระทางไฟฟ้า ซึ่งจะแสดงค่าของความเป็นสมาชิกที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

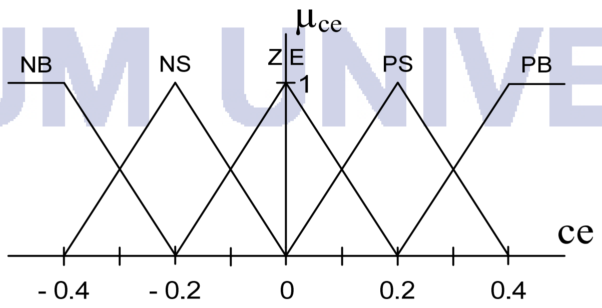
ในระบบการควบคุมฟัซซีลอจิกมีส่วนประกอบหลักของระบบด้วยกันอยู่ 4 ส่วน คือ

1.การแปลงค่าที่ใช้งานจริงให้เป็นค่าฟัซซี (Fuzzification) เป็นขบวนการที่แปลงค่าอินพุต ในส่วนของค่าความผิดพลาด (Error) และค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด (Change of Error) โดยจะผ่านขั้นตอนการปรับตัวคูณของค่าอินพุตแรงดันให้มีความเหมาะสม เรียกว่า การปรับขนาดของอินพุต (Input scaling) จากนั้นจึงนำไปแปลงค่าให้อยู่ในรูปของฟัซซี

เนื่องจากเป็นข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกัน การกระจายของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก จึงเลือกใช้การกระจายแบบสามเหลี่ยม (Triangle membership function) ฟังก์ชันที่ใช้ในการกำหนดระดับของค่าความเป็นสมาชิกฟัซซีได้ 5 ระดับ คือ NB (Negative Big), NS (Negative Small), ZE (Zero), PS (Positive Big), PB (Positive Small) ซึ่งกำหนดฟังก์ชันให้มีการทับกันระหว่างฟังก์ชัน ช่วงของความกว้างของค่าสมาชิกทั้งซ้ายและขวา จากโดเมน -1 ถึง 1 และมีค่าความสูงของฟัซซี (Membership grade) อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 จะได้รูปร่างการกระจายฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยมของอินพุตและเอาต์พุตตามภาพประกอบที่ 3.16 ก. และ ข.



ก. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าความผิดพลาด(e)



ข. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด(ce)

ภาพประกอบที่ 3.16 การกระจายของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

2.กฎการอนุมาน (Inference Engine) เป็นการอนุมานโดยอาศัยการแยกกฎ (Individual-rule based inference) พิจารณากฎจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดที่ได้ทำการแปลงเป็นค่าฟัซซีแล้ว นำมาเปรียบเทียบค่าทั้งสองว่าตรงกับกฎ ซึ่งมีทั้งหมด 25 กฎ จากกฎจะสามารถอธิบายได้ในรูปของเงื่อนไข ถ้า......แล้ว ได้ดังนี้

if e is <fuzzy set> and ce is <fuzzy set> then du is <fuzzy set>

เมื่อได้เอาต์พุตของระบบควบคุมแล้ว จึงนำค่านั้นไปทำการแปลงจากค่าฟัซซีให้เป็นค่าที่ใช้งานจริง (Defuzzification)

3.การแปลงค่าฟัซซีให้เป็นค่าที่ใช้งานจริง (Defuzzification) เนื่องระบบต้องการค่าจริงในการควบคุม ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงจากค่าฟัซซีให้เป็นค่าที่ใช้งานจริง เพื่อนำไปใช้ควบคุมในระบบได้ ในการควบคุมระบบของงานวิจัยนี้เลือกใช้ วิธีการแปลงค่าฟัซซีเป็นค่าจริงด้วยความสูง (Height defuzzification) ซึ่งการเลือกใช้กฎมีอยู่ m กฎ จะสามารถหาค่าของเอาต์พุต u ได้จากสมการ (3.33)

$$u = \frac{\sum_{j=1}^{n} c_i f_i}{\sum_{j=1}^{n} f_i} \tag{3.33}$$

เมื่อ c_i คือค่าสูงสุดของการกระจายของเอาต์พุต ซึ่งตรงกับกฎที่ i

f_i คือความสูงของกฎที่ i

4.ฐานความรู้ (Knowledge Base) เป็นข้อมูลค่าพารามิเตอร์ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฟัซซีเซต ค่าตัวคูณสเกลและจำนวนกฎต่างๆ โดยกฎของฟัซซีเป็นเป็นวิธีการกระทำหรือการจัดการเงื่อนไขของตัวแปรอินพุต ซึ่งถูกออกแบบและสร้างขึ้นโดยอาศัยฐานความรู้ พฤติกรรมการทำงานของระบบแล้วจึงนำมาปรับเปลี่ยนค่าฐานความรู้ให้เหมาะสมในการควบคุม จากภาพประกอบที่ 3.16 ก. ภาพประกอบที่ 3.16 ข. ภาพประกอบที่ 2.16 และภาพประกอบที่ 2.22 นำมาเป็นแนวทางในการออกแบบกฎฟัซซี ของการควบคุม ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตของการออกแบบกฎฟัซซี

Error	Change of Error (ce)				
(e)	PB	PS	ZE	NS	NB
PB	PB	PS	PS	PS	NB
PS	PS	PS	PS	NS	NS
ZE	PS	ZE	ZE	ZE	NS
NS	NS	NS	NS	NS	NS
NB	NB	NS	NS	NS	NB

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 4

การทดสอบและเก็บผล

4.1 ภาพรวมของการทดสอบและการเก็บผล

การทดสอบระบบของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงที่เราจะกล่าวถึงบทนี้จะมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบในบทที่ที่ผ่านมา กล่าวคือ การทดสอบและการเก็บผลนั้นจะทำการทดสอบด้วยอุปกรณ์จริงที่ได้จากการออกแบบ ซึ่งทำการทดสอบและเก็บผลจากการควบคุมทั้งสองแบบ คือ ส่วนของผลการตอบสนองของแรงดันเอาต์พุตที่เกิดจากการควบคุมแบบ PI และแรงดันเอาต์พุตที่เกิดจากการควบคุมแบบ Fuzzy logic ซึ่งเป็นการเก็บผลการตอบสนองของแรงดันเอาต์พุต ที่ไม่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ และ ส่วนของที่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ ของทั้งสองแบบ

4.2 ผลการทดสอบ

การออกแบบที่ผ่านมานั้นเน้นพื้นฐานของการประยุกต์ทฤษฎีต่างๆ มาอยู่ในรูปแบบของอุปกรณ์จริง อย่างเช่นการออกแบบระบบที่เหมาะสมในการควบคุมหรือเลือกชิ้นส่วนต่างให้ถูกต้อง การทดสอบผลต่างๆ ของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงนี้นั้นจะประกอบด้วยการทดลองที่เป็นโหลดความต้านทาน ขนาดต่างๆ สามารถแบ่งออกเป็นดังนี้

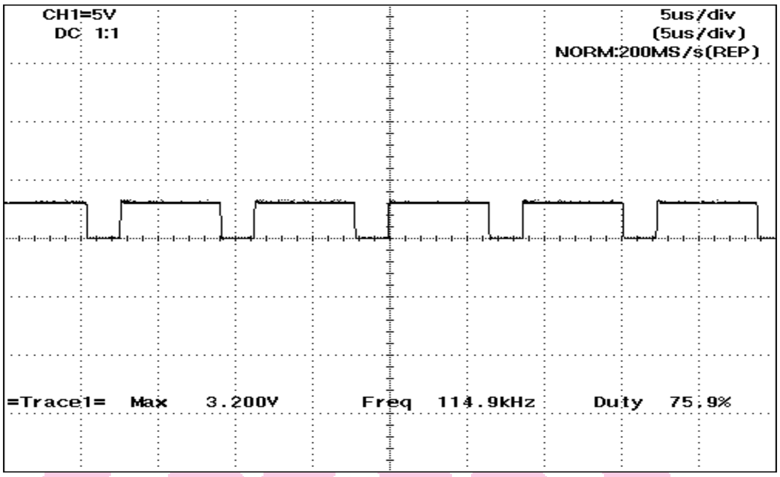
- โหลดทดสอบขนาด 125 วัตต์
- โหลดทดสอบขนาด 250 วัตต์
- โหลดทดสอบขนาด 375 วัตต์
- โหลดทดสอบขนาด 500 วัตต์

