สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage, Single-Switch S^4ICS

Single-Stage, Single-Switch Input-Current-Shaper S^4ICS



โดย

นางสาวธิติมา นาควารินทร์

นางสาวธีรนุช ยุทธสิทธิ์โยธิน

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42483
วัน, เดือน, ปี 24 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ฯ ฯ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage, Single-Switch S^4ICS

Single-Stage, Single-Switch Input-Current-Shaper S^4ICS

ผู้จัดทำ

1. นางสาวธิติมา นาควารินทร์ รหัสประจำตัว 40010321
2. นางสาวธีรนุช ยุทธสิทธิ์โยธิน รหัสประจำตัว 40010330

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage, Single-Switch S^4ICS

นางสาวธิติมา นาควารินทร์
นางสาวธีรนุช ยุทธสิทธิโยธิน
ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

Single-Stage, Single-Switch Input-Current-Shaper S^4ICS เป็นแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์ที่นำวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังและวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ DC/DC มารวมกันเป็นภาคเดียว ซึ่งทำให้ได้ความสามารถสองประการ คือ ประการแรกสามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังทางด้านเข้า ประการที่สองสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าตรงทางด้านออกให้คงที่ได้ แหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์ที่นำเสนอเป็นการนำวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบบูสต์ (Boost converter) ซึ่งการทำงานอยู่ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Conduction Mode, DCM) รวมเข้ากับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฟอร์เวิร์ด (Forward converter) ซึ่งการทำงานอยู่ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่อง (Continuous Conduction Mode, CCM)

Abstract

Single-Stage, Single-Switch Input-Current-Shaper S^4ICS is switching power supply, which integrates power factor correction circuit with DC/DC converter output stage. This technique provides power factor correction and regulating of output voltage. This project uses combination of boost converter in discontinuous conduction mode (DCM) and forward converter in continuous conduction mode (CCM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... I
สารบัญ..... II
สารบัญภาพ..... IV
สารบัญตาราง..... VII
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์..... 3
1.3 ขอบเขตการศึกษา..... 3
บทที่ 2 ทฤษฎี Single-Stage Single-Switch Input-Current Shaper (S^4ICS)..... 4
- การทำงานของตัวเหนี่ยวนำบูสต์ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง..... 4
บทที่ 3 หลักการออกแบบและการคำนวณ..... 4
3.1 การวิเคราะห์การทำงานในโมดกระแสไม่ต่อเนื่องของตัวเหนี่ยวนำบูสต์..... 9
3.2 การออกแบบการทำงานในโมดกระแสไม่ต่อเนื่องของตัวเหนี่ยวนำบูสต์..... 12
3.3 การคำนวณ..... 15
3.4 การออกแบบระบบควบคุม..... 21
บทที่ 4 ผลการทดลองและการเลียนแบบการทำงานของวงจร S^4ICS โดยโปรแกรมPSPICE 26
4.1 การเลียนแบบการทำงานของวงจร S^4ICS โดยโปรแกรมPSPICE..... 26
- วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์..... 26
- วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์..... 27
- วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์..... 28
- วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์..... 29
- วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Switch S^4ICS ในกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์..... 30
- วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Switch S^4ICS ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์..... 31
- วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Switch S^4ICS ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์..... 32
- วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Switch S^4ICS ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์..... 33

4.2 ผลการทดลอง..... 36
- วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์..... 36
- วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Switch S^4ICS..... 38

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป..... 44
5.1 วิจารณ์การทดลอง..... 44
5.2 สรุปผลการทดลอง..... 44
5.3 ปัญหาที่พบ..... 44
5.4 ข้อเสนอแนะ..... 45

ภาคผนวก
กิตติกรรมประกาศ
หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ..... 1
รูปที่ 1.1 แสดงแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตซ์โดยทั่วไป..... 1
รูปที่ 1.2 แสดงแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้าของแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตซ์โดยทั่วไป..... 1
รูปที่ 1.3 แสดงแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตซ์สองภาค..... 2
รูปที่ 1.4 แสดงแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตซ์ภาคเดี่ยว..... 2
รูปที่ 1.5 แสดงแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตซ์ภาคเดี่ยวที่รวมวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบบูสต์กับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฟอร์เวิร์ด..... 2
บทที่ 2 ทฤษฎี Single-Stage Single-Switch Input-Current Shaper (S^4ICS)..... 4
รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของวงจร S^4ICS โดยฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์กับตัวเหนี่ยวนำบูสต์ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง..... 5
รูปที่ 2.2 แสดงกราฟการทำงานของวงจร S^4ICS โดยฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์กับตัวเหนี่ยวบูสต์ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง..... 6
รูปที่ 2.3 แสดงรูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจร S^4ICS โดยฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์กับตัวเหนี่ยวนำบูสต์ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง..... 7
บทที่ 3 หลักการออกแบบและการคำนวณ..... 9
รูปที่ 3.1 แสดงกราฟการทำงานของตัวเหนี่ยวนำบูสต์..... 10
รูปที่ 3.2 แสดงโมดการทำงานของตัวเหนี่ยวนำบูสต์แบบกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง12
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรการออกแบบ..... 15
รูปที่ 3.4 แสดงบล็อคไดอะแกรมของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า..... 21
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรError Amplifier..... 22
รูปที่ 3.6 แสดง Bode Diagram กรณี Light-load..... 23
รูปที่ 3.7 แสดง Bode Diagram กรณี Full-load..... 24
รูปที่ 3.8 แสดงวงจร S^4ICS ทั้งหมดที่ได้จากการออกแบบ..... 25
บทที่ 4 ผลการทดลองและการเลียนแบบการทำงานของวงจร S^4ICS โปรแกรมPSPICE..... 26
รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

เข้าของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์..... 26

รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์..... 27

รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์..... 28

รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์..... 29

รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Switch S^4ICS ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์... 30

รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Switch S^4ICS ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์.... 31

รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Switch S^4ICS ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์... 32

รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Switch S^4ICS ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์.... 33

รูปที่4.9 แสดงผลการเลียนแบบการทำงานของวงจร S^4ICS โดยโปรแกรมPSPICE.... 34

รูปที่ 4.10 แสดงผลการเลียนแบบการทำงานของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์..... 36

รูปที่ 4.11 แสดงผลการเลียนแบบการทำงานของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์..... 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4.12 แสดงผลการเลียนแบบการทำงานของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์..... 37
รูปที่ 4.13 แสดงผลการเลียนแบบการทำงานของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์..... 37
รูปที่ 4.14 แสดงการทำงานของวงจร S^4ICS..... 38
รูปที่ 4.15 แสดงการทำงานของวงจร S^4ICS..... 38
รูปที่ 4.16 ผลการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าตรงทางด้านออกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสไฟฟ้าตรงทางด้านออกอย่างทันทีทันใดของวงจร S^4ICS ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์..... 39
รูปที่ 4.17 ผลการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าตรงทางด้านออกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสไฟฟ้าตรงทางด้านออกอย่างทันทีทันใดของวงจร S^4ICS ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์..... 39
รูปที่ 4.18 แสดงค่าตัวประกอบกำลังของวงจร S^4ICS ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์..... 40
รูปที่ 4.19 แสดงค่าตัวประกอบกำลังของวงจร S^4ICS ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์..... 40
รูปที่ 4.20 แสดงค่าตัวประกอบกำลังของวงจร S^4ICS ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์..... 41
รูปที่ 4.21 แสดงค่าตัวประกอบกำลังของวงจร S^4ICS ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์..... 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

บทที่ 4 ผลการทดลองและการเลียนแบบการทำงานของวงจร S^4ICS โดยโปรแกรมPSPICE.. 26

ตารางที่ 1 กระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้า กรณีแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์ กำลังไฟฟ้าทางด้านเข้าเป็น 62 วัตต์ ความถี่ไฟฟ้าสลับเป็น50Hz..... 42

ตารางที่ 2 กระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้า กรณีแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์ กำลังไฟฟ้าทางด้านเข้าเป็น 63 วัตต์ ความถี่ไฟฟ้าสลับเป็น50Hz..... 42

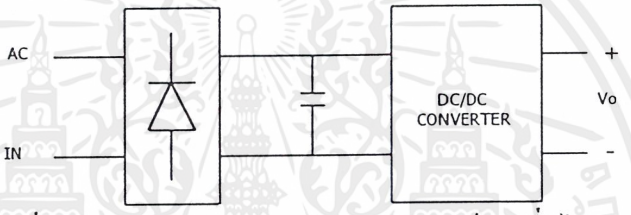
ตารางที่ 3 ค่าตัวประกอบกำลังทางด้านเข้า ค่าTHD แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรบูสต์ และค่าประสิทธิภาพของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Switch S^4ICS ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้ามีค่าต่าง ๆ..... 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

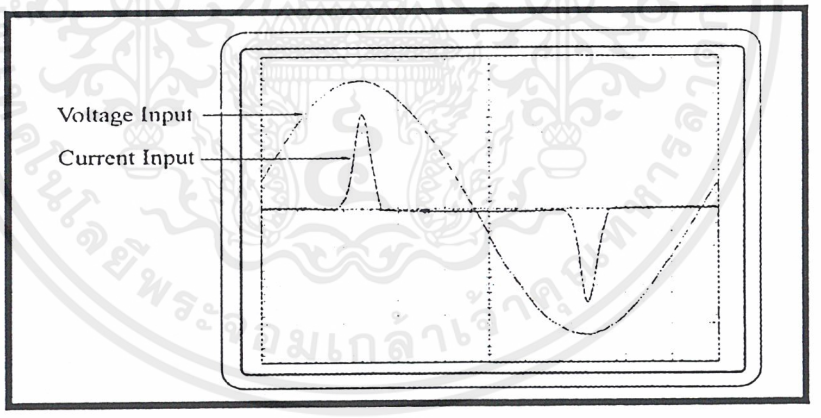
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

แหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์ (Switched Mode Power Supply, SMPS) โดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 1.1 ประกอบด้วย เรคติไฟเออร์และวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ DC/DC ซึ่งส่งผลให้แหล่งจ่ายกำลังโดยทั่วไปนี้มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ โดยพิจารณาได้จากรูปสัญญาณกระแสไฟฟ้าสลับทางเข้าที่มีลักษณะไม่เป็นรูปสัญญาณไซน์แสดงดังรูปที่ 1.2 ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานเนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่จ่ายจริงนั้นไม่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า



รูปที่ 1.1 แสดงแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์โดยทั่วไป



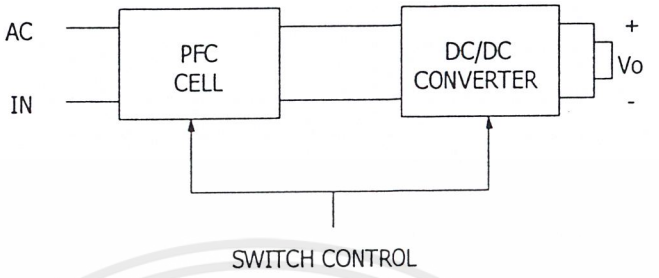
รูปที่ 1.2 แสดงแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางเข้าของแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์โดยทั่วไป

ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์สองภาคแสดงดังรูปที่ 1.3 โดยเพิ่มภาคการปรับปรุงตัวประกอบกำลังเข้ามาเพื่อช่วยปรับปรุงตัวประกอบกำลังก่อนจะเข้าภาคคอนเวอร์เตอร์แบบ DC/DC ซึ่งส่งผลให้รูปสัญญาณไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็นรูปสัญญาณไซน์มากขึ้น ตัวประกอบกำลังมีค่าเพิ่มขึ้นและยังเป็นการนำกำลังไฟฟ้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย แต่แหล่งจ่ายกำลังแบบสองภาคนี้มีข้อจำกัดดังนี้

1.มีประสิทธิภาพต่ำเพราะต้องใช้อุปกรณ์จำนวนมาก

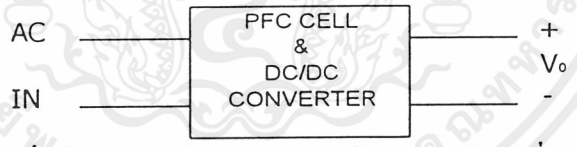
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.การเพิ่มอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังเป็นผลให้เกิดความซับซ้อนมาก และใช้ต้นทุนในการผลิตสูง

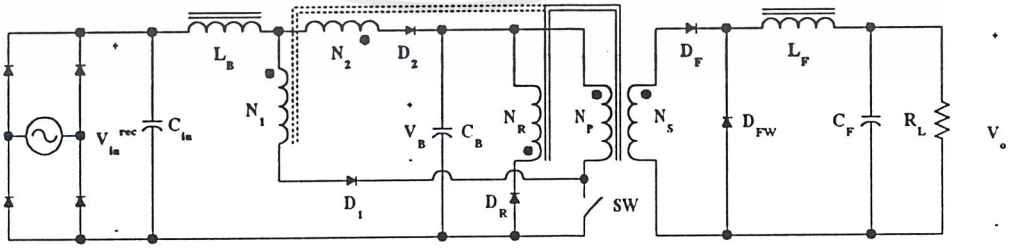


รูปที่ 1.3 แสดงแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์สองภาค

รูปที่ 1.4 เป็นการนำเสนอแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์ภาคเดี่ยวที่สามารถแก้ข้อจำกัดของแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์สองภาค ซึ่งแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์ภาคเดี่ยวเป็นการรวมวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังและวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ DC/DC เข้าด้วยกันและใช้อุปกรณ์สวิตช์เพียงตัวเดียว ซึ่งทำให้การควบคุมแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์แบบภาคเดี่ยวทำได้ง่าย ความไม่เป็นรูปสัญญาณรูปไซน์ของกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้าเมื่อเลือกวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังเป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบบูสต์ซึ่งการทำงานอยู่ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง (DCM) สามารถลดลงได้ถ้าควบคุมให้ความถี่ของการสวิตช์คงที่ แหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์ที่นำเสนอแสดงตามรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.4 แสดงแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์ภาคเดี่ยว



รูปที่ 1.5 แสดงแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์ภาคเดี่ยวที่รวมวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบบูสต์กับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฟอร์เวิร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1.5 แหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์ภาคเดี่ยวที่มีการใช้อุปกรณ์สวิตช์ตัวเดียวจะมีการทำงานร่วมกันของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลัง และวงคอนเวอร์เตอร์แบบ DC/DC จากการทำงานร่วมกันนี้ทำให้ไม่สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางออกของวงจรบูสต์ กระแสไฟฟ้าทางด้านเข้า และความผิดเพี้ยนของฮาร์โมนิกในกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้า ดังนั้นการทำงานในแหล่งจ่ายกำลังสวิตช์แบบภาคเดี่ยวจะต้องพยายามทำให้แรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางออกของวงจรบูสต์มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งทำได้โดยการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีจำนวนรอบเป็น N_1 และ N_2 สภาพขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าตามรูปที่ 1.5 ทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอุปกรณ์หักล้างกับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้า ถ้าตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ดทำงานในโมดกระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่อง ค่าแรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางออกของวงจรบูสต์จะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าหรือกระแสไฟฟ้าทางด้านออก แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้ามีค่าสูงขึ้นหรือกระแสไฟฟ้าทางด้านออกมีค่าลดลง แรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางออกของวงจรบูสต์จะมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การสวิตช์แบบเปลี่ยนแปลงความถี่ได้ก็เป็นวิธีที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางออกของวงจรบูสต์มีค่าลดลงได้อีกวิธีหนึ่ง [1,4]

1.2 วัตถุประสงค์

1.เพื่อให้เข้าใจการทำงานของแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์ภาคเดี่ยวที่รวมการทำงานวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังกับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ DC/DC เข้าด้วยกัน

2. เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังโดยใช้แหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์ภาคเดี่ยว

3.เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางออกของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาการทำงานและออกแบบแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์ภาคเดี่ยวที่รวมการทำงานในวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบบูสต์ ซึ่งทำงานอยู่ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่องกับวงจรคอนเวอร์เตอร์DC/DCแบบฟอร์เวิร์ด ซึ่งทำงานอยู่ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่อง ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางเข้า 160-260 โวลต์ , แรงดันไฟฟ้าตรงทางออก 5 โวลต์ , กระแสไฟฟ้าทางออก 1-10 แอมป์ และความถี่สวิตช์ 50 กิโลเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี Single-Stage, Single-Switch Input-Current Shaper (S^4ICS)

เพื่อให้วิเคราะห์ได้ง่ายจึงสมมติว่าอุปกรณ์ทุกตัวทำงานเป็นอุดมคติ และพิจารณาแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าของคอนเวอร์เตอร์เป็นค่าคงที่ตลอด เนื่องจากความถี่ในการสวิตช์มีค่ามากกว่าความถี่ไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า (line frequency) มาก

การทำงานของตัวเหนี่ยวนำบูสต์ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง

การทำงานของวงจรจะสมมติให้ตัวเหนี่ยวนำบูสต์ (L_B)ในรูปที่ 1.5 มีขนาดเล็กและทำงานในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง และตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด (L_F) ของวงจรทางด้านออกมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะทำงานในโมดกระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่อง รูปที่ 2.1 และ 2.2 แสดงการทำงานและกราฟการทำงานที่สัมพันธ์กันของวงจร

ในช่วงเวลา $[T_0\text{-}T_1]$ เป็นช่วงที่สวิตช์ทำงานซึ่งการทำงานของวงจรเป็นดังรูปที่ 2.1(a) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสวิตช์ (i_{SW}) คือผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำบูสต์ (i_{LB}) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ (i_p) และกระแสไฟฟ้าแมกเนไทซิ่ง (i_m) แสดงดังรูปที่ 2.2

จากกฎของแอมแปร์จะได้ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าไหลในหม้อแปลงไฟฟ้า

$$N_P i_P + N_1 i_{LB} - N_S i_S = 0 \qquad (2.1)$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ (i_S) ตลอดช่วงสวิตช์ทำงาน

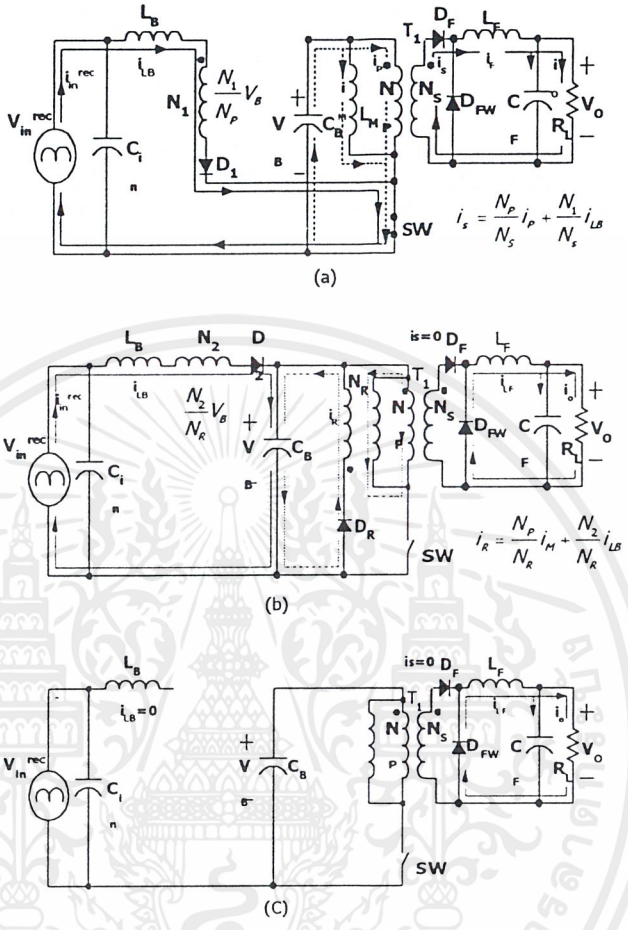
$$i_S = \frac{N_P}{N_S} i_P + \frac{N_1}{N_S} i_{LB} \qquad (2.2)$$

จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิในช่วงเวลาสวิตช์ทำงาน จะมีการจ่ายพลังงานจากสองส่วน คือกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดปฐมภูมิที่ได้จากการคายประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางออกของวงจรบูสต์ ขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำบูสต์ได้จากแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้า โดยได้แสดงองค์ประกอบของกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ดดังรูปที่ 2.2

