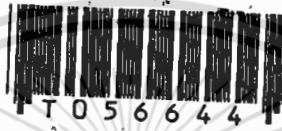


การออกแบบเพื่อลดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสวิตจิ่ง
เพาเวอร์ซัพพลายแบบฟลายแบค

DESIGN FOR REDUCTION EMI OF FLYBACK SWITCHING POWER
SUPPLY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ทว.
๑๕/๖/๖๗
๑๕๕๘

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. ๒๕๔๘

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 56644

วัน,เดือน,ปี 2 ก.ค. 2548

ISBN 974-15-1356-9

ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง
พิมพ์ที่กรมการนาเบเซ

๑๑๔๖๗๖๕
๒.....
๓.....

**DESIGN FOR REDUCTION EMI OF FLYBACK SWITCHING POWER
SUPPLY**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
MASTER OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2005

ISBN 974-15-1356-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบเพื่อลดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายแบบฟลายแบค
นักศึกษา	นายชัชวัฒน์ เถระกุล
รหัสนักศึกษา	45061151
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบควบคุม
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมาตรฐานสินค้าอุตสาหกรรมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผลิตภัณฑ์ทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ใช้ มาตรฐานในด้านการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าก็เป็นปัญหาใหญ่ ปัญหาหนึ่งที่เกิดสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายในประเทศไทยทดสอบไม่ผ่าน เนื่องมาจากในขั้นตอนการออกแบบนั้น นักวิจัยได้ออกแบบโดยคำนึงถึงปัญหาดังกล่าว แต่ใช้วิธีการแก้ปัญหาโดยแก้ไขแค่แปลงหลังจากผลิตสินค้าออกมาแล้ว ซึ่งไม่ใช่วิธีการที่ถูกต้องและเป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุ ทำให้เสียเวลามากและค่าใช้จ่ายสูง

บทความนี้จะนำเสนอวิธีการรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในขั้นตอนการออกแบบให้สามารถทดสอบผ่านมาตรฐานที่กำหนดไว้ นอกจากนั้นยังศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาคือปรับปรุงสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่มีปัญหาการรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องด้วย

Thesis Title	Design for reduction EMI of flyback switching power supply
Student	Mr.Chaivat Theirakul
Student ID.	45061151
Degree	Master of Engineering
Programme	Control Engineering
Year	2005
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Yothin Prempraneerach

ABSTRACT

Today an industrial product standards are need for electronic products. Among of these standards, the electromagnetic interference (EMI) standard becomes a big problem for vendor who has the switching power supply in the production line which can not pass the EMI standard testing. Because the designers did not consider the EMI problem in design procedure. But they solve the problem by try and error to modify their products after the products are manufactured. So that is not good method to fix the problem at the end of the affecting, it causes to loss the time and money as well.

This paper presents the design procedure for EMI reduction in the switching power supply which can pass the EMI standard testing, In addition the EMI problem in switching power supply being studied to fix correctly and as fast as possible is also presented.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะที่ผู้วิจัยได้รับความเมตตา
กรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา รวมถึง
สอบถามความคืบหน้าอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ผู้วิจัยมีแรงบันดาลใจในการทำงานอย่างมีระบบได้
ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม และ ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและ
อิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ที่เอื้อเฟื้อ สถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือ รวมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวก ต่าง
ๆ เจ้าหน้าที่ทุกท่าน จนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ที่ได้อบรม และให้ความรู้ทั้งในอดีต และปัจจุบัน ที่เคยสอนผู้วิจัย
จนสามารถเรียนรู้และสร้างสมประสบการณ์เพื่อนำมาทำเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้

และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ให้การสนับสนุนอบรมสั่งสอนในทุก
เรื่องและยังให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา และยังให้โอกาสแก่ผู้วิจัยได้ศึกษาเล่าเรียนจนถึงปัจจุบัน
ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน
ดั่งที่กล่าวมาแล้วทุกท่านเทอญ

ชัยวัฒน์ เถระกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์.....	1
1.2 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.3 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 แหล่งจ่ายกำลังไฟตรงสวิตซ์ชนิดปรับความกว้างพัลส์	
2.1 บทนำ.....	4
2.2 หลักการพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์.....	4
2.3 วงจรแปลงผันกำลังแบบฟลายแบค.....	5
2.4 หลักการออกแบบแหล่งจ่ายไฟชนิดฟลายแบค.....	6
2.5 การออกแบบอุปกรณ์ซึ่งเกี่ยวกับแม่เหล็ก.....	9
2.5.1 ขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์ซึ่งเป็นแม่เหล็ก.....	10
2.5.2 การหาขนาดของแกนแม่เหล็ก.....	10
2.5.3 การออกแบบหม้อแปลงในแหล่งจ่ายไฟสวิตซ์ชนิดฟลายแบค.....	12
2.5.4 การออกแบบวงจรขับโดยใช้หม้อแปลง.....	15
2.6 การออกแบบวงจรเรียงกระแสขาออก.....	17
2.7 การออกแบบอุปกรณ์สวิตซ์และวงจรขับ.....	19
2.8 การเลือกคอนโทรลเลอร์ ไอซี.....	22

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.9 การออกแบบวงจรเรียบกระแสขาเข้า.....	25
บทที่ 3 ปัญหาสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	
3.1 บทนำ.....	27
3.1.1 สัญญาณรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	29
3.1.2 คำจำกัดความ.....	30
3.1.3 ทางเดินของสัญญาณรบกวน.....	30
3.1.4 ทฤษฎีขั้วของจร.....	31
3.1.5 การคับปลิงของสัญญาณรบกวน.....	33
3.1.6 แหล่งกำเนิดสัญญาณชนิดอื่น.....	35
3.1.7 วิธีลดสัญญาณรบกวน.....	36
3.2 เทคนิคในการลดสัญญาณรบกวน.....	36
3.2.1 การบาลานซ์.....	36
3.2.2 วงจรฟิลเตอร์ป้องกันการคับปลิง.....	40
3.2.3 การดีคับปลิงวงจรขยาย.....	42
3.2.4 การฟิลเตอร์วงจรความถี่สูง.....	45
3.2.5 แบบจำลองของระบบและการมอดดูเลท.....	45
3.3 การต่อกราวนด์.....	46
3.3.1 เซฟตี้กราวนด์.....	46
3.3.2 กราวนด์สำหรับสัญญาณ.....	47
3.3.3 กราวนด์ชนิดจุดเดียว.....	48
3.3.4 ระบบกราวนด์หลายจุด.....	49
3.3.5 การต่อกราวนด์ที่ช่วงความถี่ต่ำในการปฏิบัติ.....	50
3.3.6 กราวนด์อ้างอิงจุดเดียวสำหรับวงจร.....	52
3.3.7 ออปติคัลคัปเปลอร์.....	53
3.3.8 การต่อกราวนด์สำหรับชิปส์ในวงจรความถี่สูง.....	53

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 กระบวนการออกแบบเพื่อลดสัญญาณรบกวนในแหล่งจ่ายไฟสวิทซ์จิ้งฟลายแบค	
4.1 หลักการพื้นฐาน.....	55
4.2 หลักการพื้นฐานลดสัญญาณรบกวน.....	55
4.3 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟเพื่อลดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	59
4.3.1 พิจารณาคุณลักษณะของแหล่งจ่ายไฟสวิทซ์จิ้ง.....	59
4.3.2 หาค่าตัวแปรที่จำเป็นในการออกแบบ.....	59
4.3.3 ออกแบบวงจรเรียงกระแสขาเข้า.....	60
4.3.4 การออกแบบหม้อแปลง.....	61
4.3.4.1 เทคนิคการลดสัญญาณรบกวนในหม้อแปลง ผ่านสายตัวนำ.....	64
4.3.4.2 เทคนิคการลดสัญญาณรบกวนในหม้อแปลง ผ่านทางอากาศ.....	66
4.3.5 การออกแบบวงจรเรียงกระแสขาออก.....	67
4.3.6 การเลือกสวิทซ์.....	67
4.3.6.1 เทคนิคการลดสัญญาณรบกวนจากการสวิทซ์โดยใช้ Faraday shield.....	68
4.3.6.2 การลดสัญญาณรบกวนโดยใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้า.....	70
4.3.7 การออกแบบวงจรป้องกันสวิทซ์.....	72
4.3.8 การออกแบบพีซีบีเพื่อลดสัญญาณรบกวน.....	75
4.4 ผลการทดสอบคุณลักษณะของระบบ.....	78
บทที่ 5 ผลการทดสอบการออกแบบเพื่อลดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	
5.1 เป้าหมายวัตถุประสงค์.....	80
5.2 การรบกวนผ่านสายตัวนำ.....	80
5.3 การรบกวนผ่านทางอากาศ.....	83
5.4 สรุปผลการทดสอบ.....	85

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	86
ภาคผนวก ก.....	87
ภาคผนวก ข.....	95
ประวัติผู้เขียน.....	101



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าความสูญเสียโดยประมาณแต่ละ Topology.....	9
2.2 ค่าประมาณการขนาดของแกนเมื่อเทียบกับกำลังขาออก.....	12
2.3 ขนาดหม้อแปลงที่ใหญ่ขึ้นเมื่อค่าการคูณ Scaling Factor.....	12
2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไดโอดชนิดต่างๆ.....	18
2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ IC Controller.....	24
3.1 อัตราการกักความร้อนระหว่างโลหะ.....	35
4.1 คุณสมบัติของสวิตซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลาย.....	59
5.1 สรุปผลการทดสอบในการลดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	85



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรพื้นฐานของวงจรแปลงผันกำลังชนิดฟลายแบค.....	6
2.2 ลักษณะรูปคลื่นของแรงดันและกระแสขณะไหลผ่านสวิตช์ของวงจรฟลายแบค.....	6
2.3 เปรียบเทียบแหล่งจ่ายไฟสวิตช์ซึ่งเป็นกล่องพลังงาน.....	7
2.4 ลักษณะของวงจรเรียงกระแสขาออกที่มีเซ็นเตอร์แทป.....	15
2.5 วงจรขับมอสเฟตโดยใช้หม้อแปลง.....	16
2.6 วงจรเรียงกระแสขาออกของวงจรฟลายแบค.....	17
2.7 วงจรขับมอสเฟต.....	21
2.8 การควบคุมในโหมดแรงดัน.....	23
2.9 การควบคุมในโหมดกระแส.....	23
3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในเครื่องรับวิทยุ.....	27
3.2 สัญญาณรบกวนจากภายนอก.....	28
3.3 สัญญาณรบกวนจากแหล่งอื่น ๆ.....	28
3.4 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลา.....	29
3.5 ทางเดินของสัญญาณรบกวน.....	30
3.6 สัญญาณรบกวนในอุปกรณ์มอเตอร์กระแสตรง.....	31
3.7 การคัปปลิงผ่านสนามไฟฟ้า.....	32
3.8 การคัปปลิงผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	32
3.9 การรบกวนผ่านอิมพีแดนซ์ร่วม.....	33
3.10 สัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟ.....	34
3.11 ปฏิกริยากัลวานิก.....	35
3.12 แหล่งกำเนิดสมมูลเทียบกับกราวนด์ได้.....	37
3.13 อิมพีแดนซ์ร่วมระหว่างตัวนำในวงจรที่ 1 และ 2 เทียบกับกราวนด์.....	38
3.14 บาลานซ์แหล่งจ่าย.....	38
3.15 บาลานซ์โหลด.....	39
3.16 บาลานซ์สายส่ง.....	40
3.17 วงจรฟิลเตอร์.....	41

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 การตอบสนองต่อความถี่ของวงจรฟิลเตอร์ชนิด L-C.....	42
3.19 วงจรขยาย 2 ภาค.....	42
3.20 วงจรตามอิมิตเตอร์.....	43
3.21 วิธีกำจัดผลจากราชาชดิก อินคักแดนซ์.....	44
3.22 การใช้วงจร R-C ฟิลเตอร์ที่แหล่งจ่ายไฟ.....	44
3.23 วงจรฟิลเตอร์ C-L-C pi- filter หรือ rf choke.....	45
3.24 สเตรย์อิมพีแดนซ์.....	46
3.25 ลักษณะการต่อเซพติกราวนด์.....	47
3.26 กราวนด์สำหรับสัญญาณ.....	47
3.27 กราวนด์ขนาน.....	48
3.28 ระบบกราวนด์ร่วม.....	48
3.29 ระบบกราวนด์แยก.....	49
3.30 ระบบกราวนด์หลายจุด.....	50
3.31 ระบบกราวนด์จุดเดียว.....	51
3.32 ตัวอย่างในการต่อกราวนด์ให้กับเครื่องอัดเทป.....	51
3.33 ความต่างศักย์ของกราวนด์ในแอมพลิฟายเออร์.....	52
3.34 ปลดกราวนด์เพื่อลดสัญญาณรบกวน.....	53
3.35 การทำลายกราวนด์รูปโดยใช้ข้อปดักคัปเปิลเลอร์.....	53
3.36 การต่อตัวเก็บประจุที่มีค่าคาปาซิแตนซ์ต่ำ ๆ ระหว่างซิดด์และกราวนด์.....	54
4.1 วงจร EMI Power line ฟิลเตอร์ที่ใช้กันโดยทั่วไป.....	56
4.2 บาลานซ์ Buck Converter Topology.....	57
4.3 สวิตช์เรโซแนนท์กระแสศูนย์.....	58
4.4 สวิตช์เรโซแนนท์แรงดันศูนย์.....	58
4.5 รูปคลื่นของกระแสที่ซาร์จเข้าตัวเก็บประจุ.....	61
4.6 ลักษณะรูปทรงของแกนและบ๊อบบิ้นชนิดต่างๆ.....	62
4.7 เส้นทางเดินสัญญาณรบกวนผ่านหม้อแปลง.....	64

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 ลักษณะสัญญาณรบกวนที่กราวด์ของแรงดันขาออก.....	64
4.9 ปัญหาสัญญาณรบกวนของวงจรเรียงกระแสขาออก.....	65
4.10 เทคนิคการลดสัญญาณรบกวน โดยเปลี่ยนเส้นทางเดินของสัญญาณรบกวน.....	65
4.11 เทคนิคการชิลด์หม้อแปลง.....	66
4.12 การป้องกันสัญญาณรบกวนแพร่กระจายทางอากาศโดยการชิลด์รอบหม้อแปลง.....	66
4.13 สัญญาณรบกวนคอมมอนโหมด.....	68
4.14 เทคนิค Faraday shield.....	69
4.15 ผลการจำลองกระแสคอมมอน โหมด.....	69
4.16 ผลการจำลองกระแสคอมมอน โหมดหลังจากใช้เทคนิค Faraday shield.....	69
4.17 เทคนิคกำกัแสกักคาไฟฟ้า.....	70
4.18 ผลการจำลองกระแสคอมมอน โหมดเมื่อใช้เทคนิคกำกัแสกักคาไฟฟ้า.....	71
4.19 ผลการวัดกระแสสัญญาณรบกวนคอมมอน โหมดก่อนใช้เทคนิคกำกัแสกักคาไฟฟ้า.....	71
4.20 ผลการวัดกระแสสัญญาณรบกวนคอมมอน โหมดหลังใช้เทคนิคกำกัแสกักคาไฟฟ้า.....	72
4.21 ลักษณะรูปคลื่นบริเวณเดรนซอร์สของมอสเฟต.....	72
4.22 วงจรสแน็บเบอร์ RCD Clamp.....	73
4.23 วงจร RC Primary Switch.....	74
4.24 สแน็บเบอร์ RC Output Diode.....	75
4.25 รูปของกระแสที่เกิดขึ้นในวงจร.....	75
4.26 ลักษณะรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์.....	76
4.27 การกราวด์จุดเดียว.....	77
4.28 การวางตัวเก็บประจุบริเวณวงจรเรียงกระแสขาออก.....	77
4.29 ผลตอบสนองต่อ โหลดชั่วคราว.....	78
4.30 แรงดันกระเพื่อมขาออก.....	78
4.31 ผลการวัดระดับแรงดันขาออกเมื่อแรงดันขาเข้าเปลี่ยนแปลง.....	79
4.32 ผลการวัดระดับแรงดันขาออกเมื่อ โหลดเปลี่ยนแปลง.....	79
5.1 ผลการทดสอบแหล่งจ่ายไฟกำลังที่ยังมิได้มีการออกแบบเพื่อลดสัญญาณรบกวน.....	80

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2 ผลการทดสอบหลังจากใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้า.....	81
5.3 ผลการทดสอบหลังจากใช้เทคนิค Faraday shield บริเวณแผงระบายความร้อน และสวิตช์.....	81
5.4 ผลการทดสอบหลังจากใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้าร่วมกับฉากกัน EMI บริเวณ หม้อแปลง.....	82
5.5 ผลการทดสอบภายหลังจากใส่ตัวต้านทาน 20 โอห์มที่วงจรขับและใส่ Y-cap และใช้เทคนิค กำแพงไฟฟ้าร่วมกับฉากกัน EMI บริเวณหม้อแปลงและเทคนิคอื่นๆ.....	82
5.6 ผลการทดสอบการสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านสายตัวนำ.....	83
5.7 การทดสอบภายในห้องทดสอบที่มีการชิลด์ทั้งหมด.....	84
5.8 การทดสอบทั้งในแนวดิ่งและแนวตั้ง.....	84
5.9 ผลการทดสอบสัญญาณรบกวนที่แพร่ทางอากาศ.....	84
ก.1 ปรากฏการณ์ตัวเก็บประจุแผ่ระหว่างแผงระบายความร้อนและสวิตช์.....	87
ก.2 แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแผ่.....	89
ก.3 แนวคิดเทคนิคกำแพงไฟฟ้า.....	90
ก.4 วงจรทวิคูณแรงดัน.....	91
ก.5 การประกอบฉนวน.....	91
ก.6 แสดงภาพของสวิตช์, ฉนวน, แผงระบายความร้อนหลังเสร็จสิ้นการประกอบ.....	92
ก.7 วงจรทวิคูณแรงดัน.....	92
ก.8 การคลีปปลิ่งสัญญาณไปที่แผงระบายความร้อน.....	93
ก.9 ผลการคลีปปลิ่งโดยเทคนิคกำแพงไฟฟ้า.....	93
ก.10 รูปคลื่นของกระแสไหลลงสู่กราวด์ตามปกติ.....	94
ก.11 รูปคลื่นของกระแสที่ไหลลงสู่กราวด์หลังจากใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้า.....	94

บทที่ 1

บทนำ

1.1 วัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งได้ถูกนำไปทดแทนแหล่งจ่ายไฟแบบลิเนียร์และใช้งานอย่างแพร่หลายอย่างในทุกวงการเช่นในด้านการสื่อสาร วงจรอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ เครื่องมือวัดและงานอื่นๆ อีกมากมาย ข้อดีที่แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งเมื่อเทียบกับแบบลิเนียร์แล้ว มีข้อได้เปรียบทั้งในด้านขนาด น้ำหนัก อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า เป็นที่ทราบกันว่าการพัฒนาแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งนั้นมุ่งเน้นในเรื่องของการลดน้ำหนักและขนาดเพื่อให้อุปกรณ์มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และมุ่งเน้นในด้านประสิทธิภาพให้สูงขึ้น เทคนิคที่นำมาใช้จึงมีความหลากหลาย เช่น การเพิ่มความถี่ในการสวิตช์ การสวิตช์อย่างนิ่มนวลที่ศูนย์โวลต์เป็นต้น เทคนิคดังกล่าวข้างต้นนั้นสามารถที่ลดขนาดและน้ำหนักลงได้ แต่ทว่าในส่วนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งกินขนาดพื้นที่และน้ำหนักถึงหนึ่งในสี่ ของอุปกรณ์ ยังไม่มีการพัฒนาให้มีขนาดเล็กลงหรือมีน้ำหนักลดลงแต่อย่างใด ดังนั้นมันจึงเป็นสิ่งที่ท้าทายว่านักออกแบบจะสามารถออกแบบแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง โดยใช้ฟิลเตอร์ หรือสามารถออกแบบฟิลเตอร์ให้มีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพสูงสุดได้อย่างไร

วงจรกรองสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำหน้าที่ลดทอนหรือป้องกันการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งมิให้กระจายไปรบกวนอุปกรณ์อื่นๆ ภายนอก ทุกวันนี้ นักออกแบบประสบปัญหาอย่างมากในด้านการลดขนาดของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งลงให้มีขนาดเล็ก แบน บาง และมีน้ำหนักเบา เนื่องจากหลักการหรือแนวทางลดขนาดแหล่งจ่ายไฟมีขนาดเล็กลงก็คือต้องเพิ่มความถี่ในการสวิตช์ที่สูงขึ้นเพื่อพยายามลดขนาดของหม้อแปลงและตัวเก็บประจุลง ส่งผลให้เพิ่มความจุของกำลังงานต่อพื้นที่สูงมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของความถี่ในการสวิตช์ก็เท่ากับว่าเพิ่มอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันให้มีความชันมากขึ้น $(dv/dt), (di/dt)$ เมื่อความชันมีมากขึ้นก็เป็นปกติธรรมดาที่จะเกิดปรากฏการณ์ตัวเก็บประจุแฝง (Parasitic Capacitance) หรือตัวเหนี่ยวนำแฝง (Parasitic Inductance) ในวงจรอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ มีผลกระทบทำให้เกิดสัญญาณรบกวนมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าก็จำต้องออกแบบให้มีอัตราการขจัดสัญญาณรบกวนสูงขึ้นทำให้มีขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้นเป็นเงาตามตัว โดยปกติวิศวกรผู้ออกแบบมักจะกำหนดลำดับการออกแบบวงจรฟิลเตอร์ไว้ลำดับขั้นสุดท้าย บ่อยครั้งที่ไม่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนให้ผ่านมาตรฐานการทดสอบภายใต้สภาวะที่ไม่สามารถเพิ่มขนาด, พื้นที่ หรือเพิ่มน้ำหนักของอุปกรณ์นั้นได้ เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตัดแปลงวงจรของสัญญาณรบกวนส่งผลกระทบต่อขนาดพื้นที่ที่มีอยู่จำกัด ถ้าเพิ่มขนาดก็จะกระทบต่ออุปกรณ์ตัวอื่นที่ออกแบบไว้เสร็จเรียบร้อยแล้วทำให้เป็นเรื่องที่ยุ่งยากมากและส่วนมากก็จะพยายามใช้วิธีแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยวิธีลองผิดลองถูกกันตลอดมา

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น วิธีที่ถูกต้องมากที่สุดก็น่าจะเป็นการออกแบบโดยคำนึงถึงสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าควบคู่กับการออกแบบวงจรส่วนอื่นตั้งแต่ต้นพร้อมๆกันไปและอาศัยเทคนิคต่างๆควบคู่กับการออกแบบฟิลเตอร์ตลอดจนภาคอะนาล็อกการเกิดสัญญาณรบกวนอันเป็นแนวทางไปสู่การออกแบบที่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขตัดแปลงและลดระยะเวลาที่อาจสูญเสียโดยไม่จำเป็นได้

1.2 ขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษาการออกแบบเพื่อลดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายแบบฟลายแบค จะต้องศึกษาข้อมูลต่างๆดังต่อไปนี้

1. ศึกษาโครงสร้างของสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงกลไกของการกำเนิดสัญญาณรบกวน ซึ่งจะนำไปสู่แนวทางการออกแบบเพื่อลดสัญญาณของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงได้
2. ศึกษาและทำความเข้าใจแหล่งจ่ายไฟสวิตชิงชนิดปรับความกว้างของพัลส์ ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบวิเคราะห์ทั้งในด้านประสิทธิภาพ ขนาด น้ำหนัก สัญญาณรบกวน และสามารถนำไปใช้งานได้จริง
3. ศึกษาการใช้งาน โปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งจะช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์วงจร เช่น โปรแกรมโพเทล (Protel) โปรแกรมพีสไปซ์ (Pspice)

1.3 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งออกเป็น 5 บท โดยมีรายละเอียดของแต่ละบทดังนี้

บทที่ 1 วัตถุประสงค์และหลักการใหม่ในการทำวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งรายละเอียดของวิทยานิพนธ์แต่ละบท

บทที่ 2 วิเคราะห์โครงสร้างและการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงชนิดปรับความกว้างพัลส์แบบฟลายแบค รวมถึงคุณลักษณะของสัญญาณทางไฟฟ้า

บทที่ 3 วิเคราะห์พื้นฐานปัญหาการรบกวนกันทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า การกำเนิดของสัญญาณรบกวน ตลอดจนแนวทางการแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิคต่างๆ เพื่อขจัดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้มีน้อยที่สุด

บทที่ 4 นำเสนอกระบวนการออกแบบแหล่งจ่ายไฟสวิตชิ่งชนิดปรับความกว้างของพัลส์ โดยคำนึงถึงปัญหาสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนเสร็จสิ้นกระบวนการออกแบบ

บทที่ 5 เป็นผลการทดสอบสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและสรุปผลการวิจัย และในส่วนท้ายสุดของวิทยานิพนธ์นี้เป็นภาคผนวกแสดงถึงการสร้างออกแบบในเทคนิค กำแพงไฟฟ้า วงจรที่ใช้ออกแบบและทดสอบทดลอง ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์และประวัติ ผู้เขียน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แหล่งจ่ายกำลังไฟตรงสวิตชิ่งชนิดปรับความกว้างพัลส์

2.1 บทนำ

แหล่งจ่ายกำลังไฟตรงไฟสวิตชิ่งชนิดปรับความกว้างพัลส์ (PWM) ได้ถือกำเนิดขึ้นมาเป็นระยะเวลาอันยาวนานแล้วแต่ไม่เป็นที่นิยม จนกระทั่งราว ๆ กลางทศวรรษ 1970 จึงเริ่มกลายเป็นที่นิยมและยอมรับกันอย่างกว้างขวาง แหล่งจ่ายกำลังไฟตรงสวิตชิ่งแบบ PWM นั้นมีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายไฟชนิดลิเนียร์อยู่มากมายหลายประการ แต่จำเป็นต้องมีการออกแบบที่สลับซับซ้อนและยุ่งยากมากกว่า

ข้อได้เปรียบหลักของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งที่เหนือกว่าแหล่งจ่ายไฟแบบลิเนียร์ก็คือมีความจุของกำลังงานที่สูงกว่า ในขณะที่มีน้ำหนักเบาและเรื่องประสิทธิภาพที่สูงกว่าแหล่งจ่ายไฟแบบลิเนียร์ ส่วนข้อด้อยเมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายไฟแบบลิเนียร์ก็คือมีสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูง, มีการออกแบบที่ยุ่งยากมากกว่า, ใช้ช่วงเวลาออกแบบที่มากกว่า และยังคงอาศัยนักออกแบบที่มีความรู้ความสามารถที่สูงกว่า

2.2 หลักการพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง

การทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งนั้นสามารถอธิบายให้เข้าใจได้ง่ายๆว่ามีลักษณะการทำงานที่แตกต่างจากแหล่งจ่ายไฟที่มีการคุมแรงดันแบบลิเนียร์ กล่าวคือแทนที่จะควบคุมสวิตช์โดยตรงเหมือนแบบลิเนียร์ แหล่งจ่ายไฟสวิตชิ่งนั้นจะใช้หลักการทำงานควบคุมทรานซิสเตอร์ทั้งในช่วง Turn on และช่วง Turn off ในช่วงเวลาดังกล่าว กระแสและแรงดันที่ตกคร่อมทรานซิสเตอร์มีค่าต่ำเสมอ (ช่วงสวิตช์ Turn off แรงดันตกคร่อมตัวมันจะสูงแต่กระแสที่ไหลผ่านมีค่าน้อยมาจนเกือบเป็นศูนย์ ส่วนช่วงสวิตช์ ON กระแสมีค่าสูงแต่แรงดันตกคร่อมมีค่าน้อย) ดังนั้นการสูญเสียของกำลังงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์จึงมีค่าน้อย

ลักษณะการทำงานที่มีประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งนั้นอาศัยหลักทำงานแบบตัดต่อวงจร (Chopping) คือการเปิดปิดอย่างรวดเร็วสลับกันไปมากับแรงดันไฟตรงขาเข้าให้เป็นพัลส์ และทำการควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่ได้โดยใช้วิธีปรับความกว้างของพัลส์ให้มากหรือน้อย ทำให้สามารถควบคุมแรงดันได้คงที่ ขนาดของแรงดันขาเข้าสามารถทำให้มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้โดยใช้หม้อแปลงช่วย ส่วนการที่เพิ่มจำนวนแรงดันขาออกให้มีหลายค่าก็ทำได้โดยการเพิ่มขดทุติยภูมิที่ตัวหม้อแปลงและทำการกรองแรงดันไฟกระแสสลับที่ออกจากหม้อแปลงด้วยวงจรเรียงกระแสเท่านั้นเราก็ได้ระดับแรงดันไฟตรงตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวคอนโทรลเลอร์หรือตัวควบคุมทำหน้าที่หลักในการรักษาระดับแรงดันขาออกให้มีค่าคงที่ การทำงานของมันเหมือนกับตัวควบคุมของแหล่งจ่ายไฟแบบลิเนียร์ นั่นก็คือต้องมีส่วนของวงจรรองระดับแรงดัน มีวงจรรอปแอมป์ แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ ผลของค่าระดับแรงดันที่ผิดพลาด (Error Voltage) แทนที่จะนำไปควบคุมสวิทช์โดยตรงเหมือนแบบลิเนียร์ ก็จะถูกขยายสัญญาณค่าผิดพลาดก่อน (Error Amplifier) แล้วจึงป้อนให้แก่วงจรปรับความกว้างของพัลส์ เพื่อที่จะนำสัญญาณที่ได้ไปขับสวิทช์อีกทอดหนึ่งนั่นเอง

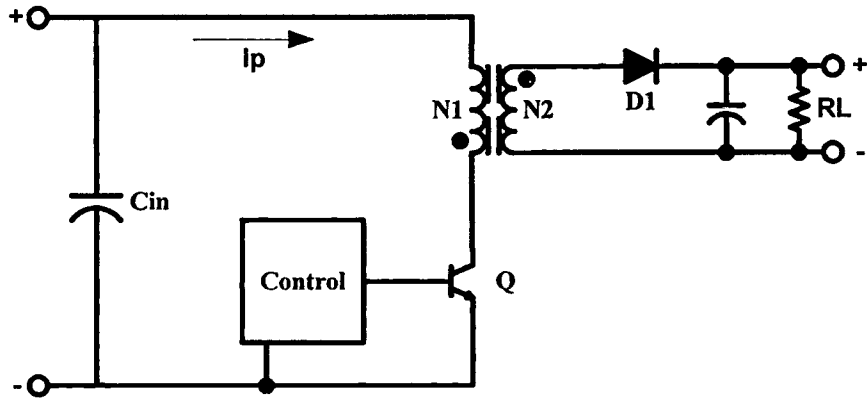
หลักการการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งนั้นสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 แบบใหญ่ ๆ ได้แก่การทำงานแบบทอนระดับ (Buck) วงจรทบระดับ (Boost) และวงจรทอนทบระดับ (Buck-Boost) ซึ่งสำหรับวงจรทอนทบระดับนี้ ถ้าเปลี่ยนตัวเหนี่ยวนำเป็นหม้อแปลงแล้วจะเปลี่ยนเป็นวงจรฟลายแบคนั่นเอง การทำงานของทั้งสามรูปแบบก็มีข้อแตกต่าง โดยที่แต่ละแบบก็มีข้อได้เปรียบและเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกัน

2.3 วงจรแปลงผันกำลังแบบฟลายแบค

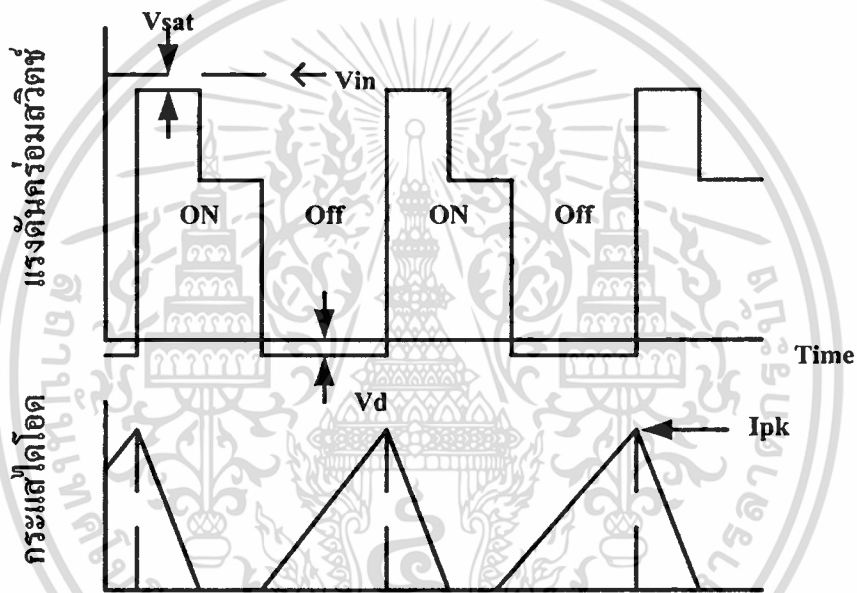
ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) มีค่าใช้จ่ายในการสร้างต่ำ แต่มีข้อเสียในด้านสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูง แรงดันขาออกจะมีค่ากระเพื่อมสูง และสวิทช์ต้องสามารถทนแรงดัน ได้มากกว่าสองเท่าของแรงดันไฟตรงขาเข้า

วงจรพื้นฐานของฟลายแบคแสดงไว้ดังรูปที่ 2.1 การทำงานของวงจร สามารถอธิบายได้ดังนี้ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะทำงานโดยนำกระแส (ON) และหยุดนำกระแส (OFF) สลับกันไปมา เมื่อ Q_1 นำกระแส จะมีกระแสไหลผ่านขดปฐมภูมิ (I_p) แต่เนื่องจากหม้อแปลงถูกกำหนดให้ขดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันในทิศตรงข้ามกัน ดังนั้นในขณะที่ Q_1 นำกระแส ไดโอด D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่มีกระแสไหลผ่านไปยังโหลด R_L พลังงานจึงถูกสะสมอยู่ที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลงเมื่อ Q_1 หยุดนำกระแสสนามแม่เหล็กในแกนหม้อแปลงยุบตัว ทำให้มีการกลับขั้วของแรงดันที่ขดทุติยภูมิ ไดโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะไบแอสตรง พลังงานที่ถูกสะสมไว้ที่ขดปฐมภูมิจะถูกถ่ายเทไปที่ขดทุติยภูมิ และมีกระแสไหลผ่านไปยังตัวเก็บประจุขาออกได้

แต่ทว่าด้วยค่ากระแสสูงสุดในแหล่งจ่ายไฟชนิดฟลายแบคมีค่าสูงทำให้ตัวมันมีค่าความจุกำลังได้ไม่เกิน 150 วัตต์ หรือน้อยกว่านั้นขึ้นอยู่กับสามารถหาอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นสวิทช์จะทนกระแสและแรงดันได้สูงมากพอหรือไม่ แต่ด้วยการออกแบบที่ใช้จำนวนอุปกรณ์น้อย จึงเป็นที่นิยมมากที่สุดในการแปลงกำลังชนิดต่าง ๆ ที่มีค่ากำลังขนาดเล็กไป จนถึงกำลังขนาดปานกลาง



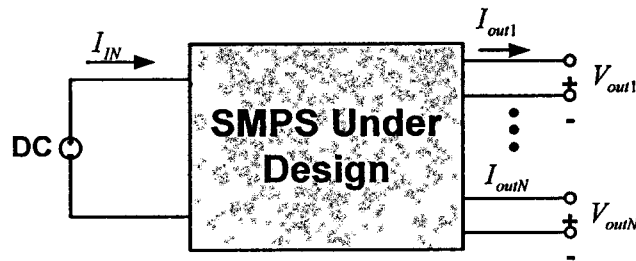
รูปที่ 2.1 วงจรพื้นฐานของวงจรแปลงผันกำลังชนิดฟลายแบค



รูปที่ 2.2 ลักษณะรูปคลื่นของแรงดันและกระแสขณะไหลผ่านสวิตช์ของวงจรฟลายแบค

2.4 หลักการออกแบบแหล่งจ่ายไฟสวิตชิงชนิดฟลายแบค

ขั้นตอนการออกแบบ ขั้นแรกนั้นจะต้องรู้ว่าค่าตัวแปรต่าง ๆ ของ แหล่งจ่าย ไฟสวิตชิงนั้นมีอะไรบ้าง โดยปกติก็ต้องใช้การคาดคะเนก่อน การคาดคะเนเป็นแนวทางจะช่วยให้ นักออกแบบ ค้นหา Topology ที่เหมาะสมที่สุดแล้วยังช่วยให้ นักออกแบบทราบถึงอุปกรณ์ที่จะใช้งานจริง ผลที่ได้จากการคาดเดานั้น เป็นค่าตัวแปรที่สำคัญและจำเป็นต้องใช้ระหว่าง การออกแบบ การที่จะหาค่าตัวแปรต่าง ๆ นั้นจำเป็นต้องรู้ถึงค่าตัวแปรต่าง ๆ ตามสภาพแวดล้อม คุณสมบัติที่ต้องการหลังจากการคาดคะเนแล้วจะช่วยให้สามารถหาค่าตัวแปรอื่น ๆ ที่จำเป็นในการออกแบบได้



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบแหล่งจ่ายไฟสวิตชิ่งเป็นกล่องพลังงานกล่องหนึ่ง

ขั้นตอนแรกของการออกแบบเริ่มต้นที่สมมุติว่าแหล่งจ่ายไฟสวิตชิ่งเป็นกล่อง มีแรงดันขาเข้ากระแสขาเข้าและแรงดันขาออกกระแสขาออกตลอดจนจำนวนชุดของแรงดันขาออก จากการประมาณการเราก็สามารถคำนวณหาค่าพลังงาน, กระแสไหลขาเข้า, กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์สูงสุดโดยประมาณได้ดังนี้

1. พลังงานขาออก

$$P_{out} = \sum_{m=1}^n (V_{out(m)} I_{out(m)}) \quad (2.1)$$

2. พลังงานขาเข้า

$$P_{in} \cong \frac{P_{out}}{est.eff} \quad (2.2)$$

3. ค่าเฉลี่ยกระแสขาเข้า

$$I_{in(av)} = \frac{P_{in}}{V_{in(nom)}} \quad (2.3)$$

เมื่อ (*nom*) คือค่าของแรงดันในขณะที่วงจรแปลงผันกำลังทำงานในสภาวะปกติ จากสมการข้างต้นสามารถหาค่าเฉลี่ยกระแสขาเข้าสูงสุด นั่นหมายถึงค่ากระแสสูงสุดในขณะที่ระบบมีแรงดันขาเข้าต่ำที่สุด ค่ากระแสสูงสุดนี้จะช่วยให้เราหาขนาดขดลวดปฐมภูมิหรือตัวเหนี่ยวนำของวงจรได้หลังจากที่เราทราบค่าเฉลี่ยขาเข้าแล้ว จึงเป็นผลให้คาดเดาได้ว่ากระแสไหลผ่านสวิตช์สูงสุดเป็นเท่าไร โดยการประมาณค่าอีกเช่นกัน[8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ค่ากระแสไหลสูงสุด

เราจะหาค่ากระแสสูงสุดของ Topology ซึ่งมีค่าดังนี้

$$I_{pk} = k \frac{P_{out}}{V_{in(min)}} \quad (2.4)$$

เมื่อ $K = 5.5$ เมื่อเป็นทอนทบระดับ (Buck-Boost) หรือฟลายแบค (Flyback)

5. อุปกรณ์สวิตช์และอุปกรณ์เรียงกระแส

ทุก Topology นั้นจะต้องมีการประมาณการได้ว่า มีความเครียดหรือความเค้นกระแสแรงดันของอุปกรณ์สวิตช์และวงจรรเรียงกระแสเป็นเท่าไร การคาดคะเนนี้เพื่อความมั่นใจต้องหมั่นเผื่อค่าไว้ ไม่น้อยกว่า 90 % ทั้งนี้เพราะอาจจะมีข้อผิดพลาดจากขั้นตอนประมาณการในภาคการในขั้นตอนแรกของการออกแบบ ซึ่งค่อนข้างจะเผื่อไว้มากแต่ค่าดังกล่าวก็มั่นใจได้ว่ามีความปลอดภัยค่อนข้างสูงในงานนำค่าที่ได้มาไปคำนวณหาตัวแปรต่าง ๆ ที่ต้องใช้สำหรับการออกแบบ

6. คาดเดาค่าความสูญเสียของอุปกรณ์

ความสัมพันธ์ของค่าความสูญเสียของแหล่งจ่ายไฟสวิตช์ซึ่งนั่นมักจะคาดคะเนจากประสบการณ์ค่าความสูญเสียข้างต้นนี้เป็นค่าความสูญเสียจากค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นค่าประสิทธิภาพโดยทั่วไปในแต่ละ Topology ซึ่งแสดงให้เห็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความสูญเสียเทียบกันระหว่าง อุปกรณ์สวิตช์ วงจรรเรียงกระแสขาออกและอุปกรณ์สารแม่เหล็กตลอดจนค่าความสูญเสียอื่น ๆ

การที่เราจะหาค่าความสูญเสียในสวิตช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายโดยรวม อาจจะหาได้จากสมการ

$$P_{loss(ckt)} = P_{in} (1 - eff) P_{(\%)} \quad (2.5)$$

เมื่อ P (%) ค่าประมาณการเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความสูญเสียที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 บาง Topology อาจจะใช้สวิตช์หลายตัวก็ให้จัดการคูณกับค่าความสูญเสียระหว่างสวิตช์ซึ่งประมาณการได้ดังนี้

0.5(50%) สำหรับ พูชพูล และ ฮาร์ฟบริดจ์

0.25(25%) สำหรับ ฟูลบริดจ์

ในการประมาณค่าความสูญเสียของการเรียงกระแสขาออก ที่มีจำนวนแรงดันขาออกมากกว่าหนึ่งค่า ให้ใช้อัตราส่วนของขาออกมากคิดค่าความสูญเสียได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{r(n)} = P_m (1 - eff) P\% \frac{P_{out(n)}}{P_{out}} \tag{2.6}$$

ค่าความสูญเสียค้างสมการข้างต้นนั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลจากผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำว่ามีค่าความสูญเสียในอุปกรณ์เป็นเท่าไร แล้วจำเป็นจะต้องใช้แผงระบายความร้อนหรือไม่ ถ้าเราทราบค่าความสูญเสียแล้วเราก็จะสามารถคาดเดาได้ว่าอุปกรณ์ตัวไหนจะต้องใช้แผงระบายความร้อนขนาดเท่าไร

เสร็จขั้นตอนนี้แล้วก็เสร็จสิ้นขั้นตอนการประมาณการทั้งหมดที่จะต้องใช้ในการออกแบบ ข้อมูลการประมาณการดังกล่าวเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ในการหาค่าตัวแปรอื่น ๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการออกแบบต่อไป

ตารางที่ 2.1 ค่าความสูญเสียโดยประมาณแต่ละ Topology (Power Supply Cookbook Marty Brown Motorola Inc)