ซึ่งทั้งนี้การทดสอบที่ สภาวะของโหลดขนาดต่างๆ นั้นจะทำการเก็บค่าที่แยกออกเป็นหัวข้อที่สนใจดังต่อไปนี้

- สัญญาณ PWM จากตัวประมวลผล ARM7 LPC2138
- สัญญาณ PWM ในชุดขับมอสเฟต
- ผลการตอบสนองของแรงดันเอาต์พุต ที่ไม่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ
- ผลการตอบสนองของแรงดันเอาต์พุต ที่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ

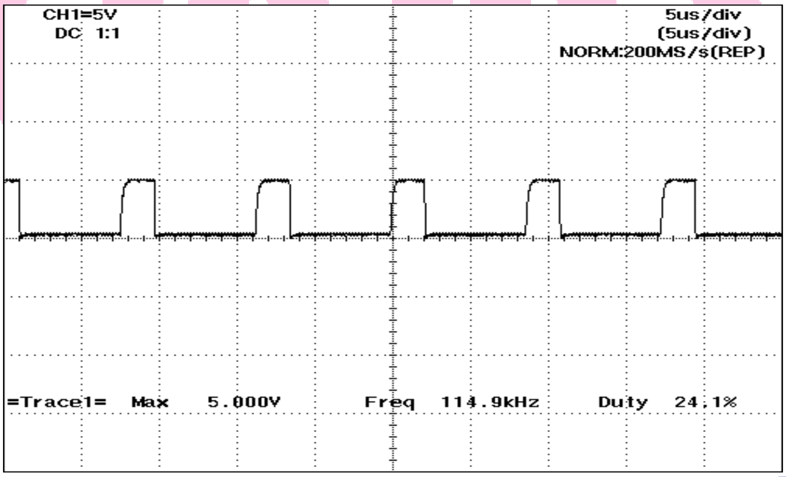
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

4.2.1 สัญญาณ PWM จากตัวประมวลผล ARM7 LPC2138

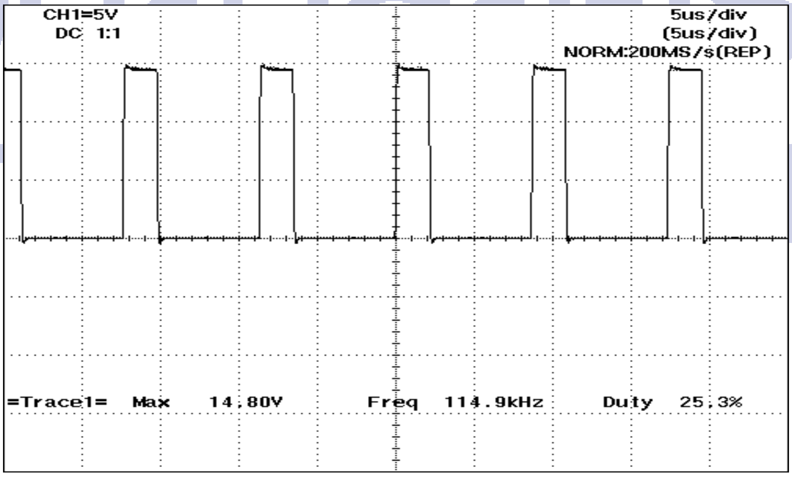


ภาพประกอบที่ 4.1 สัญญาณตัวประมวลผล LPC2138

4.2.2 สัญญาณ PWM ในชุดขับมอสเฟต

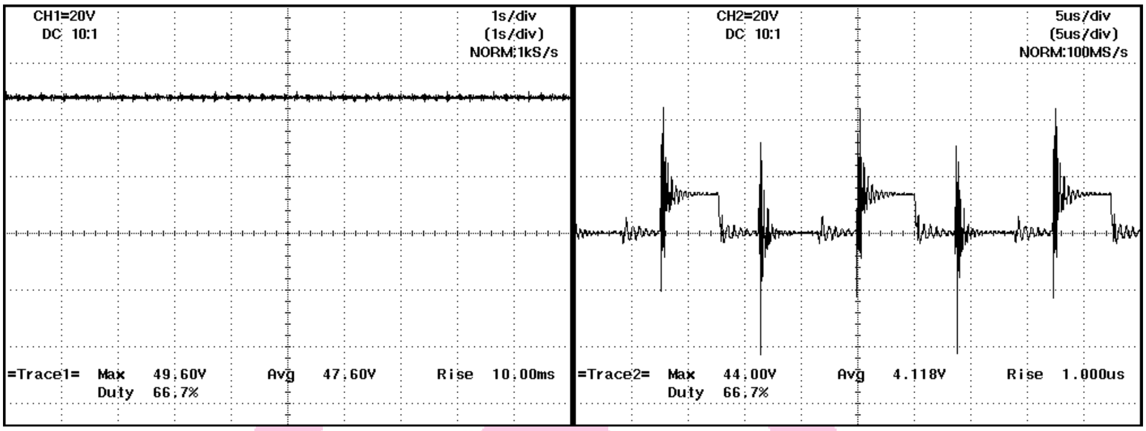


ภาพประกอบที่ 4.2 สัญญาณที่ออกจาก 6N137 (High Frequency Opto-Coupler)



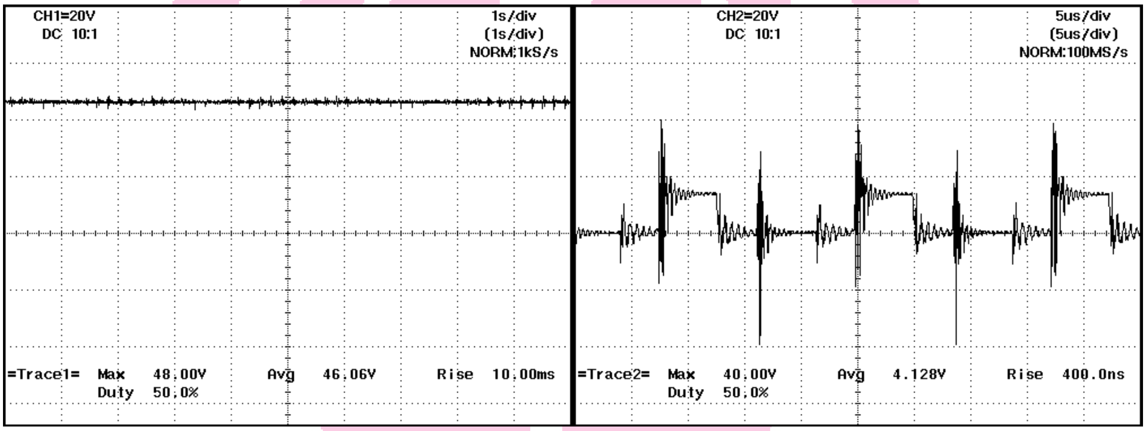
ภาพประกอบที่ 4.3 สัญญาณที่ออกจาก MC14504 (5 to 15V Level Shifter)

