ประสิทธิภาพและการลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นกระแสตรงเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Performance and Reduction of Electromagnetic Interference of DC-DC Converter Connected to Photovoltaic Panel

โดย

นฤนันท์ เอกสินิทธ์กุล

ปณพงศ์ ส่งสุขถวัลย์

ปริวัฒน์ เหลื่อมสีจันทร์

ปรีชพล เล่าชู

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ประสิทธิภาพและการลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นกระแสตรงเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Performance and Reduction of Electromagnetic Interference of DC-DC Converter Connected to Photovoltaic Panel

โดย

นฤนันท์ เอกสินิทธ์กุล

ปณพงศ์ ส่งสุขถวัลย์

ปริวัฒน์ เหลื่อมสีจันทร์

ปรีชพล เล่าชู

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตรมหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance and Reduction of Electromagnetic Interference of DC-DC Converter Connected to Photovoltaic Panel

NARUNAN EAKSINITKUL

PANAPONG SONGSUKTHAWAN

PARIWAT LEUMSRIJUN

PRECHAPOL LAOCHU

THIS PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE

REQUIREMENT THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUETE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษาที่ 2556

ประสิทธิภาพและการลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นกระแสตรงเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Performance and Reduction of Electromagnetic Interference of DC-DC Converter Connected to Photovoltaic Panel

โดย

นฤนันท์ เอกสินิทธ์กุล

ปณพงศ์ ส่งสุขถวัลย์

ปริวัฒน์ เหลื่อมสีจันทร์

ปรีชพล เล่าชู

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ประสิทธิภาพและการลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นกระแสตรงเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

1. นาย นฤนันท์ เอกสินิทธ์กุล
2. นาย ปณพงศ์ ส่งสุขถวัลย์
3. นาย ปริวัฒน์ เหลื่อมสีจันทร์
4. นาย ปรีชพล เล่าชู

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพและการลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นกระแสตรงเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

นาย นฤนันท์ เอกสินิทธ์กุล
นาย ปณพงศ์ ส่งสุขถวัลย์
นาย ปริวัฒน์ เหลื่อมสีจันทร์
นาย ปรีชพล เล่าชู
ผศ.ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาและออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นกระแสตรง (Boost Converter) เชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยใช้วงจรควบคุมป้อนกลับแบบลบเพื่อปรับค่าดิวตี้ไซเคิลจากสัญญาณ PWM ที่สร้างจากไมโครคอนโทรเลอร์รุ่น 16F877 เพื่อจ่ายโหลดทางไฟฟ้า และออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นกระแสตรงตามหลักการของความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC) และวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อลดทอนสัญญาณสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ชิ่งภายในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นกระแสตรง เพื่อให้ค่าระดับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับที่สอดคล้องตามมาตรฐาน EN55022 Class B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance and Reduction of Electromagnetic Interference of DC-DC Converter Connected to Photovoltaic Panel

Mr.Narunan Eaksinitkul
Mr.Panapong Songsukthawan
Mr.Pariwat Leumsrisrijun
Mr.Prechapol Laochu
Asst.Prof.Dr.Chaiyan Jettanasen Advisor
2013

ABSTRACT

This thesis presents a study and design of DC-DC converter (boost converter) connected to photovoltaic panel for achieving high performance. The control of the input and output voltage from converter circuit is based on a negative feedback control to adjust the duty cycle of PWM signal created by 16F877 microcontroller and fed to electrical load. Electromagnetic compatibility (EMC) is taken into account for converter design. EMI filter is also carried out and inserted in the system in order to attenuate the electromagnetic noise generated by the switching devices of the converter. The level of reduced EMI is finally conformed to the applied EMC standard, which is herein EN 55022 Class B.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จสิ้นได้ด้วยดีหากไม่ได้รับความร่วมมือและความช่วยเหลือจากหลายๆฝ่ายและความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์การทดลองรวมไปถึงให้คำปรึกษาเมื่อเกิดข้อบกพร่องต่างๆในการทำการทดลองและเอกสารการทำปริญญานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่เสมอ ทำให้โครงงานและปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำมีความซาบซึ้งในความกรุณาและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) และคุณเอนก มีมูซอ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ทดสอบวงจรที่คณะผู้จัดทำออกแบบขึ้นมาเพื่อร่วมนำเสนอโครงงานจึงทำให้ได้ผลการทดลองตามมาตรฐานเพื่อนำมาอ้างอิงในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมคณะทำโครงงานทุกคนที่คอยให้ความร่วมมือ ให้กำลังใจและร่วมกันแก้ไขปัญหาและผ่านอุปสรรคในการทำงานต่างๆจนโครงงานนี้เสร็จสิ้นด้วยดี

ท้ายสุดขอขอบพระคุณบิดา มารดาของคณะผู้จัดทำที่ได้ให้การสนับสนุน ให้โอกาสผู้จัดทำได้เล่าเรียนจนถึงทุกวันนี้และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด จนทำให้โครงงานและปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ I

ABSTRACT II

กิติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญ (ต่อ) V

สารบัญ (ต่อ) VI

สารบัญ (ต่อ) VII

สารบัญรูป VIII

สารบัญรูป (ต่อ) IX

สารบัญรูป (ต่อ) X

สารบัญรูป (ต่อ) XI

สารบัญตาราง XII

บทที่1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน 3

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน 3

1.5 แผนการดำเนินงาน 4

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (SOLAR CELL) 5

2.1.1 ตัวแปรที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 6

2.1.2 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ 8

2.1.3 ข้อจำกัดบางประการของการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 10

2.1.4 ข้อควรระวัง 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.1.5 การดูแลรักษา 12

2.2 สัญญาณรบกวนและความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า 12

2.2.1 นิยามและความหมายของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า 12

2.2.2 หน่วยที่ใช้กับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC Units) [4] 15

2.2.3 มาตรฐานสำหรับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า 16

2.2.3.1 กฎระเบียบของ FCC (FCC REGULATIONS) 16

2.2.3.2 CISPR 17

2.2.3.3 มาตรฐานทางการทหาร (Military Standards) 17

2.2.3.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 18

2.2.3.5 มาตรฐาน EN 55022 Information technology equipment (ITE) 20

2.2.4 ช่วงความถี่ของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า 21

2.2.5 เส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า 23

2.2.6 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำในโหมดผลร่วม (Common mode Interference: CM) 24

2.2.7 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำในโหมดผลต่าง (Differential mode Interference: DM) 25

2.2.8 การวัดค่าแรงดันของสัญญาณรบกวน 25

2.2.9 สาเหตุของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า 26

2.2.9.1 สัญญาณรบกวนจากการเปลี่ยนแปลงสถานะการทำงานของอุปกรณ์อย่างทันทีทันใด 27

2.2.9.2 สัญญาณรบกวนจากการเรโซแนนซ์ของอุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบภายในวงจร 28

2.2.9.3 สัญญาณรบกวนจากผลของการออกแบบลายวงจร 34

2.2.10 แนวทางในการลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า [5] 35

2.2.10.1 การลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ 36

2.2.10.2 การลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ 37

2.3 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ [1] 38

2.3.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ 39

2.3.2 หลักการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ 39

2.3.2.1 ขณะสวิตช์นำกระแส 39

2.3.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ 44

2.3.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าขาออก 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 การจำลองการทำงานและการเกิดสัญญาณรบกวนในวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ 47

3.1 การจำลองการทำงานของวงจรรักษาระดับแรงดันขาออกของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม PROTEUS 48

3.2 การจำลองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม PSIM 49

3.3 ผลการจำลองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ 50

3.3.1 ผลการจำลองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในโหมดผลต่าง (Differential Mode) 50

3.3.2 ผลการจำลองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในโหมดผลร่วม(Common Mode) 52

บทที่ 4 ผลการทดลองจริง 55

4.1 การทดลอง 55

4.1.1 ส่วนการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อประสิทธิภาพของวงจร 56

4.1.1.1 รูปคลื่นสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 57

4.1.1.2 รูปคลื่นสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าโหลด 59

4.1.2 ส่วนของการลดทอนสัญญาณรบกวน 60

4.1.2.1 ผลการวัดระดับสัญญาณรบกวนก่อนใส่ฟิลเตอร์ 60

4.1.2.2 ออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง 62

4.1.2.3 ผลการวัดระดับสัญญาณรบกวนเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน 63

4.1.3 รูปถ่ายวงจรที่ออกแบบและใช้ในการทดลอง 65

4.2 สรุปผลการทดลอง 69

4.2.1 สรุปผลการทดลองในส่วนของประสิทธิภาพและการรักษาระดับแรงดัน 69

4.2.2 สรุปผลเรื่องการลดทอนสัญญาณรบกวน 69

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 70

5.1 สรุปผลของโครงงาน 70

5.2 ข้อเสนอแนะ 71

ภาคผนวก 72

ภาคผนวก ก รายละเอียดอุปกรณ์ 73

ภาคผนวก ข มาตราฐาน EN55022 97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ค โปรแกรมเพื่อการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้วย PIC16F877 102

ภาคผนวก ง อุปกรณ์และวิธีการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านทางสายตัวนำ 106

ภาคผนวก จ บทความวิชาการ 114

เอกสารอ้างอิง 119

ประวัติผู้เขียน 121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าเทียบกับความเข้มของแสง....5

รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิ....6

รูปที่ 2.3 กราฟลักษณะคุณสมบัติของกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์....6

รูปที่ 2.4 กราฟแสดงคุณสมบัติของกระแส-แรงดันที่อุณหภูมิ....7

รูปที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิ....8

รูปที่ 2.6 การต่อเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาดแรงดันและกระแสตามต้องการแบบขนานและอนุกรม....9

รูปที่ 2.7 บล็อกกิ้งไดโอด....10

รูปที่ 2.8 การต่อบายพาสไดโอดและการทำงาน....10

รูปที่ 2.9 การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า....13

รูปที่ 2.10 มาตรฐาน EN 55022 class a และclass b....20

รูปที่ 2.11 ขีดจำกัดการกระจายทางอากาศตามมาตรฐาน CISPR และ FCC....21

รูปที่ 2.12 ช่วงความถี่ของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า....22

รูปที่ 2.13 รูปแบบการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า....23

รูปที่ 2.14 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วม....24

รูปที่ 2.15 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง....25

รูปที่ 2.16 วงจรไฟฟ้า 1 เฟส....26

รูปที่ 2.17 ลักษณะการเกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า....27

รูปที่ 2.18 คลื่นที่เกิดการแกว่งของสัญญาณในโดนเมนเวลาและโดเมนความถี่....28

รูปที่ 2.19 อิมพิแดนซ์ของอุปกรณ์ในอุดมคติ....29

รูปที่ 2.20 แบบจำลองตัวต้านทาน....30

รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพิแดนซ์ของตัวต้านทานกับความถี่....31

รูปที่ 2.22 แบบจำลองตัวเหนี่ยวนำ....31

รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพิแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำกับความถี่....32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 2.24 แบบจำลองตัวเหนี่ยวนำ 32

รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพิแดนซ์ของตัวเก็บประจุกับความถี่ 33

รูปที่ 2.26 การเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนระหว่างการออกแบบลายวงจร 35

รูปที่ 2.27 วงจรสมมูลของวงจรกรองความถี่สูงและ 36

รูปที่ 2.28 วงจรกรองความถี่สูงแบบที (T type) 37

รูปที่ 2.29 วงจรกรองความถี่สูงแบบพาย (Pi type) 37

รูปที่ 2.30 การ Shielding 38

รูปที่ 2.31 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ 38

รูปที่ 2.32 วงจรสมมูลเมื่อสวิตซ์นำกระแส 39

รูปที่ 2.33 วงจรสมมูลเมื่อสวิตซ์ไม่นำกระแส 40

รูปที่ 3.1 แบบจำลองการรักษาระดับแรงดันขาออกของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

เมื่อเปลี่ยนแปลงโหลด 48

รูปที่ 3.2 ผลการจำลองการรักษาระดับแรงดันขาออกของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ 49

เมื่อเปลี่ยนแปลงโหลดตั้งแต่ 100 Ω ถึง 1000 Ω 49

รูปที่ 3.3 โครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (LISN) 49

รูปที่ 3.4 แบบจำลองบูสคอนเวอร์เตอร์พร้อม LISN 50

รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหมดผลต่างในโดเมนเวลา(Time Domain) 51

รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหมดผลต่างในโดเมนเวลา(Time Domain)เมื่อวงจรทบระดับ

แรงดันกระแสตรงเข้าสู่สภาวะคงตัว 51

รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหมดผลต่างในโดเมนความถี่(Frequency Domain)และ 52

เส้นมาตรฐาน EN 55022 52

รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหมดผลร่วมในโดเมนเวลา(Time Domain) 53

รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหมดผลร่วมในโดเมนเวลา(Time Domain)เมื่อเข้าสู่สภาวะอยู่

ตัว 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหมดผลร่วมในโดเมนความถี่(Frequency Domain)และเส้นมาตรฐาน EN 5502 54
รูปที่ 4.1 การควบคุมป้อนกลับแบบลบเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาออก 55
รูปที่ 4.2 การควบคุมป้อนกลับแบบลบเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 56
รูปที่ 4.3 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าขาออกเมื่อไม่ใส่วงจรฟิลเตอร์ 56
รูปที่ 4.4 สัญญาณ PWM เมื่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 9 โวลต์ ที่โหลด 50 โอมห์ 57
รูปที่ 4.5 สัญญาณ PWM เมื่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 12 โวลต์ ที่โหลด 50 โอมห์ 58
รูปที่ 4.6 สัญญาณ PWM เมื่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 19.8 โวลต์ ที่โหลด 50 โอมห์ 58
รูปที่ 4.7 สัญญาณ PWM เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเป็น 20 โอมห์ ที่แรงดันขาเข้า 12 โวลต์ 59
รูปที่ 4.8 สัญญาณ PWM เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเป็น 33.33 โอมห์ ที่แรงดันขาเข้า 12 โวลต์..... 59
รูปที่ 4.9 สัญญาณ PWM เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเป็น 50 โอมห์ ที่แรงดันขาเข้า 12 โวลต์ 60
รูปที่ 4.10 ข้อมูลผลการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายไลน์ 60
รูปที่ 4.11 ข้อมูลผลการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายนิวทรัล 61
รูปที่ 4.12 กราฟการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายไลน์ 61
รูปที่ 4.13 กราฟการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายนิวทรัล 62
รูปที่ 4.14 วงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง (Low Pass EMI filter)........ 63
รูปที่ 4.15 ข้อมูลผลการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายไลน์และสายนิวทรัล 63
รูปที่ 4.16 กราฟการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายไลน์และสายนิวทรัล 64
รูปที่ 4.17 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรง-กระแสตรงและวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า 65
รูปที่ 4.18 วงจรกรองสัญญาณรบกวนความถี่สูง 65
รูปที่ 4.19 การทดลองจับสัญญาณ PWM เมื่อเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟขาเข้าและโหลด 66
รูปที่ 4.20 การทดลองวัดประสิทธิภาพของวงจร 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.21 การทดลองวัดระดับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำที่ PTEC.............. 67

รูปที่ 4.22 การแสดงผลของระดับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ........................ 67

รูปที่ 4.23 ทดลองวงจรเชื่อมต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์.. 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน..4

ตารางที่ 2.1 ความหมายของคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับ EMC.. 14

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า... 19

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าได้จากการปรับ D 43

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดประสิทธิภาพของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรง-กระแสตรง 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันเริ่มมีการนำพลังงานทางเลือกเข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้นทั้งในด้านผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้าเนื่องจากเป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ไม่มีวันหมดไปเหมือนกับพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศไม่เป็นอันตรายกับสิ่งมีชีวิตอีกทั้งเป็นการลงทุนการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าสำหรับการลงทุนระยะยาวด้วย

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอการนำพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งมาประยุกต์ใช้งานภายในบ้านเรือนคือพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (Solar energy) โดยใช้อุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าคือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ซึ่งจะทำการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง เมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานมากระทบกับสารกึ่งตัวนำจะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างพลังงานแสงแล้วทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นไปใช้กับโหลดต่างๆได้ แต่มีข้อจำกัดอยู่ที่ปริมาณแสงในแต่ละช่วงเวลาที่ไม่คงที่ตลอดทั้งวันและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าที่น้อยเกินกว่าที่ใช้งานได้กับโหลดทั่วไป จึงทำการนำเสนอวิธีการยกระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้นโดยการเชื่อมต่อวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง-กระแสตรง (Boost Converter) และเขียนโปรแกรมควบคุมแบบย้อนกลับรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและขาออกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวงจร

ในอีกแง่มุมหนึ่งการเชื่อมต่อวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง-กระแสตรง (Boost Converter) เข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ก็ส่งผลกระทบต่อความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC) เพราะอุปกรณ์สวิตซ์ชิ่งภายในจะเป็นตัวแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ที่จะเหนี่ยวนำขึ้นตามสายตัวนำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบและอาจขัดขวางหรือรบกวนระบบสื่อสารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันปัญหาด้านสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) กำลังเป็นที่สนใจและนำมาพิจารณาการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ในระบบให้เกิดความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากขึ้นและมีมาตรฐานทั้งในประเทศและต่างประเทศกำหนดระดับสัญญาณรบกวนที่ยอมรับได้ ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าในปัจจุบันได้มีการพิจารณาให้สามารถแข่งขันในทางการตลาด และในบางประเทศหากสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบจะไม่สามารถนำมาขายให้กับผู้บริโภคได้ตามข้อบังคับอีกด้วย

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะแสดงวิธีการวัดระดับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำและเทียบกับค่ามาตรฐาน EN55022 class B ซึ่งเป็นข้อบังคับสำหรับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้านเรือนของยุโรป โดยจะทำการเชื่อมต่อกับโครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (Line Impedance Stabilization Networks : LISN) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแยกสัญญาณรบกวนที่ต้องการวัดและวิเคราะห์ในรูปแบบของสเปคตรัมต่อเข้ากับอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ (Equipment Under Test : EUT) ในที่นี้คือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้น และวัดค่าสัญญาณรบกวนโดยเครื่องวิเคราะห์สเปคตรัม (Spectrum Analyzer) เปรียบเทียบกับมาตรฐานสากล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบการทำงานและคุณลักษณะการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์
2. เพื่อศึกษาการทำงานและการออกแบบวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์
3. เพื่อออกแบบโปรแกรมและวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อประสิทธิภาพของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์
4. เพื่อศึกษาการวัดและทดสอบระดับการแผ่กระจายของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำและสามารถลดระดับสัญญาณรบกวนให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน
5. เพื่อศึกษาวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ โดยการออกแบบลายวงจรซึ่งคำนึงถึงหลักความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC) และออกแบบวงจรกรองความถี่สูง (Low pass filter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพและระดับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ส่งผลต่อความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้าน จึงทำการจำลองวงจรสร้างสัญญาณรบกวนในโปรแกรม Psim และแสดงผลในรูปแบบของกราฟเทียบกับมาตรฐาน EN55022 Class B ในโปรแกรม MATLAB เพื่อนำไปสู่การลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยวงจรกรองสัญญาณรบกวนให้อยู่ในมาตรฐานและประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน

1. ประชุมและวางแผนดำเนินการ
2. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์, การวัดและทดสอบสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำและการลดทอน
3. จำลองโปรแกรมควบคุมเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าในโปรแกรม Proteus ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F877
4. สร้างแบบจำลองวงจรสร้างสัญญาณรบกวนจากโปรแกรม Psim และนำข้อมูลมาแสดงผลการจำลองสัญญาณรบกวนด้วยกราฟเทียบกับมาตรฐาน EN55022 Class B ในโปรแกรม MATLAB
5. จัดทำบทความวิชาการและรายงานปริญญานิพนธ์ภาคเรียนที่ 1
6. สร้างวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และวงจรลดทอนระดับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด
7. วัดประสิทธิภาพของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสงตรง-กระแสตรงเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และบันทึกผลการทดลอง
8. สร้างวงจรกรองสัญญาณรบกวนความถี่สูง ทำงานร่วมกับวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์
9. วัดและทดสอบสัญญาณรบกวนจากวงจรที่สร้างขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน EN55022 Class B ที่ PTEC และบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. เรียบเรียงและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์และนำเสนอโครงงาน

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปีการศึกษา 2556							ปีการศึกษา 2557		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ประชุมและวางแผนดำเนินการ	■	■								
2. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง		■	■							
3. จำลองวงจรรักษาระดับแรงดัน ใน Proteus			■	■						
4. สร้างแบบจำลองสัญญาณรบกวน				■	■					
5. จัดทำบทความวิชาการและรายงานปริญญานิพนธ์ ภาคเรียนที่ 1					■					
6. สร้างวงจร Boost Converter					■	■	■			
7. วัดประสิทธิภาพของวงจร						■	■			
8. สร้างวงจรกรองสัญญาณรบกวน							■	■		
9. วัดระดับสัญญาณรบกวน เทียบกับ EN55022 Class B ที่ PTEC							■	■		
10. เรียงเรียงจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ และนำเสนอโครงงาน								■	■	■

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ความรู้เกี่ยวการทำงานร่วมกันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ต่อร่วมกับโหลดทางไฟฟ้า
2. สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง-กระแสตรงได้เพื่อประสิทธิของระบบไฟฟ้า และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าได้
3. สามารถวัดและทดสอบสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบและทำการลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าได้
4. ได้เรียนรู้การวางแผนงานและสามารถปฏิบัติงานจริงโดยการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

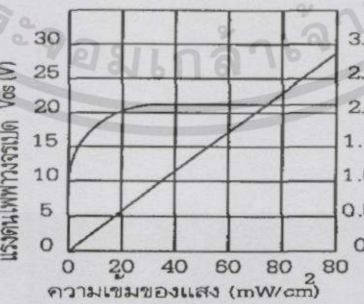
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

ทุกๆวินาทีดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไฮโดรเจนปริมาณ 600 ล้านตัน เป็นฮีเลียม ในขณะเดียวกันจะปล่อยพลังงานออกมามหาศาลชนิดที่โลกเรานำมาใช้ได้นับล้านๆปี แต่พลังงานที่ดวงอาทิตย์ปล่อยออกมาถึงโลก จริงๆมีจำนวนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากโลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ประมาณ 150 ล้านกิโลเมตร พลังงานของดวงอาทิตย์จะมาถึงโลกในเวลา 8 นาที ปล่อยมาในรูปของรังสีออกไปในเนื้อที่ถึง 3×10^7 ตารางกิโลเมตรผิวโลกได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ปริมาณ 113×10^6 ตารางกิโลเมตรเท่านั้น ซึ่งเท่ากับ 4 ในพันล้านส่วน

เราสามารถเปลี่ยนพลังงานที่ดวงอาทิตย์มานี้ให้เป็นความร้อนหรือไฟฟ้าได้ด้วยการใช้ตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ ตัวแมกนีโตไฮโดรไดนามิก และเซลล์สร้างไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

ปัจจุบันการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ประสบปัญหาสำคัญหนึ่งประการคือ ต้นทุนสูงแต่มีข้อดีหลายประการ เช่น

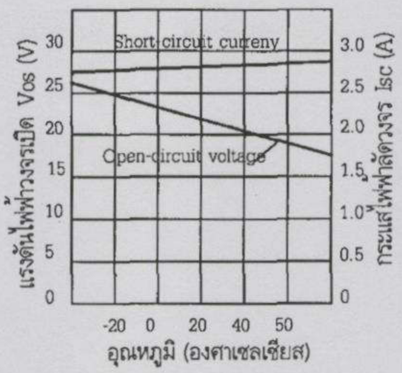
1. มีความสามารถในการใช้งานที่ถาวร (อายุการใช้งานมากกว่า 20 ปีขึ้นไป)
2. กระแสจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าแทบจะไม่แปรเปลี่ยนตามความเข้มของแสงเลย



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าเทียบกับความเข้มของแสง

3. กระแสจะไม่แปรตามอุณหภูมิ ที่เปลี่ยนแปลงในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

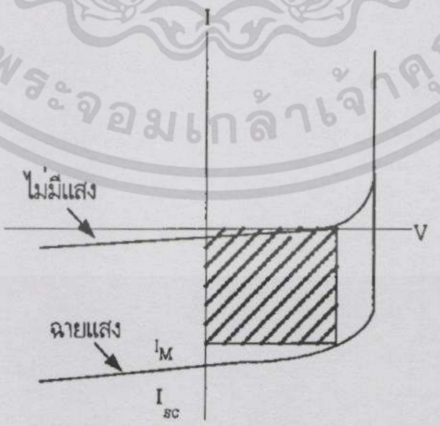
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิ

2.1.1 ตัวแปรที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

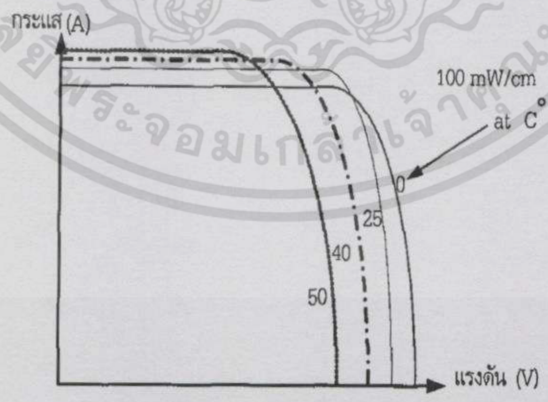
โครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ รอยต่อพี-เอ็น ซึ่งมีลักษณะทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับไดโอดทั่วไป ดังนั้น เซลล์แสงอาทิตย์จึงมีคุณสมบัติของกระแสและแรงดันดังกราฟในรูป 2.3 ในสภาพไม่ถูกแสงและเมื่อมีการฉายแสงมาตกกระทบรอยต่อจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกขึ้นลักษณะคุณสมบัติของกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนดังกราฟในรูป 2.3 พื้นที่ภายใต้เส้นที่แรเงา คือกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์นั้นผลิตได้ แต่กำลังไฟฟ้าที่จะนำมาใช้งานจริงๆนั้นจะถูกกำหนดได้จากการต่อโหลดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าค่าสูงสุดในรูปที่ 2.3 จุด I_M ซึ่งค่าของกระแสและแรงดันนี้ยังมีเงื่อนไขอื่นๆที่ทำให้เปลี่ยนแปลงได้อีก



รูปที่ 2.3 กราฟลักษณะคุณสมบัติของกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

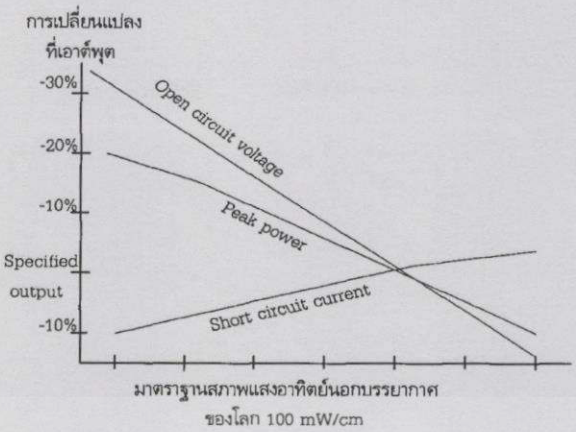
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit voltage = V_{OC}) เป็นแรงดันที่วัดได้เมื่อเปิดวงจร (ไม่ได้ต่อใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า)
2. ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Voltage = V_M) เป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อต่อโหลดที่มีค่าถูกต้อง ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานจริงเซลล์ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วย ดังนั้น อุณหภูมิของเซลล์จึงเพิ่มขึ้น ผลที่ตามมาคือคุณสมบัติของเซลล์จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งพอสรุปได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าลดลงดังรูปที่ 2.4
3. ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit Current = I_{SC}) เป็นกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อลัดวงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์
4. ปริมาณของกระแสไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Current = I_M) เป็นปริมาณที่วัดได้เมื่อต่อโหลดที่มีค่าถูกต้อง เนื่องจากขณะทำงานเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นต้องมีพลังงานมากระตุ้นให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลสูงขึ้นด้วย อุณหภูมิของเซลล์เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่จะทำให้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้น แต่จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกันแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง ซึ่งผลก็คือ จะทำให้พลังงานลดลง
5. AM (Air Mass) ความเข้มของแสงวัดที่ AM = 0 (สภาพของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกเป็นมาตรฐานที่กำหนดโดย NASA) จะได้ค่า mW/cm^2 ส่วนความเข้มของแสงอาทิตย์วัดที่ AM = 2



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงคุณสมบัติของกระแส-แรงดันที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิ

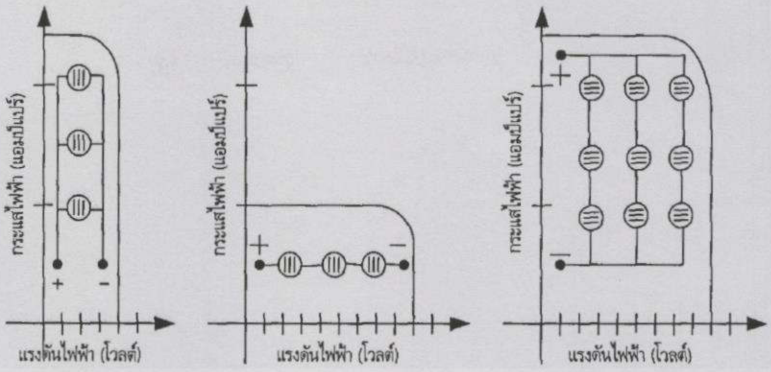
(สภาพของแสงอาทิตย์บนพื้นโลก เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลก) จะมีค่าประมาณ 72-75 mW/cm^2 AM = 1.5 ซึ่งนิยมใช้กันในการกำหนดสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ แสงอาทิตย์ที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอก และวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลกจะได้ความเข้มแสงเท่ากับ 100 mW/cm^2

2.1.2 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เซลล์แสงอาทิตย์มีรูปร่างลักษณะที่แตกต่างกัน แต่ที่นิยมใช้กันมากมีอยู่ 2 แบบคือ แบบสี่เหลี่ยม (100mm x 100mm) และแบบวงกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง 100mm) ซึ่งอาจถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆย่อยออกไปอีก เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ว่าจะชิ้นใหญ่หรือว่าชิ้นเล็กจะมีแรงดันคงที่ ประมาณ 0.5 โวลต์ แต่กระแสจะเปลี่ยนไปตามพื้นที่หน้าตัดของชิ้นเซลล์ ซึ่งโดยเฉลี่ยจะให้กระแสลัดวงจรประมาณ 3 A / 100 cm^2

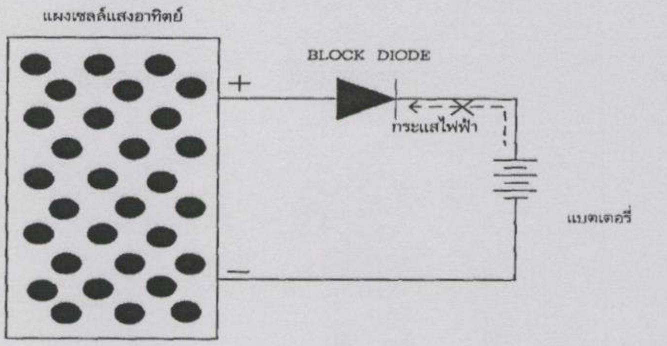
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.6 การต่อเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาดแรงดันและกระแสตามต้องการแบบขนานและอนุกรม

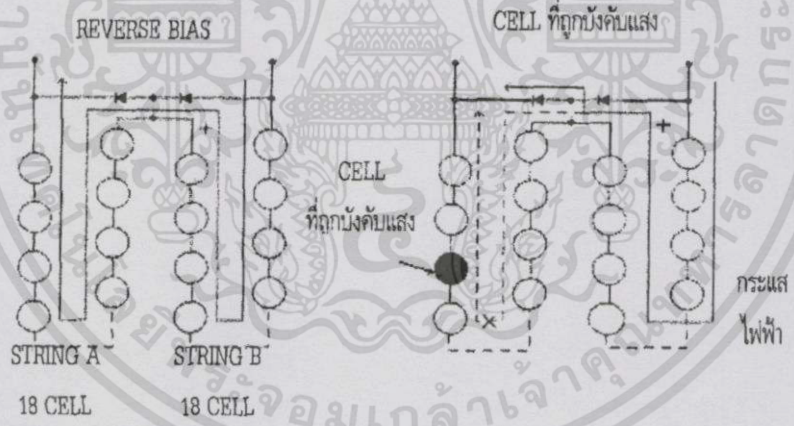
2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกออกแบบโดยอาศัยการนำชิ้นเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันแบบอนุกรม หรือ แบบขนานตามต้องการ ดังรูปที่ 2.25 โดยปกติแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกออกแบบให้ใช้กับระบบไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ จึงต้องจำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันแบบอนุกรมจำนวน 32 ถึง 36 ชิ้น จะได้แรงดัน 16 ถึง 18 โวลต์ เพื่อที่จะประจุไฟลงแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ได้
3. กระจกนิรภัยสามารถให้แสงผ่านได้สูง (Tempered Low Iron, High Transmission Glass) โดยให้แสงผ่านได้ถึง 92 %
4. EVA (Ethylene – Vinyl Acetate) สามารถเคลือบป้องกันไม่ให้ความชื้นและฝุ่นละอองถูกเซลล์แสงอาทิตย์
5. กรอบ (Frame) ใช้อลูมิเนียมชุบแข็ง (Anodized Aluminum) เพื่อทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศในประเทศไทยได้ดี หรือใช้วัสดุอื่นที่ออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละสภาพแวดล้อม
6. แผ่นยึดด้านหลัง (Back Cover) ใช้สารโพลิเมอร์ที่ชื่อทางการว่า Tedlar ซึ่งมีแผ่นอลูมิเนียมบางๆแทรก อยู่ตรงกลาง
7. บล็อกกิ้งไดโอด (Blocking diode) เป็นไดโอดที่ต่อไว้เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสจากแบตเตอรี่ไหล กลับไปสู่แสงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ไม่มีแสงแดด ดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 บล็อกกิ้งไดโอด