Topology	Power Switch Type		Overall Estimated Efficiency (%)	Estimated Percent of Total Loss (P _{r(n)})			
	Bipolar	MOS		Power Switch and Drive (%)	Output Rectifier (%)	Magnetics (%)	Miscellaneous (%)
Buck	x		72	42	48	5	5
		x	76	35	55	5	5
Boost	x		74	55	35	5	5
		x	77	48	42	5	5
Buck-boost	x		74	55	35	5	5
		x	77	48	42	5	5
Flyback	x		75	44	46	5	5
		x	78	33	57	5	5
Half-forward	x		74	44	46	5	5
		x	77	33	57	5	5
Push-pull	x		69	50	40	5	5
		x	72	40	50	5	5
Half-bridge	x		69	48	42	5	5
		x	72	40	50	5	5
Full-bridge	x		65	50	40	5	5
		x	70	40	50	5	5

2.5 การออกแบบอุปกรณ์ซึ่งเกี่ยวกับแม่เหล็ก

การออกแบบอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับสารแม่เหล็กนั้นถือเป็นงานซับซ้อนยุ่งยากทีเดียว แหล่งจ่ายไฟแบบสวิชชิงที่คืนั้น ก็จำเป็นต้องมีการออกแบบทางด้านไฟฟ้าและทางฟิสิกส์ที่ดีในอุปกรณ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกี่ยวกับแม่เหล็กด้วย ถ้ามีออกแบบอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับแม่เหล็กที่ดีส่งผลให้แหล่งจ่ายกำลังไฟตรงมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรโดยรวม

2.5.1 ขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์ซึ่งเป็นแม่เหล็ก

นักออกแบบโดยทั่วไปมักจะมีปัญหาเกี่ยวกับการออกแบบอุปกรณ์อะไรก็ตามซึ่งเป็นแม่เหล็ก เนื่องจากว่าผลการคำนวณที่ได้ มักเป็นแค่การคำนวณแบบประมาณการ แต่ผลที่ได้จากการคำนวณนั้นก็จะถูกนำไปใช้โดยตรงเลยกับการออกแบบ แน่แน่นอนมันอาจจะมีข้อดีในเรื่องความรวดเร็วแต่ก็อาจมีข้อผิดพลาดได้ค่อนข้างสูง นักออกแบบจึงต้องทำการคำนวณให้ละเอียดถี่ถ้วน เพื่อให้แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งนั้นมีคุณภาพที่ดี โดยปกติแล้ว ขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์ที่เป็นแม่เหล็กแล้ว จะต้องทราบ คุณสมบัติของอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ต้องทราบวัตถุประสงค์ที่จะนำมาใช้เป็นแกนแม่เหล็กเพื่อที่จะได้ทราบว่า วัตถุประสงค์ตัวนั้นประกอบด้วยสารอะไรและมีคุณสมบัติอย่างไรเหมาะสมกับการใช้งานประยุกต์แบบไหน
 2. ต้องทราบว่าแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งนั้นจำเป็นต้องผ่านการทดสอบมาตรฐานอะไรบ้าง ใช้กับงานประเภทใด มีความปลอดภัยเท่าไร
 3. ต้องหาขนาดของแกนแม่เหล็กที่จำเป็นจะต้องใช้เพื่อกำลังที่เพียงพอของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง
 4. ต้องหาช่องค้นอากาศที่จำเป็นต้องใช้ว่ามีค่าเท่าไรและต้องรู้ค่าจำนวนรอบของขดลวดที่พันบนแกนแม่เหล็ก
 5. ต้องทราบ โครงสร้างทางฟิสิกส์ของอุปกรณ์ซึ่งเป็นสารแม่เหล็กและเทคนิคการพัน อันส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ซึ่งเป็นแม่เหล็กในวงจร
 6. เนื่องจากอุปกรณ์ซึ่งเป็นสารแม่เหล็กส่งผลกระทบต่อแรงดัน กระเบื้องและแรงดันพุ่ง ทำให้มีสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า อันเป็นเป้าหมายใหญ่ที่วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นเจาะลึก แน่แน่นอนมันเป็นสิ่งที่จะต้องแก้ไขทำให้ถูกต้องเหมาะสม โดยอาจจะใช้เทคนิคต่าง ๆ ระหว่างการออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นแม่เหล็ก อันจะกล่าวไว้อย่างละเอียดในบทที่ 4 ต่อไป
- สิ่งที่จำเป็นเสียอย่างอื่นจะขาดเสียไม่ได้ก็คือข้อมูลของผู้ผลิตแกนกลางของอุปกรณ์ซึ่งเป็นแม่เหล็ก สามารถหาข้อมูลรายละเอียดได้จากบริษัทผู้ผลิต โดยตรง ถ้าไม่ทราบเราก็ไม่สามารถคำนวณค่าตัวแปรต่างๆ ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

2.5.2 การหาขนาดของแกนแม่เหล็ก

ขนาดของแกนแม่เหล็กนั้น มีให้เลือกหลายขนาด โรงงานผู้ผลิตจะบอกค่าความแตกต่างในทุก ๆ ขนาด โดยอาจจะให้กราฟแสดงหรืออาจจะใช้ข้อมูลตาราง ทั้งหมดเหล่านี้จะต้องนำมาใช้สำหรับหาขนาดแกนกลางที่พอดี ไม่เล็ก ไม่ใหญ่จนเกินไป โดยแกนกลางของสารซึ่งเป็นแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักเป็นอย่างมากถ้าแกนกลางมีขนาดใหญ่เกินไปก็อาจจะกินน้ำหนักถึงครึ่งหนึ่งของน้ำหนักโดยรวมของวงจรแหล่งจ่ายไฟหรือ ถ้าแกนมีขนาดเล็กเกินไปก็จะส่งผลกระทบต่อความร้อนที่เกิดขึ้น ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ พังเสียหายหรือมีอายุการใช้งานที่สั้นลงได้

การเลือกขนาดของแกนกลางซึ่งเป็นแม่เหล็กนั้นมีอยู่ 2 วิธีหลักๆ คือ

1. การหาโดยการประมาณค่ากำลังขาออก

วิธีนี้ใช้ตารางค่ากำลังขาออกนั้น มีค่าเท่าไรแล้วก็ไปหาข้อมูลจากผู้ผลิตว่าแกนชนิดนั้น ๆ สามารถให้กำลังได้กี่ วัตต์ เวลาเลือกขนาดของแกนก็เลือกให้ขนาดใหญ่กว่าชนิดหนึ่ง วิธีนี้เป็นวิธีที่ค่อนข้างจะง่ายที่เดียว และเป็นที่ยอมรับสำหรับนักออกแบบ

2. การหาโดยใช้วิธีการคำนวณ

วิธีนี้จะต้องเริ่มต้นจากหม้อแปลงซึ่งมีขดลวดเพียงขดเดียว การเพิ่มขดต่อ ๆ ไปนั้นก็ต้องใช้พื้นที่ของการพันเพิ่มมากขึ้นแกนก็จะใหญ่ขึ้นตามค่าต่าง ๆ ก็จะถูกคูณเข้าไปเราเรียกมันว่าตัวแปรคูณ (Scaling factor) ตัวแปรนี้ จะใช้เป็นตัวอ้างอิงสำหรับการออกแบบตัวเหนี่ยวนำที่มีเพียงขดลวดเดียว

เริ่มแรกต้องหาขนาดแกนกลางของตัวเหนี่ยวนำที่มีขดลวดเดียวโดยอ้างอิงตามสมการดังนี้

[9]

$$W_A A_C = \frac{0.68 P_{out} d_w \times 10^8}{B_{max} f} \text{ CM}^4 \quad (2.7)$$

เมื่อ d_w คือพื้นที่ใช้การพันขดลวดปรมณูมี มีหน่วยเป็นเซ็นติเมตร
 B_{max} คือค่าฟลักแม่เหล็กสูงสุดในขณะการทำงาน
 f คือความถี่ที่ใช้ในการทำงาน
 P_{out} คือกำลังขาออกทั้งหมดของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซิ่ง

ขั้นตอนต่อไปก็คือทำการคูณค่าตัวแปรทวีคูณ ดังตารางที่ 2.5 การรวมค่าตัวแปรทวีคูณ (Scaling factor) ก็เป็นดังนี้

$$K_{TOTAL} = K_A K_B \dots etc \quad (2.8)$$

ส่วนประมาณค่าขนาดของแกนหม้อแปลงนั้นก็หาได้จาก

$$W_A A_C = K_{Total} W_A A_C \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่าลืมว่านักออกแบบนั้นใช้หน่วยเป็นเมตริกหรือหน่วยเป็น US ความสัมพันธ์ระหว่างแปลง 2 หน่วยนี้ก็จะเป็นไปตามดังนี้

$$\text{meters}^4 = 10^8 \text{ cm}^4 \quad (2.10)$$

$$\text{cm}^4 = 10^{-8} \text{ m}^4 \quad (2.11)$$

ในบางโรงงานผู้ผลิตแกนมักจะให้ค่าคุณสมบัติอยู่ในตัวแปรของ $W_A A_c$ มาด้วย ทำให้สามารถตรวจสอบความถูกต้อง โดยเปรียบเทียบผลการคำนวณกับข้อมูลที่โรงงานผู้ผลิตให้มา โดยตรงของผลของการคำนวณ

ตารางที่ 2.2 ค่าประมาณการขนาดของแกนเมื่อเทียบกับกำลังขาออก[8]

Output Power (W)	MPP Toroid Diameter (inch(mm))	E-E, E-L, etc. Core (each side) (inch(mm))
<5	0.65 (16)	0.5 (11)
<25	0.80 (20)	1.1 (30)
<50	1.1 (30)	1.1 (30)
<100	1.5 (38)	1.8 (47)
<250	2.0 (51)	2.4 (60)

ตารางที่ 2.3 ขนาดหม้อแปลงที่ใหญ่ขึ้นเมื่อค่าการคูณ Scaling Factor [8]

Consideration	Scaling Factor
Flyback transformer	1.1
One secondary	2.0
Two or more secondaries	2.2
Isolated secondaries	2.3
UL/CSA approval	1.2
VDE approval	1.4
Faraday shield	1.1

2.5.3 การออกแบบหม้อแปลงในแหล่งจ่ายไฟสวิตชิงชนิดฟลายแบค

การออกแบบหม้อแปลงชนิดโหมคฟลายแบค นั้นแตกต่างจากการออกแบบหม้อแปลงแบบโหมคไปข้างหน้าอย่างสิ้นเชิง แทนที่ขดลวดทั้งสอง (ปฐมภูมิและทุติยภูมิ) จะเหนี่ยวนำกันทันทีทันใด ก็ต้องมีการเก็บพลังงานไว้ที่ตัวแกนของหม้อแปลงก่อนแล้วในช่วงเวลาสวิตซ์ Turn off จึงค่อยถ่ายพลังงานไปสู่ขดลวดทุติยภูมิอีกทีหนึ่ง การออกแบบหม้อแปลงโดยทั่วไปนั้นเป็นที่ทราบแรงดันตกคร่อมขดลวดมีความสัมพันธ์กันเป็นอัตราส่วนของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ แต่ว่าหม้อแปลงชนิดฟลายแบค มิได้เป็นเช่นนั้น แต่จะต้องพิจารณาในเรื่องของแรงดัน, เวลา, พลังงาน เป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นกระบวนการออกแบบหม้อแปลงต้องทราบถึงค่ากระแสสูงสุดสามารถหาได้โดยการประมาณการในขั้นตอนแรกดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เสร็จแล้วจึงเลือกคุณสมบัติของวัสดุคืบที่จะนำมาทำเป็นแกนหม้อแปลง ในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องมีชั้นช่องอากาศเพื่อให้หม้อแปลงมีคุณสมบัติเก็บพลังงานได้มากขึ้น โดยที่แกนไม่อิ่มตัว

เริ่มต้นด้วยการคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำซึ่งมีค่าแปรผันกับค่ากระแสสูงสุดและช่วงระยะเวลาสวิตช์ On Off เป็นไปตามสมการ

$$I_{PK} = \frac{V_{in} T_{on}}{L_{pri}} \quad (2.12)$$

เมื่อเราจัดเรียงค่า L_{pri} ใหม่และแทนค่า $T_{on} = \delta_{(max)} / f$ ก็จะสามารถหาค่าความเหนี่ยวนำที่ขดลวดปฐมภูมิในขณะช่วงการทำงานได้จาก

$$L_{pri} = \frac{V_{in(min)} \delta_{(max)}}{I_{pk} f} \quad (2.13)$$

เมื่อ δ_{max} มีค่าเท่ากับค่า Duty cycle สูงสุด (ปกติควรมีค่าไม่เกิน 0.5)

ค่าความเหนี่ยวนำที่ขดลวดปฐมภูมินี้เป็นค่าสูงสุด ถ้าหากมีค่ามากเกินไปจะทำให้การทำงานเปลี่ยนจากโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องเป็นโหมดกระแสต่อเนื่อง พลังงานที่ถ่ายเทเข้าสู่แกนกลางของหม้อแปลงตอนช่วงสวิตช์ On นั้นมีค่า

$$E_{stored} = \frac{L_{pri} (I_{pk})^2}{2} \quad (2.14)$$

เพื่อที่จะตรวจทานอีกครั้งว่ามีการถ่ายเทพลังงานได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องตอนที่โหลดต้องการกำลังสูงสุดคำนวณซ้ำได้จาก

$$P_{in(core)} = \frac{L_{pri} (I_{pk})^2}{2} f_{op} > P_{out} \quad (2.15)$$

ส่วนช่องคั่นอากาศที่ต้องการเพื่อเก็บพลังงานและป้องกันการอิ่มตัวของหม้อแปลง นั้นสามารถหาได้จากสมการ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$l_{gap} = \frac{0.4\pi L_{pri} I_{pk}^2 \times 10^8}{A_c B_{max}^2} (cm) \quad (2.16)$$

เมื่อ A_c คือค่าประสิทธิภาพต่อพื้นที่หน้าตัดแกน(cm²)
 B_{max} คือค่าฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในขณะการทำงาน(webers/cm²)

การคำนวณข้างต้นเป็นการคำนวณแบบประมาณค่าความกว้างของช่องขั้วอากาศ นักออกแบบควรที่จะเลือกขั้วอากาศที่มีค่ามากกว่าที่คำนวณไว้เล็กน้อย บริษัทผู้ผลิตแกนหม้อแปลงมักให้ค่าตัวแปรมาตัวหนึ่งเรียกว่าค่า A_L ค่าตัวแปรที่ว่านี้คือค่าความเหนี่ยวนำต่อการพันขดลวดไป 1000 รอบ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องง่ายสำหรับการคำนวณจำนวนรอบที่ต้องพันเมื่อต้องการค่าความเหนี่ยวนำค่าหนึ่ง สามารถหาจำนวนรอบได้จากสมการ

$$N_{pri} = \sqrt{\frac{L_{pri}}{A_L}} \quad (2.17)$$

เมื่อ L_{pri} คือค่าความเหนี่ยวนำที่ขดลวดปฐมภูมิมีหน่วยเป็นมิลลิเฮนรี

ถ้าบริษัทผู้ผลิตไม่มีค่า A_L มาให้ก็ต้องคำนวณหาจำนวนรอบเองได้จากสมการ

$$N_{pri} = \frac{B_{max} l_{gap(actual)}}{0.4\pi I_{pk}} \quad (2.18)$$

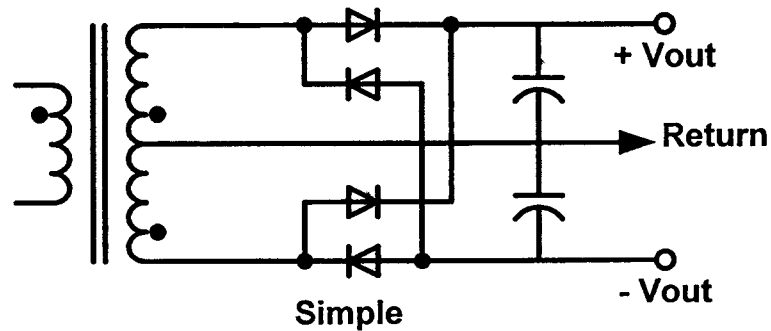
จากนั้นเราก็หาจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิที่มีกำลังขาออกมากที่สุดได้จากสมการ

$$N_{sec} = N_{pri} \frac{(V_{out} + V_{fwd})(1 - \delta_{max})}{V_{in(min)} \delta_{max}} \quad (2.19)$$

เมื่อ δ_{max} มีค่าเท่ากับค่า Duty cycle สูงสุด

ค่าที่คำนวณได้นั้นถือว่าเป็นค่าสูงสุด ดังนั้นการออกแบบโดยการเพิ่มค่าตัวเหนี่ยวนำที่ขดลวดปฐมภูมิหรือการเพิ่มจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิจะทำให้ตัวแกนแม่เหล็กมีค่าสูญเสียพลังงานไปโดยไม่จำเป็น คำนึงเสมอว่าค่าที่คำนวณได้มักไม่ใช่ค่าจำนวนเต็มดังนั้นจึงต้องมีการปัดเศษลงเสมอให้มีค่าเป็นจำนวนเต็มที่ใกล้เคียงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ลักษณะของวงจรเรียงกระแสขาออกที่มีเซ็นเตอร์เทป

ลักษณะทางกายภาพของการออกแบบหม้อแปลงของฟลายแบค ส่งผลกระทบต่อสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอันเนื่องมาจากค่าฟลักซ์รั่วไหลและค่าแรงดันพุ่ง ซึ่งมีเพียงส่งผลกระทบต่อสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเท่านั้นยังส่งผลต่ออายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ ในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิทช์ซึ่งด้วย

2.5.4 การออกแบบวงจรขับโดยใช้หม้อแปลง

โดยปกติแล้วการใช้วงจรขับ โดยใช้หม้อแปลงเพื่อทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์การแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างตัวควบคุมและอุปกรณ์สวิทช์ การออกแบบไม่ยุ่งยากแต่สำคัญที่จะทำอย่างไรให้มีความคงทนถาวร มีค่าตัวแปรที่สำคัญอยู่ไม่กี่ตัวที่ต้องทราบในการออกแบบวงจรขับ โดยใช้หม้อแปลงซึ่งมีดังนี้

1. ค่าความเป็นฉนวนระหว่างขดลวดควรมีค่าน้อยสองเท่าของค่าแรงดันขาเข้า
2. อัตราส่วนจำนวนรอบควรมีค่าหนึ่งถึงค่าแรงดันสูงสุดที่ยอมรับได้ของสวิทช์
3. เทคนิคการพันที่ดีควรมีการเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิที่ดีด้วย

การออกแบบวงจรขับสวิทช์โดยใช้หม้อแปลงนั้นใช้หลักการเดียวกันกับการออกแบบหม้อแปลงทั่วไป นักออกแบบต้องมั่นใจว่าคอนทิงเจอร์ทำงานจะไม่เกิดการอิ่มตัวของหม้อแปลง เราอาจจะใช้แกน Ferrite ขนาดเล็กก็พอเพียงต่อวงจรขับแล้ว ตัวแกนของหม้อแปลงเองก็ไม่จำเป็นต้องมีช่องคั่นอากาศถ้าหากว่าวงจรขับนั้นเป็นการการสวิทช์ที่เป็นการขับแบบ Bipolar คือเป็นการขับเป็นแบบสองทิศทางมีกระแสไหลไปและไหลกลับทำให้หม้อแปลงไม่เกิดการอิ่มตัวแต่ถ้าหากหม้อแปลงมีการขับเพียงทิศทางเดียวเป็นต้นว่าใช้ขับทรานซิสเตอร์ขับเพียงตัวเดียวจำเป็นต้องมีช่องอากาศเล็กเล็กน้อยเพื่อป้องกันการอิ่มตัวของหม้อแปลง

หลักการพิจารณาอีกอย่างก็คือวงจรขับที่ใช้หม้อแปลงนั้นมักมีปัญหาแรงดันพุ่งที่มีค่าแปรผันตาม Duty cycle ทั้งนี้แรงดันพุ่งสูงสุดในวงจรขับของหม้อแปลงมีทั้งทางด้านบวกและด้านลบขึ้นอยู่กับว่ามี Duty cycle น้อยหรือมาก และด้วยเหตุผลข้างต้นแรงดันพุ่งนั้นอาจจะมีค่าเกินค่า

แรงดันที่สวิตช์รับได้ ดังนั้นการใส่ซีเนอร์ไดโอดเพื่อทำหน้าที่ตัดยอดแรงดันที่เกินมาจนเป็นอันตรายต่อสวิตช์จึงสมควรถูกเพิ่มเข้าไปในวงจรด้วย

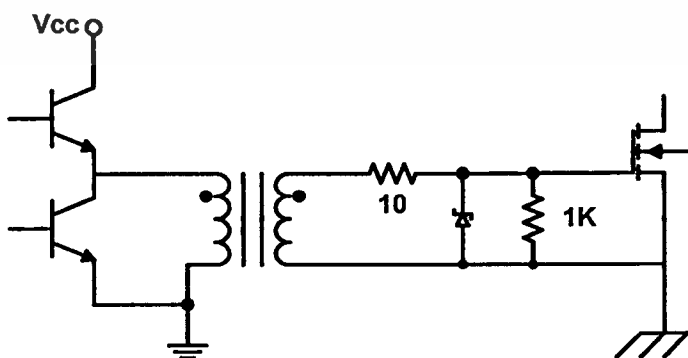
เนื่องจากว่าหม้อแปลงที่ใช้ขับสวิตช์นั้นมีช่วงเวลานั่งอยู่กับวงจรขับ การใช้วงจรขับแบบธรรมดานั้นจะทำให้ช่วงเวลาสวิตช์เปิดมีค่าช่วงเวลานาน แต่ถ้าใช้วงจรขับแบบ Totem Pole จะทำให้ช่วงเวลาการเปิดและปิดของสวิตช์เป็นไปด้วยความรวดเร็ว โดยปกติในตัว Control จะมีวงจรขับในตัวโดยมีค่าแรงดันที่ใช้ประมาณ 10-16 โวลต์ นักออกแบบควรคำนึงถึงค่าแรงดันที่ใช้ขับสวิตช์ด้วย สวิตช์แบบที่เป็นทรานซิสเตอร์นั้นควรมีค่าแรงดันขั้วระหว่าง -2.5 โวลต์ถึง 1.0 โวลต์ไม่เกินนั้น ส่วนสวิตช์ที่เป็นแบบมอสเฟตนั้นใช้ค่าแรงดัน -5 ถึง 12 โวลต์ก็พอเพียงแล้ว เราสามารถกำหนดแรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิได้โดยการใช้สมการหาอัตราส่วนจำนวนรอบ

$$Ratio = \frac{V_{p-p(sec)}}{V_{p-p(pri)}} = \frac{V_{on(sw)} - V_{off(sw)}}{V_{cc} - V_{sat(driver)}} \quad (2.20)$$

ขนาดลวดที่ใช้พันก็อยู่ประมาณ AWG 32 -36 ตัวแกนหม้อแปลงก็ควรมีขนาด 0.4-0.6 นิ้ว (10-15 มิลลิเมตร) เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในวงจรขับมีไม่มากนักค่าความสูญเสียจึงไม่น่ามาคิด ค่าฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดควรมีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กในแกนที่จะอิมตัว ส่วนการคำนวณหาค่าจำนวนรอบสามารถหาได้จากสมการ

$$N_{pri} = \frac{V_{cc} \times 10^8}{4 f B_{max} A_c} \quad (CGS \text{ system}) \quad (2.21)$$

สำหรับแหล่งจ่ายที่มีแรงดันไฟตรงเข้าเกิน 100 โวลต์แล้ว จำต้องมีการพันเทปฉนวนให้มีการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างขดปฐมภูมิและทุติยภูมิด้วย



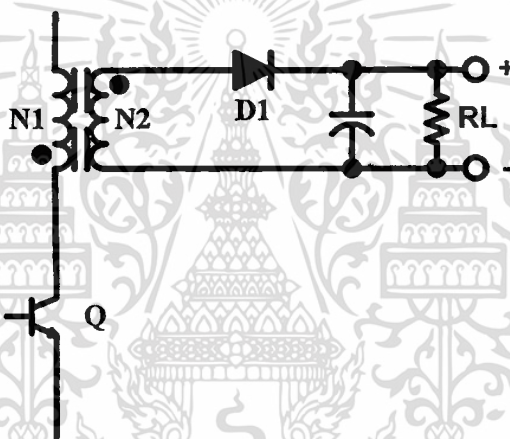
รูปที่ 2.5 วงจรขับมอสเฟต โดยใช้หม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การออกแบบวงจรเรียงกระแสขาออก

บริเวณภาคขาออกของแหล่งจ่ายไฟสวิทช์ซึ่งนั้นเป็นวงจรที่มีการรวมตัวกันของวงจรเรียงกระแสและฟิลเตอร์ความถี่สูง สำหรับฟลายแบคซึ่งมีหม้อแปลงด้วยนั้น จำต้องคำนึงในภาคขาออกนี้เป็นพิเศษไม่ว่าจะเป็นการออกแบบหลายวงจร สัญญาณรบกวน แรงดันกระแสเพิ่ม ประสิทธิภาพและความทนทาน

การทำงานของวงจรเรียงกระแสขาออกของฟลายแบคนั้นไม่จำเป็นต้องมีไอซ์ (ตัวเหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่เก็บพลังงานในวงจรแปลงผันกำลังตระกูลทอนระดับ) แน่นนอนทำให้ค่ากระแสกระเพื่อม (Ripple Current) มีค่าสูงกว่าเป็นสองเท่าเมื่อเทียบกับวงจรที่ทำงานในลักษณะเดียวกับวงจรทอนระดับ ตัวกระแสกระเพื่อมนี้จะวิ่งเข้าออกตัวเก็บประจุตลอดเวลาตามความถี่ในการสวิทช์ เราสามารถสังเกตเห็นได้โดยใช้ออสซิลโลสโคปหรือโพรบกระแสจับดู



รูปที่ 2.6 วงจรเรียงกระแสขาออกของวงจรฟลายแบค

การเลือกตัวอุปกรณ์ไดโอดที่นำมาเป็นวงจรเรียงกระแสมีอยู่ 3 ทางเลือกเท่านั้นคือ Schottky, Fast และ Ultrafast (ดูได้จากตารางที่ 2.4) วิธีการคำนวณค่ากระแสไหลสูงสุดของไดโอดนั้นหาได้โดยการคูณด้วยจำนวนอัตราส่วนหม้อแปลงกับค่ากระแสที่ไหลผ่านสวิทช์ (สมการที่ 2.4) ตัวแปรที่สำคัญของวงจรเรียงกระแสในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิทช์ซึ่งก็คือค่าแรงดันตกคร่อมและค่าเวลาช้อนคืน (Reverse recovery) บางครั้งอาจจะมีค่าเวลาไปข้างหน้า (Forward recovery) ค่าต่าง ๆ ที่กล่าวถึงนี้จำเป็นจะต้องมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ ค่าแรงดันตกคร่อมไดโอดนั้นมีผลกระทบต่อค่าความสูญเสียในวงจรเรียงกระแส ค่าเวลาช้อนคืนและค่าเวลาไปข้างหน้ายังก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นวงจรเรียงกระแสที่ใช้ไดโอดแบบ Schottky เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดสำหรับวงจรเรียงกระแสแบบขาออก แต่มีข้อจำกัดในด้านอัตราทนแรงดันย้อนกลับมีค่าต่ำทางเลือกถัดมาที่น่าสนใจก็คือเทคโนโลยีไดโอดแบบ Ultrafast เป็นเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีไดโอดที่มีค่าเวลาข้อนคืนและค่าเวลาไปข้างหน้ามากกว่าแบบ Schottky และมีค่าแรงดันตกคร่อมแรงดันตัวมันสูงกว่าค่าแบบ Schottky แต่กระนั้นก็ตามตัวมันเองสามารถทนแรงดันข้อนกลับดีกว่าแบบ Schottky ไดโอด ส่วน Fast ไดโอดนั้นเป็นทางเลือกที่แย่ที่สุดมีค่าเวลาข้อนคืนและค่าแรงดันไปข้างหน้ามากที่สุดแรงดันตกคร่อมสูงที่สุดแต่มีราคาถูกที่สุดดังนั้นการเลือกวงจรเรียงกระแสขาออกจึงมีส่วนสำคัญอย่างมากต่อแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงเนื่องจากว่าค่าความสูญเสียโดยส่วนใหญ่จะเกิดที่วงจรเรียงกระแสขาออกนี่เอง

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไดโอดชนิดต่างๆ

Diode Technology	Typical Characteristics			Relative Cost
	V_F (V)	T_{rr} (ns)	$V_{R(max)}$	
Fast recovery	1.2–1.4	150	1000	1.0
Ultrafast recovery	0.9–1.0	25–80	1000	1.4
Schottky	0.2–0.6	<10	200	1.5

สำหรับแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงที่ทำงานทั้งในแบบฟลายแบค วงจรเรียงกระแสขาออกจะต้องใช้ตัวเก็บประจุขาออก ค่าของมันนี้จะขึ้นอยู่กับกรอกแบบว่าเราต้องการแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงที่มีแรงดันกระแสเพิ่มขาออกสูงสุดเท่าไร ถ้าต้องการแรงดันกระแสเพิ่มขาออกมีค่าน้อยเราก็ต้องออกแบบให้ตัวเก็บประจุมีค่ามากสำหรับฟลายแบคนั้นโดยทั่วไปมีค่าไม่ควรเกิน 150 มิลลิโวลต์ ถ้าต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีค่าแรงดันกระแสเพิ่มน้อยกว่านี้ จำจะต้องเพิ่มวงจร LC ฟิลเตอร์เข้าไปโดยค่อหลังจากรวมกระแสเรียงกระแส ส่วนค่าตัวเก็บประจุที่ใช้สำหรับกรอกแบบวงจรเรียงกระแสสามารถหาได้จากสมการที่ 2.38

$$C_{out} = \frac{I_{out(max)} - (1 - \delta \min)}{fV_{ripple(p-p)}} \quad (2.22)$$

เมื่อ I_{out} คือค่ากระแสขาออก
 $\delta \min$ คือค่า Duty cycle น้อยที่สุด
 V_{ripple} คือแรงดันกระแสเพิ่ม

สิ่งที่เราเน้นสำหรับการทำงานของฟลายแบคก็คือตัวเก็บประจุ เนื่องจากว่าตัวเก็บประจุของโหมดฟลายแบคนั้นจำเป็นต้องมีค่า ESR (ค่าตัวต้านทานในตัวเก็บประจุ) และ ESL (ค่าตัวเหนี่ยวนำในตัวเก็บประจุ) น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะกระแสที่ไหลผ่านตัวมันนั้นจะมีค่าสูงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีรูปคลื่นที่มีลักษณะความชันมาก ทำให้เกิดค่าแรงดันกระแสเพื่อรวมตัวเก็บประจุ นอกจากนี้ถ้ามีค่า ESR มากยังมีผลกระทบต่ออายุการใช้งานของตัวเก็บประจุอันเนื่องมาจากเกิดความร้อนสูงตกคร่อมตัวมันส่วนค่า ESL นั้นจะส่งผลกระทบต่อค่าแรงดันพุงที่แรงดันขาออกถ้าโหลดของวงจรเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวต่อสัญญาณขาเข้าแล้ว อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดทางด้านลอจิกได้ ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลัมมีคุณสมบัติดีกว่าตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ ถ้าต้องการให้ค่าแรงดันขาออกมีประสิทธิภาพที่ดีก็ควรเลือกให้แบบแทนทาลัม มากกว่าอิเล็กโทรไลต์ ค่าแรงดันกระแสเพื่อมถ้าต้องการแปลงเป็นค่า RMS คำนวณได้ตามสมการ

$$I_{ripple(p-p)} \approx \frac{2I_{out(av)}}{\partial \min} \quad (2.23)$$

สิ่งที่ขาดไม่ได้เป็นอันดับก็คือคุณสมบัติของตัวเก็บประจุของผู้ผลิต อย่างเช่นการทดสอบที่แรงดันรูปคลื่นไซน์ที่ความถี่ 50/60 Hz อาจจะมีรวมถึงตัวแปรที่เรียกว่า P_d (ค่าความสูญเสีย) ค่ากระแสรั่วไหลเป็นต้น วิธีการทดสอบของผู้ผลิตตัวเก็บประจุอาจจะทำได้หลายวิธีดังนั้นนักออกแบบจึงต้องใช้วิธีการลองผิดลองถูกเป็นสำคัญ ลองนำมาใช้งานแล้วก็สังเกตดูว่าส่งผลกระทบต่อแรงดันกระแสหรือไม่อย่างไร ตลอดจนบันทึกคุณสมบัติการใช้งานด้วย วิธีการลดค่า ESR และค่า ESL โดยวิธีการเลือกชนิดตัวเก็บประจุนั้นอาจแทนที่ได้โดยวิธีการต่อขานานตัวเก็บประจุเข้าไปไว้หลายๆตัวเมื่อตัวเก็บประจุต่อขานานกันมากกว่าหนึ่งตัว จะทำให้เกิดการแบ่งไหลของกระแสและทำให้ค่า ESR ค่า ESL ลดลงไปเนื่องจากตัวเก็บประจุต่อขานานกันนั่นเอง

ปัจจัยที่สำคัญอันดับสุดท้ายก็คือการวางผังอุปกรณ์ของตัวเก็บประจุขาออก ในกรณีที่มิตัวเก็บประจุมากกว่า 1 ตัว จะต้องวางตัวเก็บประจุให้อยู่ในลักษณะเรียงกันเป็นเส้นตรงโดยเส้นลายวงจรนั้นจะต้องพยายามทำให้สั้นที่สุดเพื่อลดค่า ESR ESL และถ้าทำได้จะต้องวางตัวเก็บประจุไว้ชิดติดกัน เพื่อลดระยะเส้นทางเดินของวงจรให้มีค่าน้อยที่สุด

ในบางกรณีอาจใช้วิธีนำตัวเก็บประจุความถี่สูงวางขนานไปกับตัวเก็บประจุหลัก เนื่องจากว่าตัวเก็บประจุแบบแทนทาลัมหรือแบบอิเล็กโทรไลต์นั้น ไม่สามารถรองรับแรงดันกระแสที่ความถี่สูงได้ ดังนั้นอาจจะให้ตัวเก็บประจุแบบเซรามิกที่มีค่าประมาณ 0.01-0.1 ไมโครฟารัดต่อขานานเข้ากับตัวเก็บประจุหลักการ เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนดังกล่าวการออกแบบวงจรเรียงกระแสขาออกนี้ก็เรียบร้อยแล้ว

2.7 การออกแบบอุปกรณ์สวิตซ์และวงจรขับ

อุปกรณ์หลักของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ก็คือสารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์โดยทำหน้าที่แปลงแรงดันขาเข้าให้มีค่าต่ำลงด้วยวิธีการเปิด-ปิดอย่างรวดเร็วโดยรับสัญญาณการขับจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวควบคุม PWM ค่าตัวแปรที่สำคัญสำหรับการออกแบบในส่วนนี้คือ ค่าพิคกความปลอดภัย ค่านี้หมายความว่า การทำงานภายใต้พิคกดังกล่าวมีความปลอดภัยและรับรองได้ว่าไม่เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์สวิตช์ ดังนั้นนักออกแบบจึงสมควรออกแบบให้อยู่ภายใต้ค่าพิคกความปลอดภัยของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิตช์ในวงจรนั้น ๆ

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์นั้นปัจจุบันนิยมใช้อยู่ 2 แบบใหญ่ ๆ เมื่อครั้งแรกเริ่มต้นกำเนิดอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ก็คือ ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์เกิดขึ้นมาตั้งแต่ ปี 1980 แล้ว อีกชนิดหนึ่งก็คือ อุปกรณ์สารกึ่งตัวชนิดมอสเฟต โดยปัจจุบันอุปกรณ์สวิตช์แบบมอสเฟตเป็นที่นิยมแพร่หลายมากขึ้นเรื่อย ๆ แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตช์ซึ่งที่มีกำลังต่ำจนถึงปานกลางส่วน ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์นั้นใช้สำหรับแหล่งจ่ายไฟสวิตช์ซึ่งที่มีกำลังสูง ทั้งนี้อุปกรณ์ที่เรียกว่า IGBT ซึ่งเป็นไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งกำลังเข้ามาแทนที่สำหรับแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตช์ซึ่งที่มีกำลังสูงมาก ๆ โดยเทคโนโลยี IGBT นั้นเป็นการร่วมผสมระหว่างเทคโนโลยีสวิตช์แบบเก่าและแบบใหม่

อุปกรณ์แบบมอสเฟตเป็นที่นิยมอย่างสูง เนื่องจากว่าตัวมันมีความเร็วในการสวิตช์มากกว่า ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ 5-10 เท่าตัวทีเดียว อีกทั้งวงจรขับยังออกแบบได้ง่ายกว่าวงจรขับของไบโพลาร์อีกด้วย ส่วน IGBT นั้น เป็นที่นิยมสำหรับแหล่งจ่ายไฟสวิตช์ซึ่งที่มีกำลังสูง ๆ เพราะว่ามันสามารถรองรับแรงดัน และกระแสได้สูงวงจรถับก็มีลักษณะเดียวกันกับมอสเฟต ดังนั้นวงจรถับมอสเฟตจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ IGBT ได้

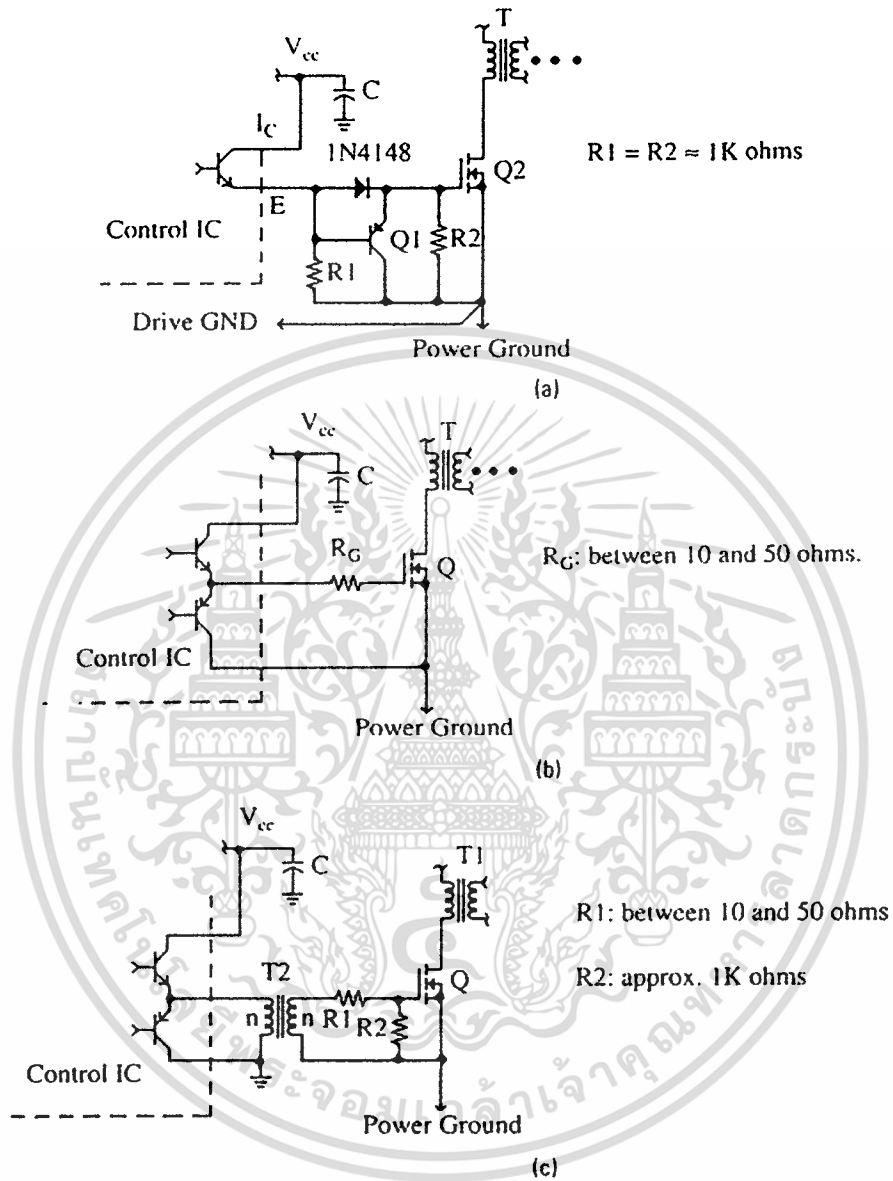
อุปกรณ์มอสเฟตควบคุมการทำงานแบบแรงดันคุมกระแสไหล การที่จะขับมอสเฟตให้อิมตัวนั้นใช้วิธีจ่ายแรงดันเข้าไประหว่างขาเกตและซอร์สทำให้กระแสไหลผ่านขาเดรนได้ ปกติแล้วแรงดันที่ป้อนให้ขาเกต-ซอร์ส มีค่าประมาณ 10 โวลต์ เพื่อที่มั่นใจได้ว่าเมื่อป้อนแรงดันค่าดังกล่าวแล้วมอสเฟตจึงยอมให้กระแสไหลผ่านขาเดรนได้เต็มที่ วงจรถับควรที่จะขับด้วยแรงดันไม่เกิน +20 โวลต์มีเช่นนั้นมอสเฟตอาจพังเสียหายได้

วงจรถับในรูปที่ 2.7 นั้นเป็นวงจรถับที่แนะนำโดย [8] โดยที่ครอบคลุมการขับโดยใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวเพียงตัวเดียวและขับโดยใช้ทรานซิสเตอร์สองตัว (Totem pole) ตลอดจนการขับโดยใช้หม้อแปลง ทั้งนี้คุณสมบัติของวงจรถับมอสเฟตที่ดีคือต้องสามารถจ่ายกระแสเข้าสู่ขาเกตของมอสเฟตได้อย่างเพียงพอโดยใช้ระยะเวลาสั้นมากที่สุด และต้องมีคุณสมบัติที่สามารถคายประจุได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน

ตามโครงสร้างของมอสเฟตนั้นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่ามีลักษณะเหมือนกับต่อค่าตัวเก็บประจุไว้ระหว่างขาเกตและซอร์ส โดยตัวเก็บประจุดังกล่าวมีค่าประมาณ 900-2000 pF แต่ที่ใช้กระแสเพียงหน่วยเป็นนาโนแอมป์เท่านั้นในการทำให้มอสเฟต Cut off หรือ Saturated วงจรถับต้องมีคุณสมบัติขับตัวเก็บประจุได้ดีนั้นหมายความว่าต้องมีค่ากระแสสูงสุดสำหรับ Charge และ Discharge สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pole โดยตรง แต่ IC ควบคุมรุ่นเก่า ๆ ที่ไม่มีมีวงจรถับแบบ Totem pole ก็สามารถดัดแปลงภายนอก เพื่อที่จะสามารถขับ มอสเฟตได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.7a



รูปที่ 2.7 วงจรถับมอสเฟต (a) วงจรถับใช้ทรานซิสเตอร์ (b) วงจรถับ Totem pole (c) วงจรถับใช้หม้อแปลง [8]

ด้วยการขับแบบ Totem pole การสวิตช์ด้วยความเร็ว 50-100ns สามารถทำได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงความเร็วขนาดดังกล่าวจะทำให้สามารถเพิ่มความถี่ในการสวิตช์ได้ถึง 200 KHz เนื่องจากว่าโดยทั่วไปวงจรใน IC ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้กับวงจรถับนั้นมักมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impedance ต่ำ ดังนั้นจึงควรวางตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่เป็นตัวกรองสัญญาณรบกวนไว้ใกล้กับ วงจรดีที่สุด

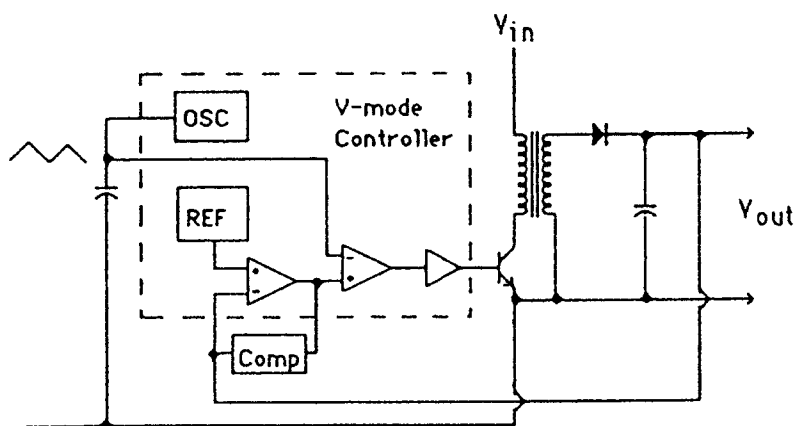
มอสเฟทนั้นเมื่อเทียบกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์แล้วความทนทานต่อค่าแรงดันและ กระแสเกินขนาดมีค่าน้อยกว่า เมื่อเกิดแรงดันพุ่งอันเนื่องมาจากตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลหรือตัว เหนี่ยวนำแฝงอันเนื่องมาจากการออกแบบสายปรินท์ที่ไม่ดี ทำให้เกิดแรงดันพุ่ง (Spike) และสามารถ ให้มอสเฟทพังเสียหายได้ ดังนั้นการที่ลดความเร็วในการสวิตช์ลงจะทำให้แรงดันพุ่งมีค่าลดลงตาม ไปด้วย วิธีลดความเร็วในการสวิตช์ลงสามารถทำได้โดยการเพิ่มตัวต้านทานค่าไม่มากประมาณ 20- 50 Ohm ต่ออนุกรมระหว่างวงจรขับและมอสเฟท ค่าความต้านทานที่ใส่เข้าไปเน้นย้ำว่าไม่ควรเกิน 50 Ohm มิเช่นนั้นจะเกิดปรากฏการณ์ Mirror effect ส่งผลต่อประสิทธิภาพของวงจร การเพิ่มตัว เก็บประจุค่าน้อยๆ 80-150pF เข้าไประหว่างขาเกตกับซอร์สนั้นจะช่วยให้แรงดันขับขาเกตมีค่าไม่ เกินค่าที่กำหนดแต่สิ่งที่ต้องพึงระวังก็คือถ้าค่าของตัวเก็บประจุมีค่ามากเกินไปจะทำวงจรขับมีค่า Impedance สูง ส่งผลให้เกิดการ Oscillate ขึ้นได้และยังเพิ่มค่าความสูญเสียระหว่างการสวิตช์ มาก จนทำให้มอสเฟทพังเสียหายได้

IGBT นั้นเป็นลูกผสมระหว่างมอสเฟทและSCR สามารถใช้วงจรขับแบบเดียวกับมอสเฟท ได้ ตัว IGBT นั้นมีความเร็วในการสวิตช์ประมาณ 500ns ถึงแม้จะไม่เร็วเท่ามอสเฟท แต่สามารถ รองรับกับกำลังได้มากกว่าอาจจะมากกว่า 500 W ต่อสวิตช์หนึ่งตัว ดังนั้นถ้าเราไม่สนใจในเรื่องค่า ความสูญเสียของวงจรขับมากนัก IGBT จึงเป็นทางเลือกที่ดีทีเดียว

2.8. การเลือก Controller IC

ตัวควบคุมถือเป็นแกนกลางสำหรับการควบคุมแหล่งจ่ายไฟสวิตซ์ ในตัว IC Controller นั้นอาจมีวงจรมากมายรวบรวมเอาไว้ในตัวเดียวกันเช่น วงจรปรับความกว้างพัลส์ วงจรชดเชย อุณหภูมิ วงจรอ้างอิงระดับแรงดัน วงจรขับ หรือแม้กระทั่งออปแอมป์ ดังนั้นการเลือกตัวควบคุมจึง ขึ้นอยู่กับความต้องการของนักออกแบบว่าต้องการฟังก์ชันใดในตัวควบคุมให้เหมาะสมกับงานที่ นำไปใช้

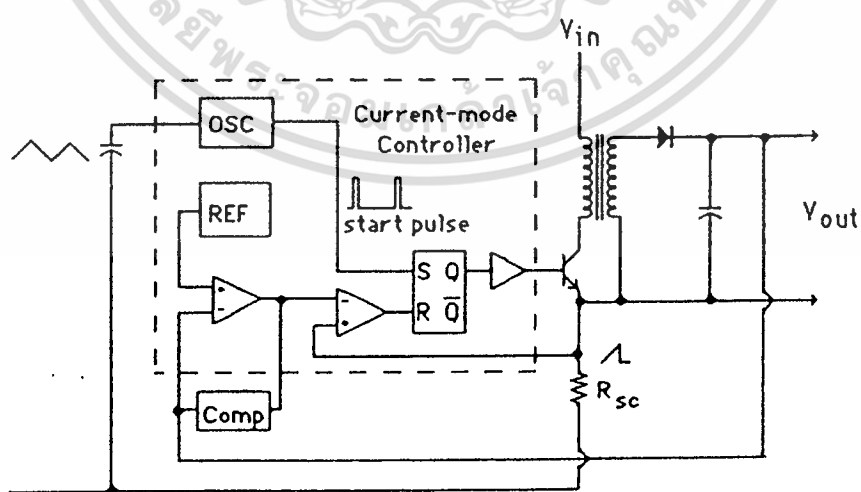
การควบคุมนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆคือ โหมดแรงดัน โหมดกระแส และ โหมด แปรผันความถี่ การควบคุมในโหมดแรงดันนั้นแสดงในรูปแบบที่ 2.8 วิธีนี้เป็นวิธีควบคุมดั้งเดิมของการ ควบคุมแหล่งจ่ายไฟสวิตซ์ อธิบายการทำงานอย่างคร่าวๆได้ว่าเป็นการควบคุมโดยเปรียบเทียบ ระหว่างแรงดันที่ออกจากออปแอมป์และขอดคลื่นที่เกิดจากวงจร RC Timing การทำงานในลักษณะ เช่นนี้จะไม่สามารถป้องกันกระแสเกินได้ และโดยทั่วไป IC โหมดแรงดันมักมีวงจรขับเป็นแบบไบ โพลาร์ทรานซิสเตอร์ธรรมดา ด้วยเหตุผลนี้การนำไปขับสวิตซ์ที่เป็นมอสเฟทจึงไม่มีความ เหมาะสมนัก



รูปที่ 2.8 การควบคุมในโหมดแรงดัน

การควบคุมในโหมดกระแสหนึ่งประกอบด้วยรูปป้อนกลับสองรูปคือรูปกระแสและรูปแรงดัน การเปรียบเทียบนั้นจะเปรียบเทียบทั้งแรงดันขาออก กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและขดคลื่น RC ดังนั้นการควบคุมแบบนี้จะสามารถป้องกันปัญหาหือแปลงอิมพัลส์หรือกระแสชั่วคราวต่างๆ ได้เป็นอย่างดี และมี IC Controller ให้เลือกมากมาย

โหมดสุดท้ายเป็นโหมดแปรผันความถี่ ซึ่งมีลักษณะที่คงค่าเวลา OFF Time เอาไว้และปรับค่าเวลา ON Time การทำงานลักษณะเช่นนี้มักนิยมใช้สำหรับแหล่งจ่ายไฟแบบ Quasi-Resonant แต่ในที่นี้ใช้กับแบบปรับความกว้างของพัลส์ ตัววงจรออปแอมป์จะทำหน้าที่ไปจับ VCO (Voltage control oscillator) ซึ่งแปรผันตามเวลา ดังนั้นจึงทำให้สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้ แต่โหมดการควบคุมนี้มักมีปัญหาผลตอบสนองในสภาวะชั่วคราวที่ไม่ดี IC Controller ในโหมดนี้ก็มีจำพวก MC34063 MC34163 uC78s40



รูปที่ 2.9 การควบคุมในโหมดกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยสุดท้ายที่ต้องพิจารณาก็คือออกแบบเพื่อประยุกต์ใช้กับงานชนิดใด ต้องตรวจสอบว่า คุณสมบัติตรงกับความต้องการหรือไม่เช่น แรงดันขาเข้าของระบบเป็นเท่าไร IC Controller บางตัวจะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อมีแรงดันจ่ายให้เกิน 16V ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้ได้กับงานที่มีระดับแรงดันขาเข้าต่ำ

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ IC Controller (Power Supply Cookbook Marty Brown

Motorola Inc)

Part No.	Tech.	1-2 Outputs	Function Features					Output Driver Type	
			OC Amp.	Soft start	Shut off	Synchr.	LVI	UC Trans.	Totem-pole
(a) Voltage-mode Switching Power Supply									
MC34060	B	1	x				x	x	
NE5560	B	1	x	x	x	x		x	
NE5561/8	B	1	x					x	
NE5562	B	1	x	x	x	x		x	
SG3524	B	2	x		x			x	
TL494	B	2	x		x			x	
SG3523 (MC34023)	B	1	x	x	x	x	x		x
SG3525 (MC34025)	B	2	x	x	x	x	x		x
(b) Current-mode Switching Power Supply									
MC34065	B	2 ca. 1				x	x		x
MC34129	C	1		x	x	x	x		x
SI 91XX	HVC	1			x		x		x
uA78S40	B	1							x
UC384X	B	1					x		x
SG3523 (MC34023)	B	1		x	x	x	x		x
SG3525 (MC34025)	B	2		x	x	x	x		x
(c) Examples of Low-voltage Power Integrated Circuits									

Part No.	Control Mode	Max V_{in} (V)	Max P_{out} (W)	Intended Topology	Peak Switch	Power Switch Type
					Current (A)	
LT1070	I	60	5	Boost	1.5	Low side FET
MAX630	G.O.	16.5	5	Boost	0.4	Low side FET
MAX638	G.O.	16.5	3	Buck	0.5	High side FET
MC34063	G.O.	40	5	Buck	1.5	High side xistor
MC34163	G.O.	40	8	Buck	3.0	Low/high side
MC34166	V	40	10	Buck	5.0	High side xistor
MC34167	V	65	12	Buck	7.0	High side xistor
uA78S40	G.O.	40	5	Buck	1.5	High side xistor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การออกแบบวงจรเรียงกระแสขาเข้า

ขั้นตอนสุดท้ายสำหรับการออกแบบแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งก็คือการออกแบบวงจรเรียงกระแสขาเข้า ในส่วนนี้จะประกอบด้วยไดโอดและตัวเก็บประจุหรืออาจจะมียังวงจรป้องกันกระแสกระชากหรือวงจรป้องกันแรงดันขาเข้าเกินเพิ่มเข้ามา การออกแบบในขั้นตอนนี้ไม่ยุ่งยาก ค่าที่ต้องพิจารณาก็มีเพียงค่ากระแสเฉลี่ย, กระแสกระชาก, และค่าทนแรงดันสูงสุด สำหรับแหล่งจ่ายไฟจำพวก Off-line (พวกที่เสียบปลั๊กไฟบ้าน) สามารถออกแบบโดยใช้ค่าประมาณการดังนี้

$$V_R = 1.414V_{in(p-p)(max)} \quad (2.24)$$

$$I_F \geq 1.5I_{in(dc)(max)} \quad (2.25)$$

$$I_{FSM} = 5I_F \quad (2.26)$$

ค่ากระแสกระชากนั้น (I_{FSM}) จำต้องมีค่ามากกว่ากระแสเฉลี่ยถึง 5 เท่า เนื่องจากต้องเผื่อไว้สำหรับในขณะเริ่มเปิดเครื่องจะมีกระแสไหลเข้าสู่ตัวเก็บประจุอย่างรวดเร็วทำให้เกิดกระแสกระชากดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกอัตราทนกระแสกระชากไว้ให้มากเพื่อให้มั่นใจได้ว่าไดโอดมีอายุการใช้งานที่ยืนยาว แต่สำหรับค่าของตัวเก็บประจุนั้น นักออกแบบต้องทราบค่าแรงดันกระแสที่เพิ่มที่ออกจากไดโอดก่อนว่าต้องการให้มีค่าเท่าไร? ถ้าต้องการให้มีค่าแรงดันกระแสที่เพิ่มน้อยนั้นก็หมายความว่าตัวเก็บประจุต้องมีขนาดใหญ่ แต่ผลกระทบที่ตามมาสำหรับตัวเก็บประจุที่มีค่ามากแล้วก็คือมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากอีกทั้งส่งผลให้เกิดกระแสกระชากที่มากขึ้นในขณะเริ่มต้นทำงานของวงจร โดยทั่วไปนักออกแบบมักจะกำหนดค่าแรงดันกระแสที่เพิ่มไว้ที่ 5-10 % ของแรงดันสูงสุด ส่วนค่าของตัวเก็บประจุหาได้จากสมการดังนี้

$$C_{in} \approx \frac{kP_{in(av)}}{f(V_{ripple(p-p)})^2} \quad (2.27)$$

เมื่อ f คือค่าความถี่ของแรงดันขาเข้า
 k เท่ากับ 2 เมื่อแรงดันขาเข้าเป็นแรงดันไฟตรง และ เท่ากับ 1 เมื่อเป็น Off-line

ในบางครั้งอาจเพิ่มเติมอุปกรณ์จำพวก Thermistor และ Varistor เข้าไปในวงจรส่วนนี้ด้วย Thermistor นั้นมีคุณสมบัติที่เหมือนตัวต้านทานปกติแต่มีค่าแปรผันตามอุณหภูมิ ดังนั้นการตรวจสอบสารเป็นเอกสารที่ส่งวันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตัวนี้อุปกรณ์เข้ากับวงจรเรียงกระแสขาเข้าจะช่วยให้ลดค่ากระแสกระชากในขณะที่เริ่มต้นการทำงาน (ขณะเริ่มเปิดเครื่องจะยังคงมีค่าความต้านทาน 4-6 Ohm) และหลังจากที่วงจรได้เริ่มต้นทำงานไปชั่วระยะเวลาหนึ่งอุปกรณ์ตัวนี้จะมีค่าความต้านทานลดลงเรื่อยๆจนเป็นศูนย์ อันเนื่องมาจากกระแสที่ไหลผ่านทำให้เกิดความร้อนแก่ Thermister ทำให้ตัวมันเองมีค่าความต้านทานลดลงเรื่อยๆ ส่วน Varistor นั้นต่อขนานกับวงจรเรียงกระแสขาเข้าเพื่อทำหน้าที่ป้องกันแรงดันเกินอันเนื่องมาจากฟ้าผ่าหรือแรงดันกระชากต่างๆ

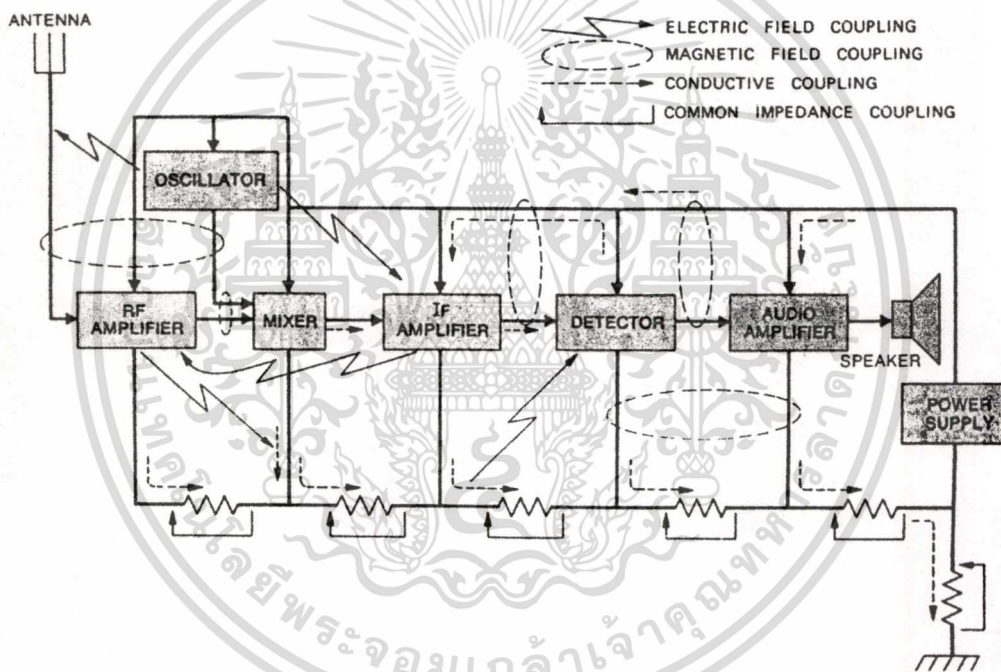


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

3.1 บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ทำให้วงจรต่าง ๆ ต้องทำงานในระยะเวลาที่ใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น ผลก็คือวงจรเหล่านั้นอาจสร้างสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรบกวนเรื่องสนามแม่เหล็กไฟฟ้า นอกจากนี้การนำวงจรจำนวนมากมารวม กันภายใต้พื้นที่ที่เล็กลงอย่างเช่นใน IC (Integrated Circuit) ก็มีส่วน

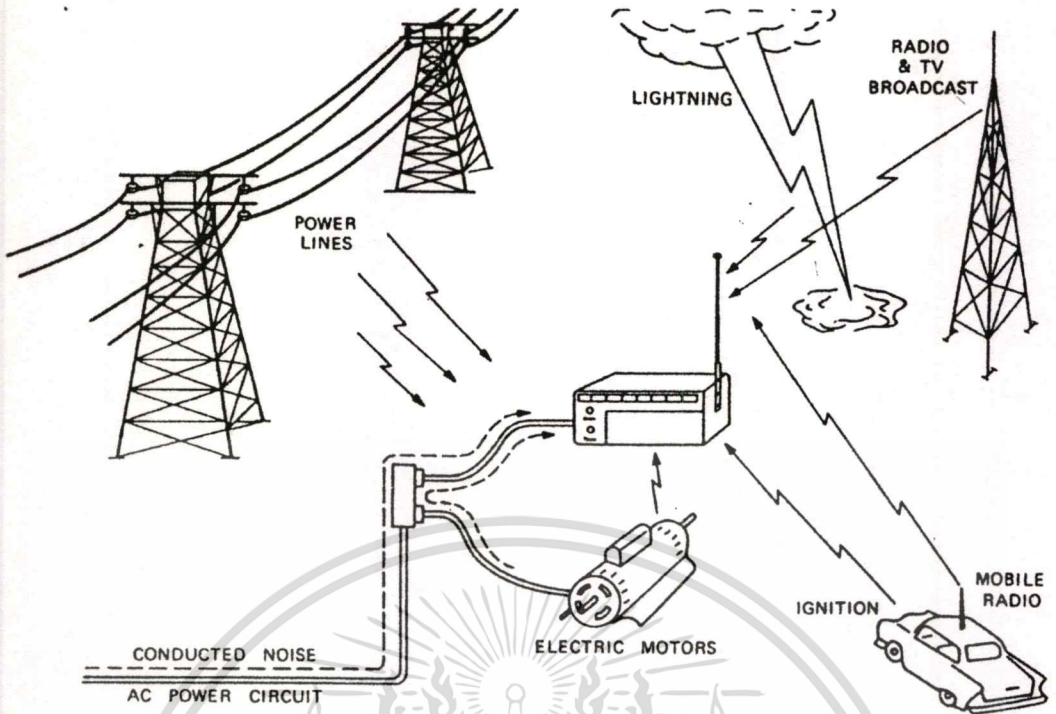


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในเครื่องรับวิทยุ

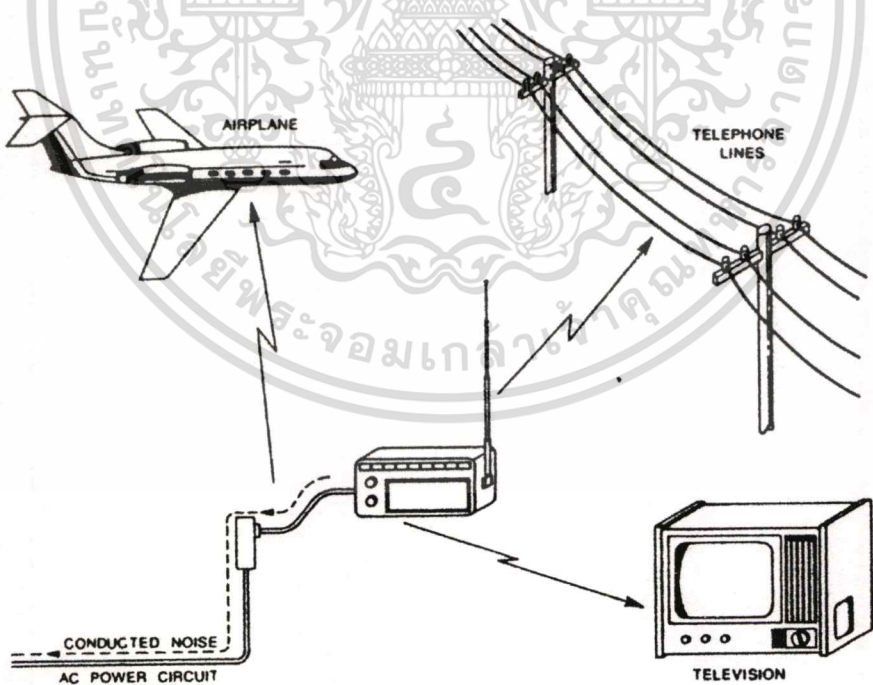
ในการเพิ่มปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน ดังนั้น เพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้ดีในสภาวะแวดล้อมจริง ผู้ออกแบบวงจรจำเป็นต้องคำนึงถึงปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนด้วย โดยบางวงจรมันต้องไม่สร้างสัญญาณรบกวนแก่วงจรอื่น อีกทั้งจะต้องไม่ถูกรบกวนจากวงจรอื่นเช่นกัน

รูป 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในเครื่องรับวิทยุ ซึ่งมีปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนเช่นเกิดจากการเดินสายไฟ และการต่อกราวนด์โดยมีอิมพีแดนซ์ที่กราวนด์ร่วมกันเป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่มีผลต่อการสร้างสัญญาณรบกวนทั้งสิ้น รูป 3.1 แสดงให้เห็นปัญหา “ภายใน” ของ

เครื่องรับ ในขณะที่รูป 3.2 แสดงสัญญาณรบกวนจาก “ภายนอก” เมื่อนำเครื่องรับวิทยุไปใช้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 สัญญาณรบกวนจากภายนอก



รูปที่ 3.3 สัญญาณรบกวนจากแหล่งอื่น ๆ

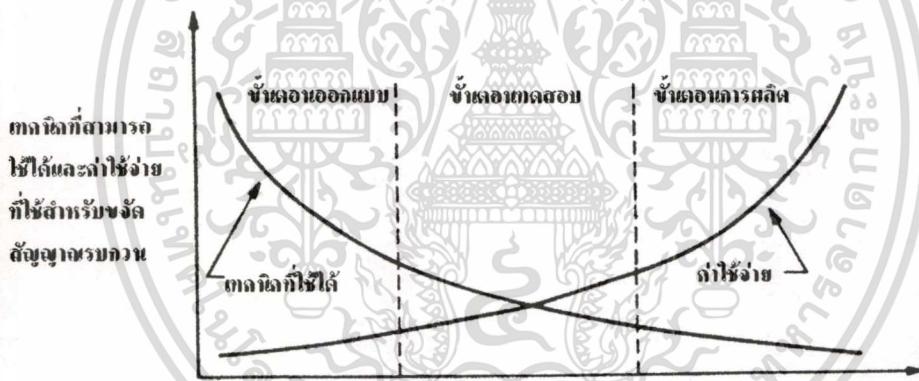
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานจริง ๆ ซึ่งผู้ออกแบบจำเป็นต้องป้องกันสัญญาณรบกวนทั้งจากภายในและภายนอกเพื่อให้ อุปกรณ์ที่ออกแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

รูป 3.3 แสดงปัญหาภายนอกเหนือจากที่ได้กล่าวมา คือนอก จะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่น ๆ แล้ว อุปกรณ์ที่เราออกแบบขึ้นอาจสร้างสัญญาณ ไปรบกวนอุปกรณ์ชนิดอื่น ๆ ได้ ดังนั้น นอกจาก การป้องกันไม่ให้ถูกรบกวนจากวงจรอื่นแล้ว อุปกรณ์ที่ถูกออกแบบจะต้อง ไม่สร้างสัญญาณไป รบกวนอุปกรณ์อื่นอีกด้วย

3.1.1 สัญญาณรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

การยอมรับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatability, EMC) จะแสดงขีด ความสามารถของอุปกรณ์แต่ละชิ้น ในการทำงานอย่างปกติภายใต้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าปัญหา เกี่ยวกับ EMC นี้ควรถูกนำมาพิจารณาตั้งแต่เริ่มออกแบบ มิฉะนั้นค่าใช้จ่ายที่ตามมาจะสูงขึ้นและ วิธีแก้ไขจะยากขึ้น รูป 3.4 เป็นกราฟแสดงเทคนิคในการแก้ปัญหาและค่าใช้จ่ายในการแก้ปัญหา นั้น ๆ



รูป3.4 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลา

เปรียบเทียบระหว่างขั้นตอนในช่วงต่าง ๆ ตั้งแต่เริ่มออกแบบ ทดสอบ จนถึงการผลิตซึ่งจะ เห็นได้ว่า ถ้าหากอุปกรณ์ถูกออกแบบพร้อมกับการใช้เทคนิคในการลดสัญญาณรบกวนตั้งแต่ เริ่มต้นแล้ว วิธีที่ใช้จะเป็นแบบง่าย ๆ อีกทั้งยังเสียค่าใช้จ่ายน้อยอีกด้วย ในทางตรงกันข้ามอุปกรณ์ ที่ไม่มีการป้องกันเรื่องสัญญาณรบกวนตั้งแต่แรก จะต้องประสบกับปัญหาค่อนข้างแน่นอนอน นอกจากจะต้องออกแบบวงจรใหม่เพื่อลดสัญญาณรบกวนแล้ว วงจรส่วนที่สร้างเพิ่มขึ้นเพื่อใช้ลด สัญญาณรบกวนจะเป็นผลให้ขนาด ราคา และการสูญเสียพลังงานในขณะใช้งานมีค่าเพิ่มขึ้น

3.1.2 คำจำกัดความ

สัญญาณรบกวน (Noise) คือสัญญาณไฟฟ้าในวงจรที่เกิดขึ้น นอกเหนือไปจากสัญญาณที่ได้ออกแบบเอาไว้แต่จะต้องเข้าใจว่า สัญญาณเอาต์พุตที่มีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) กับอินพุตนั้น ไม่ใช่สัญญาณรบกวน แต่เป็นปัญหาที่เกิดจากการออกแบบวงจร เว้นแต่ว่าสัญญาณดังกล่าวนี้ไปรบกวนวงจรอื่น เช่นนั้น เราจะเรียกสัญญาณนี้ว่าเป็นสัญญาณรบกวน

เราสามารถแบ่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนออกเป็น 3 ชนิดดังนี้คือ

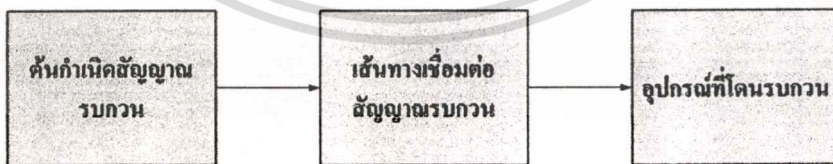
1. แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนภายในเนื้อสาร (intrinsic noise source) เทอร์มัลนอยส์ (thermal noise) และ ช็อตนอยส์ (shot noise) เป็นต้น
2. แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนที่สร้างโดยมนุษย์ (man-made noise source) เช่น มอเตอร์ หรือสวิตช์ เป็นต้น
3. แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนจากธรรมชาติ (natural noise source) เช่น ฟ้าผ่า ฟ้าร้อง เป็นต้น

การรบกวน (Interference) คือผลของสัญญาณรบกวนที่ทำให้วงจรทำงานได้ไม่ดีเท่าที่ควร โดยมากแล้ว เราไม่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปให้หมดสิ้น แต่สามารถลดสัญญาณจนกระทั่งไม่ก่อให้เกิดการรบกวนได้

ความไวต่อสัญญาณรบกวน (Susceptibility) แสดงให้เห็นความสามารถของอุปกรณ์หรือวงจรในการตอบสนองสัญญาณรบกวน โดยที่วงจรนี้ยังสามารถทำงานต่อไปได้อย่างเป็นที่น่าสนใจ

3.1.3 ทางเดินของสัญญาณรบกวน

รูป 3.5 เป็นบล็อกไดอะแกรมซึ่งแสดงทางเดินของสัญญาณรบกวนที่ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ 2 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน เส้นทางเชื่อมโยงสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปยังตัวรับหรือคัปปลิง (Coupling) และวงจรตัวรับสัญญาณรบกวน



รูป 3.5 ทางเดินของสัญญาณรบกวน

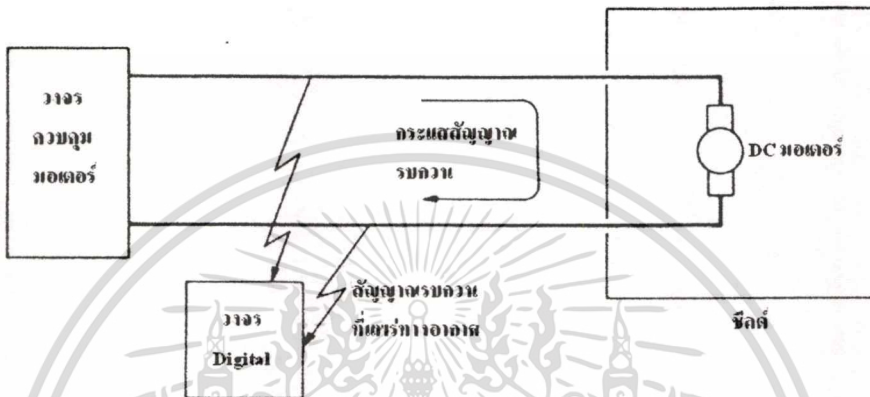
ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนนั้น เราจำเป็นจะต้องตรวจสอบว่า แหล่งกำเนิดและตัวรับสัญญาณรบกวนอยู่ที่ใด และสัญญาณรบกวนถูกคัปปลิงผ่านทางใด ดังนั้นจึงสามารถป้องกันสัญญาณรบกวนได้ 3 วิธี คือ

1. กันไม่ให้แหล่งกำเนิดส่งสัญญาณรบกวนออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำให้ตัวรับไม่ตอบสนองต่อสัญญาณรบกวน
3. ลดการส่งสัญญาณรบกวนผ่านการดับปลิงลงให้น้อยที่สุด

รูป 3.6 แสดงทางเดินของสัญญาณรบกวนในอุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์กระแสตรงที่ถูกชิลด์ (Shield) วงจรควบคุมมอเตอร์ และวงจรไฟฟ้าระดับต่ำ จะเห็นได้ว่า สัญญาณรบกวนซึ่งเกิดจากคอมมิวเตเตอร์ของมอเตอร์จะถูกนำออกจากชิลด์ ผ่านทางเดินสายไฟ และจะสร้างสัญญาณรบกวนต่อวงจรไฟฟ้าระดับต่ำ



รูป 3.6 สัญญาณรบกวนในอุปกรณ์มอเตอร์กระแสตรง

จากตัวอย่างนี้ เราสามารถจำแนกวงจรต่าง ๆ ได้ตามรูป 3.5 โดยมีอาร์ค (ARC) ที่เกิดขึ้นระหว่างแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์เป็นแหล่งกำเนิด มีการนำไฟฟ้าและการแผ่รังสีของสายไฟตัวนำเป็นเส้นทางในดับปลิง และมีวงจรระดับต่ำเป็นตัวรับสัญญาณรบกวนนั้น ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้หลายวิธี แต่โดยมากนิยมตัดเส้นทางดับปลิงระหว่างแหล่งกำเนิดและตัวรับทิ้ง โดยการชิลด์ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในบทต่อไป

3.1.4 ทฤษฎีข่ายวงจร(Network theory)

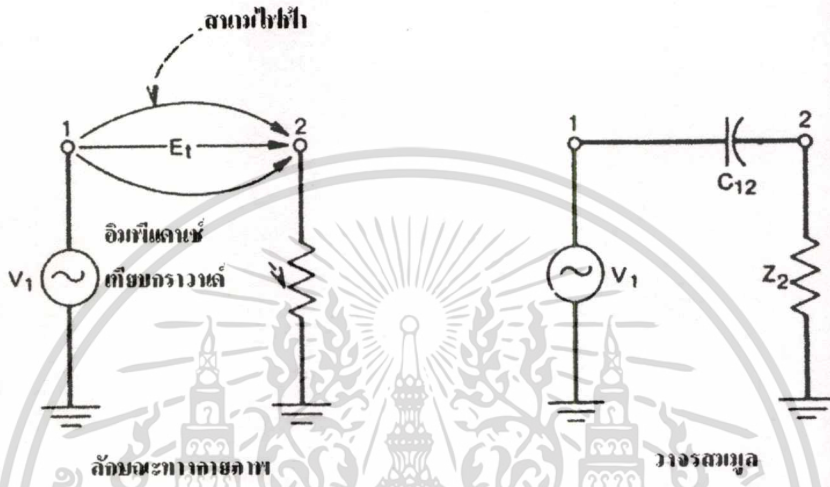
ในการศึกษาเพื่อให้ได้คำตอบที่แน่นอนเกี่ยวกับคุณสมบัติของวงจรไฟฟ้านั้น เราจำเป็นต้องใช้สมการของแมกซ์เวลล์(Maxwell) ในการแก้ปัญหา แต่เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ในที่นี้ เราจึงหลีกเลี่ยงความยุ่งยากจากการใช้สมการของแมกซ์เวลล์โดยการใช้เทคนิค “การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า” ซึ่งเทคนิคดังกล่าวนี้จะไม่คำนึงถึงตัวแปรใน 3 มิติ แต่จะเป็นเพียงฟังก์ชันของเวลาเท่านั้น และตั้งข้อสันนิษฐานไว้ด้วยว่า

1. สนามไฟฟ้าสามารถถูกแทนที่ด้วยตัวเก็บประจุไฟฟ้า
2. สนามแม่เหล็กสามารถถูกแทนที่ด้วยตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า
3. วงจรจะต้องมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น (λ) ที่เกี่ยวข้อง

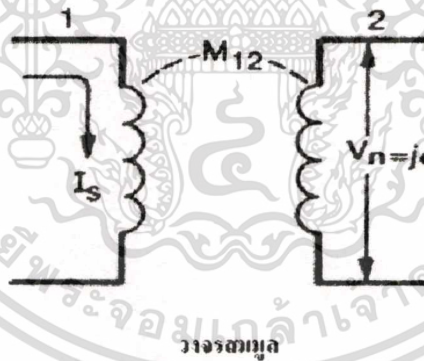
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสันนิษฐานทั้งสามนี้ แสดงให้เห็นว่าเราสามารถหาตัวปัญหาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายนอกได้ถ้าหากสนามดังกล่าวไม่มีผลกระทบต่อวงจร แต่เมื่อใดก็ตามที่สนามแม่เหล็กนี้สร้างสัญญาณรบกวนต่อระบบที่เรากำลังสนใจอยู่ ก็จำเป็นจะต้องคำนึงถึงผลจากสัญญาณรบกวนที่ตามมาด้วย

จากข้อสันนิษฐานข้างต้น เราจึงสามารถเขียนเส้นทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณรบกวนในรูป 3.7 และใช้ตัวเหนี่ยวนำแทนสนามแม่เหล็ก ตามรูป 3.8



รูป 3.7 การคับปลิงผ่านสนามไฟฟ้า



รูป 3.8 การคับปลิงผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เพื่อให้การวิเคราะห์ห้วงจรเป็นไปอย่างถูกต้องที่สุด ข้อสันนิษฐานที่ 3 ควรจะเป็นจริง ซึ่งก็คือขนาดของวงจรควรเล็กมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของสัญญาณที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น สำหรับสัญญาณความถี่ 1 เมกะเฮิรต์ ความยาวคลื่นมีค่าประมาณ 300 เมตร และจะมีค่า 1 เมตรเมื่อใช้ความถี่ 300 เมกะเฮิรต์ ซึ่งในทางปฏิบัติ ขนาดของวงจรถอดิเล็กทรอนิกส์จะเล็กกว่าความยาวคลื่นมากซึ่งมีผลทำให้ข้อสันนิษฐานที่ 3 เป็นจริง อย่างไรก็ตาม ในกรณีข้อสันนิษฐานนี้ไม่เป็นจริงเราก็ยังสามารถใช้การแทนด้วยเน็ตเวิร์คแบบกลุ่ม (Lumped Component network) เช่นเดียวกันได้

เนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การแก้มการของแม็กซ์เวลล์ และคำตอบจากสมการนี้ไม่สามารถนำมาใช้ในทางปฏิบัติได้ ซึ่งเกิดจากเงื่อนไขขอบเขตที่สลับซับซ้อน
2. การวิเคราะห์โดยการใช้เน็ตเวิร์คแบบกลุ่ม อาจไม่ให้คำตอบที่ถูกต้องที่เดียว แต่อย่างไรก็ตาม การใช้เทคนิคเช่นนี้ สามารถแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณรบกวนและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบได้อย่างชัดเจน

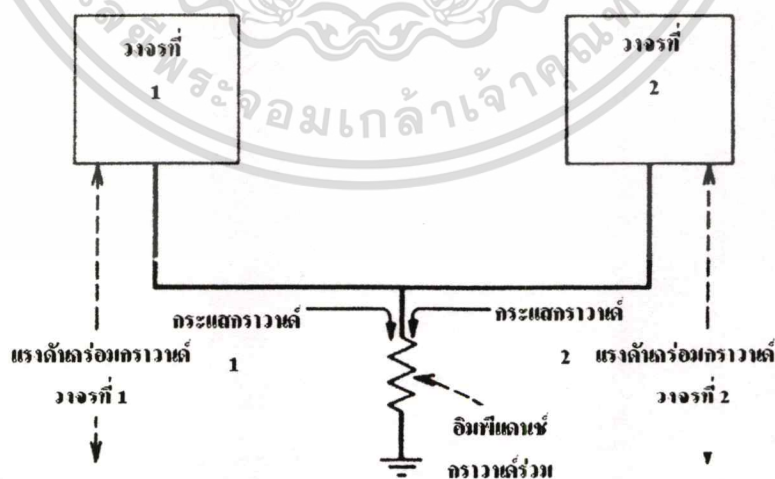
3.1.5 การคับปลิงของสัญญาณรบกวน

1. ผ่านทางสายไฟตัวนำ

การคับปลิงสัญญาณรบกวนจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง โดยมากมักเกิดจากการนำสัญญาณรบกวนนี้ผ่านตัวนำไฟฟ้า เช่น การนำสัญญาณรบกวนผ่านสายส่งจากแหล่งจ่ายไฟ(Power supply) ไปยังวงจรส่วนต่าง ๆ ในอุปกรณ์ ซึ่งเราสามารถป้องกันได้โดยพยายามกันไม่ให้ตัวนำนี้เก็บสัญญาณรบกวนก่อนที่ตัวนำดังกล่าวจะถูกส่งไปให้วงจรอื่น

2. ผ่านอิมพีแดนซ์ร่วม

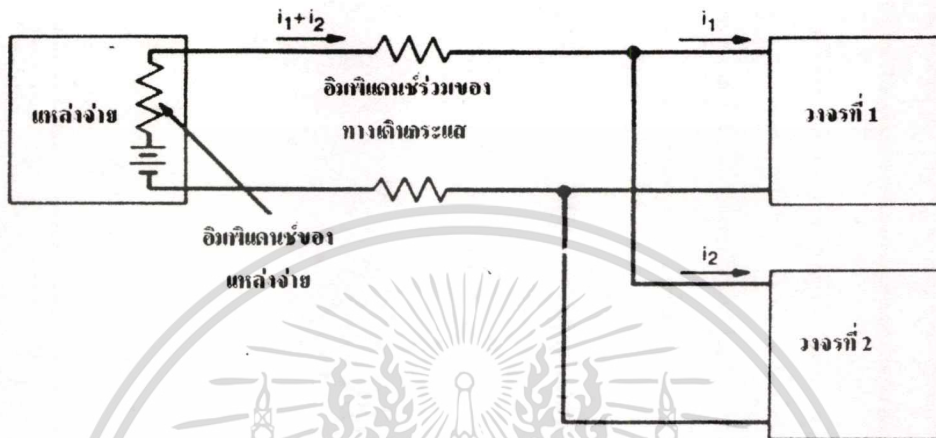
การคับปลิงสัญญาณรบกวนชนิดนี้ เกิดขึ้นเนื่องจากวงจรสองชนิดจ่ายกระแสผ่านอิมพีแดนซ์ร่วมตัวเดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์ร่วมตัวนั้น และเป็นผลให้แรงดันของแต่ละวงจรมีค่าไม่คงที่ และขึ้นกับอีกวงจรหนึ่ง เช่นในรูป 3.9 กระแสกราวด์ของวงจรที่ 1 และ 2 ซึ่งไหลผ่านอิมพีแดนซ์ร่วมตัวหนึ่ง จะส่งผลให้ศักดาที่กราวด์ของวงจรแต่ละวงจรแปรตามกระแสกราวด์ของวงจรอีกตัวหนึ่ง ซึ่งก็คือ เกิดการคับปลิง สัญญาณรบกวนจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่งผ่านอิมพีแดนซ์ร่วมที่กราวด์นั่นเอง



รูปที่ 3.9 การรบกวนผ่านอิมพีแดนซ์ร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.10 แสดงแหล่งจ่ายไฟซึ่งสามารถก่อให้เกิดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนเช่นกัน จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของกระแส i_2 จะมีผลกระทบต่อแรงดันที่จ่ายให้วงจรที่หนึ่ง ซึ่งเกิดจากการใช้อิมพีแดนซ์ร่วมกันที่สายส่งและอิมพีแดนซ์ภายในของแหล่งจ่ายไฟ ดังนั้น ในการแก้ปัญหาที่เราควรจะต้องเดินสายส่งที่ใช้ป้อนให้แก่วงจรที่สองให้สั้นที่สุด เพื่อลดขนาดของอิมพีแดนซ์ร่วม



รูปที่ 3.10 สัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟ

3. ผ่านสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

การคับปลิงสัญญาณรบกวนอาจเกิดขึ้นโดยผ่านสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้า ทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ของประจุภายในตัวนำนั้น ตัวนำจะแผ่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าออกมารบกวนวงจรอื่นเสมอ นอกจากสนามซึ่งสร้างขึ้นจากตัวนำภายในแล้ว สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากสถานีส่งคลื่นวิทยุกระจายเสียงหรือ เรดาร์ก็อาจสร้างสัญญาณรบกวนต่อวงจรได้ ในบทความต่อไป เราจะศึกษาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนในรูปของการแผ่รังสี โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. สนามชนิดใกล้ (Near field) เมื่อตัวรับอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน ซึ่งในกรณีนี้ เราจะต้องพิจารณาสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กแยกที่ละชนิด
2. สนามชนิดไกล (Far field) เมื่อตัวรับอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนมากเราจะพิจารณารบกวนรวมในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