4.2.3 ผลแรงดันที่ด้านเอาต์พุตแบบลูปเปิด



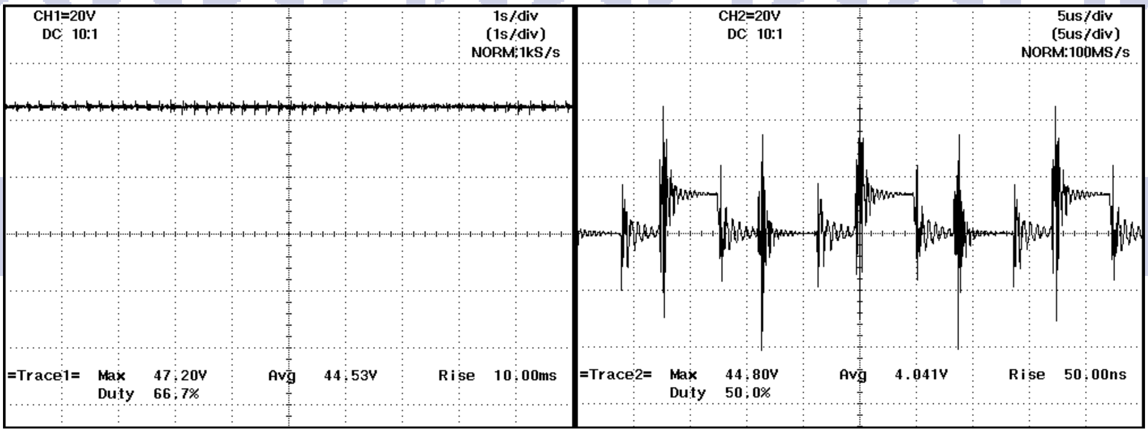
ก.สัญญาณแรงดันเอาต์พุต ข.สัญญาณแรงดันมอสเฟต

ภาพประกอบที่ 4.4 การควบคุมแบบลูปเปิด ที่สภาวะโหลด 125 วัตต์



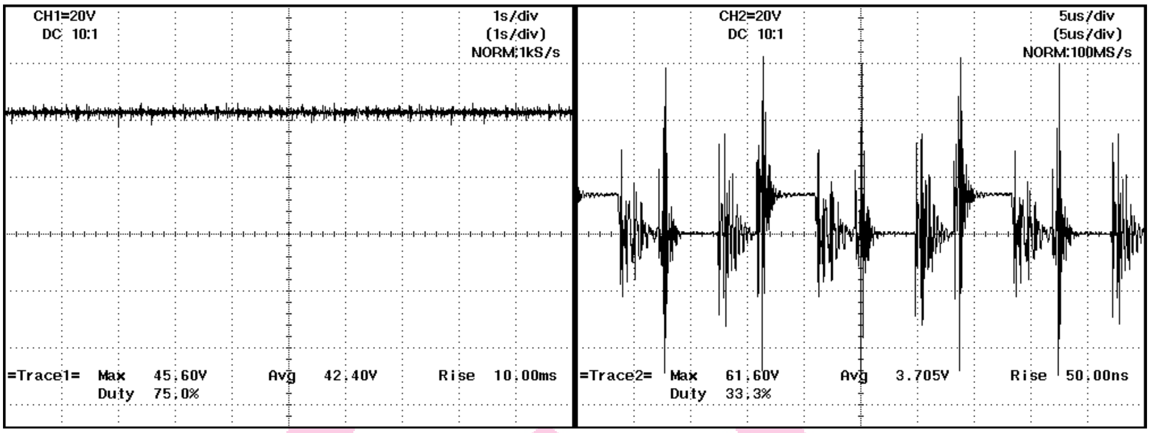
ก.สัญญาณแรงดันเอาต์พุต ข.สัญญาณแรงดันมอสเฟต

ภาพประกอบที่ 4.5 การควบคุมแบบลูปเปิด ที่สภาวะโหลด 250 วัตต์



ก.สัญญาณแรงดันเอาต์พุต ข.สัญญาณแรงดันมอสเฟต

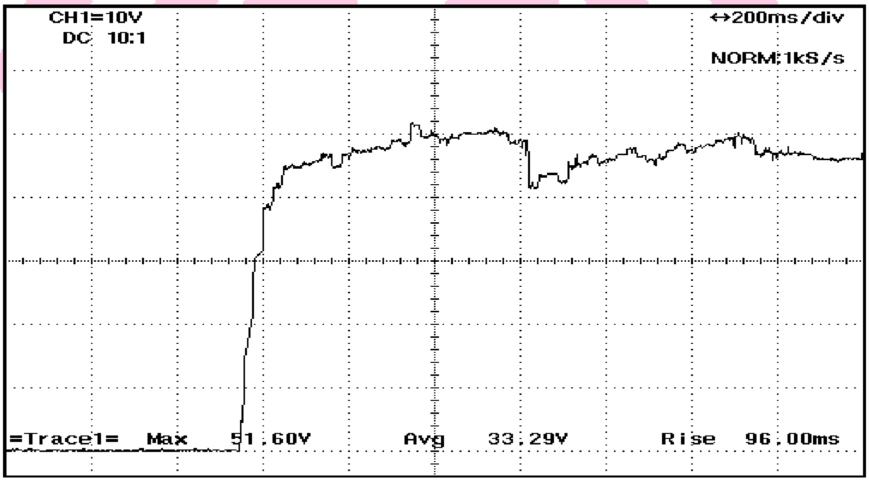
ภาพประกอบที่ 4.6 การควบคุมแบบลูปเปิด ที่สภาวะโหลด 375 วัตต์



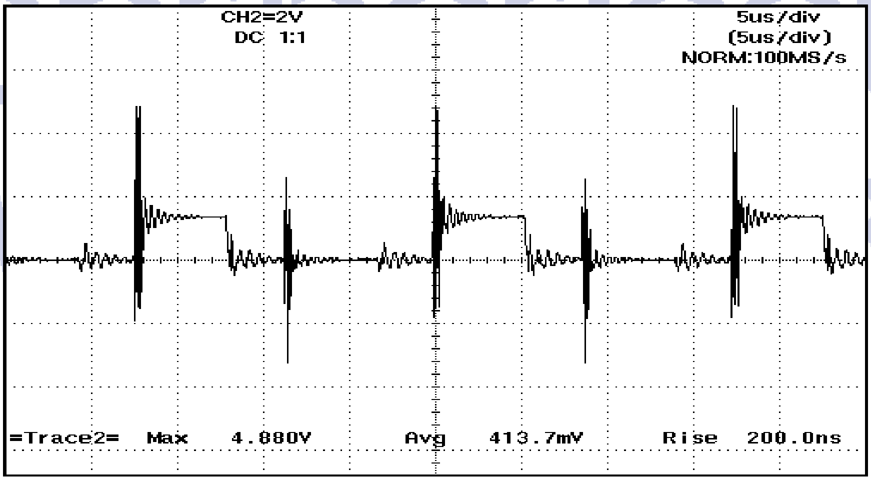
ก.สัญญาณแรงดันเอาต์พุต ข.สัญญาณแรงดันมอสเฟต