8. บายพาสไดโอด เป็นไดโอดที่ต่อคร่อมระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ 2 แถว เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสขาดวงจรและทำให้เกิดจุดไหม้บนเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีเงามาบังเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ใช้งานปกติ บายพาสไดโอดจะถูกต่อแบบรีเวอร์สไบอัส กระแสในแต่ละแถวก็จะไหลปกติ แต่เมื่อเซลล์ตัวใดตัวหนึ่งถูกเงาบังหรือขาดวงจร บายพาสไดโอดก็จะถูกต่อแบบฟอร์เวอร์ส กระแสจะไหลผ่านตัวไดโอดโดยไม่ผ่านเซลล์แถวนั้นๆ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การต่อบายพาสไดโอดและการทำงาน

2.1.3 ข้อจำกัดบางประการของการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่จากเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ใช้แผงเซลล์ใหญ่เพียงอันเดียว แต่จะใช้โมดูลย่อยซึ่งมีระดับแรงดันมาตรฐานมาต่ออนุกรมหรือขนาน เพื่อให้ได้แรงดันและกำลังไฟฟ้าตามระบบที่ต้องการซึ่งมีข้อควรจำในการต่อเซลล์โดยสังเขป ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าและแรงดันสูงๆ จะต้องนำเซลล์จำนวนหนึ่งมาต่ออนุกรมและขนานอยู่ในแผง
2. การเลือกเซลล์ให้เหมาะสมกัน ควรมีแรงดันวงจรเปิดเท่ากันทุกตัว และที่สำคัญที่สุดคือ เซลล์ทุกตัวจะต้องมีแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเหมือนกัน หรือใกล้เคียงกันมากที่สุด ส่วนเซลล์ที่นำมาต่ออนุกรควรจะต้องมีกระแสลัดวงจรเหมือนกัน และมีกระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากัน ถ้าหากใช้เซลล์ที่คู่ควรกัน ผลก็คือจะได้แผงที่ไม่มีประสิทธิภาพเพราะเซลล์ที่มีแรงดันและกระแสที่สูงกว่าจะเกิดการส่งผ่านกำลังมากเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองกำลังไฟในเซลล์ที่ไม่มีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์คือ การทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อันนี้กำลังไฟจะเปลี่ยนไปตามเซลล์ที่ไม่มีประสิทธิภาพ เมื่อเกิดกำลังสิ้นเปลืองในเซลล์ก็ทำให้กำลังไฟที่ออกจากแผงลดลงโยกกันเป็นลูกโซ่
3. การป้องกันการเกิดปัญหา "จุดร้อน" ให้ใช้เซลล์ต่อขนานจำนวนมากที่สุดเท่าที่จะมากได้แล้วจึงต่ออนุกรมเป็น สตริง มีเซลล์ชำรุด 1 ตัวกำลังไฟจะตกลงไม่มาก ถ้าการต่อเซลล์ขนานจำนวนมากๆ เป็นไปได้ยากอาจมีปัญหา การแก้ปัญหาโดยการต่อไดโอดเบี่ยงคร่อมเซลล์ขนานในสตริง (คร่อมทุกๆซับโมดูล) มันจะให้กระแสกลับจำนวนมากผ่านที่แรงดันกลับต่ำเมื่อเซลล์ 1 ตัวชำรุด

2.1.4 ข้อควรระวัง

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีคุณสมบัติในการรับแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นในระหว่างระหว่างการติดตั้งถ้านำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อขนานกันจำนวนมากกว่า 2 แผงขึ้นไป จะให้แรงดันไฟฟ้าขาออกสูงขึ้นจึงควรใช้วัสดุทึบแสงมาปิดทับบริเวณผิวด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า
2. ในระหว่างการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ 2 แผงขึ้นไป ไม่ควรให้ส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายสัมผัสขั้วบวก-ลบที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพราะอาจเกิดอันตรายจากไฟฟ้าได้
3. ไม่ควรให้เด็กเล็กๆอยู่ใกล้บริเวณที่กำลังติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โปรดระมัดระวังไม่ให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการกระทบกระเทือนอย่างรุนแรงหรือขึ้นไปยืนด้านบนแผงเพราะอาจทำให้กระจกแตก
5. ห้ามทำการถอดแก้ไขอุปกรณ์ต่างๆในแผงโดยมิได้รับคำแนะนำจากบริษัท
6. ในระหว่างการติดตั้งอาจเกิดปัญหาการต่อขั้วผิดซึ่งอาจทำให้เกิดประกายไฟดังนั้นไม่ควรติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใกล้กับวัสดุที่ติดไฟง่าย เช่น แอลกอฮอล์ ก๊าซไวไฟ เป็นต้น
7. ในกรณีที่ใช้แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สะสมพลังงาน ควรหมั่นตรวจสอบคุณภาพและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่โดยสม่ำเสมอเช่น ตรวจสอบน้ำกลั่น แรงดันไฟที่แบตเตอร์รี่

2.1.5 การดูแลรักษา

1. ควรตรวจสอบสายไฟให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้เป็นอย่างดี
2. แผงที่ได้รับความเสียหาย เช่น กระจกแตกควรจะเปลี่ยนทันทีเพื่อป้องกันอันตรายทางไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้น
3. ในกรณีที่ต้องการทำความสะอาดแผง ให้ใช้ผ้าชุบน้ำสะอาดบิดหมาดๆเช็ดบริเวณผิวหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ห้ามใช้น้ำยาเคมีทุกชนิด

2.2 สัญญาณรบกวนและความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

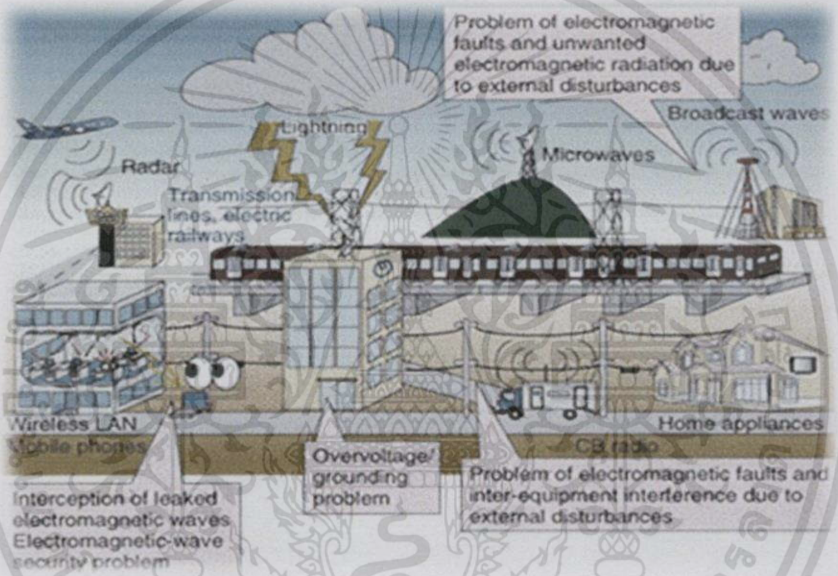
2.2.1 นิยามและความหมายของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic Interference: EMI) [3]คือ ปรากฏการณ์ที่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้ามาแทรกสอดหรือปะปนกับคลื่นสัญญาณการทำงานของอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิมและมีผลทำให้คลื่นสัญญาณการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวผิดเพี้ยนหรือผิดพลาดไปจากเดิมที่ได้ออกแบบไว้ ดังนั้นการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกี่ยวข้องในเรื่องการเกิดการรบกวนกัน (Interference) และความทนทานต่อสัญญาณรบกวน (Immunity) หรือความสามารถในการรับสัญญาณรบกวน (Susceptibility) ของระบบหรืออุปกรณ์ใดๆ ซึ่งการรบกวนที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทบต่ออุปกรณ์หรือระบบต่างๆของตัวเอง หรือตัวอื่นๆที่อยู่ใกล้เคียง โดยสามารถแยกแหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆด้วยกัน ดังรูปที่ 2.9 คือ

1. แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนตามธรรมชาติได้แก่ ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า การคายประจุไฟฟ้า คลื่นคอสมิก และคลื่นจากดวงอาทิตย์
2. แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์หรือระบบที่มนุษย์สร้างขึ้นได้แก่ เครื่องเชื่อมสายส่งไฟฟ้าแรงดันสูง การสันดาปของเครื่องยนต์ เตาอบไมโครเวฟ ระบบการสื่อสาร มอเตอร์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอื่นๆ



รูปที่ 2.9 การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ความหมายของคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับ EMC [4]

คำนิยาม	ความหมาย
ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility: EMC)	- ความสามารถของอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบที่สามารถทำงานร่วมกันได้เป็นปกติในสิ่งแวดล้อมแม่เหล็กไฟฟ้า โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสีย หรือผลกระทบใดๆต่ออุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบที่ทำงานในสภาวะสิ่งแวดล้อมแม่เหล็กไฟฟ้าเดียวกัน
การแทรกสอดทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic interference: EMI)	- การที่อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบเกิดการทำงานที่ผิดพลาดหรือได้รับความเสียหาย ซึ่งมีสาเหตุมาจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ประเด็นสำคัญคือเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า
Emission	- การปล่อยสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา
Immunity	- ภูมิคุ้มกันต่อสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า
Susceptibility	- ความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า
Conducted Emission	- การปล่อยสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาทางสายตัวนำ
Radiated Emission	- การปล่อยสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยแผ่กระจายคลื่นทางอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 หน่วยที่ใช้กับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC Units) [4]

ช่วงการเปลี่ยนแปลงที่กว้างของการรบกวนเมื่ออธิบายถึง EMI และ EMC จำเป็นต้องใช้สเกลตามลอการิทึม ดังนั้นสัดส่วนระหว่างความแรงของสัญญาณที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปของหน่วยเดซิเบล (dB) โดยสัดส่วนของกำลังงานในรูปของหน่วยเดซิเบลอธิบายตามสมการ (2.1)

$$Power\,Gain\,(dB) = 10\log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \tag{2.1}$$

บ่อยครั้งที่ข้อมูลในการวัดหรือทดสอบจะมีความแรงของสัญญาณเป็นแรงดันและกระแสไฟฟ้า สามารถเปลี่ยนไปในรูปของกำลังงานได้จากสมการ (2.2) และ (2.3)

$$Voltage\,Gain\,(dB) = 10\log\left(\frac{V_{out}^{2}/R}{V_{in}^{2}/R}\right) = 10\log\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right)^{2} = 20\log\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right) \tag{2.2}$$

$$Current\,Gain\,(dB) = 10\log\left(\frac{I_{out}^{2}/R}{I_{in}^{2}/R}\right) = 10\log\left(\frac{I_{out}}{I_{in}}\right)^{2} = 20\log\left(\frac{I_{out}}{I_{in}}\right) \tag{2.3}$$

โดยทั่วไปเทียบอยู่ในหน่วย mW, µV และ µA ดังสมการที่ (2.4) ถึง (2.6)

$$dB_{m} = 10\log\left(\frac{P}{0.001W}\right) \tag{2.4}$$

$$dB_{\mu V} = 20\log\left(\frac{I}{1\,\mu V}\right) \tag{2.5}$$

$$dB_{\mu A} = 20\log\left(\frac{I}{1\,\mu A}\right) \tag{2.6}$$

หน่วยเดซิเบลสามารถใช้กับค่าความเข้มสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าได้ตามสมการ (2.7) ถึง (2.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$dB_{\mu V/m} = 20\log\left(\frac{V}{1\,\mu V/m}\right) \tag{2.7}$$

$$dB_{\mu A/m} = 20\log\left(\frac{I}{1\,\mu A/m}\right) \tag{2.8}$$

2.2.3 มาตรฐานสำหรับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารก่อให้เกิดทั้งผลดี และผลเสียต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น เพื่อช่วยให้ผู้ผลิต และผู้ใช้เครื่องมือ สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างเป็นธรรม ไม่เกิดปัญหาด้านการใช้งาน มีความปลอดภัย หน่วยงานต่างๆจึงได้กำหนดมาตรฐานสำหรับการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ดังนี้

2.2.3.1 กฎระเบียบของ FCC (FCC REGULATIONS)

FCC ย่อมาจาก Federal Communications Commission เป็นองค์กรในประเทศสหรัฐอเมริกาที่ทำการออกกฎข้อบังคับสำหรับอุปกรณ์สื่อสาร (wire and radio communications) ก่อตั้งในปี พ.ศ. 2470 สามารถแบ่งออกได้เป็นสามส่วนใหญ่ ๆ ด้วยกัน กล่าวคือ Part 15 สำหรับอุปกรณ์ความถี่วิทยุ (radio-frequency devices) Part 18 สำหรับอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และอุปกรณ์ทางการแพทย์ (ISM) และ Part 68 สำหรับอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับระบบโทรศัพท์ (telephone network)

สำหรับ Part 15 จะแบ่งมาตรฐานออกเป็นสี่ฉบับ และนิยามความหมายของอุปกรณ์ความถี่วิทยุว่าหมายถึงอุปกรณ์ใดๆก็ตามที่การทำงานก่อให้เกิดการแผ่กระจายพลังงานที่ความถี่วิทยุ (radio-frequency energy) ได้ทั้งทางสาย (conduction) หรือทางอากาศ (radiation) FCC ได้นิยามพลังงานความถี่วิทยุ (Energy in the radio frequency range) ว่าเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ย่านความถี่ 9 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 3000 จิกะเฮิรตซ์ โดยมีจุดประสงค์ ในการออกมาตรฐาน เพื่อกำหนดการทำงานของตัวส่งสัญญาณ (transmitters) ที่มีกำลังไฟฟ้าต่ำซึ่งไม่ได้รับใบอนุญาต ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้ง (radio station license) และเพื่อควบคุมสัญญาณรบกวน ที่เกิดจากตัวสินค้าที่จะส่งผลกระทบต่อการติดต่อสื่อสารด้วยความถี่วิทยุ (radio communications) อุปกรณ์ดิจิตอล (digital electronics)

ก็จัดอยู่ในหมวดนี้

2.2.3.2 CISPR

CISPR ย่อมาจาก International Special Committee on Radio Interference (ซึ่งมาจากคำเต็มในภาษาฝรั่งเศสคือ Comité international spécial des perturbations adioélectriques เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2476 เพื่อหาวิธีการวัดและขีดจำกัดของการรบกวนในย่านความถี่วิทยุสำหรับนานาชาติ หลายๆประเทศ ได้นำมาตรฐาน CISPR มาดัดแปลงใช้โดยจัดทำเป็นมาตรฐานบังคับใช้ สำหรับแต่ละประเทศ ประเทศไทยได้นำมาตรฐานนี้ มาปรับใช้ เช่นมาตรฐานของบริภัณฑ์ส่องสว่าง ได้จากการนำมาตรฐาน CISPR 15 มาดัดแปลงใช้งานมาตรฐาน CISPR หลัก เช่น CISPR Publication 22ถูกกำหนดขึ้นเพื่อการควบคุมสัญญาณรบกวนที่เกี่ยวข้องกับบริภัณฑ์เทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology Equipment) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ดิจิทัล (digital electronics) เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2528 หลังจากนั้นหลายๆประเทศได้นำมาตรฐานดังกล่าวมาปรับใช้เป็นมาตรฐานประจำชาติ (national standard) อาทิ ประเทศญี่ปุ่นได้ออกมาตรฐาน VCCI (Voluntary Control Council for Interference by Information Technology Equipment) โดยใช้เส้นขีดจำกัดตาม CISPR Publication 22 เว้นเพียงแต่แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนแก่ตัวถูกทดสอบ (EUT) จะแตกต่างกัน โดยที่ VCCI จะทดสอบที่แรงดันด้านเข้าของตัวถูกทดสอบเท่ากับ 100 โวลต์เป็นต้น

2.2.3.3 มาตรฐานทางการทหาร (Military Standards)

MIL-STD-461B และ MIL-STD-462 เป็นมาตรฐานที่ออก โดยหน่วยทางการทหารของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยที่ MIL-STD-461B กำหนดเส้นขีดจำกัด (Limit) และ MIL-STD-462 จะกำหนดขั้นตอนและวิธีการทดสอบ มาตรฐานดังกล่าว จะมีรายละเอียดและเข้มข้นกว่า FCC เพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน ดังกล่าวพิจารณาถึง “ความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Susceptibility)” และย่านความถี่ที่พิจารณายังกว้างกว่าด้วย (30 เฮิรตซ์ – 40 จิกะเฮิรตซ์)

2.2.3.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)

ในด้านที่เกี่ยวข้องกับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยได้มีนำมาตรฐานนานาชาติ (IEC) มาปรับใช้เป็นมาตรฐานภายในประเทศอย่างเป็นทางการตั้งแต่ปี พ.ศ.2541 โดยได้มีการนำมาปรับปรุงแก้ไข CISPR 15 และ CISPR 22 เป็นมาตรฐานไทยแล้วได้แก่ มอก.1955-2542 (บริภัณฑ์ส่องสว่างและบริภัณฑ์ที่คล้ายกัน: ขีดจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ) ซึ่งเป็นมาตรฐานบังคับใช้ และ มอก.1956-2542 (บริภัณฑ์เทคโนโลยีสารสนเทศ: ขีดจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ) มาตรฐานด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย มีแนวทางและได้นำมาตรฐานด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าของ IEC (International Electrotechnical Commission)

เช่นเทคนิคการทดสอบด้านสิ่งแวดล้อมมาใช้โดยออกเป็นประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม (สมอ) ตารางที่ 2.2 สรุปมาตรฐานกฎระเบียบด้านการแผ่สัญญาณรบกวนของนานาชาติและภูมิภาคที่สำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

International Regulations Summary (Emissions)			
CISPR	FCC	En's	Description
11	Part 18	EN 55011	Industrial, Scientific and Medical
12	(SAE)		Automotives
13	Part 15	EN 55013	Broadcast Receivers
14		EN 55014	Household Appliances/tools
15		EN 55015	Fluorescent lights/luminaries
16			Measurement apparatus/methods
22	Part 15	EN 55022	Information technology equipment
		EN 50081-1,2	Generic emissions standards

การทดลองในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้มาตรฐาน EN 55022 class b เป็นตัวอ้างอิง

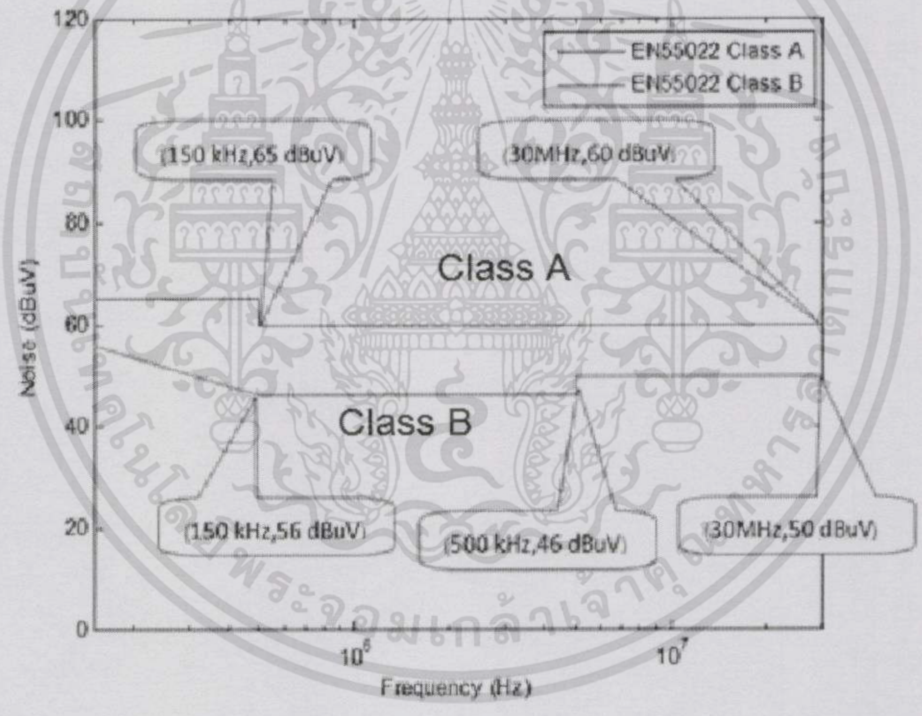
เนื่องจากได้รับการออกแบบเพื่อใช้งานภายในบ้าน/ที่พักอาศัย

สาเหตุสำคัญที่ต้องมีการกำหนดขีดจำกัดและมาตรฐานสำหรับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำก็เพราะว่า ต้องการจำกัดกระแสสัญญาณรบกวน (Noise current) ที่เกิดจากตัวสินค้าผ่านออกมาทางสายไฟฟ้า (AC power cord) ผ่านเต้ารับ และจากนั้นจะรวมกันอยู่เป็นกลุ่มที่จุดรวมสายไฟฟ้า (Common power distribution system) ซึ่งในสภาวะดังกล่าวจะเปรียบเสมือนกับเป็นสายอากาศขนาดใหญ่ (Antenna) เป็นผลทำให้กระแสสัญญาณรบกวนสามารถแผ่กระจายและเกิดการรบกวนต่อระบบโดยรวมได้ ซึ่งมาตรฐานที่กำหนดไว้มิได้เป็นการรับประกันว่าสินค้าที่ผ่านการทดสอบนั้นจะไม่ก่อให้เกิดการรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เพียงแต่เป็นการยอมรับหรือจำกัดการสร้างสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของสินค้าดังกล่าวให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

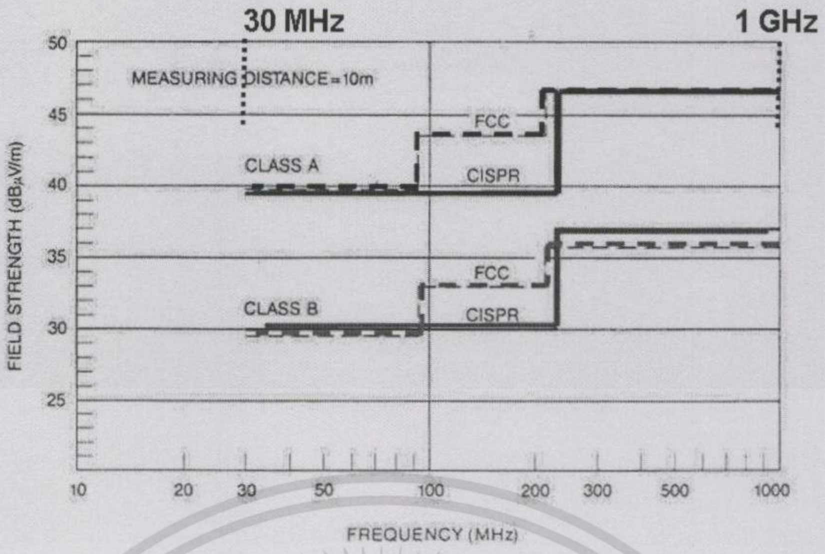
2.2.3.5 มาตรฐาน EN 55022 Information technology equipment (ITE)

มาตรฐานนี้จะพิจารณาในช่วงความถี่วิทยุ 9 KHz ถึง 400 GHz โดยแบ่งออกเป็น 2 class ด้วยกันคือ Class b ได้รับการออกแบบเพื่อใช้งานภายในบ้าน/ที่พักอาศัย แต่อาจถูกใช้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่ใช่บ้าน/ที่พักอาศัยได้เช่นกันและโดยสภาพแวดล้อมภายในบ้าน/ที่พักอาศัยเป็นสภาพแวดล้อมที่มีการใช้เครื่องรับสัญญาณวิทยุและโทรทัศน์ในระยะห่าง 10 เมตรจากตำแหน่งที่ผลิตภัณฑ์นี้ถูกใช้งาน และ Class a ได้รับการออกแบบเพื่อใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ไม่ใช่บ้าน/ที่พักอาศัย นอกจากนี้ ยังอาจใช้ผลิตภัณฑ์ Class a ภายในบ้าน/ที่พักอาศัยได้ แต่อาจก่อให้เกิดการรบกวนและผู้ใช้ต้องดำเนินมาตรการแก้ไขที่เพียงพอ



รูปที่ 2.10 มาตรฐาน EN 55022 class a และclass b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ขีดจำกัดการกระจายทางอากาศตามมาตรฐาน CISPR และ FCC

จากรูปที่ 2.11 แสดงขีดจำกัด (Limit) การแผ่กระจายทางอากาศ (Radiated Emission) ตามมาตรฐาน CISPR และ FCC ซึ่งจะประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ 2 Class คือ

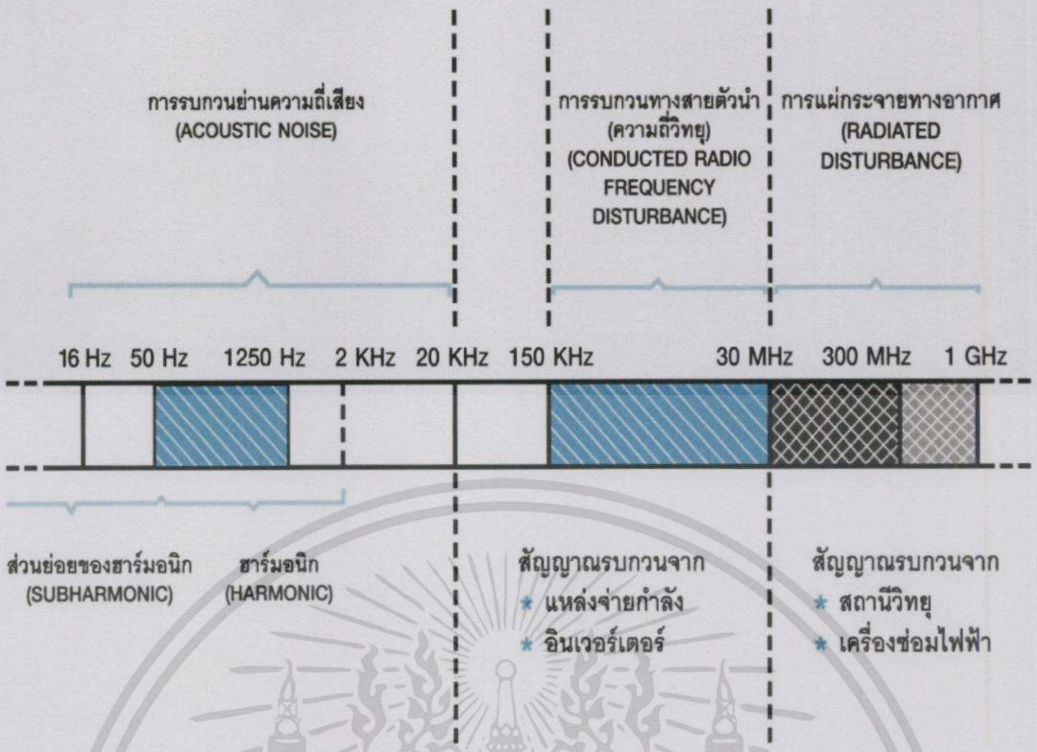
- Class A คือ ขีดจำกัดสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม (Industrial use)
- Class B สำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย (Residence use)

ขีดจำกัดกำหนดของ Class A จะกำหนดให้สัญญาณรบกวนได้สูงกว่าในที่อยู่อาศัย เนื่องจากแนวความคิดที่ว่า เครื่องจักรและคนที่อยู่ในอุตสาหกรรมเป็นคนวัยทำงานมีความแข็งแรงสูงกว่าในที่อยู่อาศัยและผลิตภัณฑ์ คนในที่อยู่อาศัยและมาตรฐาน CISPR กำหนดเกณฑ์ให้สัญญาณรบกวนได้น้อยกว่า FCC

2.2.4 ช่วงความถี่ของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

โดยทั่วไปการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้านั้นมีการจำแนกได้หลายรูปแบบ ซึ่งอาจจะใช้การแบ่งตามช่วงความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 2.23 เมื่อพิจารณาในช่วงความถี่ 0 Hz ถึงประมาณ 2 kHz จะจัดอยู่ในย่านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำหรือที่นิยกเรียกกันว่า ฮาร์มอนิกส์ (Harmonics) ซึ่งจะส่งผลให้สัญญาณรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าในระบบเกิดความผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณไซน์และเพิ่มความสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ช่วงความถี่ของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

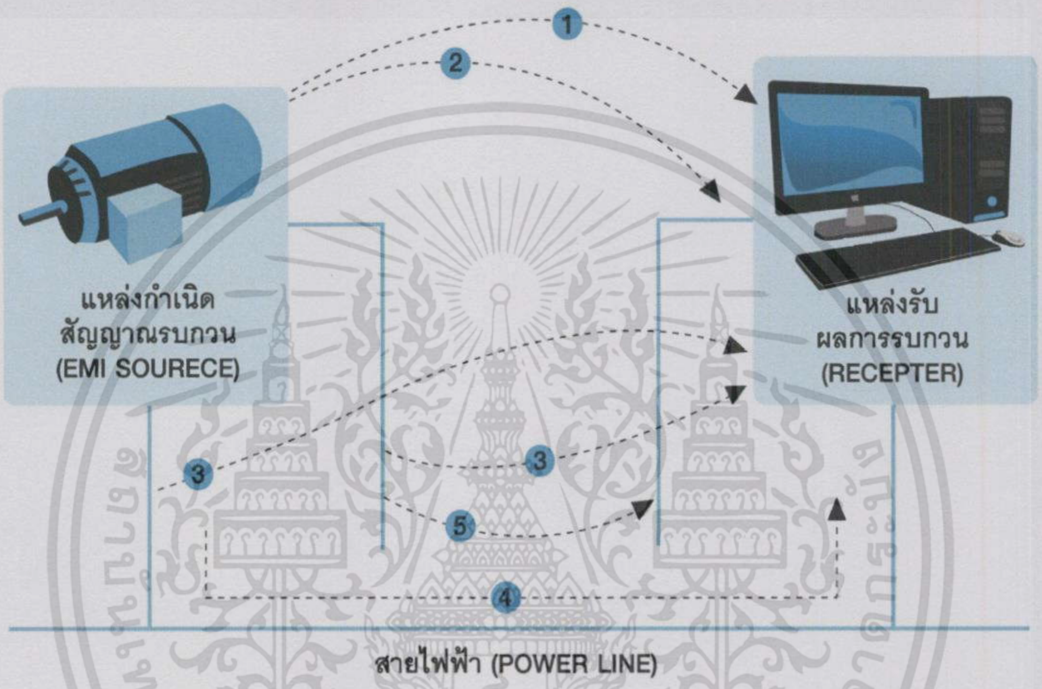
ในช่วงความถี่ 20 kHz ถึง 150 kHz ปัจจุบันยังไม่จัดว่าเป็นปัญหาทางวิศวกรรมที่ต้องแก้ไขเกี่ยวกับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ในบางมาตรฐานระดับนานาชาติบางฉบับได้เริ่มขยายย่านความถี่ของมาตราฐานครอบคลุมย่านความถี่ในส่วนนี้เพื่อพิจารณาสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว

โดยช่วงความถี่ของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า จะอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 150 KHz ถึง 1 GHz และยังแบ่งแยกการพิจารณาช่วงความถี่ออกเป็นอีก 2 ช่วง คือ ที่ช่วงความถี่ตั้งแต่ 150 KHz ถึง 30 MHz จะพิจารณาว่าเป็นสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (Conducted EMI) และที่ช่วงความถี่ตั้งแต่ 30 MHz ถึง 1 GHz จะพิจารณาว่าเป็นสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ (Radiated EMI) ซึ่งทั้งสองรูปแบบนี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์และวิธีการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นการแก้ปัญหาฮาร์มอนิกส์หรือการแก้ไขตัวประกอบกำลังในระบบไฟฟ้ากำลังไม่ใช่การแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 เส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน (EMI Source) ผ่านตัวกลาง (Coupling) ไปยังตัวรับผลกระทบ (Receptor) ได้ด้วยกัน 5 รูปแบบ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.13 รูปแบบการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า [8]

จากรูปที่ 2.13 จะสามารถอธิบายลักษณะการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดังนี้

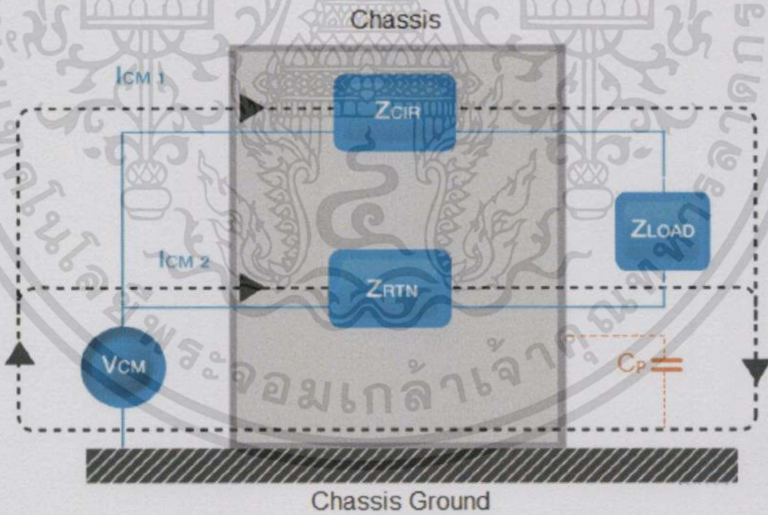
1. แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยผ่านทางอากาศไปยังตัวรับผลกระทบโดยตรง (Radiated emission)
2. แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยผ่านทางอากาศไปยังสายตัวนำกำลัง, สายสัญญาณ หรือสายควบคุมที่เชื่อมต่ออยู่กับตัวรับผลกระทบ โดยที่สายตัวนำดังกล่าวจะเป็นตัวนำสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นไปยังตัวรับผลกระทบ (Indirect conducted emission)
3. สายตัวนำกำลัง, สายสัญญาณ หรือสายควบคุมที่เชื่อมต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนเป็นตัวแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังตัวรับผลกระทบ (Indirect radiated emission)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนส่งผลกระไปไปยังตัวรับผลกระทบโดยผ่านทางสายตัวนำกำลัง, สายสัญญาณ หรือสายควบคุมที่เชื่อมต่อถึงกัน (Conducted emission)
5. สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในสายตัวนำกำลัง, สายสัญญาณ หรือสายควบคุมที่เชื่อมต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนเหนี่ยวนำไปยังสายตัวนำกำลัง, สายสัญญาณ หรือสายควบคุมที่เชื่อมต่ออยู่กับตัวรับผลกระทบ (Semi conducted emission)