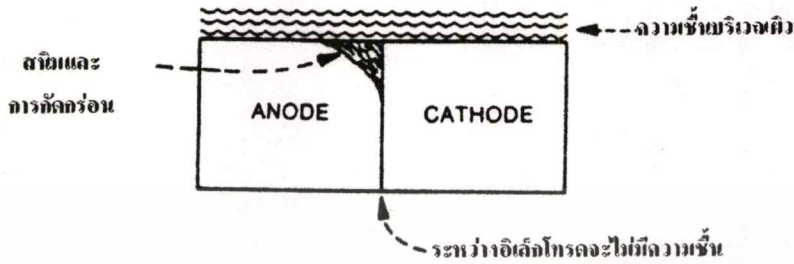
3.1.6 แหล่งกำเนิดสัญญาณชนิดอื่น

ถ้าหากนำโลหะต่างกันสองชนิดมาใช้เป็นตัวนำในวงจรแรงดันต่ำ โดยให้สัญญาณเดินทางผ่านตัวนำทั้งสองชนิด ดังรูป 1-11 ลักษณะการสร้างสัญญาณรบกวนเช่นนี้จะเหมือนเซลล์เปียก (Wet cell) ซึ่งประกอบด้วย

1. อาโนด (อยู่ในอันดับต้น ๆ ของตาราง 3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อิเล็กโตรไลต์ (โดยมากจะอยู่ในรูปของความชื้น)
3. คาโธด (อันดับต่าง ๆ ในตาราง 3.1)
4. การนำไฟฟ้าระหว่างอโนดและคาโธด (มักเกิดจากทางเดินที่รั่วในตัวนำ)



รูปที่ 3.11 ปฏิกริยากัลวานิก

เมื่อเกิดปฏิกริยากัลวานิกขึ้น สัญญาณรบกวนความต่างศักย์ระหว่างโลหะทั้งสอง ก็จะตกคร่อมระหว่างตัวนำทั้งสองนั้น ถ้าอันดับของโลหะสองชนิดดังกล่าวในตาราง 3.1 อยู่ห่างกันมากเท่าใด ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นก็จะมีค่าสูงขึ้นตาม นอกจากนี้จะสร้างสัญญาณรบกวนในวงจรแล้วปฏิกริยาเวอนิกยังจะทำให้ชิ้นอโนดสึกกร่อนอีกด้วย ตัวอย่างเช่นการใช้อลูมิเนียมร่วมกับทองแดง อลูมิเนียมจะถูกกัดกร่อนเรื่อย ๆ แต่ถ้าหากเราเคลือบทองแดงด้วยตะกั่วปิดกรี (Lead tin solder) อัตราการกัดกร่อนจะช้าลง เนื่องจากอันดับของตะกั่วปิดกรีและอลูมิเนียมในตาราง 3.1 อยู่ใกล้กันมากขึ้นเทียบกับทองแดงและอลูมิเนียม

ตาราง 3.1 ตารางการทดสอบความกัดกร่อนหรือเป็นสนิม

ANODIC END (Most susceptible to corrosion)			
Group I	1. Magnesium		13. Nickel (active)
	2. Zinc		14. Brass
	3. Galvanized steel		15. Copper
Group II	4. Aluminum 2S	Group IV	16. Bronze
	5. Cadmium		17. Copper-nickel alloy
	6. Aluminum 17ST		18. Monel
	7. Steel		19. Silver solder
	8. Iron		20. Nickel (passive)*
	9. Stainless steel (active)		21. Stainless steel (passive)*
Group III	10. Lead-tin solder	Group V	22. Silver
	11. Lead		23. Graphite
	12. Tin		24. Gold
			25. Platinum
			CATHODIC END

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากปฏิกิริยาอเล็กโทรไลติกแล้ว โลหะอาจถูกกัดกร่อนจากปฏิกิริยาอเล็กโทรไลติก (Electrolytic action) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้า ไหลผ่านโลหะทั้งสองโดยมีอเล็กโทรไลต์ซึ่งมักจะอยู่ในรูปของความชื้นซึ่งเป็นกรดเล็กน้อยระหว่างโลหะนี้ ปฏิกิริยานี้ไม่ขึ้นกับอันดับในตาราง 3.1 แต่จะขึ้นกับขนาดของกระแสไฟตรง และความนำไฟฟ้าของสารอเล็กโทรไลต์

นอกจากนี้แล้ว สัญญาณรบกวนอาจถูกสร้างขึ้นจากปรากฏการณ์อีกสองชนิดคือ

1. ผลจาก Triboelectric effect ซึ่งเกิดจากการสร้างประจุภายในฉนวนที่อยู่ภายในสายส่ง ในขณะที่ฉนวนนั้นไม่สัมผัสกับตัวนำ โดยมากมักเกิดขึ้นเมื่อสายเคเบิลถูกบิดงอ
2. การเคลื่อนไหวของตัวนำ เมื่อตัวนำถูกเคลื่อนไปมาในสนามแม่เหล็กตัวนำนั้นอาจเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันรบกวนขึ้นภายใน ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้โดยป้องกันไม่ให้สายไฟเคลื่อนที่ได้ในอุปกรณ์ดังนี้

3.1.7 วิธีลดสัญญาณรบกวน

วิธีหลักในการลดสัญญาณรบกวนที่สามารถพบเห็นบ่อย ๆ มีดังนี้

1. การชิลด์ตัวนำ
2. การต่ออุปกรณ์ลงกราวด์
3. การบาลานซ์ (balancing)
4. การฟิลเตอร์ (filtering)
5. การแยกวงจร (isolation)
6. separation and orientation
7. การควบคุมระดับของอิมพีแดนซ์ในวงจร
8. การออกแบบสายเคเบิล
9. เทคนิคการตัดทอน (cancellation)

จากที่กล่าวมานี้เราจะต้องยอมรับว่า สัญญาณรบกวนนั้นไม่สามารถถูกกำจัดออกไปจดหมดสิ้นแต่อาจถูกลดลง ให้มีค่าต่ำพอที่วงจรจะยอมรับได้ และในบางครั้งก็จำเป็นต้องใช้เทคนิคมากกว่าหนึ่งวิธีขึ้นไป เพื่อลดสัญญาณรบกวนให้มีขนาดเล็กที่สุด

3.2 เทคนิคในการลดสัญญาณรบกวน

3.2.1 การบาลานซ์ (Balancing)

วงจรที่สมดุล (Balancing circuit) คือวงจรซึ่งประกอบด้วยตัวนำ 2 เส้นที่มีอิมพีแดนซ์เทียบเท่ากับกราวด์ (หรือเปรียบกับตัวนำตัวอื่นๆ) เท่ากัน จุดประสงค์ในการบาลานซ์ เพื่อที่จะทำให้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นบนตัวนำทั้งสองมีขนาดเท่ากัน ซึ่งสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ในรูปของคอมมอน โหมดและจะหักล้างกันพอดีที่เอาท์พุท

การใช้วงจรขยายแบบคิฟเฟอร์เรนเซียลหรือคิฟแอมป์ เป็นวิธีหนึ่งในการนำหลักของเรื่อง การบาลานซ์ไปใช้งาน โหลดของคิฟแอมป์นั้นจะมีลักษณะสมดุอยู่แล้ว ในขณะที่ภาค แหล่งกำเนิดสัญญาณเป็นส่วนที่ไม่สมดุลซึ่งเกิดขึ้นจากความต้านทางภายในของแหล่งกำเนิด R_s ดังรูป 3.12 ดังนั้นหากเราสามารถทำให้ภาคแหล่งกำเนิดสมดุลเทียบกับกราวด์ได้ วงจรทั้งระบบก็ จะเป็นวงจรที่สมดุล ดังรูป 3.12

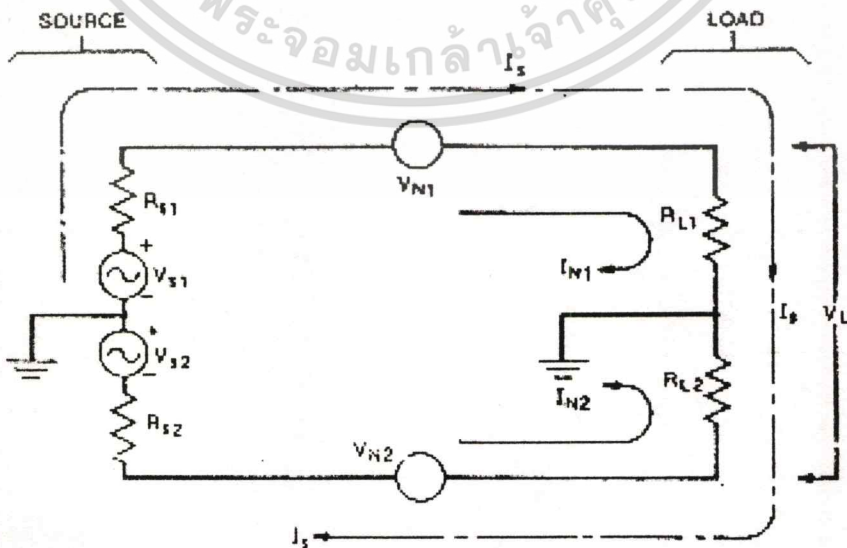
V_{n1} และ V_{n2} คือ แรงดันรบกวนที่เกิดขึ้นในตัวนำ ส่วนแรงดันรวมของ V_{s1} V_{s2} จะ ก่อให้เกิดกระแสสัญญาณ I_s ขึ้น ดังนั้น V_L ที่ปรากฏที่โหลด คือ

$$V_L = I_{N1}R_{L1} - I_{N2}R_{L2} + I_s(R_{L1} + R_{L2}) \tag{3.1}$$

สองเทอมแรกในสมการ 3.2.1 คือแรงดันจากสัญญาณรบกวน และเทอมสุดท้ายคือแรงดัน จากสัญญาณที่เราต้องการ ดังนั้นหาก $I_{N1} = I_{N2}$ และ $R_{L1} = R_{L2}$ แล้วจะได้

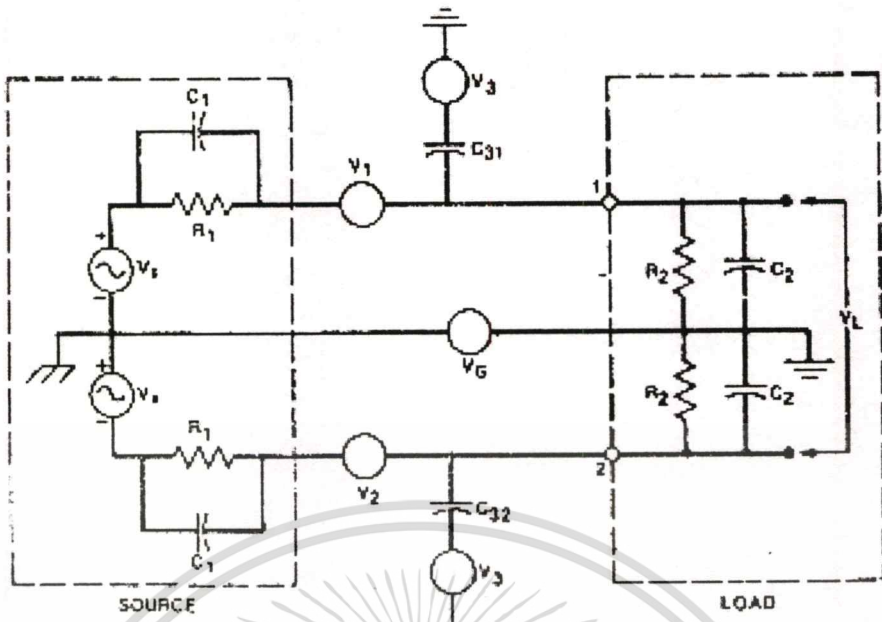
$$V_L = I_s(R_{L1} + R_{L2}) \tag{3.2}$$

ในวงจรสมดุลรูป 3.13 นั้น V_1 และ V_2 คือ แรงดันรบกวนซึ่งเกิดจากการดับปลิงผ่าน สนามแม่เหล็ก V_3 คือ แรงดันรบกวนจากการดับปลิงของสนามไฟฟ้าผ่านตัวเก็บประจุ C_{31} และ C_{32} V_G คือ ความต่างศักย์ระหว่างกราวด์ แรงดันของสัญญาณรบกวนที่ขั้ว 1 และ 2 ซึ่งเกิดจาก V_3 หาได้จาก รูป 3.14 โดยการอิมพีแดนซ์ Z_1 และ Z_2 คืออิมพีแดนซ์รวมระหว่างตัวนำในวงจรที่ 1 และ 2 เทียบกับกราวด์ ตามลำดับ



รูป 3.12 แหล่งกำเนิดสมดุลเทียบกับกราวด์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

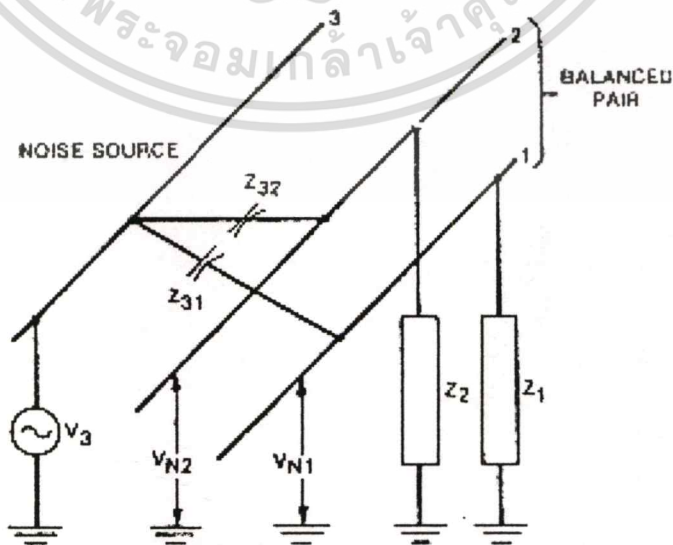


รูป 3.13 อิมพีแดนซ์รวมระหว่างตัวนำในวงจรที่ 1 และ 2 เทียบกับกราวด์

เราสามารถคำนวณแรงดันรบกวนซึ่งเกิดจาก V_3 ได้โดยที่

$$V_{N1} = \left(\frac{Z_1}{Z_1 + Z_{31}} \right) V_3 \tag{3.3}$$

$$V_{N2} = \left(\frac{Z_2}{Z_2 + Z_{32}} \right) V_3 \tag{3.4}$$

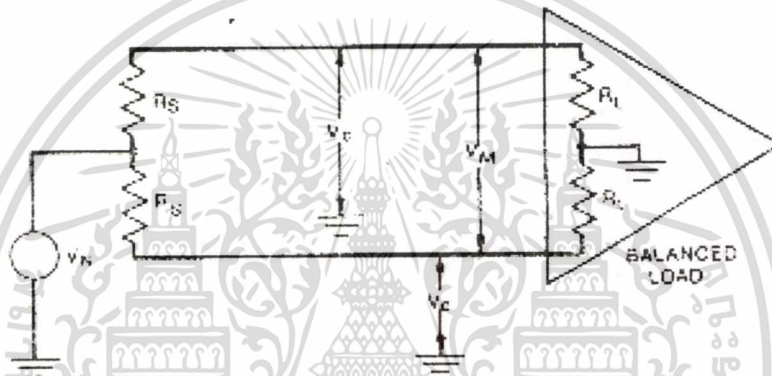


รูปที่ 3.14 บาลานซ์แหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากวงจรเป็นชนิดสมมูลย์อิมพีแดนซ์ Z_1 จะเท่ากับ Z_2 และถ้าตัวนำ 1 และ 2 เป็นชนิดคู่ตัวนำที่พันกับอิมพีแดนซ์ Z_{31} จะมีค่าใกล้เคียงกับ Z_{32} ซึ่งในกรณีเช่นนี้ V_{N1} ประมาณเท่ากับ V_{N2} และสัญญาณรบกวนจะหักล้างกันที่โหลด และเนื่องจากคู่ตัวนำชนิดพันกันสามารถลดสัญญาณรบกวนซึ่งเกิดจากการคับปลิงแบบอิมดักทีฟได้ค่อนข้างดี ในทางปฏิบัติจึงนิยมนำคู่ตัวนำพันกันมาใช้ในวงจรสมมูลย์มาก ส่วนสายโคแอกเซียลนั้นมีลักษณะเป็นวงจรที่ไม่สมมูลย์อยู่แล้ว จึงไม่นิยมนำมาใช้ในวงจรสมมูลย์ แต่ถ้านำสายโคแอกเซียลสองเส้นมาใช้ สายโคแอกเซียลก็สามารถทำงานในวงจรสมมูลย์ได้

ส่วน V_c ในรูป 3.13 นั้น จะก่อให้เกิดแรงดันที่เท่ากันคร่อมขั้ว 1 และ 2 เทียบกับกราวนด์ ดังนั้น แรงดันลัพท์ที่โหลดเนื่องจาก V_c จึงมีค่าเป็นศูนย์



รูปที่ 3.15 การลบล้างสัญญาณที่โหลด

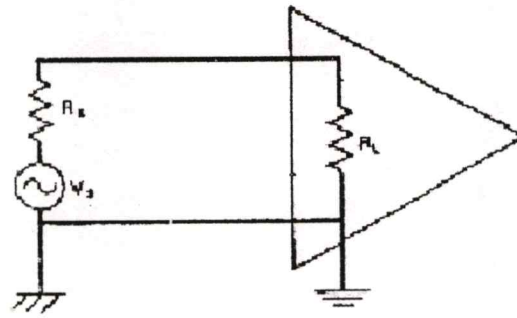
วิธีการของการบาลานซ์ หรืออัตราการจัดสัญญาณชนิดคอมมอนโหมด (Common mode Rejection Ratio, CMRR) คือ อัตราส่วนระหว่างแรงดันรบกวนชนิดคอมมอนโหมดต่อแรงดันชนิดดิฟเฟอเรนเชียลโหมด ซึ่งโดยมากมักเขียนอยู่ในหน่วยเดซิเบล ตามรูป 3.15 CMRR ของระบบนี้ (ในหน่วยเดซิเบล) คือ

$$CMRR = 20 \log \left(\frac{V_N}{V_M} \right) dB \quad (3.5)$$

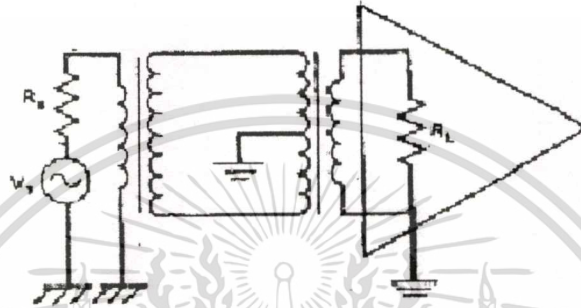
$$CMRR = 20 \log \left(\frac{V_C}{V_M} \right) dB \quad (3.6)$$

รูป 3.16 แสดงการบาลานซ์ส่วนของวงจรที่มีสายส่งยาว ๆ โดยการใช่มือแปลง 2 ตัว ซึ่งสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนที่เหนี่ยวนำขึ้นที่สายส่งได้ดี อีกทั้งยังสามารถทำลายกราวนด์ลูปได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 3.16 (a) ระบบที่ยังมิได้มีการบาลานซ์ใดๆ (b) การบาลานซ์สายส่ง

3.2.2 วงจรฟิลเตอร์ป้องกันการคับปลิ่ง (Decoupling filters)

เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟตรงไม่เป็นวงจรในอุดมคติ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องติดตั้งคัปปลิ่ง (decoupling) วงจรเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟ

รูป 3.17 แสดงวงจรคัปปลิ่งแบบ R-C และแบบ L-C ซึ่งสามารถป้องกันการรบกวนระหว่างวงจรส่วนต่าง ๆ และยังสามารถป้องกันไม่ให้สัญญาณรบกวนผ่านเข้าไปยังวงจรส่วนนั้นด้วย รูป 3.17A ทำให้แรงดันที่ป้อนให้แก่โหลดมีค่าลดลง ซึ่งเป็นข้อเสียของวงจรฟิลเตอร์ชนิดนี้

ในวงจรฟิลเตอร์แบบ L-C ในรูป 3.17B สามารถทำงานได้ดีกว่าชนิด B-C โดยเฉพาะที่ความถี่สูง แต่ข้อเสียคือวงจร L-C นี้มีความถี่รีโซแนนซ์ f_r เท่ากับ

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.7)$$

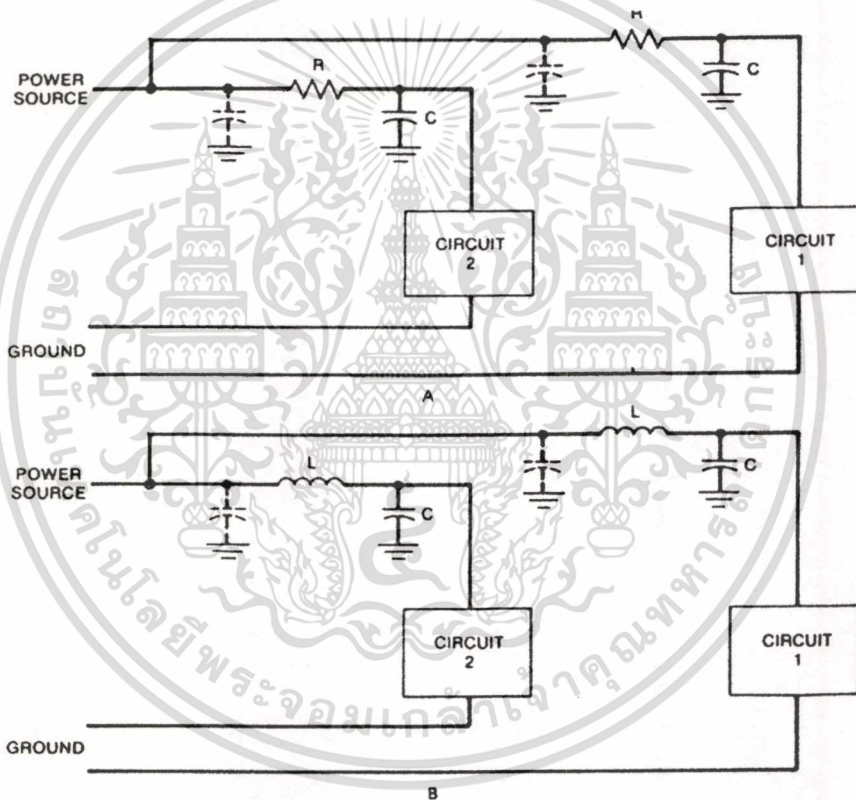
ซึ่งจะทำให้สัญญาณรบกวนที่ผ่านฟิลเตอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นในการนำวงจร L-C ไป

ใช้งานความถี่ของวงจรควรมีค่าสูงกว่าความถี่รีโซแนนซ์ของวงจรฟิลเตอร์ที่นำมาต่อ นอกจากนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปไซบระเเยชนดานการคําไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราขยายของวงจร L-C ฟิเตอร์ที่ความถี่รีโซแนนซ์ จะแปรผกผันกับ แคมป์อิงแฟคเตอร์ (damping factor)

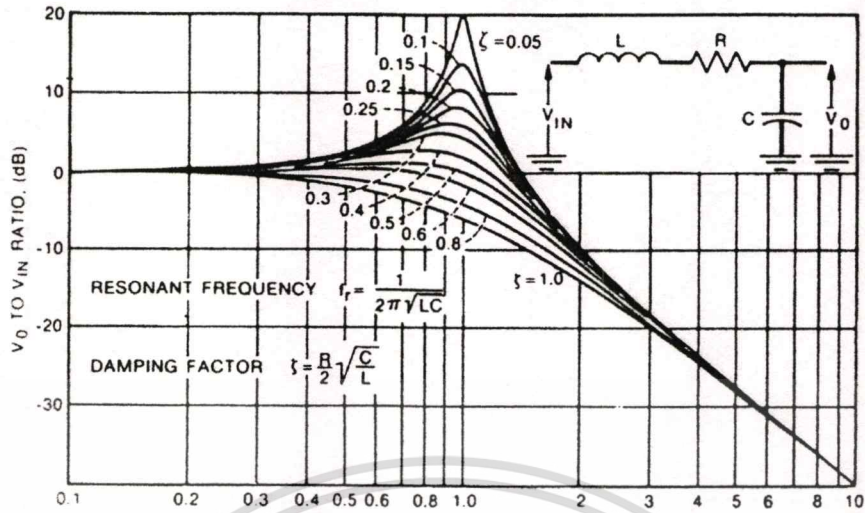
$$\zeta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (3.8)$$

โดยที่ R คือความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ รูป 3.18 แสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรฟิเตอร์ชนิด L-C เมื่อเข้าใกล้ความถี่รีโซแนนซ์ ควรมีค่าสูงกว่า 0.5 ซึ่งทำได้โดยต่อความต้านทานอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ ส่วนตัวเก็บประจุซึ่งแสดงโดยเส้นประในรูป 3.17 จะกรองสัญญาณรบกวนจากส่วนต่าง ๆ ที่ถูกป้อนกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟของวงจร ซึ่งทำให้กลายเป็นวงจรแบบ π



รูปที่ 3.17 (A) การลดสัญญาณรบกวนโดยใช้ R-C ฟิเตอร์ (B) การลดสัญญาณรบกวนโดยใช้ L-C ฟิเตอร์

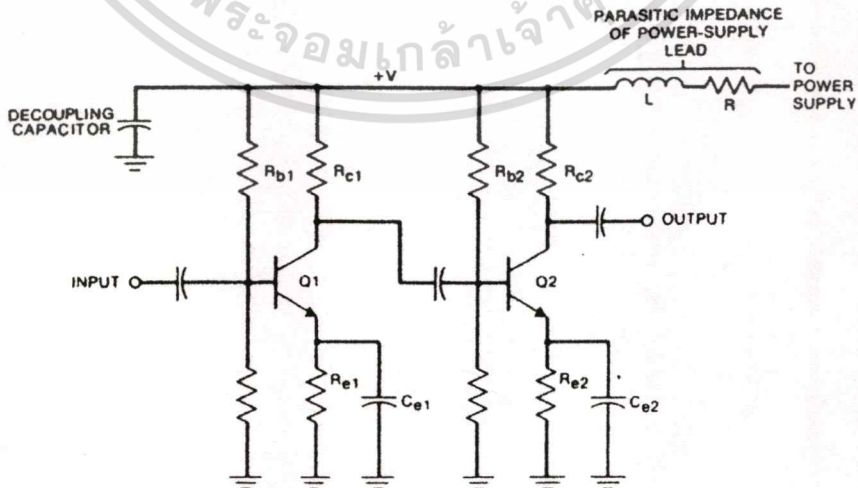
ในแง่ของการลดสัญญาณรบกวน วงจร R-C กลับให้ผลดีกว่าแบบ L-C เนื่องจากแรงดันรบกวนที่เกิดขึ้นในวงจร R-C นั้นจะปลดปล่อยพลังงานของสัญญาณรบกวนที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ในรูปของความร้อนแต่ในวงจร L-C นั้น แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะสามารถแผ่สนามรบกวนไปยังวงจรอื่นได้



รูป 3.18 ความถี่เรโซแนนซ์ของ L-C ฟิวเตอร์

3.2.3 การดีคัปปลิงวงจรขยาย (Amplifier decoupling)

การพิจารณาอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟ เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับวงจรขยายทุกชนิด แม้ว่าแหล่งจ่ายไฟนั้นถูกต่อด้วยวงจรขยายเพียงภาคเดียวก็ตาม รูป 3.19 แสดงวงจรขยาย 2 ภาค (two state) ซึ่งให้ทรานซิสเตอร์ในการวิเคราะห์ห้วงจรนี้ทาง AC เรามักสมมติให้อิมพีแดนซ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับกราวด์เป็นศูนย์ แต่ถ้าไม่มีตัวเก็บประจุต่อดีคัปปลิงอยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับกราวด์ เราก็ไม่สามารถยืนยันได้ว่าอิมพีแดนซ์จะเป็นศูนย์จริง (เนื่องจากมีรีซิสแตนซ์และอินดักแตนซ์ปรากฏอยู่ในสายส่ง) ตัวเก็บประจุที่วางนี้จะทำหน้าที่เหมือนเป็นตัวลัดวงจรในช่วงความถี่ของสัญญาณที่เราต้องการขยาย ถ้าไม่มีก็ดวงจรแหล่งจ่ายไฟ (ทาง AC) ก็จะมีแรงดันตกคร่อมตัวนำสายส่ง แรงดันนี้จะป้อนกลับเข้าสู่อินพุทของวงจรขยายผ่าน R_b และอาจทำให้เกิดการออสซิลเลทได้

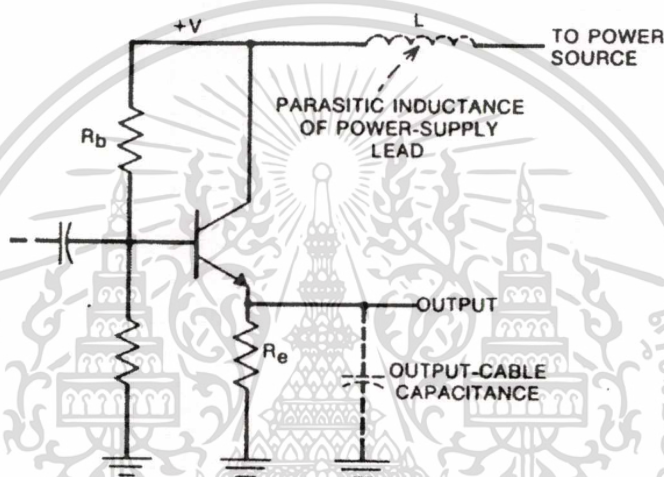


รูปที่ 3.19 วงจรขยาย 2 ภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรตามอิมิตเตอร์ (Emitter follower) ซึ่งใช้ขับโหลดแบบคาปาซิทีฟ เช่น สายส่ง (Transmission line) จะออสซิลเลทที่ความถี่สูงได้ง่ายหากการดีคัมปลิงที่แหล่งจ่ายไฟไม่ดีพอ ดังแสดงในรูปที่ 3.20 อิมิตเตอร์ที่คอลเลกเตอร์ Z_C ของวงจรมีประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำแฝง (Parasitic inductance) ในสายส่งซึ่งมาจากแหล่งจ่ายไฟ Z_C นี้จะมีค่ามากขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น ส่วนอิมิตเตอร์ที่อิมิตเตอร์ Z_E จะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้นเนื่องจากผลของการคาปาซิแตนซ์ภายในสายส่ง ดังนั้นที่ความถี่สูงอัตราขยายแรงดันจะมีค่าสูง และมีขนาดเท่ากับ

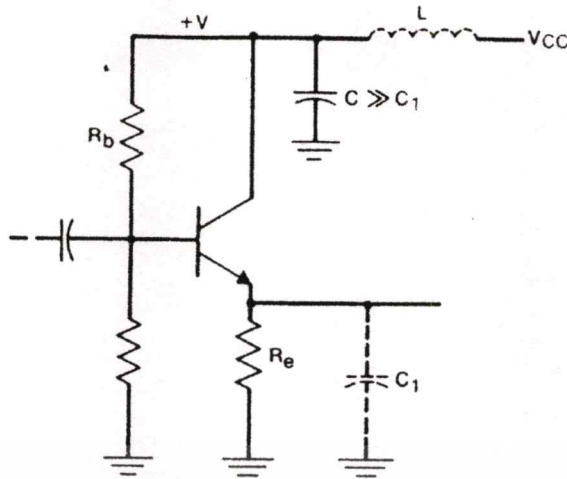
$$\text{อัตราขยายแรงดัน} = \frac{Z_C}{Z_E}$$



รูปที่ 3.20 วงจรตามอิมิตเตอร์

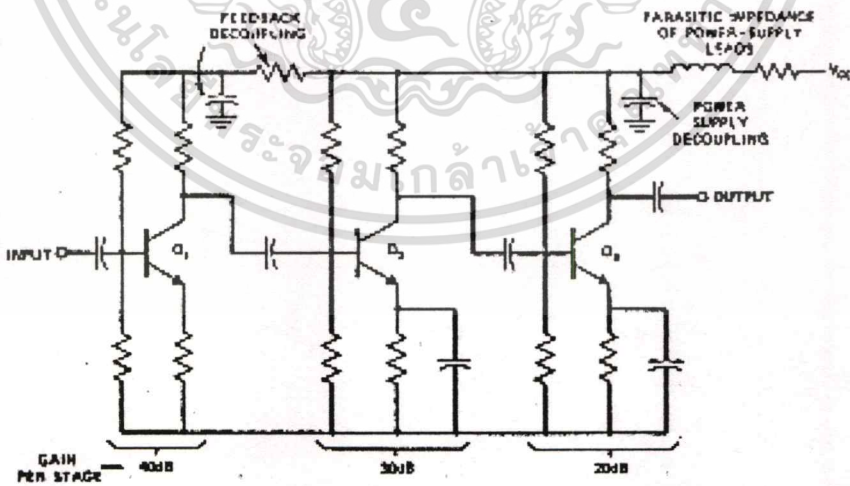
สัญญาณนี้จะป้อนกลับเข้าสู่อินพุทของทรานซิสเตอร์ผ่าน R_b ซึ่งอาจทำให้เกิดการออสซิลเลทได้และถ้าภาคขยายก่อนหน้านี้ (preceding state) ถูกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟชุดเดียวกัน การป้อนกลับจะถูกป้อนเข้าสู่ภาคขยายดังกล่าว ซึ่งจะทำให้เกิดการออสซิลเลทมากขึ้น การออสซิลเลทเป็นฟังก์ชันของอัตราขยายที่ความถี่สูง เฟสชิฟ (phase shift) และลักษณะของเอาต์พุตว่ามีสายส่งต่ออยู่ด้วยหรือไม่ (เพราะสายส่งนี้เป็นเสมือน โหลดซึ่งมีผลต่อตัวเก็บประจุที่อิมิตเตอร์)

วิธีกำจัดผลจากพาราซิติก อินคักแตนซ์ ทำได้โดยต่อตัวเก็บประจุเข้าระหว่างสายส่งตัวนำจากแหล่งจ่ายไฟเพื่อให้เป็นเสมือนกราวนด์ (ทาง AC) ที่ความถี่สูง ดังแสดงในรูป 3.21 ค่าของตัวเก็บประจุ C ที่ต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับกราวนด์ควรมีค่ามากกว่าตัวเก็บประจุที่อิมิตเตอร์ C_1 เพื่อให้แน่ใจว่าที่ความถี่สูง อัตราขยายจะมีค่าน้อยกว่า 1



รูป 3.21 ตัวเหนี่ยวนำแฝงในวงจรตามอิมิตเตอร์

การต่อตัวเก็บประจุที่แหล่งจ่ายไฟ ไม่ได้หมายความว่าแหล่งจ่ายไฟกับกราวด์จะมีอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์ ดังนั้นจึงมีสัญญาณบางส่วนป้อนกลับเข้าทางอินพุตผ่านตัวนำของแหล่งจ่ายไฟได้ ในวงจรขยายที่มีอัตราขยายน้อยกว่า 60 เดซิเบล การป้อนกลับนี้จะไม่สามารถส่งผลให้เกิดการออสซิลเลชันได้ แต่ในวงจรขยายที่มีอัตราขยายสูง การออสซิลเลชันอาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งสามารถกำจัดได้ด้วยการใช้วงจร R-C ฟิลเตอร์ที่แหล่งจ่ายไฟ ณ ภาควิทยภาพแรก ดังแสดงในรูป 3.22 แรงดันที่ลดลงเนื่องจากความต้านทานนั้นไม่สูงจะมีผลต่อวงจรมากนัก เพราะที่ภาควิทยภาพแรกของวงจรส่วนใหญ่มักจะใช้ในการขยายสัญญาณระดับต่ำเท่านั้น

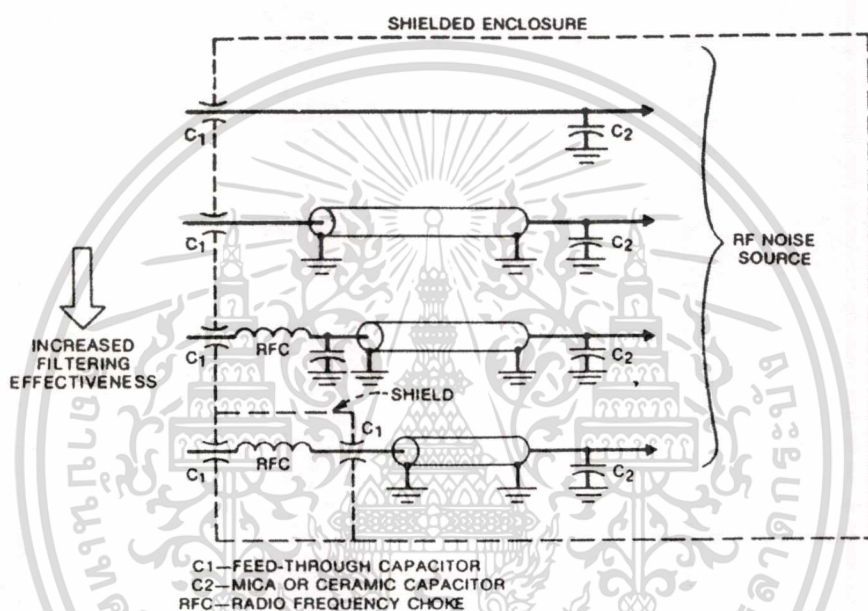


รูป 3.22 การใช้ R-C ฟิลเตอร์ในวงจรขยายที่ต่อเชื่อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การฟิลเตอร์วงจรความถี่สูง

โดยทั่วไป ชิลด์ซึ่งใช้ป้องกันไม่ให้วงจรส่งสัญญาณรบกวนอยู่ในรูปของกล่องโลหะซึ่งล้อมรอบวงจรนั้นไว้ ในการทำให้กล่องชิลด์นี้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพไฟต่าง ๆ ที่ผ่านเข้าหรือออกจากชิลด์โลหะควรผ่านวงจรฟิลเตอร์เพื่อป้องกันการนำสัญญาณเข้าหรือออกจากกล่องชิลด์ที่ช่วยความถี่ของเสียงเราอาจใช้วงจรฟิลเตอร์ธรรมดา แต่ที่ความถี่สูงขึ้น อาจจำเป็นต้องใช้ตัวเก็บประจุชนิดฟีดทรู (Feed Through Capacitor) ตรงจุดที่ตัวนำจะต้องผ่านทะลุชิลด์ และควรต่อตัวเก็บประจุชนิดไมก้า (Mica) หรือ เซรามิก (Ceramic) ระหว่างปลายตัวนำของวงจรและกราวนด์



รูป 3.23 การชิลด์แบบต่างๆ

รูป 3.23 แสดงวิธีฟิลเตอร์ดังกล่าวและแสดงการอุปกรณ์อื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น ในวงจรฟิลเตอร์ C-L-C pi-filter หรือ rf choke) ดังวงจรที่ในรูป 3.23 จะช่วยให้การป้องกันสัญญาณรบกวนดีขึ้น

3.2.5 แบบคัตวีก์ของระบบและการมอดดูเลท

วิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบง่าย ๆ ซึ่งมักถูกมองข้ามคือ การจำกัดแบนด์วิดท์ในการทำงานของวงจรให้มีช่วงพอดีกับที่จำเป็นเท่านั้น วิธีนี้สามารถกันสัญญาณรบกวนซึ่งมักจะมีควมถี่ต่างกับสัญญาณที่เราต้องการไม่ให้ผ่านวงจรฟิลเตอร์แบบเป็นช่วง (Band pass filter) ไปได้

ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือการมอดดูเลท (Modulation) สัญญาณที่ต้องการส่ง เช่นการส่งคลื่นแบบ AM หรือ FM เป็นต้น สำหรับคลื่น FM เนื่องจากคลื่นพาหะที่ใช้มีแอมพลิจูดคงที่ ขนาดของสัญญาณรบกวนจะไม่มีผลต่อคลื่นที่ถูกมอดดูเลทแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การต่อกราวนด์ Grounding

นอกจากการชิลด์แล้ว วิธีหลักอีกอย่างซึ่งมีประโยชน์ต่อการลดสัญญาณรบกวนคือการต่อกราวนด์ให้แก่ระบบ โดยทั่วไปเมื่อนำวิธีทั้งสองนี้มาใช้ร่วมกันแล้ว สัญญาณรบกวนจะถูกกำจัดออกไปได้มาก ดังนั้นในบทนี้เราจะแสดงการต่อกราวนด์ให้แก่ระบบเพื่อขจัดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนให้มากที่สุด

ในการต่อกราวนด์นั้น มีหลักอยู่สองประการ คือ

1. ลดแรงดันรบกวนอันเกิดจากการที่กระแสของวงจรตั้งแต่สองวงจรขึ้นไปที่สามารถไหลผ่านอิมพีแดนซ์ของกราวนด์ตัวเดียวกันให้เหลือน้อยที่สุด
2. ป้องกันมิให้เกิดกราวนด์ลูป ซึ่งสามารถเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กได้ และจะต้องลดความต่างศักย์ระหว่างกราวนด์สองจุดให้มีค่าน้อยที่สุด

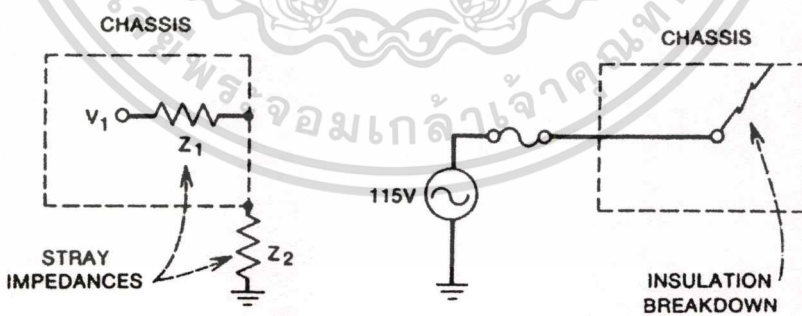
ส่วนเหตุผลในการต่อกราวนด์มีอยู่สองประการคือ เพื่อความปลอดภัย และเพื่อสร้างแรงดันอ้างอิงค่าหนึ่งให้กับวงจรทั้งระบบ

3.3.1 เซฟตี้กราวนด์ Safety ground

รูป 3.24 แสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งมี Z_1 เป็นสเตรย์อิมพีแดนซ์ ระหว่างจุดที่มีศักดา V_1 และตัวถัง Z_2 เป็นสเตรย์อิมพีแดนซ์ระหว่างตัวถังและกราวนด์ ศักดาที่ตัวถังนี้จะขึ้นกับค่าของ Z_1 และ Z_2

ซึ่ง

$$V_{Chassis} = \left(\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \right) V_1 \quad (3.9)$$