ภาพประกอบที่ 4.7 การควบคุมแบบลูปเปิด ที่สภาวะโหลด 500 วัตต์

4.2.4 ผลแรงดันที่ด้านเอาต์พุตแบบลูปปิดควบคุมด้วยวิธีการ พี ไอ

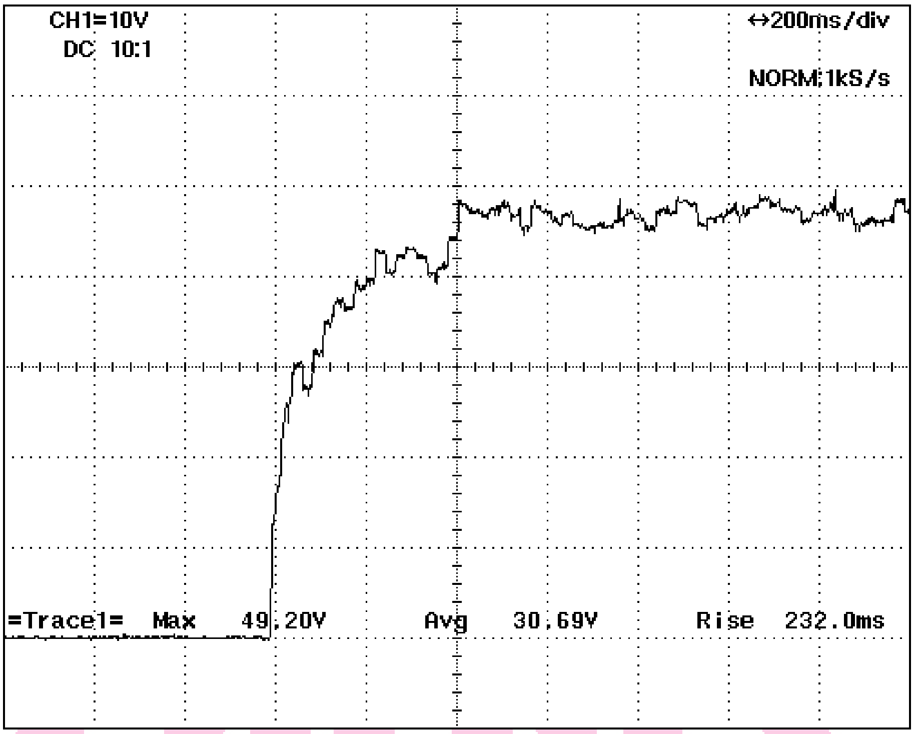


ก.สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

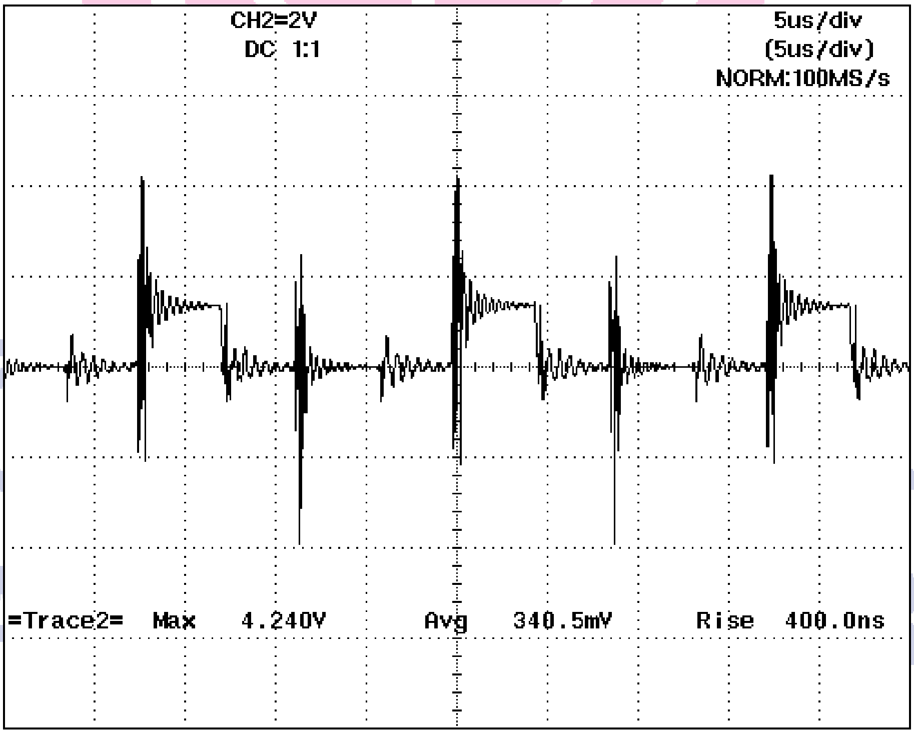


ข.สัญญาณควบคุมมอสเฟต

ภาพประกอบที่ 4.8 การควบคุมด้วย พี ไอ แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 125 วัตต์

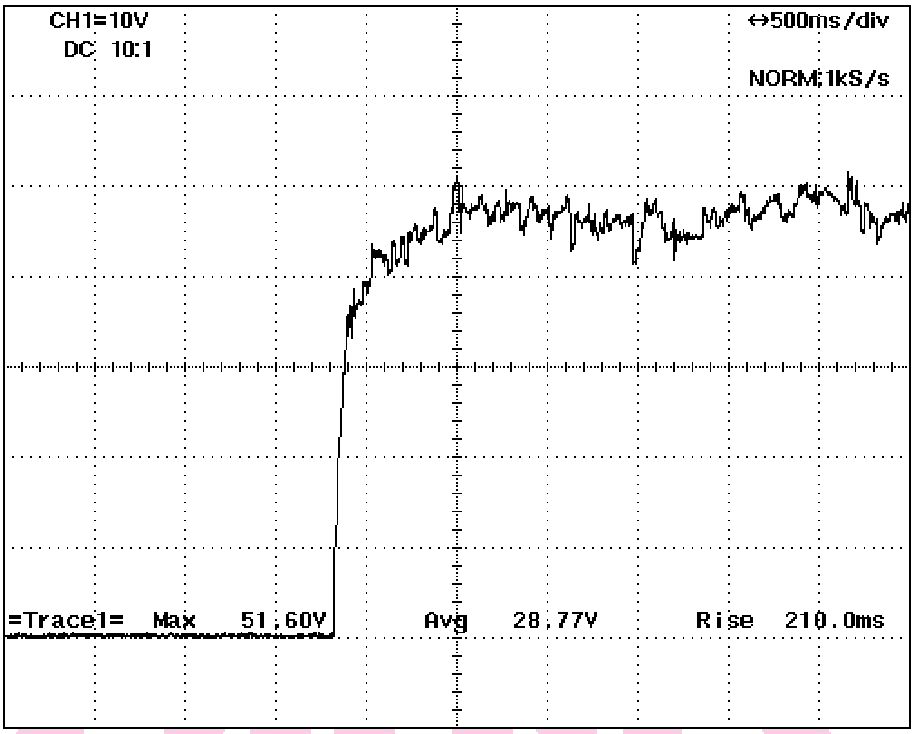


ก.สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

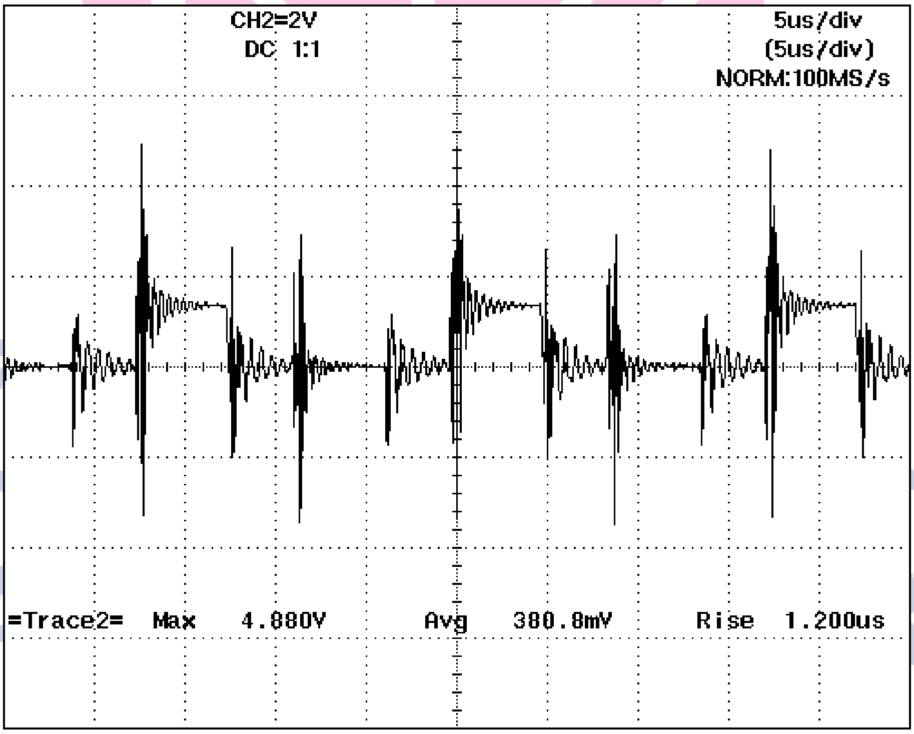


ข.สัญญาณควบคุมมอสเฟต

ภาพประกอบที่ 4.9 การควบคุมด้วย พี ไอ แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 250 วัตต์