2.2.6 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำในโหมดผลร่วม (Common mode Interference: CM)

สัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วมจะพิจารณาการไหลของสัญญาณระหว่างกลุ่มของตัวนำกับกราวด์หรือกลุ่มตัวนำอื่นๆเป็นตัวอ้างอิง ในการเกิดสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วมนี้จะมีตัวเก็บประจุแฝง (Parasitic capacitor: C_P) เป็นเส้นทางเดินของสัญญาณไปสู่กราวด์ซึ่งเป็นตัวอ้างอิงของทั้งสายสัญญาณ (Line) และสายป้อนกลับ (Neutral) ดังรูปที่ 2.14

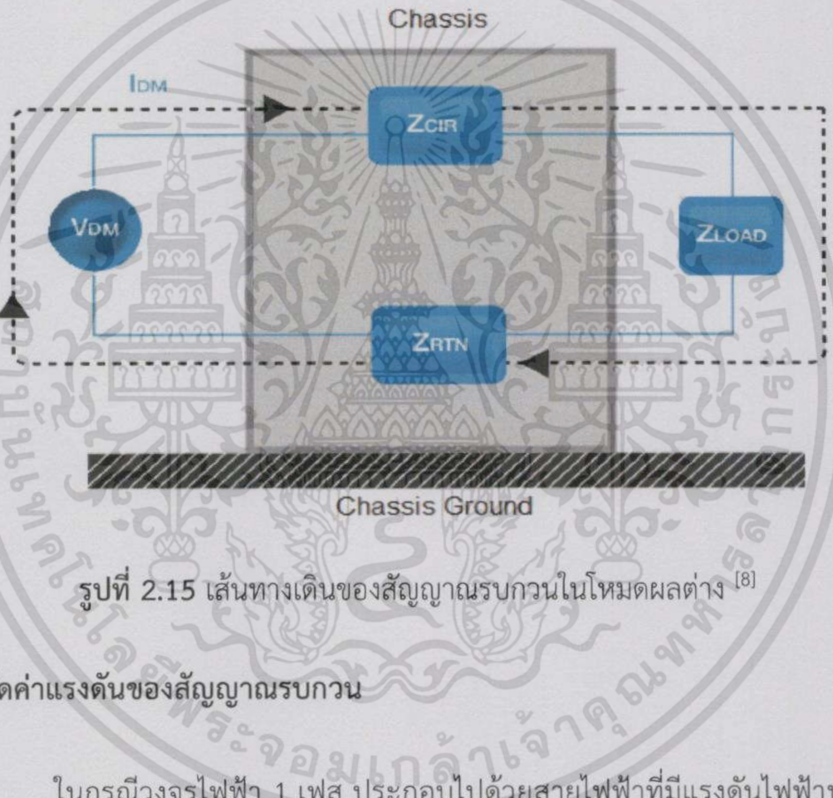


รูปที่ 2.14 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วม [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำในโหมดผลต่าง (Differential mode Interference: DM)

สัญญาณรบกวนในโหมดผลต่างเกิดจากการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ในสัญญาณนาฬิกาหรือรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันในวงจรใดๆ โดยสัญญาณรบกวนจะมีทางเดินของกระแสหรือแรงดันจากแหล่งจ่ายผ่านอิมพิแดนซ์ของวงจร (Z_{CIR}) ของทิศทางกระแสไหลตามผ่านไปยังโหลดและไหลกลับมายังแหล่งจ่ายโดยผ่านอิมพิแดนซ์สายป้อนกลับ (Z_{RTN}) ของทิศทางกระแสไฟฟ้าทวนดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง [8]

2.2.8 การวัดค่าแรงดันของสัญญาณรบกวน

ในกรณีวงจรไฟฟ้า 1 เฟส ประกอบไปด้วยสายไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าหรือสายไลน์ (L), สายไฟฟ้าที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าหรือสายนิวทรัล (N) และสายกราวด์หรือสายดิน (G) ดังรูปที่ 2.15 จะสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในโหมดผลร่วม (Common mode voltage: V_{CM}) และแรงดันไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (Differential mode voltage: V_{DM}) ได้ดังสมการ (2.9) และ (2.10)

$$V_{CM} = \frac{V_{LG} + V_{NG}}{2} \tag{2.9}$$

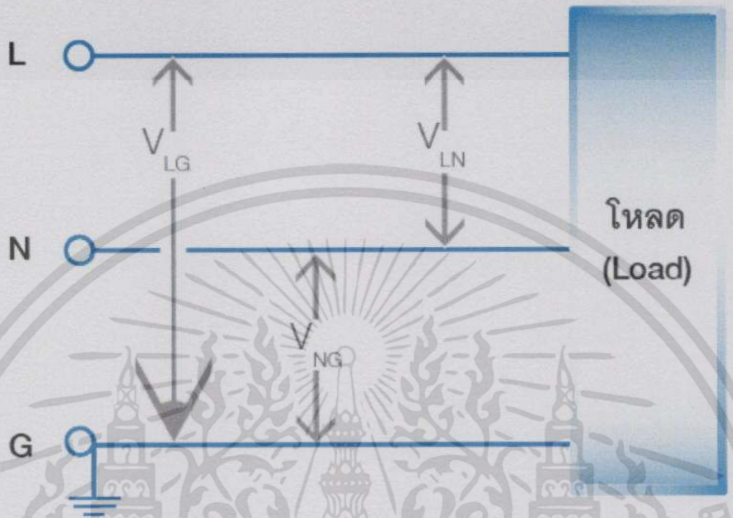
$$V_{DM} = \frac{V_{LG} - V_{NG}}{2} \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ V_{LG} คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างสายไลน์กับสายการวด์

V_{NG} คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างสายนิวทรัลกับสายกราวด์

V_{LN} คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างสายไลน์กับสายนิวทรัล

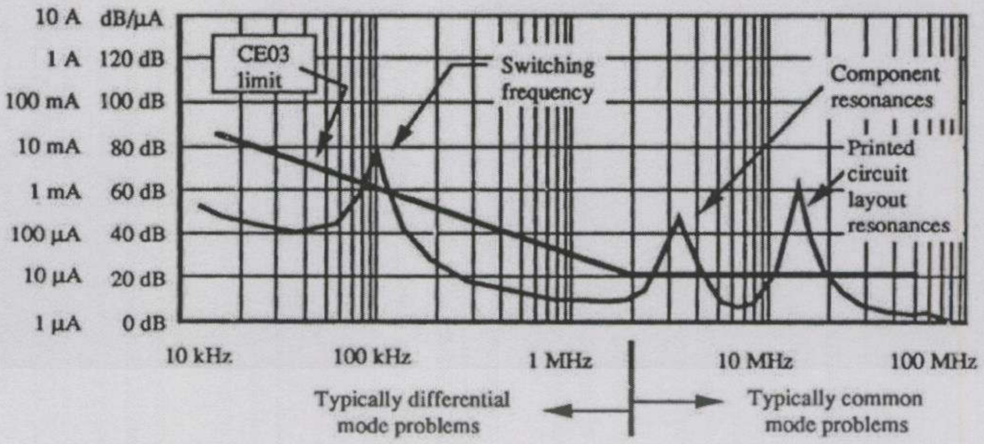


รูปที่ 2.16 วงจรไฟฟ้า 1 เฟส [8]

2.2.9 สาเหตุของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

โดยทั่วไปการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากวงจรสวิตช์ซึ่งมีสาเหตุมาจาก 3 ปัจจัยหลัก คือ การเปลี่ยนแปลงสถานะการทำงานของอุปกรณ์อย่างทันทีทันใด, การเรโซแนนซ์ของอุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบภายในวงจร และการเรโซแนนซ์จากผลของการออกแบบลายวงจรดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

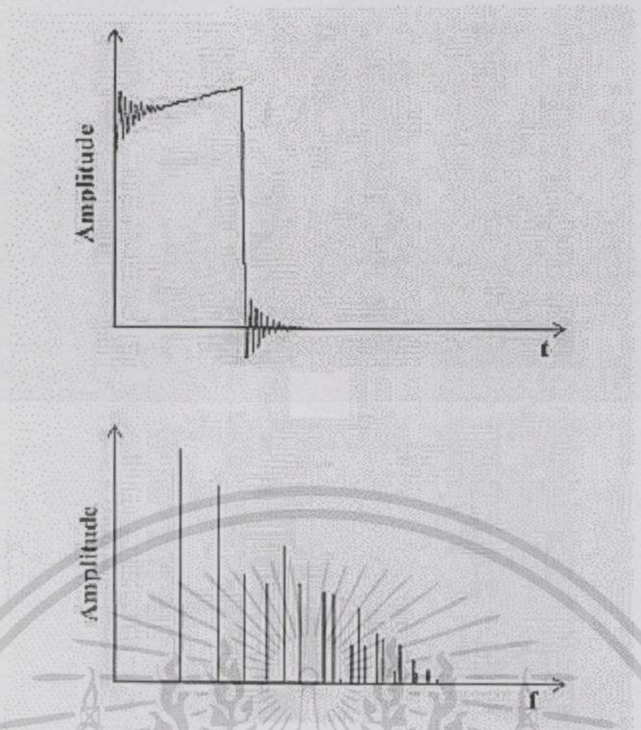


รูปที่ 2.17 ลักษณะการเกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า [7]

2.2.9.1 สัญญาณรบกวนจากการเปลี่ยนแปลงสถานะการทำงานของอุปกรณ์อย่างทันทีทันใด

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังมักมีส่วนที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์สวิทช์ซิ่งซึ่งทำงานที่ย่านความถี่สูงและก่อให้เกิดผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าต่อเวลา $\left(dv/dt\right)$ ที่สูง ซึ่งมักจะเกิดในช่วงเริ่มหยุดนำกระแส (turn off) ของอุปกรณ์ และผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าต่อเวลา $\left(di/dt\right)$ ที่สูง ซึ่งมักจะเกิดในช่วงเริ่มนำกระแส (turn on) ของอุปกรณ์ จะมีผลทำให้รูปคลื่นที่อุปกรณ์สวิทช์ซิ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดด้วย ทำให้รูปคลื่นเกิดการแกว่งของสัญญาณ (Ringing) จากความสัมพันธ์ระหว่างรูปคลื่นในโดเมนของเวลาเปรียบเทียบกับโดเมนความถี่ การที่รูปกราฟมีการเปลี่ยนแปลงใดๆในเวลาสั้นๆจะมีผลทำให้ความสูงของรูปคลื่นสัญญาณที่เกิดในโดเมนความถี่มีค่าสูงไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 คลื่นที่เกิดการแกว่งของสัญญาณในโดนเมนเวลาและโดเมนความถี่ [6]

อันนำไปสู่การเกิดสัญญาณรบกวนที่ไม่พึงประสงค์ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังส่งผลให้เกิดความผิดเพี้ยนหรือการทำงานขัดข้องของตัวอุปกรณ์เองและอุปกรณ์อื่นๆในวงจรด้วย เช่น การเกิดสัญญาณรบกวนทางสายตัวนำที่เชื่อมต่อกับสายประธานหรืออาจจะแผ่กระจายสัญญาณรบกวนไปทางอากาศรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในระบบได้ เช่น ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์, อินเวอร์เตอร์ และแหล่งจ่ายสวิทช์ชิ่ง เป็นต้น

2.2.9.2 สัญญาณรบกวนจากการเรโซแนนซ์ของอุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบภายในวงจร

โดยทั่วไปแล้วค่าอิมพิแดนซ์ของตัวต้านทาน, ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ จะถูกนิยามว่ามีลักษณะที่เป็นเชิงเส้น และมีค่าดังต่อไปนี้ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่เป็นตัวต้านทาน

$$Z = \frac{V}{I} = R \tag{2.11}$$

ในกรณีที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ

$$Z = \frac{V}{I} = j2\pi fL \tag{2.12}$$

ในกรณีที่เป็นตัวเก็บประจุ

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{1}{j2\pi fC} \tag{2.13}$$

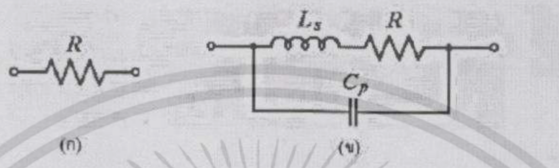
รูปที่ 2.19 อิมพิแดนซ์ของอุปกรณ์ในอุดมคติ [2]

จากสมการที่ (2.11) ถึง (2.13) สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของอิมพิแดนซ์ของอุปกรณ์ในอุดมคติได้ดังรูปที่ 2.19 โดยที่ตัวต้านทานจะมีค่าอิมพิแดนซ์คงที่ทุกความถี่ ค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่าอิมพิแดนซ์เพิ่มขึ้นตามความถี่ และค่าความจุไฟฟ้าจะมีค่าอิมพิแดนซ์ลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น สำหรับการพิจารณาแบบอุดมคติเท่านั้น เมื่ออุปกรณ์เหล่านี้ถูกนำมาใช้งานในสภาวะการทำงานจริง สมการดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้งานครอบคลุมในทุกกรณีได้ เนื่องจากจะมีค่าความต้านทานแฝง (Parasitic resistance: R_P), ค่าความเหนี่ยวนำแฝง (Parasitic inductance: L_P) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเก็บประจุแฝง (Parasitic capacitance: C_P) เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยค่าเหล่านี้จะสามารถตัดทิ้งได้หากพิจารณานย่านความถี่ต่ำแต่จะไม่สามารถตัดทิ้งได้และมีผลมากในการทำงานย่านความถี่สูง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงความถี่ที่เกิดจากการออสซิลเลดภายในตัวของอุปกรณ์ (Self-oscillation) ที่มีผลต่อค่าอิมพิแดนซ์ของอุปกรณ์และสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของความถี่นั้นๆ

ตัวต้านทาน



รูปที่ 2.20 แบบจำลองตัวต้านทาน

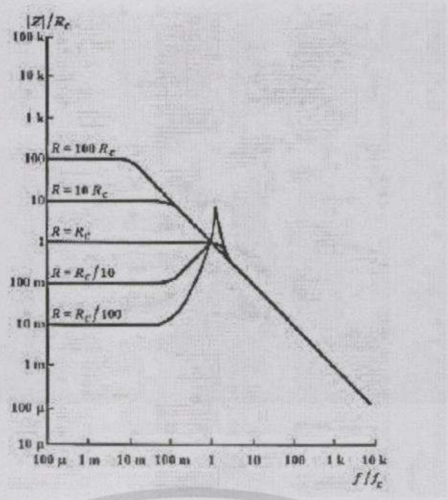
(ก) ตัวต้านทานในอุดมคติ (ข) ตัวต้านทานที่เกิดการสูญเสีย

จากรูปที่ 2.30 (ข) เป็นการจำลองตัวต้านทานในขณะที่ใช้งานในย่านความถี่สูง ซึ่งองค์ประกอบจะไม่ได้ประกอบไปด้วยตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว แต่จะมีตัวเหนี่ยวนำแฝงต่ออนุกรมและมีตัวเก็บประจุแฝงต่อขนานร่วมอยู่ด้วย ซึ่งมีผลให้ค่าอิมพิแดนซ์รวมของตัวต้านทานมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากสมการที่ (2.11) เป็นสมการที่ (2.14)

$$Z=\frac{V}{I}=\frac{1}{\frac{1}{R+j2\pi fL_p}+j2\pi fC_p} \tag{2.14}$$

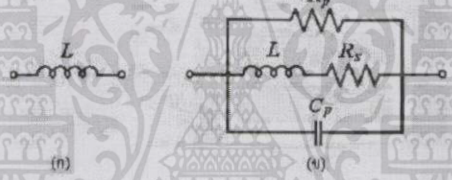
ในการเลือกใช้ตัวต้านทานภายในวงจร จึงต้องเลือกตัวต้านทานชนิดที่สามารถใช้งานได้ในย่านความถี่ที่ต้องการใช้งานกล่าวคือความถี่เรโซแนนซ์ภายในตัวต้านทานสูงกว่าความถี่ใช้งานมากๆ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการเลื่อนเฟสของอิมพิแดนซ์ และจากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ของค่าอิมพิแดนซ์ของตัวต้านทานได้ดังรูปที่ 2.21 และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ว่าตัวต้านทานที่มีค่าอิมพิแดนซ์สูงที่ความถี่ต่ำจะมีค่าลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น ส่วนตัวต้านทานที่มีค่าอิมพิแดนซ์ต่ำที่ความถี่ต่ำจะมีค่าสูงขึ้นก่อนแล้วจึงลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพิแดนซ์ของตัวต้านทานกับความถี่

ตัวเหนี่ยวนำ



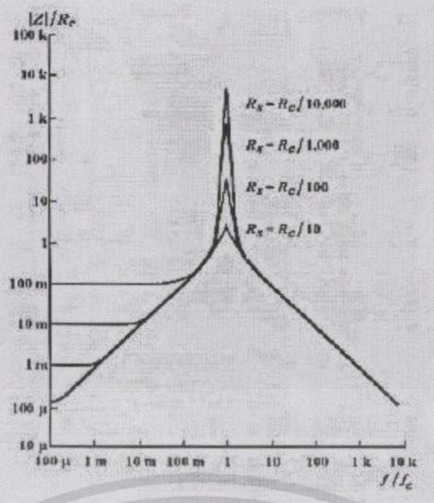
รูปที่ 2.22 แบบจำลองตัวเหนี่ยวนำ

(ก) ตัวเหนี่ยวในอุดมคติ (ข) ตัวเหนี่ยวนำที่เกิดการสูญเสีย

ในย่านการทำงานที่ความถี่สูงจะมีองค์ประกอบจำลองค่าความต้านทานสมมูลของการสูญเสียในแกน R_p และค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดความสูญเสียเนื่องจากความต้านทานภายในตัวนำจะถูกจำลองด้วยค่าความต้านทานสมมูลต่ออนุกรม R_S ค่าความจุไฟฟ้าแฝง C_p ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำ มีผลให้ค่าอิมพิแดนซ์รวมของตัวเหนี่ยวนำมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากสมการที่ (2.12) เป็นสมการที่ (2.15)

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{1}{\dfrac{1}{j2\pi fL + R_S} + \dfrac{1}{R_p} + j2\pi fC_p} \qquad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

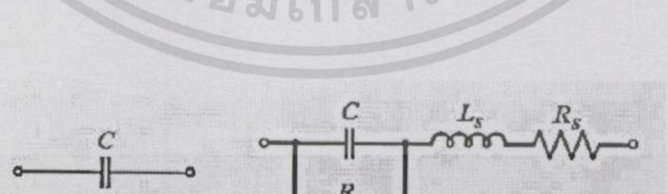


รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพิแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำกับความถี่

จากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ของค่าอิมพิแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำได้ดังรูปที่ 2.23 และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ว่าตัวเหนี่ยวนำที่ทำงานที่ความถี่ต่ำ ที่ความต้านทาน R_S มีค่าต่ำจะมีค่าอิมพิแดนซ์ที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ถ้าค่าความต้านทาน R_S สูงจะมีค่าค่อนข้างคงที่ จนกระทั่งความถี่สูงขึ้นจนถึงค่าความถี่เรโซแนนซ์ ค่าอิมพิแดนซ์จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและที่ความถี่ที่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ค่าอิพิแดนซ์จะลดลงโดยที่สามารถหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ของตัวเก็บประจุ (f_C) ได้จากสมการ (2.16)

$$f_C = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_p}} \tag{2.16}$$

ตัวเก็บประจุ



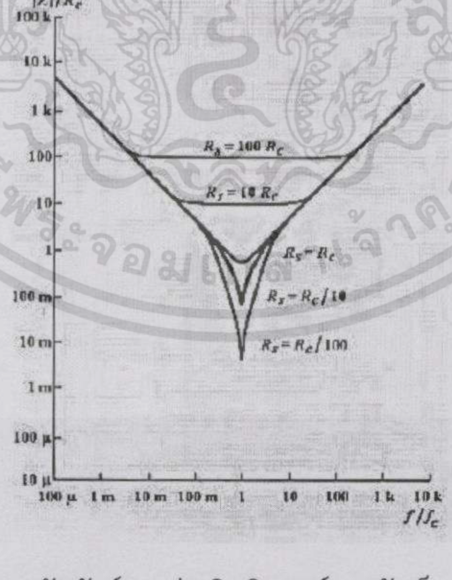
รูปที่ 2.24 แบบจำลองตัวเหนี่ยวนำ

(ก) ตัวเหนี่ยวนำในอุดมคติ (ข) ตัวเหนี่ยวนำที่เกิดการสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุในอุดมคตินี้จะไม่มีการสูญเสียทำให้มีค่าอิมพิแดนซ์มีค่าเท่ากับค่ารีแอกแตนซ์ อิมพิแดนซ์ของตัวเก็บประจุในอุดมคติจะมีค่าลดลงเมื่อความถี่มีค่าสูงขึ้นดังรูปที่ 2.19 ที่การใช้งานย่านความถี่สูงจะมีองค์ประกอบแฝงเกิดขึ้นโดยมีความต้านทานรั่ว (R_P) เป็นค่าความต้านทานต่อขนานเกิดขึ้นที่แผ่นตัวนำ แต่เนื่องจากค่าความจุไฟฟ้ามีค่าแปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำ โดยทั่วไปค่าความต้านทานรั่วจะมีค่าสูงมาก, ความต้านทานสมมูลแบบอนุกรม (R_S) เป็นค่าความต้านทานรวมของแผ่นตัวนำและค่าความต้านทานของการสูญเสียจากไดอิเล็กตริกจะเกิดในรูปของความร้อนและจะมีค่าที่สูงเนื่องจากปรากฏการณ์ผิวและค่าความต้านทานนี้จะมีค่าที่น้อยลงเมื่อใช้แผ่นตัวนำที่มีขนาดใหญ่ และค่าความเหนี่ยวนำแฝง (L_S) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความยาวขาของตัวเก็บประจุเพราะจะทำให้เกิดลูปกระแสที่กว้าง สามารถหาค่าอิมพิแดนซ์ของตัวเก็บประจุในการใช้งานทั่วไปได้ดังสมการ (2.17) และความสัมพันธ์ระหว่างอิมพิแดนซ์ของตัวเก็บประจุกับความถี่เป็นไปตามรูปที่ 2.25

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{1}{j2\pi fC + \frac{1}{R_p}} + j2\pi fL_s + R_s \tag{2.17}$$



รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพิแดนซ์ของตัวเก็บประจุกับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

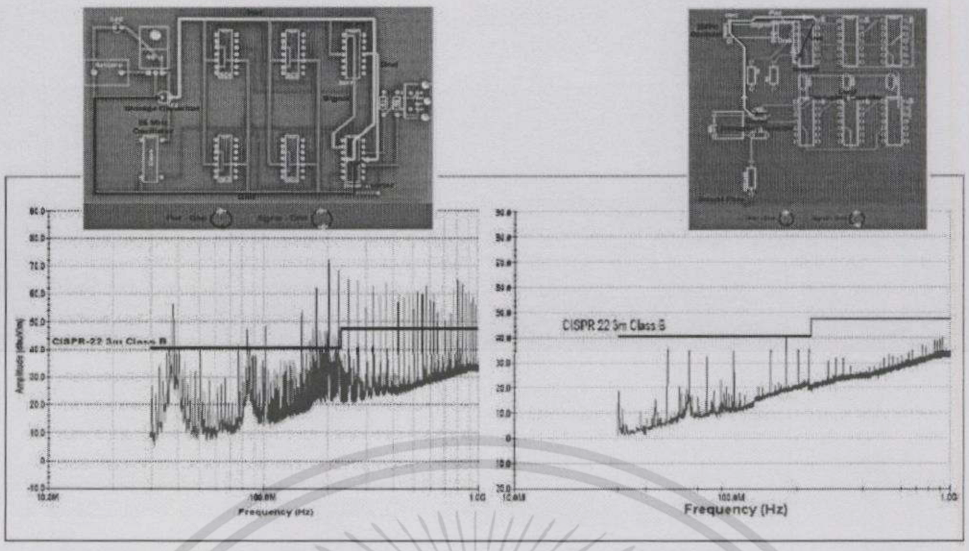
จากรูปที่ 2.25 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอิมพิแดนซ์ของตัวเก็บประจุกับความถี่ได้ว่าเมื่อค่าความต้านทาน R_S มีค่ามากๆ ค่าประมาณของอิมพิแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อความถี่เข้าใกล้ความถี่เรโซแนนซ์ แต่ถ้าค่าความต้านทาน R_S มีค่าน้อย ค่าอิมพิแดนซ์บริเวณใกล้ความถี่เรโซแนนซ์จะมีความแตกต่างกันมาก โดยสามารถหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ของตัวเก็บประจุ (f_C) ได้จากสมการ (2.18)

$$f_C = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL_S}} \tag{2.18}$$

2.2.9.3 สัญญาณรบกวนจากผลของการออกแบบลายวงจร

การออกแบบลายวงจรที่เหมาะสมก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะสามารถลดการแผ่กระจายของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าได้อีกทั้งการจัดวางอุปกรณ์ในตำแหน่งที่เหมาะสมจะทำให้อุปกรณ์ที่มีการตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนที่ไวจะสามารถทำงานได้อย่างเป็นปกติ โดยการออกแบบส่วนใหญ่มุ่งประเด็นไปที่การลดการเกิดเรโซแนนซ์ในอุปกรณ์ภายในวงจร เช่น การตัดขาของตัวเก็บประจุเพื่อลดค่าตัวเก็บประจุแฝงที่แปรผันโดยตรงต่อความยาวขาของตัวเก็บประจุ หรือการจัดวางสายไลน์และสายนิวทรัลให้อยู่ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้สนามแม่เหล็กจากการเหนี่ยวนำสามารถหักล้างกันได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้และการใช้ระนาบกราวด์เพื่อให้เกิดลูปของกระแสที่น้อยการจัดวางอุปกรณ์ที่มีความไวต่อสัญญาณรบกวน เช่น ไมโครคอนโทรเลอร์ไว้ที่กึ่งกลางของวงจรและไม่จัดไว้ใกล้ตัวเหนี่ยวนำเพื่อความปลอดภัยและความเสถียรในการทำงานของอุปกรณ์ การออกแบบลายวงจรที่เหมาะสมตามหลักความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถลดระดับของสัญญาณรบกวนได้ดังรูปที่ 2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 2.26 การเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนรหว่างการออกแบบลายวงจร

(ก) แบบไม่คำนึงถึงหลักความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

(ข) แบบคำนึงถึงหลักความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

2.2.10 แนวทางในการลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า [5]

การลดทอนหรือควบคุมสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้ามีแนวคิดดังนี้คือ กำจัดแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน (suppress noise source), ตัดเส้นทางการเชื่อมต่อ (cut-off coupling path) และเพิ่มภูมิคุ้มกันให้แก่ตัวรับผลกระทบ (make receptor insensitive) ซึ่งอาจจะเลือกทำอย่างใดอย่างหนึ่งหรือดำเนินการพร้อมๆกันได้ แต่การลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยวิธีต่างๆมิได้หมายถึงการกำจัดสัญญาณรบกวนให้หมดไปแต่เป็นเพียงแค่การลดระดับสัญญาณรบกวนลงให้มีค่าที่ต่ำและอยู่ในระดับที่มาตราฐานยอมรับ ต่อไปจะเป็นการยกตัวอย่างวิธีการลดทอนระดับสัญญาณรบกวนทางสายตัวนำและทางอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.10.1 การลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

สามารถทำได้โดยการสร้างวงจรกรองความถี่ใช้สำหรับใช้สำหรับ กำหนดให้ความถี่ผ่านไปได้ หรือผ่านไปไม่ได้ อาจจะเป็น เฉพาะช่วงใดช่วงหนึ่ง หรือช่วงกว้าง ๆ ก็ได้ ซึ่งจะประกอบขึ้นด้วย R (resistor), L (inductors) และ C (capacitors) โดยเอาคุณสมบัติเฉพาะของตัวของอุปกรณ์แต่ละชนิด คือ L จะยอมให้ความถี่ต่ำผ่านได้ง่าย ความถี่สูงผ่านยาก C ความถี่ต่ำผ่านยาก ความถี่สูงผ่านง่าย ส่วน R จะมีต้านทานทุกความถี่ให้มีระดับสัญญาณลดลง ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวงจรกรองความถี่สูง (Low pass filter)

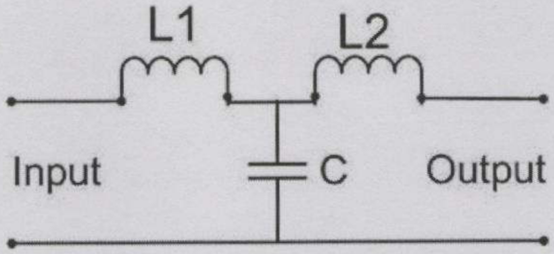
รูปที่ 2.27 วงจรสมมูลของวงจรกรองความถี่สูงและ[5]

วงจร low pass filter มีลักษณะการต่อคือ ใช้ L อนุกรมกับวงจร และ C ขนานกับวงจร คุณสมบัติของวงจรก็คือ เมื่อเราป้อนความถี่ ต่ำเข้าวงจร L จะมีค่า X_L ต่ำ C จะมีค่า X_C สูง ทำให้ความถี่ ต่ำผ่าน L ได้สะดวก ระดับสัญญาณ Output จึงผ่านได้มาก แต่เมื่อความถี่สูงกว่าจุดที่กำหนด ค่า X_L จะมากขึ้น ค่า X_C จะลดลง ทำให้ความถี่ ผ่านขดลวดได้ลดลง บางส่วนที่ผ่านไปได้ก็จะถูก C ดึงลงกราวด์ ระดับสัญญาณ Output จึงผ่านได้น้อยมาก

วงจร low pass filter ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

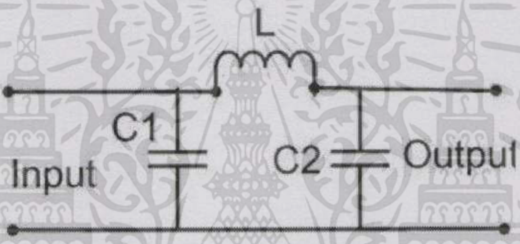
T Type low pass filter การใช้ L หรือ C เพียงตัวเดียว ไม่สามารถกำจัดสัญญาณความถี่สูงได้หมด ตรงจุด Cut Off ทำให้ความถี่สูงผ่านไปได้ เราจึงแก้ปัญหาโดยการเพิ่ม L เข้าไปในวงจรอีกชุด เมื่อต่อแล้ว ลักษณะวงจรคล้าย ตัว T เราจึงเรียกว่า วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบที การกรองความถี่ ถ้าต้องการประสิทธิภาพ เราอาจจะใช้วงจรนี้หลายชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 วงจรกรองความถี่สูงแบบที (T type)

Pi Type low pass filter วงจรนี้จะใช้ C 2 ตัวและ L 1 ตัว ต่อกันดังรูป รูปร่างคล้ายตัว Pi (พาย) เราก็เรียกกันว่า วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน แบบพาย วงจรแบบนี้จะนิยมใช้ในภาคจ่ายไฟ และวงจร Regulator

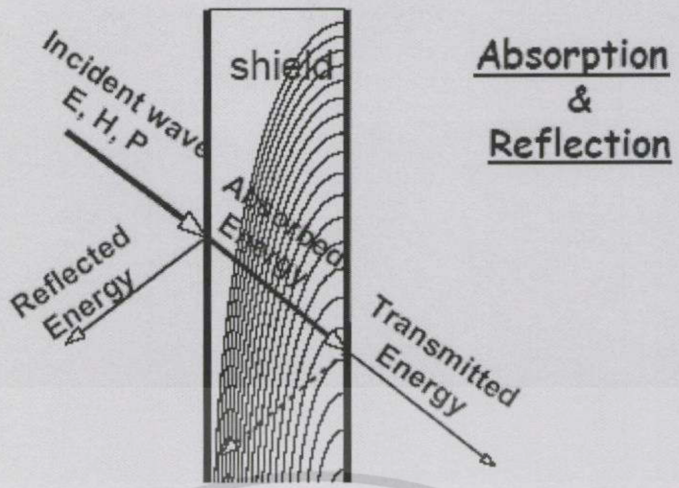


รูปที่ 2.29 วงจรกรองความถี่สูงแบบพาย (Pi type)

2.2.10.2 การลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ

สามารถทำไดโดยการสร้างเกราะป้องกันสัญญาณ (Shielding) เพื่อแก้ปัญหาการแพร่กระจายทางอากาศทำได้โดยเริ่มตั้งแต่ การออกแบบที่ดี เช่นการออกแบบไม่ให้ลายวงจรมี Close loop มาก ขนาดลายวงจร และสายไฟฟ้าที่ใหญ่ เพื่อลดการสร้างสัญญาณรบกวน และหากเกิดสัญญาณรบกวนแล้วสามารถแก้ไขไดโดยการออกแบบเกราะป้องกันสัญญาณ (Shielding) เพื่อป้องกันสัญญาณออกไป หรือเข้ามามากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

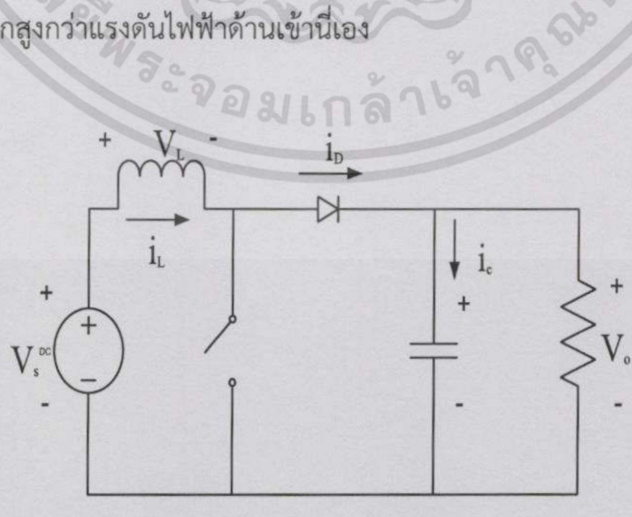


รูปที่ 2.30 การ Shielding

หลักเกณฑ์ของการออกแบบเกราะป้องกันสัญญาณ (Shielding) คือการเลือกอุปกรณ์ส่วนที่เป็นผิวด้านนอกที่มีความมันสูงเพื่อให้สัญญาณสะท้อนกลับ (Reflected energy) และส่วนที่อยู่ด้านในสามารถซึมซับสัญญาณ (Absorbed energy) ได้ดี