ที่ $t=T_1$ สวิตช์เริ่มไม่ทำงานกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำบูสต์จะเปลี่ยนเส้นทางการไหลโดยจะเปลี่ยนไปประจุไฟฟ้าให้กับตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางออกของบูสต์ ดังรูปที่ 2.1(b) จะได้ค่าความชันของกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำบูสต์ดังนี้

$$\frac{di_{LB}}{dt} = \frac{v_{in}^{rec} - \left(1 + \frac{N_2}{N_R}\right) \cdot V_B}{L_B} \qquad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



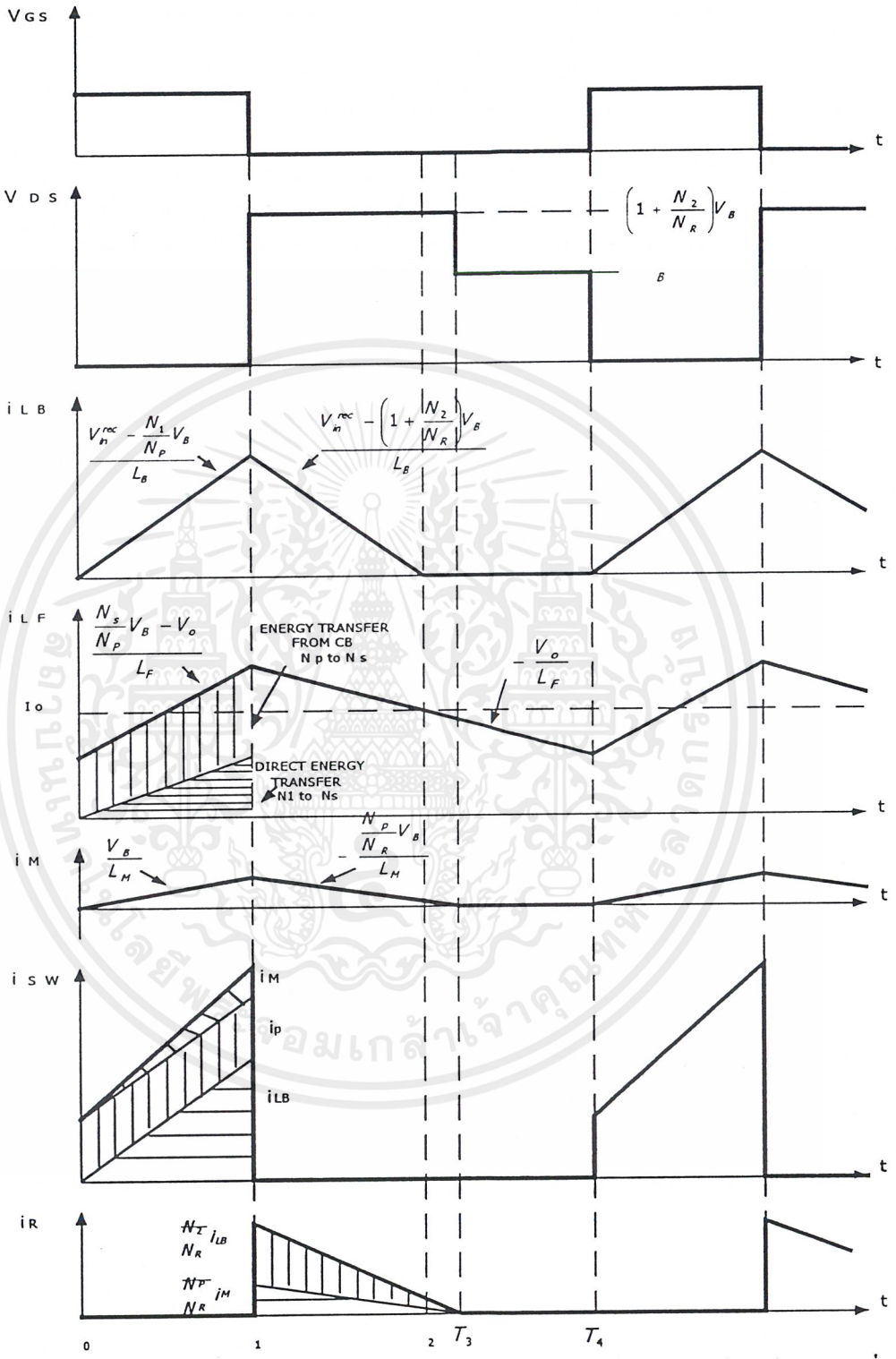
รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของวงจร S^4ICS โดยฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์กับตัวเหนี่ยวนำบูสต์ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง

เนื่องจากตลอดช่วงที่สวิตช์ไม่ทำงานกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำบูสต์จะต้องลดลงจนเป็นศูนย์เพื่อรีเซตแกนของตัวเหนี่ยวนำบูสต์ให้สมบูรณ์ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำบูสต์จึงมีค่าเป็นลบเนื่องจาก

$$\left(1+\frac{N_2}{N_R}\right)\cdot V_B \rangle V_{in}^{rec} \qquad (2.4)$$

จะเห็นได้ว่าขดลวด N_2 ต้องการรีเซตแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำบูสต์ทำให้แรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางออกของวงจรบูสต์มีค่าลดลง เนื่องจากการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้า $(N_2/N_P)V_B$ ตกคร่อมขดลวด N_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงกราฟการทำงานของวงจรS[4]ICS โดยฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์กับตัวเหนี่ยวนำบูสต์ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรีเซตแกนหม้อแปลงทำโดยขดลวดรีเซต N_R ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำบูสต์ เนื่องจากการเชื่อมต่อทางแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างขดลวด N_2 และขดลวดรีเซต N_R จากกฎแอมแปร์กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดรีเซตคือ

$$i_R = \frac{N_P}{N_R} i_M + \frac{N_2}{N_R} i_{LB} \qquad (2.5)$$

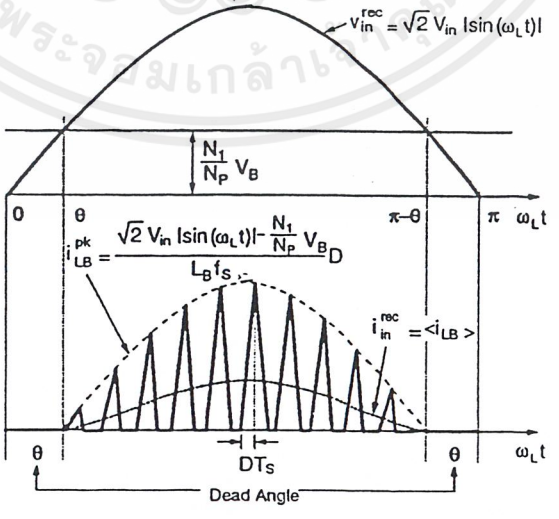
จากรูปที่ 2.1(b) ช่วงที่สวิตช์ไม่ทำงาน พลังงานที่เก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำบูสต์จะคายพลังงานไปให้กับตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางออกของวงจรบูสต์สองทางคือ ผ่านไดโอด D_2 โดยตรงและทางอ้อมผ่านทางขดลวดรีเซต ซึ่งอัตราส่วนการคายพลังงานโดยอ้อมต่อโดยตรงคำนวณได้จากอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวด N_2 ต่อจำนวนรอบขดลวดรีเซท N_R รูปที่ 2.2 พลังงานที่เก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำบูสต์จะคายพลังงานเสร็จสมบูรณ์ที่ $t=T_2$

ที่ $t=T_3$ ฟลักซ์ในแกนของหม้อแปลงถูกรีเซตจนหมด ทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหม้อแปลงจะเท่ากับศูนย์ การทำงานในรูปที่ 2.1(c) เป็นขั้นตอนสุดท้ายจนกว่าจะมีการสวิตช์ในวัฏจักรใหม่

เพื่อให้แน่ใจว่าวงจรทำงานได้อย่างเหมาะสมจะต้องเลือกจำนวนรอบของขดลวด N_1 และ N_2 ที่ทำให้ไดโอด D_2 ไม่ทำงานในช่วงเวลาที่สวิตช์ทำงาน จากรูปที่ 2.1 สภาวะที่ต้องการจะต้อง

$$\frac{N_1}{N_P} V_B + \frac{N_2}{N_P} V_B \langle V_B \text{ , or } \frac{N_1}{N_P} + \frac{N_2}{N_P} \langle 1 \qquad (2.6)$$

เพื่อให้ส่งผ่านพลังงานโดยตรงได้มากที่สุด ค่าอัตราส่วน N_1/N_2 ควรเลือกให้มีค่ามากที่สุดที่จะเป็นไปได้ แต่เนื่องจากค่าอัตราส่วนจำนวนรอบที่มากกว่าจะเป็นสาเหตุให้มีความผิดเพี้ยนของฮาร์โม-นิกในกระแสไฟฟ้าทางเข้ามากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงรูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสลับทางเข้าของวงจร S[4] ICS โดยฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์กับตัวเหนี่ยวนำบูสต์ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำบูสต์จะไม่สามารถไหลได้จนกว่าแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าจะมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดN_1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $(N_1/N_P)V_B$ ดังนั้นการเพิ่มค่า N_1/N_P ความผิดเพี้ยนที่จุดตัดศูนย์ (zero-crossing distortions) จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากมุมไร้ผลตอบสนอง (dead angle) มีขนาดใหญ่ขึ้น มุมไร้ผลตอบสนองคำนวณได้จาก

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{N_1}{N_P}\cdot\frac{V_B}{\sqrt{2}V_{in}}\right) \qquad (2.7)$$

และความผิดเพี้ยนในฮาร์โมนิกยังมีสาเหตุมาจากขอบเขตความชันขาลงของกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำบูสต์ [9] คือ หากค่าความชันของกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำบูสต์มีค่ามากค่าความผิดเพี้ยนเหล่านี้จะลดลง

ถ้าพิจารณาวัฏจักรหน้าที่ (duty cycle) โดยวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าทางออก เมื่อการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางออกของวงจรบูสต์มีขนาดเล็ก จะได้ค่าวัฏจักรหน้าที่เป็นค่าคงที่ในช่วงครึ่งคาบการทำงาน

$$D = \frac{N_P}{N_S}\cdot\frac{V_O}{V_B} \qquad (2.8)$$

สมการข้างบนจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อรู้ค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางออกของวงจรบูสต์ ซึ่งจะประยุกต์มาใช้ด้วยหลักการความสมดุลของวงจรกำลังไฟฟ้าทางเข้าและทางออกในวงจรรูปที่ 1.5 แรงดันไฟฟ้าจะติดอยู่ในรูปของสมการที่ 2.8

$$\frac{\eta}{\pi}\cdot\left(\frac{\frac{N_P}{N_S}\sqrt{2}V_{in}V_o}{V_B}\right)^2\cdot\frac{1+\frac{N_2}{N_R}-\frac{N_1}{N_P}}{V_o\cdot I_o}\cdot\frac{1}{L_B f_s}\cdot\int_0^{\frac{\pi}{2}}\frac{\sin^2(x)-\frac{N_1}{N_P}\cdot\frac{V_B}{\sqrt{2}V_{in}}\sin(x)}{1+\frac{N_2}{N_R}-\frac{\sqrt{2}V_{in}}{V_B}\sin(x)}dx = 1 \qquad (2.9)$$

เมื่อ η คือ ค่าประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์

I_o คือ กระแสไฟฟ้าทางออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการออกแบบและการคำนวณ

ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง จะมีกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้าที่มีความผิดเพี้ยนต่ำ เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะของโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง ในวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบบูสต์ ซึ่งจะมีรูปกระแสไฟฟ้าใกล้เคียงกับสัญญาณรูปไซน์ถ้าวัฏจักรหน้าที่คงที่ แต่เนื่องจากมีสวิตช์ตัวเดียว แต่ต้องทำงานในการควบคุมสองวัฏจักรหน้าที่ที่แตกต่างกัน คือ ควบคุมวัฏจักรหน้าที่ที่คงที่ของคอนเวอร์เตอร์แบบ DC/DC และควบคุมวัฏจักรหน้าที่ที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้า จึงทำให้เกิดความยุ่งยากในการทำงาน

3.1 การวิเคราะห์การทำงานในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่องของตัวเหนี่ยวนำบูสต์

เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์จะสมมติการทำงานดังนี้

- แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าเป็นสัญญาณไซน์แบบ full-wave

$$v_{in}^{rec} = V_{in}\left|\sin \omega_L t\right| \qquad (3.1)$$

- แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้ามีค่าคงที่ในช่วงการทำงาน เนื่องจากความถี่ของสวิตช์ f_S มีค่าต่ำมากกว่าความถี่ไฟฟ้าสลับทาง $f_L = \frac{\omega_L}{2\pi}$

- พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังมีค่าคงที่ตลอดในแต่ละครึ่งของวัฏจักรของไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า

- อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ยกเว้นเพียงไดโอดทางด้านทุติยภูมิที่มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม

- หม้อแปลงไม่มีความเหนี่ยวนำรั่วไหล (leakage inductances) แต่มีความเหนี่ยวนำแมกเนไทซิ่ง

ในโมดของกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่องของตัวเหนี่ยวนำบูสต์จะแสดงดังรูปที่ 3.1 กระแสไฟฟ้าภายในตัวเหนี่ยวนำบูสต์จะถูกรีเซตเสร็จสมบูรณ์ก่อนกระแสไฟฟ้าภายในหม้อแปลง $D_{rLB}<D_{rXF}$ ซึ่งจะเกิดผลลัพธ์ในรูปกระแสไฟฟ้าเป็นสามเหลี่ยม ดังรูปโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง a แต่ถ้ากระแสไฟฟ้าภายในหม้อแปลงรีเซตเสร็จสมบูรณ์ก่อนกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำบูสต์ จะมีรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่ซับซ้อน ดังรูปโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง b

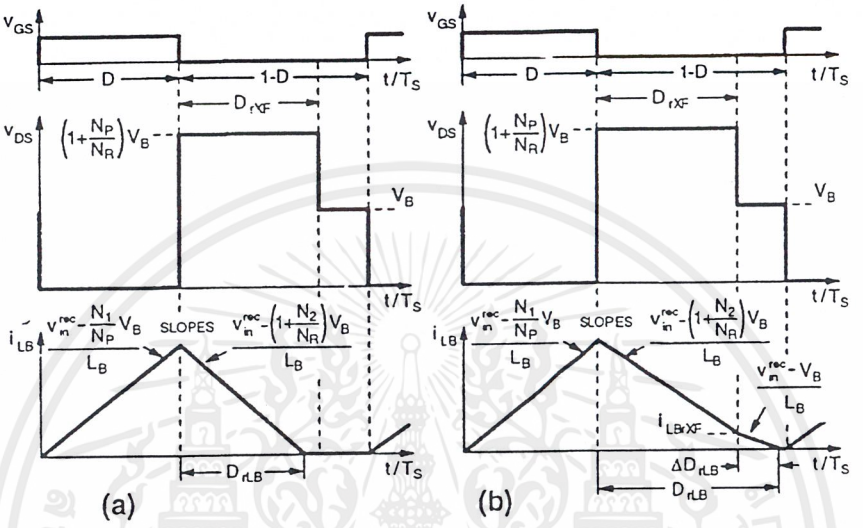
ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง a กระแสไฟฟ้าไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเหนี่ยวนำบูสต์

$$i_{LBav}^{DCMa} = \frac{D + D_{rLB}}{2} i_{LBpk} \qquad (3.2)$$

และกระแสไฟฟ้าสูงสุดในตัวเหนี่ยวนำบูสต์ มีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_{LBpk} = \frac{v_{in}^{rec} - \frac{N_1}{N_P}}{L_B f_S} D \qquad (3.3)$$



รูปที่ 3.1 แสดงกราฟการทำงานของตัวเหนี่ยวนำบูสต์

(a) โมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง a (b) โมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง b

จากความสมดุลฟลักซ์ของตัวเหนี่ยวนำบูสต์

$$\left(v_{in}^{rec} - \frac{N_1}{N_P}V_B\right) \cdot D = \left[\left(1+\frac{N_2}{N_R}\right) \cdot V_B - v_{in}^{rec}\right] \cdot D_{rLB} \qquad (3.4)$$

$$D + D_{rLB} = \frac{1 - \frac{N_1}{N_P} + \frac{N_2}{N_R}}{1 + \frac{N_2}{N_R} - \frac{v_{in}^{rec}}{V_B}} \cdot D \qquad (3.5)$$

แทนสมการที่ (3.3) และ (3.5) ลงใน (3.2) จะได้สมการ

$$i_{LBav}^{DCMa} = \frac{V_B D^2}{2L_B f_S} \cdot \frac{A_1 + A_2 \frac{v_{in}^{rec}}{V_B}}{1 + \frac{N_2}{N_R} - \frac{v_{in}^{rec}}{V_B}} \qquad (3.6)$$

$$A_2 = 1 - \frac{N_1}{N_P} + \frac{N_2}{N_R} \quad \text{และ} \quad A_1 = -\frac{N_1}{N_P} A_2 \qquad (3.7)$$

ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง b กระแสไฟฟ้าไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำบูสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_{LBav}^{DCMa} = \frac{D + D_{rxe}}{2} i_{LBpk} + \frac{D_{rxF} + \Delta D_{rLB}}{2} i_{LBrxF} \quad (3.8)$$

$$D_{rXF} = \frac{N_R}{N_P} D \quad (3.9)$$

i_{LBpk} คือกระแสไฟฟ้าสูงสุดของตัวเหนี่ยวนำบูสต์ในสมการที่ (3.3), i_{LBrXF} คือกระแสไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำบูสต์ที่กระแสไฟฟ้าในหม้อแปลงมีการรีเซตเสร็จสมบูรณ์ ก่อน

$$i_{LBXF} = \frac{V_B - v_{in}^{rec}}{L_B f_s} \cdot \Delta D_{rLB} \quad (3.10)$$

และ ΔD_{rLB} แทนเงื่อนไขช่วงเวลาของ L_B หลังจากที่มีการรีเซตกระแสไฟฟ้าในหม้อแปลงเสร็จสมบูรณ์แล้ว จากความสมดุลของฟลักซ์ในตัวเหนี่ยวนำบูสต์

$$\left[v_{in}^{rec} - \frac{N_1}{N_P} V_B \right] \cdot D = \left[\left(1 + \frac{N_2}{N_R} \right) \cdot V_B - v_{in}^{rec} \right] \cdot \frac{N_R}{N_P} \cdot D + \left(V_B - v_{in}^{rec} \right) \cdot \Delta D_{rLB} \quad (3.11)$$

$$\Delta D_{rLB} = \frac{\left(1 + \frac{N_R}{N_P} \right) \cdot \frac{V_{in}^{rec}}{V_B} - \frac{N_R + N_1 + N_2}{N_P}}{1 - \frac{v_{in}^{rec}}{V_B}} \cdot D \quad (3.12)$$

แทนสมการที่ (3.3), (3.9), (3.10) และ (3.12) ลงในสมการที่ (3.8) จะได้

$$i_{LBav}^{DCMb} = \frac{V_B D^2}{2 L_B f_s} \cdot \frac{B_1 + B_2 \frac{V_{in}^{rec}}{V_B}}{1 - \frac{v_{in}^{rec}}{V_B}} \quad (3.13)$$

$$B_1 = \left(\frac{N_1 + N_2}{N_P} \right)^2 - \frac{N_1}{N_P} + \frac{N_2 N_R}{N_P^2} \quad (3.14)$$

$$B_2 = 1 - \frac{N_1}{N_P} - \frac{N_2}{N_P} \left(2 + \frac{N_R}{N_P} \right) \quad (3.15)$$

เงื่อนไขขอบเขตระหว่างโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง a และโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง b (boundary condition) หาได้จากสมการที่ (3.12) ซึ่งในกรณีโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง b เมื่อ $\Delta D_{rLB} > 0$ คือ

$$V_{in}^{rec} > \frac{N_R + N_1 + N_2}{N_R + N_P} \cdot V_B \quad (3.16)$$

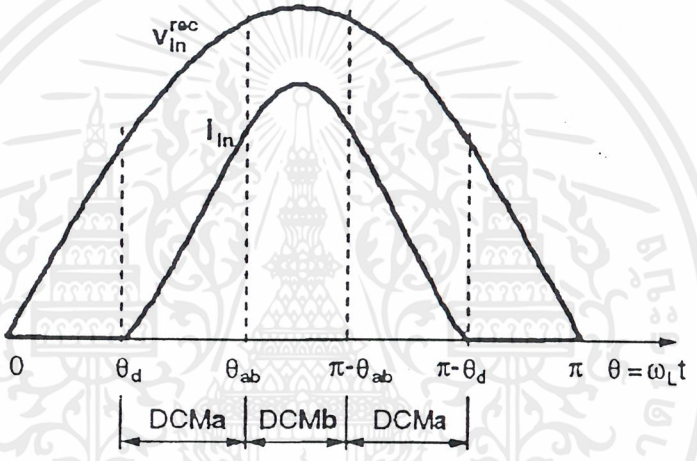
โดยมุมระหว่างขอบเขตโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง a และโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง b (boundary angle) หาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta_{ab} = \sin^{-1}\left[\frac{N_R + N_1 + N_2}{N_R + N_P} \cdot \frac{V_B}{V_{in}}\right] \qquad (3.17)$$