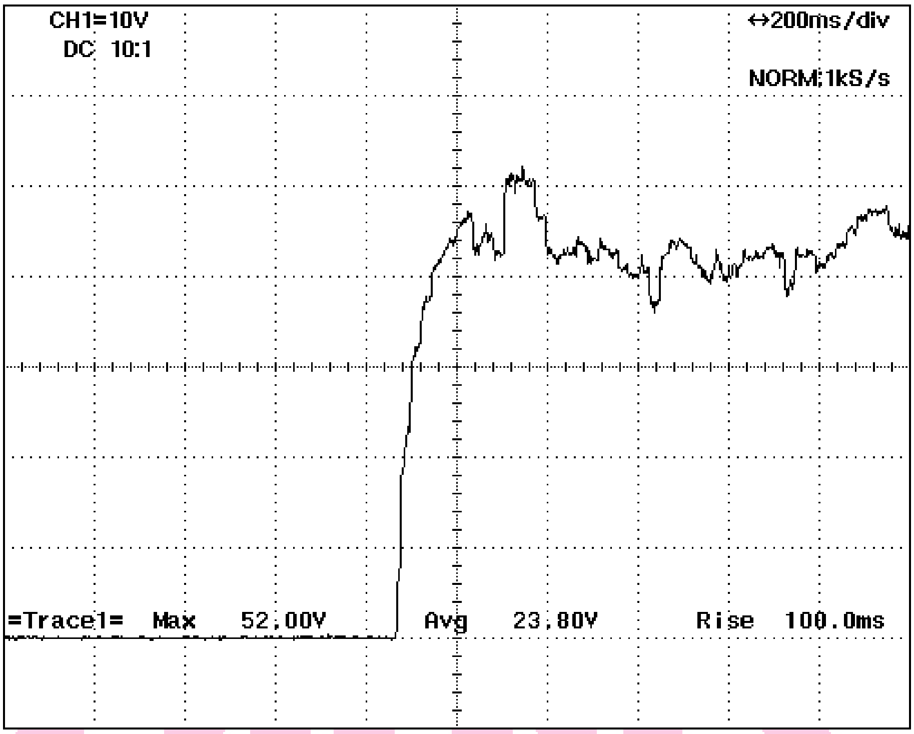


ก.สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

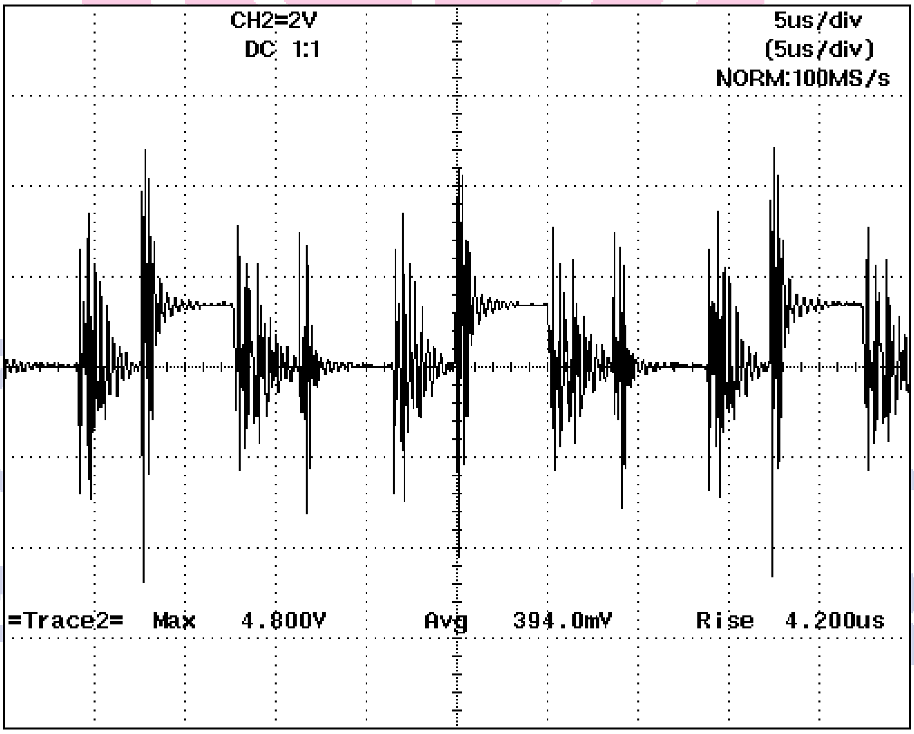


ข.สัญญาณควบคุมมอสเฟต

ภาพประกอบที่ 4.10 การควบคุมด้วย พี ไอ แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 375 วัตต์