2.3 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ [1]

วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ที่เรียกวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ก็เพราะแรงดันไฟฟ้าด้านออกสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้านี่เอง



รูปที่ 2.31 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

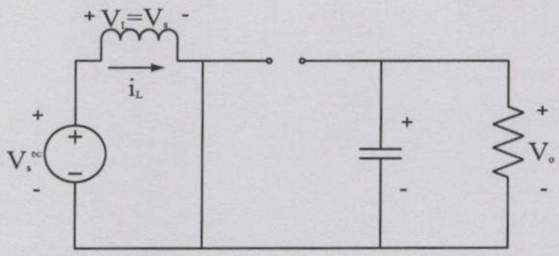
2.3.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

1. การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เช่นเดียวกับวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้
2. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากันและมีค่าเป็นบวกเสมอ
3. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา ในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์
4. ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าคงที่
5. กำลังไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าขาออก กรณีนี้ไม่คำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร โดยกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของวงจรเป็นหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์

2.3.2 หลักการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าขาออกตามต้องการ จะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงสภาวะอยู่ตัวดังนี้

2.3.2.1 ขณะสวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.32 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยผ่านสวิตช์ ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้า

$$-V_S + V_L = 0 \tag{2.19}$$

$$V_L = V_S = L\frac{di_L}{dt} \tag{2.20}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_S}{L} \tag{2.21}$$

ขณะที่สวิตช์นำกระแส $dt = DT$ เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ อาจถือว่าการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \tag{2.22}$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_S DT}{L} \tag{2.23}$$

$\Delta i_{L,on}$ หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส

2.3.2.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

รูปที่ 2.33 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ไดโอดจะถูกไบอัสไปหน้าให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมุติแรงดันไฟฟ้าที่ขาออกมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_S + V_L + V_o = 0 \tag{2.24}$$

$$V_L = V_S - V_o \tag{2.25}$$

$$V_L = L\frac{di_L}{dt} \tag{2.26}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_S - V_o}{L} \tag{2.27}$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส $dt = (1-D)T$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่ และจะถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้น ทำให้เราสามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta i_{L,off} = \left(\frac{V_S - V_o}{L}\right)(1-D)T \tag{2.28}$$

ที่สภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \tag{2.29}$$

$$\left(\frac{V_S}{L}\right)DT + \frac{(V_S - V_o)(1-D)T}{L} = 0 \tag{2.30}$$

$$V_S D + (V_S - V_o)(1-D) = 0 \tag{2.31}$$

$$V_S D + V_S - V_S D - V_o + V_o D = 0 \tag{2.32}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_S - V_o(1-D) = 0 \tag{2.33}$$

$$\frac{V_O}{V_S} = \frac{1}{1-D} \tag{2.34}$$

จากการหาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าที่เรียกว่า อัตราการขยายแรงดัน สามารถหาได้โดยวิธีง่ายๆ โดยใช้สมการแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบซึ่งจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และได้ผลเช่นเดียวกันดังนี้

$$V_{L,av} = V_{L,on}(t_{on}) + V_{L,off}(t_{off}) = 0 \tag{2.35}$$

$$V_{L,on} = V_S \tag{2.36}$$

$$V_{L,off} = V_S - V_o \tag{2.37}$$

$$V_{L,av} = (V_S)(t_{on}) + (V_S - V_o)(t_{off}) = 0 \tag{2.38}$$

$$(V_S)(DT) + (V_S - V_o)(1-D)T = 0 \tag{2.39}$$

$$V_S D + (V_S - V_o)(1-D) = 0 \tag{2.40}$$

$$V_S D + V_S - V_S D - V_o + V_o D = 0 \tag{2.41}$$

$$V_S - V_o(1-D) = 0 \tag{2.42}$$

$$\frac{V_O}{V_S} = \frac{1}{1-D} \tag{2.43}$$

การได้มาซึ่งสมการอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้า แท้จริงแล้วมีหลักการทำงานอันเดียวกัน ทำให้สามารถคำนวณค่าอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้าได้จากการปรับค่าดิวตี้ไซเคิล ดังแสดงในตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้าได้จากการปรับค่าดิวตี้ไซเคิล

ค่าดิวตี้ไซเคิล (D)	อัตราการขยายแรงดัน (Voltage gain) (V_O/V_S)
0.0	1.00
0.1	1.10
0.2	1.25
0.3	1.43
0.4	1.67
0.5	2.00
0.6	2.50
0.7	3.33
0.8	5.00
0.9	10.00
1.0	Infinity

จากกราฟความสำพันธ์เมื่อค่าดิวตี้ไซเคิลเพิ่มขึ้นค่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น ในทางปฏิบัตินิยมปรับอัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 4 เท่า ทั้งนี้เพื่อให้วงจรมีความเสถียรภาพ โดยอัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำสุดคือหนึ่งหรือแรงดันไฟฟ้า ขาออกเท่ากันกับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าในทางทฤษฏีแต่ในทางปฏิบัติแรงดันไฟฟ้าขาออกจะน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้าเล็กน้อย เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด และตัวอุปกรณ์สวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

สมมุติการสูญเสียภายในวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์ กำลังไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ เงื่อนไขนี้ จะได้

$$P_s = P_o = \frac{V_o^2}{R} \tag{2.44}$$

$$P_s = V_s I_s = V_s I_L \tag{2.45}$$

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \tag{2.46}$$

$$V_s I_L = \frac{\left(\frac{V_s}{1-D}\right)^2}{R} \tag{2.47}$$

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \tag{2.48}$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดหาได้จากค่าเฉลี่ยและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแส ดังในสมการ

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \tag{2.49}$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดคือ

$$I_{L,\max} = i_L + \frac{\Delta i_L}{2} \tag{2.50}$$

$$I_{L,\max} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2}\left(\frac{V_s DT}{L}\right) \tag{2.51}$$

$$I_{L,\min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2}\left(\frac{V_s DT}{L}\right) \tag{2.52}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมุติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำเป็นแบบต่อเนื่องและมีค่าเป็นบวก ดังนั้นจะหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด ที่ทำให้วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ได้จากการกำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ดังสมการ

$$I_{L,\min} = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2}\left(\frac{V_S DT}{L}\right) = 0 \tag{2.53}$$

$$\frac{V_S}{(1-D)^2 R} = \frac{1}{2}\left(\frac{V_S}{L}DT\right) \tag{2.54}$$

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \tag{2.55}$$

การปรับค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด สามารถทำได้โดยการปรับที่ค่าดิวตี้ไซเคิล หรือค่าความต้านทานโหลด R หรือค่าความถี่สวิตซิ่ง f

2.3.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าขาออก

การที่มีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่จะสามารถรักษาให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกคงที่แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่มากๆได้เนื่องจากมีราคาแพงและใช้พื้นที่มาก จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสม และค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าขาออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

การคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าขาออกจากยอดถึงยอด สามารถหาได้จากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

$$|\Delta Q| = C\Delta V_o = I_o \Delta t_{on} \tag{2.56}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} \tag{2.57}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta t_{on} = DT \tag{2.58}$$

$$\Delta V_o = \frac{I_o \Delta t_{on}}{C} = \frac{V_o DT}{RC} \tag{2.59}$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \tag{2.60}$$

เมื่อต้องการจะลดอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าขาออก จะทำได้โดยการลดค่าดิวตี้ไซเคิลให้เข้าใกล้ศูนย์ หรือการเพิ่มค่าโหลด หรือเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุหรือเพิ่มค่าความถี่ในการสวิตช์ให้สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การจำลองการทำงานและการเกิดสัญญาณรบกวนในวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

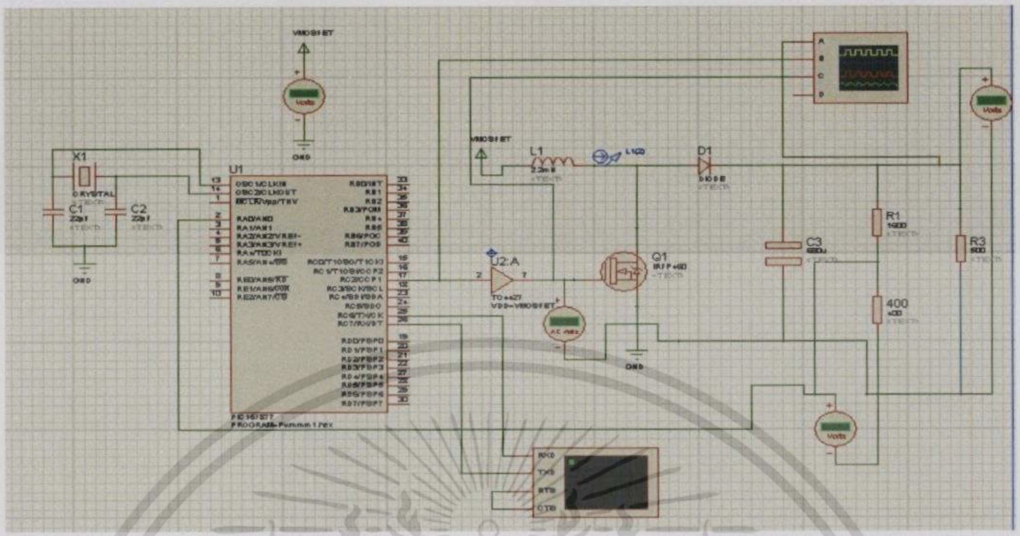
วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ คือ วงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแรงดันไฟฟ้าขาออกจะสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า โดยเงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัวจะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละสายจะมีค่าเท่ากันและเป็นค่าบวกเสมอ
2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์
3. ตัวเก็บประจุจะต้องมีขนาดใหญ่เพื่อทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกค่าคงที่
4. กำลังไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าขาออก

วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์นับเป็นวงจรที่มีประโยชน์ เพราะช่วยลดจำนวนเซลล์แบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบ ส่งผลให้ลดปัญหาพื้นที่จัดเก็บแบตเตอรี่ด้วย เนื่องด้วยวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์สามารถเพิ่มระดับแรงดันให้กับด้านเอาต์พุตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

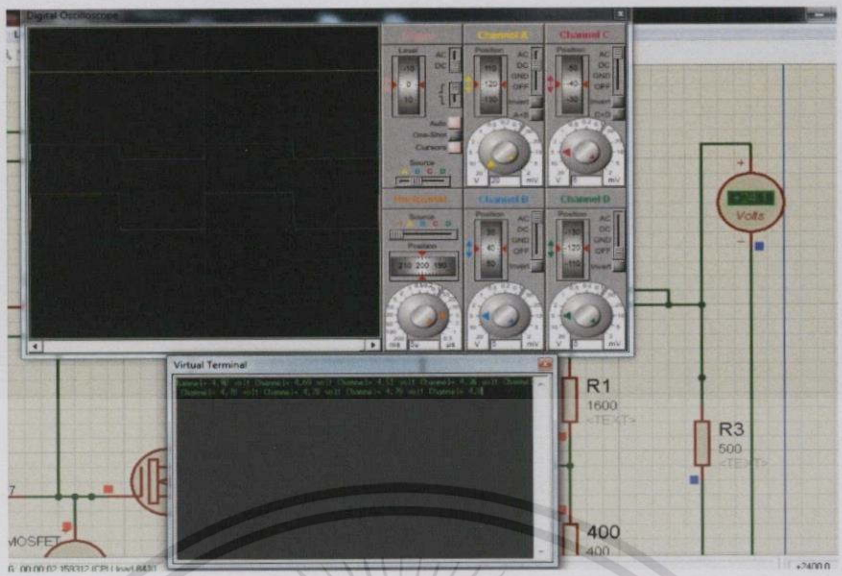
3.1 การจำลองการทำงานของวงจรรักษาระดับแรงดันขาออกของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม PROTEUS



รูปที่ 3.1 แบบจำลองการรักษาระดับแรงดันขาออกของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เมื่อเปลี่ยนแปลงโหลด

จากรูปที่3.1เป็นวงจรบูสต์ที่ใช้มอสเฟสเป็นอุปกรณ์สวิตช์ชิ่ง(switching)ซึ่งจะใช้ในย่านความถี่สูงโดยจะควบคุมให้นำกระแสด้วยความต่างศักย์ระหว่างขาเกต(gate)กับซอส(source)ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์มาสร้างสัญญาณ PWM เพื่อขับให้มอสเฟสนำกระแสตามที่ต้องการและเมื่อสามารถทำให้มอสเฟสนำกระแสและได้แรงดันขาออกมาจะทำการควบคุมระดับแรงดันโดยใช้วงจรป้อนกลับแบบลบ (Negative feedback) โดยจากรูปจะทำการแบ่งแรงดัน (voltage divider)โดยใช้ตัวต้านทานโดยในที่นี้จะแบ่งแรงดันจาก 24V ให้เหลือ 4.8Vมาเข้าในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบค่าซึ่งถ้าค่ามากกว่าที่กำหนดไมโครคอนโทรลเลอร์จะลดค่าดิวตี้ไซเคิล(duty cycle)ทำให้กำลังขยายของวงจรบูสต์ลดลงและในทางตรงข้ามเมื่อแรงดันต่ำกว่าค่าที่กำหนดจะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มค่าดิวตี้ไซเคิลทำให้กำลังขยายของวงจรบูสต์มากขึ้น

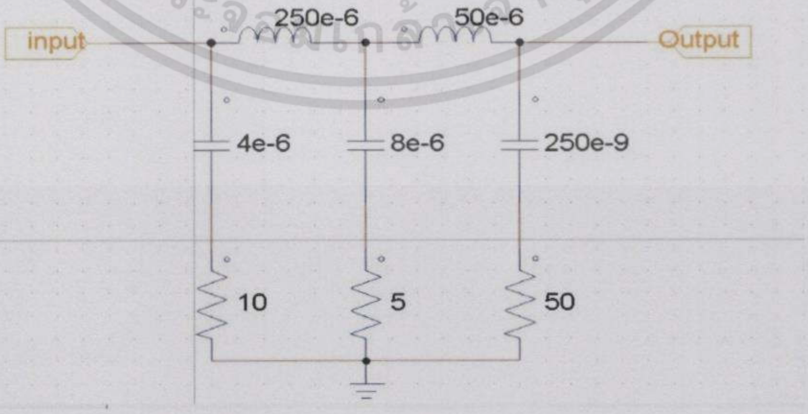
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ผลการจำลองการรักษาระดับแรงดันขาออกของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เมื่อเปลี่ยนแปลงโหลดตั้งแต่ 100 Ω ถึง 1000 Ω

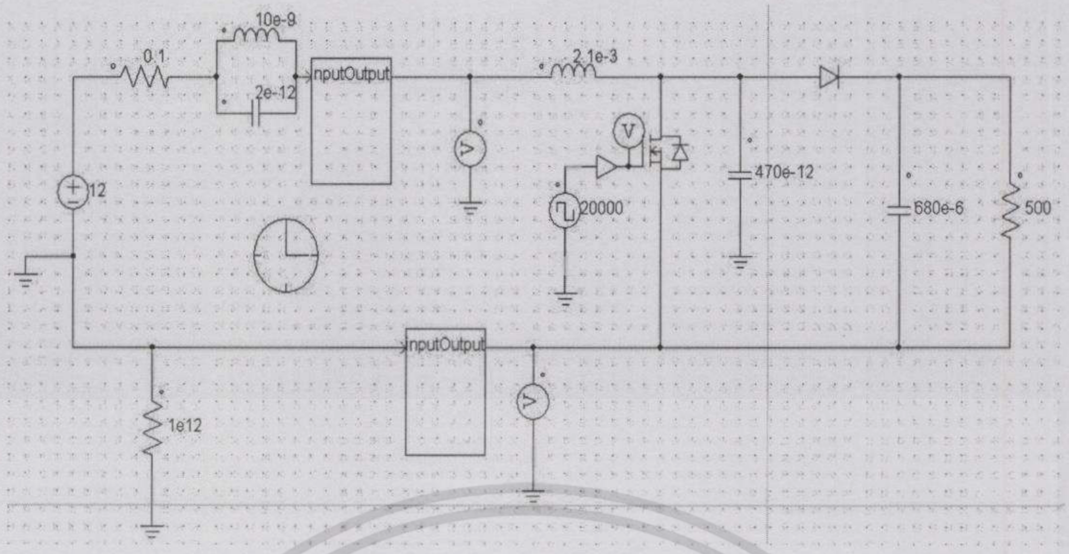
3.2 การจำลองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม Psim

การวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจำเป็นต้องมีโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (Line Impedance Stabilization Network : LISN) ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ดังรูปที่ 3.3 ต่อเข้าที่ด้านหน้าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 3.4 โดยมีตัวเก็บประจุแฝงต่อที่ขาเดรนของมอสเฟตลงกับกราวด์ที่ 470 pF



รูปที่ 3.3 โครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (LISN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แบบจำลองบูสคอนเวอร์เตอร์พร้อม LISN

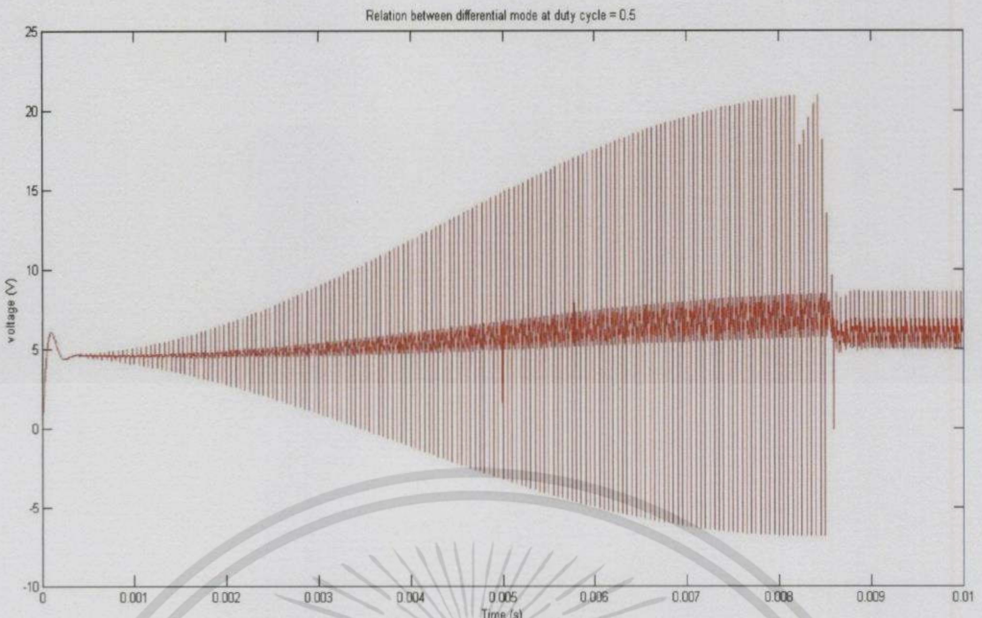
3.3 ผลการจำลองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

3.3.1 ผลการจำลองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในโหมดผลต่าง (Differential Mode)

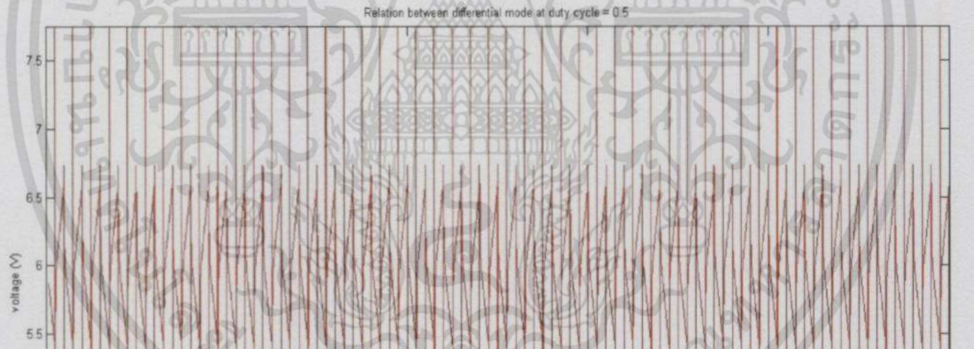
ทำการวัดสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง โดยวัดแรงดันระหว่างไลน์กับกราวด์ และแรงดันระหว่างนิวทรัลกับกราวด์ ดังสมการ

$$V_{DM} = \frac{V_{LG} - V_{NG}}{2} \tag{2.43}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

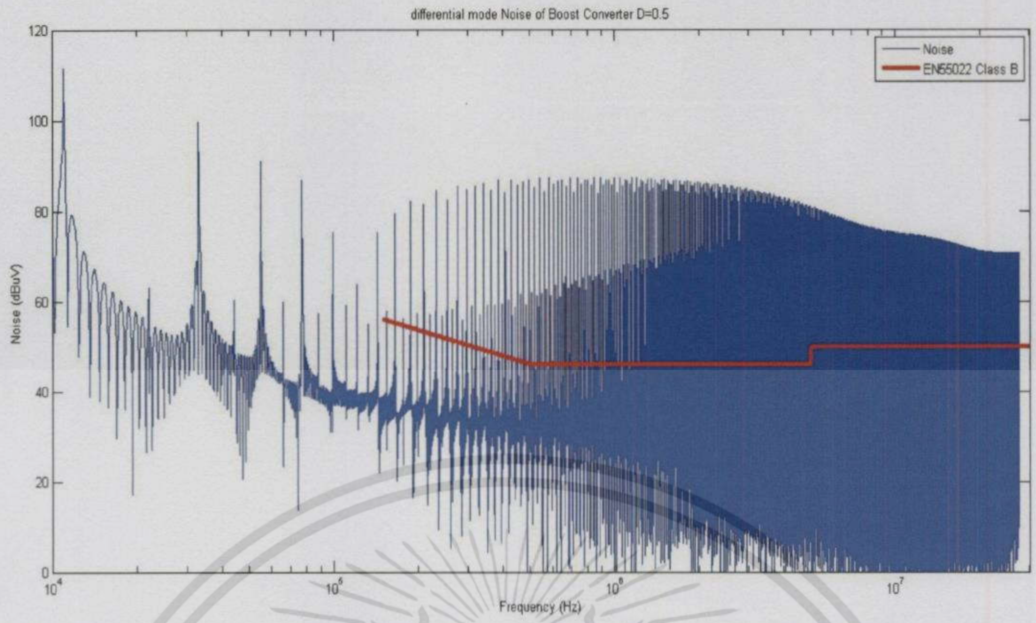


รูปที่3.5 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหมดผลต่างในโดเมนเวลา(Time Domain)



รูปที่3.6 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหมดผลต่างในโดเมนเวลา(Time Domain)เมื่อวงจรทบระดับแรงดันกระแสตรงเข้าสู่สภาวะคงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



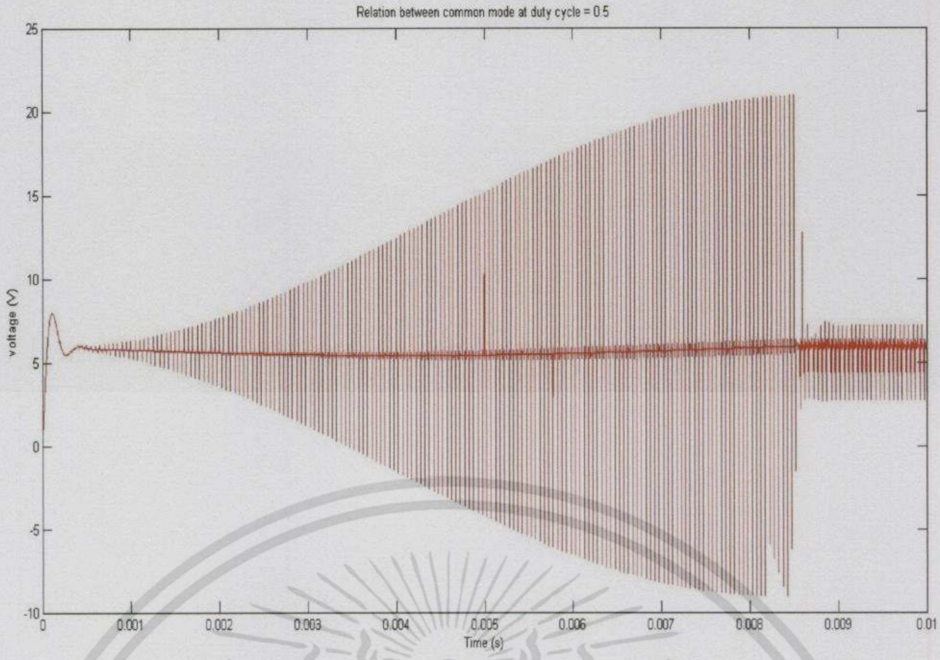
รูปที่3.7 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหมดผลต่างในโดเมนความถี่(Frequency Domain)และเส้นมาตรฐาน EN 55022

3.3.2 ผลการจำลองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในโหมดผลร่วม(Common Mode)

ทำการวัดสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม โดยวัดแรงดันระหว่างไลน์กับกราวด์ และแรงดันระหว่างนิวทรัลกับกราวด์ ดังสมการ

$$V_{CM} = \frac{V_{LG} + V_{NG}}{2} \tag{2.44}$$

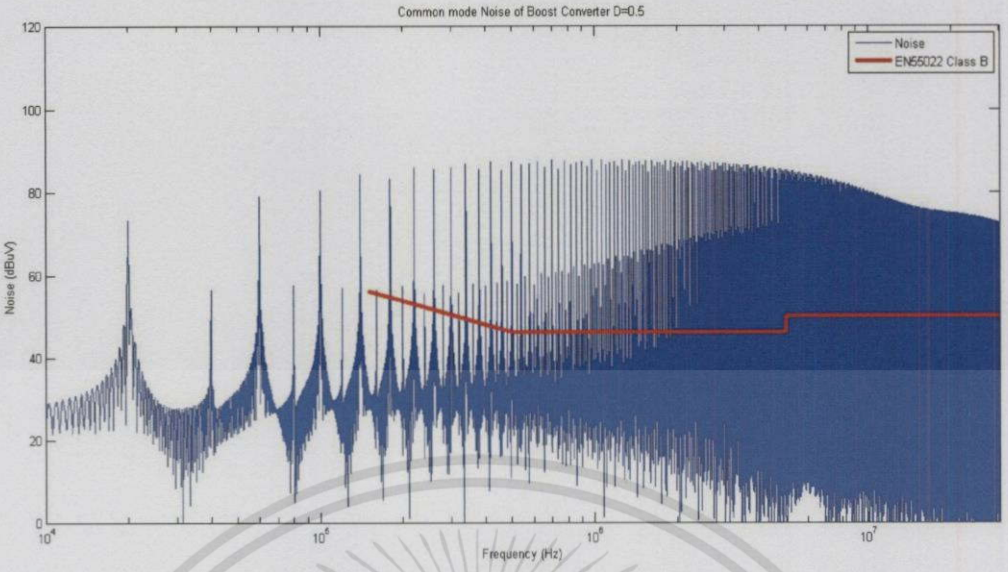
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.8 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหมดผลร่วมในโดเมนเวลา(Time Domain)

รูปที่3.9 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหมดผลร่วมในโดเมนเวลา(Time Domain)เมื่อเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.10 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหมดผลร่วมในโดเมนความถี่(Frequency Domain)และเส้นมาตรฐาน EN 5502

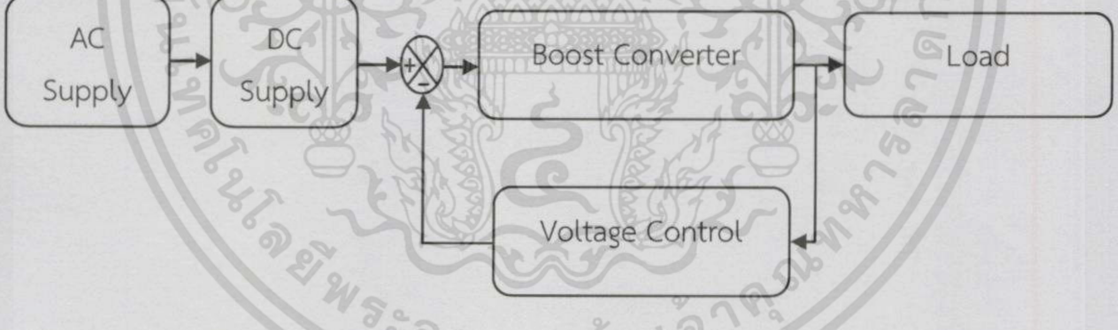
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองจริง

4.1 การทดลอง

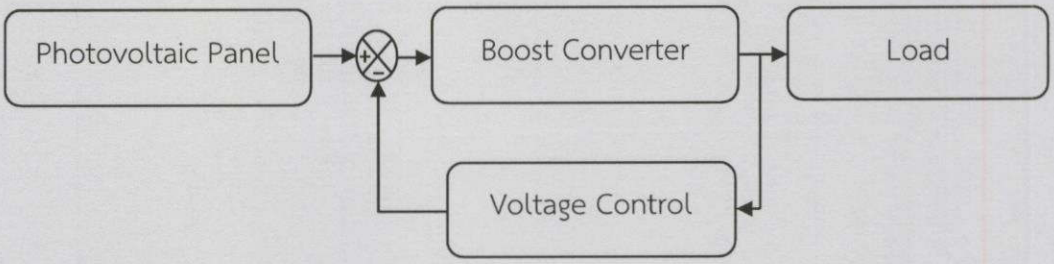
จากการจำลองสัญญาณรบกวนจากวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์โดยใช้โปรแกรม Psim และจำลองการควบคุมป้อนกลับแบบลบเพื่อการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของวงจรโดยโปรแกรม Proteus พบว่าสัญญาณดิวตี้ไซเคิลที่ถูกสร้างมาจากไมโครคอนโทลเลอร์ pic16f877 สามารถควบคุมการทำงานของ MOSFET ให้วงจรสามารถรักษาระดับแรงดันได้โดยเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ถูกแบ่งแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่กำหนดไว้ที่ 24 โวลต์วงจรจะทำการปรับเพิ่มค่าดิวตี้ไซเคิลเพื่อให้วงจรสามารถรักษาระดับแรงดันได้และในทางกลับกันเมื่อแรงดันไฟฟ้าขาออกสูงกว่าแรงดันอ้างอิงที่กำหนดวงจรจะทำการปรับลดค่าดิวตี้ไซเคิลให้ต่ำลงเพื่อทำให้สามารถรักษาระ ดับแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การควบคุมป้อนกลับแบบลบเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาออก

จากการสร้างวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงและเชื่อมต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าวงจรสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกได้จริงโดยมีช่วงการทำงาน อยู่ที่แรงดันขาเข้าตั้งแต่ 8 โวลต์ถึง 23 โวลต์และโหลดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 10 โอห์มถึง 500 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

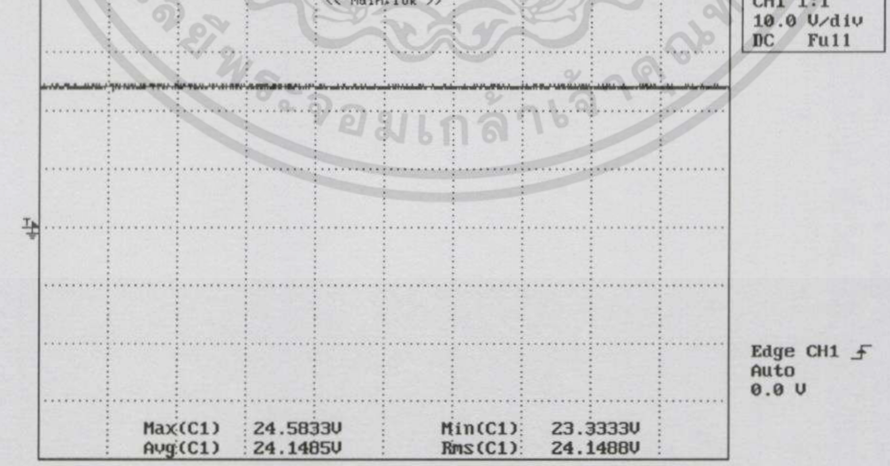


รูปที่ 4.2 การควบคุมป้อนกลับแบบลบเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนในส่วนแรกคือส่วนการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อประสิทธิภาพของวงจร และในส่วนที่สองคือส่วนการลดทอนสัญญาณรบกวนด้วยวงจรกรองสัญญาณความถี่สูง (low-pass filter)

4.1.1 ส่วนการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อประสิทธิภาพของวงจร

ในส่วนนี้เราจะทำการวัดประสิทธิภาพและการรักษาระดับแรงดันโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้าที่ 18-24 โวลต์ และพิกัดกระแสที่ 6 แอมป์และทำการเปลี่ยนค่าตัวต้านทานที่ทำหน้าที่เป็นภาระทางไฟฟ้าและทำการบันทึกค่าต่างๆตามตารางที่ 4.1



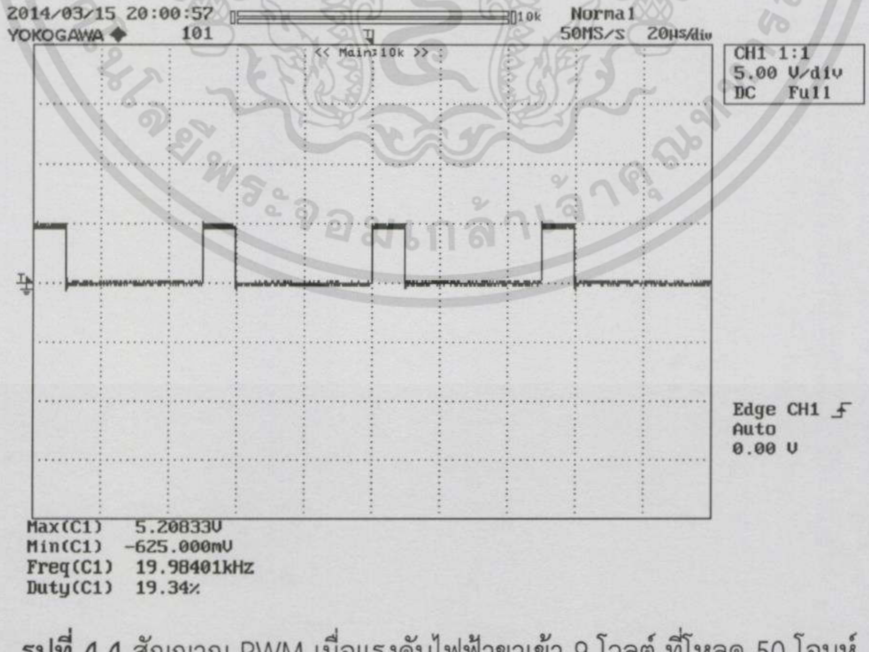
รูปที่ 4.3 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าขาออกเมื่อไม่ใส่วงจรฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดประสิทธิภาพของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรง-กระแสตรง

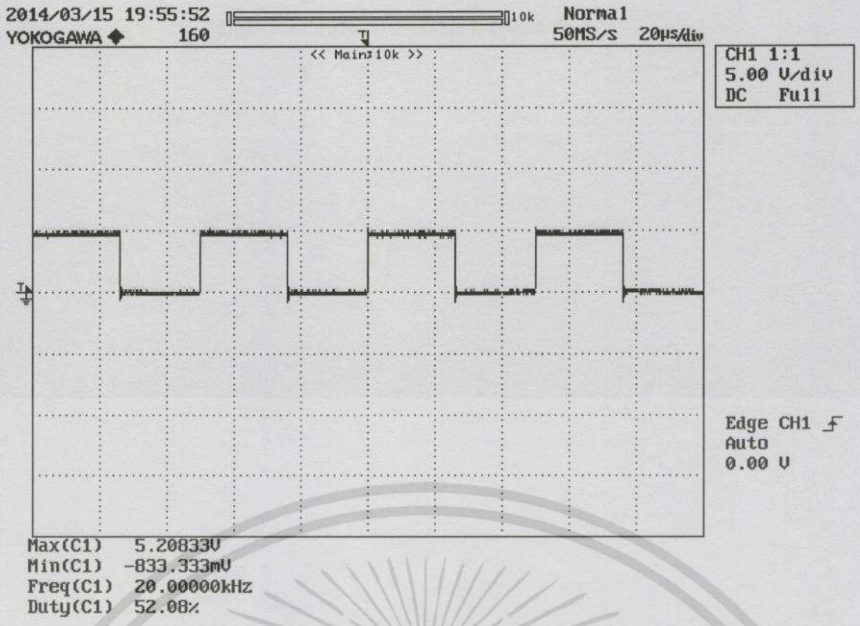
R	V_{input}	I_{input}	P_{input}	V_{output}	I_{output}	P_{output}	Efficiency
500.00	17.00	0.09	1.462	24.10	0.05	1.157	79.12%
100.00	17.00	0.47	7.939	24.00	0.21	5.064	63.79%
50.00	17.00	0.89	15.13	23.90	0.40	9.560	63.19%
33.33	17.00	1.27	21.573	23.80	0.60	14.280	66.19%
25.00	17.00	1.65	28.05	23.80	0.82	19.397	69.15%
20.00	16.90	2.19	37.011	23.80	1.05	24.990	67.52%
16.67	16.90	2.70	45.63	23.70	1.30	30.739	67.37%
14.29	16.90	3.25	54.925	23.70	1.53	36.261	66.02%
12.50	16.90	3.88	65.572	23.70	1.80	42.660	65.06%
11.11	16.90	4.44	75.036	23.70	1.98	46.926	62.54%
10.87	16.90	4.60	77.74	23.70	2.00	47.400	60.97%
10.64	16.90	4.75	80.275	23.70	2.08	49.296	61.41%
10.42	16.90	4.95	83.655	23.70	2.13	50.481	60.34%
10.20	16.90	5.18	87.542	23.70	2.19	51.903	59.29%

4.1.1.1 รูปคลื่นสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า

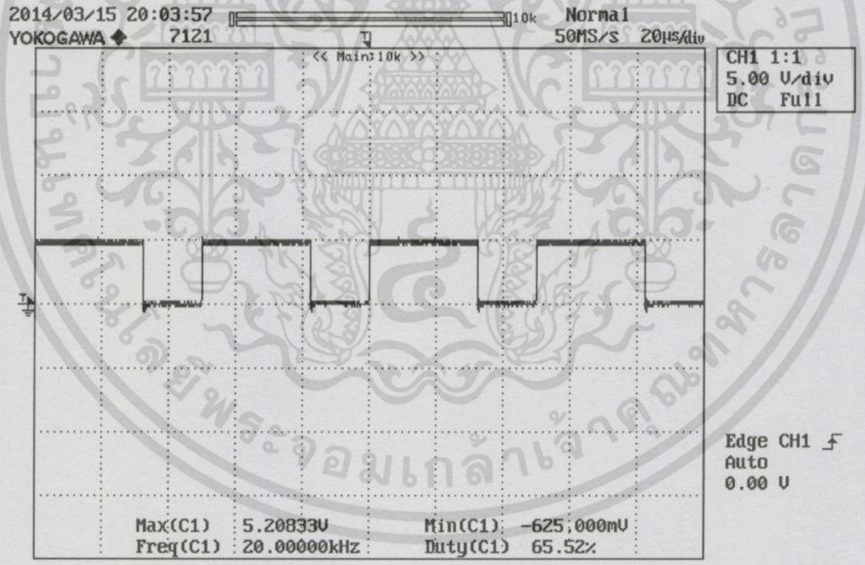


รูปที่ 4.4 สัญญาณ PWM เมื่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 9 โวลต์ ที่โหลด 50 โอมห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



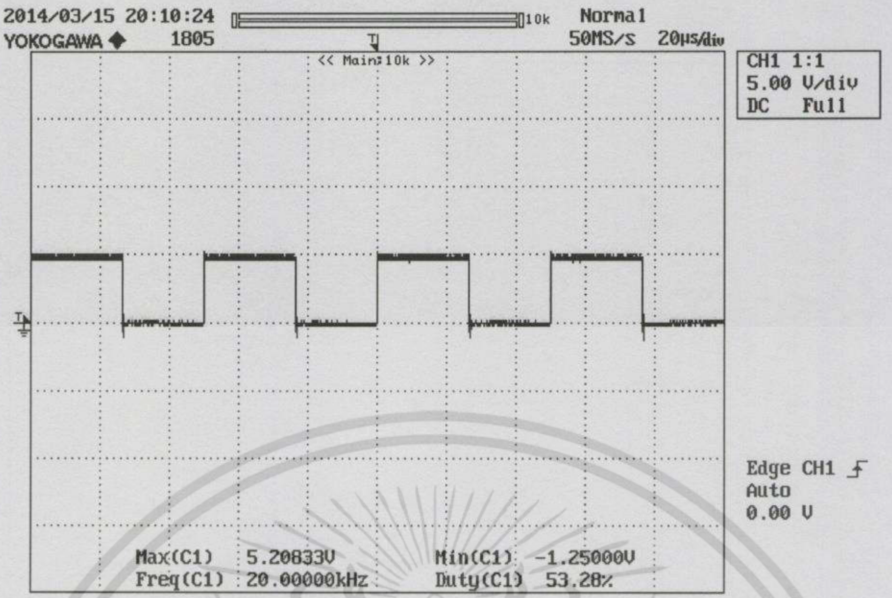
รูปที่ 4.5 สัญญาณ PWM เมื่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 12 โวลต์ ที่โหลด 50 โอมห์



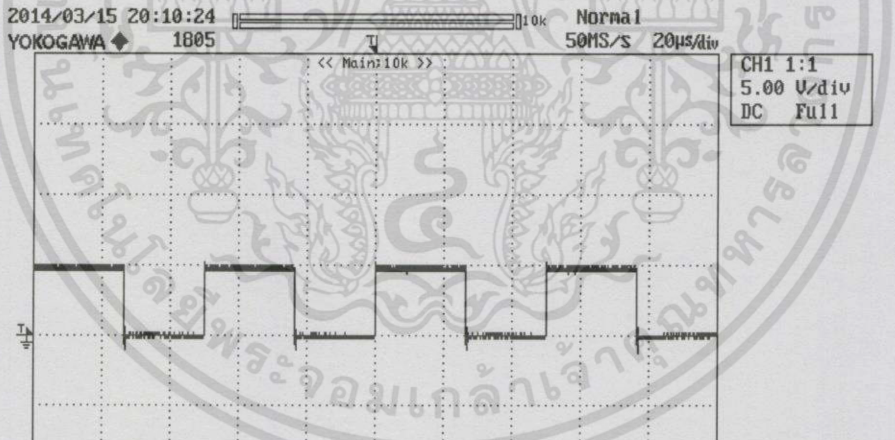
รูปที่ 4.6 สัญญาณ PWM เมื่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 19.8 โวลต์ ที่โหลด 50 โอมห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 รูปคลื่นสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าโหลด

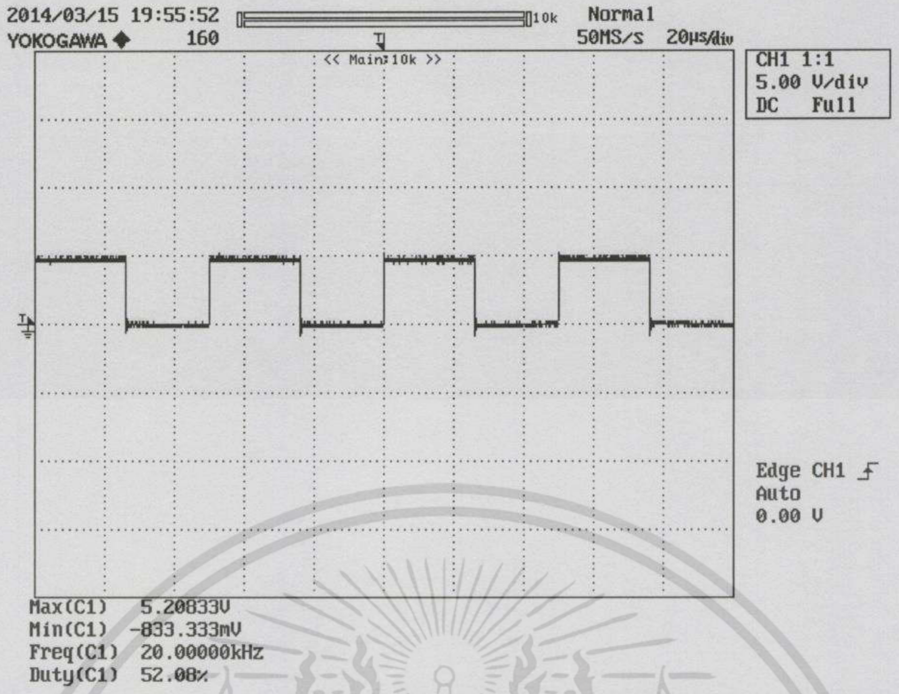


รูปที่ 4.7 สัญญาณ PWM เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเป็น 20 โอมห์ ที่แรงดันขาเข้า 12 โวลต์



รูปที่ 4.8 สัญญาณ PWM เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเป็น 33.33 โอมห์ ที่แรงดันขาเข้า 12 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 สัญญาณ PWM เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเป็น 50 โอมห์ ที่แรงดันขาเข้า 12 โวลต์

4.1.2 ส่วนของการลดทอนสัญญาณรบกวน

4.1.2.1 ผลการวัดระดับสัญญาณรบกวนก่อนใส่ฟิลเตอร์

ผลการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านทางสายตัวนำขณะที่วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรง-กระแตรงทำงาน เมื่อต่อโหลด 250 โอมห์ เทียบกับมาตราฐาน EN55022 Class B ที่แรงดันทดสอบ 220 โวลต์ 50 Hz ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความชื้น 60%

--- L1 Phase ---

No.	Frequency [MHz]	Reading QP [dB(μV)]	Reading CAV [dB(μV)]	c.f [dB]	Result QP [dB(μV)]	Result CAV [dB(μV)]	Limit QP [dB(μV)]	Limit AV [dB(μV)]	Margin QP [dB]	Margin CAV [dB]	Remark
1	0.02713	51.8		10.3	62.1		110.0	0.0	47.9		
2	0.05419	64.7		10.2	74.9		89.3	0.0	14.4		
3	0.08004	45.7		10.2	55.9		85.7	0.0	29.8		
4	0.09999	47.0		10.1	57.1		83.7	0.0	26.6		
5	0.10853	38.7		10.1	48.8		82.9	0.0	34.1		
6	0.12003	46.4		10.2	56.6		82.0	0.0	25.4		
7	0.13998	47.6		10.2	57.8		80.6	0.0	22.8		
8	0.23987	52.9	49.9	10.2	63.1	60.1	62.1	52.1	-1.0	-8.0	
9	0.25961	53.0	50.0	10.2	63.2	60.2	61.4	51.4	-1.8	-8.8	
10	0.27939	52.8	49.9	10.2	63.0	60.1	60.8	50.8	-2.2	-9.3	
11	15.001	38.2	36.9	10.8	49.0	47.7	60.0	50.0	11.0	2.3	
12	26.6196	40.1	38.0	11.1	51.2	49.1	60.0	50.0	8.8	0.9	

รูปที่ 4.10 ข้อมูลผลการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายไลน์

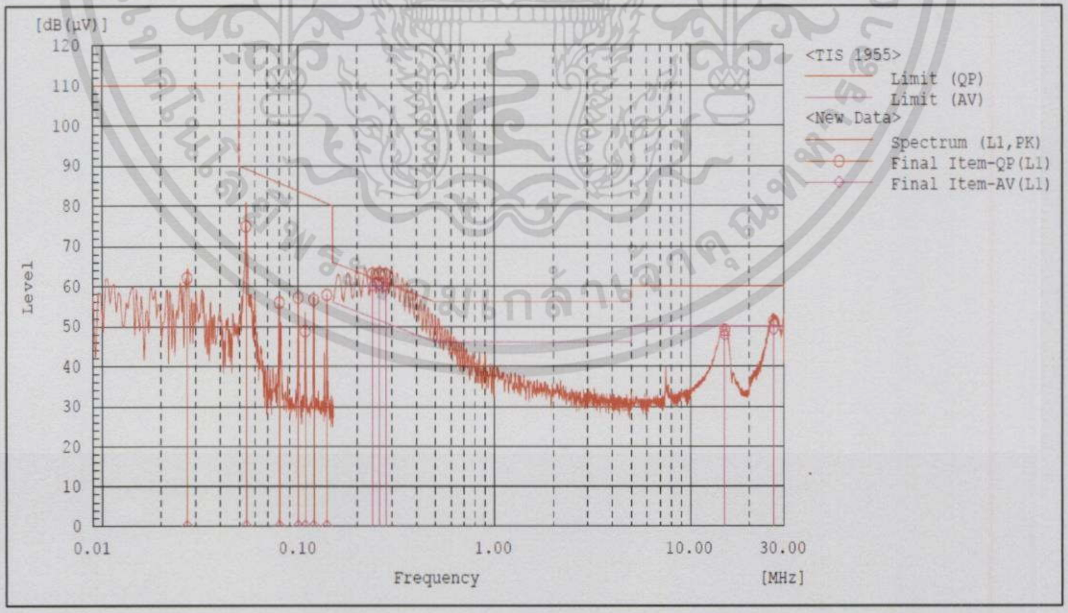
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

--- N Phase ---

No.	Frequency [MHz]	Reading QP [dB(µV)]	Reading CAV [dB(µV)]	c.f [dB]	Result QP [dB(µV)]	Result CAV [dB(µV)]	Limit QP [dB(µV)]	Limit AV [dB(µV)]	Margin QP [dB]	Margin CAV [dB]	Remark
1	0.02713	51.9		10.3	62.2		110.0	0.0	47.8		
2	0.05449	61.4		10.2	71.6		89.2	0.0	17.6		
3	0.07998	46.4		10.2	56.6		85.7	0.0	29.1		
4	0.100	46.3		10.1	56.4		83.7	0.0	27.3		
5	0.1085	39.1		10.1	49.2		82.9	0.0	33.7		
6	0.12002	46.7		10.2	56.9		82.0	0.0	25.1		
7	0.140	47.6		10.2	57.8		80.6	0.0	22.8		
8	0.23931	52.9	49.8	10.2	63.1	60.0	62.1	52.1	-1.0	-7.9	
9	0.26005	53.2	50.2	10.2	63.4	60.4	61.4	51.4	-2.0	-9.0	
10	0.2803	52.7	49.7	10.2	62.9	59.9	60.8	50.8	-2.1	-9.1	
11	14.9596	38.1	36.7	10.7	48.8	47.4	60.0	50.0	11.2	2.6	
12	26.9408	39.2	37.2	10.6	49.8	47.8	60.0	50.0	10.2	2.2	

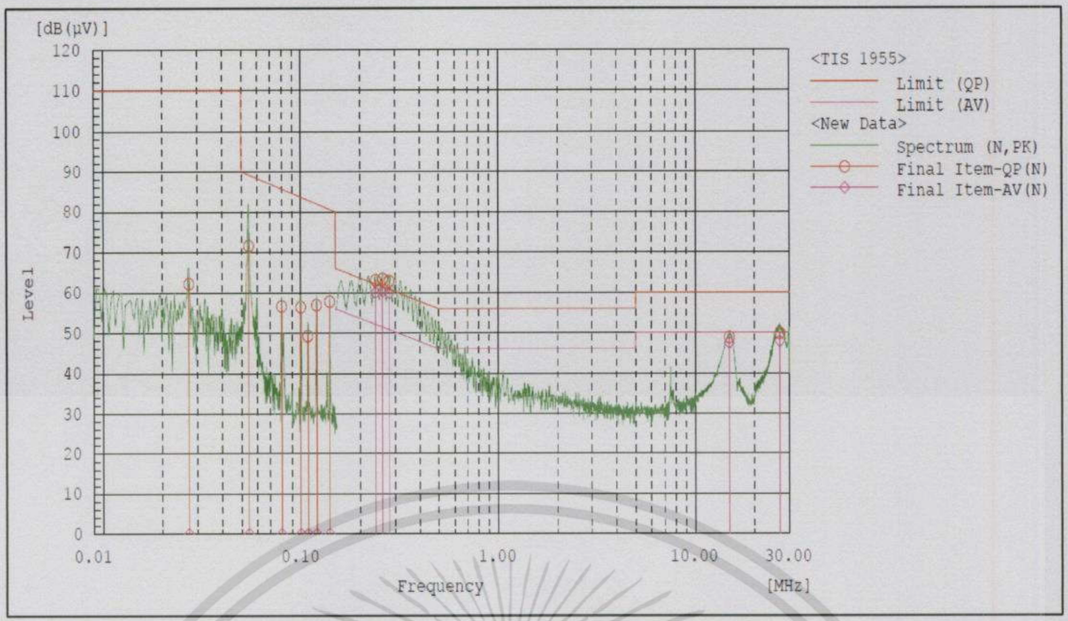
รูปที่ 4.11 ข้อมูลผลการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายนิวทรัล

จากรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 เป็นการแสดงข้อมูลการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในสายไลน์และสายนิวทรัลตามลำดับ เทียบกับมาตราฐาน EN55022 Class B จะเห็นว่าข้อมูลในส่วนของ Margin QP [dB] และ Margin CAV [dB] มีค่าส่วนที่ติดลบ ในช่วง 0.2 ถึง 27 MHz ซึ่งแสดงว่ามีระดับการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำอยู่ในระดับที่เกินมาตราฐานที่กำหนดของมาตรฐาน EN55022 Class B



รูปที่ 4.12 กราฟการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายนิวทรัล

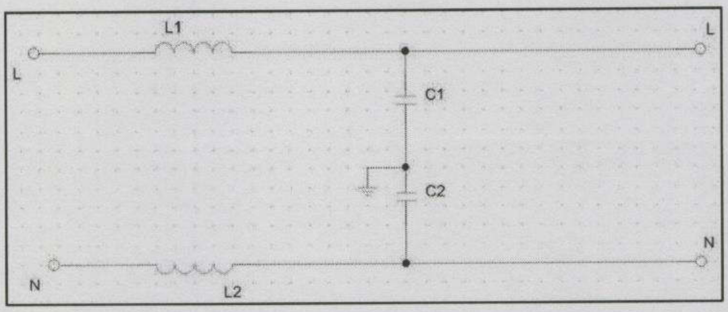
จากรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 พบว่ามีระดับการแพร่กระจากของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำที่สูงเกินระดับที่เส้นมาตรฐานกำหนด ทั้งกราฟของสัญญาณรบกวนในสายไลน์และสายนิวทรัลเริ่มมีระดับที่เกินมาตรฐานตั้งแต่ประมาณ 150 kHz แล้วจะเริ่มลดลงจนถึงช่วงประมาณ 10.5 MHz ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากผลของการออกแบบ PCB

4.1.2.2 ออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง (Low Pass EMI filter)

กำหนดให้ f_C = 100 kHz, C=100 nF

จาก $$f_{CM} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$ จะได้ L = 25.33 mH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 วงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง (Low Pass EMI filter)

4.1.2.3 ผลการวัดระดับสัญญาณรบกวนเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน

ผลการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านทางสายตัวนำขณะที่วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรง-กระแตรงทำงาน เมื่อต่อโหลด 250 โอมห์ เทียบกับมาตราฐาน EN55022 Class B ที่แรงดันทดสอบ 220 โวลต์ 50 Hz ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความชื้น 60% และต่อวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง (Low Pass EMI filter)

Final Result

--- N Phase ---

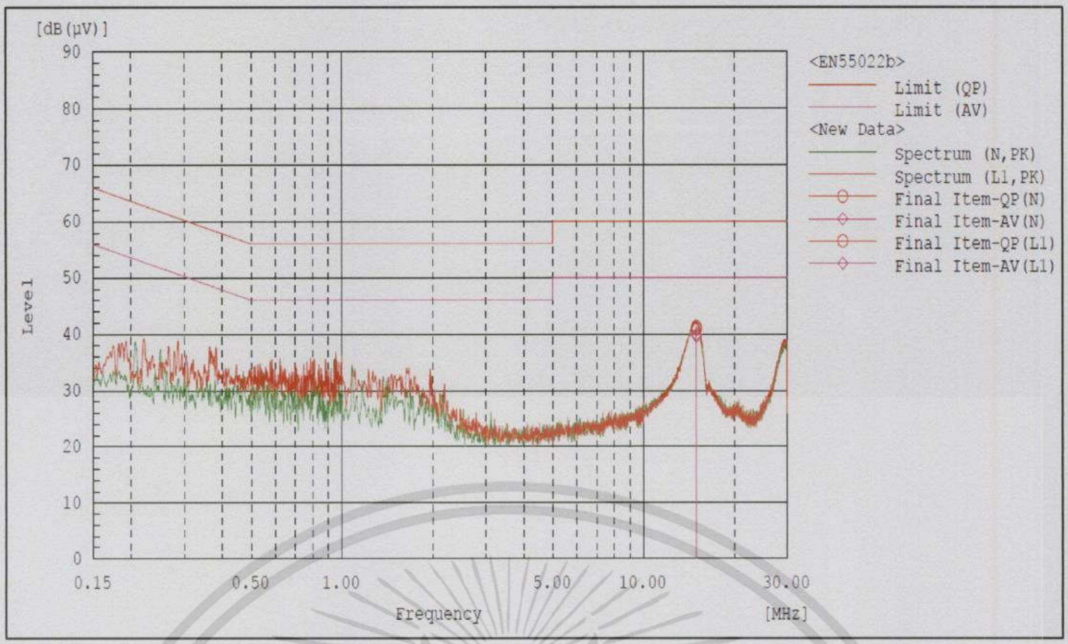
No.	Frequency [MHz]	Reading QP [dB(µV)]	Reading CAV [dB(µV)]	c.f [dB]	Result QP [dB(µV)]	Result CAV [dB(µV)]	Limit QP [dB(µV)]	Limit AV [dB(µV)]	Margin QP [dB]	Margin CAV [dB]	Remark
1	15.000	30.6	29.2	10.7	41.3	39.9	60.0	50.0	18.7	10.1	

--- L1 Phase ---

No.	Frequency [MHz]	Reading QP [dB(µV)]	Reading CAV [dB(µV)]	c.f [dB]	Result QP [dB(µV)]	Result CAV [dB(µV)]	Limit QP [dB(µV)]	Limit AV [dB(µV)]	Margin QP [dB]	Margin CAV [dB]	Remark
1	15.020	30.1	28.8	10.8	40.9	39.6	60.0	50.0	19.1	10.4	

รูปที่ 4.15 ข้อมูลผลการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายไลน์และสายนิวทรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

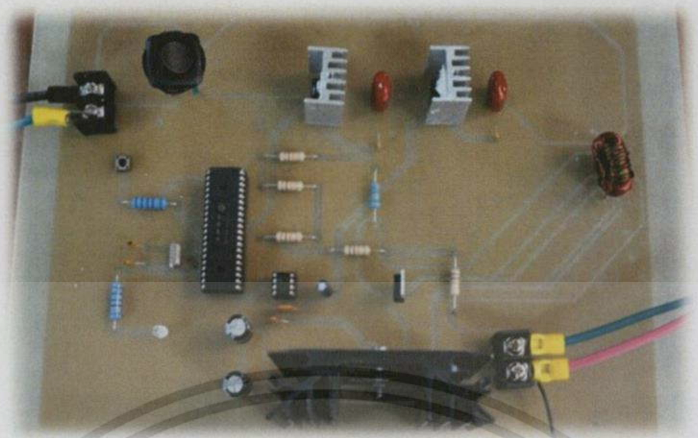


รูปที่ 4.16 กราฟการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายไลน์และสายนิวทรัล

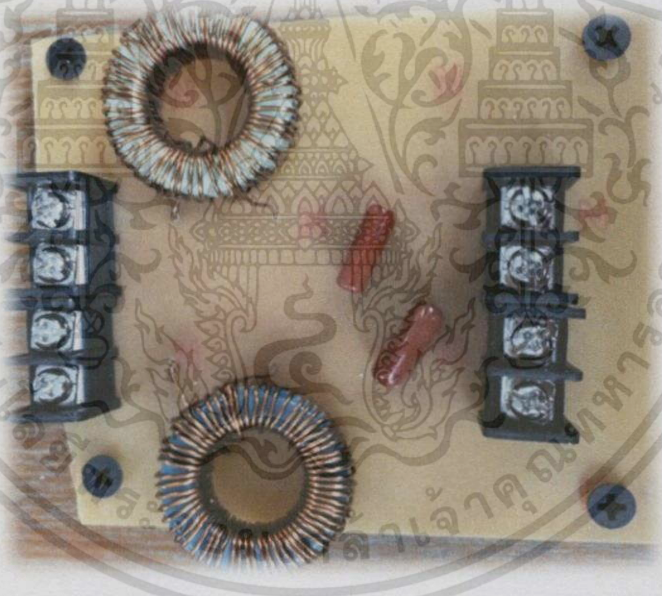
จากรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 พบว่ามีระดับการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านสายตัวนำในสายไลน์และสายนิวทรัลอยู่ในระดับที่ไม่เกินระดับที่มาตราฐาน EN55022 Class B กำหนดไว้ จากข้อมูลผลการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายไลน์และสายนิวทรัลแสดงให้เห็นเฉพาะยอดของสัญญาณที่ใกล้กับเส้นมาตรฐานมากที่สุดซึ่งยังมีค่า Margin ที่สูง และสรุปได้ว่าเมื่อต่อวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงกับวงจร สามารถลดระดับสัญญาณรบกวนให้อยู่ในระดับที่มาตรฐานยอมรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 รูปถ่ายวงจรที่ออกแบบและใช้ในการทดลอง

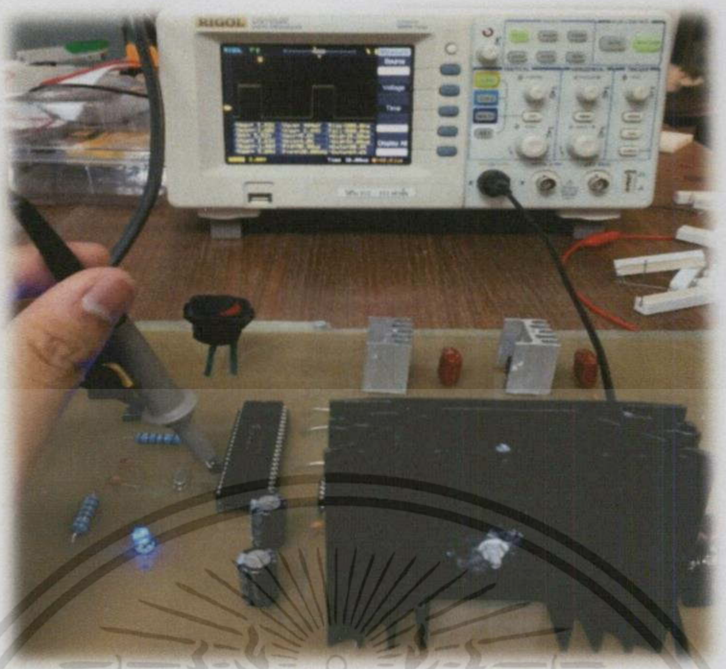


รูปที่ 4.17 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรง-กระแสตรงและวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

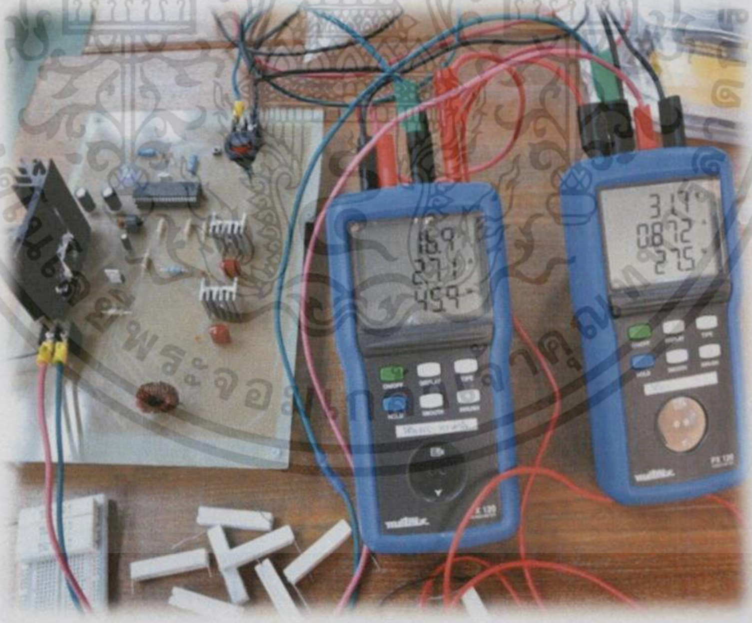


รูปที่ 4.18 วงจรกรองสัญญาณรบกวนความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

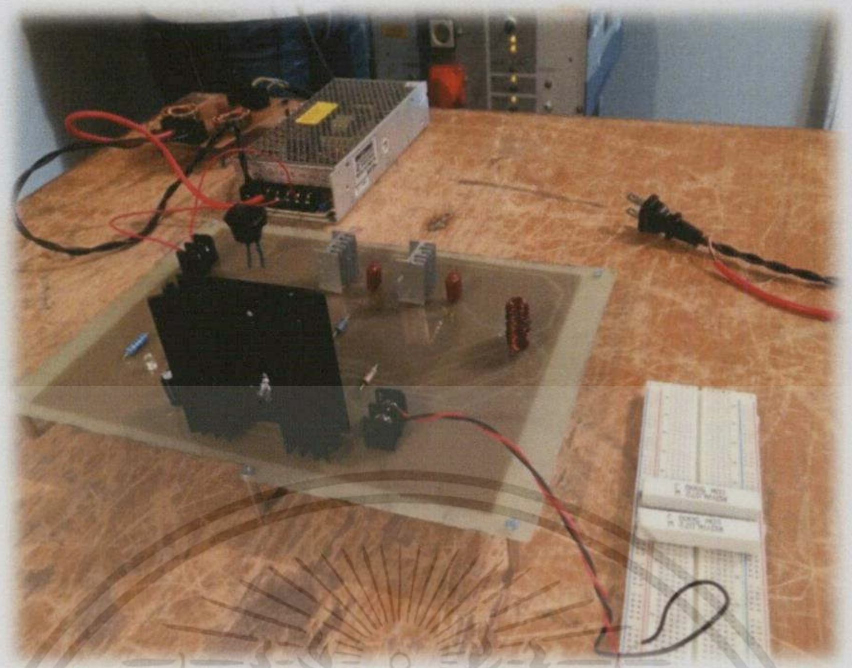


รูปที่ 4.19 การทดลองจับสัญญาณ PWM เมื่อเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟขาเข้าและโหลด



รูปที่ 4.20 การทดลองวัดประสิทธิภาพของวงจร

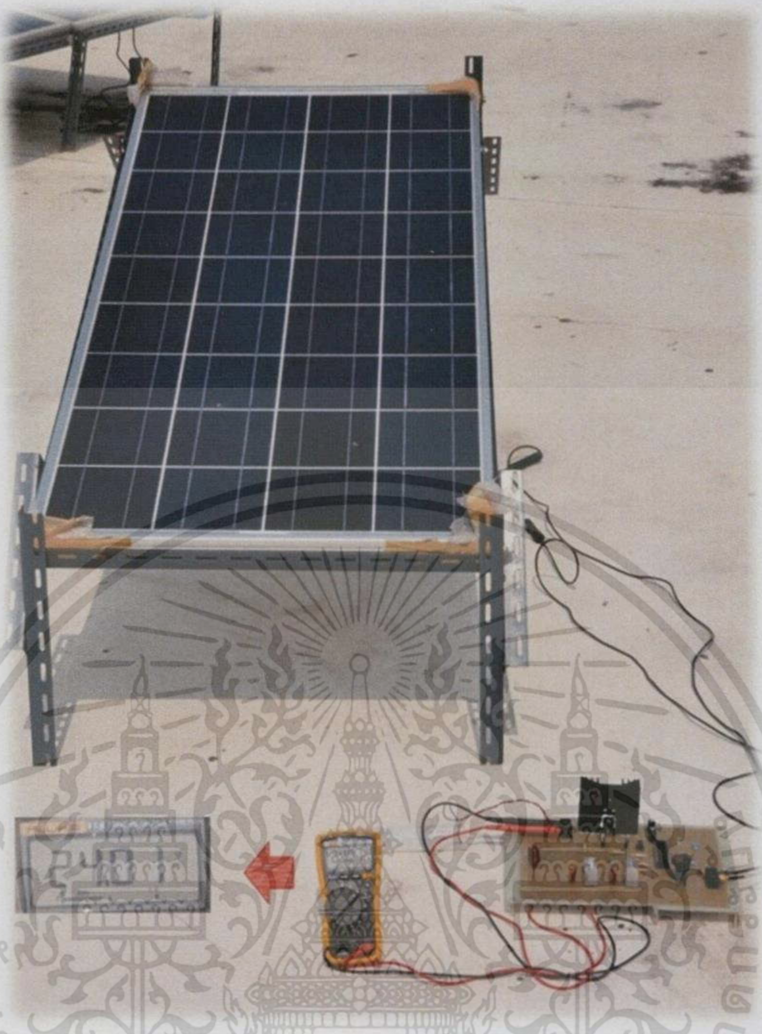
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 การทดลองวัดระดับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำที่ PTEC

รูปที่ 4.22 การแสดงผลของระดับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ทดลองวงจรเชื่อมต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 สรุปผลการทดลอง

เนื่องจากมีการทดลองในสองเรื่องจึงจะต้องสรุปออกเป็นสองส่วน

4.2.1 สรุปผลการทดลองในส่วนของประสิทธิภาพและการรักษาระดับแรงดัน

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโหลดโดยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่ทำหน้าที่เป็นภาระทางไฟฟ้าพบว่าวงจรสามารถรักษาระดับแรงดันในทุกๆค่าของการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานแต่ประสิทธิภาพที่ได้จะต่างกันออกไปโดยเมื่อให้วงจรทำงานในขณะที่โหลดทางไฟฟ้ามากจนเกือบจะถึงพิกัดที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสามารถจ่ายได้จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพจะอยู่ที่ 59 เปอร์เซ็นต์ซึ่งต่ำที่สุด แต่ในขณะที่วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงจ่ายโหลดต่ำจะเห็นได้ว่ามีประสิทธิ์ภาพสูงสุดที่ 79.12 เปอร์เซ็นต์แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นประสิทธิภาพของวงจรเนื่องจากยังไม่ใช่พิกัดที่แท้จริงของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งพิกัดที่แท้จริงของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์คือที่ตัวต้านทานเท่ากับ 25 โอห์ม ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 69.15 เปอร์เซ็นต์โดยสังเกตได้จากการลู่เข้าของค่าประสิทธิภาพที่ลู่เข้าค่า 69.15 เปอร์เซ็นต์

4.2.2 สรุปผลเรื่องการลดทอนสัญญาณรบกวน

หลังจากการวัดประสิทธิภาพของวงจรเรียบร้อยแล้วจึงไปทำการวัดสัญญาณรบกวนด้วยในการวัดจะทำการเปลี่ยนโหลดตอนวัดด้วยจะเห็นได้ว่าสัญญาณรบกวนจะมีรูปร่างเค้าโครงมีลักษณะใกล้เคียงกันซึ่งในตอนแรกยังไม่ได้ใส่ฟิลเตอร์สัญญาณรบกวนที่ออกมาจะเกินมาตรฐานแต่หลังจากที่ได้ทำการออกแบบฟิลเตอร์ซึ่งเป็นฟิลเตอร์แบบ (low-pass filter) เพื่อกรองสัญญาณรบกวนในย่านความถี่สูงออกแล้วปรากฏว่าสัญญาณรบกวนถูกกรองออกจนทำให้ผ่านมาตรฐานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลของโครงงาน

ในโครงงานนี้เราใช้วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ที่มีความถี่สวิตซิ่งที่ 20 kHz และมีค่าตัวเก็บประจุทางด้านขาออกเท่ากับ 660 μF และมีแรงดันไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 24 V ในตอนแรกเราได้ออกแบบให้ตัวเหนี่ยวนำต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 2.1 mH แต่ในภายหลังได้เปลี่ยนไปใช้ค่าความเหนี่ยวนำที่ 11.2 mH เนื่องจากจะทำให้ช่วงในการเปลี่ยนแปลงโหลดที่นำไปต่อได้กว้างขึ้นเพื่อให้วงจรสามารถทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องได้ ในเทอมแรกเราทำการจำลองวงจรในโปรแกรม Proteus เพื่อทำการรักษาระดับแรงดันโดยการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ pic16f877 ให้ทำการควบคุมป้อนกลับแบบลบ โดยทำการแบ่งแรงดันขาออกให้ลดลงห้าเท่าและใช้พอร์ต analog to digital ของไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการวัดค่าแรงดันที่ถูกแบ่งแรงดันมาแล้วว่ามีค่าตามที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ก็จะทำการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลจนทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าขาออกที่ต้องการ หลังจากนั้นก็ใช้โปรแกรม Psim จำลองสัญญารรบกวนแล้วดูว่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่าไร พอทำเรื่องการจำลองเสร็จก็สร้างวงจรบูสต์คอนเวอเตอร์ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำการรักษาระดับแรงดันและก็ทดสอบประสิทธิภาพและการรักษาระดับแรงดันในวงจรจริงผลปรากฏว่าสามารถทำได้ผลออกมาเหมือนในตอนทำการจำลองในคอมพิวเตอร์หลังจากนั้นจุดไปวัดค่าสัญญาณรบกวนที่ PTEC เพื่อดูว่าสัญญาณรบกวนผ่านมาตรฐาน EN55022 Class B หรือไม่ผลปรากฏว่าไม่ผ่านจึงต้องสร้าง low-pass filter เพื่อนำมากรองสัญญาณรบกวนออกเพื่อให้อยู่ในมาตรฐาน EN55022 Class B และนำไปวัดที่ PTEC อีกครั้งผลที่ได้ก็คือทำให้วงจรผ่านมาตรฐาน EN55022 Class B ที่กำหนดแม้ในตอนที่เปลี่ยนแปลงโหลดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบวงจรบูสต์คอนเวอเตอร์ทั้งวงจรควบคุมและวงจรกำลังควรคำนึงถึงผลของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบด้วยเพราะผลการรบกวนดังกล่าวอาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เพราะฉะนั้นในการออกแบบแผ่น Printed Circuit Board ควรจะมี Ground Plane ซึ่งสามารถลดสัญญาณรบกวนลงได้ และการวาง ตัวเหนี่ยวนำควรว่างให้ห่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพราะตัวเหนี่ยวนำอาจจะไปรบกวนไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

รายละเอียดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F877

MICROCHIP

PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

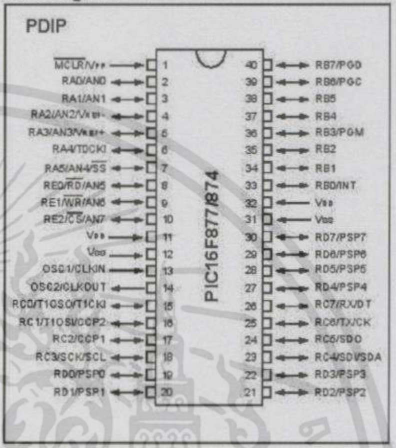
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F876
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
  DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory, Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM) Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature ranges
- Low-power consumption:
  - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram



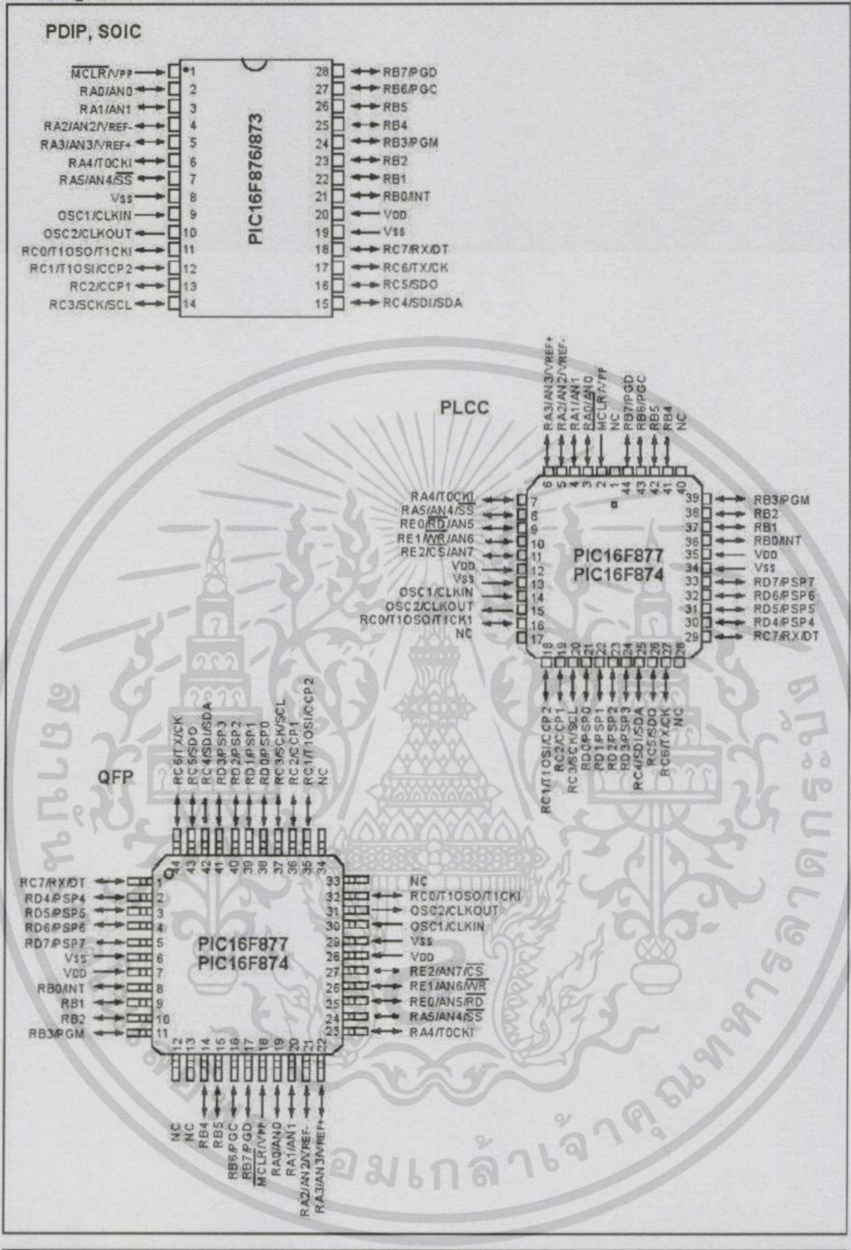
Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI (Master mode) and I^2C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87X

Pin Diagrams



© 1998-2013 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอสเฟต IRFP460

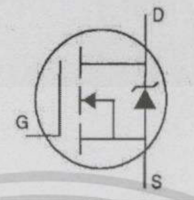
International
IOR Rectifier

PD-9.512B

IRFP460

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements



$V_{DSS} = 500V$

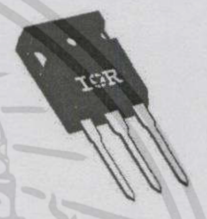
$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$

$I_D = 20A$

Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distance between pins to meet the requirements of most safety specifications.



TO-247AC

DATA SHEETS

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ T_C = 25°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10 V	20	A
I_D @ T_C = 100°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10 V	13	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	80	
P_D @ T_C = 25°C	Power Dissipation	280	W
	Linear Derating Factor	2.2	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	±20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	960	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	20	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	28	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	3.5	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1 N•m)	

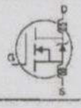
Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	40	

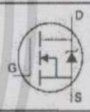
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP460

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	V_{GS}=0V, I_D= 250μA
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to 25°C, I_D= 1mA
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	V_{GS}=10V, I_D=12A ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V_{DS}=V_{GS}, I_D= 250μA
g_{fs}	Forward Transconductance	13	—	—	S	V_{DS}=50V, I_D=12A ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V_{DS}=500V, V_{GS}=0V
		—	—	250		V_{DS}=400V, V_{GS}=0V, T_J=125°C
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V_{GS}=20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V_{GS}=-20V
Q_g	Total Gate Charge	—	—	210	nC	I_D=20A
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	29		V_{DS}=400V
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110		V_{GS}=10V See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	V_{DD}=250V
t_r	Rise Time	—	59	—		I_D=20A
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	110	—		R_G=4.3Ω
t_f	Fall Time	—	58	—		R_D=13Ω See Figure 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact 
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	4200	—	pF	V_{GS}=0V
C_{oss}	Output Capacitance	—	870	—		V_{DS}= 25V
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—		f=1.0MHz See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	80		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	T_J=25°C, I_S=20A, V_{GS}=0V ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	T_J=25°C, I_F=20A
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	μC	di/dt=100A/μs ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is neglegible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)

② V_{DD}=50V, starting T_J=25°C, L=4.3mH R_G=25Ω, I_{AS}=20A (See Figure 12)

③ I_{SD}≤20A, di/dt≤160A/μs, V_{DD}≤$V_{(BR)DSS}$, T_J≤150°C

④ Pulse width ≤ 300 μs; duty cycle ≤2%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

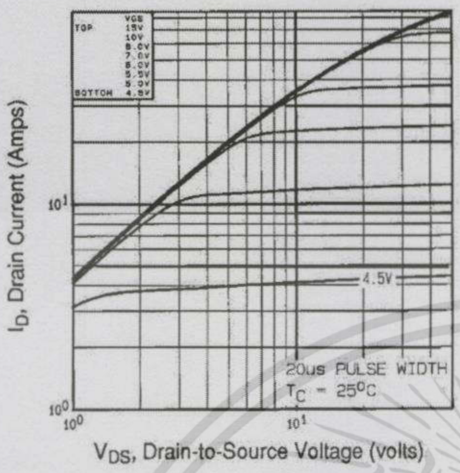


Fig 1. Typical Output Characteristics, T_C=25°C

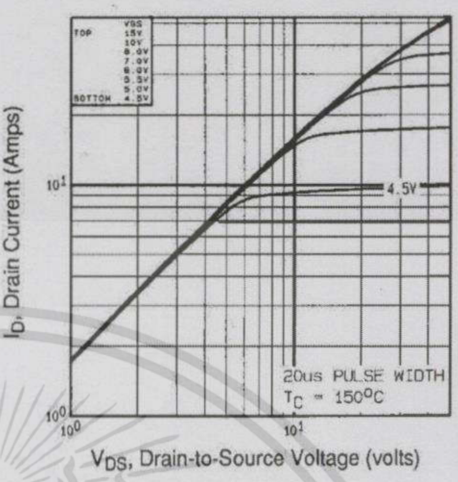


Fig 2. Typical Output Characteristics, T_C=150°C

DATA SHEETS

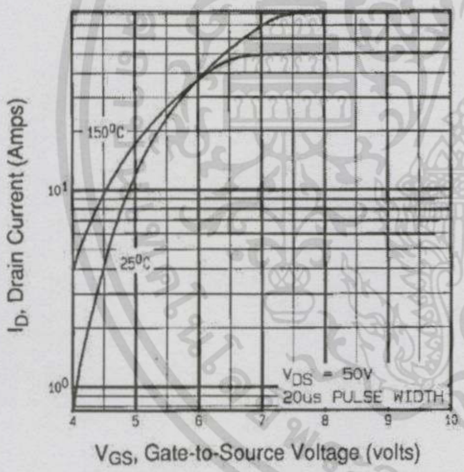


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

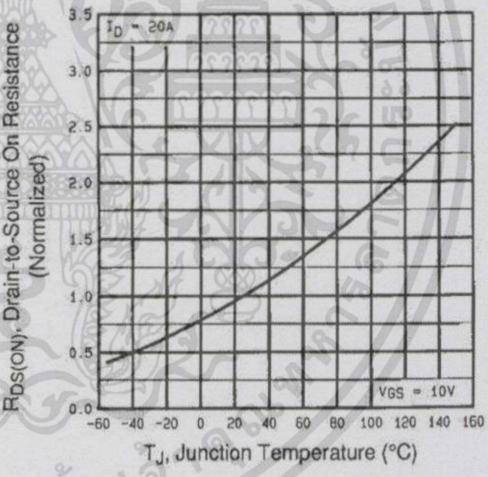


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

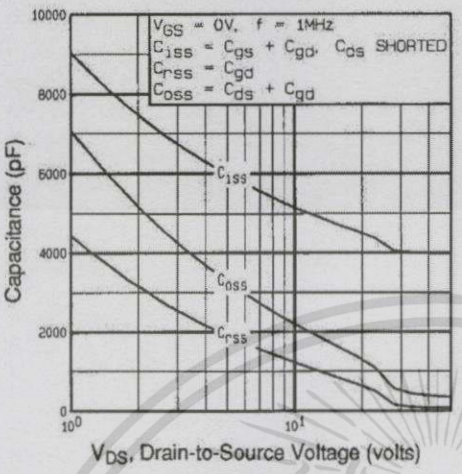


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

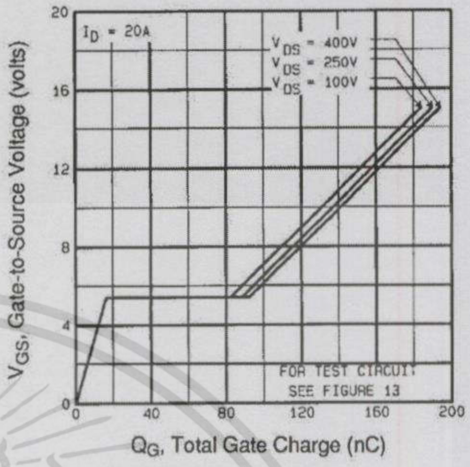


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

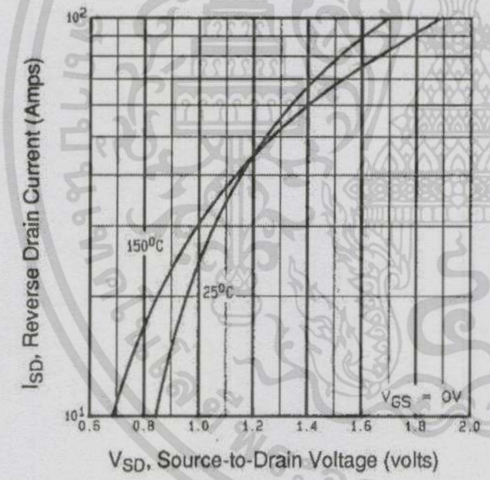


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

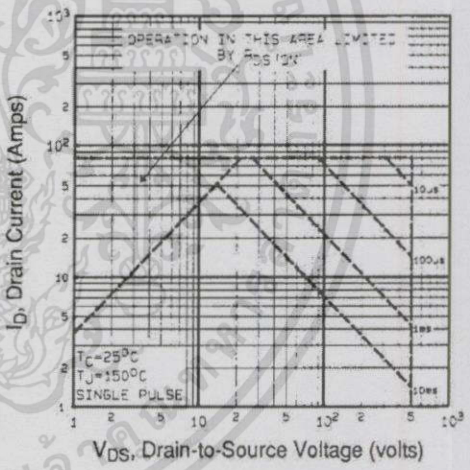


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

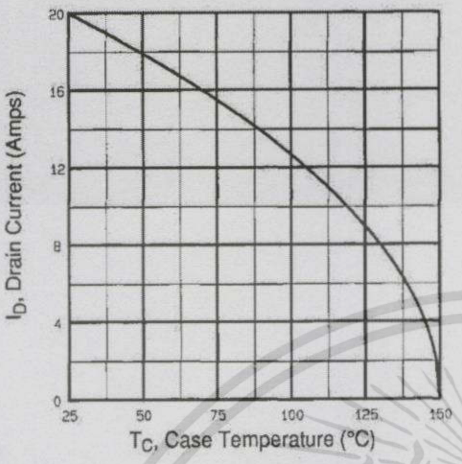


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

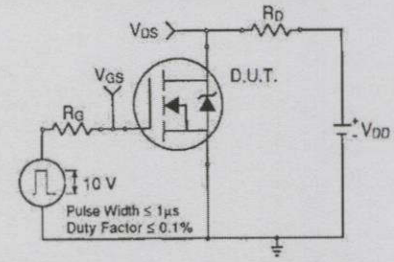


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

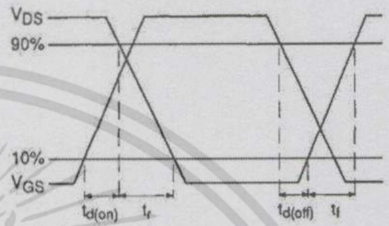


Fig 10b. Switching Time Waveforms

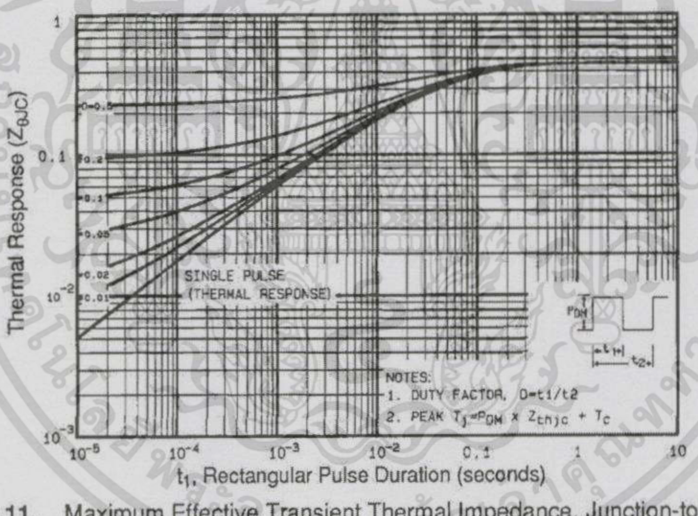


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

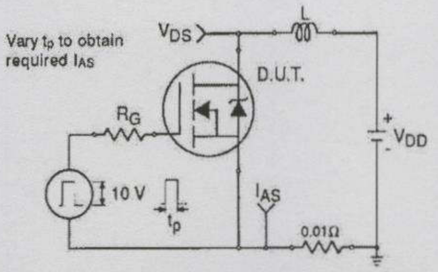


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

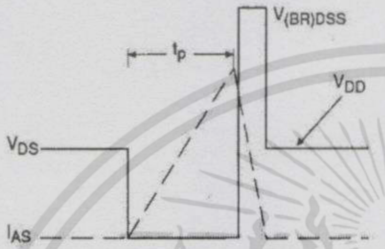


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

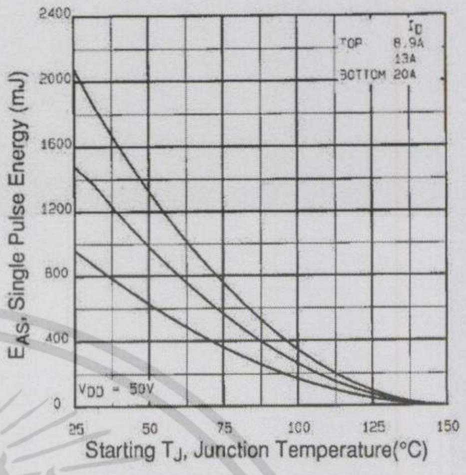


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

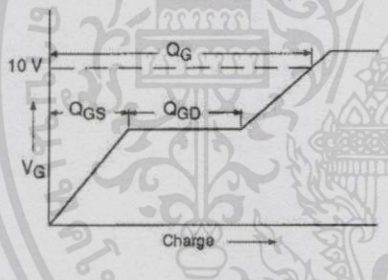


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

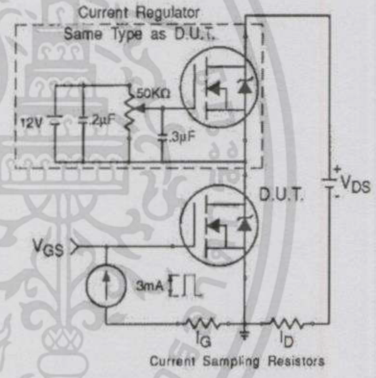


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Appendix A: Figure 14, Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit – See page 1505

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

Appendix C: Part Marking Information – See page 1517

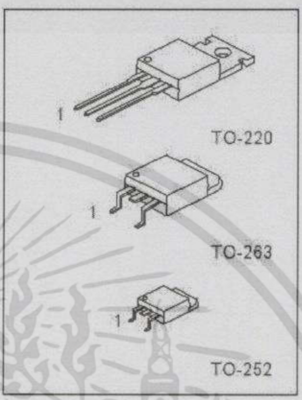
International
IOR Rectifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรกกูเรเตอร์ LM7805 และ LM7810

UTC LM78XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

3-TERMINAL 1A POSITIVE VOLTAGE REGULATOR



1: Input 2: GND 3: Output

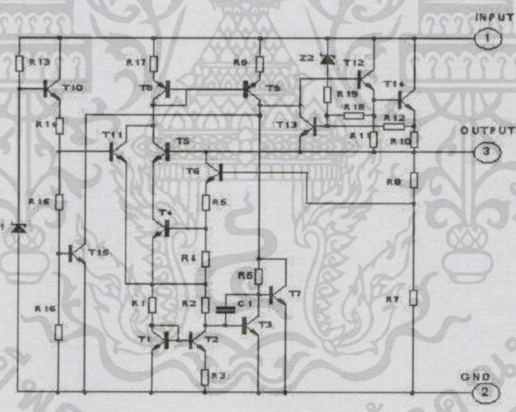
DESCRIPTION

The UTC 78XX family is monolithic fixed voltage regulator integrated circuit. They are suitable for applications that required supply current up to 1 A.

FEATURES

*Output current up to 1.5 A
*Fixed output voltage of 5V, 6V, 8V, 9V, 10V, 12V, 15V ,18V and 24V available
*Thermal overload shutdown protection
*Short circuit current limiting
*Output transistor SOA protection

TEST CIRCUIT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UTC LM78XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(Operating temperature range applies unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	RATING	UNIT
Input voltage(for Vo=5~18V)		35	V
(for Vo=24V)	V_I	40	V
Output Current	I_O	1	A
Power Dissipation	PD	Internally Limited	W
Operating Junction Temperature Range	T_{OPR}	-20 +150	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-55 +150	°C

UTC LM7805 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(VI=10V, Io=0.5A, Tj= 0°C - 125°C, C1=0.33uF, Co=0.1uF, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	Vo	Tj=25°C, Io=5mA - 1.0A	4.80	5.0	5.20	V
		VI=7.5V to 20V, Io=5mA - 1.0A, PD<15W	4.75		5.25	V
Load Regulation	ΔVo	Tj=25°C, Io=5mA - 1.5A			50	mV
		Tj=25°C, Io=0.25A - 0.75A			25	mV
Line regulation	ΔVo	VI=7V to 25V, Tj=25°C			50	mV
		VI=7.5V to 20V, Tj=25°C, Io=1A			50	mV
Quiescent Current	Iq	Tj=25°C, Io=<1A			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔIq	VI=7.5V to 20V			1.0	mA
	ΔIq	Io=5mA - 1.0A			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_N	10Hz<=f<=100kHz		40		μV
Temperature coefficient of Vo	ΔVo/ΔT	Io=5mA		-0.6		mV/°C
Ripple Rejection	RR	VI=8V - 18V, f=120Hz, Tj=25°C	62	80		dB
Peak Output Current	I_{PK}	Tj=25°C		1.8		A
Short-Circuit Current	Isc	VI=35V, Tj=25°C		250		mA
Dropout Voltage	Vd	Tj=25°C		2.0		V

UTC LM7806 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(VI=11V, Io=0.5A, Tj= 0°C - 125°C, C1=0.33uF, Co=0.1uF, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	Vo	Tj=25°C, Io=5mA - 1.0A	5.76	6.0	6.24	V
		VI=8.5V to 21V, Io=5mA - 1.0A, PD<15W	5.70		6.30	V
Load Regulation	ΔVo	Tj=25°C, Io=5mA - 1.5A			60	mV
		Tj=25°C, Io=0.25A - 0.75A			30	mV
Line regulation	ΔVo	VI=8V to 25V, Tj=25°C			60	mV
		VI=8.5V to 21V, Tj=25°C, Io=1A			60	mV
Quiescent Current	Iq	Tj=25°C, Io=<1A			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔIq	VI=8.5V to 21V			1.0	mA
	ΔIq	Io=5mA - 1.0A			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_N	10Hz<=f<=100kHz		45		μV
Temperature coefficient of Vo	ΔVo/ΔT	Io=5mA		-0.7		mV/°C
Ripple Rejection	RR	VI=9V - 19V, f=120Hz, Tj=25°C	59	75		dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UTC LM78XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Peak Output Current	I_{PK}	Tj=25°C		1.8		A
Short-Circuit Current	Isc	VI=35V, Tj=25°C		250		mA
Dropout Voltage	Vd	Tj=25°C		2.0		V

UTC LM7808 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(VI=14V, Io=0.5A, Tj= 0°C - 125°C, C1=0.33uF, Co=0.1uF, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	Vo	Tj=25°C, Io=5mA - 1.0A	7.68	8.0	8.32	V
		V_I=10.5V to 23V, Io=5mA - 1.0A, PD<15W	7.60		8.40	V
Load Regulation	ΔVo	Tj=25°C,Io=5mA - 1.5A			80	mV
		Tj=25°C,Io=0.25A - 0.75A			40	mV
Line regulation	ΔVo	V_I=10.5V to 25V,Tj=25°C			80	mV
		V_I=10.5V to 23V,Tj=25°C,Io=1A			80	mV
Quiescent Current	Iq	Tj=25°C, Io=<1A			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔIq	V_I=10.5V to 23V			1.0	mA
	ΔIq	Io=5mA - 1.0A			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_N	10Hz<=f<=100kHz		58		μV
Temperature coefficient of Vo	ΔVo/ΔT	Io=5mA		-0.9		mV/°C
Ripple Rejection	RR	V_I=11.5V to 21.5V, f=120Hz,Tj=25°C	56	72		dB
Peak Output Current	I_{PK}	Tj=25°C		1.8		A
Short-Circuit Current	Isc	VI=35V, Tj=25°C		250		mA
Dropout Voltage	Vd	Tj=25°C		2.0		V

UTC LM7809 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(VI=15V, Io=0.5A, Tj= 0°C - 125°C, C1=0.33uF, Co=0.1uF, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	Vo	Tj=25°C, Io=5mA - 1.0A	8.64	9.0	9.36	V
		V_I=11.5V to 24V, Io=5mA - 1.0A,PD<15W	8.55		9.45	V
Load Regulation	ΔVo	Tj=25°C,Io=5mA - 1.5A			90	mV
		Tj=25°C,Io=0.25A - 0.75A			45	mV
Line regulation	ΔVo	V_I=11.5V to 25 V, Tj=25°C, PD<15W			90	mV
		V_I=11.5V to 24V,Tj=25°C, Io<=1A			90	mV
Quiescent Current	Iq	Tj=25°C, Io=<1A			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔIq	V_I=11.5V to 24V			1.0	mA
	ΔIq	Io=5mA – 1.0A			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_N	10Hz<=f<=100kHz		58		μV
Temperature coefficient of Vo	ΔVo/ΔT	Io=5mA		-1.1		mV/°C
Ripple Rejection	RR	V_I=12.5V to 22.5V, f=120Hz,Tj=25°C	56	72		dB
Peak Output Current	I_{PK}	Tj=25°C		1.8		A
Short-Circuit Current	Isc	VI=35V, Tj=25°C		250		mA
Dropout Voltage	Vd	Tj=25°C		2.0		V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดโอด MUR1560

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR®

MUR1540, MUR1560, RURP1540, RURP1560

Data Sheet — **January 2002**

15A, 400V - 600V Ultrafast Diodes

The MUR1540, MUR1560, RURP1540, and RURP1560 are ultrafast diodes (t_{rr} < 55ns) with soft recovery characteristics. They have a low forward voltage drop and are of planar, silicon nitride passivated, ion-implanted, epitaxial construction.

These devices are intended for use as energy steering/clamping diodes and rectifiers in a variety of switching power supplies and other power switching applications. Their low stored charge and ultrafast recovery with soft recovery characteristics minimizes ringing and electrical noise in many power switching circuits, thus reducing power loss in the switching transistor.

Formerly developmental type TA09905.

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
MUR1540	TO-220AC	MUR1540
RURP1540	TO-220AC	RURP1540
MUR1560	TO-220AC	MUR1560
RURP1560	TO-220AC	RURP1560

NOTE: When ordering, use the entire part number

Symbol

Features

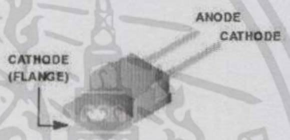
- Ultrafast with Soft Recovery . . . . <55ns
- Operating Temperature. . . . . 175°C
- Reverse Voltage Up to 600V
- Avalanche Energy Rated
- Planar Construction

Applications

- Switching Power Supply
- Power Switching Circuits
- General Purpose

Packaging

JEDEC TO-220AC



Absolute Maximum Ratings $T_C = 25°C$, Unless Otherwise Specified

		MUR1540 RURP1540	MUR1560 RURP1560	UNITS
Peak Repetitive Reverse Voltage	V_{RRM}	400	600	V
Working Peak Reverse Voltage	V_{RWM}	400	600	V
DC Blocking Voltage	V_R	400	600	V
Average Rectified Forward Current (T_C = 145°C)	$I_{F(AV)}$	15	15	A
Repetitive Peak Surge Current (Square Wave 20kHz)	I_{FRM}	30	30	A
Nonrepetitive Peak Surge Current (Halfwave 1 Phase 60Hz)	I_{FSM}	200	200	A
Maximum Power Dissipation	P_D	100	100	W
Avalanche Energy (See Figures 7 and 8)	E_{AVL}	20	20	mJ
Operating and Storage Temperature	T_{STG}, T_J	-55 to 175	-55 to 175	°C

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Specifications $T_C = 25^oC$, Unless Otherwise Specified

SYMBOL	TEST CONDITION	MUR1540, RURP1540			MUR1560, RURP1560			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_F	$I_F = 15A$	-	-	1.25	-	-	1.5	V
	$I_F = 15A, T_C = 150^oC$	-	-	1.12	-	-	1.2	V
I_R	$V_R = 400V$	-	-	100	-	-	-	μA
	$V_R = 600V$	-	-	-	-	-	100	μA
	$V_R = 400V, T_C = 150^oC$	-	-	500	-	-	-	μA
	$V_R = 600V, T_C = 150^oC$	-	-	-	-	-	500	μA
t_{rr}	$I_F = 1A$, $dI_F/dt = 100A/\mu s$	-	-	55	-	-	55	ns
	$I_F = 15A$, $dI_F/dt = 100A/\mu s$	-	-	60	-	-	60	ns
t_a	$I_F = 15A$, $dI_F/dt = 100A/\mu s$	-	30	-	-	30	-	ns
t_b	$I_F = 15A$, $dI_F/dt = 100A/\mu s$	-	17	-	-	20	-	ns
$R_{\theta JC}$		-	-	1.5	-	-	1.5	°C/W

DEFINITIONS

V_F = Instantaneous forward voltage (pw = 300μs, D = 2%).

I_R = Instantaneous reverse current.

t_{rr} = Reverse recovery time at $dI_F/dt = 100A/\mu s$ (See Figure 6), summation of $t_a + t_b$.

t_a = Time to reach peak reverse current at $dI_F/dt = 100A/\mu s$ (See Figure 6).

t_b = Time from peak I_{RM} to projected zero crossing of I_{RM} based on a straight line from peak I_{RM} through 25% of I_{RM} (See Figure 6).

$R_{\theta JC}$ = Thermal resistance junction to case.

pw = pulse width.

D = duty cycle.

Typical Performance Curves

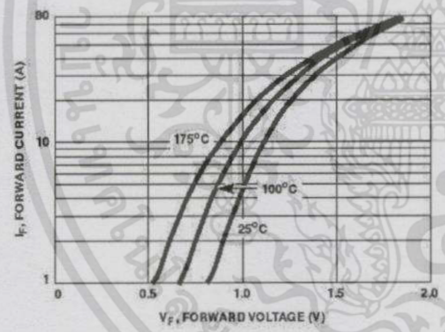


FIGURE 1. FORWARD CURRENT vs FORWARD VOLTAGE

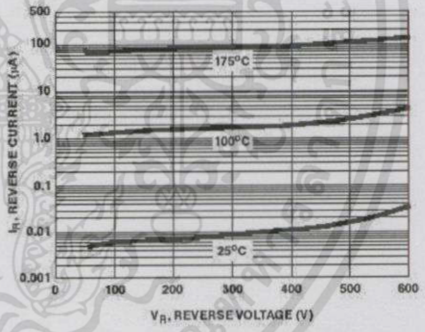


FIGURE 2. REVERSE CURRENT vs REVERSE VOLTAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวขับมอสเฟต TC4427

MICROCHIP TC4426/TC4427/TC4428

1.5A Dual High-Speed Power MOSFET Drivers

Features:

- High Peak Output Current – 1.5A
- Wide Input Supply Voltage Operating Range:
  - 4.5V to 18V
- High Capacitive Load Drive Capability – 1000 pF in 25 ns (typ.)
- Short Delay Times – 40 ns (typ.)
- Matched Rise and Fall Times
- Low Supply Current:
  - With Logic '1' Input – 4 mA
  - With Logic '0' Input – 400 µA
- Low Output Impedance – 7Ω
- Latch-Up Protected: Will Withstand 0.5A Reverse Current
- Input Will Withstand Negative Inputs Up to 5V
- ESD Protected – 4 kV
- Pin-compatible with the TC426/TC427/TC428
- Space-saving 8-Pin MSOP and 8-Pin 6x5 DFN Packages

Applications:

- Switch Mode Power Supplies
- Line Drivers
- Pulse Transformer Drive

General Description:

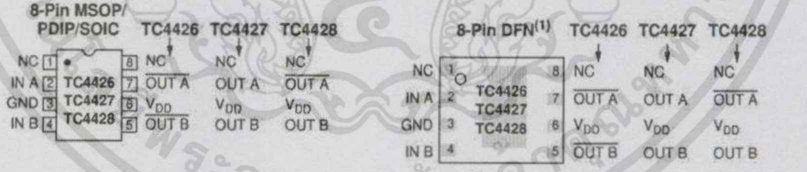
The TC4426/TC4427/TC4428 are improved versions of the earlier TC426/TC427/TC428 family of MOSFET drivers. The TC4426/TC4427/TC4428 devices have matched rise and fall times when charging and discharging the gate of a MOSFET.

These devices are highly latch-up resistant under any conditions within their power and voltage ratings. They are not subject to damage when up to 5V of noise spiking (of either polarity) occurs on the ground pin. They can accept, without damage or logic upset, up to 500 mA of reverse current (of either polarity) being forced back into their outputs. All terminals are fully protected against Electrostatic Discharge (ESD) up to 4 kV.

The TC4426/TC4427/TC4428 MOSFET drivers can easily charge/discharge 1000 pF gate capacitances in under 30 ns. These devices provide low enough impedances in both the on and off states to ensure the MOSFET's intended state will not be affected, even by large transients.

Other compatible drivers are the TC4426A/TC4427A/TC4428A family of devices. The TC4426A/TC4427A/TC4428A devices have matched leading and falling edge input-to-output delay times, in addition to the matched rise and fall times of the TC4426/TC4427/TC4428 devices.

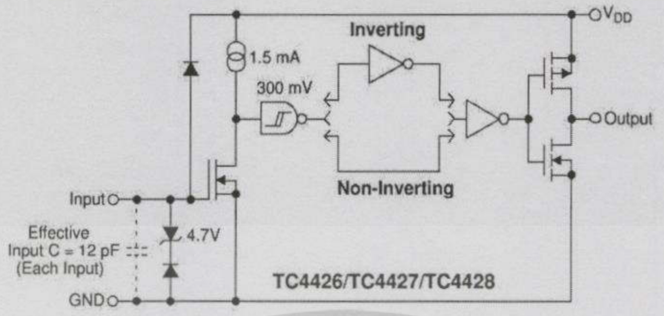
Package Types



Note 1: Exposed pad of the DFN package is electrically isolated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Block Diagram



Note 1: TC4426 has two inverting drivers, while the TC4427 has two non-inverting drivers. The TC4428 has one inverting and one non-inverting driver.

2: Ground any unused driver input.

© 2006 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings †

Supply Voltage ....+22V

Input Voltage, IN A or IN B
.... (V_{DD} + 0.3V) to (GND – 5V)

Package Power Dissipation ($T_A \leq 70°C$)
- DFN .... **Note 3**
- MSOP ....340 mW
- PDIP ....730 mW
- SOIC ....470 mW

Storage Temperature Range..............-65°C to +150°C

Maximum Junction Temperature......................+150°C

† Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of the specifications is not implied. Exposure to Absolute Maximum Rating conditions for extended periods may affect device reliability.

PIN FUNCTION TABLE

Name	Function
NC	No Connection
IN A	Input A
GND	Ground
IN B	Input B
OUT B	Output B
V_{DD}	Supply Input
OUT A	Output A
NC	No Connection

DC CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise noted, T_A = +25°C with 4.5V ≤ V_{DD} ≤ 18V.

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Input						
Logic '1', High Input Voltage	V_{IH}	2.4	—	—	V	**Note 2**
Logic '0', Low Input Voltage	V_{IL}	—	—	0.8	V	
Input Current	I_{IN}	-1.0	—	+1.0	µA	0V ≤ V_{IN} ≤ V_{DD}
Output						
High Output Voltage	V_{OH}	V_{DD} – 0.025	—	—	V	DC Test
Low Output Voltage	V_{OL}	—	—	0.025	V	DC Test
Output Resistance	R_O	—	7	10	Ω	I_{OUT} = 10 mA, V_{DD} = 18V
Peak Output Current	I_{PK}	—	1.5	—	A	V_{DD} = 18V
Latch-Up Protection Withstand Reverse Current	I_{REV}	—	> 0.5	—	A	Duty cycle ≤ 2%, t ≤ 300 µs V_{DD} = 18V
Switching Time (Note 1)						
Rise Time	t_R	—	19	30	ns	**Figure 4-1**
Fall Time	t_F	—	19	30	ns	**Figure 4-1**
Delay Time	t_{D1}	—	20	30	ns	**Figure 4-1**
Delay Time	t_{D2}	—	40	50	ns	**Figure 4-1**
Power Supply						
Power Supply Current	I_S	— —	— —	4.5 0.4	mA	V_{IN} = 3V (Both inputs) V_{IN} = 0V (Both inputs)

Note 1: Switching times ensured by design.

2: For V temperature range devices, the V_{IH} (Min) limit is 2.0V.

3: Package power dissipation is dependent on the copper pad area on the PCB.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC CHARACTERISTICS (OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE)

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Electrical Specifications: Unless otherwise noted, over operating temperature range with 4.5V $\leq V_{DD} \leq$ 18V.						
Input						
Logic '1', High Input Voltage	V_{IH}	2.4	—	—	V	**Note 2**
Logic '0', Low Input Voltage	V_{IL}	—	—	0.8	V	
Input Current	I_{IN}	-10	—	+10	µA	$0V \leq V_{IN} \leq V_{DD}$
Output						
High Output Voltage	V_{OH}	V_{DD} – 0.025	—	—	V	DC Test
Low Output Voltage	V_{OL}	—	—	0.025	V	DC Test
Output Resistance	R_O	—	9	12	Ω	I_{OUT} = 10 mA, V_{DD} = 18V
Peak Output Current	I_{PK}	—	1.5	—	A	V_{DD} = 18V
Latch-Up Protection Withstand Reverse Current	I_{REV}	—	>0.5	—	A	Duty cycle $\leq$ 2%, t $\leq$ 300 µs V_{DD} = 18V
Switching Time (Note 1)						
Rise Time	t_R	—	—	40	ns	**Figure 4-1**
Fall Time	t_F	—	—	40	ns	**Figure 4-1**
Delay Time	t_{D1}	—	—	40	ns	**Figure 4-1**
Delay Time	t_{D2}	—	—	60	ns	**Figure 4-1**
Power Supply						
Power Supply Current	I_S	— —	— —	8.0 0.6	mA	V_{IN} = 3V (Both inputs) V_{IN} = 0V (Both inputs)

Note 1: Switching times ensured by design.

2: For V temperature range devices, the V_{IH} (Min) limit is 2.0V.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Electrical Specifications: Unless otherwise noted, all parameters apply with 4.5V $\leq V_{DD} \leq$ 18V.						
Temperature Ranges						
Specified Temperature Range (C)	T_A	0	—	+70	°C	
Specified Temperature Range (E)	T_A	-40	—	+85	°C	
Specified Temperature Range (V)	T_A	-40	—	+125	°C	
Maximum Junction Temperature	T_J	—	—	+150	°C	
Storage Temperature Range	T_A	-65	—	+150	°C	
Package Thermal Resistances						
Thermal Resistance, 8L-6x5 DFN	θ_{JA}	—	33.2	—	°C/W	
Thermal Resistance, 8L-MSOP	θ_{JA}	—	206	—	°C/W	
Thermal Resistance, 8L-PDIP	θ_{JA}	—	125	—	°C/W	
Thermal Resistance, 8L-SOIC	θ_{JA}	—	155	—	°C/W	

© 2006 Microchip Technology Inc.

มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.0 TYPICAL PERFORMANCE CURVES

Note:	The graphs and tables provided following this note are a statistical summary based on a limited number of samples and are provided for informational purposes only. The performance characteristics listed herein are not tested or guaranteed. In some graphs or tables, the data presented may be outside the specified operating range (e.g., outside specified power supply range) and therefore outside the warranted range.

Note: Unless otherwise indicated, $T_A = +25°C$ with $4.5V \le V_{DD} \le 18V$.

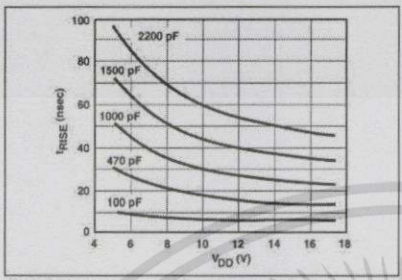


FIGURE 2-1: Rise Time vs. Supply Voltage.

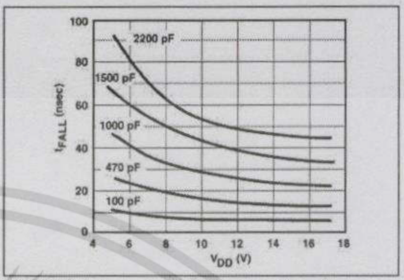


FIGURE 2-4: Fall Time vs. Supply Voltage.

FIGURE 2-2: Rise Time vs. Capacitive Load.

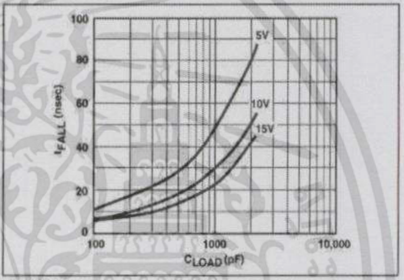


FIGURE 2-5: Fall Time vs. Capacitive Load.

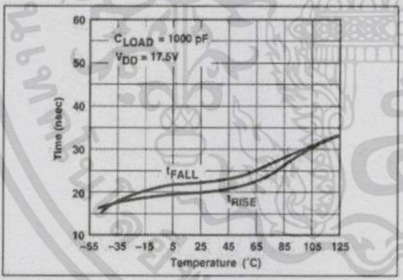


FIGURE 2-3: Rise and Fall Times vs. Temperature.

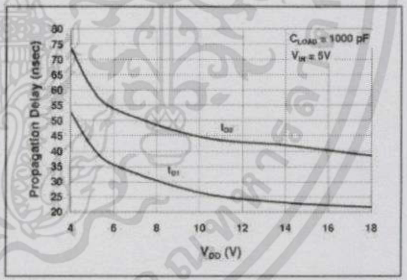


FIGURE 2-6: Propagation Delay Time vs. Supply Voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Note: Unless otherwise indicated, T_A = +25°C with 4.5V ≤ V_{DD} ≤ 18V.

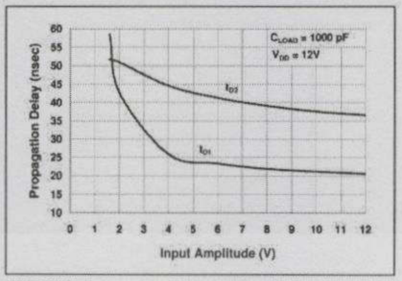


FIGURE 2-7: *Propagation Delay Time vs. Input Amplitude.*

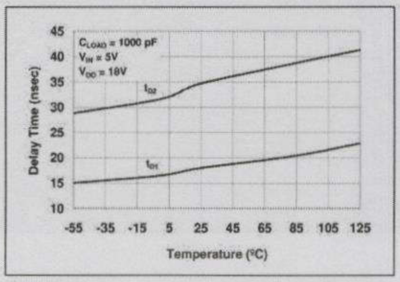


FIGURE 2-10: *Propagation Delay Time vs. Temperature.*

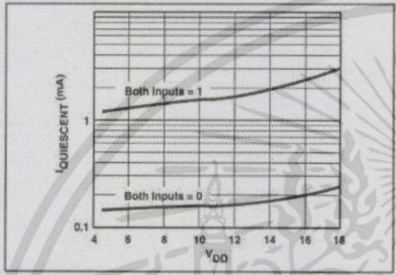


FIGURE 2-8: *Supply Current vs. Supply Voltage.*

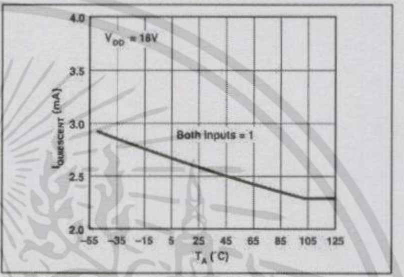


FIGURE 2-11: *Supply Current vs. Temperature.*

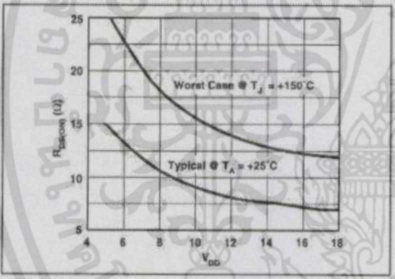


FIGURE 2-9: *Output Resistance (R_{OH}) vs. Supply Voltage.*

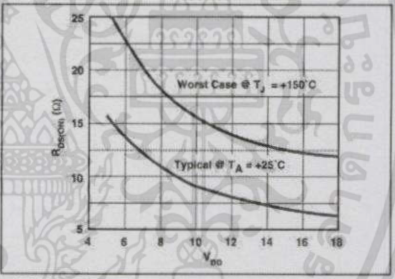


FIGURE 2-12: *Output Resistance (R_{OL}) vs. Supply Voltage.*

© 2006 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Note: Unless otherwise indicated, $T_A = +25°C$ with $4.5V \le V_{DD} \le 18V$.

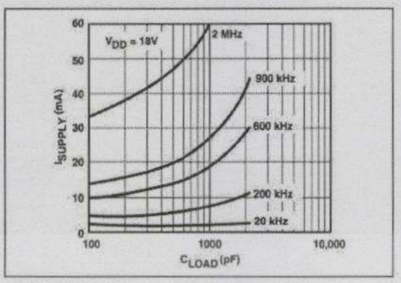


FIGURE 2-13: *Supply Current vs. Capacitive Load.*

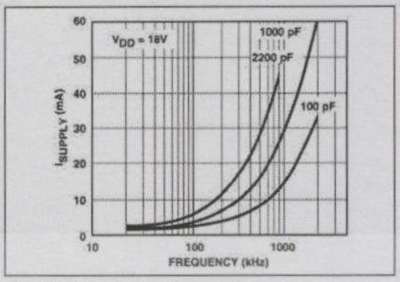


FIGURE 2-16: *Supply Current vs. Frequency.*

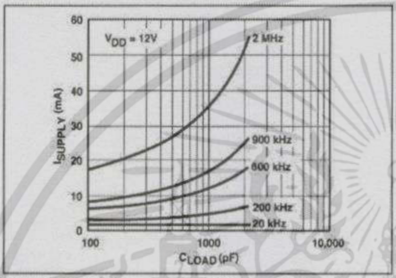


FIGURE 2-14: *Supply Current vs. Capacitive Load.*

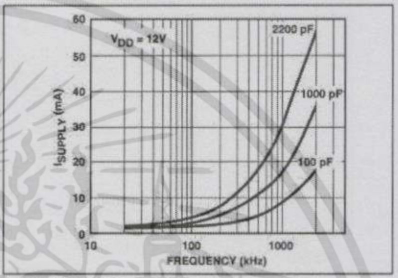


FIGURE 2-17: *Supply Current vs. Frequency.*

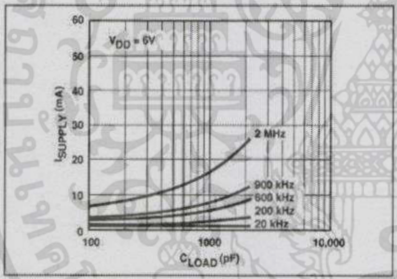


FIGURE 2-15: *Supply Current vs. Capacitive Load.*

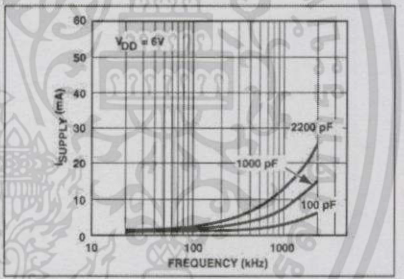


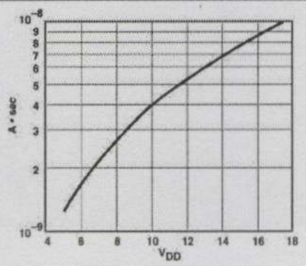
FIGURE 2-18: *Supply Current vs. Frequency.*

© 2006 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TC4426/TC4427/TC4428

Note: Unless otherwise indicated, $T_A = +25°C$ with $4.5V \leq V_{DD} \leq 18V$.



Note: The values on this graph represent the loss seen by both drivers in a package during one complete cycle. For a single driver, divide the stated values by 2. For a single transition of a single driver, divide the stated value by 4.

FIGURE 2-19: Crossover Energy vs. Supply Voltage.

© 2006 Microchip Technology Inc.

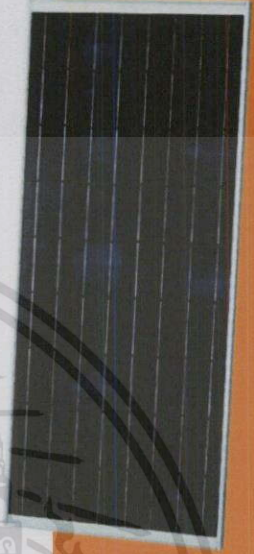
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผงเซลล์แสงอาทิตย์

SHARP

MULTI-PURPOSE MODULE

ND-130UJF

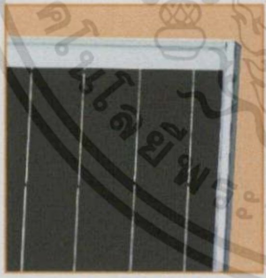


130 WATT

SUPERIOR DURABILITY. HIGH EFFICIENCY.

POLYCRYSTALLINE SILICON PHOTOVOLTAIC MODULE WITH 130W MAXIMUM POWER

Sharp's ND-130UJF photovoltaic modules offer industry-leading performance, durability, and reliability for a variety of electrical power requirements. Using breakthrough technology perfected by Sharp's 50 years of research and development, these modules incorporate an advanced surface texturing process to increase light absorption and improve efficiency. Common applications include cabins, solar power stations, pumps, beacons, and lighting equipment. Designed to withstand rigorous weather conditions, a junction box is also provided for easy electrical connections in the field, making Sharp's ND-130UJF modules the perfect combination of advanced technology and reliability.



Solder-coated grid results in high fill factor performance under low light conditions.

Sharp multi-purpose modules offer industry-leading performance for a variety of applications.

FEATURES

- High-power module (130 W) using 156 mm square polycrystalline silicon solar cells with 13.1% module conversion efficiency
- Sharp's advanced surface texturing process increases light absorption and efficiency while providing a more subdued, "natural" look
- Bypass diodes minimize the power drop caused by shade
- Water white tempered glass, EVA encapsulation, plus clear anodized aluminum frame for extended outdoor use
- Junction box for easy electrical connections in the field
- Nominal 12 VDC output for battery charging applications
- Listings: UL 1703 (cUL also) FM (NI CL1 DIV 2 GPS A,B,C,D T3C)
- Sharp modules are manufactured in ISO 9001 and ISO 14001 certified facilities
- 25-year limited warranty on power output (see dealer for details)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ND-130UJF

MULTI-PURPOSE MODULE

130 WATT

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Cell	Polycrystalline silicon
Number of Cells and Configuration	36 in series
Open Circuit Voltage (Voc)	21.9 V
Maximum Power Voltage (Vpm)	17.4 V
Short Circuit Current (Isc)	8.2 A
Maximum Power Current (Ipm)	7.5 A
Maximum Power (Pm)*	130 W (+10% / -5%)
Module Efficiency	13.1%
Maximum System Voltage	600 V
Series Fuse Rating	15 A
Type of Output Terminal	Junction Box

* (STC) Standard Test Conditions: 25°C, 1 kW/m², AM 1.5

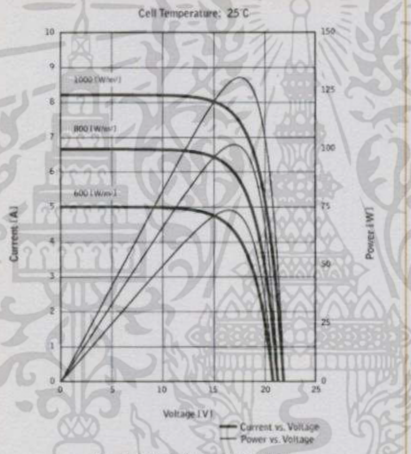
MECHANICAL SPECIFICATIONS

Dimensions (A x B x C below)	26.1" x 59.0" x 1.8" (662 mm x 1499 mm x 46 mm)
Weight	30.86 lbs / 14.0 kg
Size of Carton	59.6" x 26.7" x 2.3" (1514 mm x 678 mm x 59 mm)
Packing Configuration	1 pc per carton

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

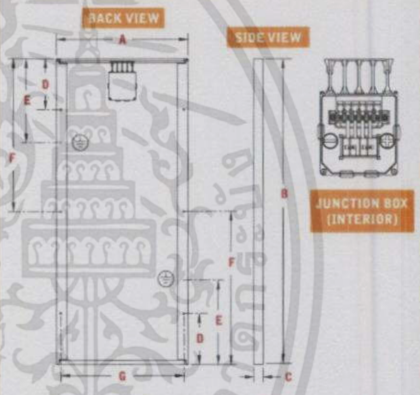
Operating Temperature (min to max, °F/°C)	-40 to 194°F / -40 to +90°C
Storage Temperature (min to max, °F/°C)	-40 to 194°F / -40 to +90°C

IV CURVES



Current, Power vs. Voltage Characteristics

DIMENSIONS



A	B	C	D
26.1" / 662 mm	59.0" / 1499 mm	1.8" / 46 mm	9.8" / 249.5 mm
E	**F**	**G**	
16.2" / 412 mm	29.5" / 749.5 mm	24.4" / 619 mm	

Design and specifications are subject to change without notice.

Sharp is a registered trademark of Sharp Corporation. All other trademarks are property of their respective owners.
Sharp takes no responsibility for any defects that may occur in equipment using any Sharp devices.
Contact Sharp to obtain the latest product manuals before using any Sharp device.

SHARP

SHARP ELECTRONICS CORPORATION · 5901 Bolsa Avenue, Huntington Beach, CA 92647
Tel: 1-800-SOLAR-06 · E-mail: sharpsolar@sharpusa.com · www.sharpusa.com/solar

Cover photo: Solar installation by Direct Power and Water, Albuquerque, NM

©2008 Sharp Electronics Corporation. All rights reserved.

SESG-130UJF-0508
Printed in the USA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

มาตราฐาน EN55022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BRITISH STANDARD EN 55022

Information technology equipment

Radio disturbance characteristics

Limits and methods of measurement

1. Introduction

The scope is extended to the whole radio-frequency range from 9 kHz to 400 GHz, but limits are formulated only in restricted frequency bands, which is considered sufficient to reach adequate emission levels to protect radio broadcast and telecommunication services, and to allow other apparatus to operate as intended at reasonable distance.

2. Scope and object

Procedures are given for the measurement of the levels of spurious signals generated by the ITE and limits are specified for the frequency range 9 kHz to 400 GHz for both class A and class B equipment. No measurements need be performed at frequencies where no limits are specified. The intention of this publication is to establish uniform requirements for the radio disturbance level of the equipment contained in the scope, to fix limits of disturbance, to describe methods of measurement and to standardize operating conditions and interpretation of results

3. Classification of ITE

ITE is subdivided into two categories denoted class A ITE and class B ITE.

Class B ITE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Class B ITE is a category of apparatus which satisfies the class B ITE disturbance limits. Class B ITE is intended primarily for use in the domestic environment and may include:

- equipment with no fixed place of use; for example, portable equipment powered by built-in batteries;
- telecommunication terminal equipment powered by a telecommunication network;
- personal computers and auxiliary connected equipment.

NOTE: The domestic environment is an environment where the use of broadcast radio and television receivers may be expected within a distance of 10 m of the apparatus concerned.

Class A ITE

Class A ITE is a category of all other ITE which satisfies the class A ITE limits but not the class B ITE limits. Such equipment should not be restricted in its sale but the following warning shall be included in the instructions for use

4. Limits for conducted disturbance at mains terminals and telecommunication ports

The equipment under test (EUT) shall meet the limits in Table 1 and Table 3 or Table 2 and Table 4, as applicable, including the average limit and the quasi-peak limit when using, respectively, an average detector receiver and quasi-peak detector receiver and measured in accordance with the methods described in Clause **9**. Either the voltage limits or the current limits in Table 3 or Table 4, as applicable, shall be met except for the measurement method of **C.1.3** where both limits shall be met. If the average limit is met when using a quasi-peak detector receiver, the EUT shall be deemed to meet both limits and measurement with the average detector receiver is

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

unnecessary. If the reading of the measuring receiver shows fluctuations close to the limit, the reading shall be observed for at least 15 s at each measurement frequency; the higher reading shall be recorded with the exception of any brief isolated high reading which shall be ignored.

4.1 Limits of mains terminal disturbance voltage

Table 1 - Limits for conducted disturbance at the mains ports of class A ITE

Frequency range (MHz)	Limits dB(μV)	
	Quasi-peak	Average
0,15 to 0,50	79	66
0,50 to 30	73	60
NOTE: The lower limit shall apply at the transition frequency.		

Table 2 - Limits for conducted disturbance at the mains ports of class B ITE

Frequency range (MHz)	Limits dB(μV)	
	Quasi-peak	Average
0,15 to 0,50	66 to 56	56 to 46
0,50 to 5	56	46
5 to 30	60	50
NOTE 1: The lower limit shall apply at the transition frequencies. NOTE 2: The limit decreases linearly with the logarithm of the frequency in the range 0,15 MHz to 0,50 MHz.		