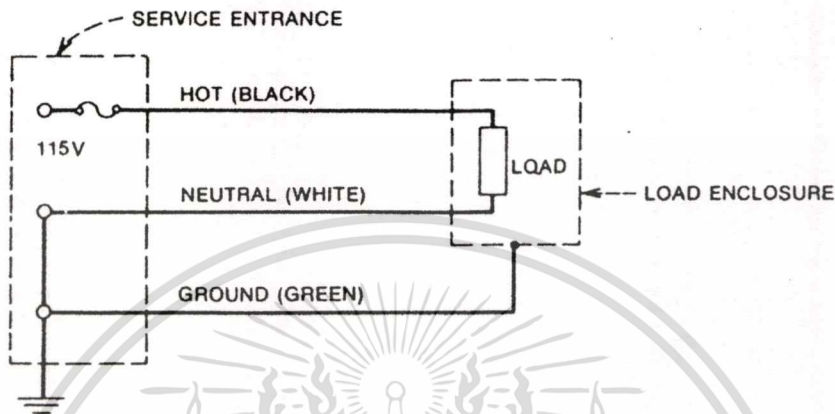


รูป 3.24 สเตรย์อิมพีแดนซ์

ดังนั้น ถ้าหากตัวถังของอุปกรณ์ในรูปด้านซ้ายนี้ไม่มีการต่อกราวนด์แล้ว ศักดาไฟฟ้าในสมการ 3.9 ก็จะสามารถก่อให้เกิดอันตรายเมื่อมีการสัมผัสตัวถังของอุปกรณ์ตัวนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.24 ด้านขวามือ แสดงการรั่วไหลของแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟผ่านฉนวนไปสู่ตัวถังกรณีนี้ หากมีการสัมผัสตัวถัง แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ 115 โวลต์ นี้สามารถก่อให้เกิดอันตรายได้ แต่ถ้าหากมีการต่อตัวถังกับกราวด์ กระแสที่ไหลผ่านตัวถังจะมีขนาดสูงมากเนื่องจากเกิดการลัดวงจรขึ้น ทำให้ฟิวส์ขาดและแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟก็จะถูกตัดออกจากระบบทันที ดังแสดงในรูป 3.25

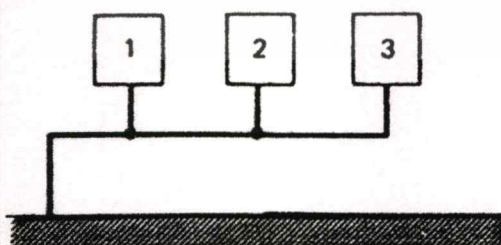


รูปที่ 3.25 ลักษณะการต่อเซฟตี้กราวด์

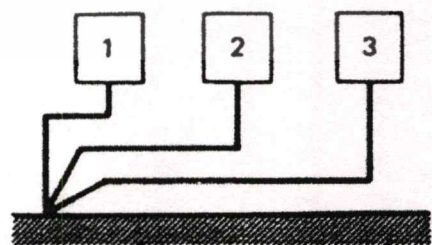
3.3.2 กราวด์สำหรับสัญญาณ (Signal ground)

กราวด์สำหรับสัญญาณสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดกราวด์จุดเดียว และชนิดที่มีกราวด์หลายจุด ดังแสดงในรูป 3.26 และ 3.27 ซึ่งชนิดที่มีกราวด์เพียงจุดเดียวยังสามารถแบ่งออกเป็นชนิดที่ต่ออนุกรม และชนิดที่ต่อแบบขนาน และสำหรับเทคนิคในการต่อกราวด์นั้นเรามีหลักการสำคัญอยู่สองประการ คือ

1. ตัวนำทุกตัวจะมีอิมพีแดนซ์ค่าหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยความต้านทาน และอินดักแตนซ์ของตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า
2. กราวด์ที่ที่ไม่ได้อยู่ที่จุดเดียวกันมักจะมีศักดาไม่เท่ากัน



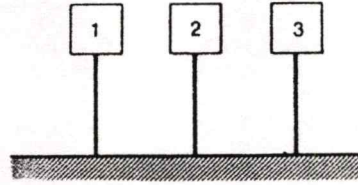
การต่อกราวด์จุดเดียวโดยวิธีแบบอนุกรม



การต่อกราวด์จุดเดียวโดยวิธีแบบขนาน

รูป 3.26 ลักษณะการต่อเชื่อมกราวด์แบบจุดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.27 ลักษณะการเชื่อมกราวด์แบบหลายจุด

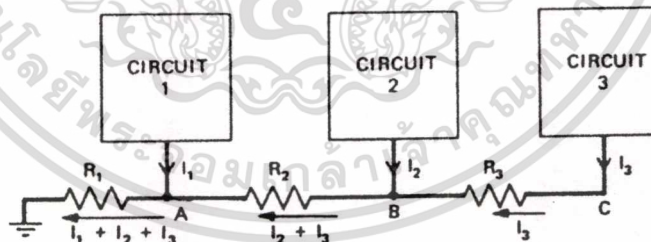
3.3.3 กราวด์ชนิดจุดเดียว (Single point ground system)

เราสามารถเรียกระบบกราวด์จุดเดียวซึ่งต่อแบบอนุกรมดังรูป 3.28 ว่าระบบกราวด์ร่วม (Common ground system) ซึ่งก็คือการนำกราวด์ของแต่ละวงจรมาต่อกันแบบอนุกรมนั่นเอง โดยที่ความต้านทาน R_1, R_2, R_3 คืออิมพีแดนซ์ของแต่ละวงจร ซึ่งมีกระแสกราวด์ I_1, I_2, I_3 ไหลผ่านตามลำดับ ดังนั้น ที่จุด A ศักไฟฟ้าจะไม่เป็นศูนย์แต่จะมีค่าเท่ากับ

$$V_A = (I_1 + I_2 + I_3) R_1 \quad (3.10)$$

และศักไฟฟ้าที่จุด C คือ

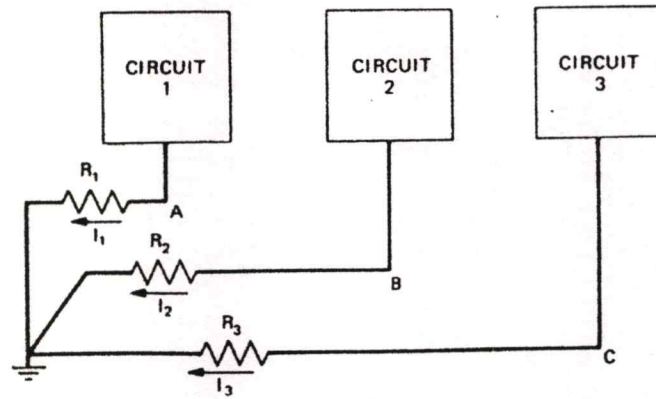
$$V_C = ((I_1 + I_2 + I_3) R_1 + (I_2 + I_3) R_2) + I_3 R_3 \quad (3.11)$$



รูป 3.28 ระบบกราวด์จุดเดียวซึ่งต่อแบบอนุกรม

ถ้าแม้ว่าการต่อในลักษณะนี้จะสร้างปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนมากที่สุดก็ตาม แต่ในแง่ของความสะดวกวงจรนี้จะง่ายต่อการประกอบที่สุด แต่ถ้าหากระบบที่กำลังออกแบบนั้นมีระดับแรงดันภายในแต่ละวงจรต่างกันมากแล้ว ไม่ควรนำกราวด์ชนิดนี้มาใช้ งาน เนื่องจากสัญญาณรบกวนของวงจรซึ่งมีระดับสัญญาณสูง จะรบกวนวงจรซึ่งมีระดับสัญญาณต่ำจนเกินจุดวิกฤติที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ และจากรูป 3.28 จะเห็นว่าศักไฟฟ้าที่ A มีค่าน้อยกว่าศักไฟฟ้าที่ C ดังนั้นวงจรที่เข้าใกล้จุดวิกฤติที่สุดควรอยู่ใกล้จุดกราวด์ที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.29 ระบบกราวด์จุดเดียวซึ่งต่อแบบขนาน

รูป 3.29 แสดงระบบกราวด์แยก (การต่อแบบขนาน) ซึ่งใช้งานได้ดีในช่วงความถี่ต่ำ เนื่องจากกระแสกราวด์จากวงจรหนึ่งจะไม่ไหลผ่านอิมพีแดนซ์ของวงจรอื่น ดังนั้นแรงดันที่กราวด์ของแต่ละวงจรจะเป็นอิสระจากกัน โดยที่จุด A และ C เป็นไปตามสมการ

$$V_A = I_1 R_1 \quad (3.12)$$

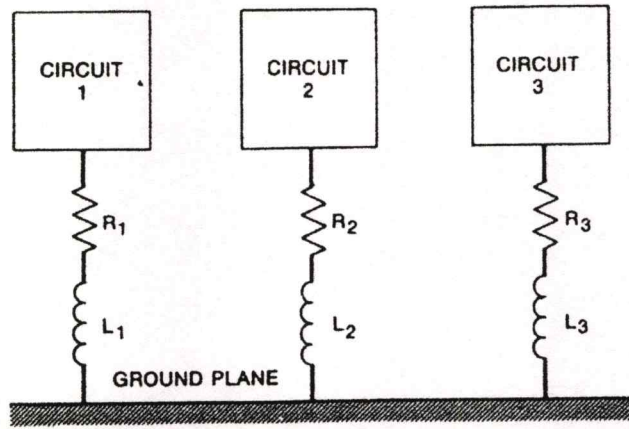
$$V_C = I_3 R_3 \quad (3.13)$$

ข้อเสียของระบบนี้อยู่ที่ความยุ่งยากในการต่อสายไฟ และนอกจากนี้ที่ความถี่สูงอินดักแตนซ์ของสายไฟตัวนำที่ใช้ต่อกับกราวด์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ ทำให้อิมพีแดนซ์มีค่าสูงตามด้วย และยังสามารถเพิ่มการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างสายกราวด์ด้วยกัน อีกทั้งยังสามารถเกิดการดับปลิงผ่านพาราซิติกคาปาซิแตนซ์ (Parasitic capacitance) ของกราวด์ได้โดยง่าย วิธีในการแก้ปัญหาหนึ่งสามารถกระทำได้โดยการใช้สายไฟสำหรับต่อกราวด์ที่สั้นกว่า $\lambda/20$ เพื่อป้องกันการแผ่สนามรบกวน และอิมพีแดนซ์ไว้ให้มีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้

3.3.4 ระบบกราวด์หลายจุด (Multipoint ground system)

ในช่วงความถี่สูง ระบบกราวด์หลายจุดจะให้กราวด์อิมพีแดนซ์ที่ต่ำมาก รูป 3.30 แสดงวงจรซึ่งต่อกราวด์เข้าที่ระนาบกราวด์ที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ (โดยมากจะต่อกับตัวถัง) การต่อสายไฟลงกราวด์ควรใช้ตัวนำที่มีขนาดสั้นที่สุดเพื่อลดอิมพีแดนซ์ของตัวนำนี้ แต่ที่ความถี่ต่ำ ระบบนี้จะไม่สามารถทำงานได้ดี เนื่องจากกระแสจากวงจรทั้งหมดจะไหลผ่านกราวด์อิมพีแดนซ์ตัวเดียวกัน (ผ่านระนาบกราวด์ ซึ่งมีอิมพีแดนซ์สูงขึ้นเมื่อความถี่ต่ำลง) ส่วนที่ความถี่สูง ผลจากสกินเอฟเฟกต์จะทำให้กระแสไหลที่ผิวของระนาบกราวด์เท่านั้น ดังนั้นความหนาของระบบกราวด์จึงไม่มีผลมากนักเมื่อใช้ที่ความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 ระบบกราวด์หลายจุด

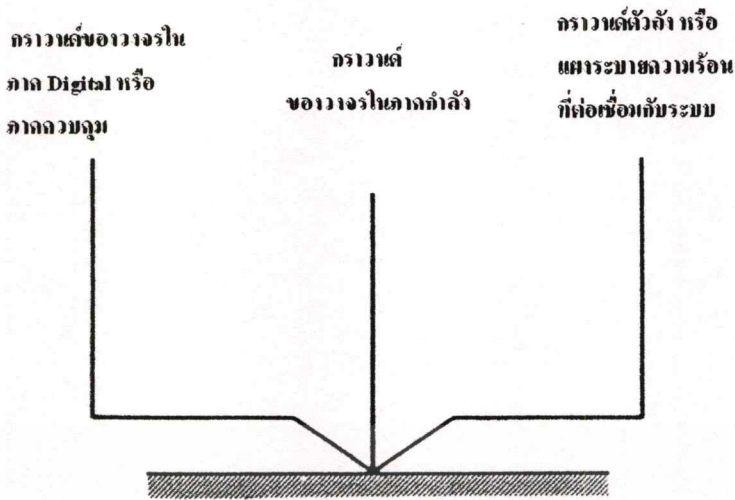
โดยทั่วไป เราสามารถสรุปการใช้ระบบการต่อกราวด์ได้ดังนี้

1. ที่ความถี่ต่ำกว่า 1 เมกกะเฮิร์ต ควรใช้ระบบกราวด์จุดเดียว
2. ที่ความถี่สูงกว่า 10 เมกกะเฮิร์ต ควรใช้ระบบกราวด์หลายจุด
3. ที่ความถี่ระหว่าง 1 ถึง 10 เมกกะเฮิร์ต
 - ก) หากความยาวของตัวนำที่ต่อกราวด์เส้นที่ยาวที่สุดมีค่าน้อยกว่า $\lambda/20$ ควรใช้ระบบกราวด์จุดเดียว
 - ข) หากความยาวของตัวนำที่ต่อกราวด์เส้นที่ยาวที่สุดมีค่ามากกว่า $\lambda/20$ ควรใช้ระบบกราวด์หลายจุด

3.3.5 การต่อกราวด์ในช่วงความถี่ต่ำในทางปฏิบัติ

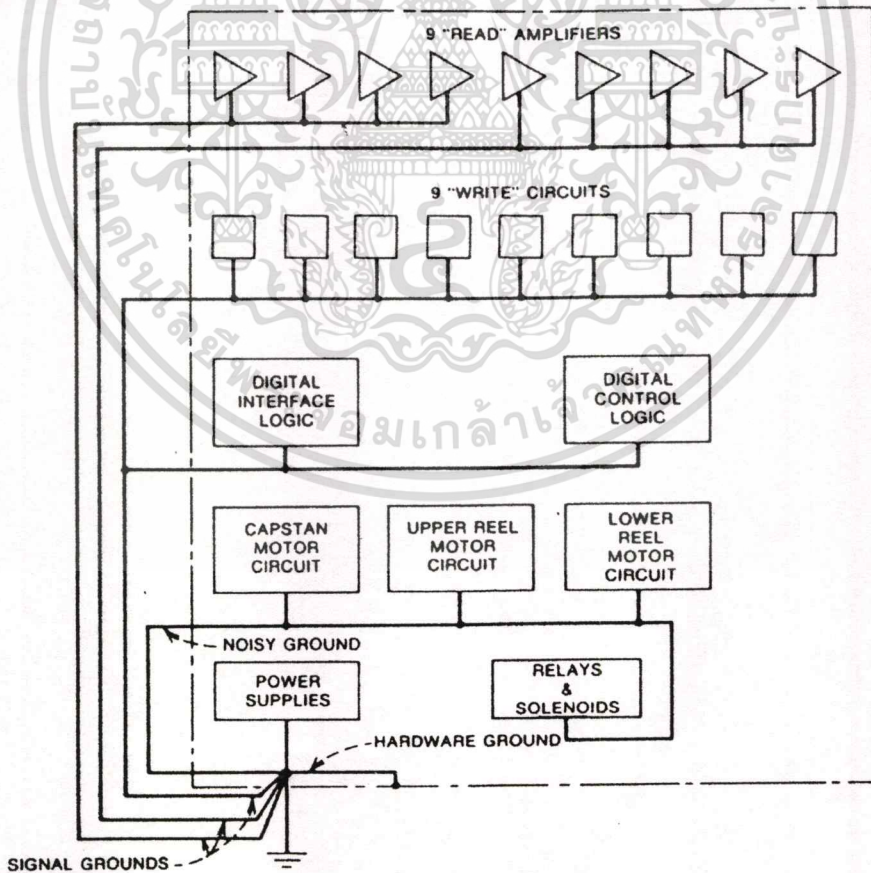
โดยทั่วไป เราจะระบบกราวด์จุดเดียวชนิดอนุกรมและชนิดขนานร่วมกัน เมื่อใช้งานความถี่ต่ำ โดยอาศัยข้อดีของแต่ละชนิดเพื่อให้ขนาดของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นต่ำพอที่จะยอมรับได้พร้อมทั้งให้การต่อกราวด์มีความยุ่งยากน้อยที่สุด โดยมีหลักการในการแยกวงจรดังนี้คือ พยายามแยกวงจรที่มีระดับสัญญาณต่ำและสูงออกจากกัน โดยใช้การต่อแบบขนาน เพื่อจะไม่เกิดการรบกวนจากวงจรที่มีระดับแรงดันสูง

โดยปกติ ระบบส่วนมากจะต้องมีการแยกกราวด์อย่างน้อย 3 ชนิด ดังแสดงในรูป 3.31 โดยแบ่งออกเป็นกราวด์สำหรับสัญญาณของวงจรแรงดันต่ำ กราวด์สำหรับวงจรที่มีสัญญาณรบกวน (noisy ground) และกราวด์สำหรับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (Hardware) เช่นตัวถังเป็นต้น และในระบบไฟ 3 เส้น ควรนำสายเขียว (Power ground) ควรต่อกับฮาร์ดแวร์กราวด์ และสายกราวด์ทั้งสามนี้ควรจะถูกนำมาต่อกันเพียงจุดเดียวเท่านั้น



รูป 3.31 การแยกกราวด์แต่ละชนิดและเชื่อมกันที่จุดเดียว

รูป 3.32 แสดงตัวอย่างในการต่อกราวด์ให้กับเครื่องอัดเทปชนิด 9 แทรก (9 track) ซึ่งมีกราวด์สำหรับสัญญาณ 3 เส้น กราวด์สำหรับสัญญาณรบกวน 1 เส้น และอีก 1 เส้น สำหรับฮาร์ดแวร์กราวด์



รูปที่ 3.32 การต่อกราวด์ให้กับเครื่องอัดเทป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่มีความตอบสนองไวมากเช่น แอมพลิไฟเออร์ตัวอ่านทั้ง 9 ตัวจะถูกต่อด้วยกราวนด์สำหรับสัญญาณ 2 เส้น และอีก 1 เส้น สำหรับแอมพลิไฟเออร์ตัวเขียน และ Digital Interface & Control Logic ซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันสูงกว่าแอมพลิไฟเออร์ตัวอ่านมาก โดยที่ทั้งสามเส้นนี้ต่างก็เป็นกราวนด์สำหรับสัญญาณ ส่วนรีเลย์ มอเตอร์กระแสตรง และวงจรควบคุมวงจรเหล่านี้จะถูกต่อกับกราวนด์สำหรับสัญญาณรบกวน ซึ่งควรจะจัดให้มอเตอร์อยู่ใกล้จุดกราวนด์หลักที่สุด เนื่องจากอุปกรณ์ชนิดนี้มีความไวต่อการตอบสนองสัญญาณรบกวน และควรต่อฮาร์ดแวร์กราวนด์เข้ากับตัวถัง ชุดท้ายกราวนด์ทั้ง 3 ชุดควรถูกนำมารวมกันที่จุด ๆ เดียวกันคือที่แหล่งจ่ายไฟ

3.3.6 กราวนด์อ้างอิงจุดเดียวสำหรับวงจร

เนื่องจากศักดาของกราวนด์ที่จุดต่างกัน 2 แห่งมักจะมีค่าไม่เท่ากัน ความต่างศักย์ของกราวนด์ทั้งสองนี้จะกลายเป็นสัญญาณรบกวนต่อระบบ ดังแสดงในรูป 3.33 ซึ่งแหล่งกำเนิดสัญญาณถูกกราวนด์ที่จุด A และ โหลดซึ่งในที่นี้คือแอมพลิไฟเออร์ถูกกราวนด์ที่จุด B โดยมี V_G เป็นความต่างศักย์ระหว่างกราวนด์ทั้งสองจุด (สังเกตสัญลักษณ์ที่ต่างกันของกราวนด์ที่จุด A และ B แสดงความแตกต่างของศักดาทั้ง 2 แห่ง) R_{C1} และ R_{C2} คือความต้านทานของสายไฟตัวนำซึ่งต่อระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณ ไปยังแอมพลิไฟเออร์

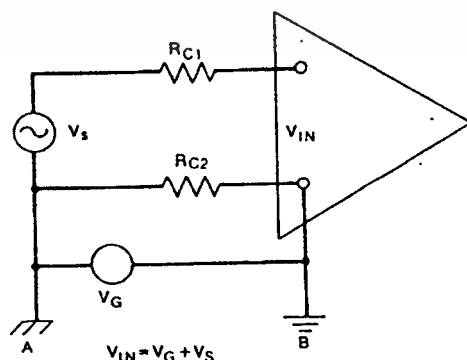
จากรูป 3.34 แรงดันที่ปรากฏที่ V_m ของแอมพลิไฟเออร์หรือวงจรขยายมีค่าเท่ากับ $V_S + V_G$ ในการลดแรงดันของสัญญาณรบกวน เราจำเป็นต้องปลดกราวนด์ตัวใดตัวหนึ่งออกจากรูป 3.34 เพื่อความสะดวกในการคำนวณ V ซึ่งเกิดจาก V_C เราควรปลดกราวนด์ที่ A ออก

จากรูป 3.35 เราสามารถคำนวณ V_N ซึ่งปรากฏที่อินพุทของวงจรขยาย เมื่อ

$$R_{C2} \ll R_S + R_{C1} + R_L$$

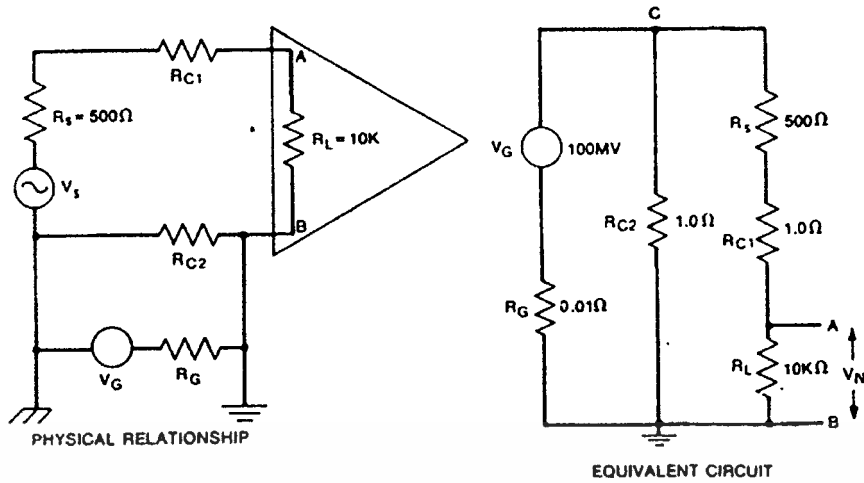
ดังนี้

$$V_N = \left[\frac{R_L}{R_L + R_{C1} + R_S} \right] \left[\frac{R_{C2}}{R_{C2} + R_G} \right] V_G \quad (3.14)$$



รูปที่ 3.33 ค่าความแตกต่างของแรงดันระหว่างกราวนด์สองจุด

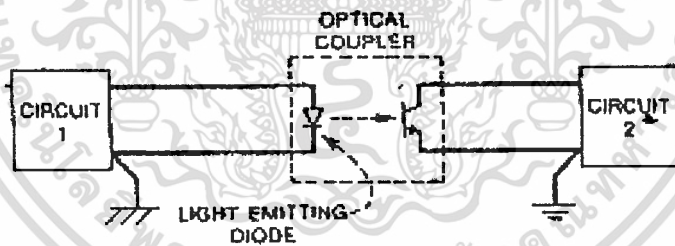
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 การแก้ปัญหาหาค่าความต้านทานที่ไม่เท่ากัน โดยการปลดความต้านทานอื่นออก

3.3.7 ออปติคัลคัปเปิลเลอร์(Optical coupler)

การทำลายกราวด์คู่ระหว่างวงจร 2 วงจรทำได้โดยใช้ออปติคัลคัปเปิลเลอร์ ดังแสดงในรูป 3.35 โดยทั่วไปออปติคัลคัปเปิลเลอร์จะประกอบด้วย LED ซึ่งจะคับปลิงผ่านแสงไปยังโฟโตทรานซิสเตอร์ ไดโอด หรือไทริสเตอร์ ซึ่งอยู่ภายในภาชนะเดียวกัน ทำให้ออปติคัลคัปเปิลเลอร์รูปถูกตัดออกจากกันโดยสิ้นเชิง เนื่องจากการคับปลิงระหว่างวงจรทั้งสองจะเกิดขึ้น โดยมีแสงเป็นตัวกลางเท่านั้น



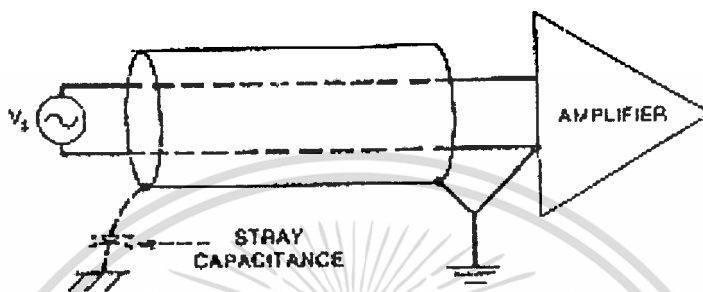
รูปที่ 3.35 การใช้ออปติคัลคัปเปิลเลอร์เพื่อตัดเส้นทางเดินของสัญญาณรบกวน

3.3.8 การต่อกราวด์สำหรับชิคต์ในวงจรความถี่สูง

ที่ความถี่ต่ำกว่า 1 เมกะเฮิรตซ์ ควรต่อกราวด์ให้แก่ชิคต์เพียงจุดเดียว เพื่อลดปัญหาจากการรบกวนของกระแสซึ่งจะไหลผ่านออปติคัลคัปเปิลเลอร์รูป และป้องกันการรบกวนจากการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กที่กราวด์รูปนี้ด้วย แต่ที่ความถี่สูงกว่า 1 เมกะเฮิรตซ์ หรือเมื่อความยาวของสายไฟตัวนำมีค่ามากกว่า /20 แล้ว ควรการต่อกราวด์ระบบหลายจุดเพื่อให้กราวด์ภายในตัวนำตลอดทั้งเส้นมีแรงดันอ้างอิงของกราวด์มีค่าใกล้เคียงกันที่สุด ปัญหาอื่นซึ่งเกิดขึ้นที่ความถี่สูงซึ่งแสดงในรูป 3.3.14 คือการเกิดสเตรยคาปาซิแตนซ์ ซึ่งจะก่อให้เกิดกราวด์รูปขึ้น คั้งนั้น จึงจำเป็นต้องจะต้องลัดวงจรตัวเก็บประจุเหล่านี้โดยต่อกราวด์ที่ปลายทั้งสองด้านของชิคต์ และถ้าหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายเคเบิลนั้นมีความยาวมาก ควรต่อกราวด์ลงทุก ๆ จุดที่ห่างกันเป็นระยะทาง /10 ตลอดตัวนำนี้ ส่วนสัญญาณรบกวนซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ระหว่างกราวด์แต่ละจุด (V_c) สามารถจัดได้โดยการใช้วงจรฟิลเตอร์ (ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป) วงจรนี้ทำงานได้เนื่องจากความถี่ของสัญญาณและความถี่ของสัญญาณรบกวนมีค่าต่างกันมาก นอกจากนี้ผลจากปรากฏการณ์สกินเอฟเฟกต์ จะทำให้กระแสรบกวนไหลที่ผิวนอกของซิลด์ ส่วนกระแสสัญญาณจะไหลบนผิวในของซิลด์ทำให้การรบกวนซึ่งเกิดจากการปะปนของกระแสทั้งสองมีค่าลดลง



รูปที่ 3.36 ลดสัญญาณรบกวน โดยเพิ่มตัวเก็บประจุระหว่างซิลด์และกราวด์

จากรูปที่ 3.36 การต่อตัวเก็บประจุที่มีค่าปานกลางต่ำ ๆ ระหว่างซิลด์และกราวด์จะมีผลเสมือนกับการต่อกราวด์ให้แก่ซิลด์ โดยที่ในช่วงความถี่ต่ำ อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะมีค่าสูง(เสมือนการเปิดวงจร) และจะลัดวงจรเมื่อความถี่สูงขึ้น การต่อเช่นนี้ใช้งานได้ดีสำหรับวงจรที่มีช่วงความถี่ในการทำงานกว้าง

บทที่ 4

กระบวนการออกแบบเพื่อลดสัญญาณรบกวนในแหล่งจ่ายไฟ สวิตชิงชนิดฟลายแบค

4.1 หลักการพื้นฐาน

สัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) สามารถแบ่งย่อยตามลักษณะของเส้นทางการรบกวนได้ดังนี้

1. การรบกวนผ่านสายตัวนำ (Conducted Emission)
2. การรบกวนผ่านทางอากาศ (Radiated Emission)

สัญญาณรบกวนทั้งสองแบบเป็นเรื่องของการส่งสัญญาณไปรบกวนอุปกรณ์อื่นๆ ดังนั้นในความหมายการออกแบบแหล่งจ่ายไฟเพื่อลดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า จึงเป็นการออกแบบโดยมีองค์ประกอบทั้ง 2 ข้อข้างต้น กล่าวสรุปโดยย่อคือออกแบบเพื่อมิให้แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงส่งสัญญาณรบกวนกระจายออกไปภายนอกไม่ว่าจะเป็นผ่านทางสายตัวนำหรือทางอากาศก็ตาม

4.2 หลักการพื้นฐานลดสัญญาณรบกวน (EMI)

ในปัจจุบันมีหนทางให้เลือกไม่มากนัก สำหรับการออกแบบเพื่อลดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า วิธีที่นิยมใช้กันสามารถแบ่งออกเป็นสองวิธีหลัก ๆ คือ

1. การลดทอนสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์จำพวก Passive
2. การลดทอนสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์จำพวก Active

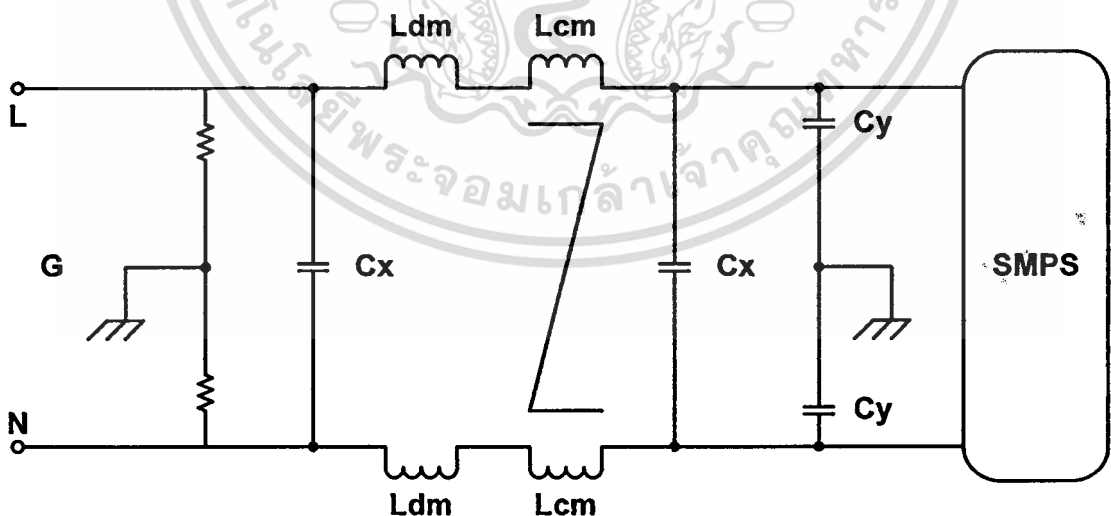
โดยหลักการออกแบบไม่ว่าจะใช้อุปกรณ์จำพวก Active หรือ Passive ก็ตาม ใช้หลักแนวคิดพื้นฐานเหมือนกันกล่าวคือ คิดเปรียบเสมือนแหล่งจ่ายไฟสวิตชิงซึ่งเป็นอุปกรณ์ต้นกำเนิดของสัญญาณรบกวน ดังนั้นเพื่อมิให้แหล่งจ่ายไฟส่งสัญญาณไปรบกวนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ หรือเป็นทางผ่านของสัญญาณรบกวนทั้งหลาย จึงทำการออกแบบโดยใช้อุปกรณ์จำพวก Active หรือ Passive ให้ทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณรบกวนมิให้กระจายออกสู่ภายนอก และวางไว้ที่ตำแหน่ง I/O ของแหล่งจ่ายไฟนั้นๆ การคิดโดยใช้หลักการดังกล่าวส่งผลให้ฟิลเตอร์มีขนาดใหญ่แปรผันตามกำลังขาออกของแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งปกติมักจะกินพื้นที่และน้ำหนักประมาณ 25% ของแหล่งจ่ายไฟเลยทีเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 Passive ฟิลเตอร์

หลักการง่าย ๆ ที่จะลดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ก็คือลด di/dt และ dv/dt วิธีนี้สามารถลดช่วงเวลาในการเก็บและคายประจุของวงจรขับสวิตซ์ลง ส่งผลให้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ในวงจร(มอสเฟทหรือ ไอโพลาร์ทรานซิสเตอร์) มีการ ON และ OFF ที่ช้าและนิ่มนวลมากขึ้น หรืออาจจะลดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยเพิ่มวงจร snubber เข้าไป เทคนิคพวกนี้ถือเป็นเทคนิคพื้นฐานและช่วยลดสัญญาณรบกวนได้จริง แต่ในขณะเดียวกันก็เพิ่มค่าความสูญเสียในวงจรด้วย ส่งผลกระทบต่อเนื่องกับประสิทธิภาพของวงจรโดยรวม ช้าร้ายอาจต้องเพิ่มอุปกรณ์ระบายความร้อนเข้าไปในวงจรอีก ทำให้แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์จึงมีขนาดและน้ำหนักมากขึ้น

ผลกระทบดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นที่มาของ Passive EMI ฟิลเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามาเพื่อทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณรบกวนและวางไว้ในตำแหน่ง I/O ของแหล่งจ่ายไฟ พื้นฐานการออกแบบใช้หลักการของวงจรกรองความถี่ต่ำ แต่มีการปรับปรุงเพิ่มอุปกรณ์บางตัวเพื่อลดสัญญาณรบกวนชนิดคอมมอน โหมดและดิฟเฟอเรนเชียล โหมด ดูได้จากรูปที่ 4.1 โดยที่ C_x ทำหน้าที่ลดวงจรสัญญาณรบกวนความถี่สูงชนิดดิฟเฟอเรนเชียล โหมด ส่วน C_y ทำหน้าที่ลดวงจรสัญญาณรบกวนชนิดคอมมอน โหมด การพันขดลวด L_{CM} บนแกนแม่เหล็กเดียวกันและมีทิศทางเดียวกันจะช่วยให้อุปกรณ์ฟิลเตอร์มีคุณสมบัติอิมพีแดนซ์สูงเฉพาะกับกระแสสัญญาณรบกวนคอมมอน โหมด โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกระแสในภาคกำลังแต่อย่างใด (กระแสที่ความถี่ 50 Hz)



รูปที่ 4.1 วงจร EMI Power line ฟิลเตอร์ที่ใช้กัน โดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

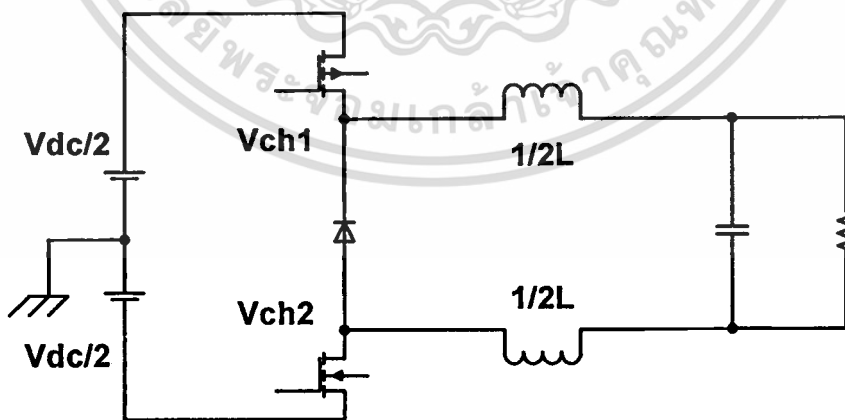
การเพิ่มวงจร Passive EMI ฟิลเตอร์เข้าไปสามารถช่วยลดทอนสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี แต่ด้วยข้อจำกัดที่ตัวมันเองวางอยู่ในตำแหน่ง I/O ของแหล่งจ่ายไฟ จึงต้องมีคุณสมบัติรองรับกระแสและแรงดันของวงจรในภาคกำลังได้เช่นกัน ดังนั้นการออกแบบตัวฟิลเตอร์นี้จึงมีลักษณะขนาดและน้ำหนักแปรผันตามกำลังของแหล่งจ่ายไฟนั้นๆ ในปัจจุบันมากกว่า 95 % ของนักออกแบบนิยมใช้วิธีการลดสัญญาณรบกวนด้วยการใส่ Passive EMI ฟิลเตอร์เข้าไปในวงจร สรุปโดยรวมแล้วถือว่า EMI ฟิลเตอร์จัดเป็นอุปกรณ์ที่สามารถจัดหรือลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดี ราคาต่อหน่วยไม่แพงมากนักและมีขั้นตอนการออกแบบที่ไม่ยุ่งยากหรือซับซ้อนมากนัก

4.2.2 ขจัดสัญญาณรบกวนด้วยอุปกรณ์ Active

ในปัจจุบันด้วยความก้าวหน้าของการวิจัยและพัฒนาจึงมีผู้คิดค้นเทคนิคการขจัดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์จำพวก Active มาเป็นตัวช่วยขจัดสัญญาณรบกวนซึ่งสามารถจำแนกออกได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ

1. เทคนิคการบาลานซ์สวิตช์

การขจัดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีดังกล่าวทำได้โดยการเพิ่มสวิตช์เข้าไปในวงจรช่วยกันทำงาน โดยทำการแบ่งแรงดันขาเข้าออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน และแบ่งตัวเหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่เก็บพลังงานสองเป็นสองส่วนเท่ากัน เมื่อพิจารณาวงจรแล้วสังเกต จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการแบ่งแหล่งจ่าย อุปกรณ์สวิตช์และตัวเหนี่ยวนำออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน ดังนั้นกระแสสัญญาณรบกวนก็จะแบ่งไหลเท่ากันด้วย จึงเป็นเหตุให้กระแสสัญญาณรบกวนคอมมอน โหมดลดลงครึ่งหนึ่งด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.2 บาลานซ์ Buck Converter Topology [10]

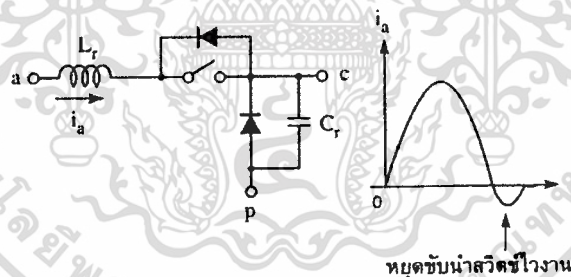
การเพิ่มอุปกรณ์สวิตช์เข้ามาในวงจรถือเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการบาลานซ์ จึงต้องมีการเพิ่มวงจรขับ เพื่อทำหน้าที่เป็นวงจรขับให้แก่สวิตช์ที่เพิ่มเข้ามาและยังต้องแบ่งอุปกรณ์ตัวเหนี่ยวนำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Inductor) เป็น 2 ชุด และเนื่องจากกราวนด์ของ IC ควบคุมมิใช่กราวนด์เดียวกันกับแรงดันขาออก ดังนั้นระบบการป้อนกลับแบบแยกกันทางไฟฟ้า (Opto Couple) เป็นเทคนิคบาลานซ์นี้เป็นเทคนิคใหม่และยังไม่เป็นที่รู้จักสำหรับนักออกแบบโดยทั่วไป ในปัจจุบันยังคงมีการพัฒนาเทคนิคดังกล่าวอย่างต่อเนื่องและอาจมาแทนที่ Passive EMI ฟิลเตอร์ในอนาคตก็เป็นได้

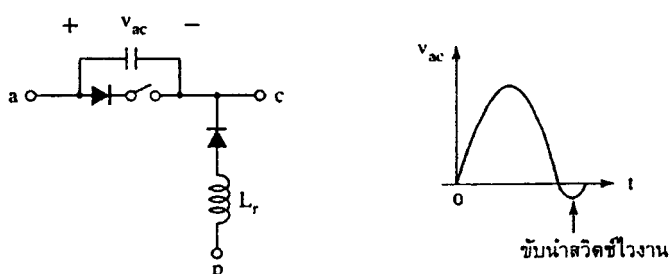
2. การใช้สวิตช์แบบเรโซแนนซ์

หลักการในลด di/dt หรือ dv/dt อาจจะใช้วงจรสับเบอร์ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.1 อุปกรณ์ที่นำมาใช้ประกอบเป็นวงจรสับเบอร์ดังกล่าวไว้ใช้ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุเป็นหลัก วงจรสับเบอร์ดังกล่าวประกอบด้วย L หรือ C พร้อมทั้งไดโอด โดยทั่วไปจะมีตัวต้านทานอยู่ด้วยเพื่อระบายพลังงานใน L หรือ C ให้สูญเสียเป็นความร้อน ในกรณีเช่นนี้ค่าความสูญเสียได้ย้ายจากที่เกิดในตัวสวิตช์เองมาเกิดในวงจรสับเบอร์ดังกล่าว ซึ่งถ้าเพิ่มความถี่สูงขึ้นประสิทธิภาพจะลดต่ำลงจนไม่อาจยอมรับได้

อีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหาคือการเพิ่ม L และ C แก่วงจร และใช้ปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ระหว่าง L และ C ให้เป็นประโยชน์ ทำให้กระแสหรือแรงดันขณะสวิตช์มีลักษณะรูปคลื่นเป็น Sine และลักษณะรูปคลื่นของกระแสหรือแรงดันที่ไหลผ่านสวิตช์จะตัดกันที่จุดศูนย์พอดี ดังนั้น Switching Loss จึงมีค่าน้อยมากและเมื่อรูปคลื่นมีลักษณะเป็น Sine สัญญาณรบกวนจึงมีค่าน้อย จึงเรียกเทคนิคนี้ว่า สวิตช์เรโซแนนซ์กระแสศูนย์ และ สวิตช์เรโซแนนซ์แรงดันศูนย์



รูปที่ 4.3 สวิตช์เรโซแนนซ์กระแสศูนย์



รูปที่ 4.4 สวิตช์เรโซแนนซ์แรงดันศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันวิธีใช้การสวิตช์ด้วยเทคนิคเรโซแนนซ์เป็นเทคนิคที่ก้าวหน้ามากที่สุด สามารถลดขนาดวงจรแหล่งจ่ายไฟได้และยังมีสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่ำกว่าเทคนิคปรับความกว้างของพัลส์อีกด้วย แต่ด้วยราคาค่าใช้จ่ายที่ต้องเพิ่มอุปกรณ์เข้าไปจำนวนมากเพื่อรองรับความถี่สูง การออกแบบที่ต้องใช้วิศวกรระดับผู้เชี่ยวชาญโดยเฉพาะ ระยะเวลาและจำนวนบุคลากรในการออกแบบที่ต้องใช้มากขึ้น ประกอบกับเครื่องมือที่ใช้ในการวัดการทดสอบต้องมีประสิทธิภาพสูง จึงเป็นที่นิยมเฉพาะในบริษัทผู้ผลิตรายใหญ่ที่มีเครื่องมือและบุคลากรพร้อมเท่านั้น

4.3 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟเพื่อลดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จะทำการออกแบบแหล่งจ่ายไฟชนิดปรับความกว้างของพัลส์โดยใช้ Topology Flyback Converter เป็นตัวอย่างทุกขั้นตอนและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งกับ Topology ที่ไม่มีหม้อแปลง (Buck, Boost, Buck-Boost) หรือมีหม้อแปลง (Forward, Flyback, Push-pull, Half-bridge, Full-bridge) ได้ด้วย โดยจะทำการออกแบบที่ละขั้นตอนพร้อมการคำนวณอย่างละเอียด

4.3.1 พิจารณาคูณลักษณะของแหล่งจ่ายไฟสวิตซ์ซิ่ง (อ้างอิงหัวข้อที่ 2.4)

คุณสมบัติของแหล่งจ่ายไฟที่ออกแบบมีดังนี้

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

กำลังขาออก	18 วัตต์
ประสิทธิภาพ	75 % ที่เต็มกำลัง
แรงดันขาเข้า	180-250 Vac
แรงดันและกระแสขาออก	12V-1.5A
ไลน์เรกูเลชัน (Line Regulation)	± 1%
โหลดเรกูเลชัน (Load Regulation)	± 1%
แรงดันกระเพื่อม (Ripple noise)	150mV p-p
ค่าเวลาโฮลด์อัป (Hold up time)	10mS
ผลตอบสนองชั่วครู่	<50mS
สัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	EN55022 Class A
ความถี่การทำงาน	100KHz

4.3.2 หาค่าตัวแปรที่จำเป็นในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{DC \min pk} = 1.414 \times V_{AC \min} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.414 \times 180V_{ac} \\
 &= 254.52V_{dc} \\
 V_{DC\max\ pk} &= 1.414 \times V_{AC\max} \quad (4.2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.414 \times 250V_{ac} \\
 &= 353.5V_{dc} \\
 V_{DCnormal} &= 1.414 \times V_{ACnormal} \quad (4.3) \\
 &= 1.414 \times 223V_{ac} \\
 &= 315.322V_{dc}
 \end{aligned}$$

ค่าที่คำนวณได้เป็นค่าแรงดันไฟตรงที่ผ่านวงจรเรียงกระแสภาคขาเข้าแล้ว โดยคำนวณในขณะที่แรงดันกระแสสลับมีค่าสูงสุดและต่ำสุดทำให้สามารถหาค่ากระแสโดยเฉลี่ยขาเข้าของระบบได้โดยประมาณการประสิทธิภาพของระบบ โดยทั่วไปประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์จึงมักมีค่าอยู่ในช่วง 65-80% ในการคำนวณนี้สมมุติให้ประสิทธิภาพของระบบคือ 75% ดังนั้น

$$P_{out\max} = V_{out} \times I_{out\max} = 18W \quad (4.4)$$

$$P_{in\max} = \frac{P_{out\max}}{\eta} = 24W \quad (4.5)$$

$$I_{av\max} = \frac{P_{in\max}}{V_{DC\min\ pk}} = 0.0943A \quad (4.6)$$

$$I_{normal} = \frac{P_{in\max}}{V_{DCnormal}} = 0.07611A \quad (4.7)$$

4.3.3 ออกแบบวงจรเรียงกระแสขาเข้า

เมื่อได้ค่ากระแสขาเข้าและแรงดันขาเข้าแล้วจะสามารถหาขนาดของอุปกรณ์วงจรเรียงกระแส ได้ดังนี้ [11]

$$\begin{aligned}
 T_d &= 5ms \times \left(1 + \frac{\arcsin \frac{V_{DC\min\ pk} - 20}{V_{DC\min\ pk}}}{90} \right) \quad (4.8) \\
 &= 0.00873S
 \end{aligned}$$

เนื่องจากตัวเก็บประจุในวงจรเรียงกระแสขาเข้าจะเก็บประจุเมื่อแรงดันไฟตรงขาเข้ามีค่าสูงกว่าแรงดันไฟตรงของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 กล่าวคือการกำหนดค่าตัวเก็บประจุส่งผลกระทบต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะทางเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากระแสที่ไหลเข้าตัวเก็บประจุว่ามีความชันมากน้อยเท่าไร? สังเกตให้คิดว่าถ้าใช้ตัวเก็บประจุใหญ่เกินไปจะทำให้ค่ากระแสกระชากเข้าตัวเก็บประจุมีค่าความชันสูง ดังนั้นค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมจึงแปรผันตามกำลังและช่วงเวลาที่สามารถเก็บประจุ (ความถี่ 50 Hz) ดังนั้นพลังงานที่ต่อกรในช่วงเวลา T_d จึงหาได้จากสมการ 4.9

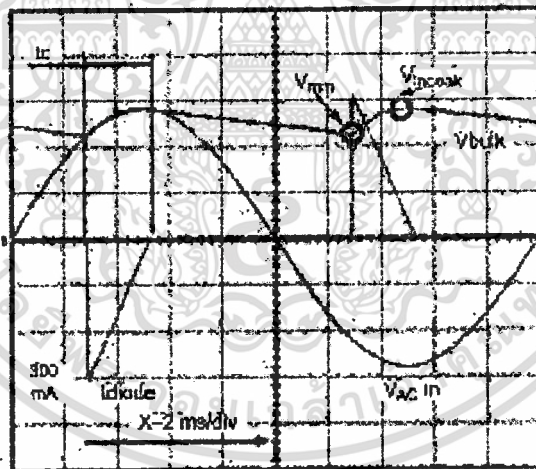
$$\omega_{in} = P_{inmax} \times T_d = 0.196W \quad (4.9)$$

แรงดันต่ำสุดในขณะที่ใช้พลังงานมีค่าเท่ากับ

$$V_{DCmin} = \sqrt{V_{DCminpk}^2 - \frac{2 \times \omega_{in}}{C_{in}}} = 216.62V \quad (4.10)$$

ค่าตัวเก็บประจุหลักจึงมีค่าดังสมการค่า 4.11

$$C_{in} = \frac{2W_{in}}{V_{dcminpk}^2 - V_{dcmin}^2} = 2.19\mu F \quad (4.11)$$



รูปที่ 4.5 รูปคลื่นของกระแสที่ชาร์จเข้าตัวเก็บประจุ [12]

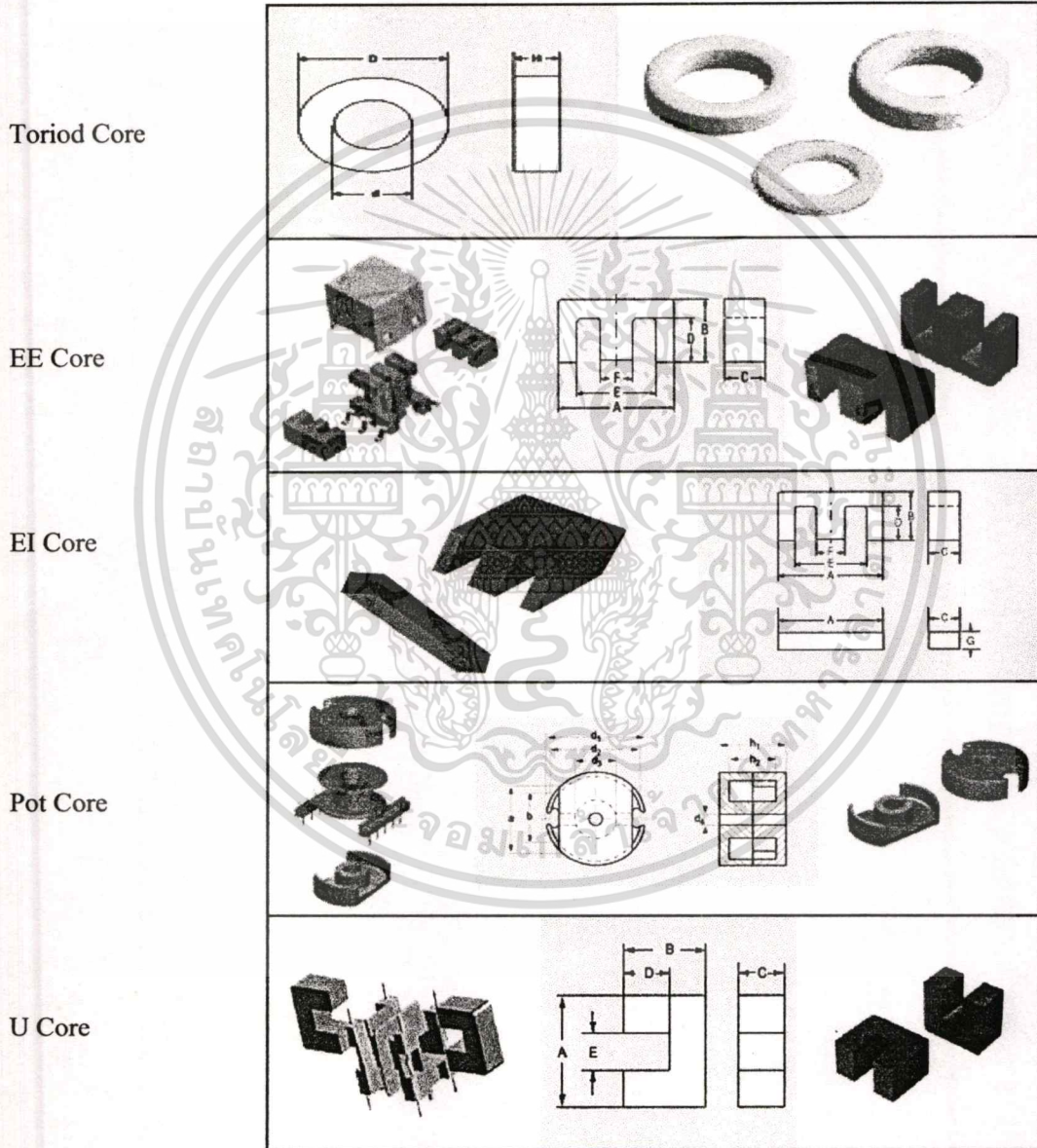
4.3.4 การออกแบบหม้อแปลง (อ้างอิงหัวข้อที่ 2.5.3)

ในหัวข้อนี้มีส่วนสำคัญอย่างมากในเรื่อง EMI หม้อแปลงถือเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนและยังเป็นทางผ่านของสัญญาณรบกวนอีกด้วยเทคนิคที่น่าเสนอจึงมีมากมายหลายวิธี โดยมีหลักการพิจารณาและคำนวณดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือก(Core และ Bobbin)

ขั้นตอนแรกของการออกแบบต้องเลือกวัสดุที่ใช้ทำแกนก่อนให้เหมาะสมกับความต้องการทำงาน เมื่อเลือกแกนแล้วต่อมาจึงต้องดูลักษณะของแกนว่ามีคุณสมบัติอย่างไร รูปที่ 4.6 เป็นรูปแบบของแกนที่แตกต่างกัน แกน Toroid มีข้อเสียตรงที่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตคลวดที่แพงกว่าเนื่องจากต้องใช้เครื่องจักรชนิดพิเศษ แต่ว่าฟลักซ์แม่เหล็กจะไม่รั่วไหลหรือแพร่ออกมานอกแกน การใช้รูปแบบแกนจำพวก Bobbin ที่มีรูปร่างแยกย่อยออกไปอีกมีทั้งแบบ EU, Pot, EP



รูปที่ 4.6 ลักษณะรูปทรงของแกนและบ็อบบิ้นชนิดต่างๆ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pot Core มีลักษณะที่พิเศษในด้าน EMI เนื่องจากได้มีการชิลด์ล้อมรอบ Gap ด้วยตัวแกนมันเอง ทำให้มีการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนได้น้อยแต่มีข้อเสียเรื่องราคาแพงและระบายความร้อนไม่ดี แกน EE , EI นั้นจะมีราคาถูกกว่า Pots และมีพื้นที่สำหรับพื้นที่ขดลวดที่มากกว่า มีการระบายความร้อนที่ดีกว่า แต่มีข้อเสียในด้าน EMI ที่มากกว่าโดยเฉพาะกับแกนที่ใช้ในฟลายแบค (ตัวแกนต้องมีช่องคั่นอากาศ) เนื่องจากแกนไม่มีลักษณะชิลด์เหมือน Pot Core ดังนั้นสัญญาณรบกวนที่เกิดจากฟลักซ์แม่เหล็กรั่วไหลบริเวณช่องคั่นอากาศจะสามารถกระจายไปในอากาศได้ (Radiated Emission)

ดังนั้นนักออกแบบจึงต้องเลือกเอาว่าจะคำนึงเน้นไปในด้านราคา หรือ Radio Frequency Noise อันไหนเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ในวิทยานิพนธ์นี้เน้นนำไปใช้งานได้จริง จึงต้องพิจารณาในด้านต้นทุนการผลิตด้วย แกนชนิด EI หรือ EE จึงดูเหมาะสมที่สุด โดยมีคำนวณค่ากระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงฟ้งขดลวดปฐมภูมิดังนี้

$$I_{pk} = \frac{2 \times P_{mmax}}{V_{DCmin} \times D} \quad (4.12)$$

จากสมการที่ 4.12 ค่ากระแสสูงสุดมีค่าแปรผันตามค่า Duty cycle ดังนั้นการออกแบบเพื่อลดสัญญาณรบกวนจึงควรออกแบบมีค่ากระแสสูงสุดให้มีค่าน้อยที่สุดโดยคำนึงถึงกระแสสูงสุดด้านทุติยภูมิด้วย (ค่ากระแสสูงสุดจะแปรผกผันกัน) กำหนดให้ค่า Duty cycle มีค่าเท่ากับ 35% ค่ากระแสสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ 0.59A ส่วนค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการของหม้อแปลงจะมีค่าเป็นไปตามสมการที่ 4.13 และจำนวนอัตรารอบระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิมีค่าตามสมการที่ 4.14

$$L_{pri} = \frac{D \times V_{DCmin}}{I_{pk} \times f} = 1277 \mu H \Rightarrow 1mH \quad (4.13)$$

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{D \times V_{DCmin}}{(V_{out} + Vf) \times (1-D)} = 8.9 \Rightarrow 10 \quad (4.14)$$

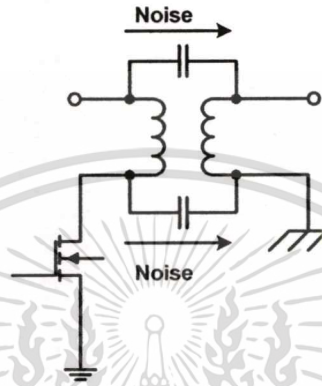
เนื่องจากหม้อแปลงใช้สำหรับ Flyback Topology จึงจำเป็นต้องมีช่องคั่นอากาศ ระยะของช่องคั่นอากาศหาได้จากสมการที่ 4.15

$$l_g = \frac{0.4\pi L_{pri} i_{pk}^2 10^8}{A_c B_{max}^2} = 0.046cm \quad (4.15)$$

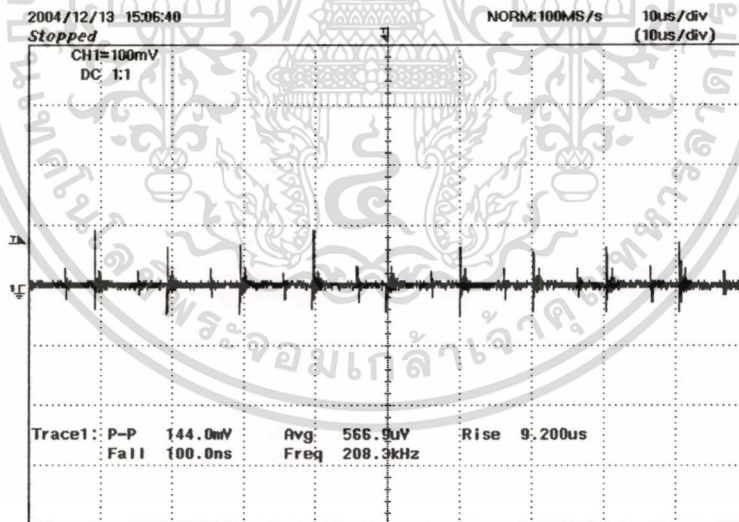
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4.1 เทคนิคการลดสัญญาณรบกวนในหม้อแปลงผ่านสายตัวนำ (Conducted Emission)

ในปกติแล้วหม้อแปลงจะทำหน้าที่แยกสัญญาณทางไฟฟ้า อย่างไรก็ตามสำหรับสัญญาณรบกวนความถี่สูงแล้ว สัญญาณรบกวนสามารถเหนี่ยวนำผ่านตัวเก็บประจุแฝงที่อยู่ระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงหม้อแปลง ทิศทางการไหลของกระแสสัญญาณรบกวนแสดงในรูปที่ 4.7



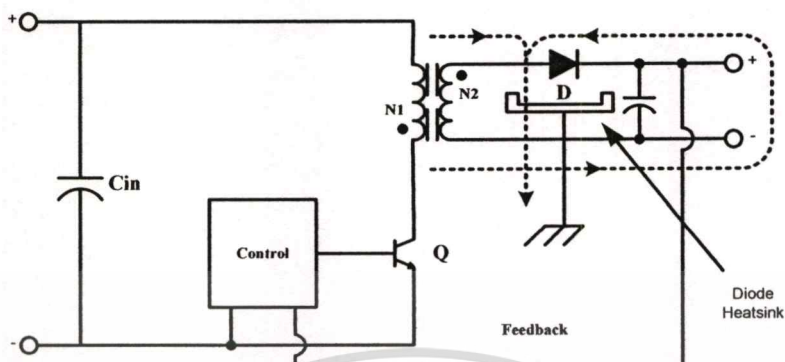
รูปที่ 4.7 เส้นทางเดินสัญญาณรบกวนผ่านหม้อแปลง



รูปที่ 4.8 ลักษณะสัญญาณรบกวนที่กราวด์ของแรงดันขาออก

ปัญหาที่นักออกแบบพบบ่อยก็คือ ปัญหาสัปดาห์ไฟฟ้าที่กราวด์ฝั่งแรงดันขาออกไม่เป็นศูนย์จริง ต้นเหตุของปัญหาดังกล่าวก็คือกระแสสัญญาณรบกวนคอมมอน โหมดที่ไหลมาจากฝั่งปฐมภูมิ พิจารณารูปที่ 4.9 กระแสสัญญาณรบกวนจะวิ่งผ่านตัวเก็บประจุแฝงในทุกครั้งที่มีการสวิตช์และไหลวนผ่านโหลดทำให้กราวด์ขาออกมีค่าไม่เป็นศูนย์จริง ส่งผลให้แรงดันอ้างอิงของวงจรเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

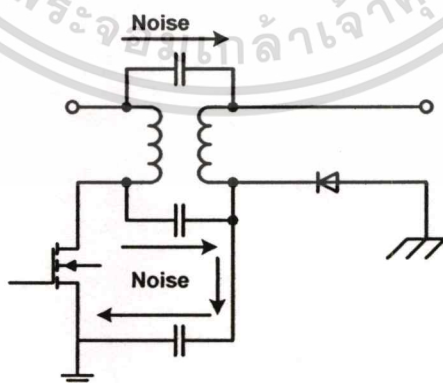
ป้อนกลับมีปัญหาจนเกิดการแกว่งอย่างรุนแรงของวงจรควบคุม(Oscillate) และส่งเสียงรบกวนบริเวณหม้อแปลง



รูปที่ 4.9 ปัญหาสัญญาณรบกวนของวงจรเรียงกระแสขาออก

เส้นทางการไหลของกระแสสัญญาณรบกวนผ่านตัวเก็บประจุแผ่นนี้จะไหลลงสู่กราวด์ทำให้เกิดแรงดันแฝงซึ่งมีทิศตรงข้ามกับแรงดันขาออกปกติ และทำให้ LISN จับกระแสสัญญาณรบกวนได้ วิธีการแก้ไขสัญญาณรบกวนที่วิ่งผ่านตัวเก็บประจุแผ่นนี้อาจทำได้สองรูปแบบคือเทคนิคเปลี่ยนเส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนและเทคนิคลดค่าตัวเก็บประจุแผ่น

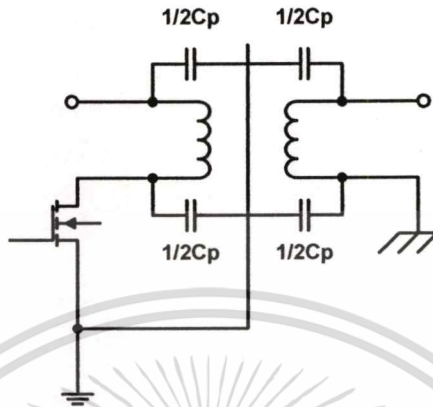
รูปที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนเส้นทางเดิน โดยการเพิ่มตัวเก็บประจุเข้าไประหว่างกราวด์ฝั่งปฐมภูมิและฝั่งทุติยภูมิและอาจเปลี่ยนตำแหน่งของไดโอดจากเดิมอยู่ด้านแรงดันขาออกซึ่งบวกให้มาอยู่กราวด์ของแรงดันขาออกแทนเพื่อเป็นช่วยป้องกันกระแสสัญญาณรบกวนมิให้วิ่งไหลไปในทิศตรงกันข้ามกับกระแสไหลลงจนทำให้ระบบควบคุมแรงดันป้อนกลับทำงานผิดพลาด



รูปที่ 4.10 เทคนิคการลดสัญญาณรบกวน โดยเปลี่ยนเส้นทางเดินของสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

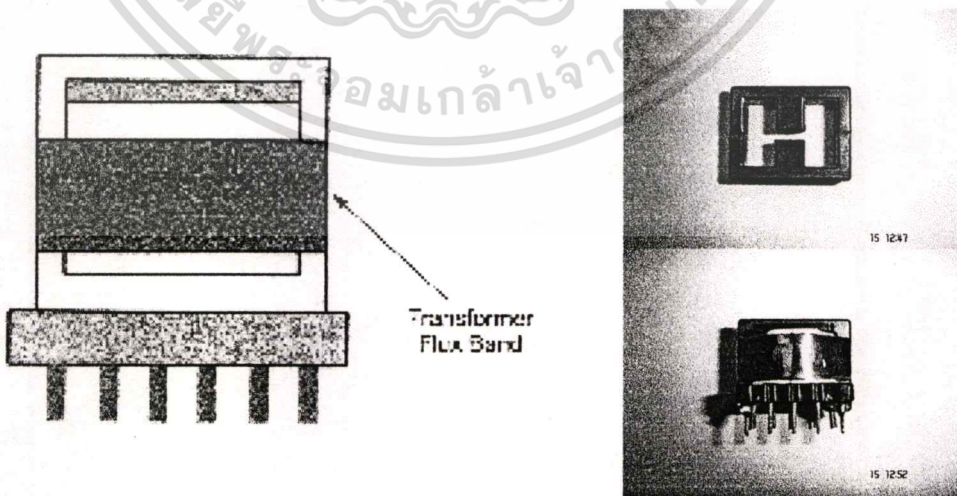
ส่วนเทคนิคการลดค่าตัวเก็บประจุแฝงลดสามารถทำได้โดยวิธีการชิลด์ ระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ เทคนิคนี้จะช่วยลดค่าตัวเก็บประจุแฝงลงได้ครึ่งหนึ่ง การลดค่าตัวเก็บประจุแฝงลงก็เท่ากับว่าลดอัตราการฉีกของกระแสสัญญาณรบกวนลงไปด้วย เทคนิคการชิลด์แสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.11 เทคนิคการชิลด์หม้อแปลง

4.3.4.2 เทคนิคการลดสัญญาณรบกวนในหม้อแปลงผ่านทางอากาศ (Radiated Emission)

การลดสัญญาณรบกวนผ่านทางอากาศทำได้โดยวิธีเดียวคือการชิลด์ บริเวณที่มีการกระจายของสัญญาณรบกวนมากที่สุดคือบริเวณช่องคั่นอากาศของหม้อแปลง ซึ่งเป็นลักษณะของฟลักซ์แม่เหล็กที่รั่วไหลออกมาภายนอก สามารถแก้ไขได้โดยการพันแผ่นโลหะบริเวณรอบหม้อแปลงจะช่วยให้ฟลักซ์แม่เหล็กแปรเปลี่ยนกลายเป็นกระแสไหลวนอยู่ในตัวหม้อแปลงเองโดยที่ไม่กระจายหรือแพร่สัญญาณรบกวนออกสู่ภายนอก



รูปที่ 4.12 การป้องกันสัญญาณรบกวนแพร่กระจายทางอากาศโดยการชิลด์รอบหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 การออกแบบวงจรเรียงกระแสขาออก (อ้างอิงหัวข้อที่ 2.6)

เนื่องจากต้องการออกแบบแหล่งจ่ายไฟที่มีคุณสมบัติแรงดันกระเพื่อมไม่เกิน 150mVp-p และมีจำนวนแรงดันขาออก 1 ชุด ขนาด 12V กระแส 1.5แอมป์ ดังนั้นค่าตัวเก็บประจุจึงมีค่าดังนี้

$$C_o = \frac{I_{o(max)}}{f \times V_{ripple(max)}} = 160 \mu F \quad (4.16)$$

ค่าแรงดันขาออกสูงสุดนั้นสัมพันธ์กับอัตราส่วนจำนวนรอบระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ ดังนั้นสามารถเลือกไดโอดที่ทนแรงดันได้สูงสุดจากสมการ

$$PIV = \frac{N_p}{N_s} (V_{out} + V_f) + V_{DC \max} = 350 \quad (4.17)$$

และค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านไดโอดจึงมีค่าดังนี้

$$I_{peak \ sec} = \alpha \times I_p \times \frac{N_p}{N_s} = 4.61 \quad (4.18)$$

เมื่อคำนวณหาค่าแรงดันสูงสุดและกระแสสูงสุดได้แล้วก็สามารถเลือกไดโอดที่ทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสขาออกได้

4.3.6 การเลือกสวิตช์ (อ้างอิงหัวข้อที่ 2.7)

เมื่อการออกแบบให้แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตช์ซึ่งทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องและทำงานที่ความถี่ 100 KHz จึงเลือกตัวอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เป็นมอสเฟต ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านมอสเฟตหาได้จากค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดปฐมภูมิ ดังสมการที่ 4.19

$$I_p = \sqrt{\frac{2P_{out}}{\eta \times L_p \times f}} = 0.54 A \quad (4.19)$$

ค่าแรงดันย้อนกลับแปรผันตามอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงหาได้จากสมการ

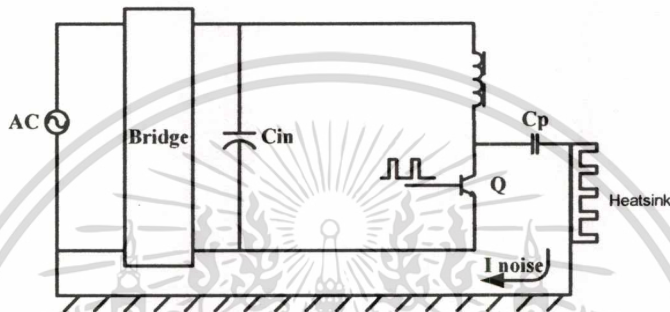
$$V_{plateau} = \frac{N_p}{N_s} (V_{out} + V_f) + V_{dc \max} = 466 V \quad (4.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราแรงดันจากสมการที่ 4.20 นี้มีได้รวมถึงแรงดันพุงที่เกิดจากฟลักซ์รั่วไหลของหม้อแปลง ดังนั้นการเลือกมอสเฟตจึงควรเลือกค่าอัตราทนแรงดันเพื่อไว้กับค่าแรงดันพุงนี้ด้วย

4.3.6.1 เทคนิคการลดสัญญาณรบกวนจากการสวิตช์โดยใช้ Faraday shield

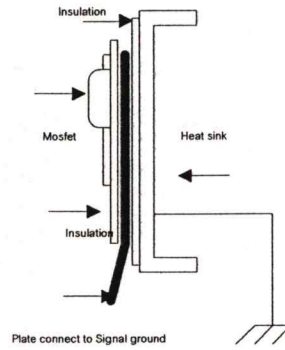
เป็นที่ทราบกัน โดยทั่วไปแล้วว่าสัญญาณรบกวนชนิดคอมมอน โหมดนั้นเกิดจากค่าตัวเก็บประจุแฝงที่อยู่ระหว่างแผงระบายความร้อนและตัวสวิตช์ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 สัญญาณรบกวนคอมมอน โหมด

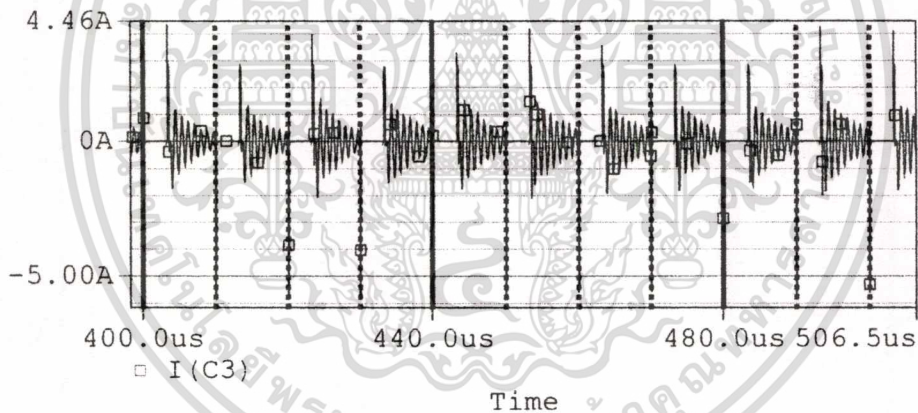
สัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมดที่เกิดจากตัวเก็บประจุแฝงระหว่างสวิตช์และแผงระบายความร้อน ถือเป็นแนวรบสำคัญอันดับหนึ่งของปัญหาสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่รบกวนผ่านทางสายตัวนำ (Conducted Emission) ใครก็ตามที่สามารถลดกระแสสัญญาณรบกวนให้มีค่าน้อยลงได้ถือว่าได้ชัยชนะ ไปครึ่งหนึ่งแล้ว แนวทางการออกแบบนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยด้วยเสมอ กล่าวคือเราไม่สามารถตัดเส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนโดยไม่ต่อแผงระบายความร้อนลงกราวนด์ได้ (มาตรฐานความปลอดภัยจำเป็นต้องต่อแผงระบายความร้อนหรือตัวถังลงกราวนด์เสมอ) ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะหาเทคนิคใดที่สามารถลดสัญญาณรบกวนชนิดนี้ได้ วิธีที่นิยมใช้กันปัจจุบันก็คือการใช้ฟิลเตอร์เพียงวิธีเดียวนั่นเอง

มีแนวคิดในการลดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค Faraday shield กับตัวสวิตช์ และใช้ได้ผลดีทีเดียว โดยได้ทำการทดสอบและพบว่าสามารถลดสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมดได้มากถึง 10- 20 dB ซึ่งถือว่ามาก แต่ทว่าเทคนิคนี้ได้ถูกจดทะเบียนลิขสิทธิ์ของบริษัท Advance Electronics Ltd., ดังนั้นจึงไม่สามารถนำมาใช้ในทางพาณิชย์หรือการค้าได้

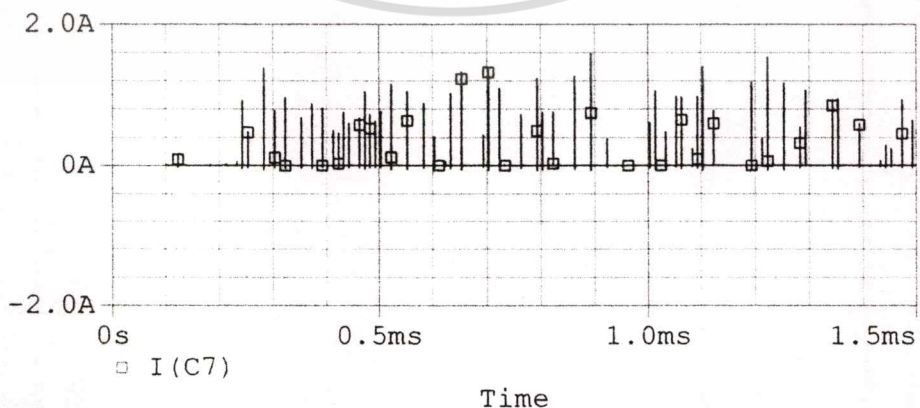


รูปที่ 4.14 เทคนิค Faraday shield

หลักการงานก็ไม่ยุ่งยากเกล้าคือเมื่อต่อแผ่นตัวนำเข้าไปและประกบด้วยฉนวน ก็เท่ากับเป็นการลดค่าตัวเก็บประจุแฝงลงครึ่งหนึ่ง แต่ทว่าก็ยังจะมีกระแสสัญญาณรบกวนไหลผ่านตัวเก็บประจุแฝงไปที่แผงระบายความร้อนได้อยู่ ผลจากการจำลองโดยใช้โปรแกรม ORCAD Pspice ระหว่างการทำงานปกติและใช้เทคนิค Faraday shield แสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ



รูปที่ 4.15 ผลการจำลองกระแสคอมมอน โหมด



รูปที่ 4.16 ผลการจำลองกระแสคอมมอน โหมดหลังจากใช้เทคนิค Faraday shield

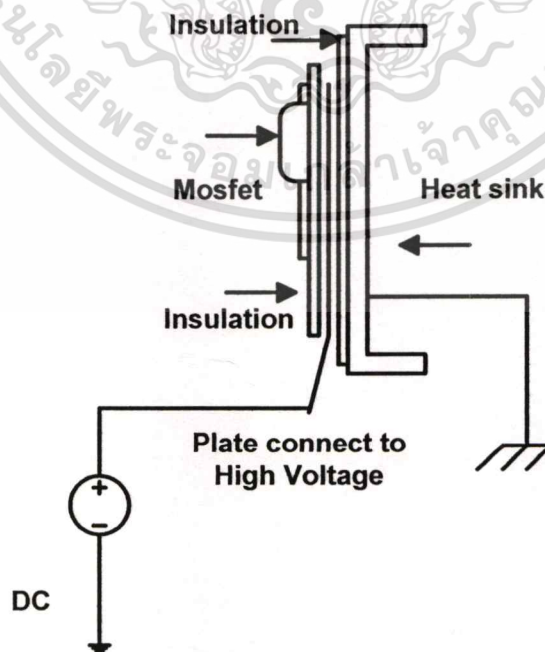
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.15 นั้นแสดงให้เห็นถึงลักษณะการบิดของกระแสสัญญาณรบกวนที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุแฝง โดยสมมุติให้ค่าตัวเก็บประจุแฝงมีค่า 1 nF สวิตซ์ที่ความถี่ 100 KHz มีลักษณะกระแสสัญญาณรบกวนที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุแฝงเป็นรูปที่มีค่ากระแสสูงสุดสูงมากและไหลในทิศทางทั้งไปและกลับ ถือว่ากระแสที่ไหลนั้นมีค่าสูงสุด (Peak) สูงมาก โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 4 แอมป์ ที่เดียว ในทางปฏิบัติค่าตัวเก็บประจุแฝงจะมีค่าอยู่ระหว่าง $20\text{--}100\text{ pF}$ เท่านั้น แต่เพื่อให้เห็นกระแสสัญญาณรบกวนที่ไหลได้ชัดเจนจึงกำหนดให้มีค่าตัวเก็บประจุแฝงเท่ากับ 1 nF

4.3.6.2 การลดสัญญาณรบกวนโดยใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้า (Electric Barrier)

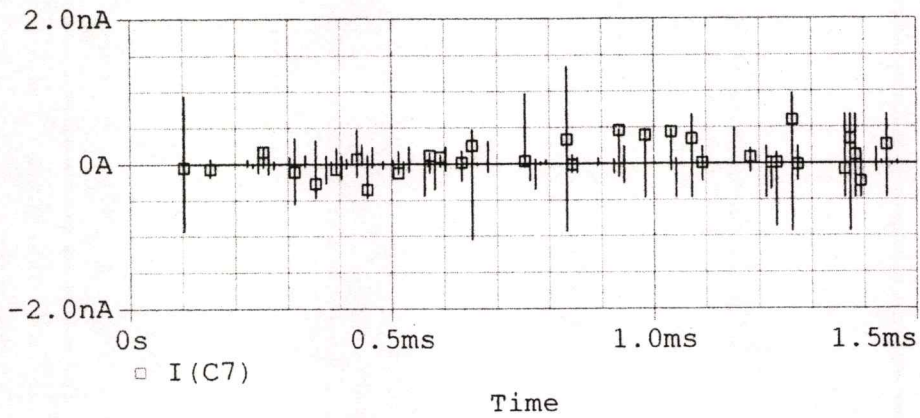
เทคนิคนี้เป็นเทคนิคใหม่และใช้แนวคิดจากเทคนิค Faraday shield โดยอาศัยหลักการเก็บและคายประจุของตัวเก็บประจุ หลักการพื้นฐานของการเก็บประจุจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีแรงดันขบวนการมากกว่าแรงดันขาลบ กระแสจึงจะไหลจาก ขั้วบวกไป ขั้วลบและจะหยุดไหลเมื่อเก็บประจุไฟฟ้าเต็ม ดังนั้นถ้าต้องการให้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่เป็นกำแพงกันกระแสสัญญาณรบกวนไว้ก็ต้องสร้างกำแพงไฟฟ้าไว้ที่หลังตัวเก็บประจุแฝง โดย ศักดิ์ไฟฟ้านี้จะต้องมีค่าสูงกว่าแรงดันสวิตซ์ของตัวมอสเฟตตลอดเวลา ถ้าทำเช่นนั้นได้ตัวเก็บประจุแฝงก็จะไม่มีกระแสไหลผ่านไปที่กราวด์ ลักษณะของวงจรที่ต่อขึ้นก็เหมือนวิธี Faraday Shield ต่างกันเพียงนำแผ่นตัวนำไปต่อไว้ที่แรงดันไฟตรงที่มีค่าสูงเท่านั้น

ผลจากการจำลองการทำงานด้วยการป้อนแรงดันไฟตรง 600 โวลต์ เข้าไปที่แผ่นตัวนำเพื่อทำหน้าที่เป็นกำแพงศักดาไฟฟ้านั้นแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 เทคนิคกำแพงศักดาไฟฟ้า

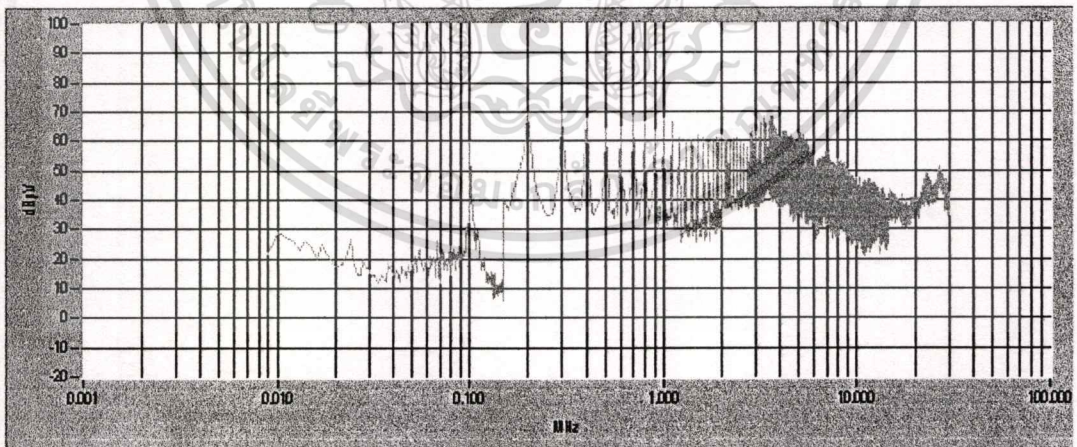
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ผลการจำลองกระแสคอมมอน โหมดเมื่อใช้เทคนิคคัดกำแพงไฟฟ้า

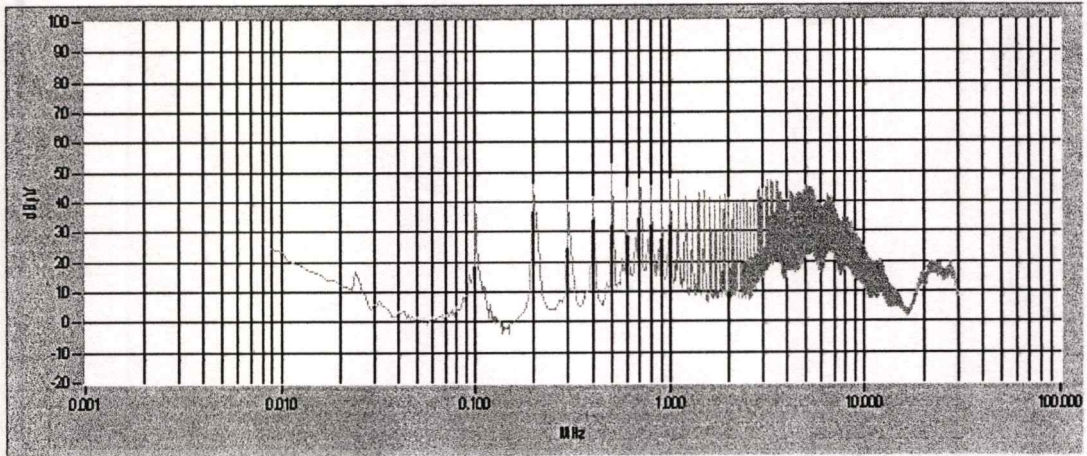
จะเห็นได้ว่าผลการจำลองการทำงานปรากฏว่าสามารถป้องกันกระแสสัญญาณรบกวนได้เกือบหมด และดีกว่าวิธี Faraday shield มาก อุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มเข้ามามีเพียงวงจรเพิ่มระดับแรงดันซึ่งมีราคารวมกันไม่ถึง 5 บาท นับว่าเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพและมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และที่สำคัญยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับทุก Topology ด้วย

เพื่อยืนยันผลการจำลองการทำงานจึงทำการวัดกระแสสัญญาณรบกวนคอมมอน โหมดซึ่งผลการทดสอบเปรียบเทียบก่อนและหลังการใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 ผลการวัดกระแสสัญญาณรบกวนคอมมอน โหมดก่อนใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

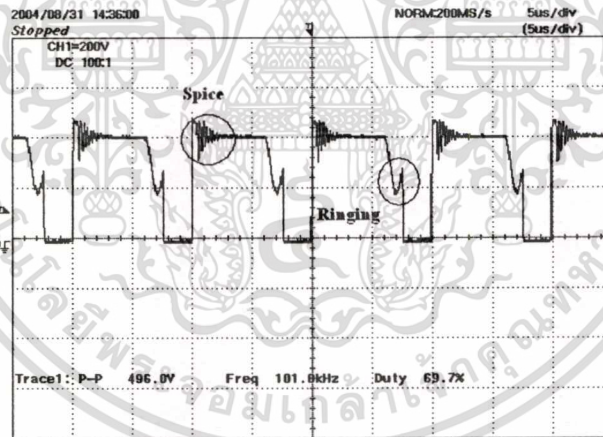


รูปที่ 4.20 ผลการวัดกระแสสัญญาณรบกวนคอมมอนโหมดหลังใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้า

4.3.7 การออกแบบวงจรป้องกันสวิตช์

วงจรป้องกันสวิตช์เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวงจรสับเบอร์ ทำหน้าที่ป้องกันป้องกันสวิตช์และสามารถลดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย พิจารณาที่รูปคลื่นที่ตกคร่อมตัวสวิตช์ดังรูปที่

4.21



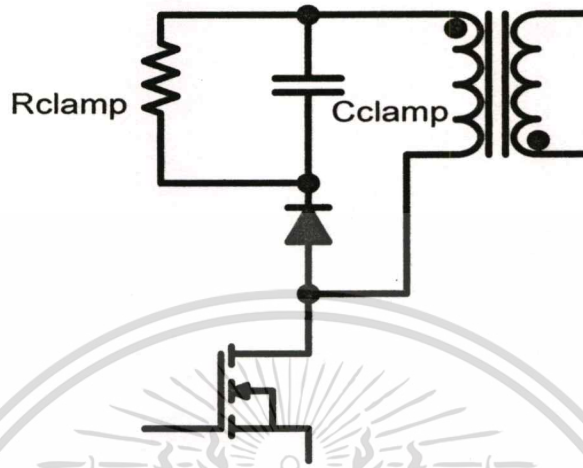
รูปที่ 4.21 ลักษณะรูปคลื่นบริเวณแคว้นชอร์สของมอสเฟต

จากรูปจะสังเกตเห็นว่ารูปคลื่นมีลักษณะของสัญญาณที่มีไจความถี่ของการสวิตช์ปรากฏอยู่ ทั้งบริเวณขอบขาขึ้นและขอบขาลง เมื่อสัญญาณเหล่านี้พบเจอกับตัวเก็บประจุแผ่นหรือตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลจะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นการกำจัดสัญญาณรบกวนจึงสามารถทำได้โดยใส่วงจรสับเบอร์เข้าไปเพื่อแปรเปลี่ยนสัญญาณเหล่านี้เป็นค่าความสูญเสียในวงจร แต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงตลอดเวลาคือสับเบอร์คือค่าความสูญเสียยังออกแบบให้สับเบอร์ทำงานมากเท่าไรประสิทธิภาพของวงจรก็จะลดลงเป็นเงาตามตัว[14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสแน็บเบอร์นั้นแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

1. วงจรสแน็บเบอร์ RCD Clamp



รูปที่ 4.22 RCD Clamp

วงจร RCD Clamp นี้ช่วยกักกันและลดทอนแรงดันสไปค์ที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลในหม้อแปลง เพื่อป้องกันมิให้แรงดันมีค่าเกินแรงดันพิกัดความปลอดภัยของสวิตช์ ในที่นี้เลือกสวิตช์มอสเฟต 600 โวลต์ 4 แอมป์ จึงอ้างอิงแรงดันสูงไม่เกิน 600 โวลต์ ค่าความต้านทานนั้นสามารถหาได้จากพลังงานที่ต้องการดึงออกมาเมื่อแรงดันสูงเกินค่าที่กำหนดดังสมการที่ 4.21

$$R_{clamp} = \frac{(V_{snub} + V_r)^2 - V_r^2}{0.5 \times L_{lk} \times I_{pk}^2 \times f} = 24K \quad (4.21)$$

เมื่อ V_R คือ แรงดันย้อนกลับ
 V_{snub} แรงดันสูงสุดที่ยอมให้มี
 L_{LK} ค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลในหม้อแปลง

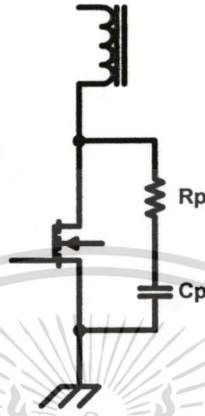
ส่วนค่าตัวเก็บประจุที่ต้องการดูดซับพลังงานหาได้จากสมการที่ 4.22

$$C_{clamp} = \frac{(V_{snub} + V_r)^2 - V_r^2}{0.5 \times L_{lk} \times I_{pk}^2 \times f} = 2.4nF \quad (4.22)$$

2. สแน็บเบอร์ RC Primary Switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 บริเวณจุด B เกิดการสวิตช์ของรูปคลื่น (Ringing) อันเนื่องมาจากค่าตัวเก็บประจุระหว่างขาทรานและขาซอร์ส ดังนั้นวิธีการกำจัดสัญญาณรูปคลื่นที่ผิดปกตินี้จำเป็นต้องวัดความถี่ของการแกว่งซึ่งอาจใช้วิธีการสามารถคำนวณถ้าทราบค่าตัวเก็บประจุระหว่างทราน-ซอร์สดังสมการที่ 4.33



รูปที่ 4.23 วงจร RC Primary Switch

$$\omega_{snubber} = \frac{1}{\sqrt{L_{lk} \times C_{oss}}} = 12500 \text{ RAD} \quad (4.23)$$

เมื่อทราบค่าความถี่ของการแกว่งแล้วหาค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุได้จากสมการที่ 4.24 และ 4.25

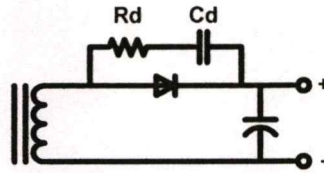
$$R_p = \frac{1}{\omega_{snubber} \times L_{lk}} = 100 \text{ K} \quad (4.24)$$

$$C_p = \frac{5}{\omega_{snubber} \times R_p} = 400 \text{ pF} \quad (4.25)$$

3. สนับเบอร์ RC Output Diode

ลักษณะใช้งานเหมือนกับสับเบอร์ Primary Switch การคำนวณได้เหมือนกันทุกอย่างมีที่แตกต่างกันตรงค่าตัวเก็บประจุที่มอสเฟตให้เปลี่ยนเป็นค่าตัวเก็บประจุของไดโอดนั้นๆ ผลการคำนวณได้ค่าความต้านทานเท่ากับ 110K และค่าตัวเก็บประจุ 350pF ส่วนรูปแบบวงจรนั้นแสดงในรูปที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 สนับเบอร์ RC Output Diode

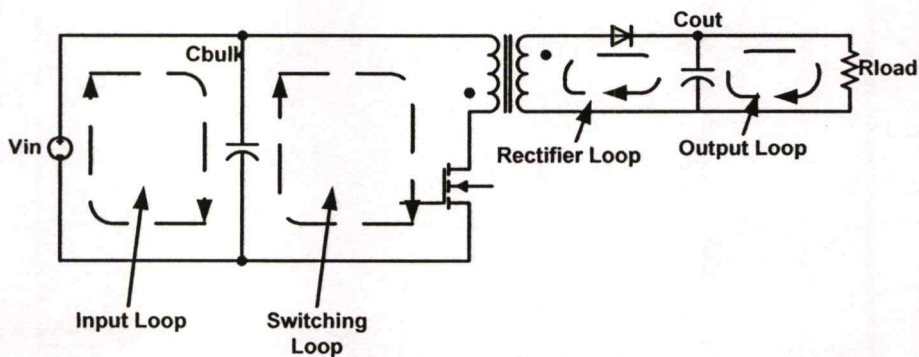
4.3.8 การออกแบบ PCB เพื่อลดสัญญาณรบกวน

โดยปกติขั้นตอนการออกแบบ PCB มักเป็นขั้นตอนการออกแบบขั้นสุดท้ายของการออกแบบแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตช์ซึ่ง ถ้าออกแบบอย่างไม่เหมาะสมแล้ว PCB อาจเป็นตัวกระจายสัญญาณรบกวนอย่างรุนแรงโดยใช้สื่อผ่านทางอากาศและทำให้ แหล่งจ่ายไฟไม่มีเสถียรภาพในวงจรควบคุม แหล่งจ่ายไฟสวิตช์ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณความถี่สูง ทุกสายบน PCB จะทำหน้าที่คล้ายสายอากาศ ความยาวหรือความกว้างของเส้นมีผลต่อค่าความต้านทานและความเหนี่ยวนำซึ่งมีผลกระทบต่อผลตอบสนองทางความถี่ ทุกครั้งที่มีการสัญญาณความถี่สูงไหลผ่าน จะส่งผลกระทบต่อสายเส้นวงจรที่อยู่ใกล้หรือติดกัน โดยสื่อผ่านทาง RF (Radio Frequency Noise) สำหรับที่เป็นลักษณะกระแสสลับ ต้องออกแบบลายวงจรให้สั้นที่สุดและกว้างที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ความยาวของสายเส้นวงจรทำให้เกิดค่าความต้านทานและความเหนี่ยวนำในเส้นนั้น ๆ ซึ่งไม่ส่งผลดีเลยในค่านสัญญาณรบกวน

กระแสในลูปหลัก

ทุกครั้งที่มีการสวิตช์ จะเกิดการไหลวนของกระแส (รูปที่ 4.25) ซึ่งจะแยกเป็น 4 ลูป

1. ลูปกระแสสลับบริเวณสวิตช์ (Power switch Current Loop)
2. ลูปกระแสสลับบริเวณวงจรเรียงกระแสขาออก (Output Rectifier Current Loop)
3. ลูปบริเวณแหล่งจ่าย
4. ลูปบริเวณโหลด

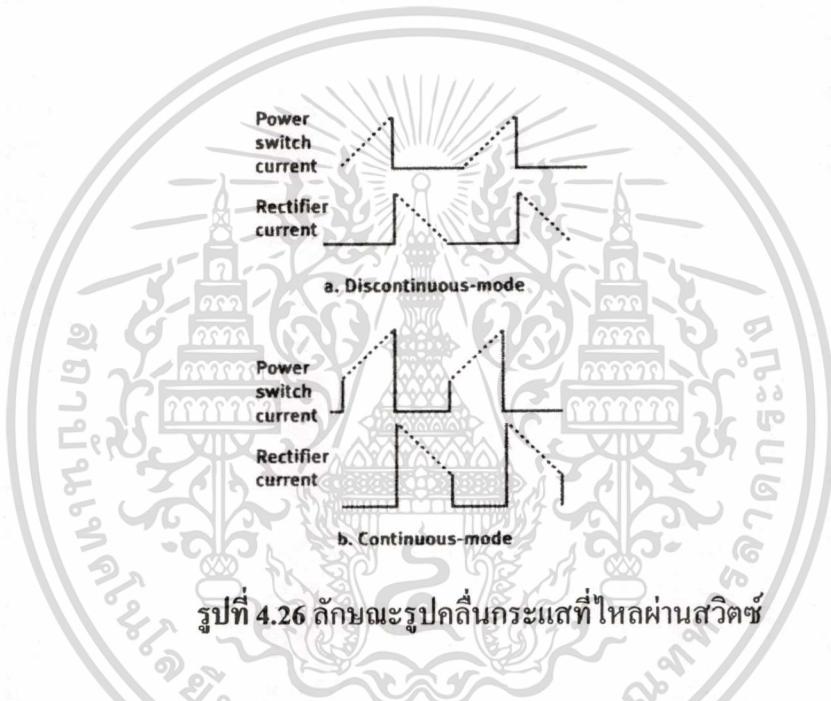


รูปที่ 4.25 ลูปของกระแสที่เกิดในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติรูปของแหล่งจ่ายและรูปของโหลดมักไม่มีปัญหามากนัก กระแสที่ไหลในรูปทั้งสองจะเป็นกระแสที่มีลักษณะไฟตรง ส่วนมากจะมีตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่เป็นฟิลเตอร์อยู่แล้ว แต่โดยมากตัวเก็บประจุที่ใช้มักเป็นตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งไม่สามารถรองรับสัญญาณความถี่สูงได้ จึงสมควรเพิ่มตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกเข้าไปเพื่อทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวนความถี่สูง

สังเกตรูปคลื่นของกระแสในรูปของสวิตช์และวงจรเรียงกระแสขาออก (รูปที่ 4.26) รูปคลื่นจะมีลักษณะเป็นเหลี่ยม รูปคลื่นลักษณะเช่นนี้จะก่อให้เกิด Harmonic ขยายจากความถี่ต้นออกไปอีกมาก โดยที่ค่ากระแสสูงสุดของรูปคลื่นดังกล่าวสูงประมาณถึง 5 เท่า ของกระแสเฉลี่ยขาเข้าและมีความชัน 50nS เท่านั้น สิ่งเหล่านี้แหละคือบ่อเกิดของสัญญาณรบกวน



รูปที่ 4.26 ลักษณะรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์

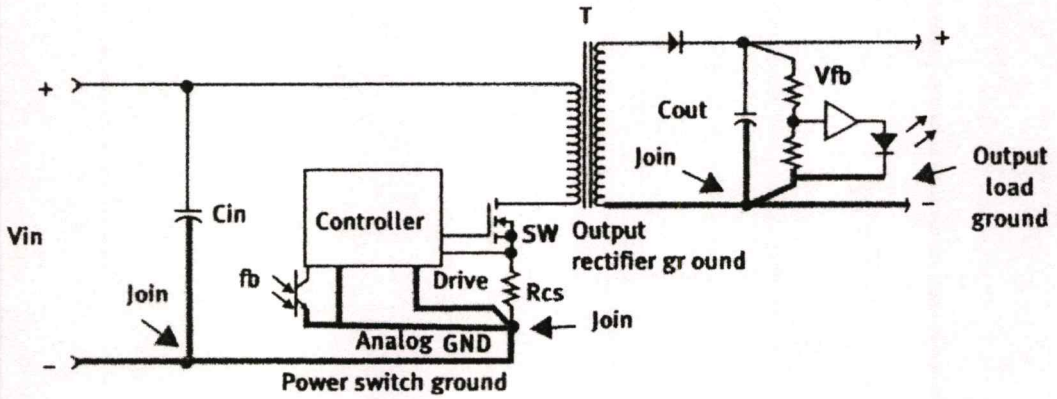
วิธีการออกแบบต้องออกแบบลายเส้นวงจรของลูปสวิตช์และลูปวงจรเรียงกระแสขาออกก่อนลายเส้นอื่น ๆ และวางอุปกรณ์หลัก 3 ชนิดคือ สวิตช์ หม้อแปลง ตัวเก็บประจุ ให้ชิดติดกันให้มากที่สุด และพยายามเชื่อมเส้นวงจรให้มีขนาดสั้นมากที่สุด

การกราวนด์

การกราวนด์เป็นเรื่องสำคัญ การออกแบบต้องแยกกราวนด์ควบคุมและกราวนด์ภาคกำลังออกจากกัน เนื่องจากกราวนด์ภาคควบคุมมักเป็นอุปกรณ์พวก Passive กระแสไหลผ่านน้อย แต่กราวนด์ภาคกำลังประกอบด้วยอุปกรณ์จำพวกสวิตช์ หม้อแปลง ตัวเหนี่ยวนำ ไดโอดและตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ การออกแบบที่ความถี่ 100 KHz นี้ต้องใช้หลักการออกแบบเป็นแบบกราวนด์จุดเดียว (Single point ground) สามารถดูรายละเอียดในหัวข้อ [15] การออกแบบลายวงจรต้องรวมกราวนด์ไว้เป็นพวก ๆ แล้วจึงนำมาต่อรวมกันที่จุดเดียวดังแสดงในรูปที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

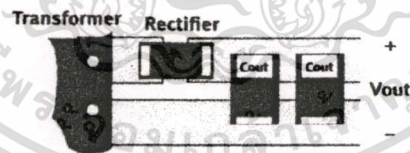


รูปที่ 4.27 การกราวนด์จุดเดียว

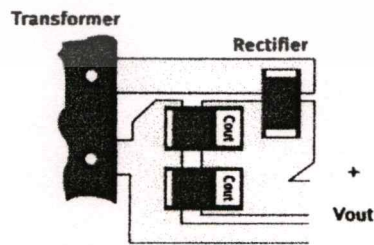
การต่อตัวเก็บประจุขานาน

การต่อตัวเก็บประจุขานานกันเป็นเรื่องปกติอยู่แล้ว เหตุผลที่ทำอย่างนี้ก็เพื่อลด ESR เนื่องจากเป็นการแบ่งกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุลงไม่ให้มีค่ามากเกินไป จึงช่วยลดแรงดันกระเพื่อมขาออกได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการแบ่งกระแสไหลให้เท่ากันความยาวของลายวงจรที่กระแสเดินทางไปยังตัวเก็บประจุต้องเท่ากันด้วย

การวางตัวเก็บประจุในลักษณะ A ของรูปที่ 4.28 กระแสที่ไหลจะเข้าตัวเก็บประจุที่อยู่ติดไดโอดก่อนแล้วจึงไหลไปที่ตัวเก็บประจุถัดไป ระยะทางที่กระแสไปยังตัวเก็บประจุทั้งสองจึงไม่เท่ากัน การวางตัวเก็บประจุในลักษณะ B จะช่วยให้ระยะทางที่กระแสไหลไปยังตัวเก็บประจุทั้งสองเท่ากัน จะช่วยให้ลดสัญญาณรบกวนและแรงดันกระเพื่อมได้มากกว่า



a. A poor layout for paralleled capacitors



b. A better layout for paralleled capacitors

รูปที่ 4.28 การวางตัวเก็บประจุบริเวณวงจรเรียงกระแสขาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

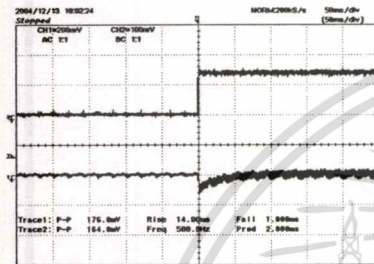
4.4 ผลการทดสอบคุณลักษณะของระบบ

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบเสร็จสิ้นแล้วจึงนำมาทดสอบหาคุณสมบัติในด้านต่างๆของวงจร ผลการทดสอบได้แสดงไว้ดังรูป

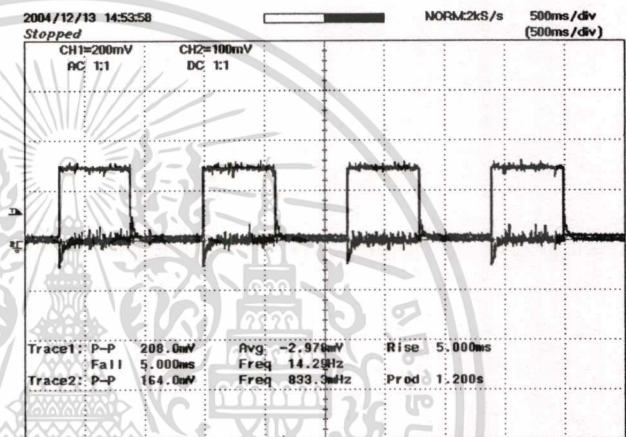
สถานะตอบสนองต่อโหลดชั่วคราว(ทดสอบที่โหลด 0% ถึง 100%)

CH1 200mV/CH (แรงดันขาออก)

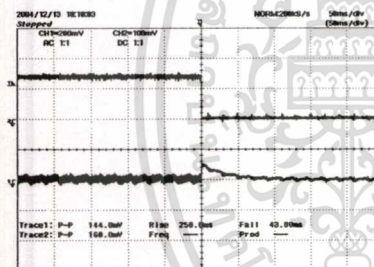
CH2 100mV/CH, 1A/CH (กระแสขาออก)



Rise Time 14mS, Overshoot 100mV



Dynamic Step Load Response

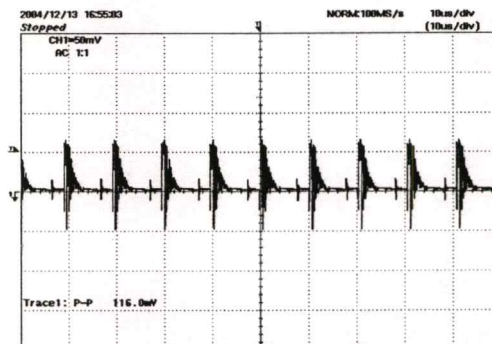


Fall Time 43mS, Overshoot 100mV

รูปที่ 4.29 ผลตอบสนองต่อโหลดชั่วคราว

แรงดันกระเพื่อมเอาท์พุท

(ทดสอบที่ 100% ของโหลดและวัดโดยโหมคการทำงาน 20MHz)

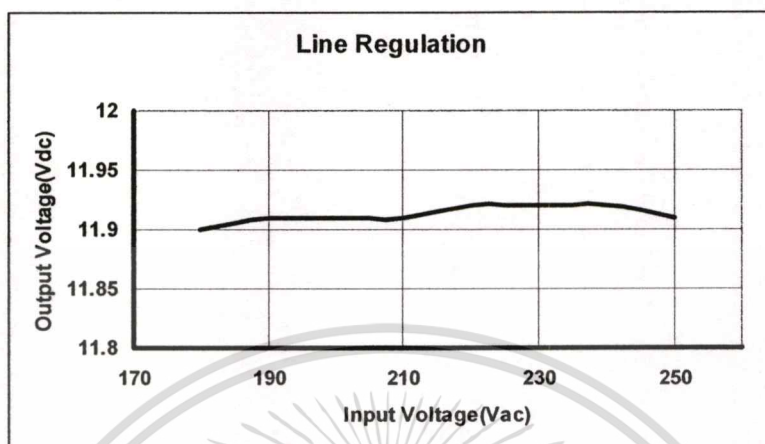


รูปที่ 4.30 แรงดันกระเพื่อมเอาท์พุท 116mV Peak to Peak (Ripple Voltage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เงื่อนไขลิขสิทธิ์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

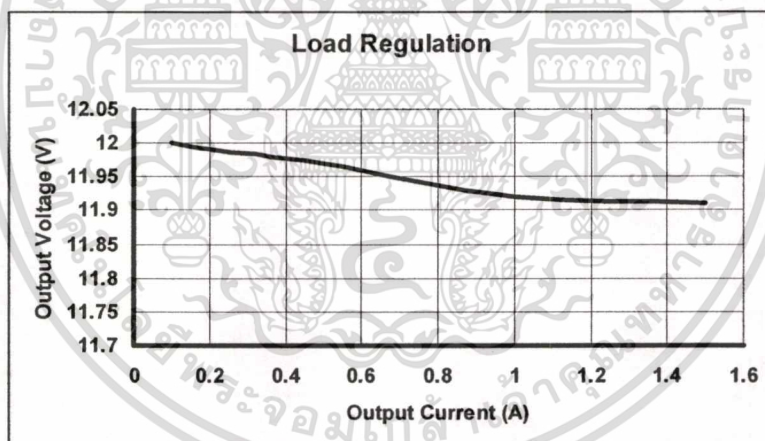
การรักษาระดับแรงดันขาออก

- เมื่อระดับแรงดันขาเข้าเปลี่ยนแปลง (Line Regulation)



รูปที่ 4.31 ผลการวัดระดับแรงดันขาออกเมื่อแรงดันขาเข้าเปลี่ยนแปลง

- เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง (Load Regulation)



รูปที่ 4.32 ผลการวัดระดับแรงดันขาออกเมื่อ โหลดเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

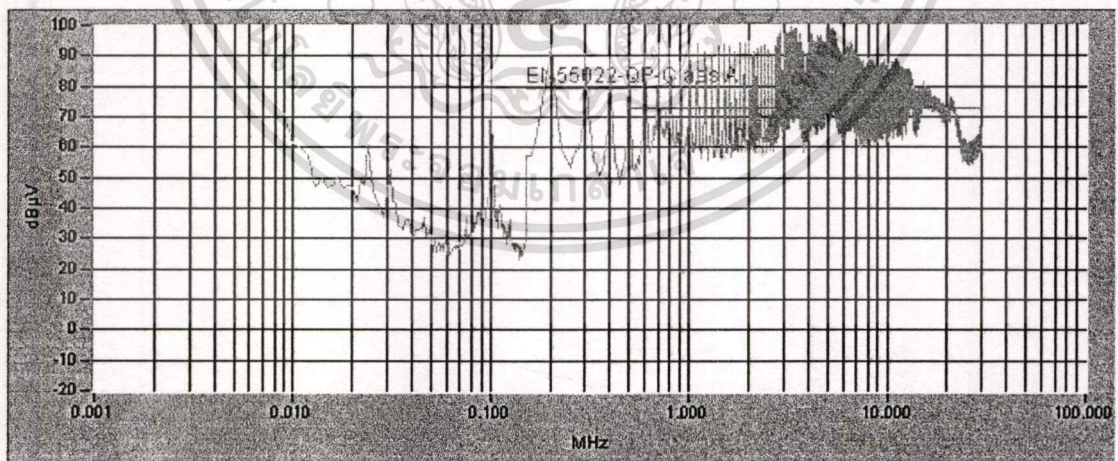
ผลการทดสอบการออกแบบเพื่อลดสัญญาณรบกวนทาง สนามแม่เหล็กไฟฟ้า

5.1 เป้าหมายวัตถุประสงค์

ในการทดสอบมาตรฐานการรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีเป้าหมายเพื่อทดสอบว่าการออกแบบโดยคำนึงถึงสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น สามารถลดทอนหรือขจัดสัญญาณรบกวนออกไปได้มากน้อยเพียงไร ทั้งนี้โดยปกติแล้วที่ผ่านมายังไม่เคยมีวงจรแหล่งจ่ายไฟกำลังใดที่สามารถทดสอบผ่านมาตรฐานโดยที่ไม่ใช่ EMI ฟیلเตอร์ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงทำการทดสอบโดยไม่ใช้ EMI ฟیلเตอร์ แต่ในการนำไปใช้งานจริงอาจเพิ่มวงจร EMI ฟیلเตอร์เข้าไปในภายหลังได้เพื่อประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ดียิ่งขึ้น

5.2 การรบกวนผ่านสายตัวนำ (Conducted EMI)

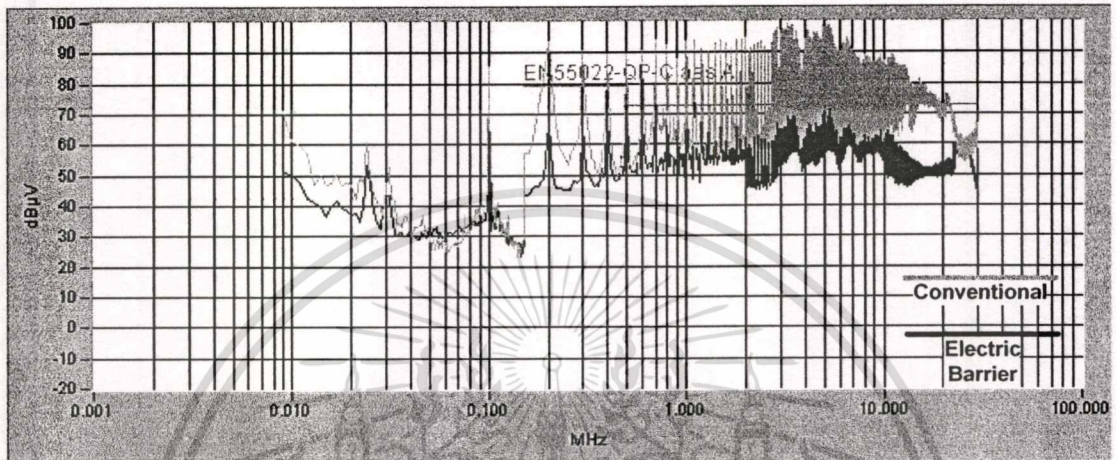
ผลการทดสอบแหล่งจ่ายกำลังไฟตรงขนาด 18วัตต์ โดยทำงานที่ความถี่ 100 KHz โดยที่ยังมิได้มีการออกแบบหรือใช้เทคนิคเพื่อลดสัญญาณรบกวนทางสนามแต่อย่างใด ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.1



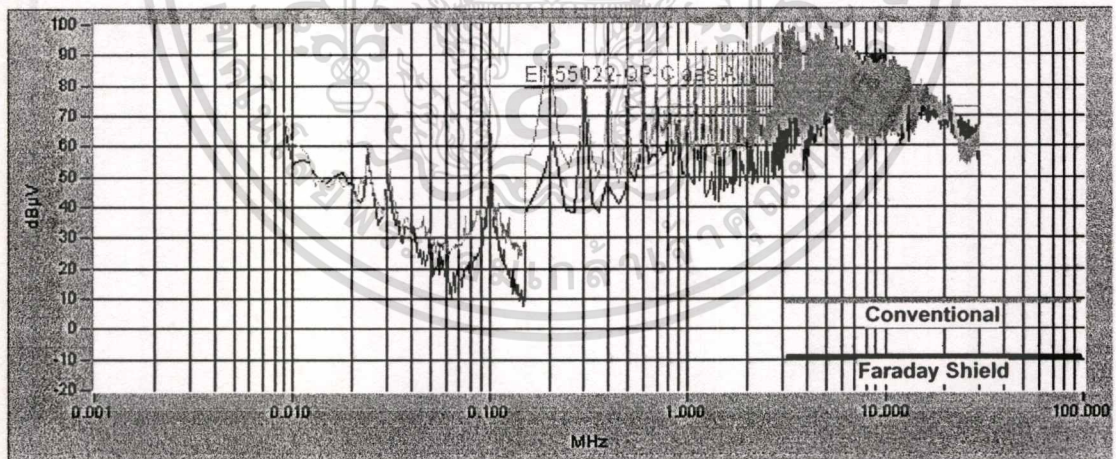
รูปที่ 5.1 ผลการทดสอบแหล่งจ่ายไฟกำลังที่ยังมิได้มีการออกแบบเพื่อลดสัญญาณรบกวน

การทดสอบนี้อ้างอิงมาตรฐาน EN55022 Class A ซึ่งเป็นมาตรฐานการวัดทดสอบสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้กับอุตสาหกรรมทั่วไป จากผลการทดสอบเป็นที่น่าตกใจทีเดียว แหล่งจ่ายกำลังไฟตรงนี้ผลิตสัญญาณรบกวนออกมาเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ตลอดย่านการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเวลาสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปเผยแพร่ในวงกว้าง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัด และมีค่าสูงสุดเกือบถึง 100dB/uV ซึ่งถือว่ามีสัญญาณรบกวนที่สูงมาก จุดหลัก ๆ ของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ที่บริเวณสวิตช์และหม้อแปลง (ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4) จึงได้ทำการทดสอบหลังจากใช้เทคนิคสำคัญ ๆ ผลการทดสอบหลังจากใช้เทคนิคต่างๆ ได้ผลดังรูปที่ 5.2, 5.3, 5.4



รูปที่ 5.2 ผลการทดสอบหลังจากใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้า

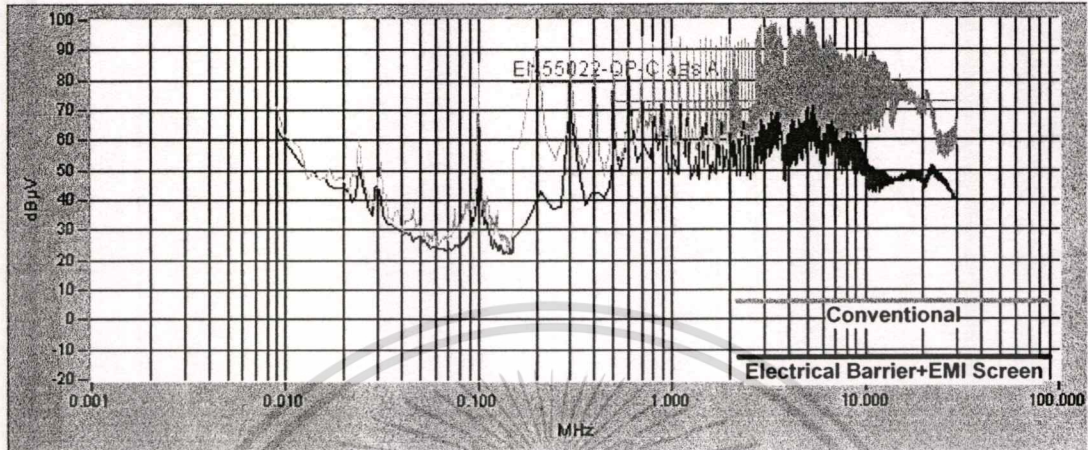


รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบหลังจากใช้เทคนิค Faraday shield บริเวณแผงระบายความร้อนและสวิตช์

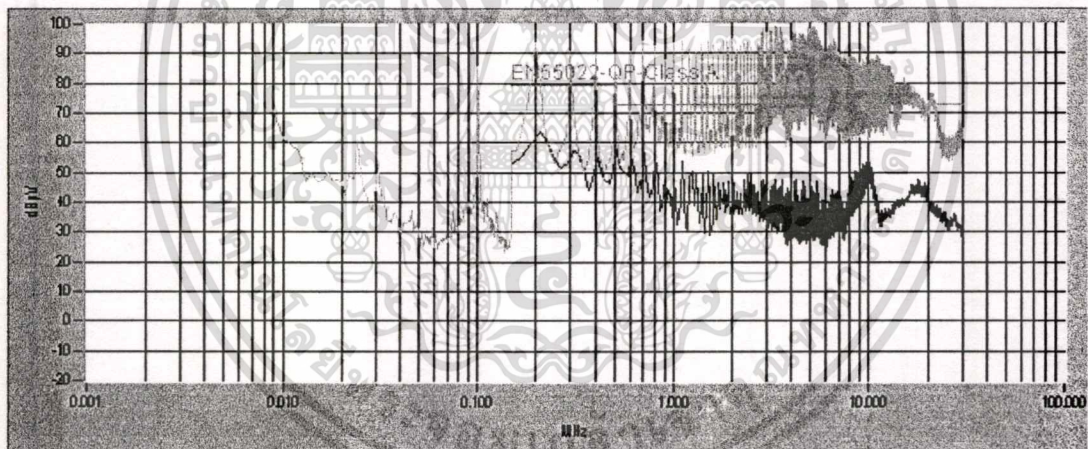
รบกวนลงได้มากแต่ก็ไม่เพียงพอที่จะผ่านการทดสอบตามมาตรฐานได้ อีกหนทางหนึ่งที่จะสามารถลดสัญญาณรบกวนได้ก็คือลด dv/dt โดยทำการเพิ่มตัวต้านทานอนุกรมกับวงจรถับ ทั้งนี้เนื่องจากการใส่ตัวต้านทานเข้าไปในนั้นส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของวงจรโดยรวมจึงเลือกความต้านทานไม่มากประมาณ 20 โอห์ม และทำการต่อโคโอดขนานเข้ากับตัวต้านทานเพื่อช่วยมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิดค่าความสูญเสียจนยอมรับไม่ได้และเพื่อเป็นการลดทอนสัญญาณรบกวนให้มีค่าน้อยที่สุดจึงเลือกใส่ Y-cap เข้าไปในวงจรเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวดักสัญญาณรบกวนอีกทอดหนึ่ง ผลการทดสอบในขั้นสุดท้ายแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบหลังจากใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้าร่วมกับฉากรก EMI บริเวณหม้อแปลง



รูปที่ 5.5 ผลการทดสอบภายหลังใส่ตัวต้านทาน 20 โอห์มที่วงจรขับและใส่ Y-cap และใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้าร่วมกับฉากรก EMI บริเวณหม้อแปลงและเทคนิคอื่นๆ

จากผลการทดสอบเห็นได้ว่า Y-cap และค่าความต้านทานที่วงจรขับมีผลอย่างมากต่อสัญญาณรบกวน ค่าของถูกจำกัดโดยค่าประสิทธิภาพของวงจร ส่วนค่าตัวเก็บประจุ (Y-cap) ถูกจำกัดด้วยมาตรฐานกระแสรั่วๆไหลของระบบได้ไม่เกิน 3-5mA โดยสามารถประมาณค่าตัวเก็บประจูดังกล่าวให้มีค่าได้ไม่เกินตามสมการที่ 5.1

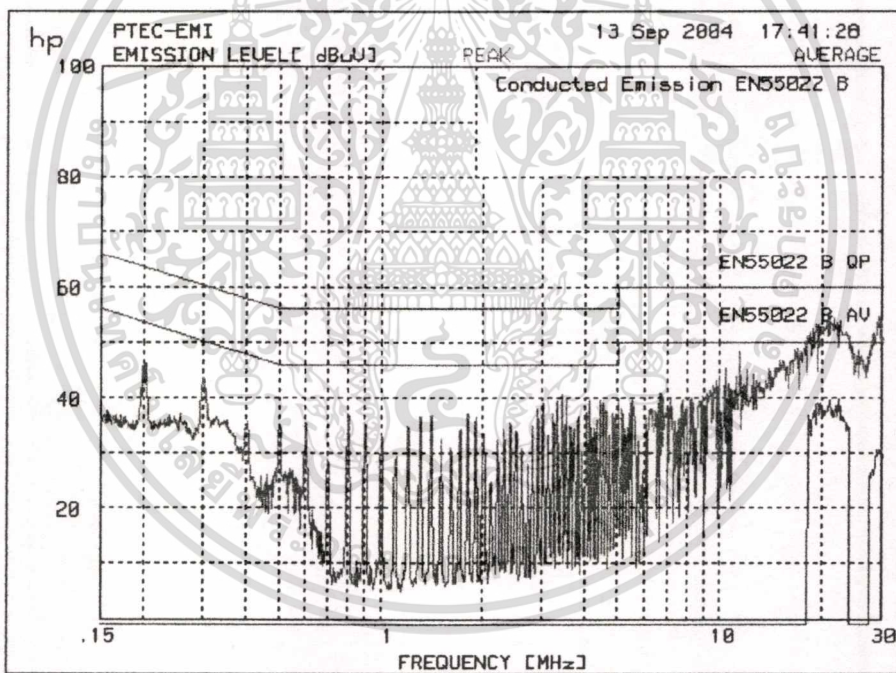
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_s = \frac{I_g}{U_m \times 2\pi f_m} \times 10^6 \text{ nF} \quad (5.1)$$

เมื่อ U_m = แรงดันขาเข้า
 f_m = ความถี่ของแรงดันขาเข้า (50Hz)
 I_g = ค่ากระแสรั่วไหล

ผลจากการคำนวณเมื่อแรงดันขาเข้า 230 โวลต์ ค่ากระแสรั่วไหลไม่เกิน 3.5mA ดังนั้นค่าของตัวเก็บประจุ (Y-cap) มีค่าได้ไม่เกิน 0.05nF และนี่คือเหตุผลว่าทำไมจึงไม่สามารถเพิ่มค่าตัวเก็บประจุเพื่อลดสัญญาณรบกวนมากๆ ในการทดสอบได้ใช้ค่าตัวเก็บประจุ 220pF (Y2 Class) จำนวน 2 ตัวต่อทั้ง Line และ Neutron ลงตู้กราวนด์

เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดสอบข้างต้นจึงนำไปทดสอบตามมาตรฐานจริง ณ ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์แห่งชาติ (P-Tech) ผลการทดสอบแสดงไว้ดังรูปที่ 5.6

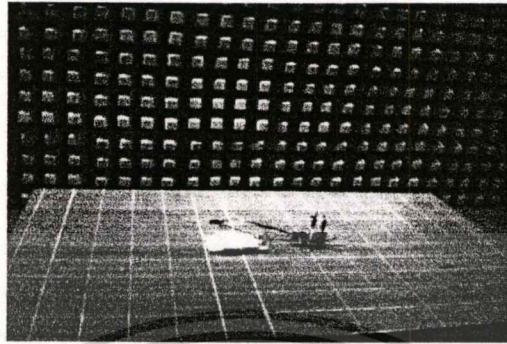


รูปที่ 5.6 ผลการทดสอบการสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านสายตัวนำ

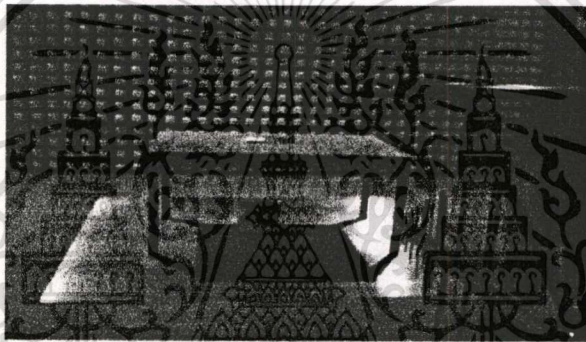
5.3 การรบกวนผ่านอากาศ (Radiated EMI)

เป็นธรรมชาติของสัญญาณรบกวน เมื่อมีสัญญาณรบกวนผ่านทางสายตัวนำมีน้อย แนวโน้มที่สัญญาณรบกวนจะแพร่กระจายไปในอากาศจึงมีน้อยด้วย ดังนั้นเทคนิคใด ๆ ที่ลดสัญญาณรบกวนผ่านทางสายตัวนำก็สามารถลดสัญญาณรบกวนผ่านทางสายอากาศด้วย รูปที่ 5.6 เป็นการแสดงการทดสอบในห้องซีลด์ของศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์และรูปที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

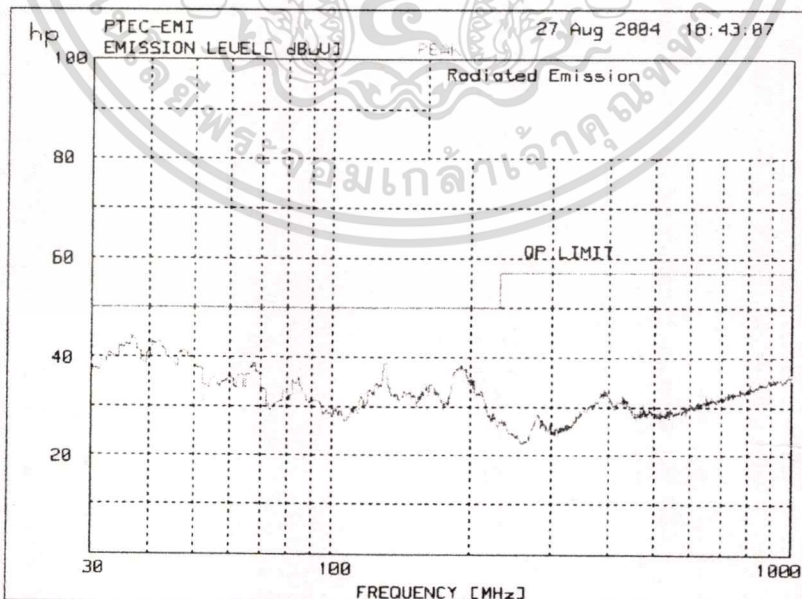
5.7 แสดงการวัดในแนวตั้งฉากและแนวตั้ง ส่วนรูปที่ 5.8 แสดงผลการทดสอบของแหล่งจ่ายกำลังไฟตรงที่มีได้ออกแบบเพื่อลดสัญญาณรบกวน ส่วนรูปที่ 5.9 เป็นผลการทดสอบหลังจากที่ได้ใช้เทคนิคต่างๆในหัวข้อที่ 5.2 แล้ว



รูปที่ 5.7 การทดสอบภายในห้องทดสอบที่มีการชีลด์ทั้งหมด



รูปที่ 5.8 การทดสอบทั้งในแนวตั้งและแนวตั้ง



รูปที่ 5.9 ผลการทดสอบสัญญาณรบกวนที่แพร่ทางอากาศหลักการปรับปรุงตามหัวข้อ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดสอบในการลดสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ขั้นตอนการออกแบบและทดสอบ	ผลการทดสอบสัญญาณรบกวนแพร่ทางสายตัวนำ (Conducted EMI) แสดงดังรูป
(1) เทคนิคกำแพงไฟฟ้า	รูปที่ 5.2
(2) = (1)+ เทคนิคชิลด์หุ้มเปลือก	รูปที่ 5.4
(3) = (1) + (2) + เพิ่มความต้านทาน 20 โอห์ม ในวงจรขับ + Y-cab + PCB Design + สนับเบอร์	รูปที่ 5.5 และ รูปที่ 5.6
ขั้นตอนการออกแบบและทดสอบ	ผลการทดสอบสัญญาณรบกวนแพร่ทางอากาศ (Radiated EMI) แสดงดังรูป
(3)	รูปที่ 5.9

5.4 สรุปผลการทดสอบ

การออกแบบเพื่อลดสัญญาณรบกวนนั้นสามารถทำได้หลายวิธีหลายเทคนิค การพึ่งเทคนิคหรือวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่งจะไม่สามารถลดสัญญาณรบกวนจนสามารถทดสอบผ่านมาตรฐานได้ ดังนั้นจึงต้องนำหลายๆเทคนิคมาใช้ร่วมกันจึงจะได้ผลที่ดี จากผลการทดสอบเทคนิคกำแพงไฟฟ้ามีคุณสมบัติและประสิทธิภาพที่ดี สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ตลอดย่านการวัด โดยที่ไม่กระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ ตรงข้ามกับเทคนิคเพิ่มค่าความต้านทานในวงจรขับเพื่อลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันหรือกระแสอย่างฉับพลันและการใช้สนับเบอร์ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพของระบบอันเป็นข้อจำกัดที่สำคัญ ในส่วนของ Passive EMI ฟิลเตอร์นั้นสามารถนำมาใช้ร่วมกันกับเทคนิคกำแพงไฟฟ้าได้ทันที โดยมีต้องมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เป็นที่ทราบกันว่าตัว EMI ฟิลเตอร์นั้นประกอบด้วย อุปกรณ์ที่เป็นแม่เหล็กอยู่ 2 ชนิด คือ คอมมอนโหมด ไซค์และคิฟเฟอเรนเชียลโหมด ไซค์ และมีอุปกรณ์ตัวเก็บประจุ (Y-cab, X-cab) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ซึ่งเป็นแม่เหล็ก ก็สามารถทดสอบผ่านได้ ราคาของไซค์นั้นสูงเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ประเภทอื่นๆ เป็นผลให้สามารถลดต้นทุนการผลิต, ขนาดและน้ำหนักลงได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถทดสอบผ่านมาตรฐานสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยไม่ใช้ EMI ฟิลเตอร์ได้ แต่ก็ยังไม่เคยทดลองประยุกต์ใช้กับแหล่งจ่ายไฟที่มีกำลังสูง (มากกว่า 100 วัตต์) ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับวิศวกรนักออกแบบและตัวผู้แต่งเองจะทำการพัฒนาและวิจัยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ridley, Ray; Designers Series, Part V, Current-Mode Control Modeling, in Switching Power Magazine, 2001
- [2] Vatche, Vorperian; Simplified Analysis of PWM Converters Using Model of PWM Switch Part 1: Continuous Conduction Mode, IEEE trans. on Aerospace and Electronic Systems, Volume 26, Number 3, May 1990.
- [3] Ridley, Ray; A New Small-Signal Model For Current Mode Control, Ph. D. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, November 1990.
- [4] Abraham I. Pressman, "Switching Power Supply Design", the McGraw-Hill Companies, Inc.
- [5] Robert W. Erickson, Dragan Maksimoivic, "Fundamentals of Power Electronics second Edition", Boulder, Colorado.
- [6] Henry w. Ott, "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems", John Wiley & sons.
- [7] John C. fluke, Sr. , "Controlling Conducted Emissions By Design", Van nostrand Reinhold .
- [8] Marty Brown, "Practical Switching Power Supply Design", Academic press, inc
- [9] George Chrysis, "High Frequency Switching Power Supplies Theory and Design", the McGraw-Hill Companies, Inc
- [10] M. Shoyama, T.M. Okunaga, G. Li, T. Ninoyama, "Balance switching converter to reduce common-mode conducted noise", IEEE PESC 2001 Record, pp. 451-456, jun., 2001
- [11] Power Integration inc, "Top switch FLYBACK Design Methodology" Application note an-16
- [12] On semiconductor Christophe Basso, "Implementing the NCP1200 in Low-Cost AC_DC Converter" Application note for ncp1200
- [13] Magnetic inc, "Magnetic Cores for Switching Power Supplies"
- [14] Ridley, Ray, "Flyback Converter Snubber Design" Switching Power Magazine
- [15] Marty Brown, Fairchild Semiconductor, "Designing PCBs for Embedded Switching power Supplies"
- [16] Chaivat Theirakul, "Design for reduction EMI of flyback switching power supply" International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2003) Gyeongju, Korea

ภาคผนวก ก

เทคนิคกำแพงไฟฟ้า (Electrical Barrier)



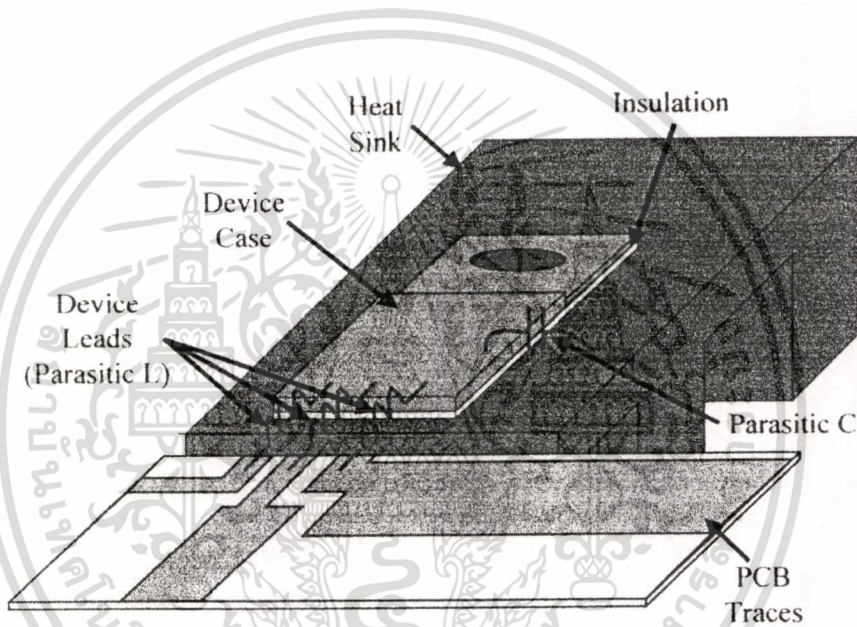
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เทคนิคกำแพงไฟฟ้า

1. การทำงานของวงจรถวาย

เป็นที่ทราบกันดีโดยทั่วไปว่าสัญญาณรบกวนคอมมอนโหมดเกิดจากตัวเก็บประจุแฝงดังแสดงในรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 ปรากฏการณ์ตัวเก็บประจุแฝงระหว่างแผงระบายความร้อนและสวิตช์

กระแสสัญญาณรบกวนจะไหลเป็นไปตามสมการที่ ก.1

$$I_{cm} = C \frac{dv}{dt} \quad (ก.1)$$

ดังนั้นถ้าเราสามารถลด dv/dt ให้ลงเหลือเป็นศูนย์ได้ กระแสสัญญาณรบกวนก็จะไม่มีด้วย โดยทั่วไปมักใช้ค่าความต้านทานต่ออนุกรมเข้าไปที่วงจรขับแต่ก็ทำให้ประสิทธิภาพของวงจรถวายลง อย่างไรก็ตามค่า dv/dt นี้อาจแบ่งเป็นช่วงระยะเวลา Turn off และ Turn on ของสวิตช์ได้ดังสมการที่ ก.2 และ ก.3 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงสวิตช์ Turn off (Charge ประจุ)

$$\frac{dv}{dt} = \frac{(V_{reflec} + V_{in})}{T_s} \quad (ก.2)$$

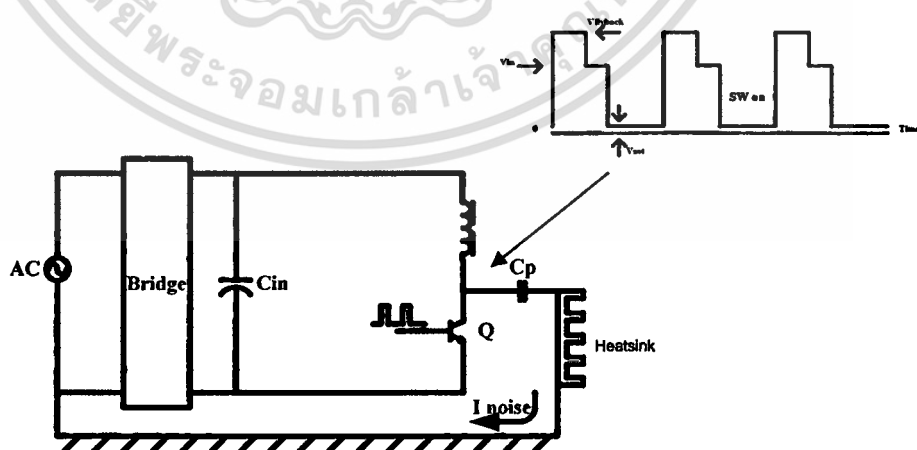
ช่วงสวิตช์ Turn on (คายประจุ)

$$\frac{dv}{dt} = \frac{(V_{reflex} + V_{in}) - V_{sat}}{T_s} \quad (ก.3)$$

โดยที่กระแสสัญญาณรบกวนจะไหลในทิศทางข้ามกันสลับกันไปมาตลอดเวลาแน่นอน ถึงแม้ว่าค่ากระแสที่ไหลจะมีจำนวนน้อยแต่ลักษณะรูปคลื่นของกระแสจะฉีดผ่านตัวเก็บประจุแฝง ทำให้ตัววัดสัญญาณรบกวนตรวจและมีย่านสูง (การวัดใช้ค่า Peak เป็นหลักมิใช่ใช้ค่า Average) ดังนั้นการลด dv/dt จึงสามารถทำได้โดยพยายามมิให้แรงดันตกคร่อมของตัวเก็บประจุแฝงมีค่าน้อยที่สุด จึงเป็นที่มาของเทคนิคกำแพงไฟฟ้า

2. การลด dv/dt โดยเทคนิคกำแพงไฟฟ้า

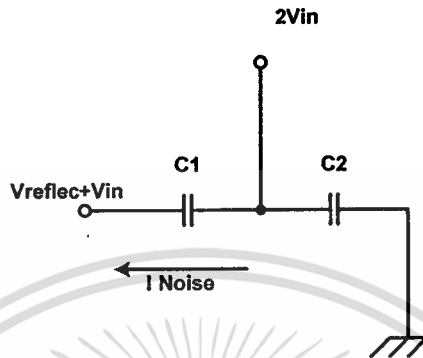
ปกติแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแฝงจะมีลักษณะดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแฝง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นถ้าเราสามารถกำหนดแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแฝงได้ก็จะสามารถควบคุมกระแสสัญญาณรบกวนได้เช่นกัน



รูปที่ ก.3 แนวคิดเทคนิคกำแพงไฟฟ้า

การใส่แรงดันเข้าไปที่บริเวณตัวเก็บประจุแฝงแล้วจะทำให้กระแสสัญญาณรบกวนไหลไปในทิศทางเดียวและมีได้ไหลกราวนด์ เทคนิคนี้ทำงานคล้ายกับการป้องกันมิให้กระแสสัญญาณรบกวนไหลลงสู่กราวนด์ทำให้กลายเป็นสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมด ดังนั้นค่า dv/dt จึงเปลี่ยนไปเป็นตามสมการที่ ก.4 และ ก.5

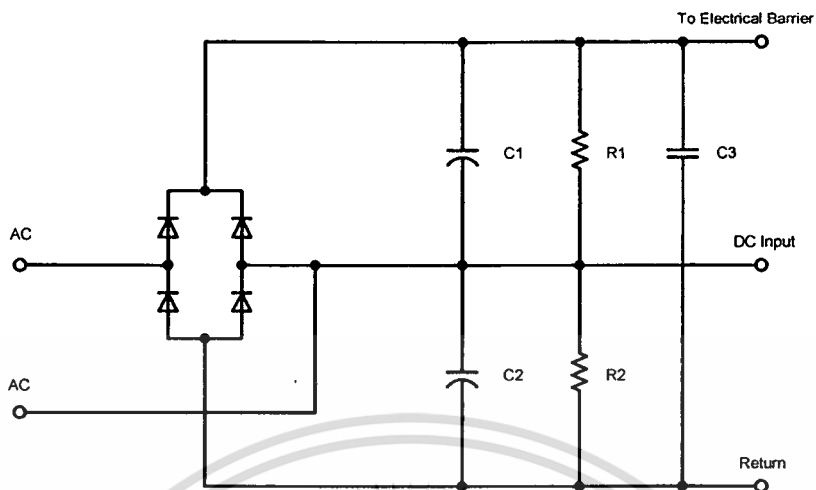
ช่วงสวิตช์ Turn off (Charge ประจุ)

$$\frac{dv}{dt} = \frac{2V_{in} - (V_{reflec} + V_{in})}{T_s} \tag{ก.4}$$

ช่วงสวิตช์ Turn on (คายประจุ)

$$\frac{dv}{dt} = \frac{2V_{in} - V_{sat}}{T_s} \tag{ก.5}$$

จากสมการทั้งสองจะเห็นได้ว่าด้วยหลักการดังกล่าวสามารถลดค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดในช่วงเวลาสวิตช์ Turn off ได้มากจนมีค่าแรงดันที่แตกต่างกันเพียงไม่กี่โวลต์ ดังนั้นในการพัฒนาเทคนิคนี้ให้นำไปใช้งานได้จริงจึงต้องใช้วงจรเพิ่มระดับแรงดันขาเข้าเป็น 2 เท่า (Double Voltage Rectifier) ดังที่แสดงในรูปที่ ก.4

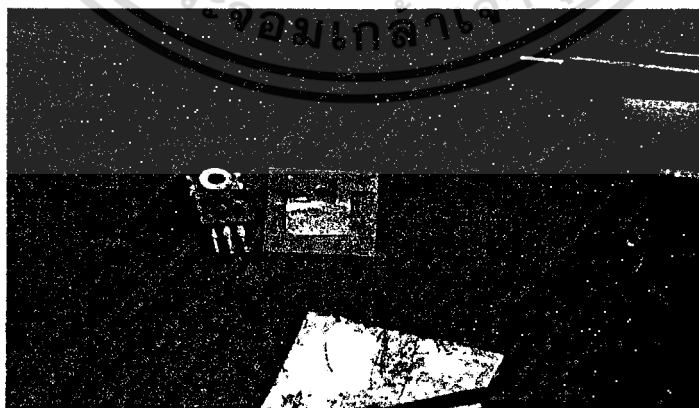


รูปที่ ก.4 วงจรทวีคูณแรงดัน

ค่าของตัวเก็บประจุ C1 ไม่จำเป็นต้องมีค่ามากก็ได้เพราะไม่ได้มีโหลดมากมายอะไร แต่สิ่งที่ต้องคำนึงก็คือค่า C2 นั้นต้องมีค่ามากกว่าปกติ 1 เท่าตัว เนื่องจากมันรับกระแสที่ไหลจากวงจรเรียงกระแสเพียงครั้งคลิ่นเท่านั้น

3. การสร้างฉนวนที่ทำหน้าที่เป็นกำแพงไฟฟ้า

การสร้างฉนวนดังกล่าวใช้ลักษณะการสร้างคล้ายๆกับแจนวิช โดยมีฉนวนอยู่ด้านนอกทั้งสองด้านและมีแผ่นตัวนำอยู่ตรงกลาง (ในที่นี้ใช้แผ่นทองแดง) โดยทำการต่อแผ่นตัวนำเข้ากับวงจรทวีคูณแรงดัน หลังจากนั้นก็ทำการประกอบฉนวนเข้ากับแผงระบายความร้อนและตัวสวิตซ์ตามปกติ

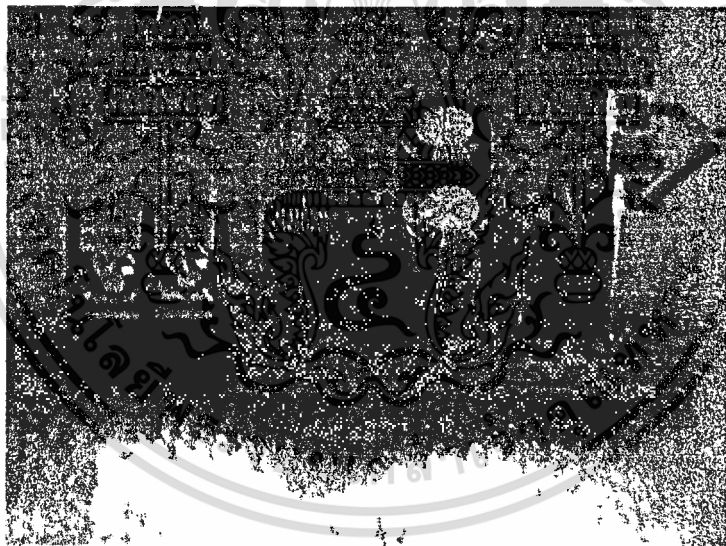


รูปที่ ก.5 การประกอบฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 แสดงภาพของสวิดซ์, ฉนวน, แผงระบายความร้อนหลังเสร็จสิ้นการประกอบ

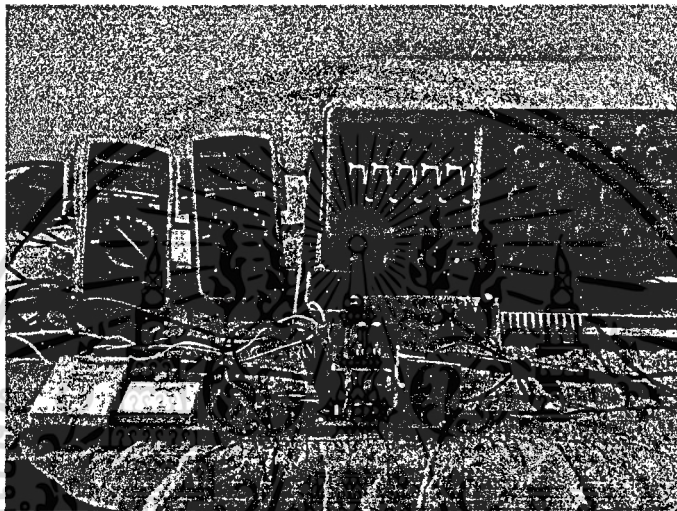


รูปที่ ก.7 วงจรทวีคูณแรงดัน

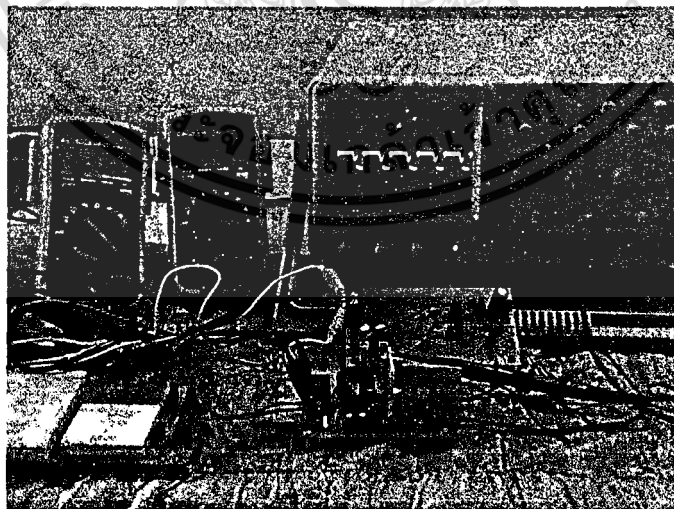
สิ่งที่ต้องระวังเป็นพิเศษคือต้องระวังมิให้แผ่นทองแดงติดกับน้ำอัดหรือสกรูที่ทำการขันสวิดซ์ เข้ากับแผ่นตัวนำเป็นอันขาดมิฉะนั้นจะเกิดการลัดวงจรอย่างรุนแรง หลังจากเสร็จสิ้นการประกอบควร วัดค่าความต้านทานระหว่างแผ่นตัวนำและแผงระบายความร้อนก่อนเสมอเพื่อมั่นใจว่าจะไม่เกิดการ ลัดวงจรเมื่อต่อแผงระบายความร้อนลงกราวนด์เซพตี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเป็นการยืนยันว่าเทคนิคดังกล่าวลดการคลั่งปลั่งผ่านตัวเก็บประจุลงได้จริง จึงทำการวัดแรงดันบริเวณแผงระบายความร้อน (ไม่ต่อแผงระบายความร้อนลงสู่กราวนด์เซพตี้) เพื่อที่จะดูรูปคลื่นว่าสามารถลด dv/dt ที่เป็นตัวฉีกระแสไหลลงสู่กราวนด์ได้มากน้อยเพียงไร รูปที่ ก.8, ก.10 แสดงการวัดรูปคลื่นของแรงดันและกระแสแบบธรรมดาโดยไม่ใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้า ส่วนรูปที่ ก.9, ก.11 เป็นลักษณะรูปคลื่นของแรงดันและกระแสหลังจากใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้า

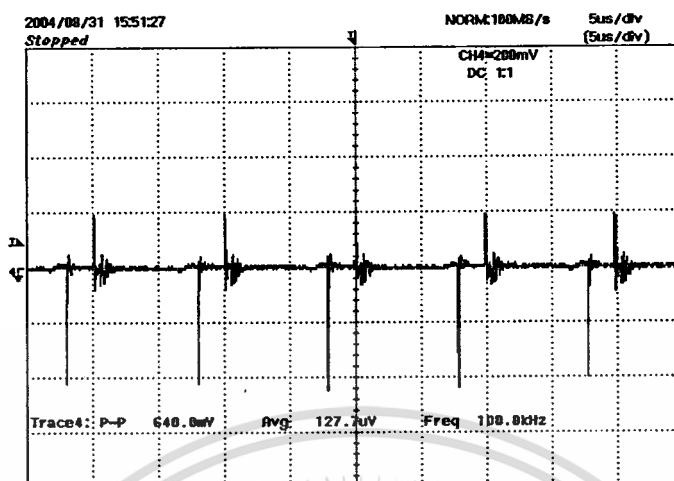


รูปที่ ก.8 การคลั่งปลั่งสัญญาณไปที่แผงระบายความร้อน

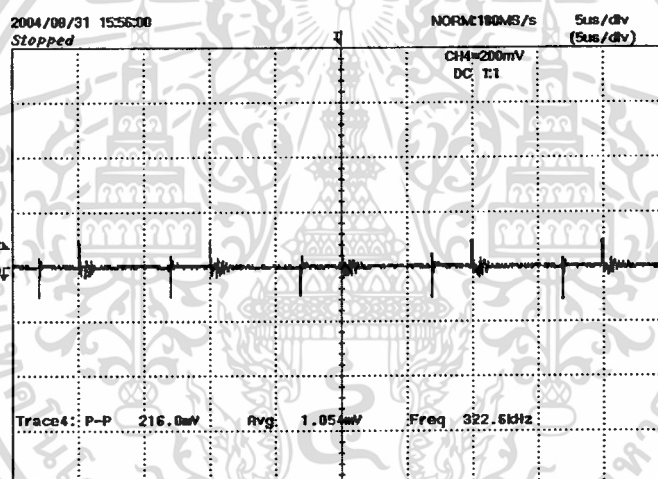


รูปที่ ก.9 ลดการคลั่งปลั่งโดยเทคนิคกำแพงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.10 รูปคลื่นของกระแสไหลไหลลงสู่กราวด์ตามปกติ



รูปที่ ก.11 รูปคลื่นของกระแสที่ไหลลงสู่กราวด์หลังจากใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้า

จากผลการวัดทดสอบปรากฏว่าที่ระดับแรงดันขาเข้า, โหลดที่เท่ากันและใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกันทุกอย่าง การใช้เทคนิคกำแพงไฟฟ้าสามารถลดการคลั่งปลั่งลงได้เหลือเพียง 1 ใน 4 ส่วนของการคลั่งปลั่งปกติ ดังนั้นจึงไม่แปลกใจเลยที่เทคนิคดังกล่าวสามารถลดสัญญาณรบกวนผ่านสายตัวนำได้มากกว่า 30dB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A new reduction common mode noise by rerouting for balancing circuit is presented in this paper. A new shield insulator is constructed by sandwiching. Fig. 2 shows a construction of insulators which has an electric plane connection to first copper shield (point 2) and connection of neutron to second copper shield (point 3).

The new shielded insulation can decrease the parasitic capacitance to be 1/3 of original value. The capacitor C_1 and C_2 is used for source balance by dividing source into two parts that can control common mode current flowing in two loops. And the voltage source can be designed to a desired voltage level by using voltage divider R_1 and R_2 , so that the dv/dt rating between point 1 and point 2 can adjusted by the value of R_1 and R_2 . The low dv/dt rating is low conducted EMI generation, therefore the voltage at electric plane or balance line should be as high as possible ($\approx V_{dc}$ input), so that dv/dt is decreased because voltage transient at terminal not compare to ground but its reference is balance line. The second shielded element is conducted to source of MOSFET or neutron line, the dv/dt across the parasitic capacitance (C_{p3}) and the chassis becomes zero. The common mode current will not flow pass through capacitor, C_{p3} to safety ground or chassis. Fig. 3 shows the schematic of improved the common mode noise of proposed flyback switched mode power supply.

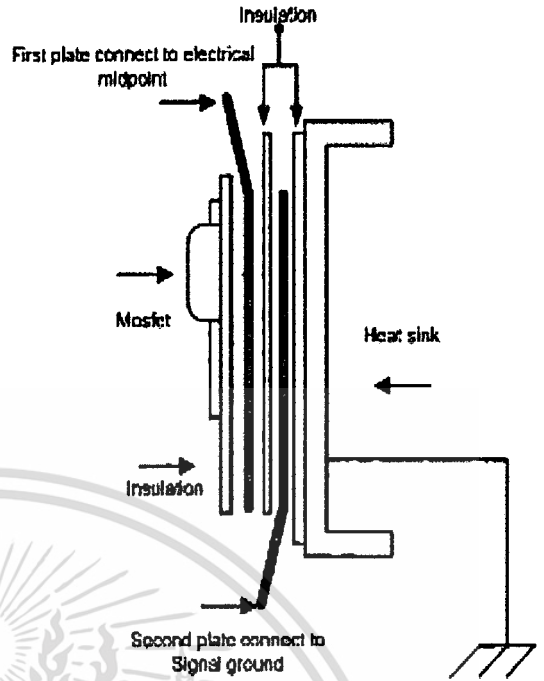


Fig. 2 Shows a construction the new insulation of heatsink

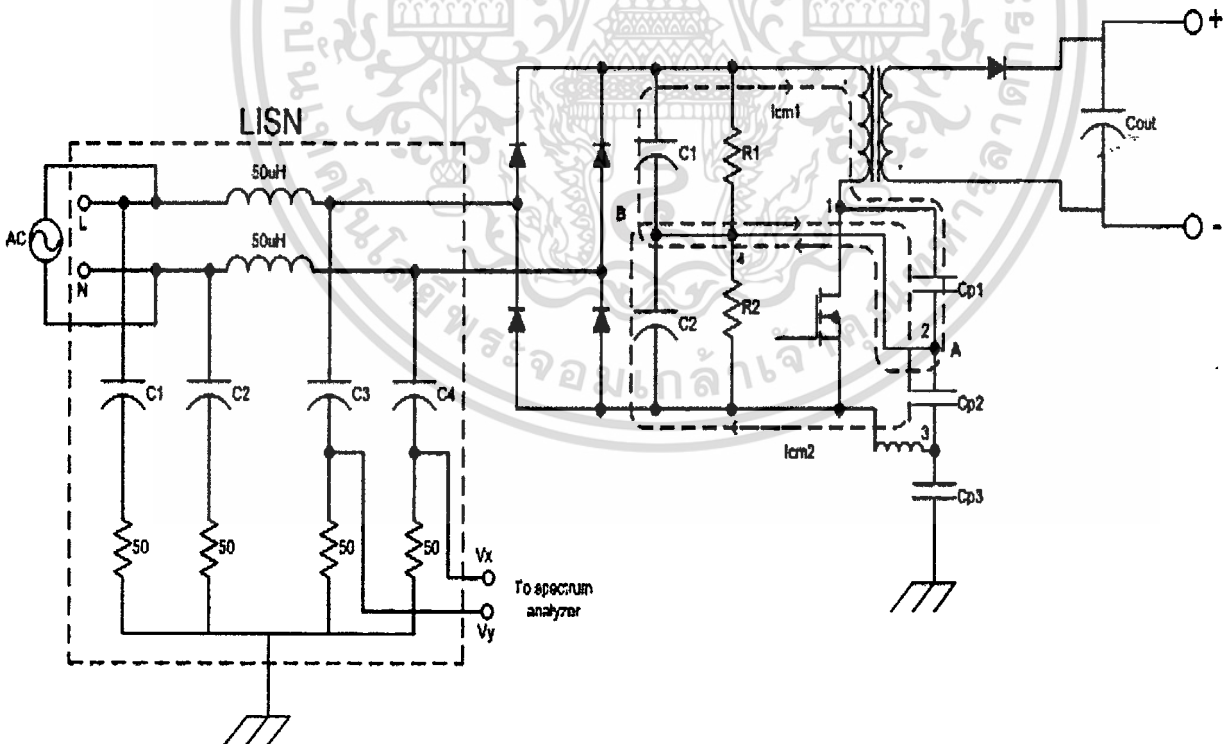


Fig. 3 Schematic of proposed balanced of flyback switched mode power supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The effect from dividing voltage source in two parts that can build two loops of common mode noise current which has equal of noise source and the common mode can be controlled to flows in electric plane or balance line with same amplitude but opposite polarity.

The balancing topology [4], [5] is concept cancellation of both signal that have equal amplitude but opposite of phase. In flyback switching power supply, we can make equal impedance in line and neutron by add inductor between point 3 and neutron. The inductor will increase impedance of neutron to have closed impedance with line. Testing result of rerouting for balancing circuit is show fig. 4, 5

In order to confirm eliminate common mode noise of rerouting for balancing circuit, we use current probe to measure a common mode noise current between conventional circuit in flyback switching power supply as show in fig 6 and compare to the improvement with rerouting for balancing circuit as show in fig. 7

Another source of common mode noise is current charge and discharge parasitic capacitance at rectifier in secondary side because of the rectifier output maybe used heatsink same power MOSFET in primary side.

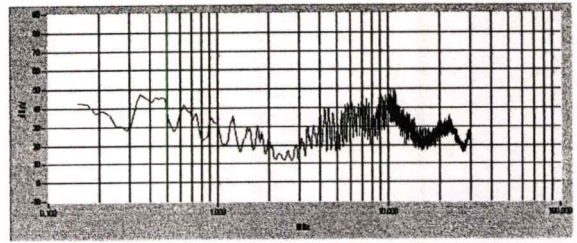


Fig. 6 Common mode noise in conventional circuit

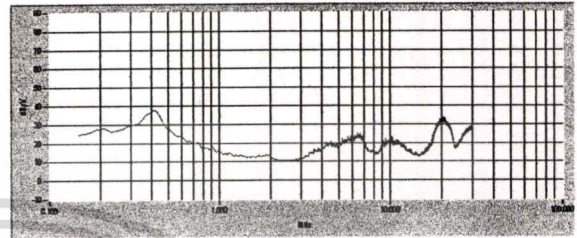


Fig.7 Common mode noise of rerouting for balancing techniques

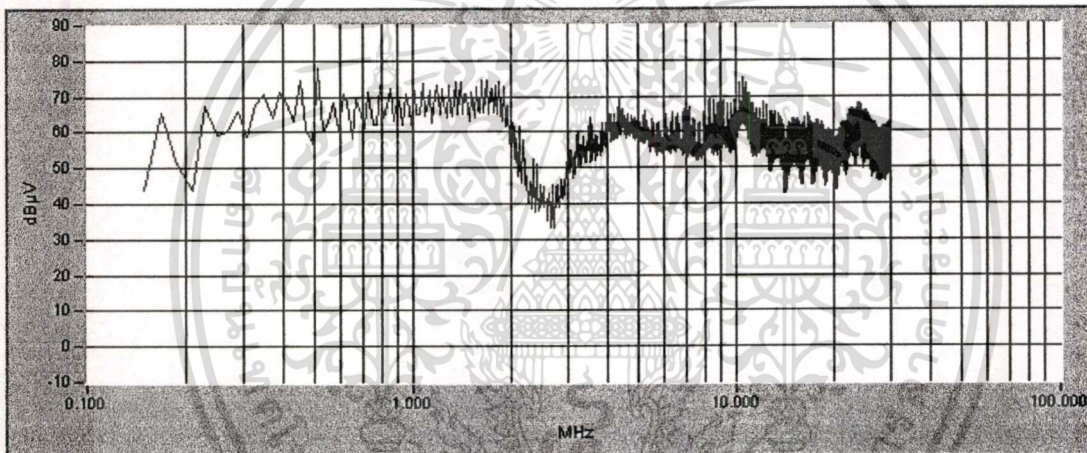


Fig. 4 Conventional flyback switching power supply EMI Testing result

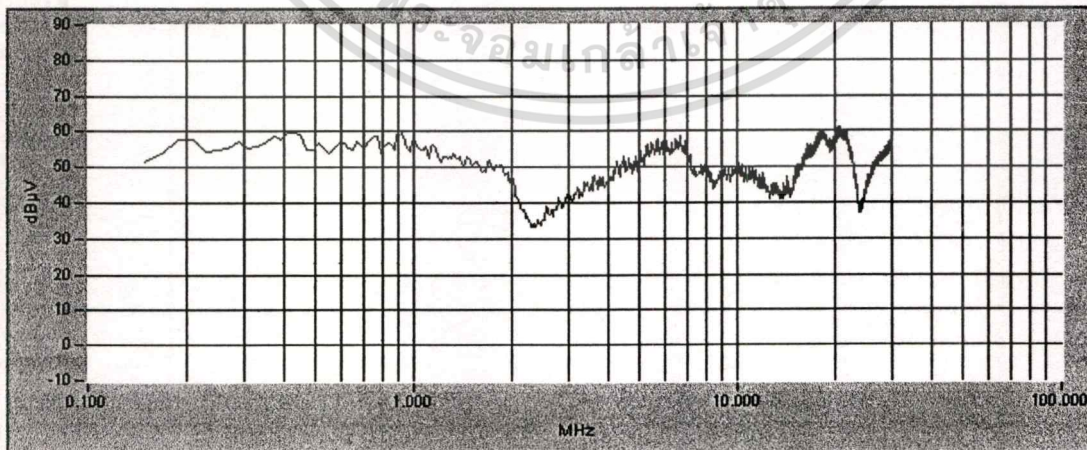


Fig. 5 Proposed balanced flyback switching power supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The common mode current can flow from secondary side to primary side through the feedback path. An isolation feedback circuit technique is cut a route of common mode noise. The opto couple was used to isolation feedback loop and will cut route of common mode current flow. The conducted noise was decrease than 5dB. Fig 8 show common mode path from secondary side to primary side. Fig. 9 show measure result of isolation techniques.

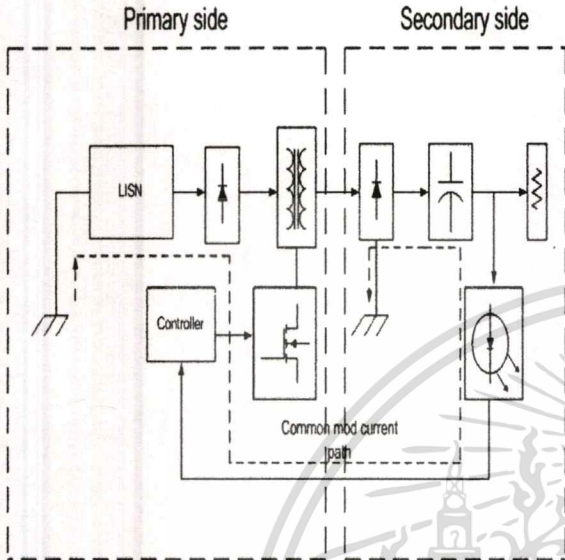


Fig. 8 Shows a common mode current flowing from secondary side to primary side

3. DIFFERENTIAL MODE REDUCTION TECHNIQUES

Differential mode noise has the same concept of common mode noise, i.e., turn on and turn off of MOSFET and diode, charge and discharge of parasitic capacitance. The differential mode noise is develop across the equivalent series resistance and inductance (ESR, ESL) therefore, the lower differential mode noise, electrolytic should be paralleled with film or ceramic capacitors.

Differential noise, some times the by-product of signals such as clocks or power supply switching waveforms, is directed coupled into the circuit and/or is inherent to the circuit. The path is inherent to the circuit [3].

Magnetic loop coupling problems are generally created by poor circuit layout. Signal and return line should be laid out to create as small a loop as possible. The magnetic field strength is proportional to the area of the loop [6]. The ways to improve differential noise are balancing voltage noise on both LISN resistor, reduce rise time fall time.

The dv/dt can be reduce by increasing the switching time. The series resistance is adding in gate drive circuit can increase turn on and turn off time. This method can reduce noise in gain many dB but its increase switching loss effect to overall efficiency. Fig. 10 shows testing result of adding resistance series in gate drive circuit.

The differential mode noise is measure by voltage different between both resistances of LISN. The balancing circuit at input AC terminal can decrease voltage differential across LISN resistance. Non polar capacitance have used to balancing voltage between line and neutron. The performance of reduce differential mode noise is value with current and voltage. Certainly higher capacitive can decrease differential voltage better than lower capacitive.

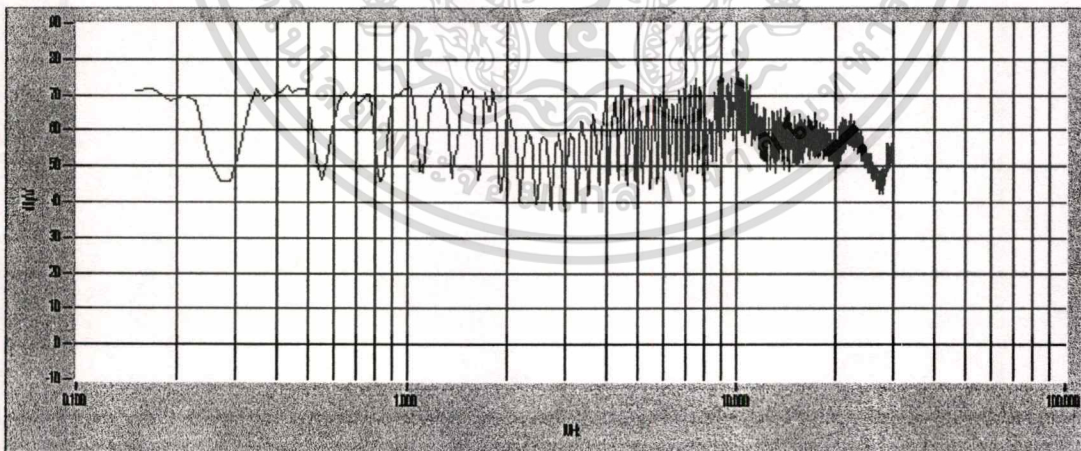


Fig.9 Measurement result after providing isolation feedback circuit

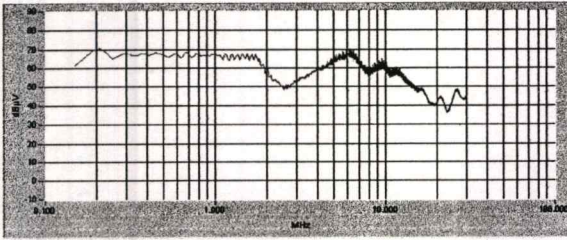


Fig. 10 Testing result after add series resistor

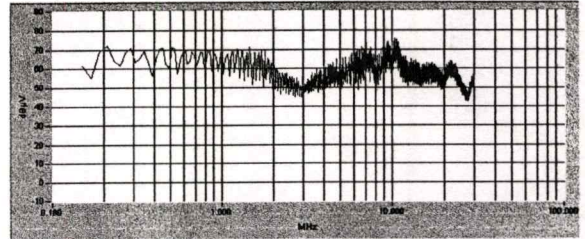


Fig. 11 Measurement result after adding C_x capacitor across the input power line

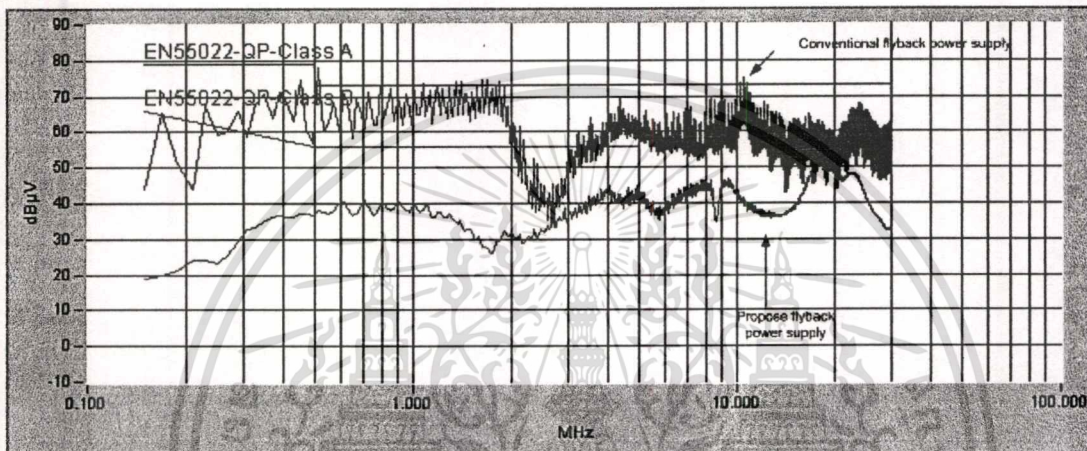


Fig. 12 Final testing result pass EN55022 class B standard with margin 9dB/uV

4. CONDUCTED EMISSION STANDARD

CISPR22/EN55022 is the reference of limits and method of measurement of ratio interference characteristics of information technology equipment standard. The final measure is shows on Fig. 12 (compare with conventional testing) has margin at least 9db/V from limit line

5. CONCLUSION

EMI problem can be solved by EMI filter but the goal of this paper is minimum requirement or not used any EMI filter. From final measure show that proposed flyback switching power supply can meet EN55022 by not used any filter. Designer can do all presented techniques earlier in design state and safe cost, time better than use filtering after design state.

REFERENCES

[1] M. Shoyama, T.M. Okunaga, G. Li, T. Ninoyama, "Balance switching converter to reduce common-mode conducted noise", IEEE PESC 2001 Record, pp. 451-456, jun., 2001
 [2] M. Shoyama, T.M. Ohba, T. Ninoyama, "Balanced Buck-Boost Switching Converter to Reduce common-mode Conducted Noise", IEEE

[3] L'aszlo' Tihanyi "Electromagnetic compatibility in power electronics." IEEE press, 1995
 [4] H.W. Ott, Noise reduction techniques in Electronic Systems, John Wiley & Sons, Inc., second., 1988.
 [5] John c. Fluke, Sr., Controlling Conducted Emissions by Design, Van Nostrand Reinhold., 1991.
 [6] Dennis F. Knurek, Reduction EMI in Switch Mode power Supplies," in proceeding of conference INTELEC pp.441-420., 1988

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาย ชัยวัฒน์ เถระกุล
วันเดือนปีเกิด	เกิดเมื่อวันที่ 2 กันยายน 2519 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 29/50 ถนนสุนทร โภชา เขตคลองเตย แขวงคลองเตย จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10110 โทรศัพท์ 02-2495961
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากคณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ปีการศึกษา 2545 เข้าศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรม ระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุนทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2547
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	มีผลงานทางวิชาการที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่จำนวนหนึ่งเรื่องคือ “Design for reduction EMI of Flyback Switching Power supply” International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2003) Gyeongju ,Korea
พ.ศ. 2546	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้