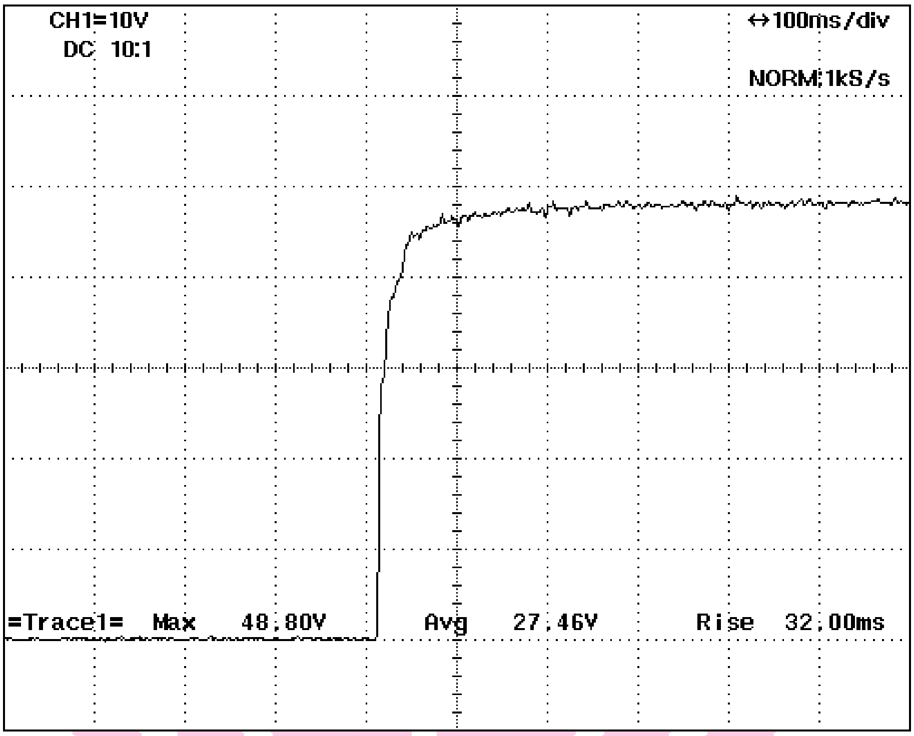
ก.สัญญาณแรงดันเอาต์พุต



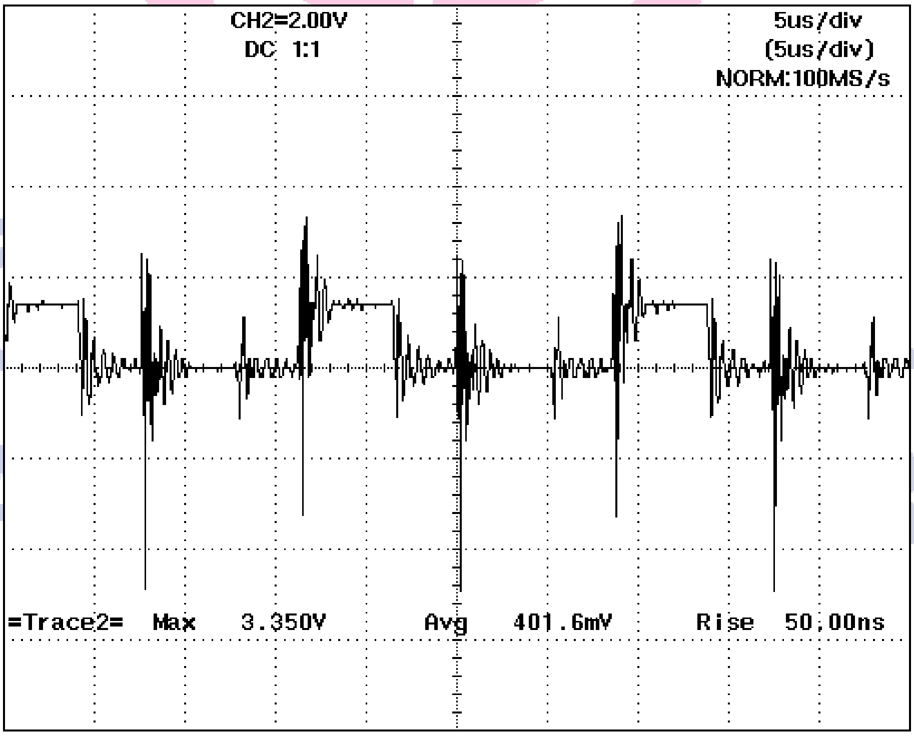
ข.สัญญาณควบคุมมอสเฟต

ภาพประกอบที่ 4.11 การควบคุมด้วย พี ไอ แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 500 วัตต์

4.2.5 ผลแรงดันที่ด้านเอาต์พุตแบบลูปปิดควบคุมด้วยวิธีการ ฟัซซี

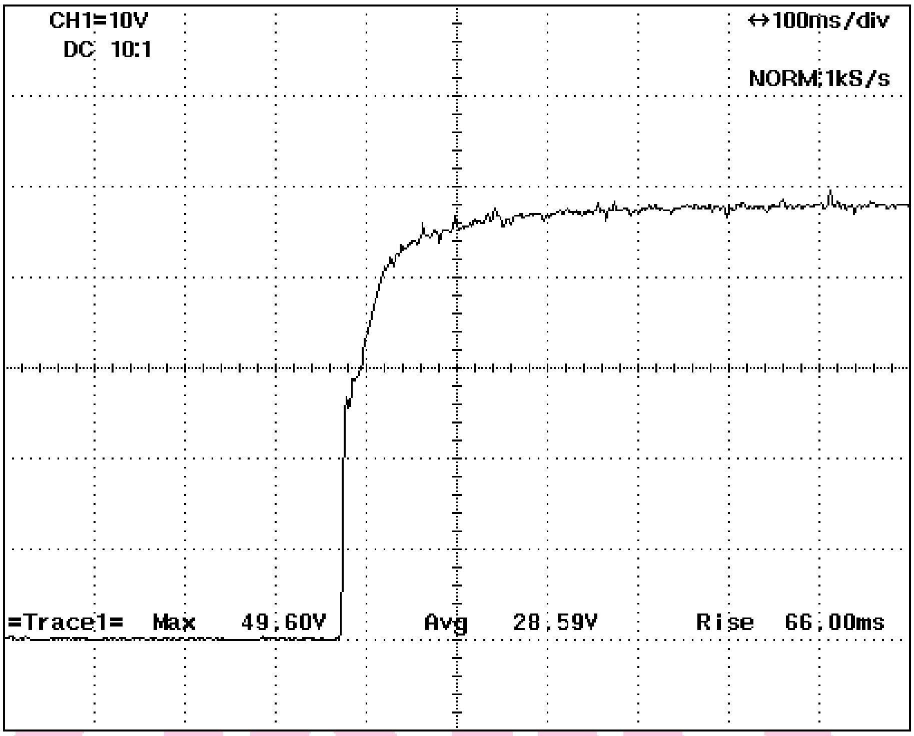


ก.สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

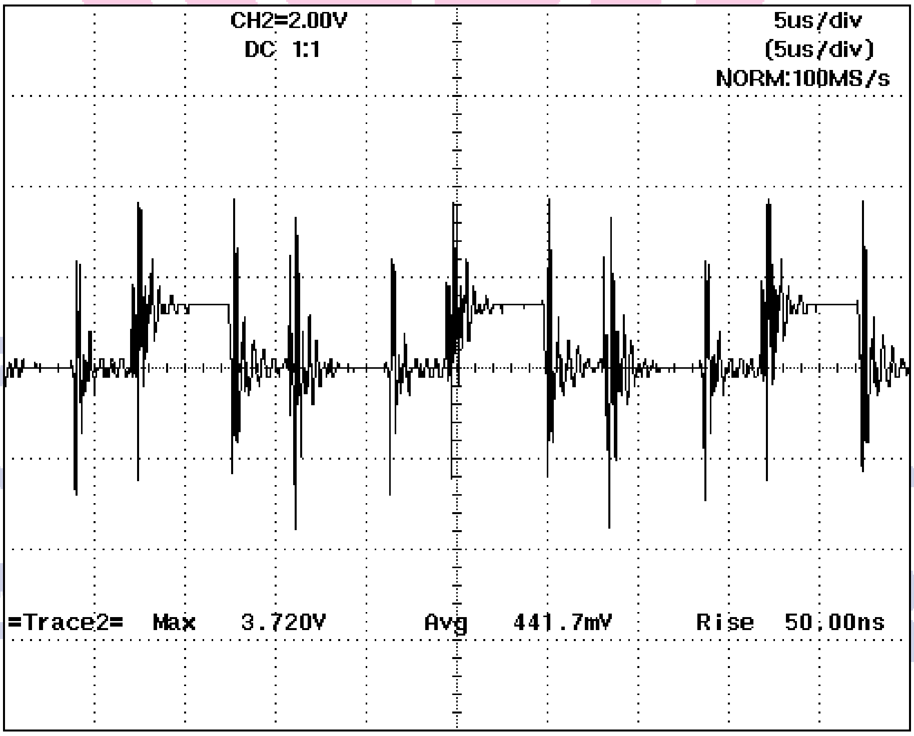


ข.สัญญาณควบคุมมอสเฟต

ภาพประกอบที่ 4.12 การควบคุมด้วยฟัซซี แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 125 วัตต์