4.2 Limits of conducted common mode (asymmetric mode) disturbance at telecommunication ports1)

Table 3 - Limits of conducted common mode (asymmetric mode) disturbance at

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

telecommunication ports in the frequency range 0,15 MHz to 30 MHz for class A equipment

Frequency range (MHz)	Voltage limits dB(μV)		Current limits dB(μA)	
	Quasi-peak	Average	Quasi-peak	Average
0,15 to 0,5	97 to 87	84 to 74	53 to 43	40 to 30
0,5 to 30	87	74	43	30
NOTE 1 The limits decrease linearly with the logarithm of the frequency in the range 0,15 MHz to 0,5 MHz. NOTE 2 The current and voltage disturbance limits are derived for use with an impedance stabilization network (ISN) which presents a common mode (asymmetric mode) impedance of 150 7 to the telecommunication port under test (conversion factor is 20 log10 150 / l = 44 dB)				

Table 4 - Limits of conducted common mode (asymmetric mode) disturbance at telecommunication ports in the frequency range 0,15 MHz to 30 MHz for class B equipment

Frequency range (MHz)	Voltage limits dB(μV)		Current limits dB(μA)	
	Quasi-peak	Average	Quasi-peak	Average
0,15 to 0,5	84 to 74	74 to 64	40 to 30	30 to 20
0,5 to 30	74	64	30	20
NOTE 1 The limits decrease linearly with the logarithm of the frequency in the range 0,15 MHz to 0,5 MHz. NOTE 2 The current and voltage disturbance limits are derived for use with an impedance stabilization network (ISN) which presents a common mode (asymmetric mode) impedance of 150 7 to the telecommunication port under test (conversion factor is 20 log10 150/l = 44 dB).				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
โปรแกรมเพื่อการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้วย pic16f877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include<htc.h>

#include<stdlib.h>

__CONFIG(HS & WDTDIS &PWRTDIS& BORDIS & LVPDIS & UNPROTECT);

#define _XTAL_FREQ 20000000   // 20 MHz

void SetPWMDutyCycle(unsigned int DutyCycle)

{

        CCPR1L = DutyCycle>>2;

        CCP1CON &= 0xcf;

        CCP1CON |= (0x30&(DutyCycle<<4));

}

void main(){

        float a,b,volt;

        int duty=500;

        ADCON0 = 0b11000001;

    ADCON1 = 0b10000000;

        __delay_us(100);

        TRISA = 0xFF;

        TRISC = 0x00;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CCP1CON = 0x0c;

PR2 = 249;

T2CON = 0b00000000;

SetPWMDutyCycle(0);

T2CON |= 0x04;

while(1){

        SetPWMDutyCycle(duty);

    ADCON0 = 0b11000101;

    __delay_us(100);

        a = (float)ADRESH;

        b = (float)ADRESL;

        volt = (a*256 + b)*5/1023;

         if(volt==4.750)

      {

      duty=duty;

      }

    else if(volt<4.750)

      {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(duty<=700){
   duty=duty+1;
}
else{duty=duty;
}
   }
   else if(volt>4.750)
   {
if(duty>=50){
   duty=duty-1;
}
else{
duty=duty;
}    }
   }    }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

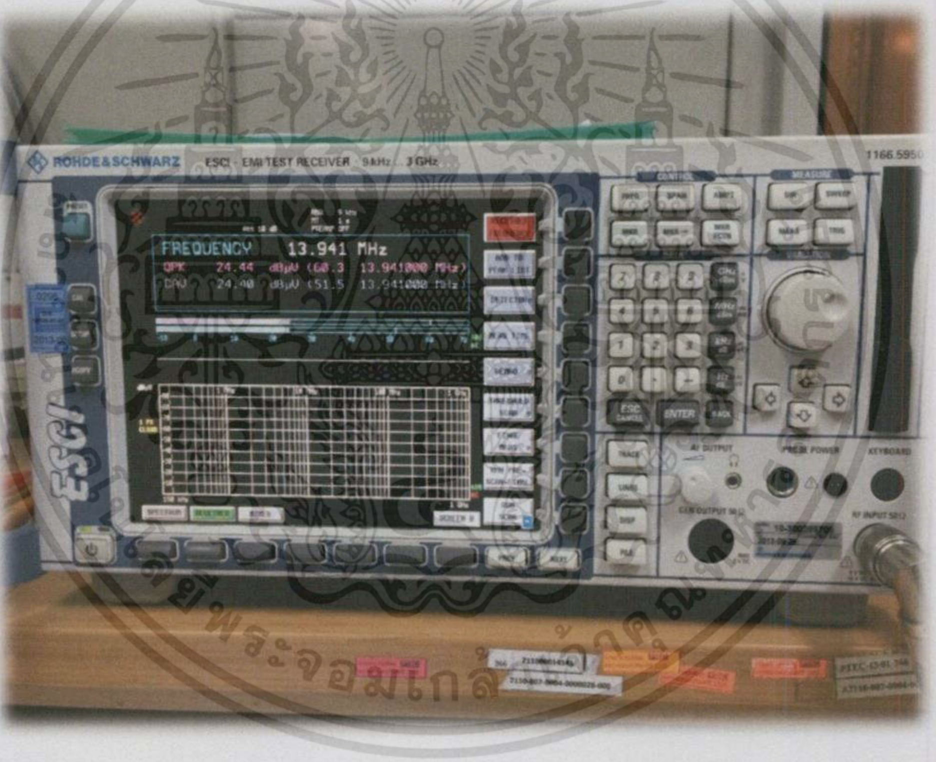
ภาคผนวก ง

อุปกรณ์และวิธีการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านทางสายตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ วัดค่าระดับสัญญาณและประมวลผลหลายอย่างเพื่อให้ได้ความถูกต้องแม่นยำและเพื่อให้เป็นไปตามที่มาตรฐานสากลกำหนด ในหัวข้อนี้จะนำเสนอลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในโหมดผลต่างและโหมดผลร่วม ต่อไปจะเป็นอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

1. เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer)



เครื่องวิเคราะห์สเปคตรัม (Spectrum Analyzer)

เครื่องวิเคราะห์สเปคตรัม หรือเครื่องรับสัญญาณรบกวน เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้จากโครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ สำหรับการวัดสัญญาณรบกวนในตัวนำ หรือจากสายอากาศต่างๆ สำหรับสัญญาณรบกวนที่มาทางสายอากาศ เครื่องรับสัญญาณที่ใช้ในการวัดแบบ quasi-peak จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานข้อ 2 ของ CISPR 16-1 เครื่องรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ average จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานข้อ 2 ของ CISPR 16-1 และจะต้องมี bandwidth 6 dB ตามมาตรฐานข้อ 2 ของ CISPR 16-1 ส่วนเครื่องรับสัญญาณแบบ peak จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานข้อ 3 ของ CISPR 16-1 และจะต้องมี bandwidth 6 dB ตามมาตรฐานข้อ 2 ของ CISPR 16-1

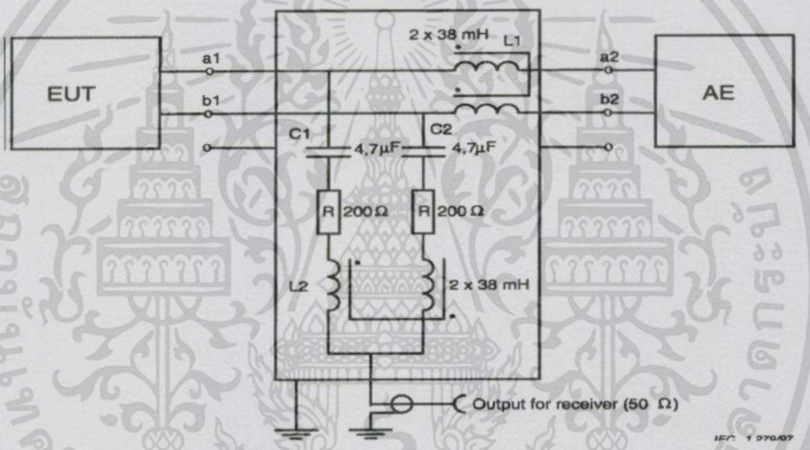
2. **โครงข่ายรักษาสเถียรภาพอิมพีแดนซ์ (Line Impedance Stabilization Network: LISN)**

โครงข่ายรักษาสเถียรภาพอิมพีแดนซ์

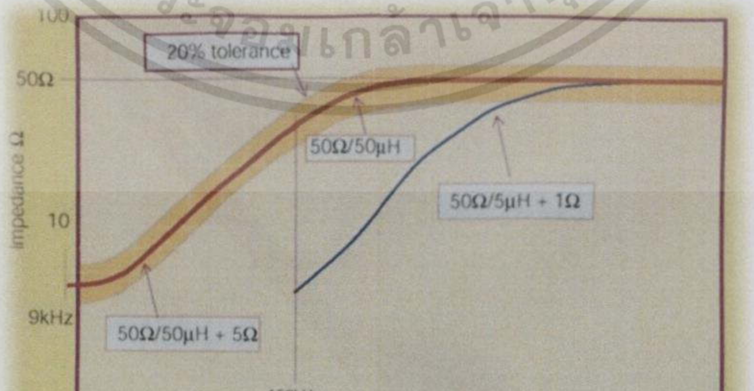
โครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (Line Impedance Stabilization Network) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถติดตั้งได้ง่าย จากรูปที่ 2.17 โดยการต่อไว้ที่ทางด้านเข้าของแหล่งจ่ายไฟของอุปกรณ์ที่ต้องการจะวัด (Equipment Under Test: EUT) ซึ่งสาเหตุที่ต้องต่อเครื่องวัดไว้ที่ด้านเข้าของแหล่งจ่ายไฟ เพราะที่ด้านขาออกของแหล่งจ่ายไฟเป็นเส้นทางหลักของสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์จะไปรบกวนวงจรอื่นทางตัวนำ และเพราะว่าสายที่ต่อจากแหล่งจ่าย จะทำตัวคล้ายกับเป็นสายอากาศ แผ่สัญญาณรบกวนออกไปด้วยความ ถี่ที่ทำการทดลอง จากมาตรฐานEN 55022 (CISPR 22) ซึ่งหน้าที่หลักๆของตัว LISN แบ่งได้เป็น 3 ข้อด้วยกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เสถียรภาพอิมพีแดนซ์ระหว่างสายในแต่ละสายของแหล่งจ่ายกับจุดกราวนด์อ้างอิง ให้คงที่ที่ 50 Ω โดยมีตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าความเหนี่ยวนำ 50 μH ต่ออยู่ด้วย สำหรับความถี่ตั้งแต่ 150 kHz ถึง 30 MHz ดังแสดงในรูปที่ โดยที่ 50 Ω/50 μH+5 Ω ใช้สำหรับ LISN ทั่วไป และ50 Ω/50 μH+1 Ω ใช้สำหรับ LISN ที่ใช้ทดสอบในสภาวะกระแสสูงถึงแอมป์
2. แยกสัญญาณรบกวนที่ปล่อยออกมาจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่อยู่ภายใต้การทดสอบ (Equipment Under Test: EUT) เพื่อนำเข้าสู่เครื่องมือวิเคราะห์
3. ลดทอนสัญญาณรบกวนที่มากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักออกไปโดยไม่ให้เข้าสู่ระบบที่กำลังวัดอยู่ และเพื่อความปลอดภัยในการทดสอบ ควรมีการต่อจุดอ้างอิงของ LISN ลงดิน



วงจรสมมูลของ Line Impedance Stabilization Network: LISN



การตอบสนองของความต้านทานต่อความถี่ของ LISN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นกราวด์ (Ground plane)

เมื่อต้องการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ โดยให้อุปกรณ์ที่ต้องการจะวัด หรือ EUT (Equipment Under Test) ตั้งอยู่บนโต๊ะทดลอง จะต้องตั้งให้สูงกว่าแผ่นโลหะที่ใช้ทำเป็นกราวด์อ้างอิง 0.4 เมตร โดยที่แผ่นโลหะจะต้องมีขนาดกว้างและยาวอย่างน้อยด้านละ 2 เมตร และจะต้องตั้งให้ห่างจากแผ่นโลหะอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทดลองอย่างน้อย 0.8 เมตร ถ้าอุปกรณ์ที่ต้องการวัดบรรจุอยู่ในกล่องปิด ให้ถือว่าระยะห่างจากแผ่นกราวด์อ้างอิง 0.4 เมตรนี้ วัดถึงวัสดุที่ใช้ทำกล่องถ้าอุปกรณ์ที่ต้องการวัดไม่ได้บรรจุอยู่ในกล่องปิด ให้ถือว่าระยะห่างจากแผ่นกราวด์อ้างอิง

0.4 เมตรนี้ วัดถึงแนวระดับของแผ่นกราวด์ภายในวงจร

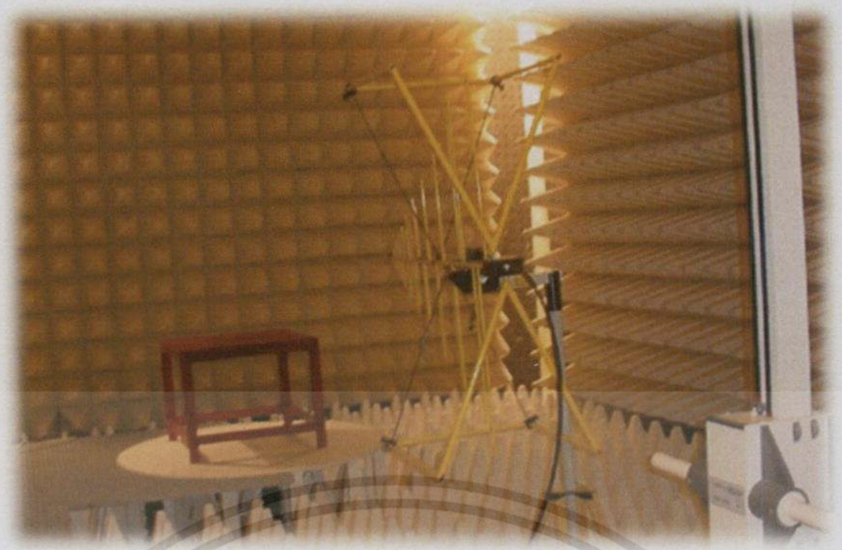
แผ่นกราวด์จะต้องวางอยู่ที่พื้นระดับแนวราบ ใต้โต๊ะที่จะใช้ในการทดลองและต้องทำการยึดแผ่นกราวด์ให้มั่นคง ด้วยวัสดุที่ไม่ได้ทำมาจากโลหะ หรืออาจใช้พื้นที่ทำด้วยโลหะแทนแผ่นกราวด์ก็ได้และแผ่นกราวด์ที่ใช้จะต้องมีขอบที่อยู่เลยจากขอบอุปกรณ์ที่ต้องการจะวัด ไม่น้อยกว่า 0.5 เมตรมีขนาดไม่ต่ำกว่า 2x2 ตารางเมตร

จุดกราวด์อ้างอิงของ LISN และ โครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์จะต้องต่อกับแผ่นกราวด์ด้วยตัวนำโดยให้สายที่ใช้ต่อสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้

ห้องปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Shielded Room)

ห้องปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นห้องที่ถูกปิดทั้งหกด้าน วัสดุที่ใช้ทำผนังแต่ละด้านเป็นโลหะทึบสามารถป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกเข้าสู่ระบบทดสอบ และกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากผลิตภัณฑ์ที่ถูกทดสอบออกไปรบกวนระบบอื่นๆด้านนอก ภายนอกห้องปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกติดตั้งตัวกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (EMI Filter) เพื่อใช้กรองสัญญาณรบกวนที่มาจากแหล่งจ่ายไฟภายนอกให้มีระดับต่ำ ก่อนป้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ที่ถูกทดสอบที่ติดตั้งอยู่ภายในห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



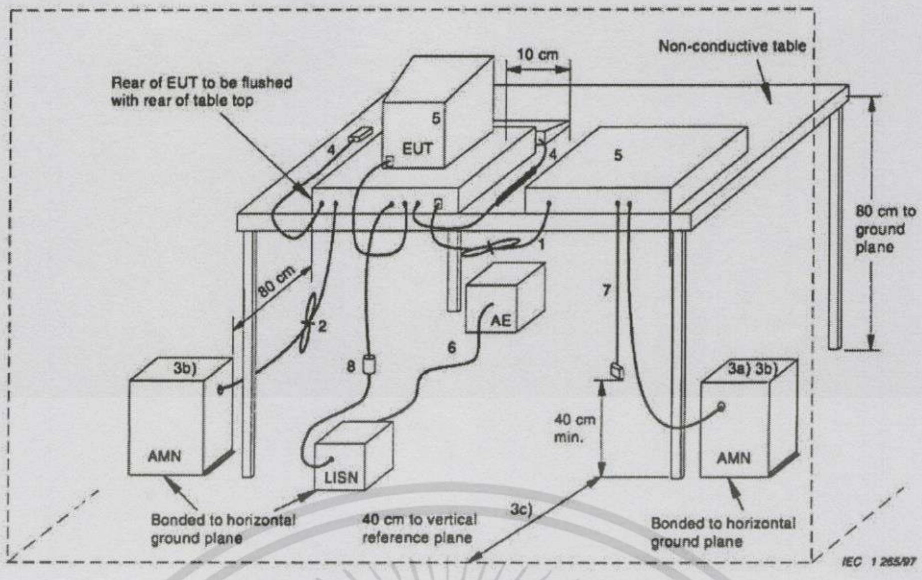
ห้องปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Shielded Room)

อุปกรณ์และวิธีการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านทางสายตัวนำ

การวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกต้องนั้น จะต้องมีอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้หลายอย่าง และเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานนานาชาติที่กำหนด ในหัวข้อนี้จะนำเสนอลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางตัวนำในโหมดผลร่วม ซึ่งแปลและเรียบเรียงมาจากมาตรฐาน CISPR 22 (EN 55022) ต่อไปจะเป็นอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

การติดตั้งเครื่องมือวัดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบวางอุปกรณ์บนโต๊ะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



AMN : Artificial mains network

AE : Associated equipment

EUT : Equipment under test

LISN : Line Impedance stabilization network

รูปการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ แบบวางบนอุปกรณ์บนโต๊ะ[11]

จากรูปข้างต้นจะเป็นตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบวางบนอุปกรณ์บนโต๊ะ ซึ่งมีเงื่อนไขการติดตั้งดังนี้[2]

1. ถ้าสายตัวนำซึ่งห้อยอยู่ต่ำกว่า 40 เซนติเมตร เหนือแนวระดับของแผ่นกราวด์และไม่สามารถทำให้สั้นได้ จะต้องมัดทบปลายสายให้มีความยาวระหว่าง 30 – 40 เซนติเมตร
2. สายไฟจากแหล่งจ่ายจะต้องมัดทบกันให้สายสั้นที่สุด
3. อุปกรณ์ที่ต้องการจะวัดต้องต่ออยู่กับ AMN/LISN 1 ตัว โดยที่ ทุกตัวจะต้องต่อเข้ากับแผ่นกราวด์ที่อยู่ในแนวระดับ
    a) แหล่งจ่ายไฟทุกส่วนของระบบจะต้องต่อมาจาก LISN ตัวที่ 2 โดยสามารถติดตั้งให้มีปลายสายแบบใช้ได้หลายอุปกรณ์
    b) LISN ที่ใช้เป็นตัวอ้างอิงจะต้องวางห่างจากอุปกรณ์ที่ทำการวัด 80 เซนติเมตร และอย่างน้อย 80 เซนติเมตร จากอุปกรณ์อื่นๆ และแผ่นโลหะอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c) สายไฟหลักและสายสัญญาณควรวางให้อยู่ห่างกันมากที่สุดเท่าที่จะทำได้และจะต้องอยู่สูงจากแผ่นกราวด์อ้างอิง 40 เซนติเมตร

4. สายของเครื่องมือที่ใช้ร่วมในการวัด เช่น สายคีย์บอร์ด สายเมาส์ และอื่นๆให้วางเหมือนกับการใช้งานทั่วไป
5. สิ่งที่อยู่รอบๆภายนอกจะต้องอยู่ห่างอย่างน้อย 10 เซนติเมตร จากอุปกรณ์อื่นข้างเคียงและจากตัวควบคุม ยกเว้นจอภาพซึ่งต้องใช้ในการทดสอบ สามารถวางอยู่บนตัวควบคุมได้
6. มีสายสัญญาณเข้าออก สำหรับต่อกับอุปกรณ์ภายนอก
7. ที่ปลายสายสัญญาณเข้าออกที่ไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ช่วยสามารถปล่อยลอยเอาไว้ หรืออาจต่อเข้ากับอิมพีแดนซ์ก็ได้ ถ้าจำเป็นต้องใช้ current probe ควรวางห่างจาก LISN ไม่น้อยกว่า 0.1 เมตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

บทความวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพและการลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นกระแสตรงเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Performance and Reduction of Electromagnetic Interference of DC-DC Converter Connected to Photovoltaic Panel

นฤนันท์ เอกสินิทธ์กุล ปณพงศ์ ส่งสุขอวัฒย์ ปริวัฒน์ เหลื่อมสีจันทร์ ปรีชพล เล่าชู

ภาควิชาไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาและออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นกระแสตรง (Boost Converter)[1] เชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยใช้วงจรควบคุมป้อนกลับแบบลบเพื่อปรับค่าดิวตี้ไซเคิลจากสัญญาณ PWM ที่สร้างจากไมโครคอนโทรเลอร์รุ่น 16F877 เพื่อจ่ายโหลดทางไฟฟ้า และออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นกระแสตรงตามหลักการของความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC)[1] และวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อลดทอนสัญญาณสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ชิ่งภายในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นกระแสตรง เพื่อให้ค่าระดับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับที่สอดคล้องตามมาตรฐาน EN55022 Class B[4]

คำสำคัญ: สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า, บูสต์คอนเวอร์เตอร์, แผงเซลล์แสงอาทิตย์

Abstract

This thesis identifies a combination of research and design for maximum efficiency to DC-DC Converter connected to photovoltaic panel by controlling the input and output voltage from boost converter using a negative feedback control to adjust the duty cycle of PWM signal generated from microcontroller 16F877 to electrical load and design EMI filter to attenuate the electromagnetic interference that occurs from the switching devices inside DC-DC converter. To obtain the level of noise in acceptable standard and make comparisons between circuit designs that does not consider the electromagnetic compatibility (EMC) and the design with principle of compatibility.

Keywords: Electromagnetic interference (EMI), Boost converter, Photovoltaic panel

1.บทนำ

การใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันเริ่มมีการนำพลังงานทางเลือกเข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้นทั้งในด้านผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้าเนื่องจากเป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ไม่มีวันหมดไปเหมือนกับพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศไม่เป็นอันตรายกับสิ่งมีชีวิตอีกทั้งเป็นการลงทุนการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าสำหรับการลงทุนระยะยาวด้วย

การเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ต้องมีติดติดตั้งวงจรทบระดับแรงดันและควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่สำหรับการนำไปใช้งานแต่การเชื่อมต่อวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง-กระแสตรง (Boost Converter) เข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ก็ส่งผลกระทบต่อความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC) เพราะอุปกรณ์สวิตช์ชิ่งภายในจะเป็นตัวแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ที่จะเหนี่ยวนำขึ้นตามสายตัวนำ (Radiated EMI) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบและอาจขัดขวางหรือรบกวนระบบสื่อสารได้

2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulation)

วงจรบูสต์ที่ใช้มอสเฟสเป็นอุปกรณ์สวิตช์ชิ่ง (switching) ซึ่งจะใช้ในย่านความถี่สูงโดยจะควบคุมให้นำกระแสด้วยความต่างศักย์ระหว่างขาเกต (gate) กับซอส (source) ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์มาสร้างสัญญาณ PWM เพื่อขับให้มอสเฟสนำกระแสตามที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการและเมื่อสามารถทำให้มอสเฟสนำกระแสและได้แรงดันขาออกมาจะทำการควบคุม

ระดับแรงดันโดยใช้วงจรป้อนกลับแบบลบ (Negative feedback) โดยจากรูปจะทำการแบ่งแรงดัน (voltage divider) โดยใช้ตัวต้านทานโดยในที่นี้จะแบ่งแรงดันจาก 24V ให้เหลือ 4.8V มาเข้าในตัวไมโคร-คอนโทรลเลอร์เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบค่าซึ่งถ้าค่ามากกว่าที่กำหนดไมโครคอนโทรลเลอร์จะลดค่าดิวตี้ไซเคิล (duty cycle) ทำให้กำลังขยายของวงจรบูสต์ลดลงและในทางตรงข้ามเมื่อแรงดันต่ำกว่าค่าที่กำหนดจะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มค่าดิวตี้ไซเคิลทำให้กำลังขยายของวงจรบูสต์มากขึ้น

2.2 อุปกรณ์และวิธีการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านทางสายตัวนำ

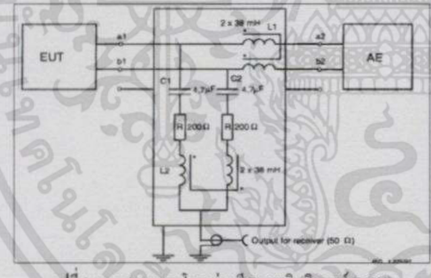
ในหัวข้อนี้จะนำเสนอลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางตัวนำในโหมดผลร่วม ซึ่งแปลและเรียบเรียงมาจากมาตรฐาน CISPR 22 (EN 55022)[4]

หน้าที่หลักๆของตัว LISN[4] แบ่งได้เป็น 3 ข้อด้วยกันคือ

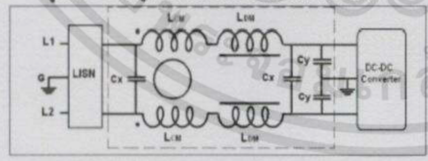
1. เสถียรภาพอิมพีแดนซ์ระหว่างสายในแต่ละสายของแหล่งจ่ายกับจุดกราวนด์อ้างอิง ให้คงที่

2. แยกสัญญาณรบกวนที่ปล่อยออกมาจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่อยู่ภายใต้การทดสอบ เพื่อนำเข้าสู่เครื่องมือวิเคราะห์

3. ลดทอนสัญญาณรบกวนที่มากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักออกไปโดยไม่ให้เข้าสู่ระบบที่กำลังวัดอยู่และเพื่อความปลอดภัยในการทดสอบ



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของโครงข่ายเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (LISN)



รูปที่ 2 วงจรสมมูลของวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter)

วงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter)[1] จะต้องมีการออกแบบในวงจรกรองสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วม (CM) โดยใช้ L_{CM} ที่ใช้วิธีการพันขดลวดให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางที่เสริมกันและ C_Y ที่ต่อลงกราวด์ ในวงจรกรองสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง (DM) โดยใช้ L_{DM} ที่ใช้วิธีการพันขดลวดให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางที่หักล้างกัน และ C_X สองตัว

3. การจำลองการทำงานและการเกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ใช้ในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยมีหลักการทำงานดังนี้

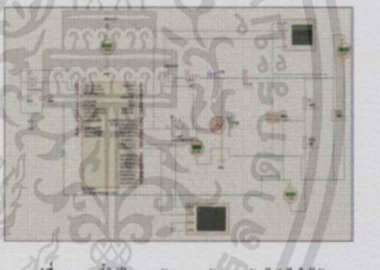
1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละสายจะมีค่าเท่ากันและเป็นค่าบวกเสมอ

2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์

3. ตัวเก็บประจุจะต้องมีขนาดใหญ่เพื่อทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าคงที่

4. กำลังไฟฟ้าอินพุตเท่ากับกำลังไฟฟ้าเอาท์พุต

3.1 การจำลองการทำงานของวงจรรักษาระดับแรงดันขาออกของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม PROTEUS



รูปที่ 3 วงจรที่ใช้ในการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

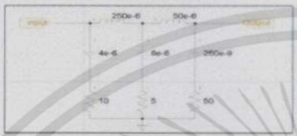
รูปที่ 4 ผลการจำลองว่าวงจรสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

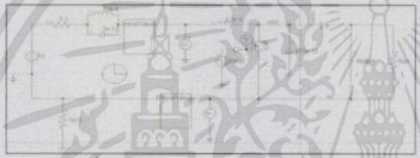
จากรูปข้างต้นนั้นจำลองโดยให้แรงดันขาเข้าเป็น 12 โวลต์และทำการเปลี่ยนโหลดในช่วง 100 โอห์มถึง 1000 โอห์มผลที่แสดงออกมาแรงดันขาออกจะคงที่อยู่ที่ 24 โวลต์

3.2 การจำลองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม Psim

การวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจำเป็นต้องมีโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (Line Impedance Stabilization Network : LISN)



รูปที่ 5 โครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (LISN)



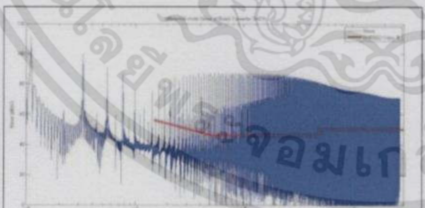
รูปที่ 6 แบบจำลองบูสคอนเวอร์เตอร์พร้อม LISN

3.3 ผลการจำลองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

3.3.1 ผลการจำลองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในโหมดผลต่าง (Differential Mode)

ทำการวัดสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง โดยวัดแรงดันระหว่างไลน์กับกราวด์ และแรงดันระหว่างนิวทรัลกับกราวด์ ดังสมการ

$$V_{DM}=\frac{V_{LG}-V_{NG}}{2}$$

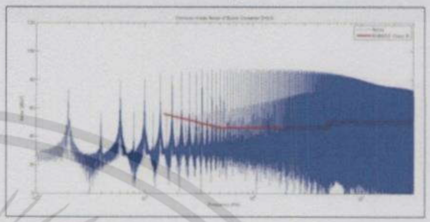


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหมดผลต่างในโดเมนความถี่(Frequency Domain)และเส้นมาตรฐาน EN 55022

3.3.2 ผลการจำลองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในโหมดผลร่วม (Common Mode)

ทำการวัดสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม โดยวัดแรงดันระหว่างไลน์กับกราวด์ และแรงดันระหว่างนิวทรัลกับกราวด์ ดังสมการ

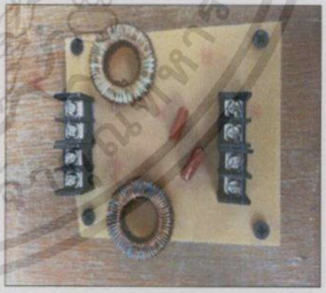
$$V_{CM}=\frac{V_{LG}+V_{NG}}{2}$$



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหมดผลร่วมในโดเมนความถี่ (Frequency Domain) และเส้นมาตรฐาน EN 5502

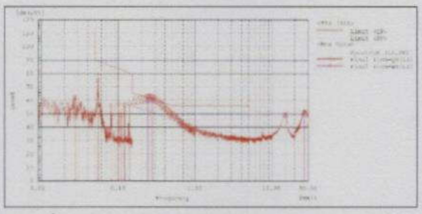
4.ผลการทดลอง

จากการทดลองวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ การควบคุมการป้อนกลับแบบลบเพื่อการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของวงจรโดยโปรแกรม Proteus พบว่าสัญญาณดิวตี้ไซเคิลที่ถูกสร้างมาจากไมโครคอนโทลเลอร์ pic16f877 สามารถควบคุมการทำงานของ MOSFET พบว่าเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ถูกแบ่งแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่กำหนดไว้ที่ 24 โวลต์วงจรจะทำการปรับเพิ่มค่าดิวตี้ไซเคิลเพื่อให้วงจรสามารถรักษาระดับแรงดันได้และในทางกลับกันเมื่อแรงดันไฟฟ้าขาออกสูงกว่าแรงดันอ้างอิงที่กำหนดวงจรจะทำการปรับลดค่าดิวตี้ไซเคิลให้ต่ำลงเพื่อทำให้สามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

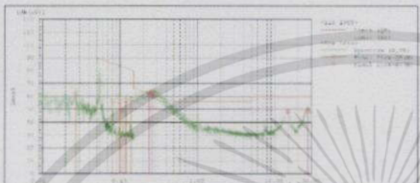


รูปที่ 9 วงจรกรองสัญญาณรบกวนความถี่สูง **(Low pass filter)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



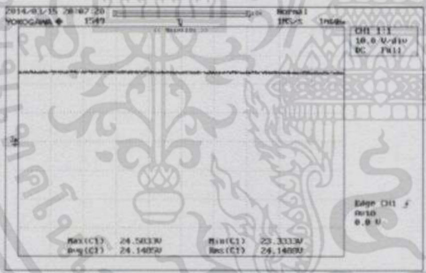
รูปที่ 10 กราฟการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายไลน์



รูปที่ 11 กราฟการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายนิวทรัล

4.1 ส่วนการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อประสิทธิภาพของวงจร

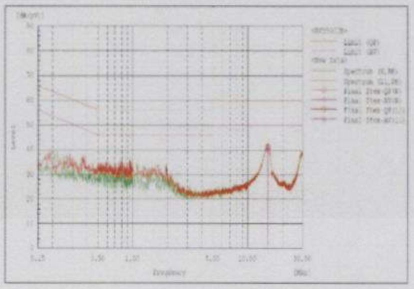
ผลการวัดประสิทธิภาพและการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 18-24 โวลต์ ที่พิกัดกระแส 6 แอมป์ สามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกได้จริงโดยมีช่วงการทำงานอยู่ที่แรงดันขาเข้าตั้งแต่ 8 โวลต์ถึง 23 โวลต์และโหลดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 10 โอห์มถึง 500 โอห์ม



รูปที่ 12 คลื่นแรงดันไฟฟ้าขาออกเมื่อไม่ใส่วงจรฟิลเตอร์

4.2 ส่วนของการลดทอนสัญญาณรบกวน

ผลการวัดหาค่าสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ พบว่ามีค่าสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเกินกว่าค่ามาตรฐาน EN55022 Class B จึงต้องทำการ**ลดทอน**สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการใช้ Low-pass filter ดังแสดงในรูป



รูปที่ 13 กราฟการวัดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายไลน์และสายนิวทรัล

5.สรุป

อุปกรณ์สวิตช์ชิ่งในวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เป็นตัวกำเนิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งการสวิตช์ชิ่งของมอสเฟตกำลังและการเริ่ม-หยุดนำกระแสของไดโอดกำลัง เมื่อนำวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นกระแสตรง (Boost Converter) เชื่อมต่อกับ LISN ได้ผลสรุปว่า ทั้งสัญญาณรบกวนมีค่าที่เกินมาตรฐาน EN55022 Class B จึงทำวงจรกรองขึ้นที่เป็นแบบ low-pass filter ซึ่งสามารถกรองให้สัญญาณรบกวนเป็นไปตามมาตรฐาน ส่วนในเรื่องของการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทำการเปลี่ยนโหลดก็สามารถรักษาระดับแรงดันไว้ได้ส่วนประสิทธิภาพของวงจรนั้นเมื่อทำการเปลี่ยนโหลดค่าประสิทธิภาพจะเปลี่ยนไปแต่ในที่พิกัดเมื่อความต้านทานเท่ากับ 25 โอห์มวงจรจะมีประสิทธิ์ภาพดีกว่าจุดอื่นๆ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะผู้จัดทำโครงงานทุกท่านและอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความร่วมมือและให้คำปรึกษาเพื่อนำไปสู่บทความวิชาการนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] J.L.Kotny, T.Duquesne, N.Idir. **"Design of EMI Filter for DC-DC converter"** IEEE Trans. Retrieved September 1, 2013

[2] วีระเชษฐ์ ขันเงิน, **"Power Electronics"**. พิมพ์ครั้งที่ 9.กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พริ้นติ้ง,2553

[4] วีระเชษฐ์ ขันเงิน, **"ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าด้านสื่อสาร"**. [หน้า 4-8], 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] วีระเชษฐ์ ขันเงิน, "**Power Electronics,**" พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ :สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง, 2553.

[2] Feng Lin, Dan Y.Chen "**Reduction of Power Supply EMI Emission by Switching Frequency Modulation,**" IEEE transaction on power electronic Vol 9, pp.132-137, 1994.

[3] ธีรศักดิ์ สมภารจันทร์, "**EMI self-learning toolkit for engineers,**" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.

[4] วีระเชษฐ์ ขันเงิน. "**ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าด้านสื่อสาร,**" หน้า 4-8 [1 ก.พ. 2557]. เข้าถึงได้ที่: http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Electromagnetic_Compatibility_on_ Telecommunications/index.php#f

[5] นนทิวัฒน์ เจริญบุญญาฤทธิ์, "**Attenuation of Parasitic Current in Power Converter Using Passive EMI Filter,**" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.

[6] A. Farhadi and A. Jalilian, "**Modeling, Simulation and Reduction Techniques of Electromagnetic Conducted Emission Due to Operation of Power Electronic Converters,**" International Conference on Renewable Energy and Power Quality (ICREPQ'07), Sevilla, Spain, March 2007.W.-K. Chen, Linear Networks and Systems (Book style). Belmont, CA: Wadsworth, pp. 123–135, 1993.

[7] Masahito Shoyama and Tamotsu Ninomiya, "**Common-Mode Noise Reduction by Current Cancellation in Switching Power Supplies,**" Proceedings of The 7th International Joint Symposium between Chungnam National University and Kyushu University, pp.67-70. 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[8] Feng Lin, Dan Y.Chen **"Reduction of Power Supply EMI Emission by Switching Frequency Modulation,"** IEEE transaction on power electronic Vol 9, pp.132-137, 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย นฤนันท์ เอกสินิทธ์กุล เกิดวันที่ 13 กันยายน พ.ศ.2534
ที่อยู่ 39/72 ซ.อุดมสุข7 แขวงบางนา เขตบางนา จ.กรุงเทพฯ 10260
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

เบอร์โทรศัพท์: 082-496-3570
Email: iteezz@hotmail.com

นาย ปณพงศ์ ส่งสุขถวัลย์ เกิดวันที่ 27 มกราคม พ.ศ.2535
ที่อยู่ 139/36 หมู่ 1 ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

เบอร์โทรศัพท์: 085-072-6871
Email: plugov82@gmail.com

นาย ปริวัฒน์ เหลื่อมสีจันทร์ เกิดวันที่ 2 มีนาคม พ.ศ.2535
ที่อยู่ 7 หมู่ 2 ต.หัวเสือ อ.แม่ทะ จ.ลำปาง 52150
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ระบัง

เบอร์โทรศัพท์: 090-960-9984
Email: gatlckz.plug@gmail.com

นาย ปรีชพล เล่าชู เกิดวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ.2535
ที่อยู่ 39/72 ซ.อุดมสุข7 แขวงบางนา เขตบางนา จ.กรุงเทพฯ 10260
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหา
ระบัง

เบอร์โทรศัพท์: 086-375-5590
Email: laochu.man@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้