โมดการทำงานของตัวเหนี่ยวนำบูสในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่องแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งมุมไร้ผลตอบสนอง (θ_d) หาได้จาก

$$\theta_d = \sin^{-1}\left(\frac{N_1}{N_P} \cdot \frac{V_B}{V_{in}}\right) \qquad (3.18)$$



รูปที่ 3.2 แสดงโมดการทำงานของตัวเหนี่ยวนำบูสต์แบบกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง

3.2 การออกแบบการทำงานในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่องของตัวเหนี่ยวนำบูสต์

แรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรบูสต์ จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า ดังนั้นจุดมุ่งหมาย คือ ออกแบบให้ค่าแรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรบูสต์อยู่ในช่วงของค่าสูงสุด V_{Bmax} และค่าต่ำสุด V_{Bmin} ซึ่งจะต้องออกแบบ $L_B, L_F, N_P, N_R, N_S, N_1$ และ N_2 ที่อยู่ในวงจรรูปที่ 1.5

แรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรบูสต์หาได้จากความสมดุลของกำลังทางด้านเข้าและกำลังทางด้านออก

$$\frac{2}{\pi}\int_{\theta_d}^{\theta_{ab}} i_{LBav}^{DCMa} v_{in}^{rec}\, d\theta + \frac{2}{\pi}\int_{\theta_{ab}}^{\frac{\pi}{2}} i_{LBav}^{DCMb} v_{in}^{rec}\, d\theta = \frac{V_0 I_0}{\eta} \qquad (3.19)$$

η เป็นค่าประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรบูสต์มีค่าใกล้เคียง V_{Bmax} ที่แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าสูงสุด ตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ดจะกระทำที่เงื่อนไขขอบเขตระหว่างโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง และโมดกระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่อง (DCM-CCM boundary) ซึ่ง $I_{0\,DCH} \le I_{0\max}$ แต่ในความจริงเมื่อตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ดทำงานอยู่ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่องแรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางออกของวงจรบูสต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าทางออกลดลง แต่ถ้าตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ดทำงานในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่องแรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรบูสต์ จะไม่ขึ้นกับกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าทางด้านออกมากนัก

การจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ดที่เงื่อนไขขอบเขตระหว่างโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่องและโมดกระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่องเกิดขึ้นที่กระแสไฟฟ้าทางออกที่เล็กกว่า กระแสไฟฟ้าทางด้านออกจะแสดงดังนี้

$$I_{ODCH} = \frac{(V_0 + V_F)\cdot(1 - D_{\min})}{2L_F f_S} \qquad (3.20)$$

ค่าวัฏจักรหน้าที่ที่น้อยที่สุด หาได้จากความสมดุลฟลักซ์ของตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด

$$D_{\min} = \frac{N_P}{N_S}\frac{V_0 + V_F}{V_{B\max}} \qquad (3.21)$$

แทนสมการที่ (3.1) , (3.6) , (3.7) , (3.13-3.15) , (3.20) และ (3.21) ลงในสมการที่ (3.19) จะได้อัตราส่วนของตัวเหนี่ยวนำบูสต์กับตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด

$$\frac{L_B}{L_F} = \frac{2\eta_H}{\pi}\cdot\frac{\frac{V_{imH}}{V_{B\max}}\left(\frac{N_P}{N_S}\right)^2}{1 - \frac{N_P}{N_S}\cdot\frac{V_0 + V_F}{V_{B\max}}}\cdot\left(1 + \frac{V_0}{V_F}\right)\cdot K_H \qquad (3.22)$$

$_{imH}$ เป็นขนาดของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าสูงสุด , η_H เป็นประสิทธิภาพสูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ที่แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าสูงสุด

$$K_H = \int_{\theta_{dH}}^{\theta_{abH}} A_2\cdot\frac{\frac{V_{imH}}{V_{B\max}}\sin\theta - \frac{N_1}{N_P}}{1 + \frac{N_2}{N_R} - \frac{V_{imH}}{V_{B\max}}\sin\theta}\cdot\sin\theta d\theta + \int_{\theta_{abH}}^{\frac{\pi}{2}}\frac{B_1\sin\theta + B_2\frac{V_{imH}}{V_{B\max}}\sin^2\theta}{1 - \frac{V_{imH}}{V_{B\max}}\sin\theta}d\theta \qquad (3.23)$$

ในสมการที่ (3.23) θ_{dH} คือมุมไร้ผลตอบสนองหาได้จากสมการที่ (3.18) ที่แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าสูงสุดและ θ_{abH} เป็นมุมโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง a และโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง b ที่แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_B = V_{Bmin}$ ที่แรงดันไฟฟ้าเข้าต่ำสุด และโหลดมากที่สุดเมื่อตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด ทำงานในโมดกระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่อง V_{Bmin} หาได้จากค่าวัฏจักรหน้าที่ที่มากที่สุดหรือเงื่อนไขของตัวเหนี่ยวนำบูสต์ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง ดังสมการที่ (3.29)

ที่ $I_0 = I_{max}$ ในสมการที่ (3.19) และแทน (3.1) , (3.6) , (3.7) และ (3.13-3.15) ลงในสมการที่ (3.19) ที่แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าต่ำสุด จะได้ผลคูณของตัวเหนี่ยวนำบูสต์กับความถี่สวิตช์

$$L_B f_S = \frac{\eta_L}{\pi} \frac{\dfrac{V_{imL}}{V_{B\min}}\left(\dfrac{N_P}{N_S}\right)^2}{I_{O\max}} \frac{(V_0 + V_F)^2}{V_0} \cdot K_L \qquad (3.24)$$

V_{imL} เป็นขนาดแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าที่ต่ำสุด , η_L เป็นประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ที่แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าต่ำที่สุดและ K_L เป็นค่าที่หาได้จากสมการที่ (3.23) แทนค่า V_{imH}, , V_{Bmax} , θ_{dH} และ θ_{abH} ด้วย V_{imL} , V_{Bmin}, θ_{dL} และ θ_{abL} ตามลำดับ

แทนค่าสมการที่ (3.22) และ (3.24) โดยเลือกค่า N_P , N_R , N_S , N_1 และ N_2 เพื่อหาค่าตัวเหนี่ยวนำบูสต์ และตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด ค่า N_P , N_R และ N_S สามารถเลือกโดยใช้หลักของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ สุดท้าย N_1 และ N_2 สามารถเลือกได้ตามเงื่อนไขดังนี้

การทำงานตัวเหนี่ยวนำบูสต์ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง เงื่อนไขคือ

$$D + D_{rXF} + \Delta D_{rLB} \le 1 \qquad (3.25)$$

แทนสมการที่ (3.9) และ (3.12) ลงในสมการที่ (3.25) และจากความสมดุลฟลักซ์ในตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด

$$V_B \ge V_{in} + \left(\frac{N_P}{N_S} - \frac{N_1 + N_2}{N_S}\right) \cdot (V_0 + V_F) \qquad (3.26)$$

ประยุกต์สมการที่ (26) ที่แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าสูงสุดจะได้ค่า N_1+N_2 ที่น้อยที่สุด

$$\frac{N_1 + N_2}{N_P} \ge 1 - \frac{V_{B\max} - V_{imH}}{\left(\dfrac{N_P}{N_S}\right)(V_0 + V_F)} \qquad (3.27)$$

ค่าสูงสุดของ N_1+N_2 สามารถหาได้จากความต้องการของการกระทำที่เหมาะของช่วงเวลาในรอบสวิตช์

$$\frac{N_1 + N_2}{N_P} < 1 \qquad (3.28)$$

ประยุกต์สมการที่ (3.26) ที่แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าต่ำสุดจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบบูสต์ต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{B\min} \geq V_{imL} + \left(\frac{N_P}{N_S} - \frac{N_1 + N_2}{N_S}\right)(V_0 + V_F) \qquad (3.29)$$

การกระทำนี้จะได้ผลดีที่สุดหากสามารถให้แรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรบูสต์ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ จะหาค่า V_{Bmin} จากสมการที่ (3.29) และค่า N_1+N_2 ต้องมีให้ ดังนั้นควรเลือกค่า N_1+N_2 ให้ใหญ่ที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ ซึ่งค่า N_1+N_2 ควรจะมีค่าเท่ากับค่าของขดลวดปฐมภูมิลบด้วยหนึ่งหรือสองรอบ

จะสังเกตค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Bmin} จากสมการที่ (3.29) จากค่า V_{Bmin} จะทำให้ได้ค่าวัฏจักรหน้าที่ที่มากที่สุด

$$D_{\max} = \frac{N_P}{N_S} \cdot \frac{V_0 + V_F}{V_{B\min}} < \frac{1}{1 + \frac{N_R}{N_P}} = 0.5 \qquad (3.30)$$

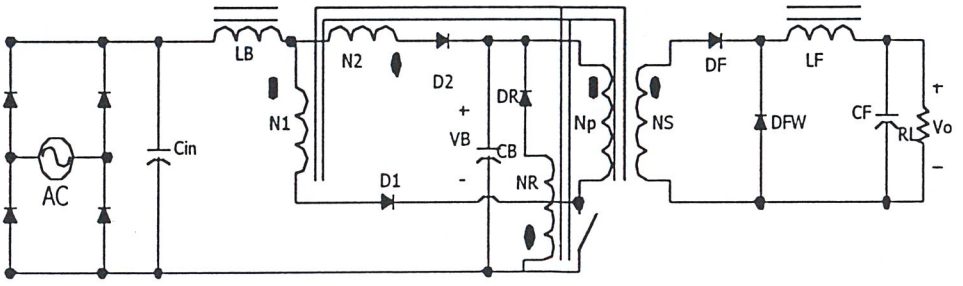
ถ้าสนใจเงื่อนไขของตัวเหนี่ยวนำบูสต์ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง จะพอมีเงื่อนไขจาก $D_{\eta B} \leq D_{reF}$ ในสมการที่ (3.16) และการประยุกต์ใช้ในแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าสูงสุด

$$\frac{N_1 + N_2}{N_P} \geq \left(1 + \frac{N_R}{N_P}\right) \cdot \frac{V_{imH}}{V_{B\max}} - \frac{N_R}{N_P} \qquad (3.31)$$

หลังจากเลือกค่า N_1+N_2 ค่าของ N_1 สามารถหาได้จากการแลกเปลี่ยนระหว่างการถ่ายเทพลังงานโดยตรง ประสิทธิภาพที่มากขึ้น (N_1 มีขนาดใหญ่) และมุมไร้ผลตอบสนองร่วมด้วยกับตัวประกอบกำลัง และความผิดเพี้ยนของฮาร์โมนิกในกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้า ซึ่งในความเป็นจริง N_1 จะสามารถเลือกให้ใหญ่ที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ด้วยประสิทธิภาพที่สูงสุดและรูปร่างของกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้า

3.3 การคำนวณ

การออกแบบจะเริ่มจากการออกแบบในส่วนวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>เงื่อนไขของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์</u>

แรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า	160-260	โวลต์(rms)
แรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าทางด้านออก	5	โวลต์
กระแสไฟฟ้าทางด้านออก	1-10	แอมแปร์
ความถี่ในการสวิตช์	50	กิโลเฮิร์ตซ์

<u>การคำนวณหม้อแปลงในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์</u>

$$P_{02} = (V_0+V_{rl}+V_D) I_0 \qquad (3.32)$$

P_{02} คือกำลังที่เกิดในหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ , V_o คือแรงดันไฟฟ้าทางด้านออก , V_{rl} คือแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ดซึ่งมีค่าเป็น 10 % ของแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกมีค่าเท่ากับ 0.5 โวลต์ และ V_D คือแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด D_F ซึ่งมีค่าคงที่ 1.5โวลต์ แทนค่าลงในสมการที่ (3.32) จะได้กำลังที่เกิดในหม้อแปลงด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 70 วัตต์

<u>การเลือกขนาดแกนของหม้อแปลง</u>

$$A_p = \frac{\sqrt{D_{max}} P_{02}(1+\frac{1}{\eta})}{K_W J B_m f_s} \qquad (3.33)$$

A_p คือผลคูณของพื้นที่แกน (Core area, A_c) กับพื้นที่หน้าสัมผัส (Window area, A_w) ของหม้อแปลง เป็นการคำนวณขนาดของหม้อแปลงเพื่อใช้เลือกขนาดหม้อแปลงให้สามารถนำขดลวดมาพันลงหม้อแปลงได้พอดี

แทนค่าลงในสมการที่ (3.33) เมื่อ η คือประสิทธิภาพของหม้อแปลงมีค่าเท่ากับ 80 % , B_m คือค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 0.15 เทสลา (< 0.2 เทสลา) , K_W คือค่า Window utilization factor กรณีหม้อแปลงมีค่า 0.4 กรณีตัวเหนี่ยวนำมีค่า 0.6 และ J คือค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามีค่า 3-5*10 ^{6} แอมแปร์ต่อตารางเมตร จะได้ A_p เท่ากับ 11739.35 มิลลิเมตร^4 และจากค่า A_p นี้จะนำมาเลือกขนาดแกนหม้อแปลงโดยเลือกจากขนาดแกนหม้อแปลงที่มีค่า A_p มากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ในที่นี้จะเลือกแกน EI – 40 ซึ่งมี A_p เท่ากับ 23,915.43 มิลลิเมตร^4, A_W เท่ากับ 147.9 ตารางมิลลิเมตรและ A_C เท่ากับ 161.7 ตารางมิลลิเมตร

<u>การเลือกจำนวนรอบขดลวด</u>

N_P คือจำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิ , N_S คือจำนวนรอบขดลวดด้านทุติยภูมิ , N_R คือจำนวนรอบขดลวดด้านรีเซต และ n คืออัตราส่วนของจำนวนรอบขดลวดด้านทุติยภูมิต่อจำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$N_p = \frac{V_{min} D_{max}}{A_c B_m f_s} \quad (3.34)$$

กำหนดให้ V_{min} คือแรงดันไฟฟ้าทางเข้าที่น้อยที่สุดเท่ากับ 200โวลต์ , D_{max} คือค่าวัฏจักรหน้าที่ที่มากที่สุดเท่ากับ 0.45 และ f_s คือความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 50 กิโลเฮิร์ตซ์แทนค่าลงในสมการที่(3.34) จะได้ จำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิเท่ากับ 81.055 หรือประมาณ 82 รอบ

$$n = \frac{N_s}{N_p} = \frac{V_o + V_{rl} + V_D}{V_{min} D_{max}} \quad (3.35)$$

จากสมการที่ (3.35) จะได้อัตราส่วนจำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิต่อจำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิเท่ากับ 0.078 เพราะฉะนั้นจะได้ว่า $N_s=nN_p$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 6.378 หรือประมาณ 7 รอบ เมื่อได้จำนวนรอบขดลวดด้านทุติยภูมิแล้วก็นำค่าที่ได้มาหาค่าจำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิใหม่จาก $N_P = \frac{N_S}{n}$ จะได้จำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิเท่ากับ 90 รอบ

$$I_{S,rms} = Io\sqrt{D_{max}} \quad (3.36)$$

$$I_{P,rms} = nI_{S,rms} \quad (3.37)$$

$I_{S,rms}$ คือค่า rms ของกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ และ $I_{P,rms}$ คือค่า rms ของกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ แทนค่าในสมการที่ (3.36) และ (3.37) ตามลำดับ จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิเท่ากับ 6.71 แอมแปร์ และกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิเท่ากับ 0.522 แอมแปร์ตามลำดับ

I_{mag} คือค่า rms ของกระแสไฟฟ้าแมกเนไทซิ่ง , L_P คือความเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในขดลวดด้านปฐมภูมิ และ A_L คือตัวประกอบของความเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับ $4600*10^{-9}$ เฮนรี่ต่อจำนวนรอบยกกำลังสอง ค่ากระแสไฟฟ้าในขดลวดรีเซท ($I_{R,rms}$) หาได้จากสมการที่ (3.38) ,(3.39) และ (3.40) ตามลำดับ

$$L_1 = A_L N_P^2 \quad (3.38)$$

$$I_{mag} = \frac{D_{max} V_{min}}{f_s L_1} \quad (3.39)$$

$$I_{R,rms} = I_{mag}\sqrt{\frac{1 - D_{max}}{3}} \quad (3.40)$$

<u>การเลือกขนาดขดลวด</u>

$$a = \frac{I_{rms}}{J} \quad (3.41)$$

จากสมการที่ (3.41) กำหนดให้ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามีค่า $3\text{-}5*10^6$แทนค่าในสมการที่ (3.41) จะได้ a_s คือพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 1.342 ตารางมิลลิเมตร , a_p คือพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 0.1044 ตารางมิลลิเมตรและa_R คือพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้านรีเซตมีค่าเท่ากับ 0.007 ตารางมิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42483

นำพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่คำนวณได้ข้างบนนี้มาเลือกขนาดของขดลวดจะได้ว่า ขดลวดด้านทุติยภูมิใช้ขนาด AWG 22 (พื้นที่หน้าตัด 0.3255 ตารางมิลลิเมตร) จำนวน 5 เส้น , ขดลวดด้านปฐมภูมิใช้ขนาด AWG 27 (พื้นที่หน้าตัด 0.1021ตารางมิลลิเมตร) จำนวน 1 เส้นและขดลวดรีเซทใช้ขนาดAWG 30 (พื้นที่หน้าตัด 0.0509 ตารางมิลลิเมตร) จำนวน 1 เส้น

<u>การตรวจสอบ</u>

การตรวจสอบ คือการคำนวณว่าขนาดหม้อแปลงและขนาดขดลวดที่เลือกไว้จะสามารถพันลงหม้อแปลงได้หรือไม่ โดยพิจารณาได้จากสมการที่ (3.42)

$$A_W K_W \geq a_s N_s + a_p N_p + a_R N_R \qquad (3.42)$$

แทนค่าในสมการที่ (3.42) จะได้ว่าค่าที่คำนวณได้นั้นเป็นไปตามเงื่อนไขของสมการ ดังนั้นขนาดหม้อแปลงและขนาดขดลวดที่เลือกไว้จะสามารถพันลงหม้อแปลงได้

<u>การเลือกตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลัง</u>

$$P_{in} = \frac{P_0}{\eta} \qquad (3.43)$$

P_o คือกำลังทางด้านออกมีค่าเท่ากับ 50 วัตต์ และP_{in} คือกำลังทางด้านเข้าซึ่งจากการคำนวณข้างต้นจะมีค่าเท่ากับ 62.5 วัตต์ เมื่อกำหนดให้มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 80%

$$W_{in} = \frac{P_{in}}{f_L} \qquad (3.44)$$

$$\frac{W_{in}}{2} = \frac{1}{2} C_B (V_{PK}^{\ 2} - V_{\min}^{\ 2}) \qquad (3.45)$$

เมื่อ W_{in} คืองานที่ได้ทางด้านเข้า , V_{PK} คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุดทางด้านเข้า , V_{min} คือแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดทางด้านเข้าและ f_L คือความถี่ไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ แทนค่าในสมการที่ (3.44) จะได้งานที่ได้ทางด้านเข้าเท่ากับ 1.25 จูล จากสมการที่ (3.45) นำมาพิจารณาตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรบูสต์ จะได้ว่า

กรณีแรงดันไฟฟ้าทางเข้าเป็น $260\sqrt{2}$ ซึ่งเท่ากับ 367 โวลต์

$$C_B = \frac{W_{in}}{V_{PK}^{\ 2} - V_{\min}^{\ 2}} = \frac{1.25}{367^2 - 337^2} = 59.19 \ \mu F$$

กรณีแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าเป็น $160\sqrt{2}$ ซึ่งเท่ากับ 226 โวลต์

$$C_B = \frac{W_{in}}{V_{PK}^{\ 2} - V_{\min}^{\ 2}} = \frac{1.25}{226^2 - 196^2} = 98.736 \ \mu F$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรบูสต์ที่มีค่าประมาณ 100ไมโครฟารัด ที่สามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้สูงถึง 450 โวลต์

<u>การเลือกตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ดแบบโมดกระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่อง</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Lmin} = \frac{V_0(1 - D_{\min})}{2f_s} \quad (3.46)$$

Lmin คือตัวเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าที่มีค่าต่ำที่สุดที่ยังสามารถทำงานในโมดกระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่องได้ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 37.85 ไมโครฟารัด เมื่อพิจารณา Dmin ซึ่งเป็นค่าวัฏจักรหน้าที่ที่น้อยที่สุด โดยคำนวณได้จาก Dmin=$\frac{V_{\min} D_{\max}}{V_{\max}}$ มีค่าเท่ากับ 0.243 (เมื่อกำหนดให้ Vmin เท่ากับ 200 โวลต์และVmax เท่ากับ 370 โวลต์)

ΔI คือความกระเพื่อมของกระแสไฟฟ้าทางด้านออก กำหนดให้ ΔI = 20%ของกระแสไฟฟ้าทางด้านออก ซึ่งจะนำมาพิจารณาในการเลือกตัวเหนี่ยวนำได้ดังนี้

$$L = \frac{D_{\min} V_{\max} (1 - D_{\min})}{\Delta I f_s} \quad (3.47)$$

จากสมการที่ (3.47) จะได้ตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ดมีค่าเท่ากับ 52.94 ไมโครเฮนรี่

$$L = \frac{D_{\max} V_{\min} (1 - D_{\max})}{\Delta I f_s} \quad (3.48)$$

จากสมการที่ (3.48) จะได้ตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ดมีค่าเท่ากับ 38.5 ไมโครเฮนรี่ ดังนั้นควรเลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ดมีค่าเท่ากับ 52.94 ไมโครเฮนรี่

<u>เลือกขนาดแกนของตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด</u>

เมื่อ E คือพลังงานในตัวเหนี่ยวนำกระแส และ I_m คือกระแสไฟฟ้าสูงสุดทางด้านออกซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3.49)

$$I_m = I_0 + \frac{\Delta I}{2} \quad (3.49)$$

แทนค่า กระแสไฟฟ้าทางออกเท่ากับ 10 แอมแปร์และความกระเพื่อมกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 2 แอมแปร์ จะได้กระแสไฟฟ้าสูงสุดทางด้านออกเท่ากับ 11 แอมแปร์

$$E = \frac{1}{2} L I_m^2 \quad (3.50)$$

แทนค่าในสมการที่ (3.50) จะได้พลังงานในตัวเหนี่ยวนำกระแสเท่ากับ $3.203*10^{-3}$ จูล

$$A_P = \frac{2E}{K_W J B_m} \quad (3.51)$$

จากสมการที่ (3.51) จะได้ A_p เท่ากับ 23725.93 มิลลิเมตร^4 นำ A_P ที่ได้มาเลือกแกนจะได้ว่าเลือกใช้แกน EI-40 ที่มีค่า A_p เท่ากับ 23,915.43 มิลลิเมตร^4

<u>การเลือกจำนวนรอบของขดลวด</u>

$$N = \frac{L I_m}{A_C B_m} \quad (3.52)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าจากสมการจะได้จำนวนรอบของขดลวดเท่ากับ 27 รอบ

<u>การเลือกขนาดของขดลวด</u>

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ดจะมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหม้อแปลงทางด้านทุติยภูมิ ดังนั้นจึงเลือกใช้ AWG 22 (พื้นที่หน้าตัดของขดลวดเท่ากับ 0.3255 ตารางมิลลิเมตร) จำนวน 4 เส้น

<u>การตรวจสอบ</u>

การตรวจสอบ คือการคำนวณว่าขนาดแกนและขนาดขดลวดที่เลือกไว้จะสามารถพันตัวเหนี่ยวนำลงแกนได้หรือไม่ โดยพิจารณาได้จากสมการที่ (3.42)

$$A_W K_W \geq aN$$

แทนค่าในสมการข้างต้นนี้ จะได้ว่าค่าที่คำนวณได้นั้นเป็นไปตามเงื่อนไขของสมการ ดังนั้นขนาดแกนและขนาดขดลวดที่เลือกไว้สามารถพันลงแกนได้

<u>เลือกค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านฟอร์เวิร์ด</u>

ESR คือค่าความต้านทานภายในตัวเก็บประจุทางด้านฟอร์เวิร์ด , ΔV คือความกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกมีค่าเท่ากับ 0.2 โวลต์

$$ESR = \frac{\Delta V}{\Delta I} \qquad (3.53)$$

ซึ่งควรพิจารณา ESR* C ให้อยู่ในช่วง 20-100 ไมโคร ดังนั้นค่าที่เลือกคือ 50 ไมโคร

$$ESR * C = 50 * 10\text{-}6$$

แทนค่าในสมการจะได้ตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 500 ไมโครฟารัด

เนื่องจากกรณีการพันหม้อแปลงของฟอร์เวิร์ดที่ได้คำนวณไว้ไม่เพียงพอที่จะพันขดลวดอีกสองขด คือ ขดลวด N_1 และขดลวด N_2 จึงต้องมีการเลือกแกนของหม้อแปลงใหม่โดยเลือกใช้แกน EE – 55 ที่มี $A_p = 141{,}094.1 mm^4$, $A_W = 399.7\ mm^2$, $A_C = 353\ mm^2$

การเลือกแกนใหม่ส่งผลให้จำนวนขดลวดเปลี่ยนไป จึงมีการแทนค่าลงในสมการที่ (3.34) และ (3.35) ทำให้ได้จำนวนขดลวดค่าใหม่ที่ใช้กับวงจร S^4ICS ดังนี้ จำนวนขดลวดด้านปฐมภูมิและจำนวนขดลวดรีเซทเท่ากันซึ่งเท่ากับ 52 รอบ ส่วนจำนวนขดลวดด้านทุติยภูมิเท่ากับ 4 รอบ

คำนวณตามสมการที่ (3.28) จะได้จำนวนขดลวด N_1 เท่ากับ 23 รอบและจำนวนขดลวด N_2 เท่ากับ 27 รอบ จากนั้นตรวจสอบค่า V_B ตามสมการที่ (3.26)

$$V_{Bmin} \geq imL + \left(\frac{N_p}{N_S} - \frac{N_1 + N_2}{N_S}\right) * (V_0 + V_f) \quad \text{เมื่อ } V_F = 0.55\ V$$

จะได้แรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ค่าต่ำสุดมีค่าไม่น้อยกว่า 299.05 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{Bmax} \geq \quad _{imH} + (\frac{N_P}{N_S} - \frac{N_1 + N_2}{N_S}) * (V_0 + V_F)$$

จะได้แรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ค่าสูงสุดมีค่าไม่น้อยกว่า 370.45 โวลต์

ดังนั้นจึงเลือก V_{Bmin} = 299.05 และ V_{Bmax} = 370.45

แทนค่าจากสมการที่ (3.7) จะได้ A_1 เท่ากับ -0.92 และ A_2 เท่ากับ 1.08 , สมการที่ (3.14) และ (3.15) จะได้ B_1 เท่ากับ 1 และ B_2 เท่ากับ -1

แทนค่าจากสมการที่ (3.17)จะได้ θ_{abH} เท่ากับ 1.42 และจากสมการที่ (3.18)จะได้ θ_{dH} เท่ากับ 0.46 ดังนั้นค่า K_H จากสมการที่ (3.23) มีค่าเท่ากับ 0.61

แทนค่าจากสมการที่ (3.17)จะได้ θ_{abL} เท่ากับ 1.45 และจากสมการที่ (3.18)จะได้ θ_{dL} เท่ากับ 0.45 ดังนั้นค่า K_L จากสมการที่ (3.23) มีค่าเท่ากับ 0.60

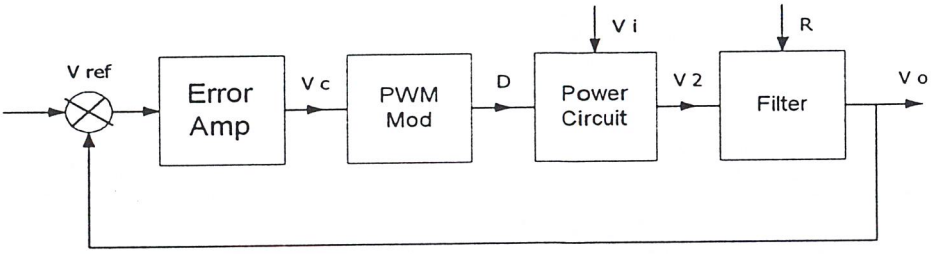
กำหนดให้ $\eta_H = 0.7$ และ $\eta_L = 0.76$

แทนค่าในสมการที่ (3.22) จะได้ค่า $\frac{L_B}{L_F}$ เท่ากับ 62.86 และในสมการที่ (3.24) จะได้ค่า $L_B f_S$ เท่ากับ 2.71 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าที่ได้ทั้ง 2 ค่านี้จะได้ ค่าL_B เท่ากับ 54.29 ไมโครเฮนรี่และจะได้ L_F เท่ากับ 0.86 ไมโครเฮนรี่

จากการคำนวณค่าจะเห็นได้ว่าค่า L_F ไม่สามารถทำงานในโมดกระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่องได้จึงไม่สามารถใช้ค่านี้ได้ ดังนั้น L_F จะเลือกค่าเท่ากับที่คำนวณได้ของฟอร์เวิร์ด คือ L_F = 52.94 ไมโครเฮนรี่ แต่ L_B ก็ยังไม่สามารถทราบว่าค่าที่คำนวณได้จะสามารถทำงานในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่องได้หรือไม่จึงต้องนำค่าที่ได้จากการออกแบบดังกล่าวไปทดลองด้วยโปรแกรม PSPICE

3.4 การออกแบบระบบควบคุม

บล็อคไดอะแกรมของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตช์ที่ใช้ในการควบคุมระบบแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงบล็อคไดอะแกรมของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบวิธีสวิตช์นี้ ส่วนใหญ่แรงดันไฟฟ้าตรงทางออก V_o จะถูกควบคุมโดยนำแรงดันไฟฟ้าตรงทางออกมาเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง และนำผลต่างที่ได้มาปรับค่าอัตราส่วนวัฏจักรหน้าที่ D ในการออกแบบนี้เลือกใช้โมดควบคุมกระแสไฟฟ้าด้วยไอซีเบอร์ UC2825 ซึ่งสามารถพิจารณาฟังก์ชั่นถ่ายโอนได้ดังนี้

$$I_L = K \cdot V_c$$

เนื่องจากเป็นการรักษาระดับวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ภายใต้เงื่อนไขไฟฟ้ากระแสตรง จะได้ว่า

$$I_L = I_o$$

$$I_o = I_o R = K \cdot V_c \cdot R$$

จะได้ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ในโมดควบคุมกระแสไฟฟ้า[13]

$$\frac{v_o(s)}{v_c(s)} = K \cdot R \cdot \frac{(1 + sCr_c)}{1 + sC(R + r_c)} \qquad (3.54)$$

เมื่อ K คือส่วนกลับของความต้านทานที่ใช้ตรวจจับกระแสไฟฟ้า(R_S^{-1}) , C คือตัวเก็บประจุไฟฟ้าฟอร์เวิร์ด(C_F) , r_c คือค่าESRของตัวเก็บประจุไฟฟ้า, R คือความต้านทานทางออกของวงจร

จากการออกแบบวงจร S^4ICS ที่มีวงจรคอนเวอร์เตอร์ DC/DC เป็นวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์จะแทนค่า K เท่ากับ (0.5^{-1}) , C เท่ากับ 470μF , r_c เท่ากับ 0.172 Ω ลงในสมการที่ (3.54) จะได้

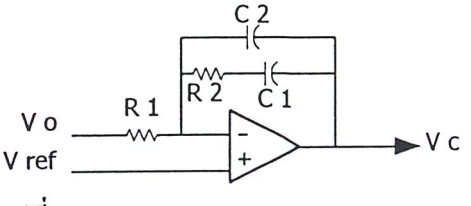
กรณี Light-load R มีค่าเท่ากับ 5 Ω

$$\frac{v_o(s)}{v_c(s)} = 10 \cdot \frac{1 + s8.08 \times 10^{-5}}{1 + s2.43 \times 10^{-3}}$$

กรณี Full-load R มีค่าเท่ากับ 0.5 Ω

$$\frac{v_o(s)}{v_c(s)} = \frac{1 + s8.08 \times 10^{-5}}{1 + s3.16 \times 10^{-4}}$$

จากฟังก์ชั่นถ่ายโอนที่แสดงข้างบนนี้จะเห็นว่า ระบบยังมีการตอบสนองไม่ดีเนื่องจากที่กรณี Light-load มีค่าPhase margin เท่ากับ 118 องศา และFull-load มีค่าPhase margin เท่ากับ 180 องศา จึงต้องมีการออกแบบ Error amplifier เพื่อเป็นตัวชดเชยระบบ แสดงดังรูปที่ 3.5 [14]



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรError amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของ Error amplifier ดังนี้

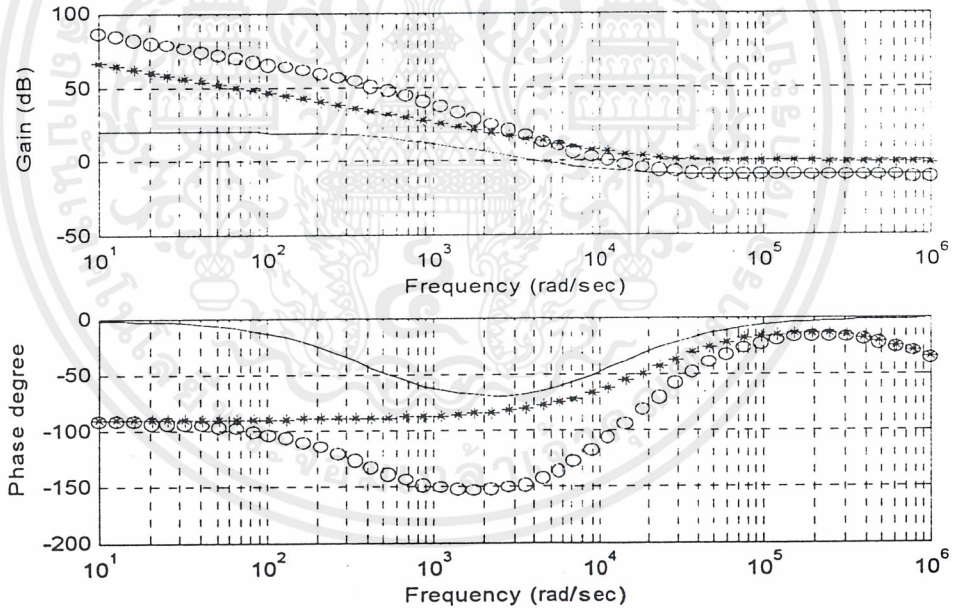
$$\frac{v_c(s)}{v_o(s)} = \frac{1}{sR1(C1+C2)} \frac{1+sR2C1}{1+sR2\dfrac{C1C2}{C1+C2}} \qquad (3.55)$$

ในการออกแบบ Error amplifier กำหนดให้ความถี่คลอสโอเวอร์เท่ากับ 25 KHz ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของความถี่ในการสวิตช์

จากการออกแบบจะได้ R1 เท่ากับ 10 KΩ, R2 เท่ากับ 10 KΩ, C1 เท่ากับ 47 nF , C2 เท่ากับ 68 pF แทนค่าลงในสมการที่ (3.55)

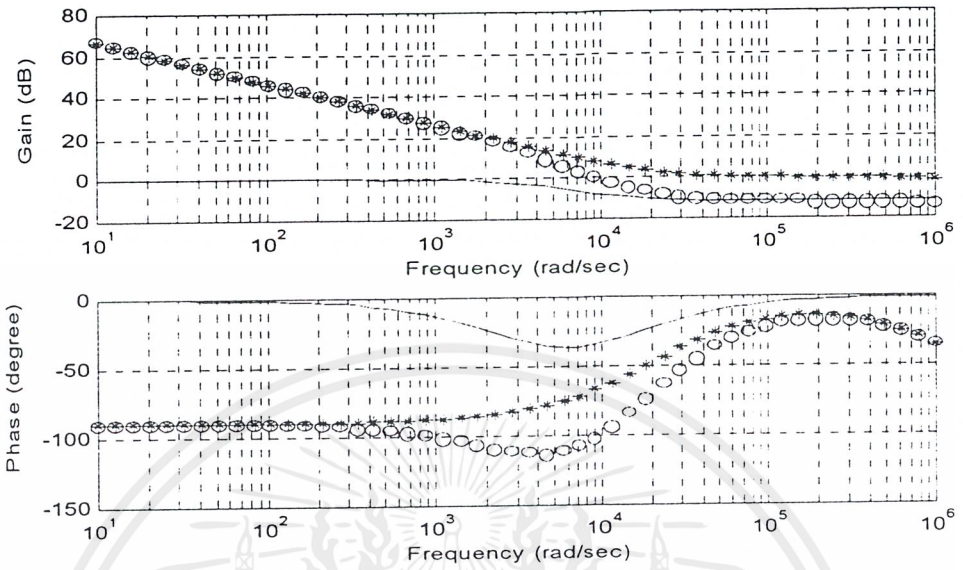
$$\frac{v_c(s)}{v_o(s)} = \frac{1}{s4.76\times10^{-5}} \frac{1+s4.7\times10^{-5}}{1+s6.7\times10^{-7}}$$

นำฟังก์ชั่นถ่ายโอนในสมการที่ (3.54) ทั้งที่ Light-load และ Full-load กับฟังก์ชั่นถ่ายโอนของ Error amplifier ที่ออกแบบแล้วในสมการที่ (3.55) มาวาด Bode diagram



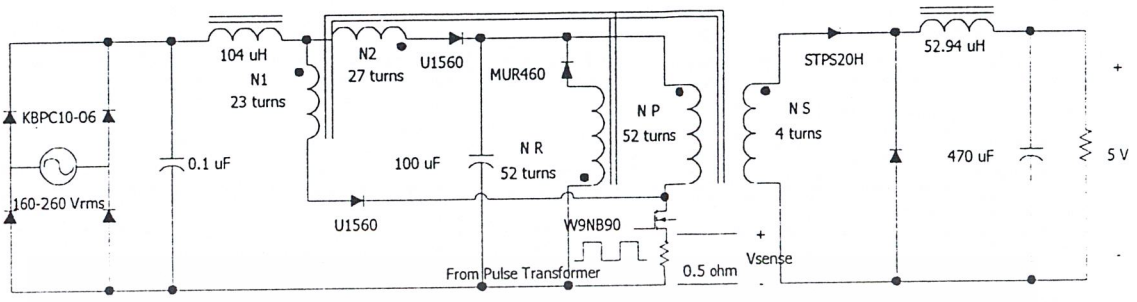
รูปที่ 3.6 แสดง Bode diagram กรณี Light-load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

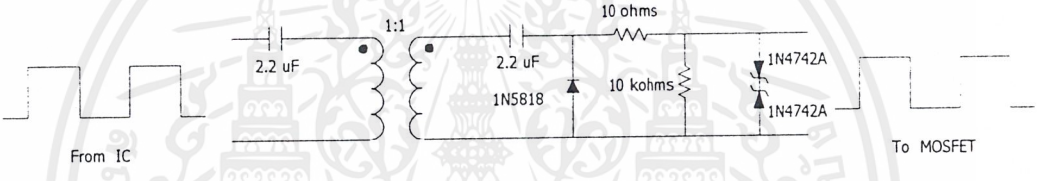


จาก Bode diagram ที่แสดงดังรูปที่ 3.6 และ3.7 จะเห็นได้ว่าระบบที่รวมวงจรError amplifier ที่ออกแบบนี้จะมีการตอบสนองต่อระบบดีขึ้นเนื่องจากในกรณี Light-load มี Phase margin ประมาณ 65 องศา และกรณี Full-load มี Phase margin ประมาณ 80 องศา

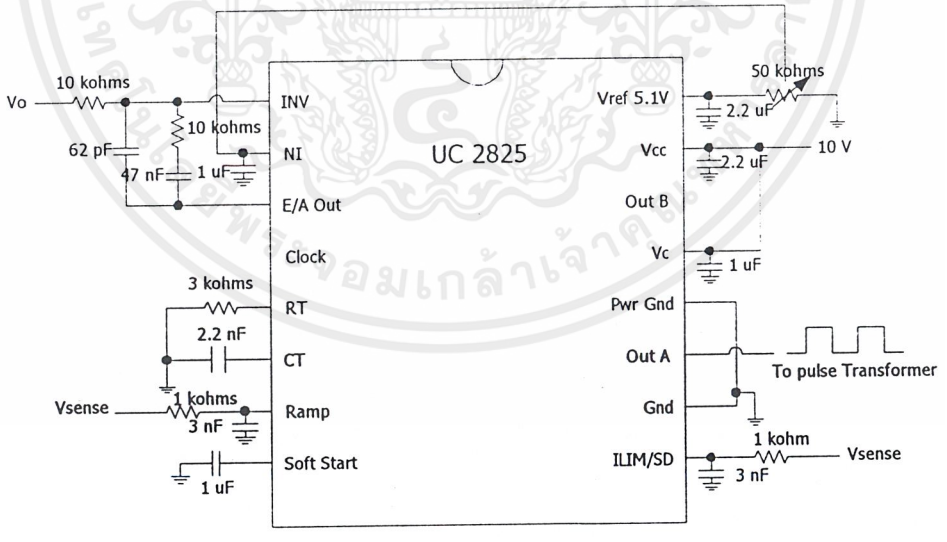
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) วงจร S[4]ICS ที่ได้จากการออกแบบ



(b) วงจร Pulse Transformer



(c) วงจรไอซีเบอร์ UC2825 ที่ได้จากการออกแบบ

รูปที่ 3.8 แสดงวงจร S[4]ICS ทั้งหมดที่ได้จากการออกแบบ

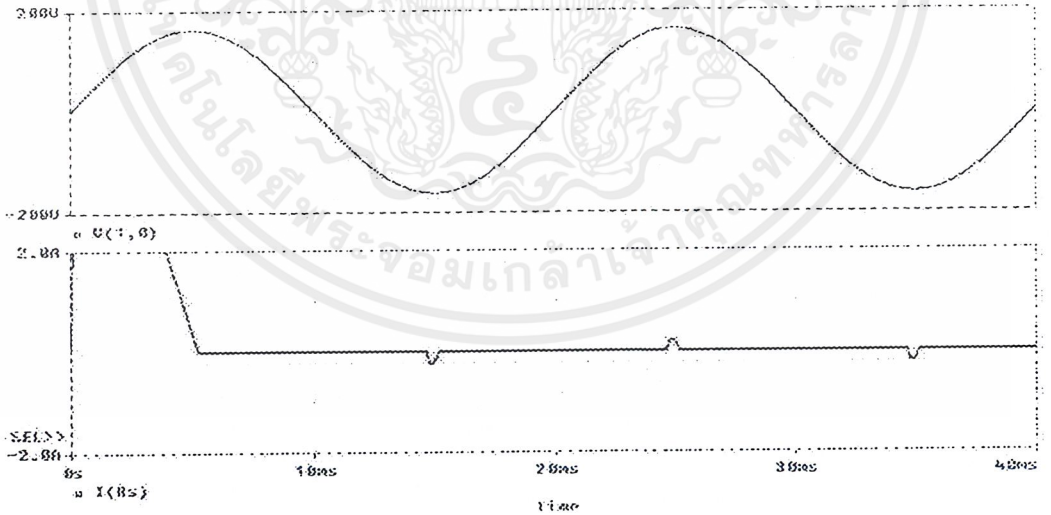
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการเลียนแบบการทำงานของวงจร S⁴ICS โดยโปรแกรม PSPICE

4.1 การเลียนแบบการทำงานของวงจร S⁴ICS โดยโปรแกรม PSPICE

วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น115 โวลต์

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า	115	โวลต์
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านเข้า	0.1	μF
จำนวนรอบของขดลวดรีเซต	90	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ	90	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ	7	รอบ
ตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด	52.94	μH
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออก	556	μF
ความต้านทาน	5	Ω

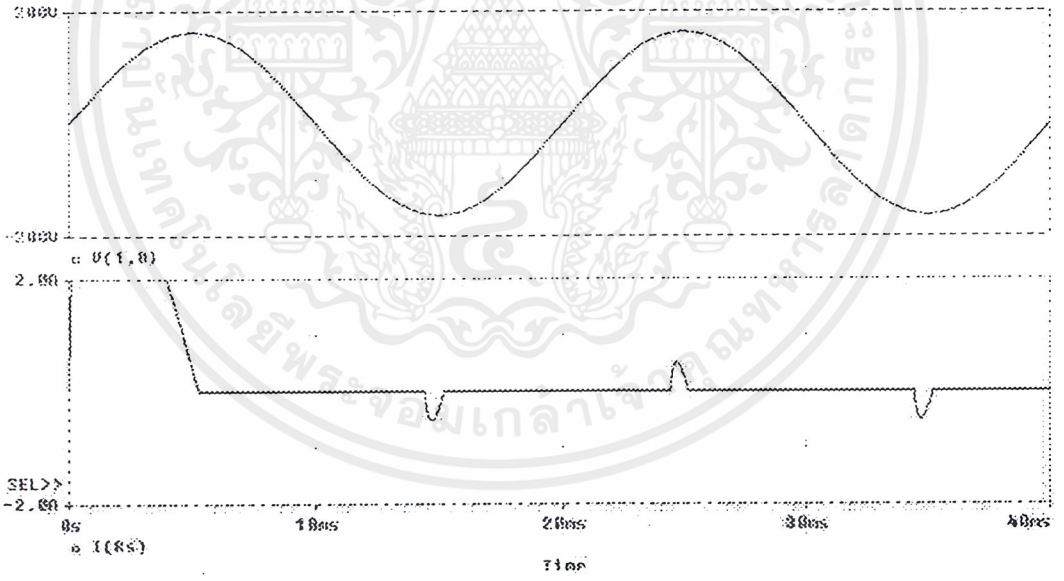


รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น115 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น115 โวลต์

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า	115	โวลต์
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านเข้า	0.1	μF
จำนวนรอบของขดลวดรีเซต	90	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ	90	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ	7	รอบ
ตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด	52.94	μH
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออก	556	μF
ความต้านทาน	0.5	Ω

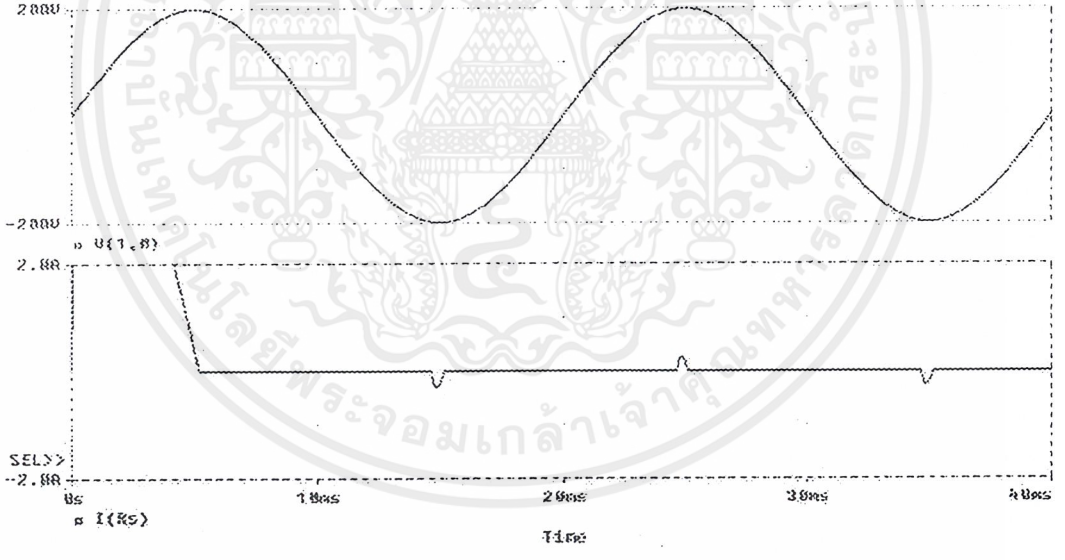


รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น115 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น140 โวลต์

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า	140	โวลต์
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านเข้า	0.1	μF
จำนวนรอบของขดลวดรีเซต	90	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ	90	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ	7	รอบ
ตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด	52.94	μH
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออก	556	μF
ความต้านทาน	5	Ω

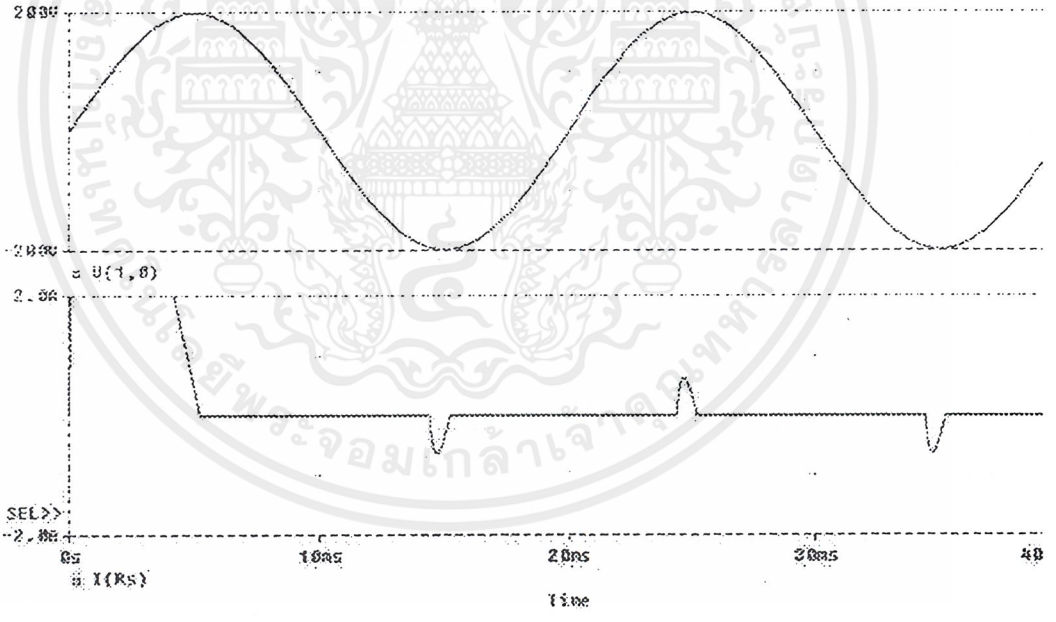


รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น140 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น140 โวลต์

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า	140	โวลต์
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านเข้า	0.1	μF
จำนวนรอบของขดลวดรีเซต	90	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ	90	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ	7	รอบ
ตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด	52.94	μH
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออก	556	μF
ความต้านทาน	0.5	Ω

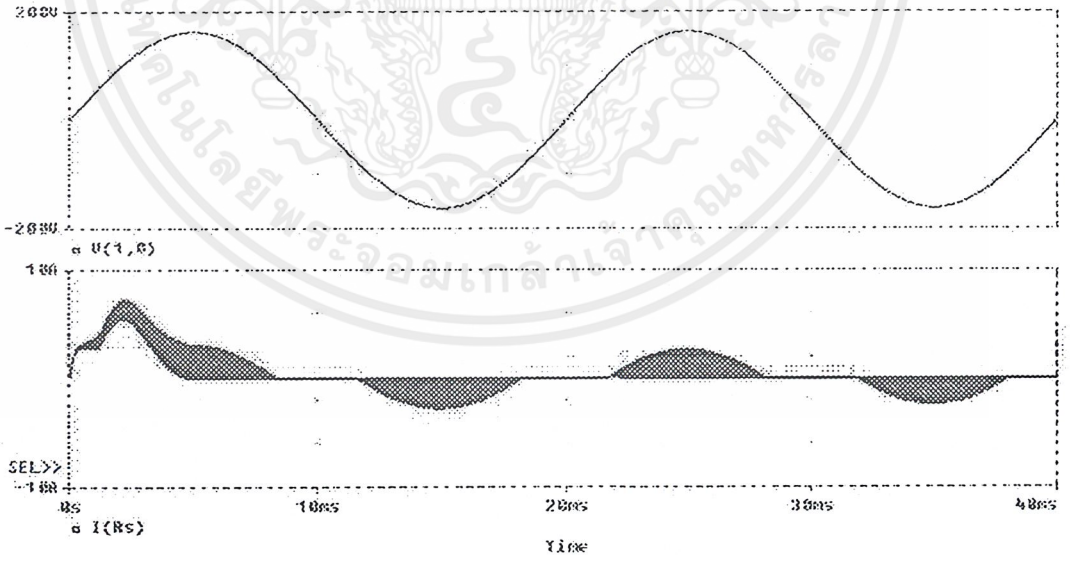


รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น140 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Swicth S^4ICS ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น115 โวลต์

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า	115	โวลต์
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านเข้าของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำ ลังแบบบูสต์	0.1	μF
ตัวเหนี่ยวนำบูสต์	104	μH
จำนวนรอบของขดลวด N_1	23	รอบ
จำนวนรอบของขดลวด N_2	27	รอบ
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบบูสต์	100	μF
จำนวนรอบของขดลวดรีเซต	52	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ	52	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ	4	รอบ
ตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด	52.94	μH
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	556	μF
ความต้านทาน	5	Ω

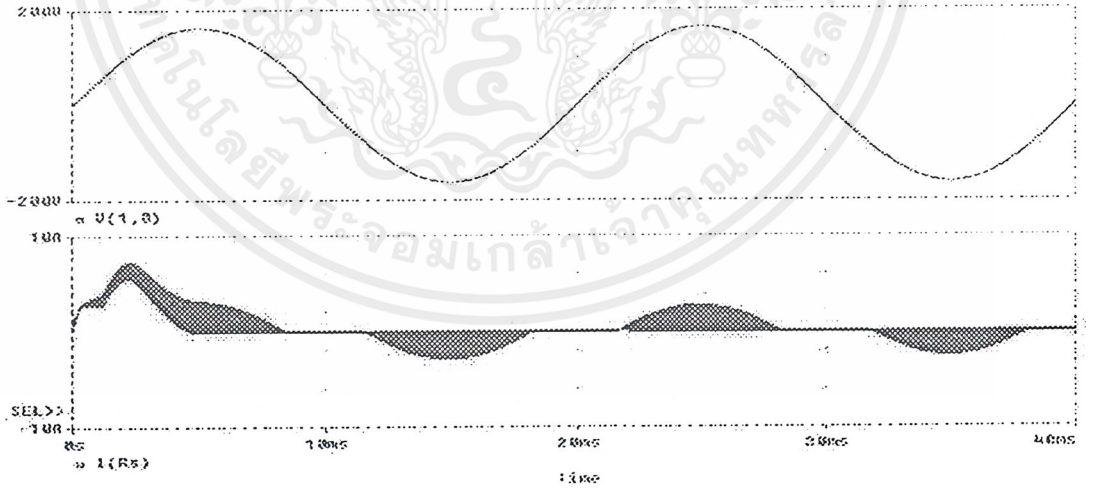


รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Swicth S^4ICS ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น115 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Swicth S^4ICS ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น115 โวลต์

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า	115	โวลต์
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านเข้าของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำ ลังแบบบูสต์	0.1	μF
ตัวเหนี่ยวนำบูสต์	104	μH
จำนวนรอบของขดลวด N_1	23	รอบ
จำนวนรอบของขดลวด N_2	27	รอบ
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบบูสต์	100	μF
จำนวนรอบของขดลวดรีเซต	52	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ	52	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ	4	รอบ
ตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด	52.94	μH
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	556	μF
ความต้านทาน	0.5	Ω

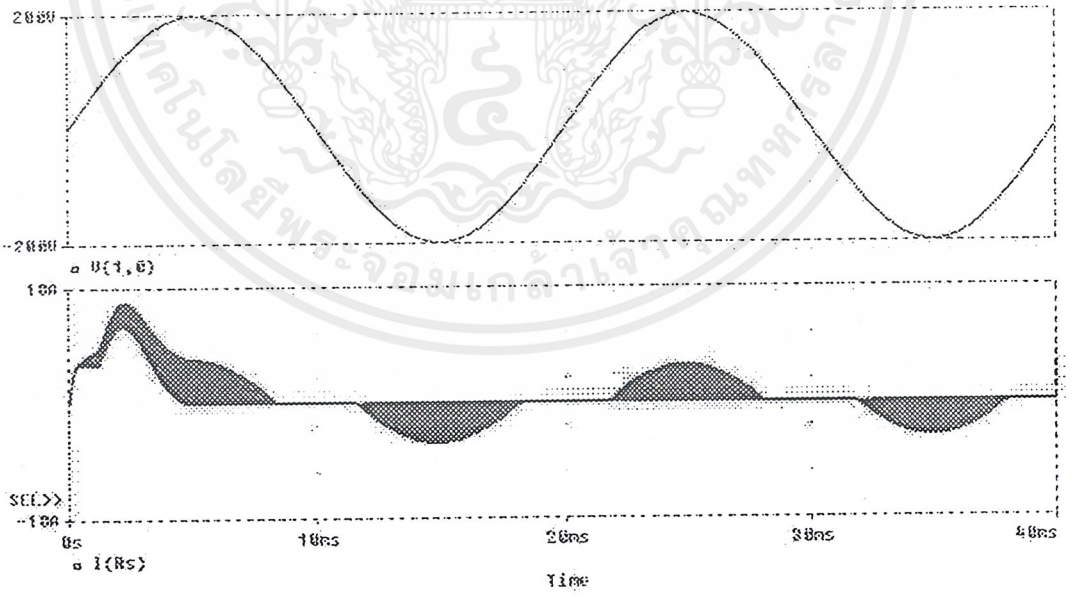


รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Swicth S^4ICS ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น115 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Swicth S^4ICS ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น140 โวลต์

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า	140	โวลต์
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านเข้าของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำ ลังแบบบูสต์	0.1	μF
ตัวเหนี่ยวนำบูสต์	104	μH
จำนวนรอบของขดลวด N_1	23	รอบ
จำนวนรอบของขดลวด N_2	27	รอบ
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบบูสต์	100	μF
จำนวนรอบของขดลวดรีเซต	52	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ	52	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ	4	รอบ
ตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด	52.94	μH
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	556	μF
ความต้านทาน	5	Ω

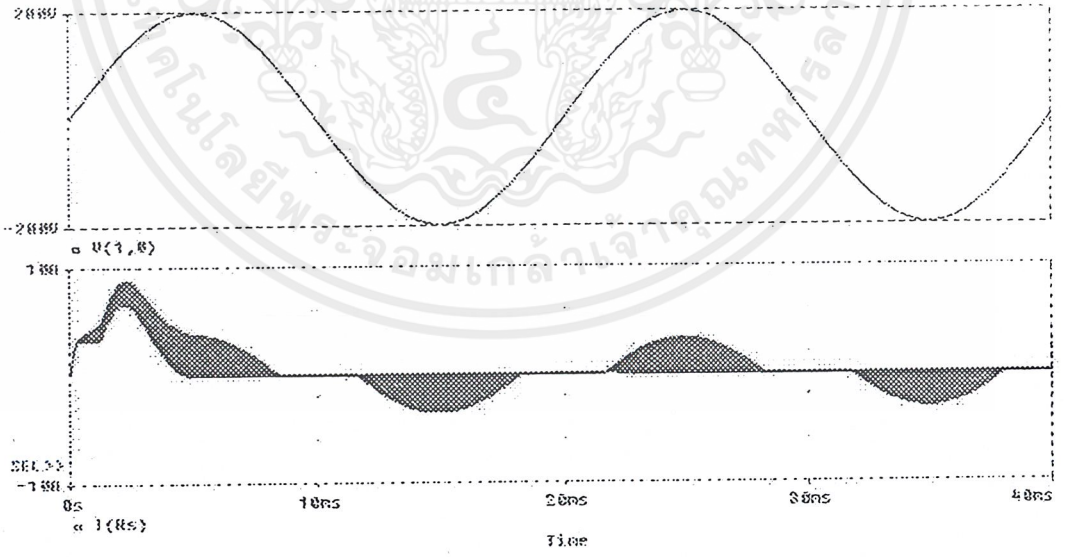


รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Swicth S^4ICS ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น140 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

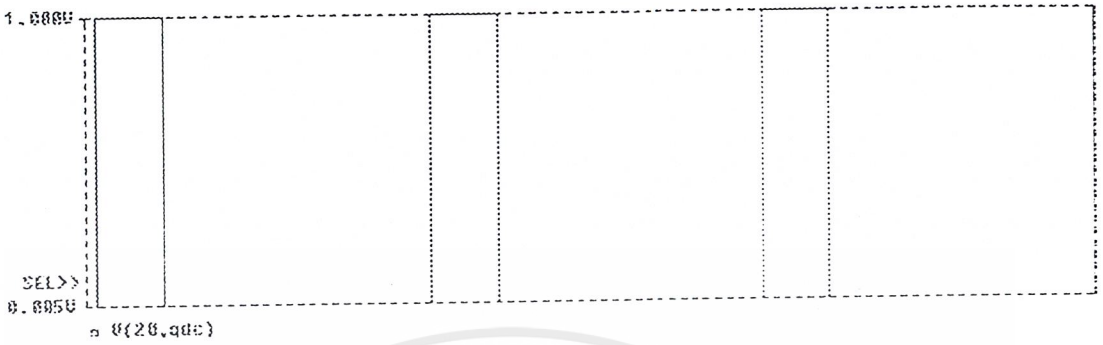
วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Swicth S^4ICS ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น140 โวลต์

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า	140	โวลต์
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านเข้าของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำ ลังแบบบูสต์	0.1	μF
ตัวเหนี่ยวนำบูสต์	104	μH
จำนวนรอบของขดลวด N_1	23	รอบ
จำนวนรอบของขดลวด N_2	27	รอบ
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบบูสต์	100	μF
จำนวนรอบของขดลวดรีเซต	52	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ	52	รอบ
จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ	4	รอบ
ตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด	52.94	μH
ตัวเก็บประจุไฟฟ้าของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	556	μF
ความต้านทาน	0.5	Ω

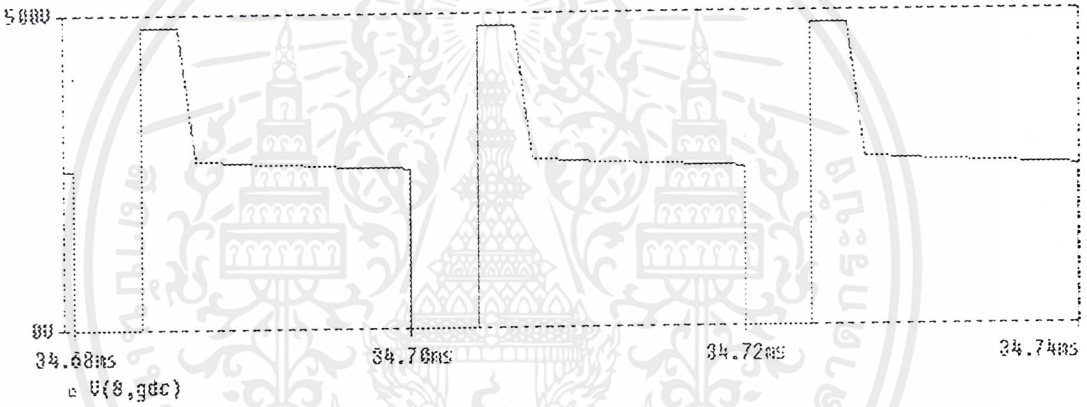


รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ากับกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าของวงจรวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Swicth S^4ICS ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น140 โวลต์

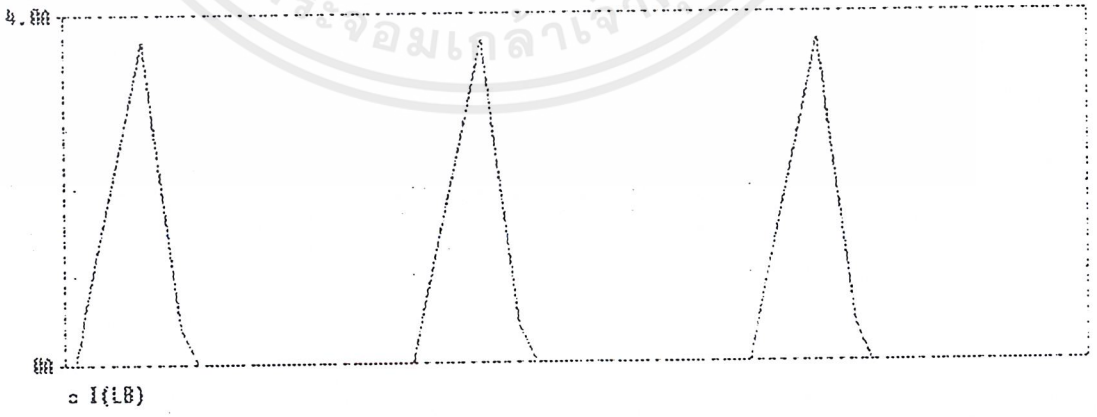
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) แรงดันไฟฟ้าคร่อมเกท-ซอร์ส

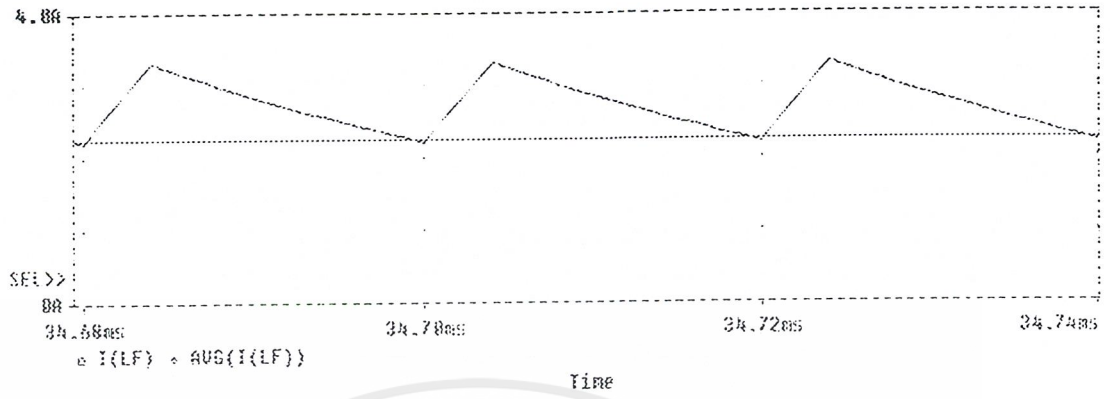


(b) แรงดันไฟฟ้าคร่อมเดรน-ซอร์ส

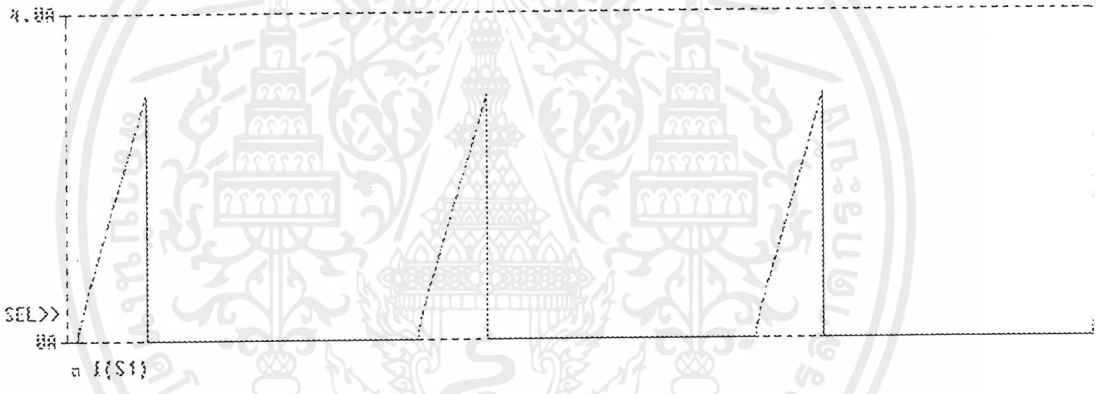


(c) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำบูสต์

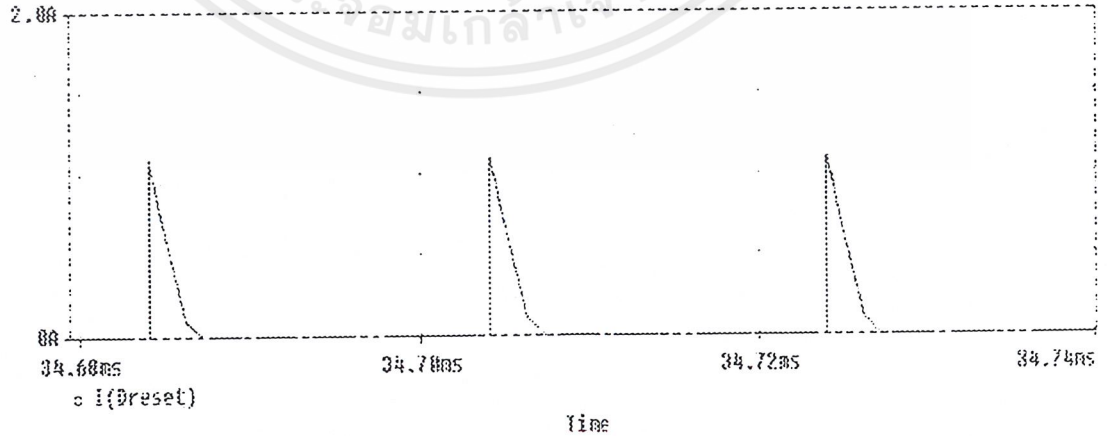
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(d) กระแสไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด



(e) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสวิตช์



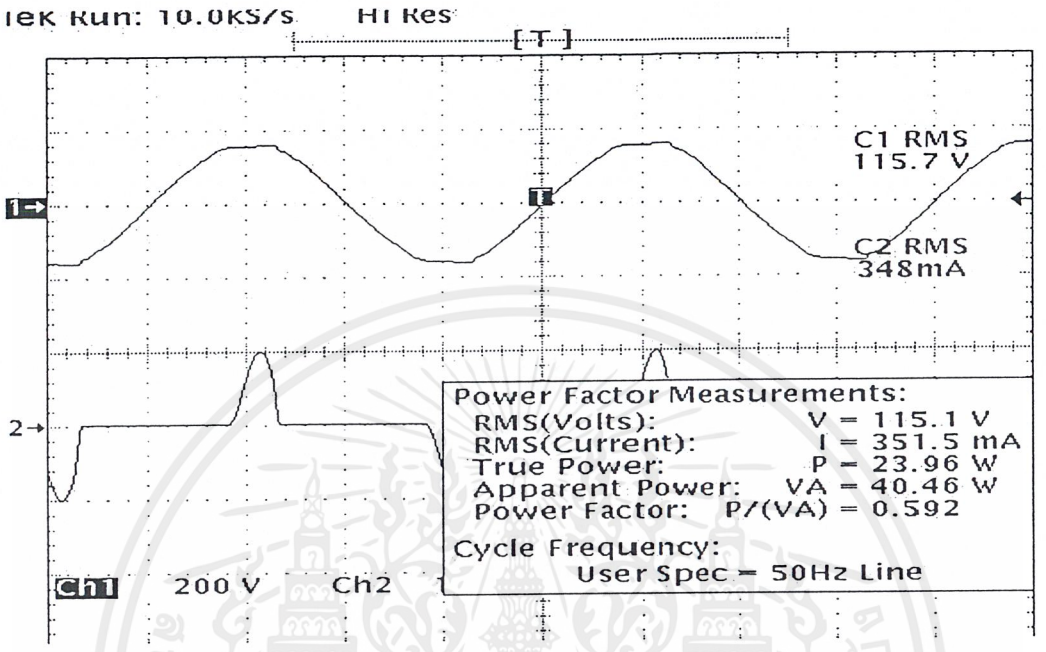
(f) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดรีเซต

รูปที่ 4.9 แสดงผลการเลียนแบบการทำงานของวงจร S[4]ICS โดยโปรแกรม PSPICE

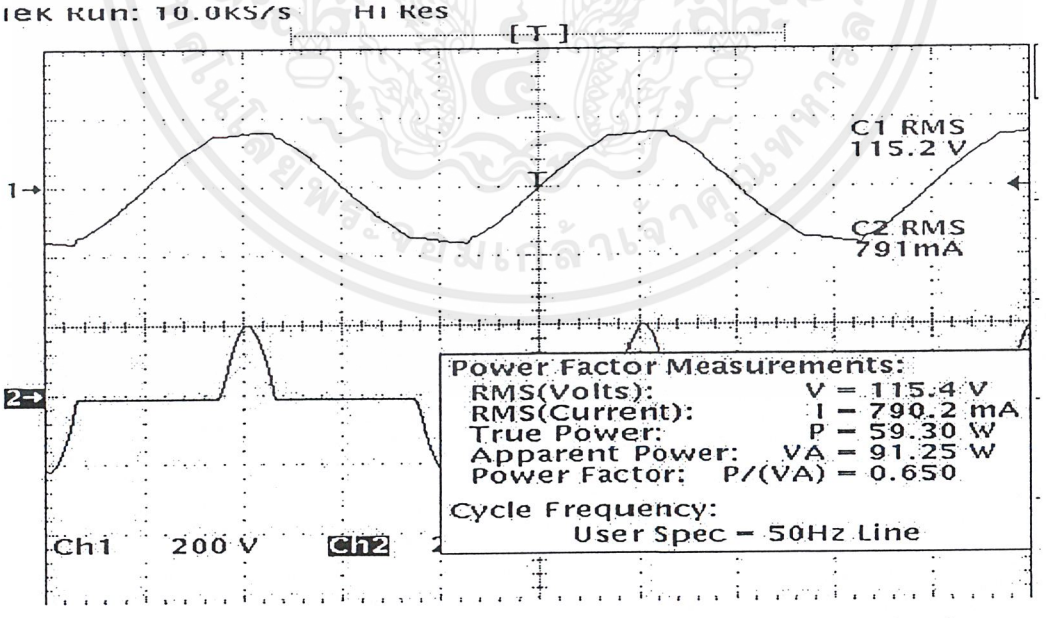
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลอง

วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

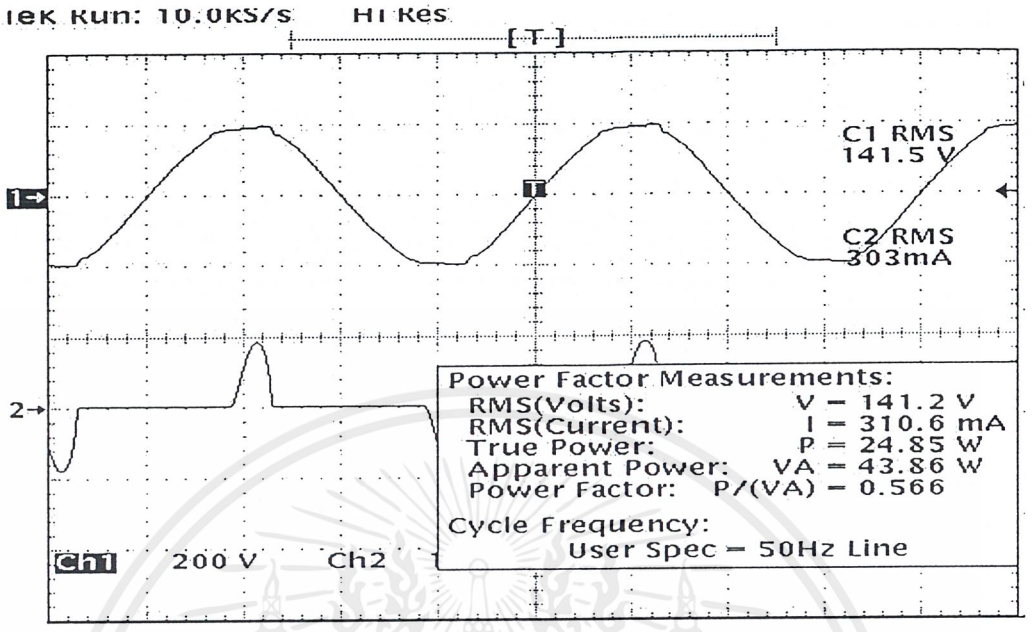


รูปที่ 4.10 แสดงค่าตัวประกอบกำลังของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์

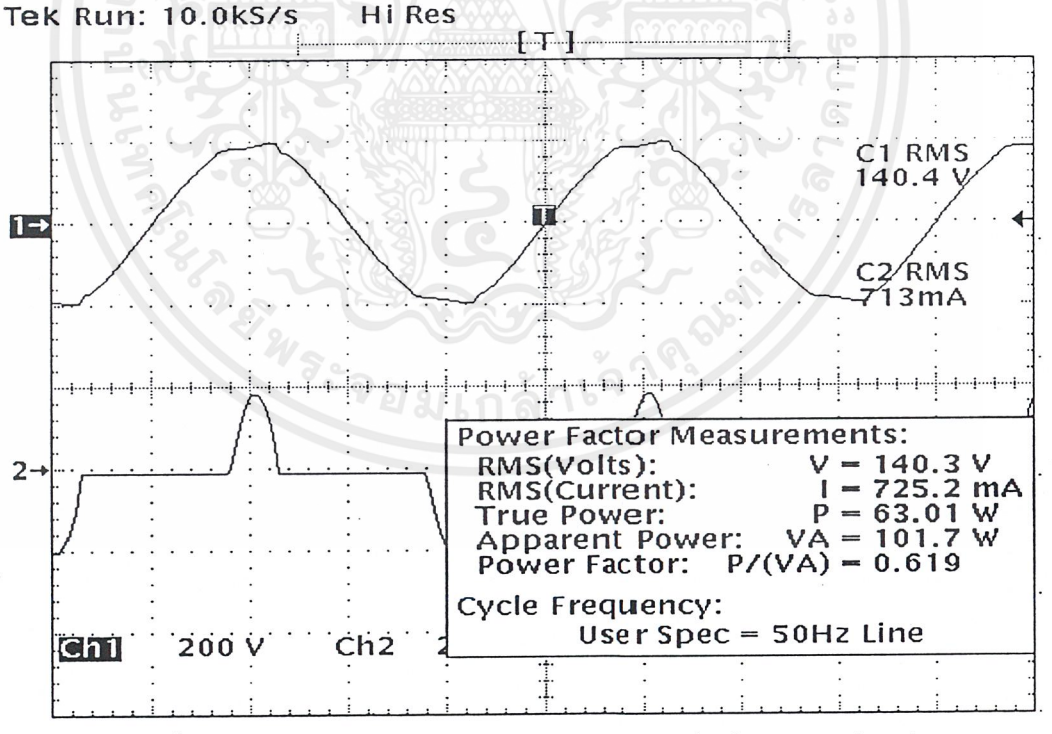


รูปที่ 4.11 แสดงค่าตัวประกอบกำลังของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



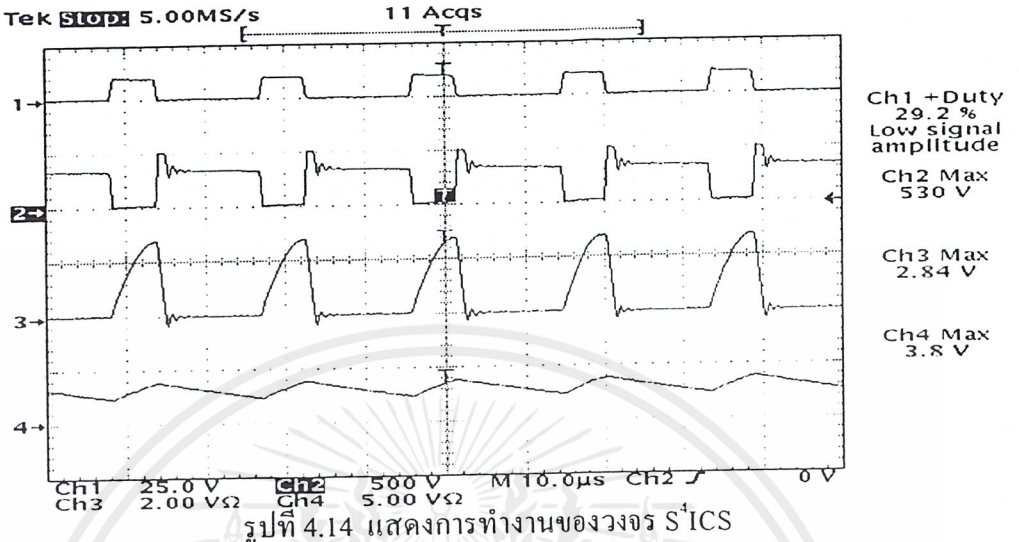
รูปที่ 4.12 แสดงค่าตัวประกอบกำลังของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์
ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์



รูปที่ 4.13 แสดงค่าตัวประกอบกำลังของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์
ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์

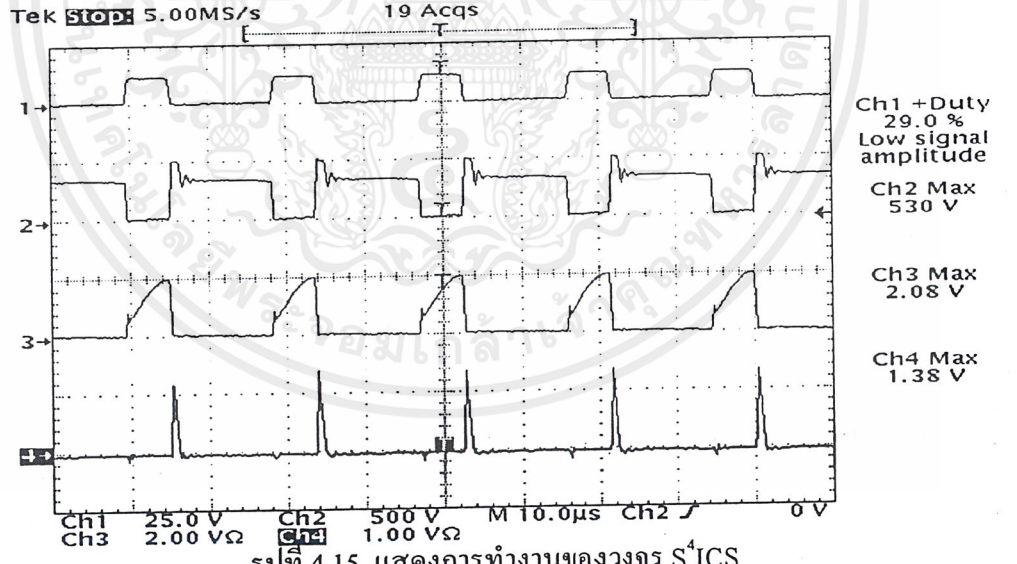
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage Single-Switch S^4ICS



รูปที่ 4.14 แสดงการทำงานของวงจร S^4ICS

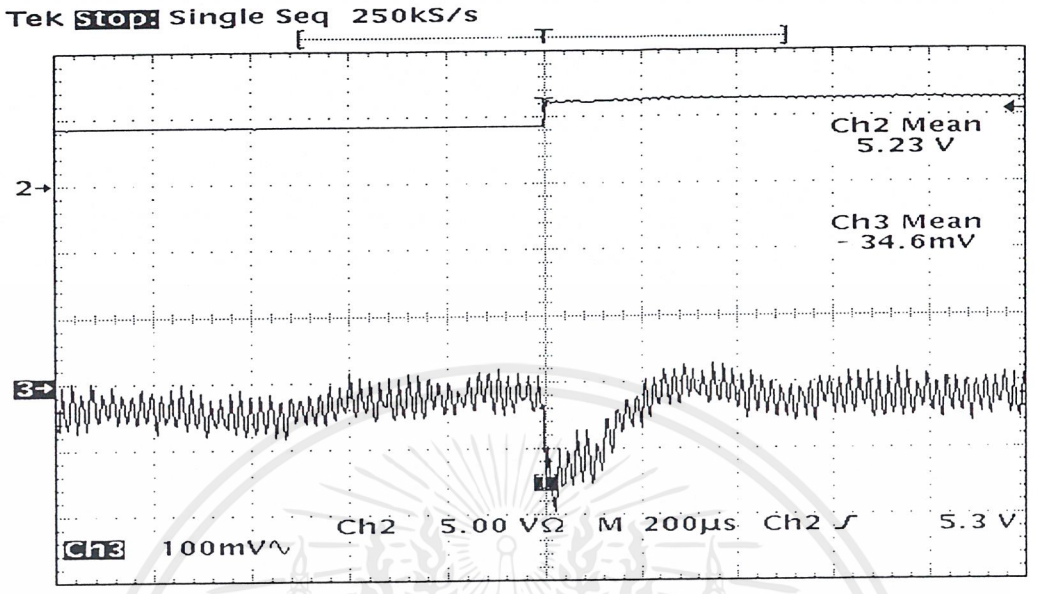
1) แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเกท-ซอร์สของมอสเฟต
2) แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเดรน-ซอร์ส
3) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำบูสต์
4) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำฟอร์เวิร์ด



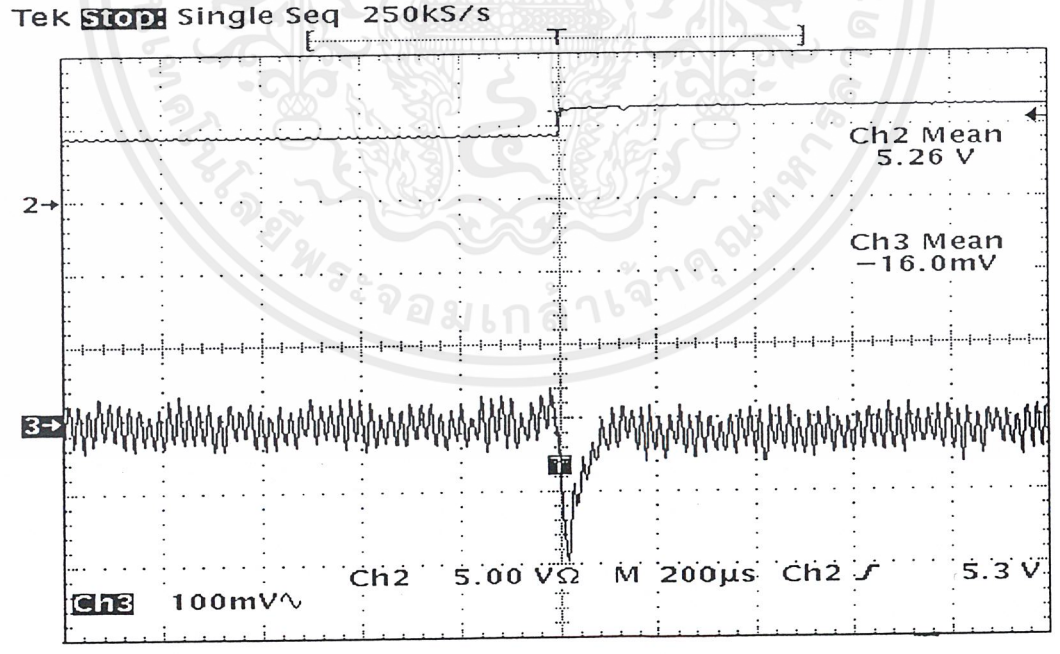
รูปที่ 4.15 แสดงการทำงานของวงจร S^4ICS

1) แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเกท-ซอร์สของมอสเฟต
2) แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเดรน-ซอร์ส
3) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสวิตช์
4) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดรีเซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

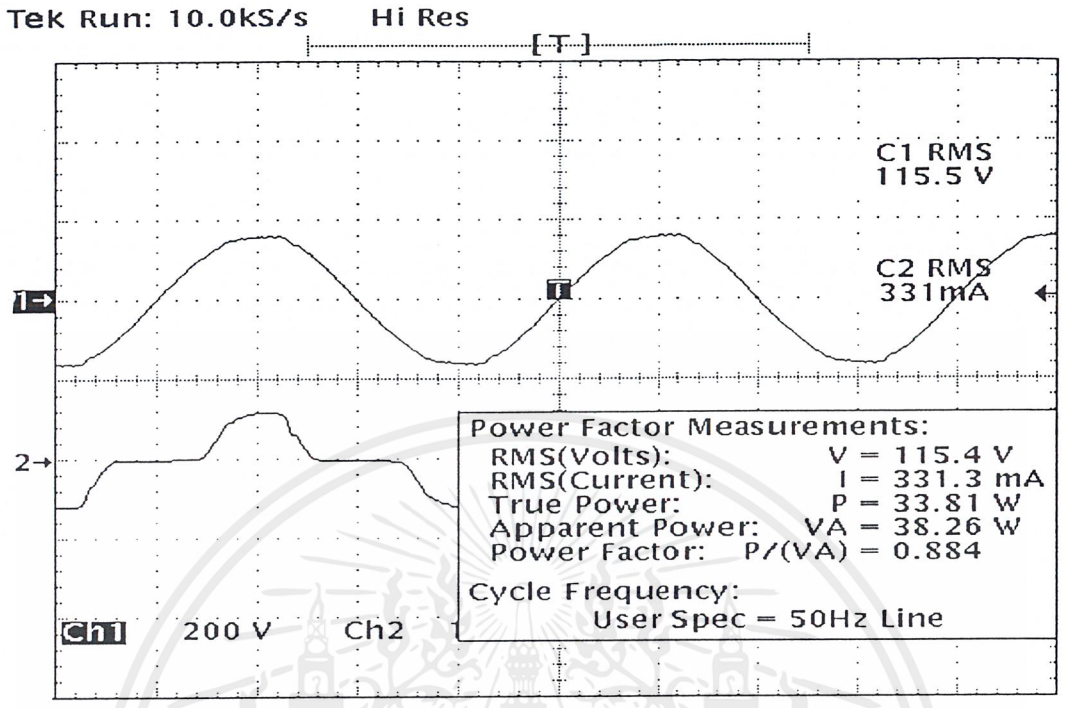


รูปที่ 4.16 ผลการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าตรงทางด้นออก(CH3:Coupling AC) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสไฟฟ้าตรงทางด้านออก (CH2) อย่างทันทีทันใด จาก 4 A เป็น 6 A ของวงจร S^{4}ICS ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์



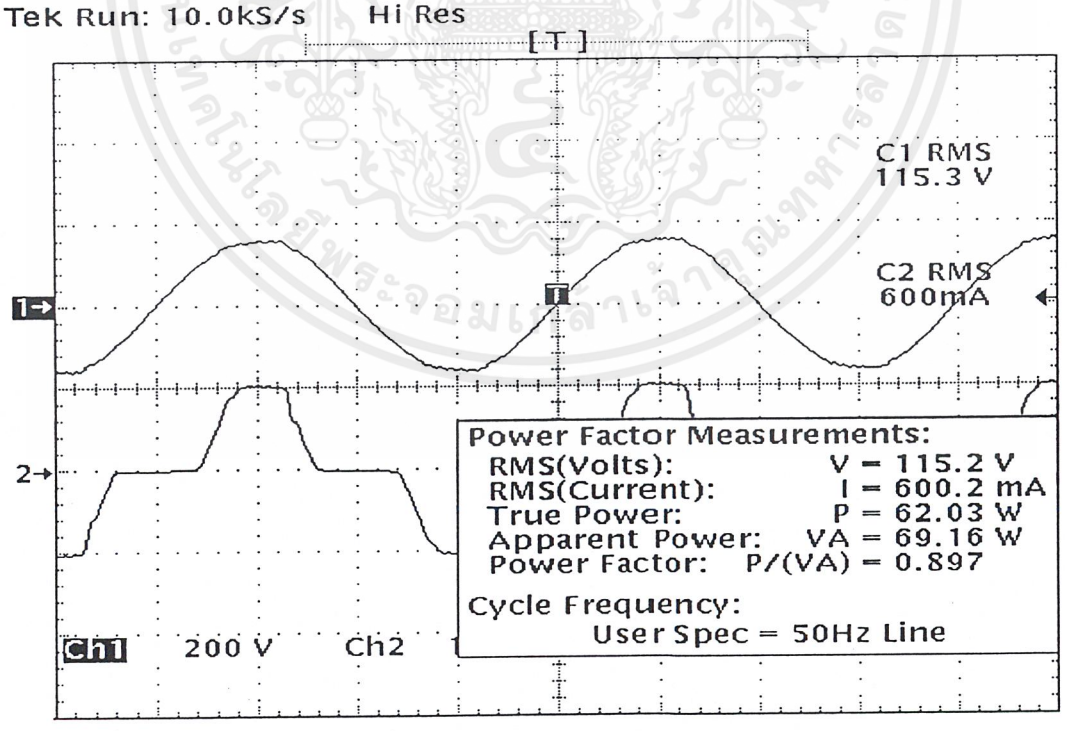
รูปที่ 4.17 ผลการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าตรงทางด้นออก(CH3:Coupling AC) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสไฟฟ้าตรงทางด้านออก (CH2) อย่างทันทีทันใด จาก 4 A เป็น 6 A ของวงจร S^{4}ICS ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงค่าตัวประกอบกำลังของวงจร S^{4}ICS

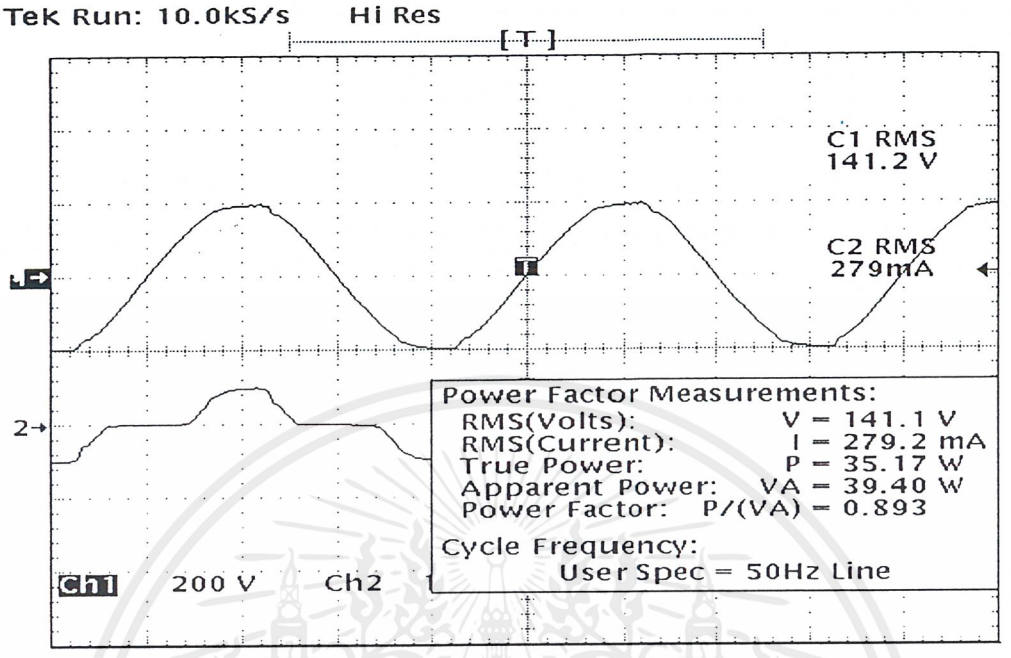
ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์



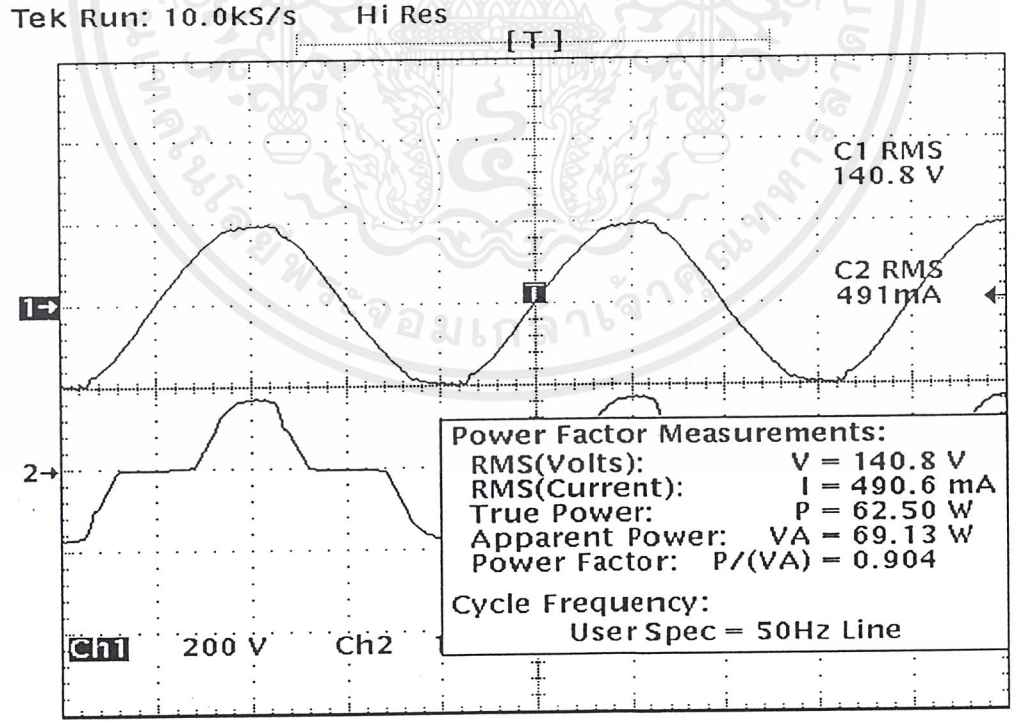
รูปที่ 4.19 แสดงค่าตัวประกอบกำลังของวงจร S^{4}ICS

ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงค่าตัวประกอบกำลังของวงจร S^4ICS
ในกรณี Light-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์



รูปที่ 4.21 แสดงค่าตัวประกอบกำลังของวงจร S^4ICS
ในกรณี Full-load ที่แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้าที่เปรียบเทียบกับมาตราฐานฮาร์มอนิก ของ IEC 1000-3-2 Class D

No. Har.	Means MA	Limit mA	Magin mA
1	543.25		
3	239.88	211.5	-28.38
5	20.18	117.49	97.31
7	64.57	61.66	-2.91
9	10.12	30.90	20.78
11	9.23	23.63	12.4
13	1.46	18.41	16.95
15	4.57	15.85	11.28
17	6.31	13.96	7.65
19	4.37	12.59	8.22

ตารางที่ 1 กระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้า กรณีแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 115 V_{rms} กำลังไฟฟ้าทางด้านเข้าเป็น 62 วัตต์ ความถี่ไฟฟ้าสลับเป็น 50 Hz

No. Har.	Means mA	Limit mA	Magin mA
1	113.1		
3	106.2	106.6	0.4
5	78.5	101.6	23.1
7	91.7	96.0	4.3
9	78.2	90.0	11.8
11	53.9	86.9	33.0
13	78.1	85.4	7.3
15	77.7	84.2	6.4
17	77.3	83.1	5.8
19	70.4	82.1	11.7

ตารางที่ 2 กระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้า กรณีแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเป็น 140 V_{rms} กำลังไฟฟ้าทางด้านเข้าเป็น 63 วัตต์ ความถี่ไฟฟ้าสลับเป็น 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_{in}	PF	THD	V_B	η(%)
90	0.902	38.01	163	66.16
115	0.897	46.73	212	65.30
140	0.904	45.43	261	64.83
150	0.910	45.64	276	64.51
160	0.912	44.61	291	64.08

ตารางที่ 3 ค่าตัวประกอบกำลังทางด้านเข้า ค่าTHD แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรบูสต์ และค่าประสิทธิภาพของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบSingle-Stage Single-Switch S^4ICS ในโมดกระแสไฟฟ้าไหลไม่ต่อเนื่อง ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้ามีค่าต่าง ๆ ($V_O = 5$ V / $I_O = 8$ A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage,Single-Switch S^4ICS มีข้อดีและข้อเสียหลายประการ ดังนี้คือ

ข้อดี

1. สามารถรวมวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังกับวงจรคอนเวอร์เตอร์ DC/DC เข้าด้วยกัน เป็นการลดจำนวนอุปกรณ์ ทั้งยังช่วยลดต้นทุนในการผลิต

2. สามารถปรับปรุงตัวประกอบกำลังได้

3.มีการใช้งานที่ยาวนานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าวิธีสวิตช์แบบสองภาค เนื่องจากมีจำนวนอุปกรณ์น้อยกว่าเป็นผลให้ความเสื่อมสภาพของอุปกรณ์มีน้อยกว่า

ข้อเสีย

1. แรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของตัวเหนี่ยวนำบูสต์มีค่าสูง

2. มีความไวต่อสัญญาณรบกวนมาก

5.2 สรุปผลการทดลอง

วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบ Single-Stage, Single-Switch S^4ICS ที่สร้างขึ้นคือการนำวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังและวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ DC/DC มารวมกันเป็นภาคเดียวด้วยสวิตช์ตัวเดียว ทำให้สามารถปรับปรุงตัวประกอบกำลังและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าตรงทางด้านออกให้คงที่ได้ที่แรงดันไฟฟ้าตรงทางออก 5 โวลต์และกระแสไฟฟ้าตรงทางออก 1-10 แอมแปร์ แต่วงจร S^4ICS ที่สร้างขึ้นนี้ยังมีความไวต่อสัญญาณรบกวนมากจึงทำให้สามารถทำงานอยู่ในช่วงแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าเพียง 80-160 โวลต์ เท่านั้น และยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตราฐาน IEC 1000-3-2 Class D

5.3 ปัญหาที่พบ

1.มีการศึกษาการทำงานของโปรแกรม PSPICE ไม่เพียงพอ เป็นผลให้วงจรที่ออกแบบแล้วนำมาทดลองด้วยโปรแกรม PSPICE กับการทดลองจริงให้ผลการทดลองไม่ตรงกัน

2.เทคนิคในการพันหม้อแปลงยังไม่ดีส่งผลให้เกิดความสูญเสียในหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.แรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของบูสต์มีค่าสูงทำให้วงจรที่ทดลองจริงไม่สามารถทำงานได้ถึงย่านแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าที่ออกแบบไว้

4.การออกแบบลายวงจรยังไม่ดีก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนในวงจร

5.การออกแบบระบบควบคุมโดยใช้โมดควบคุมกระแสไฟฟ้าจะมีความไวต่อสัญญาณรบกวนสูง

6.ความผิดเพี้ยนของฮาร์โมนิกในกระแสไฟฟ้าสลับทางด้านเข้ายังไม่ผ่านเกณฑ์มาตราฐาน IEC 1000-3-2 Class D

5.4 ข้อเสนอแนะ

1.ควรศึกษาเทคนิคต่าง ๆ ของ S^{1}ICS เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ให้ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นให้ลดลง เช่น การเปลี่ยนความถี่ในการสวิตช์ที่ Light-load จะทำให้แรงดันไฟฟ้าตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านออกของบูสต์มีค่าต่ำลงได้

2.ควรศึกษาเทคนิคในการพันหม้อแปลงให้ดี

3.ควรมีการออกแบบลายวงจรให้ดี

4.ควรศึกษาเทคนิคในการควบคุมระบบโดยออกแบบตัวชดเชยระบบให้ดียิ่งขึ้นและพยายามหลีกเลี่ยงโมดควบคุมกระแสไฟฟ้า โดยในปัจจุบันมีการพัฒนาไอซีรุ่นใหม่ๆ ให้มีความสามารถในการทำงานในโมดควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้ดีขึ้น จึงเป็นการดีที่จะนำมาใช้ในการควบคุมระบบแทนโมดควบคุมกระแสไฟฟ้าที่มีความไวต่อสัญญาณรบกวนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

โปรแกรม PSPICE

วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter.cir)

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า 115 โวลต์ และความต้านทาน 5 Ω

********** CIRCUIT DESCRIPTION **********

```
vs 1 0 sin(0 162.6 50)
Rs 1 2 0.1
Drec1 2 3 Dmod
Drec2 0 3 Dmod
Drec3 gdc 0 Dmod
Drec4 gdc 2 Dmod
CB 3 gdc 100u IC=0
Lpri 3 5 28.58m
Lreset 4 3 28.58m
Lsec 6 gdc 173u
K Lpri Lreset Lsec  {1-1p}
Dreset gdc 4 DMOD
S1 5 gdc 20 gdc SMOD
.MODEL SMOD VSWITCH (RON=1E-3 VON=0.01 VOFF=0 ROFF=10MEG)
DF 6 7 DMOD
DFW gdc 7 DMOD
.MODEL DMOD D(N=0.005 RS=1 CJO=1PF)
LF 7 8 52.94U
RESR 8 9 0.127
COUT  9 gdc 556u ;IC=0
RL 8 gdc 5
VG 20 gdc PULSE (0 1 5N 15N 15N 4U 20U)
RG 20 gdc 1K
```

********** COMMAND DESCRIPTION **********

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
.TRAN 1US 40mS 0 1US UIC
.OPTIONS ITL4=60 ITL5=0  RELTOL=0.01 LIMPTS=8000
.OPTIONS ABSTOL=1.5u VNTOL=1u
.PROBE
.END
```

วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter.cir)

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า 115 โวลต์ และความต้านทาน 0.5 Ω

```
********** CIRCUIT DESCRIPTION **********
vs 1 0 sin(0 162.6 50)
Rs 1 2 0.1
Drec1 2 3 Dmod
Drec2 0 3 Dmod
Drec3 gdc 0 Dmod
Drec4 gdc 2 Dmod
CB 3 gdc 100u IC=0
Lpri 3 5 28.58m
Lreset 4 3 28.58m
Lsec 6 gdc 173u
K Lpri Lreset Lsec  {1-1p}
Dreset gdc 4 DMOD
S1 5 gdc 20 gdc SMOD
.MODEL SMOD VSWITCH (RON=1E-3 VON=0.01 VOFF=0 ROFF=10MEG)
DF 6 7 DMOD
DFW gdc 7 DMOD
.MODEL DMOD D(N=0.005 RS=1 CJO=1PF)
LF 7 8 52.94U
RESR 8 9 0.127
COUT  9 gdc 556u ;IC=0
RL 8 gdc 0.5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VG 20 gdc PULSE (0 1 5N 15N 15N 4U 20U)

RG 20 gdc 1K

********** COMMAND DESCRIPTION **********

.TRAN 1US 40mS 0 1US UIC

.OPTIONS ITL4=60 ITL5=0 RELTOL=0.01 LIMPTS=8000

.OPTIONS ABSTOL=1.5u VNTOL=1u

.PROBE

.END

วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (**Forward Converter.cir**)

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า 140 โวลต์ และความต้านทาน 5 Ω

********** CIRCUIT DESCRIPTION **********

vs 1 0 sin(0 198 50)

Rs 1 2 0.1

Drec1 2 3 Dmod

Drec2 0 3 Dmod

Drec3 gdc 0 Dmod

Drec4 gdc 2 Dmod

CB 3 gdc 100u IC=0

Lpri 3 5 28.58m

Lreset 4 3 28.58m

Lsec 6 gdc 173u

K Lpri Lreset Lsec {1-1p}

Dreset gdc 4 DMOD

S1 5 gdc 20 gdc SMOD

.MODEL SMOD VSWITCH (RON=1E-3 VON=0.01 VOFF=0 ROFF=10MEG)

DF 6 7 DMOD

DFW gdc 7 DMOD

.MODEL DMOD D(N=0.005 RS=1 CJO=1PF)

LF 7 8 52.94U

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESR 8 9 0.127

COUT 9 gdc 556u ;IC=0

RL 8 gdc 5

VG 20 gdc PULSE (0 1 5N 15N 15N 4U 20U)

RG 20 gdc 1K

********** COMMAND DESCRIPTION **********

.TRAN 1US 40mS 0 1US UIC

.OPTIONS ITL4=60 ITL5=0 RELTOL=0.01 LIMPTS=8000

.OPTIONS ABSTOL=1.5u VNTOL=1u

.PROBE

.END

วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter.cir)

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า 140 โวลต์ และความต้านทาน 0.5 Ω

********** CIRCUIT DESCRIPTION **********

vs 1 0 sin(0 198 50)

Rs 1 2 0.1

Drec1 2 3 Dmod

Drec2 0 3 Dmod

Drec3 gdc 0 Dmod

Drec4 gdc 2 Dmod

CB 3 gdc 100u IC=0

Lpri 3 5 28.58m

Lreset 4 3 28.58m

Lsec 6 gdc 173u

K Lpri Lreset Lsec {1-1p}

Dreset gdc 4 DMOD

S1 5 gdc 20 gdc SMOD

.MODEL SMOD VSWITCH (RON=1E-3 VON=0.01 VOFF=0 ROFF=10MEG)

DF 6 7 DMOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DFW gdc 7 DMOD
.MODEL DMOD D(N=0.005 RS=1 CJO=1PF)
LF 7 8 52.94U
RESR 8 9 0.127
COUT  9 gdc 556u ;IC=0
RL 8 gdc 0.5
VG 20 gdc PULSE (0 1 5N 15N 15N 4U 20U)
RG 20 gdc 1K
```

********** COMMAND DESCRIPTION **********

```
.TRAN 1US 40mS 0 1US UIC
.OPTIONS ITL4=60 ITL5=0  RELTOL=0.01 LIMPTS=8000
.OPTIONS ABSTOL=1.5u VNTOL=1u
.PROBE
.END
```

Single-Stage Single-Switch Input Current Shapers (S^4ICS.cir)

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า 115 โวลต์ และความต้านทาน 5 Ω

********** CIRCUIT DESCRIPTION **********

```
vs 1 0 sin(0 162.6 50)
Rs 1 2 0.1
Drec1 2 3 Dmod
Drec2 0 3 Dmod
Drec3 gdc 0 Dmod
Drec4 gdc 2 Dmod
Cin 3 gdc 0.1u
LB 3 4 104u
L1 4 5 1.87m
L2 6 4 2.57m
D5 6 7 Dmod
D6 5 8 Dmod
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CB 7 gdc 100u IC=0
Lpri 7 8 9.54m
Lreset 9 7 9.54m
Lsec 10 gdc 56.45u
K Lpri Lreset Lsec L1 L2 {1-1p}
Dreset gdc 9 DMOD
S1 8 gdc 20 gdc SMOD
.MODEL SMOD VSWITCH (RON=1E-3 VON=0.01 VOFF=0 ROFF=10MEG)
DF 10 11 DMOD
DFW gdc 11 DMOD
.MODEL DMOD D(N=0.005 RS=1 CJO=1PF)
LF 11 12 52.94U
RESR 12 13 0.127
COUT  13 gdc 556u ;IC=0
RL 12 gdc 5
VG 20 gdc PULSE (0 1 5N 15N 15N 4U 20U)
RG 20 gdc 1K
```

********** COMMAND DESCRIPTION **********

```
.TRAN 1US 40mS 0 1US UIC
.OPTIONS ITL4=60 ITL5=0  RELTOL=0.01 LIMPTS=8000
.OPTIONS ABSTOL=1u VNTOL=1u
.PROBE
.END
```

Single-Stage Single-Switch Input Current Shapers (S^4ICS.cir)

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า 115 โวลต์ และความต้านทาน 0.5 Ω

********** CIRCUIT DESCRIPTION **********

```
vs 1 0 sin(0 162.6 50)
Rs 1 2 0.1
Drec1 2 3 Dmod
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Drec2 0 3 Dmod
Drec3 gdc 0 Dmod
Drec4 gdc 2 Dmod
Cin 3 gdc 0.1u
LB 3 4 104u
L1 4 5 1.87m
L2 6 4 2.57m
D5 6 7 Dmod
D6 5 8 Dmod
CB 7 gdc 100u IC=0
Lpri 7 8 9.54m
Lreset 9 7 9.54m
Lsec 10 gdc 56.45u
K Lpri Lreset Lsec L1 L2 {1-1p}
Dreset gdc 9 DMOD
S1 8 gdc 20 gdc SMOD
.MODEL SMOD VSWITCH (RON=1E-3 VON=0.01 VOFF=0 ROFF=10MEG)
DF 10 11 DMOD
DFW gdc 11 DMOD
.MODEL DMOD D(N=0.005 RS=1 CJO=1PF)
LF 11 12 52.94U
RESR 12 13 0.127
COUT  13 gdc 556u ;IC=0
RL 12 gdc 0.5
VG 20 gdc PULSE (0 1 5N 15N 15N 4U 20U)
RG 20 gdc 1K
********** COMMAND DESCRIPTION **********
.TRAN 1US 40mS 0 1US UIC
.OPTIONS ITL4=60 ITL5=0  RELTOL=0.01 LIMPTS=8000
.OPTIONS ABSTOL=1u VNTOL=1u
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.PROBE

.END

Single-Stage Single-Switch Input Current Shapers (S^4ICS.cir)

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า 140 โวลต์ และความต้านทาน 5 Ω

********** CIRCUIT DESCRIPTION **********

vs 1 0 sin(0 198 50)

Rs 1 2 0.1

Drec1 2 3 Dmod

Drec2 0 3 Dmod

Drec3 gdc 0 Dmod

Drec4 gdc 2 Dmod

Cin 3 gdc 0.1u

LB 3 4 104u

L1 4 5 1.87m

L2 6 4 2.57m

D5 6 7 Dmod

D6 5 8 Dmod

CB 7 gdc 100u IC=0

Lpri 7 8 9.54m

Lreset 9 7 9.54m

Lsec 10 gdc 56.45u

K Lpri Lreset Lsec L1 L2 {1-1p}

Dreset gdc 9 DMOD

S1 8 gdc 20 gdc SMOD

.MODEL SMOD VSWITCH (RON=1E-3 VON=0.01 VOFF=0 ROFF=10MEG)

DF 10 11 DMOD

DFW gdc 11 DMOD

.MODEL DMOD D(N=0.005 RS=1 CJO=1PF)

LF 11 12 52.94U

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESR 12 13 0.127

COUT 13 gdc 556u ;IC=0

RL 12 gdc 5

VG 20 gdc PULSE (0 1 5N 15N 15N 4U 20U)

RG 20 gdc 1K

********** COMMAND DESCRIPTION **********

.TRAN 1US 40mS 0 1US UIC

.OPTIONS ITL4=60 ITL5=0 RELTOL=0.01 LIMPTS=8000

.OPTIONS ABSTOL=1u VNTOL=1u

.PROBE

.END

Single-Stage Single-Switch Input Current Shapers (S^4ICS.cir)

แรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้า 140 โวลต์ และความต้านทาน 0.5 Ω

********** CIRCUIT DESCRIPTION **********

vs 1 0 sin(0 198 50)

Rs 1 2 0.1

Drec1 2 3 Dmod

Drec2 0 3 Dmod

Drec3 gdc 0 Dmod

Drec4 gdc 2 Dmod

Cin 3 gdc 0.1u

LB 3 4 104u

L1 4 5 1.87m

L2 6 4 2.57m

D5 6 7 Dmod

D6 5 8 Dmod

CB 7 gdc 100u IC=0

Lpri 7 8 9.54m

Lreset 9 7 9.54m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Lsec 10 gdc 56.45u
K Lpri Lreset Lsec L1 L2 {1-1p}
Dreset gdc 9 DMOD
S1 8 gdc 20 gdc SMOD
.MODEL SMOD VSWITCH (RON=1E-3 VON=0.01 VOFF=0 ROFF=10MEG)
DF 10 11 DMOD
DFW gdc 11 DMOD
.MODEL DMOD D(N=0.005 RS=1 CJO=1PF)
LF 11 12 52.94U
RESR 12 13 0.127
COUT  13 gdc 556u ;IC=0
RL 12 gdc 0.5
VG 20 gdc PULSE (0 1 5N 15N 15N 4U 20U)
RG 20 gdc 1K
*************** COMMAND DESCRIPTION ****************
.TRAN 1US 40mS 0 1US UIC
.OPTIONS ITL4=60 ITL5=0  RELTOL=0.01 LIMPTS=8000
.OPTIONS ABSTOL=1u VNTOL=1u
.PROBE
.END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม MATLAB

กรณี Light-load

```
%Control-to-Output(uncompensated):
k=10; a=[8.08e-5 1]; b=[2.43e-3 1];
w=logspace(1,6);
[c,d]=bode(k*a,b,w);
subplot(2,1,1);semilogx(w,20*log10(c),'b');hold on;grid;
subplot(2,1,2);semilogx(w,d,'b');hold on;grid;
%Error Amp:
r=4.76e-5;
x1=[4.7e-5 1];
y1=[6.7e-7 1 0];
[x,y]=bode(x1,r*y1,w);
subplot(2,1,1);semilogx(w,20*log10(x),'*');hold on;grid;
subplot(2,1,2);semilogx(w,y,'*');hold on;grid;
%total(Compensated):
subplot(2,1,1);semilogx(w,20*log10(c)+20*log10(x),'o');grid;
subplot(2,1,2);semilogx(w,d+y,'o');grid;
```

กรณี Full-load

```
%Control-to-Output(uncompensated):
k=1; a=[8.08e-5 1]; b=[3.16e-4 1];
w=logspace(1,6);
[c,d]=bode(k*a,b,w);
subplot(2,1,1);semilogx(w,20*log10(c),'b');hold on;grid;
subplot(2,1,2);semilogx(w,d,'b');hold on;grid;
%Error Amp:
r=4.76e-5;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
x1=[4.7e-5 1];
y1=[6.7e-7 1 0];
[x,y]=bode(x1,r*y1,w);
subplot(2,1,1);semilogx(w,20*log10(x),'*');hold on;grid;
subplot(2,1,2);semilogx(w,y,'*');hold on;grid;
%total(Compensated):
subplot(2,1,1);semilogx(w,20*log10(c)+20*log10(x),'o');grid;
subplot(2,1,2);semilogx(w,d+y,'o');grid;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงงานนี้มีหลายครั้งหลายคราวที่ประสบปัญหาต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นในส่วนทฤษฎี หรือส่วนปฏิบัติ แต่ปัญหาเหล่านี้ก็ได้รับการแก้ไขโดยความช่วยเหลือจากหลายๆบุคคล ดังมีรายนามต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร.ชนินทร์ บุญลักษณา-นุสรณ์ ซึ่งคอยให้คำแนะนำและให้แนวคิดต่าง ๆ ทั้งที่เกี่ยวกับการทำโครงงานและการดำเนินชีวิตในอนาคต , ขอขอบคุณ พี่เป้ นักศึกษาปริญญาโท ที่คอยให้ความช่วยเหลือนานัปการกับน้อง ๆ ทั้งในด้านความรู้ ทำให้สามารถทำโครงงานดีๆ ได้ อีกทั้งยังเป็นแหล่งทรัพยากรที่สำคัญยามน้อง ๆ ขาดแคลนอุปกรณ์

และท้ายนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆ และบุคคลต่างๆอีกหลายท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจจนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และทำให้รู้ว่าโครงงานนี้มีความยิ่งใหญ่เพียงใด

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. L. Huber and M.M. Jovanovic, "Single-Stage Single-Switch Input-Current-Shaping Technique with Fast-Output regulation" , IEEE Applied Power Electronics Conference (APEC) Proc., Vol. 13, No.3, 1998, pp. 272-280,
2. M. Madigan, R. Erickson and E. Ismail, "Integrated high-quality rectifier-regulators", IEEE Power Electronics Specialists Conf. (PESC) Rec., 1992, pp. 1043-1051
3. R. Redl and L. Balogh, "Design Considerations for single-stage isolated power-factor-corrected power supplies with fast regulation of the output voltage", in Proc.IEEE Applied Power Electronics Conf.(INTELEC), 1995, pp. 454-458.
4. M.M. Jovanovic,D.M.C. Tsang, and F.C.Lee, "Reduction of voltage stress in integrated high-quality rectifier-regulators by variable-frequency control", in Proc. IEEE Applied Power Electrolnics Conf.(APEC), 1994, pp. 569-575.
5. R.D.Middlebrook and Sloboden Cuk, "A General Unified Approach to Modeling Switching-Converter Power Stage",in IEEE Power Electron. Specialist Conf.(PESC) Rec., 1976, pp. 18-34.
6. R. Redl and L. Balogh and N.O.Sokal, "New Family of single-stage isolated power-factor correctors with fast regulation of the output voltage", in IEEE, 1994, pp. 1137-1144.
7. L. Huber and M.M.Jovanovic, "Design optimization of single-stage single-switch input-current shapers", in IEEE Power Electronics, Vol. 15 ,No.1, 2000, pp. 174-184.
8. M. K. Nalbant, "Power factor calculations and measurements", in IEEE, 1990, pp. 543-552.
9. K.H.Liu and Y.L.Lin,"Current waveform distortion in power factor correction circuits enploying discontinuous-mode boost converters",in IEEE, 1989, pp. 825-829.
10. Daniel W.Hart, Introduction to Power Electronics, Prentice-Hall International,Inc, 1997
11. Abraham I. Pressman, Switching Power Supply Design , McGraw-Hill,Inc, 1991
12. L.Umanand and S.R. Bhat, Design of Magnetic Components for Switched Mode Power Converters, Wiley Eastern Limited, 1992.
13. H.W. Whittington, B.W. Flynn and D.E.Macpherson, Switched Mode Power Supplies:Design

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and Construction, 1992.

14. Marty Brown, Power Supply Cookbook, Butterworth-Heinemann, 1994



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้