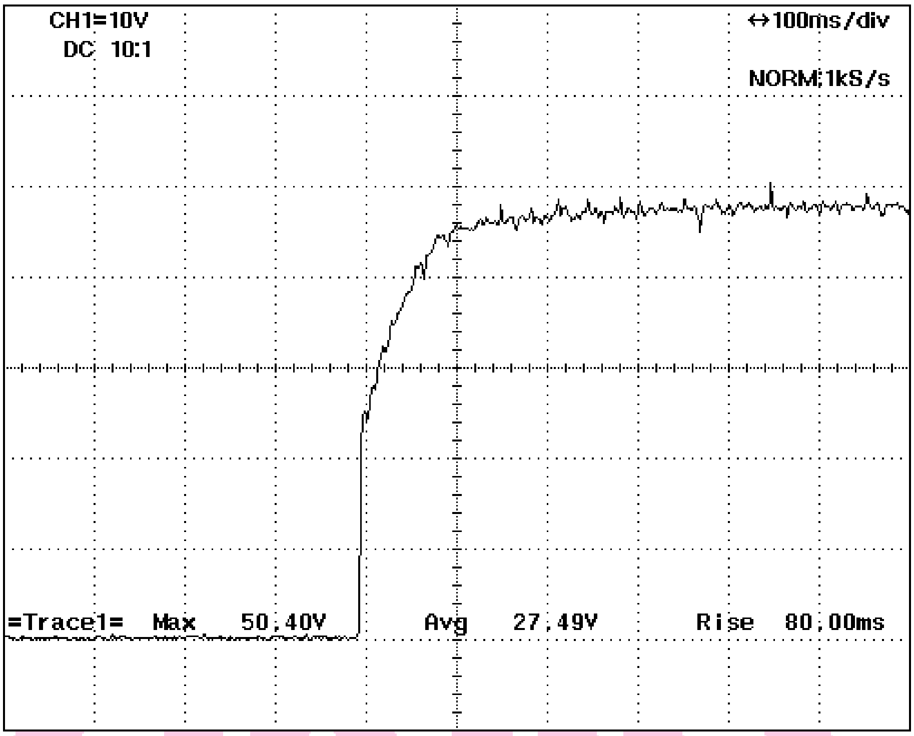


ก.สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

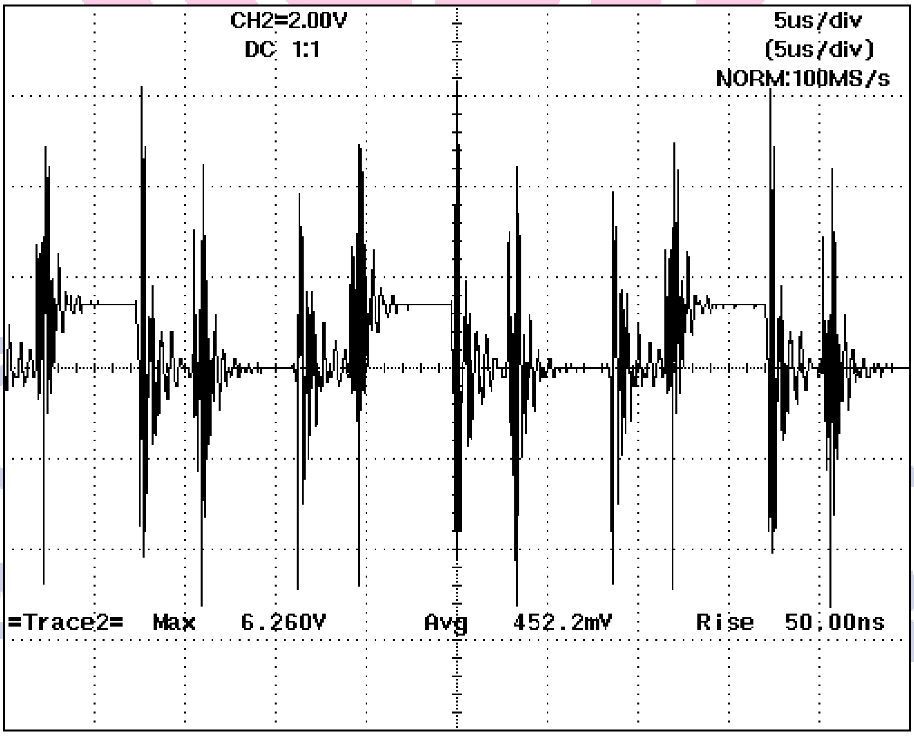


ข.สัญญาณควบคุมมอสเฟต

ภาพประกอบที่ 4.13 การควบคุมด้วยฟัซซี แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 250 วัตต์

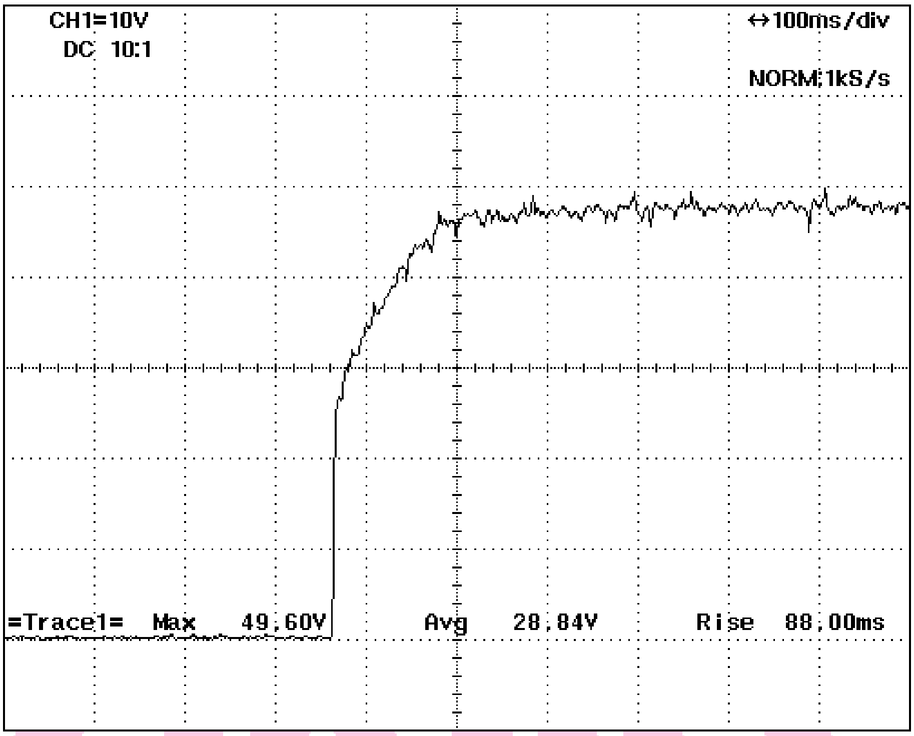


ก.สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

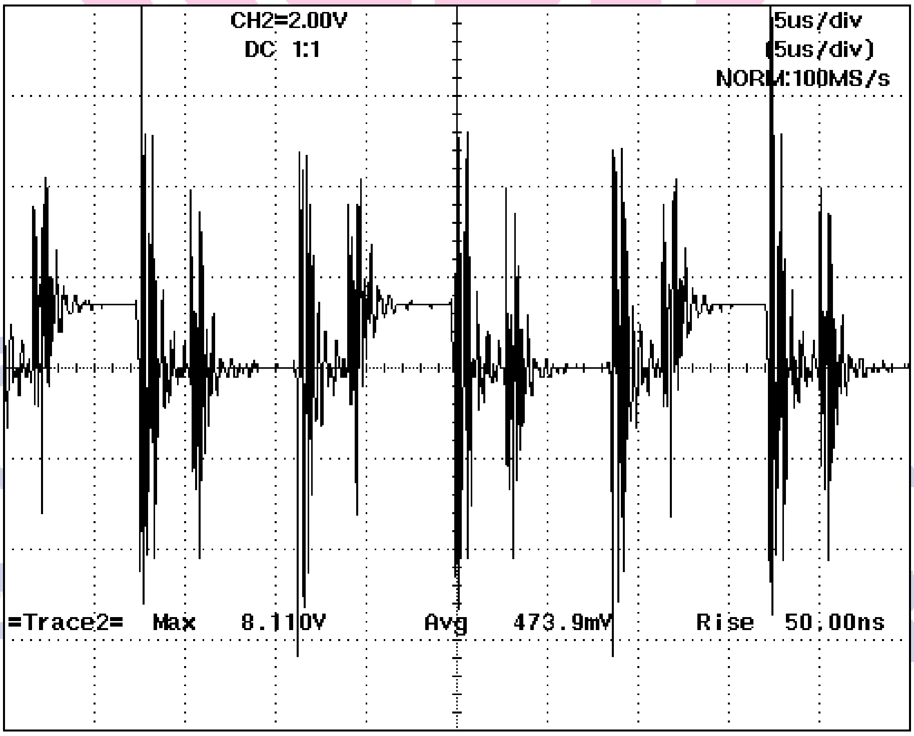


ข.สัญญาณควบคุมมอสเฟต

ภาพประกอบที่ 4.14 การควบคุมด้วยฟัซซี แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 375 วัตต์



ก.สัญญาณแรงดันเอาต์พุต



ข.สัญญาณควบคุมมอสเฟต

ภาพประกอบที่ 4.15 การควบคุมด้วยฟัซซี แบบลูปปิด ที่สภาวะโหลด 500 วัตต์

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปโดยรวม

การสร้างแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง เพื่อใช้ในการทดสอบค่าแรงดันเอาต์พุต ของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง ผลการทดสอบจากการทำงานโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี เพื่อควบคุมแรงดันเอาต์พุต ของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงในงานวิจัยนี้ ในการทดสอบได้ทำการเก็บค่าในรูปแบบของภาระที่เปลี่ยนไป เพื่อวัดการตอบสนองของระบบ ว่าเป็นไปตามที่ต้องการหรือจุดที่เหมาะสม ได้รับผลการตอบสนองของการควบคุมสัญญาณแรงดันเอาต์พุต ที่เกิดจากตัวควบคุมแบบฟัซซี เข้าสู่ค่าอ้างอิงดีกว่าการควบคุมแบบ PI

5.2 บทสรุปหลัก

การเลือกตัวควบคุมการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงนั้น ในงานวิจัยเลือกใช้ ARM7 LPC2138 ที่สามรถตอบสนองความถี่ที่ ระดับ 60 kHz ที่มีช่องการใช้งานที่จะตอบสนองแบบป้อนกลับ มีตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลในตัว ส่วนของวงจรเรียงกระแสใช้วงจรฟลูบริดจ์ โดยใช้ไดโอดเรียงกระแสที่มีขนาดของกำลังมากกว่า 500 วัตต์ ส่วนของวงจรแปลงระดับแรงดันกระแสตรงใช้วงจรแปลงสัญญาณแบบฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์ (เลือกใช้ตัวสวิตชิงแบบมอสเฟตเนื่องจากความถี่ใช้งานที่ระดับ 60 kHz) พร้อมทั้งใช้หม้อแปลงความถี่สูงต่อกับชุดเรียงกระแสแบบความถี่สูงพร้อมทั้งกรองออกด้วยวงจรกรองแรงดันที่เป็น RLC เพื่อให้แรงดันป้อนกลับเป็นแรงดันที่เป็นแรงดันกระแสตรงที่มีริปเปิ้ลที่เรากำหนดที่ไม่เกิน ±5 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงนี้จะทำการทดสอบด้วยภาระที่ระดับแตกต่างคือที่ 125 วัตต์, 250 วัตต์, 375 วัตต์ และ 500 วัตต์ เพื่อทดสอบหาสมรรถนะของการตอบสนองช่วงครู่และการตอบสนองคงตัวของระบบ ว่าแรงดันที่ควบคุมนั้นจะมีสัญญาณที่มีลักษณะแบบใด ซึ่งจะทำการทดสอบแบบเปิดและแบบป้อนกลับในระบบปิด ด้วยการควบคุมสัญญาณแรงดันเอาต์พุตแบบ PI และแบบฟัซซี เพื่อเปรียบเทียบการควบคุมสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการควบคุมทั้ง 2 รูปแบบ

การออกแบบกฎของฟัซซี คือการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมการตอบสนอง ซึ่งการออกแบบกฎ ในส่วนนอเมอร์ไรซ์เซชั่น เป็นส่วนที่ใช้เปลี่ยนสเกลของตัวแปรอินพุตหรือคลิปเซตให้อยู่ในสเกลของเอกภพสัมพัทธ์ของย่านการควบคุม การฟัซซิฟิเคชั่นเป็นส่วนที่ใช้แปลงปริมาณของคลิปเซตที่ผ่านการนอเมอไรซ์แล้วให้เป็น ค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต โดยมีย่านอยู่ระหว่าง [0,1] ซึ่งในส่วนนี้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด ในการออกแบบจะมีผลต่อการลู่เข้าจุดอ้างอิงที่กำหนด ส่วนดีฟัซซิฟิเคชั่น ทำหน้าที่แปลงค่าความเป็นสมาชิก

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ที่ได้จากกลไกการประเมิน กลับมาเป็นค่าเซต เพื่อใช้เป็นค่าที่นำไปควบคุมต่อไป ส่วนการดีนอเมอไรเซชั่นเป็นส่วนที่แปลงค่าสเกลของตัวแปรเอาต์พุตจากดีฟัซซิฟิเคชั่น ให้อยู่ในย่านของปริมาณที่ใช้ควบคุมจริง

5.3 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการทดสอบตัวแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง จากการทดสอบที่ผ่านมานั้น สามารถแยกออกเป็นรายละเอียดย่อยได้ดังนี้

5.3.1 การพัฒนาในส่วนของชุดขับวงจรมอสเฟตให้มีคุณภาพขึ้นโดยการปรับปรุงขนาดและปรับเปลี่ยนชิ้นส่วนอุปกรณ์ เพื่อให้สามารถใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้

5.3.2 การปรับปรุงคุณภาพกระแสด้านอินพุทของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง โดยใช้ หลักการของการ Power Factor Correction (PFC)

5.3.3 การออกแบบลายวงจรที่เป็นแบบ 2 ชั้น เพื่อให้มีพื้นที่เล็กลงและมีผลต่อการรบกวนของสัญญาณให้น้อยที่สุด

5.3.4 การออกแบบฐานกฎของค่าความผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด จะมีผลต่อย่านที่ใช้ในการออกแบบกฎ สมควรใช้ค่าสเกลตัวคูณในตารางกฎที่ไม่เท่ากัน จะทำให้การกระจายของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกไม่จำเป็นต้องสมมาตร

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

Katsuhiko Ogata. 1997. **Modern Control Engineering.** Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall.

Mohan Ned, Underland M.Tore, Robbinsons 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**. 6,4(April 2003): 168-172.

G.J. Klir and T.A. Folger. 1992. **Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information**. New York: Prentice-Hall International.

วรวิทย์ ทายะติ. 2534. **การควบคุมระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า.** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Nimit Boonpirom, Assoc. Prof. Dr. Kitti Paitoonwatanakij. 1998. **D.C.Motor Control by Fuzzy Self-tuning**. วิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง บัณฑิตวิทยาลัย.

Prakit Liengpradis, Nimit Boonpirom. "Self-Tuning Fuzzy Controller for Zero Votage Switching Power Supply." **IEEE 2008 International Conference On Sustainable Energy Technologies/(ICSET).** 24 Nov. Singapore.

Nimit Boonpirom, Kitti Paithoonwattanakij. 2006 "Scale Factor sellf tuning Fuzzy controller." **IASTED Energy**, Spain.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

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

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

STANDARD WIRE GAUGE DATA

SWG	Diameter with Enamel (mm)	Area of bare Conductor (mm^2)	R/Km@20°C (Ohm)	Weight (Kg/Km)
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
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

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นายกนิเดช ทิพย์อมรวิวัฒน์
วัน เดือน ปีเกิด	09 เมษายน 2514
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	25/22 ซอยรามอินทรา 21 ถนนรามอินทรา แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ประวัติการศึกษา	

พ.ศ. 2533 - 2536	วศ.บ. (ไฟฟ้ากำลัง) มหาวิทยาลัยศรีปทุม
พ.ศ. 2545 - 2549	Master of Engineering (M.Eng Electrical Engineering) King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY