

ความสามารถในการกำจัด نویส์แบบแอกทีฟของสวิตซิ่งโหมดคอนเวอร์เตอร์ใน  
วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

Active Noise Cancellation Ability of Switching Mode Converter in DC Motor Drive



โดย  
นายคมสันต์ นาอุดม  
นายธนเวศ บุญนิธิรักษ์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....62320  
วัน,เดือน,ปี. 16 ส.ค. 2549

b.....11621096  
l.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง                    **ความสามารถในการกำจัดนัยส์แบบแอกทีฟของสวิตซ์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในวงจร  
ขับเคลื่อนมอเตอร์**  
**Active Noise Cancellation Ability of Switching Mode Converter in DC Motor  
Drive**

ผู้จัดทำ            **นายคมสันต์ นาคคม                    46015297**

**นายธนเวศ บุญนิธิรักษ์               46015306**



**.....** อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รศ.ดร. โยธิน เปรมปรีดิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการกำจัด نویส์แบบแอกทีฟของสวิตชิ่งโหมดคอนเวอร์เตอร์ใน  
วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

Active Noise Cancellation Ability of Switching Mode Converter in DC Motor Drive

โดย

นายคมสันต์ นาอุดม 46015297

นายชนวนศ นุญนิริรักษ์ 46015306

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์

บทคัดย่อ

ในการประยุกต์ใช้วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์นั้น ในบางครั้งมีความต้องการวงจรที่มีคุณภาพสูงด้วยการก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับต่ำ แต่อย่างไรก็ตามในวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบเดิมมักจะไม่ได้ใช้เทคนิคการบาลานซ์วงจรซึ่งจะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กในระดับที่สูงผ่านทางกราวด์เฟรม

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอวงจรสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ใช้เทคนิคการบาลานซ์วงจรซึ่งเป็นวิธีที่ได้ผลดีในการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น โดยการทำให้กระแสของสัญญาณรบกวนแบบคอมมอนโหมดในสายส่งกำลังขาไป และสายส่งกำลังขากลับมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางการไหลตรงข้ามกันและเกิดการหักล้างกันในกราวด์เฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการกำจัดรบกวนสเปกตรัมของสวิตชิ่งโหมดคอนเวอร์เตอร์ใน  
วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

Active Noise Cancellation Ability of Switching Mode Converter in DC Motor Drive

โดย

นายคมสันต์ นาอุดม 46015297

นายชนเวช บุญนิธิรักษ์ 46015306

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์

ABSTRACT

In some requirements of dc motor drive circuit application are high quality output with generation of low internal EMI. However the conventional dc motor drive circuit have been usually using unbalanced circuit which generates the high EMI to the frame ground.

This thesis presents a balanced dc motor drive motor circuit which is effective way to reduce the commom-mode conducted noise. The circuit balancing is to make the noise pick up or occurring in both conductor lines, sending power line and returning power line are equal in amplitude and opposite phase so that it will cancel out in the frame ground.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำในทุกๆเรื่อง ตลอดจนให้ความเอาใจใส่ถามถึงความก้าวหน้าและปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ผู้จัดทำมีแรงบันดาลใจในการทำงานและสามารถทำงานได้อย่างมีระบบ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม และ ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือ ตลอดจนสถานที่ รวมทั้งอำนวยความสะดวกในเรื่องต่างๆจนสามารถทำปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จได้

ขอขอบคุณ พระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่เคยสอนผู้จัดทำ จนสามารถเรียนรู้และสร้างสม ประสพการณ์มาทำเป็นปริญญาโทฉบับนี้ได้

และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ของคณะผู้จัดทำที่ได้ให้โอกาสเล่าเรียน จนถึงทุกวันนี้ ตลอดจนสนับสนุนและได้ให้กำลังใจเสมอมา

คณะผู้จัดทำ

นายคมสันต์ นาอุดม

นายธนเวศ บุญนิริรักษ์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VI
บทที่1 บทนำ	1
บทที่2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า	2
2.1.1 ปัญหาซึ่งเกิดจากสัญญาณรบกวน (Noise Problem)	2
2.1.2 สาเหตุของการเกิดและประเภทของสัญญาณรบกวน	4
2.1.3 องค์ประกอบของสัญญาณรบกวน	5
2.2 การลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการบาลานซ์	5
2.3 วงจรดีซี ทู ดีซี คอนเวอร์เตอร์	8
2.3.1 การขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ด้วย ดีซี ทู ดีซี คอนเวอร์เตอร์	9
2.3.2 คำนวณค่ากระแสและแรงดันของวงจร ดีซี ทู ดีซี คอนเวอร์เตอร์	11
บทที่3 การวิเคราะห์ออกแบบและการสร้าง	13
3.1 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในวงจรขับดีซีมอเตอร์แบบไม่สมดุล	13
3.1.1 วิเคราะห์การไม่สมดุลในสายส่งด้านไหลไปและด้านไหลกลับ	14
3.1.2 ทิศทางการไหลของกระแสของกระแสไฟเฟอเรนเชียลโหมดและคอมมอน โหมด	15
3.2 วงจรขับดีซีมอเตอร์แบบสมดุล	16
3.2.1 การปรับปรุงวงจรให้เกิดการสมดุล	16
3.2.2 การหักล้างกันของแรงดันรบกวน	17
3.2.3 การหักล้างกันของกระแสรบกวน	18
บทที่4 การทดลองและผลการทดลอง	19
4.1 เงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบ	19
4.1.1 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ	19
4.2 ผลการทดลองวงจรขับดีซีมอเตอร์แบบไม่สมดุล	19
บทที่5 บทวิจารณ์และการสรุป	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากคลื่นเสียงมากระทบกับแผ่น ไดอะแฟรม	4
รูปที่ 2.2 ความต้านทานที่อยู่ระหว่างไมโครโฟน และ ผู้พูด	5
รูปที่ 2.3 สถานีขยายสัญญาณ ไฟฟ้าที่ระยะทางต่าง ๆ ในการสื่อสารแบบอนาลอก	5
รูปที่ 2.4 รูปคลื่นของสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาลอก	7
รูปที่ 2.5 รูปคลื่นของสัญญาณไฟฟ้าแบบดิจิทัล	8
รูปที่ 2.6 รูปลักษณะสัญญาณเมื่อมีสัญญาณมาขยาย	8
รูปที่ 2.7 สถานีขยายสัญญาณ ไฟฟ้าที่ระยะทางต่าง ๆ ในการสื่อสารแบบดิจิทัล	9
รูปที่ 2.8 แสดงปุ่มกดบนหน้าปัดของเครื่อง PDX 500 GENERATOR	15
รูปที่ 2.9 แสดงพอร์ตเอาต์พุตต่าง ๆ ของเครื่อง PDX 500 GENERATOR	15
รูปที่ 2.10 แสดงขาทางพอร์ตเอาต์พุตของเครื่อง PDX 500 GENERATOR	16
รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานของเครื่อง PDX 500 GENERATOR	20
รูปที่ 2.12 แสดง Block Diagram ของ USB-6008/6009	21
รูปที่ 2.13 แสดงรูปร่างภายนอกของ USB-6008/6009	21
รูปที่ 2.14 แสดงช่องสัญญาณต่าง ๆ ของอนาล็อกอินพุต	22
รูปที่ 2.15 แสดงช่องสัญญาณต่างๆ ของดิจิทัลเอาต์พุต และ อินพุต	23
รูปที่ 2.16 แสดงหน้าต่างของ Front Panel และ Block Diagram	24
รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างการเขียน โปรแกรม LabVIEW ใน Block Diagram	26
รูปที่ 2.18 แสดง Block Diagram การทำงานของ โปรแกรม LabVIEW	26
รูปที่ 2.19 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรม LabVIEW	28
รูปที่ 2.20 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel	30
รูปที่ 2.21 แสดง Tool Palette	30
รูปที่ 2.22 แสดง Operate Value Tool	31
รูปที่ 2.23 แสดง Position /Size /Select Tool	31
รูปที่ 2.24 แสดง Edit Text Tool	31
รูปที่ 2.25 แสดง Set Color Tool	32
รูปที่ 2.26 แสดง Object Shortcut Menu Tool	32
รูปที่ 2.27 แสดง Scroll Window Tool	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 แสดง Get Color	33
รูปที่ 2.29 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Block Diagram	34
รูปที่ 2.30 แสดง Tools Palette สำหรับ Block Diagram	34
รูปที่ 2.31 แสดง Front Panel Toolbar	35
รูปที่ 3.1 Block Diagram หลัก	36
รูปที่ 3.2 Block Diagram ควบคุมสัญญาณอนาล็อก	37
รูปที่ 3.3 SubVis ภายใน Block Diagram ของA/O	37
รูปที่ 3.4 DAQmxBase Create Task	37
รูปที่ 3.5 DAQmxBase Create Virtual Channel Analog Output	38
รูปที่ 3.6 DAQmxBase Start Task	38
รูปที่ 3.7 Digital U8 1Chan 1Samp	39
รูปที่ 3.8 DAQmxBase Stop Task	39
รูปที่ 3.9 DAQmxBase Clear Task	39
รูปที่ 3.10 SubVis Digital Output	40
รูปที่ 3.11 SubVis ภายใน Digital Output	40
รูปที่ 3.12 DAQmxBase Create Task	40
รูปที่ 3.13 DAQmxBase Create Virtual Channel Digital Output	41
รูปที่ 3.14 DAQmxBase Start Task	41
รูปที่ 3.15 Digital 1D U8 NChannel 1Samp	42
รูปที่ 3.16 DAQmxBase Stop Task	42
รูปที่ 3.17 DAQmxBase Clear Task	42
รูปที่ 3.18 Sub Vis แสดงผล	43
รูปที่ 3.19 ฟังก์ชันการทำงานของ อนุพัทธ์อินพุต	43
รูปที่ 3.20 DAQmxBase Create Task	43
รูปที่ 3.21 DAQmxBase Create Virtual Channel AI Voltage	44
รูปที่ 3.22 DAQmxBase Start Task	44
รูปที่ 3.23 Counter DBL 1Samp	45
รูปที่ 3.24 DAQmxBase Stop Task	45
รูปที่ 3.25 DAQmxBase Clear Task	45
รูปที่ 3.26 Front Panel ที่เกิดจากโปรแกรม LabVIEW	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.27 รูปวงจรขั้วรีเลย์	47
รูปที่ 3.28 แสดงรูปร่างภายใน และ การใช้งานร่วมกันของวงจรขั้วรีเลย์	48
รูปที่ 3.29 แผนผังการควบคุมหลัก	49
รูปที่ 3.30 แผนผังการปรับ Power Output	50
รูปที่ 3.31 แผนผังควบคุมเวลาการทำงาน	51
รูปที่ 2.32 แผนผังการเลือกฟังก์ชันการทำงาน	52
รูปที่ 3.33 แผนผังแสดงการปรับระดับพลังงาน	53
รูปที่ 3.34 แผนผังแสดงผลการทำงาน	54
รูปที่ 4.1 วงจรขั้วรีเลย์	55
รูปที่ 4.2 รูปการทดลองตอนที่ 4.1	55
รูปที่ 4.3 รูปการทดลองตอนที่ 4.3	58
รูปที่ 4.4 รูปกราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.3	61
รูปที่ 4.5 รูปกราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.4	63
รูปที่ 4.6 รูปการทดลองตอนที่ 4.5	64
รูปที่ 4.7 รูปการทดลองตอนที่ 4.5	65
รูปที่ 4.8 รูปกราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.5	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดง ย่านความถี่ ความถี่ และความยาวคลื่น	2
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของเทอร์มิสเตอร์ชนิด เอ็นทีซี ที่ใช้กันบ่อย ๆ	13
ตารางที่ 2.3 แสดงขา ชื่อของแต่ละขา และ คุณสมบัติต่าง ๆ	16
ตารางที่ 4.1 แสดงการทำงานของกล่องแยกหัวเข็ม	56
ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และค่าความถี่ต่าง ๆ	56
ตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิ และอุณหภูมิเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าค่าต่าง ๆ ในเวลา 10 วินาที	59
ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิ และอุณหภูมิเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าค่าต่าง ๆ ในเวลา 20 วินาที	60
ตารางที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิ และอุณหภูมิเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าค่าต่าง ๆ	62
ตารางที่ 4.6 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางรอยแผล	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่

# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้มีการให้ความสนใจในเรื่องของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference: EMI) ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆมากขึ้น และเป็นปัญหาที่เกือบทุกประเทศต่างให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆให้มีการทำงานที่ผิดพลาด ไม่ว่าจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆภายในบ้าน เครื่องมือทางการแพทย์และอุตสาหกรรมต่างๆ ไปจนถึงเครื่องมือทางการแพทย์ โดยเครื่องมือเหล่านี้นอกจากจะถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดอื่นภายนอกแล้ว ยังอาจเกิดการรบกวนจากวงจรภายในตัวมันเองอีกด้วย รวมถึงอาจทำตัวเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าไปรบกวนเครื่องมือที่อยู่ใกล้เคียงโดยการไหลผ่านสายตัวนำ (conducted EMI) หรือการแพร่กระจายทางอากาศ (radiated EMI)

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

จุดมุ่งหมายของปริญญาโทฉบับนี้ คือ การปรับปรุงวงจรสำหรับขับดีซีมอเตอร์ให้มีระดับสัญญาณรบกวนที่ลดลง โดยได้ทำการศึกษาถึงสาเหตุของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในวงจรขับดีซีมอเตอร์แบบไม่สมดุลแล้วทำการปรับปรุงวงจรเพื่อแก้ไขปัญหาโดยใช้เทคนิคของการทำให้วงจรเกิดความสมดุล (Balanced circuit) เพื่อให้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นสามารถหักล้างกันได้

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษาในปริญญาโทฉบับนี้ คือ ทำการศึกษาถึงการเกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในวงจรขับดีซีมอเตอร์ โดยพิจารณาถึงสาเหตุของปัญหา และวิธีการแก้ไขปัญหาเพื่อปรับปรุงวงจรใหม่ที่สามารถทำงานได้เหมือนวงจรเดิม แต่สามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้ดี

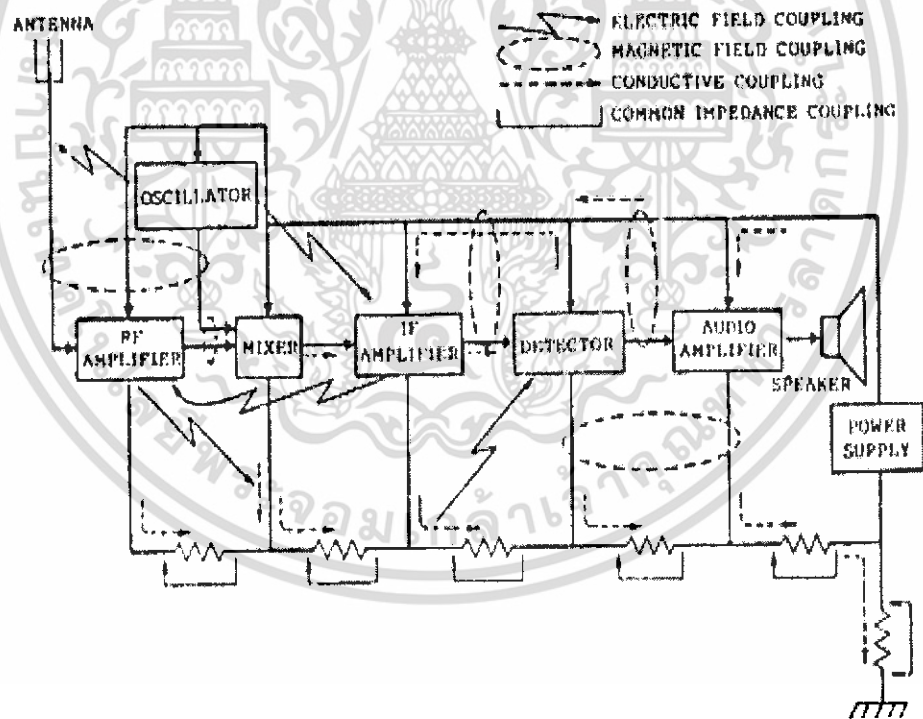
## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

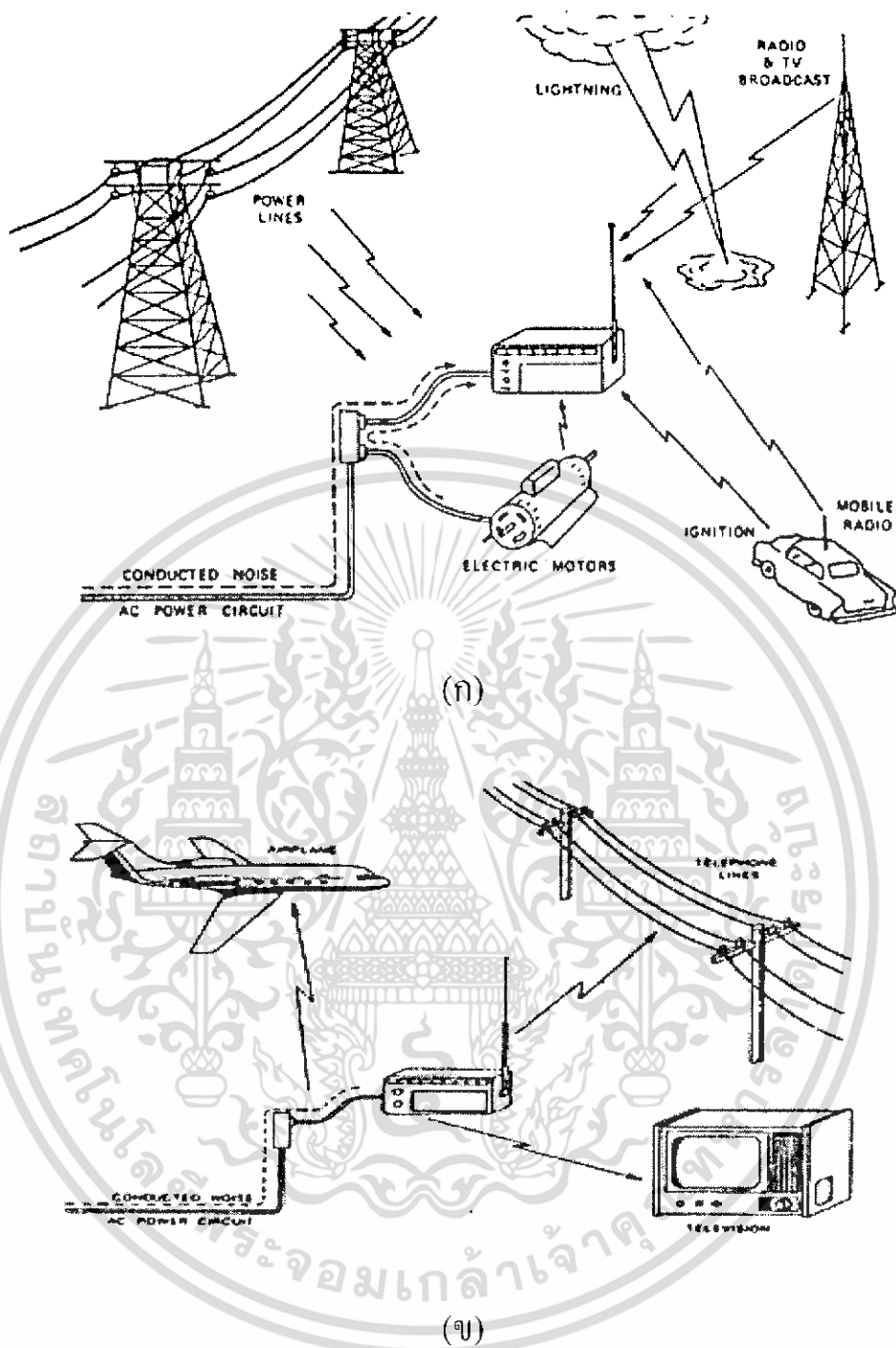
#### 2.1.1 ปัญหาซึ่งเกิดจากสัญญาณรบกวน (Noise Problem)

ปัจจุบันได้มีการนำวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ทำให้วงจรต่างๆต้องทำงานในระยะเวลาที่ใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น ผลก็คือ วงจรเหล่านั้นอาจสร้างสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรบกวนเรื่องสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้น เพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้ดีในสภาวะแวดล้อมจริง ผู้ออกแบบวงจรจำเป็นต้องคำนึงถึงปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนด้วย โดยวงจรมันต้องไม่สร้างสัญญาณรบกวนแก่วงจรอื่น อีกทั้งจะต้องไม่ถูกรบกวนจากวงจรอื่นเช่นกัน



รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในของเครื่องรับวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงแหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ทั่วไปและเส้นทางการคับปลิ่งสู่เครื่องรับ

จากรูปที่ 2.1 แสดงบล็อคดีอะแกรมของวงจรภายในเครื่องรับวิทยุ ซึ่งมีปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนเช่นเกิดจากการเดินสายไฟ และการต่อกราวด์โดยมีอิมพีแดนซ์ที่กราวด์ร่วมกัน เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่มีผลต่อการสร้างสัญญาณรบกวนทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.2(ก) แสดงสัญญาณรบกวนจากภายนอก เช่นเมื่อเรานำเครื่องรับวิทยุไปใช้งานจริงซึ่งผู้ออกแบบจำเป็นต้องป้องกันสัญญาณรบกวนทั้งจากภายในและภายนอกเพื่อให้อุปกรณ์ที่ออกแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากรูปที่ 2.2(ข) แสดงปัญหาภายนอกเหนือจากที่ได้กล่าวมา คือนอกจากจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นแล้วอุปกรณ์ที่เราออกแบบขึ้นอาจสร้างสัญญาณไปรบกวนอุปกรณ์ชนิดอื่นๆ ได้ ดังนั้นนอกจากการป้องกันไม่ให้ถูกรบกวนจากวงจรอื่นแล้ว

### 2.1.2 สาเหตุของการเกิดและประเภทของสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวน (Noise) คือสัญญาณไฟฟ้าในวงจรที่เกิดขึ้น นอกเหนือไปจากสัญญาณที่ได้ออกแบบเอาไว้แต่จะต้องเข้าใจว่าสัญญาณเอาต์พุตที่มีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear) กับอินพุตนั้นไม่ใช่สัญญาณรบกวน แต่เป็นปัญหาที่เกิดจากการออกแบบวงจร เว้นแต่ว่าสัญญาณดังกล่าวจะไปรบกวนวงจรอื่น เช่นนั้น เราจะเรียกว่าเป็นสัญญาณรบกวน

การรบกวน (interference) คือผลของสัญญาณรบกวนที่ทำให้วงจรทำงานได้ไม่ดีเท่าที่ควร โดยมากแล้วเราไม่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปให้หมดสิ้น แต่สามารถลดสัญญาณจนกระทั่งไม่ก่อให้เกิดการรบกวนได้

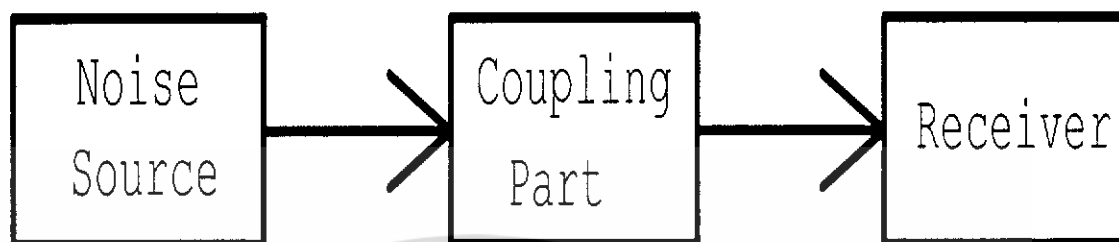
ความไวต่อสัญญาณรบกวน (susceptibility) แสดงให้เห็นความสามารถของอุปกรณ์หรือวงจรในการตอบสนองสัญญาณรบกวน โดยที่วงจรนี้ยังสามารถทำงานต่อไปได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ

เราสามารถแบ่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนออกเป็น 3 ชนิดตามลักษณะของแหล่งกำเนิดดังนี้คือ

1. แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนรบกวนภายในเนื้อสาร (Intrinsic noise source) ซึ่งเป็นผลจากการปล่อยอิเล็กตรอนหรือ โฮล(Hole) ไม่น่าอน โดยสัญญาณรบกวนชนิดนี้เกิดขึ้นได้ทั้งหลอดสุญญากาศและอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำต่างๆ และที่เกิดจากผลของอุณหภูมิ ทำให้อิเล็กตรอนแปรปรวน ซึ่งเป็นอิเล็กตรอนในความต้านทาน เช่น เทอร์มอลนอยส์ (thermal noise) และ ช็อตนอยส์ (shot noise) เป็นต้น
2. แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนที่สร้างโดยมนุษย์ (Man-made noise source) เช่น มอเตอร์ หรือ สวิตช์ เป็นต้น
3. แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนธรรมชาติ (Natural noise source) เช่น ฟ้าผ่า ฟ้าร้อง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 องค์ประกอบของสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมองค์ประกอบของสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 2.3 Noise Source คือ แหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวน และ Receiver คือตัวรับสัญญาณรบกวน โดยมี Coupling Part เป็นทางผ่านของสัญญาณรบกวนจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนไปยังตัวรับสัญญาณรบกวน โดยทางผ่านของสัญญาณรบกวนจะสามารถแบ่งตามลักษณะของทางเดินได้ 2 รูปแบบคือ

1. สัญญาณรบกวนผ่านทางสายตัวนำ (Conducted EMI) คือมีเส้นทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนไปยังตัวรับสัญญาณรบกวนโดยผ่านทางสายตัวนำหรือกราวด์
2. สัญญาณรบกวนที่แพร่กระจายทางอากาศ (Radiated EMI) คือมีเส้นทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนไปยังตัวรับสัญญาณรบกวนโดยผ่านทางอากาศ

## 2.2 การลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการบาลานซ์

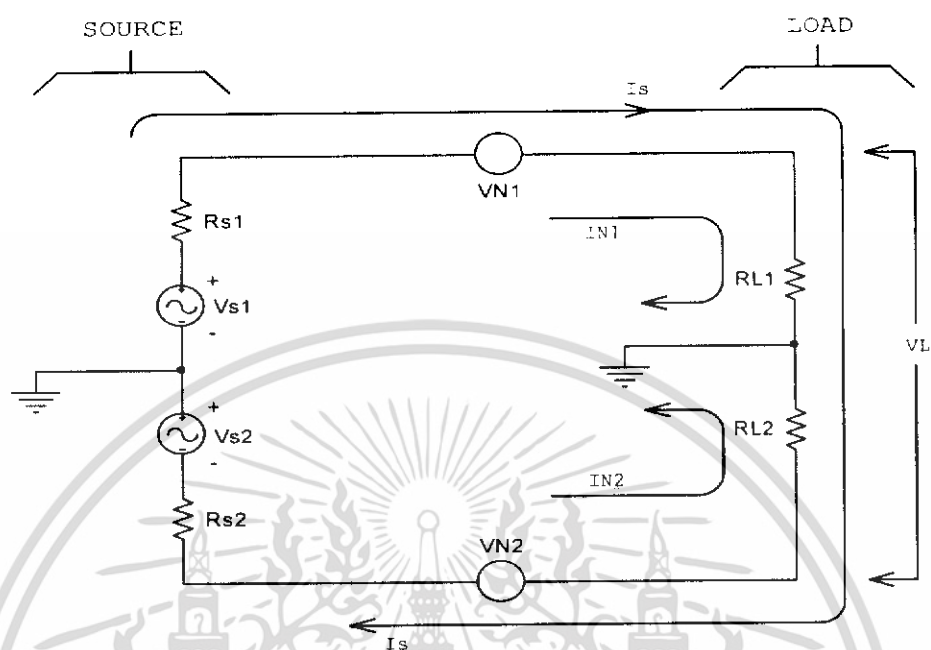
วงจรที่สมดุล (balanced circuit) คือวงจรที่ประกอบด้วยตัวนำ 2 เส้นที่มีอิมพีแดนซ์เทียบกับกราวด์ (หรือเทียบกับตัวนำตัวอื่นๆ) เท่ากัน จุดประสงค์ในการบาลานซ์เพื่อที่จะทำให้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นบนตัวนำทั้งสองมีขนาดเท่ากัน ซึ่งสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ในรูปของคอมมอน โหมดและจะหักล้างกันพอดีที่เอาท์พุท

การใช้วงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลหรือดิฟแอมป์ เป็นวิธีหนึ่งในการนำหลักของเรื่องการบาลานซ์ (balancing) ไปใช้งาน โหมดของดิฟแอมป์นั้นจะมีลักษณะสมดุลอยู่แล้ว ในขณะที่ภาคแหล่งกำเนิดสัญญาณเป็นส่วนที่ไม่สมดุลซึ่งเกิดขึ้นจากความต้านทานภายในของแหล่งกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$R_s$  ดังนั้นหากเราทำให้ภาคแหล่งกำเนิดสมดุลเทียบกับกราวนด์ได้ วงจรทั้งระบบก็จะเป็นวงจรที่สมดุล ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลที่สมดุล

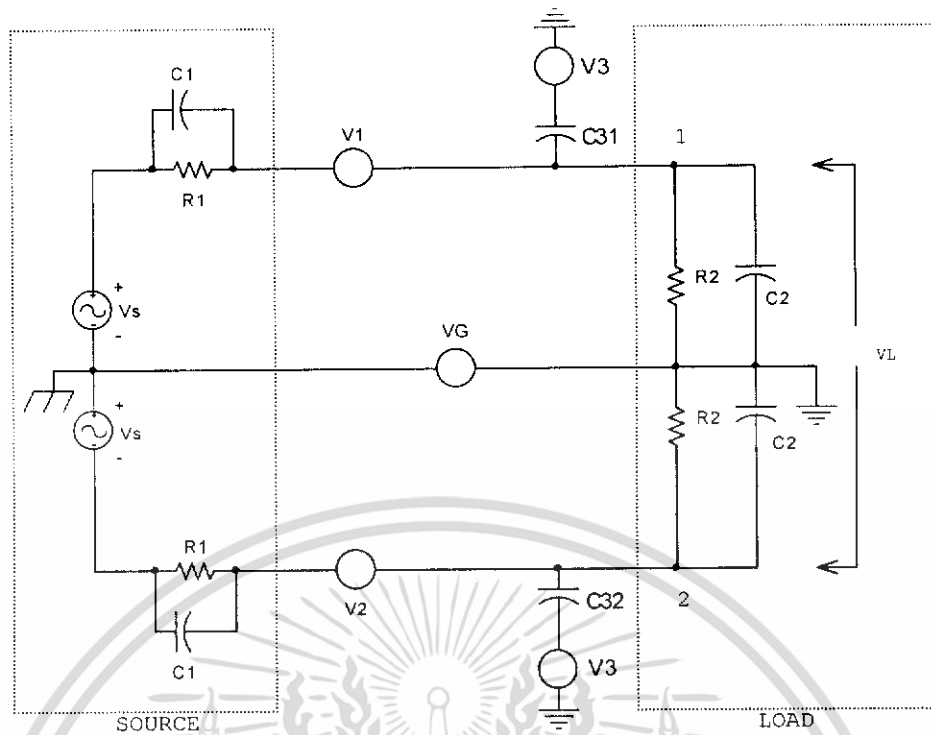
$V_{N1}$  และ  $V_{N2}$  คือแรงดันรบกวนที่เกิดขึ้นในตัวนำ ส่วนแรงดันรวมของ  $V_{s1}$  และ  $V_{s2}$  จะก่อให้เกิดกระแสสัญญาณ  $I_s$  ขึ้น ดังนั้น  $V_L$  ที่ปรากฏที่โหลด คือ

$$V_L = I_{N1} \cdot R_{L1} - I_{N2} \cdot R_{L2} + I_s (R_{L1} + R_{L2}) \quad (2.1)$$

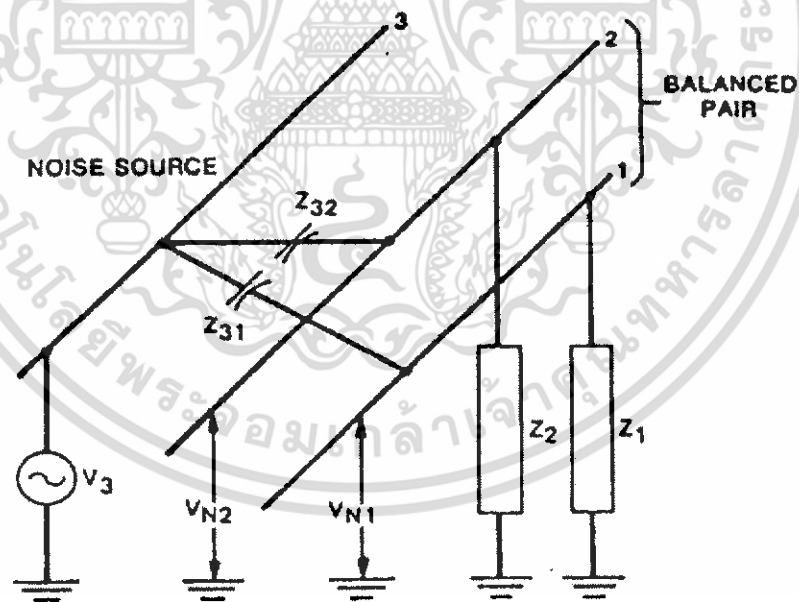
สองเทอมแรกในสมการ 2.1 คือแรงดันจากสัญญาณรบกวน และเทอมสุดท้ายคือแรงดันจากสัญญาณที่เราต้องการ ดังนั้นหาก  $I_{N1} = I_{N2}$  และ  $R_{L1} = R_{L2}$  แล้วจะได้

$$V_L = I_s (R_{L1} + R_{L2}) \quad (2.2)$$

สำหรับวงจรสมดุลรูป 2.5 นั้น  $V_1$  และ  $V_2$  คือแรงดันรบกวนซึ่งเกิดจากการคับปลิงผ่านสนามแม่เหล็ก  $V_3$  คือแรงดันรบกวนจากการคับปลิงของสนามไฟฟ้าผ่านตัวเก็บประจุ  $C_{31}$  และ  $C_{32}$   $V_G$  คือความต่างศักย์ระหว่างกราวนด์ แรงดันของสัญญาณรบกวนที่ขั้ว 1 และ 2 ซึ่งเกิดจาก  $V_3$  หาได้จากรูป 2.6 โดยที่อิมพีแดนซ์  $Z_1$  และ  $Z_2$  คืออิมพีแดนซ์รวมระหว่างตัวนำในวงจรที่ 1 และ 2 เทียบกับกราวนด์ตามลำดับ



รูปที่ 2.5 (Equivalent circuit) แสดงแรงดันรบกวนส่วนต่างๆของวงจร



รูปที่ 2.6 (Equivalent circuit) แสดงแรงดันรบกวน VN1 และ VN2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาแรงดันรบกวนซึ่งเกิดจาก  $V_3$  ได้ดังนี้

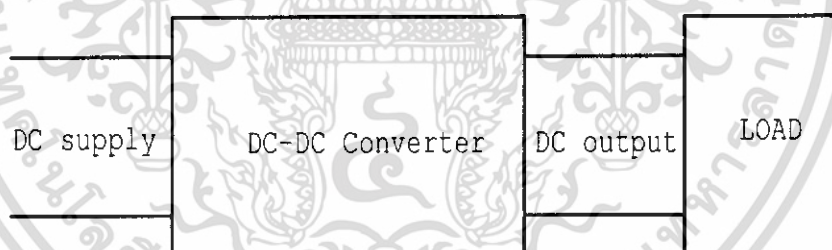
$$V_{N1} = V_3[Z_1/(Z_1+Z_{31})] \quad (2.3)$$

$$V_{N2} = V_3[Z_2/(Z_2+Z_{32})] \quad (2.4)$$

ถ้าหากวงจรเป็นชนิดสมมูลอิมพีแดนซ์  $Z_1$  จะเท่ากับ  $Z_2$  และถ้าตัวนำ 1 และ 2 เป็นชนิดคู่ตัวนำที่พันกันอิมพีแดนซ์  $Z_{31}$  จะมีค่าใกล้เคียงกับ  $Z_{32}$  ซึ่งในกรณีเช่นนี้  $V_{N1}$  ประมาณเท่ากับ  $V_{N2}$  และสัญญาณรบกวนจะหักล้างกันที่โหลด และเนื่องจากคู่ตัวนำชนิดพันกันสามารถลดสัญญาณรบกวนซึ่งเกิดจากการคับปลิงแบบอินดักทีฟได้ค่อนข้างดี ในทางปฏิบัติจึงนิยมนำคู่ตัวนำพันกันมาใช้ในวงจรสมมูล

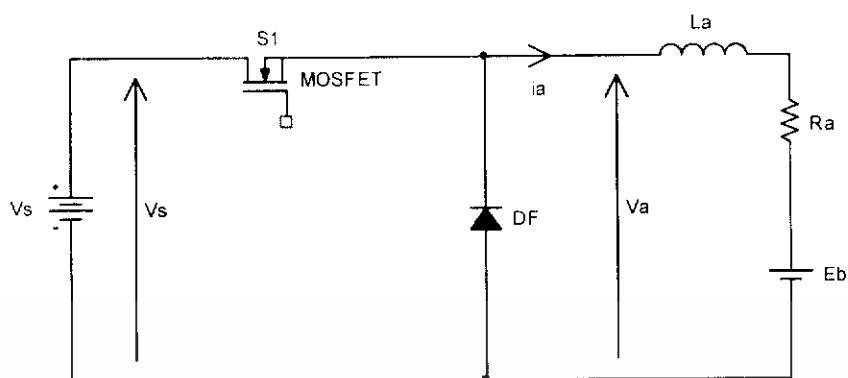
### 2.3 วงจรดีซี ทู ดีซี คอนเวอร์เตอร์

วงจรดีซี ทู ดีซี คอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่รับแรงดันไฟตรงทางด้านอินพุตแล้วทำการปรับค่าแรงดันไฟตรงให้เป็นไปตามที่ต้องการเพื่อจ่ายออกทางด้านเอาต์พุต โดยทั่วไปแล้ววงจร ดีซี ทู ดีซี คอนเวอร์เตอร์ นิยมประยุกต์ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และ สวิตซ์เพาเวอร์สัพพลาย เพราะทำให้ประสิทธิภาพในการแปลงผันพลังงานไฟตรงจากแหล่งจ่ายพลังงานไปสู่โหลดค่อนข้างสูง และ ใช้สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่มีการสูญเสียต่ำ

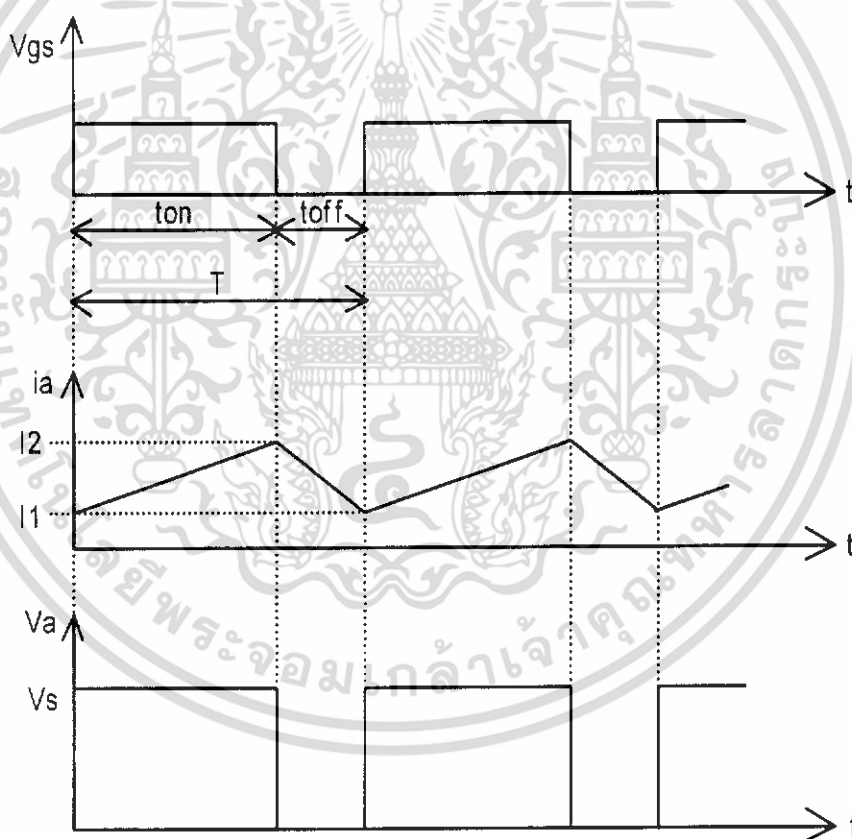


รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของวงจร ดีซี ทู ดีซี คอนเวอร์เตอร์

### 2.3.1 การขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ด้วย ดีซี ทู ดีซี คอนเวอร์เตอร์

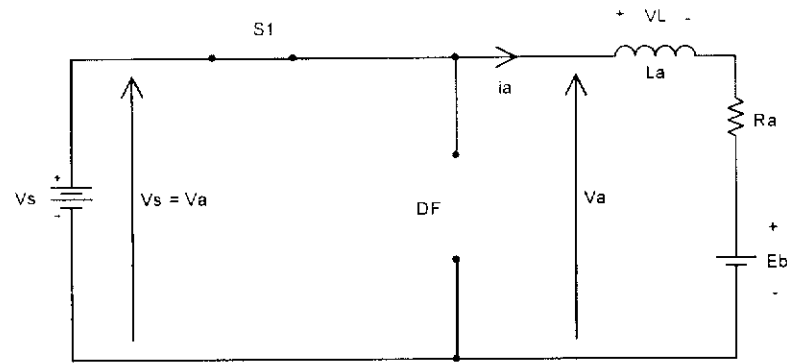


รูปที่ 2.8 แสดงวงจร คิวด้วย ดีซี ทู ดีซี คอนเวอร์เตอร์ (โหลดเป็นดีซีมอเตอร์)

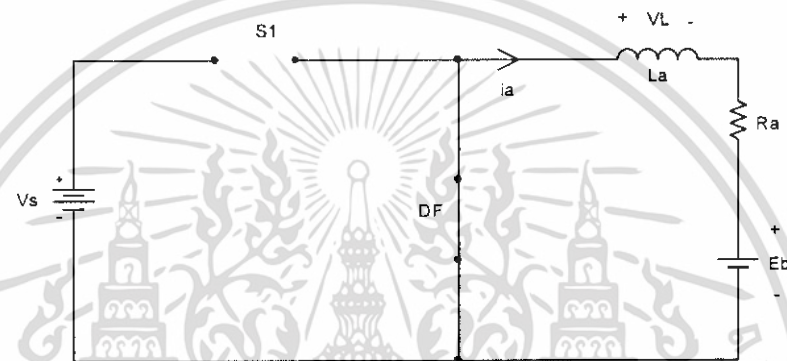


รูปที่ 2.9 แสดงรูปคลื่นแรงดันควบคุมเกต ( $V_{gs}$ ) กระแสอาร์เมเจอร์ ( $i_a$ ) และ แรงดันอาร์เมเจอร์ ( $V_a$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 (Equivalent circuit) แสดงวงจรเมื่อ  $S1 = \text{Closed}$  ที่เวลา  $0 \leq t \leq t_{on}$



รูปที่ 2.11 (Equivalent circuit) แสดงวงจรเมื่อ  $S1 = \text{Open}$  ที่เวลา  $t_{on} \leq t \leq T$

จากรูปที่ 2.10 เมื่อสวิตช์  $S1 = \text{Closed}$  จะได้  $V_a = V_s$  และ  $V_L = (V_s - E_b)$  ไดโอด (DF) ไม่ทำงาน และการเปลี่ยนแปลงของกระแสคือ  $di_a(t)/dt = (V_s - E_b)/L_a$

จากรูปที่ 2.11 เมื่อสวิตช์  $S1 = \text{Open}$  จะได้  $V_L = L di_a(t)/dt = -E_b$  และการเปลี่ยนแปลงของกระแสคือ  $di_a(t)/dt = -E_b/L_a$  ไดโอด (DF) จะต่อวงจร ทำให้กระแส ( $i_a$ ) ยังคงไหลอย่างต่อเนื่อง (เป็นการลดลงของกระแส) ดังนั้นไดโอด (DF) มีความสำคัญมากเพราะเป็นตัวที่ทำให้กระแส ( $i_a$ ) ไหลได้อย่างต่อเนื่อง และถ้าไม่มีไดโอด (DF) ต่ออยู่ในวงจร จะทำให้กระแส ( $i_a$ ) ลดลงอย่างทันทีทันใดจะทำให้  $V_L = L di_a(t)/dt = -\infty$  ผลคือจะเกิดสัญญาณรบกวนไปรบกวนที่สวิตช์ ( $S1$ ) มากหรืออาจทำให้สวิตช์ ( $S1$ ) เสียหายได้

2.3.2 จำนวนค่ากระแสและแรงดันของวงจร ดีซี ทุ ดีซี คอนเวอร์เตอร์  
จากวงจรรูปที่ 2.10 จะได้สมการแรงดันคือ

$$V_s = Ri_1 + L \frac{di_1}{dt} + E_b \quad (2.5)$$

เมื่อสวิตช์ S1 ปิดที่เวลา  $t=0$  จะได้  $i_1(t=0) = I_1$  จะได้สมการ  $i_1(t)$  คือ

$$i_1(t) = I_1 e^{-tR/L} + \frac{V_s - E_b}{R} (1 - e^{-tR/L}) \quad (2.6)$$

และเมื่อเวลา  $t=DT$  สมการกระแส  $i_1(t=DT) = I_2$  (2.7)

จากวงจรรูปที่ 2.11 จะได้สมการแรงดันคือ

$$0 = Ri_2 + L \frac{di_2}{dt} + E_b \quad (2.8)$$

เมื่อสวิตช์ S1 ปิดที่เวลา  $t=0$  จะได้  $i_2(t=0) = I_2$  จะได้สมการ  $i_2(t)$  คือ

$$i_2(t) = I_2 e^{-tR/L} - \frac{E_b}{R} (1 - e^{-tR/L}) \quad (2.9)$$

และเมื่อเวลา  $t=T$  สมการกระแส  $i_2(t=T) = I_1$  (2.10)

จากสมการ (2.6) และ (2.7) จะได้ค่า  $I_2$  คือ

$$I_2 = I_1 e^{-(DT)R/L} + \frac{V_s - E_b}{R} (1 - e^{-(DT)R/L}) \quad (2.11)$$

จากสมการ (2.9) และ (2.10) จะได้ค่า  $I_1$  คือ

$$I_1 = I_2 e^{-(1-D)TR/L} - \frac{E_b}{R} (1 - e^{-(1-D)TR/L}) \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพีคทูพีคของกระแสรีปเปิล

$$\Delta I = I_2 - I_1 \quad (2.13)$$

จากสมการที่ (2.11) และ (2.12) เมื่อ  $e^{-(1-D)T/R/L} - e^{-(1-D)TR/L} = 0$  หรือ  $-D = -(1-D)$   
หรือ  $D = 0.5$  ซึ่งเป็นผลให้  $\Delta I$  มีค่าสูงสุด

$$\Delta I_{\max} = \frac{V_s}{R} \tanh \frac{R}{4fL} \quad 4fL \gg R, \tanh \theta \approx \theta \quad (2.14)$$

กรณี  $4fL \gg R, \tanh \theta \approx \theta$  ค่าสูงสุดของกระแสรีปเปิลซึ่งเป็นค่าโดยประมาณ  
มีค่าเป็น

$$\Delta I_{\max} = \frac{V_s}{4fL} \quad (2.15)$$

จากสมการที่ (2.5) ถึง (2.15) จะใช้ได้กับกรณีกระแส (ia) ไหลอย่างต่อเนื่องเท่านั้น  
สมการแรงดันอาร์เมเจอร์เฉลี่ย  $V_a$  เมื่อกระแสไหลอย่างต่อเนื่องหาได้จาก

$$V_a = \frac{1}{T} \int_0^T V_a dt = \frac{1}{T} \int_0^T V_s dt = dV_s \quad (2.16)$$

ค่ากระแสอาร์เมเจอร์เฉลี่ย  $I_a$  คือ

$$I_a = \frac{I_2 + I_1}{2} \quad (2.17)$$

สมการกำลังไฟฟ้าที่โหลดของมอเตอร์  $P_a(W)$  หาได้จาก

$$P_a = V_a I_a = DV_s I_a \quad (2.18)$$

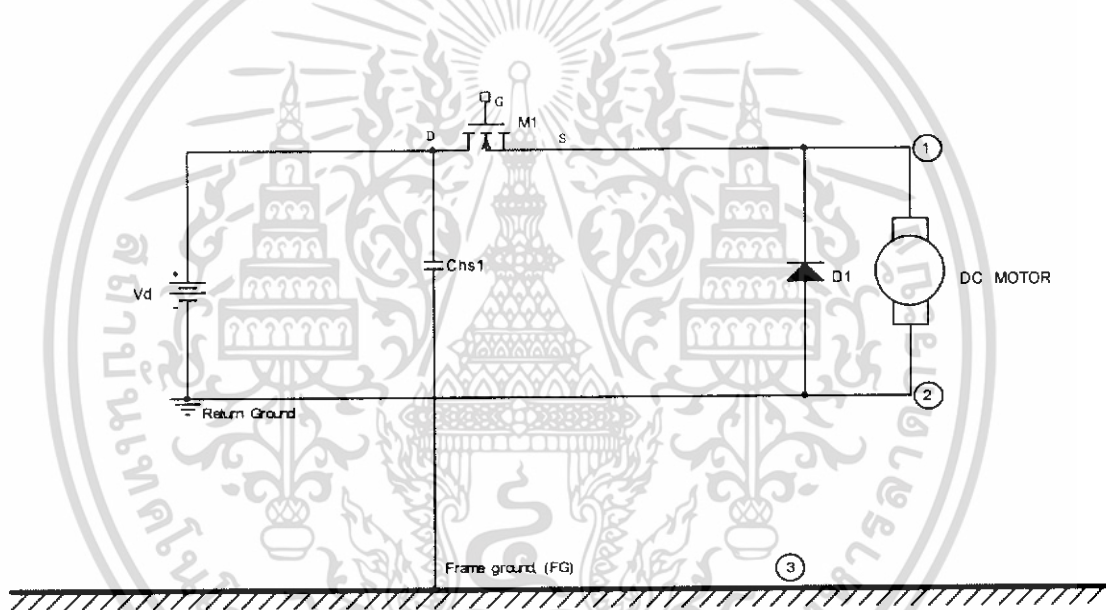
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การวิเคราะห์ห่ออกแบบและการสร้าง

### 3.1 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบไม่สมดุล

ในการนำวงจรดีซี ทู ดีซี คอนเวอร์เตอร์ แบบควอดแรนท์เดียว (single quadrant converter) ดังรูปที่ 3.1 มาใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งเป็นวงจรแบบไม่สมดุล มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ตกคร่อมขาคอนเวอร์เตอร์ กับ ขาซอร์สที่สายส่งด้านไหลไปตามความถี่ของการสับสวิตช์มอเตอร์เฟสที่สูง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการความไม่สมดุลในส่วนของสายส่งและการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดกระบวนแบบคอมมอน โหมดที่สามารถไหลผ่านตัวเก็บประจุแฝงไปรบกวนส่วนต่างๆของวงจรได้

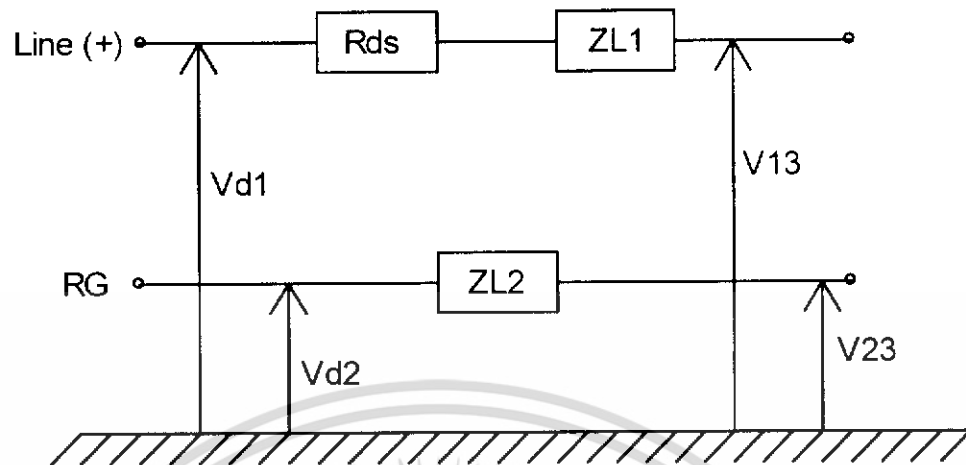


รูปที่ 3.1 แสดงวงจร dc-dc converter (single switch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.1.1 วิเคราะห์การไม่สมดุลในสายส่งด้านไหลไปและด้านไหลกลับ

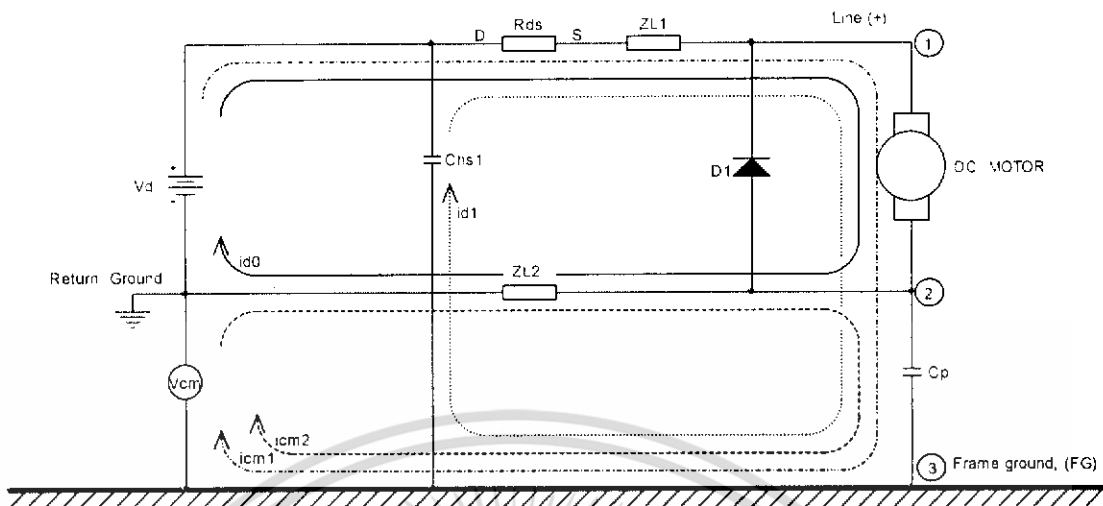


รูปที่ 3.2 (Equivalent circuit) แสดงอิมพีแดนซ์ของสายส่ง

- $R_{ds}$  = ความต้านทานระหว่างขาแคโรน กับ ขาซอร์ส ของมอสเฟต(จะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของการสับสวิตช์มอสเฟต)
- $Z_{L1} = Z_{L2}$  = อิมพีแดนซ์ ของสายตัวนำ

จากรูปที่ 3.2 จะแสดงให้เห็นว่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งด้านไหลไปไม่เท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายส่งด้านไหลกลับแสดงว่าในสายส่งเกิดการไม่สมดุล ดังนั้น  $V_{d1}$  จะไม่เท่ากับ  $V_{d2}$  และ  $V_{13}$  จะไม่เท่ากับ  $V_{23}$  ดังนั้นสัญญาณรบกวนเนื่องจากสนามแม่เหล็ก (Magnetic Inductive Coupling) ที่เกิดขึ้นจะไม่สามารถหักล้างกันหมดได้

### 3.1.2 ทิศทางการไหลของกระแสของกระแสฟิโอรินเซลล์โหมดและคอมมอนโหมด



รูปที่3.3 (Equivalent circuit)แสดงทิศทางการไหลของกระแส

- $C_{bs1}$  = ตัวเก็บประจุแฝงที่เกิดระหว่างขาแคทรินของมอเตอร์กับแผ่นระบายความร้อน
- $C_p$  = ตัวเก็บประจุแฝงที่เกิดระหว่างขั้วของโหมดกับเฟรมกราวด์
- $I_d$  = กระแสฟิโอรินเซลล์โหมด
- $I_{cm}$  = กระแสคอมมอนโหมด
- $V_{cm}$  = แรงดันรบกวนคอมมอนโหมด

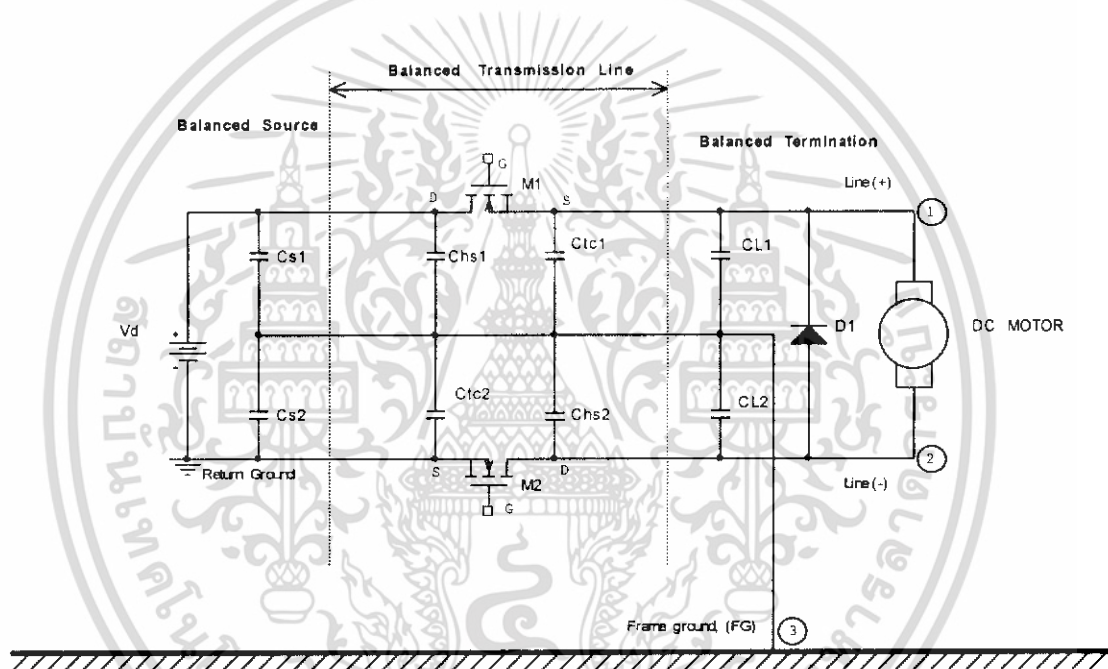
จากรูป3.3 เมื่อพิจารณาถึงกระแสที่ไหลตามส่วนต่างๆของวงจร จะเห็นว่า  $i_{d0}$  คือกระแสที่ไหลอยู่ในลูประหว่าง line กับ Return ground ซึ่งเป็นกระแสที่โหมดต้องการ ส่วนกระแสรบกวน ( $i_{d1}, i_{cm1}, i_{cm2}$ ) มันเป็นกระแสที่มีความถี่สูงซึ่งสามารถไหลผ่านตัวเก็บประจุแฝงได้ และเมื่อพิจารณาถึงขนาดของอิมพีแดนซ์ที่สายส่งด้านไหลไปกับด้านและด้านไหลกลับจะเห็นว่าขนาดและทิศทางของกระแสรบกวนไม่สามารถหักล้างกันได้

### 3.2 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบสมดุล

จากเนื้อหาที่ผ่านมา ได้กล่าวถึงวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบไม่บาลานซ์ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสัญญาณรบกวน ดังนั้นในบทนี้จะเป็นการเสนอการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้หลักการวงจรสมดุล (Balanced Circuit) เพื่อให้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นตามส่วนต่างๆ ของวงจรสามารถหักล้างกันได้หมด

#### 3.2.1 การปรับปรุงวงจรให้เกิดการสมดุล

การปรับปรุงวงจรให้เกิดการสมดุล จะต้องจัดวงจรให้เกิดความสมดุลกันในส่วนของการจัดสมดุลภาคแหล่งจ่าย การจัดสมดุลภาคสายส่ง การจัดสมดุลที่ขั้วเอาต์พุต



รูปที่ 3.4 แสดงวงจร dc-dc converter (two switch)

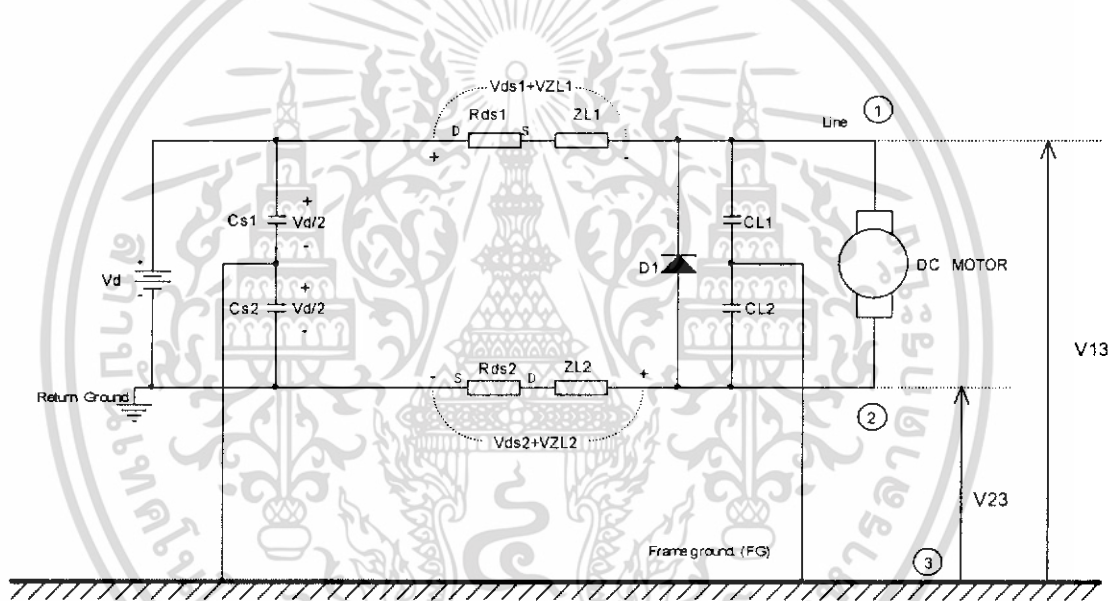
จากวงจรในรูปที่ 3.4 เป็นวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ได้รับการปรับปรุงให้มีความสมดุล ซึ่งเมื่อพิจารณาในส่วนของการจัดสมดุลที่สายส่ง (Balanced Transmission Line) จะสามารถเพิ่มอุปกรณ์สวิตช์มอเฟทอีกหนึ่งตัวเข้าไปที่สายส่งด้านไลน์ลบซึ่งทำให้อิมพีแดนซ์ที่สายส่งทางด้านไลน์บวกกับไลน์ลบมีค่าเท่ากันและเมื่อพิจารณาตัวเก็บประจุแผ่นที่เกิดจากแผ่นระบายความร้อน (Chs1, Chs2) ซึ่งเป็นสาเหตุให้ทำให้เกิดกระแสรบกวนแบบคอมมอน โหมดนั้น ก็มีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มตัวเก็บประจุขั้วเฉย ( $C_{tc1} = C_{tc2}$ ) เพื่อสร้างกลไกการหักล้างกันของกระแสรบกวน

สำหรับการจัดสมดุลในส่วนของแหล่งจ่าย(Balanced Source)จะสามารถทำได้โดยการใส่ตัวเก็บประจุ  $Cs1$  ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ  $Cs2$  โดยที่( $Cs1=Cs2$ ) จากนั้นทำการต่อจุดกึ่งกลางระหว่างตัวเก็บประจุทั้งสองไปยังกราวด์เฟรม

สำหรับการจัดสมดุลกันในส่วนปลาย (Balanced Termination)จะสามารถทำได้โดยการใส่ตัวเก็บประจุ  $CL1$  ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ  $CL2$  โดยที่( $CL1=CL2$ ) จากนั้นทำการต่อจุดกึ่งกลางระหว่างตัวเก็บประจุทั้งสองไปยังกราวด์เฟรม

3.2.2 การหักล้างกันของแรงดันรบกวน

การพิจารณาสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นตามส่วนต่างๆของวงจรในรูปแบบของแรงดันรบกวนเราจะสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนเหล่านี้ออกไปได้โดยใช้หลักการของการวงจรสมดุล(Balanced circuit) คือการทำให้แรงดันรบกวนที่เกิดขึ้นสามารถหักล้างกันได้หมด

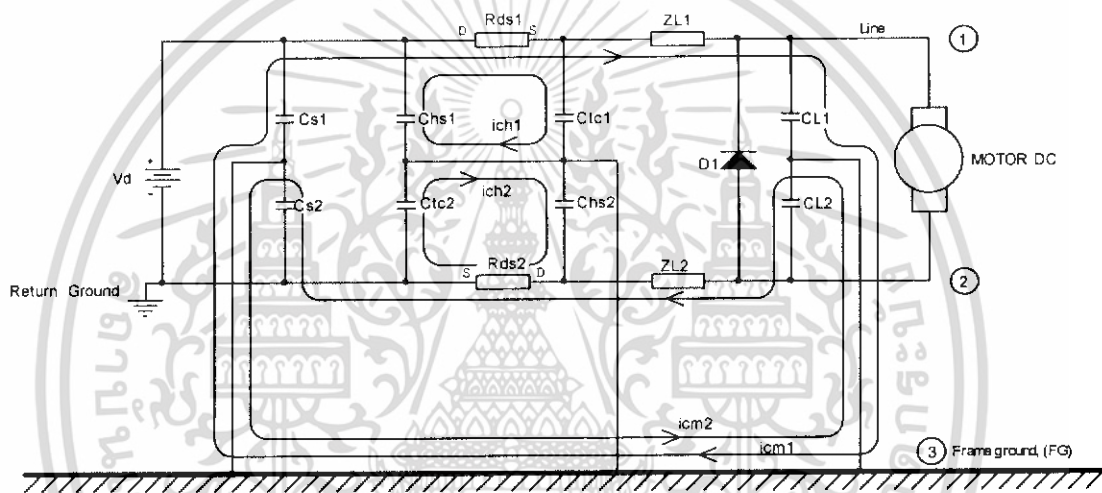


รูปที่3.5 (Equivalent circuit) แสดงแรงดันส่วนต่างๆของวงจร

จากรูปที่ 3.5 เมื่อ  $V13$  คือแหล่งกำเนิดแรงดันรบกวนแบบคอมมอนโหมด ดังนั้นเมื่ออิมพีแดนซ์ของสายส่งด้านไหลไปกับสายส่งด้านไหลกลับมีค่าที่เท่ากันจะทำให้  $V13$  มีขนาดเท่ากับ  $V23$  แต่มีขั้วที่ตรงกันข้ามกันต่อเวลาการเปลี่ยนแปลงของสวิตช์มอสเฟต จะทำให้แรงดันรบกวนที่เกิดขึ้นที่ไปปรากฏที่  $V12$  สามารถหักล้างกันได้หมดดังนั้นเมื่อวงจรอยู่ในสภาวะของเงื่อนไขวงจรสมดุลจะทำให้แรงดันรบกวนสามารถหักล้างกันได้หมด

### 3.2.3 การหักล้างกันของกระแสรบกวน

จากรูปที่ 3.6 แนวคิดการหักล้างกันของกระแสรบกวนคือการทำให้กระแสรบกวนที่เกิดขึ้นมีขนาดเท่ากับแต่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน มีหลักในการพิจารณาคือเมื่อมองในส่วนของกระแสรบกวนที่เกิดจากตัวเก็บประจุแฝง (Chs1, Chs2) จะเห็นว่ากระแสรบกวน ich1 กับ ich2 จะไหลในทิศทางที่สวนทางกันทำให้มันสามารถหักล้างกันได้ ในส่วนของการจัดสมดุลทางด้านสายส่งก็คือการทำให้อิมพีแดนซ์ของสายส่งด้านไหลไปกับด้านไหลกลับมีค่าเท่ากันเพื่อให้กระแสรบกวนที่เกิดขึ้นในสายส่งด้านไหลไปกับด้านไหลกลับมีค่าเท่ากันและในส่วนของการจัดสมดุลในส่วนของภาคแหล่งจ่ายกับขั้วโหลดก็เพื่อสร้างเส้นทางของกระแสรบกวน icm1 และ icm2 ให้สามารถหักล้างกันได้



รูปที่ 3.6 แสดงการหักล้างกันของกระแสรบกวน

$$R_{ds1} + ZL1 = R_{ds2} + ZL2 \quad (3.1)$$

$$i_{ch1} = i_{ch2} \quad \text{และ} \quad i_{cm1} = i_{cm2} \quad (3.2)$$

$$i_{ch1} + i_{ch2} = 0 \quad (3.3)$$

$$i_{cm1} + i_{cm2} = 0 \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

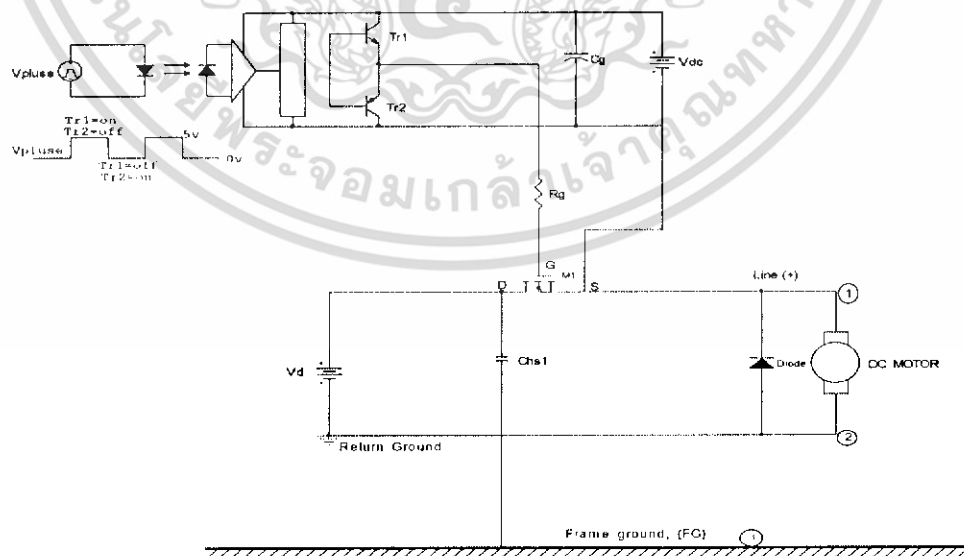
#### 4.1 เงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบจะใช้ค่าพารามิเตอร์เหมือนกันในทุกการทดสอบ

##### 4.1.1 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ

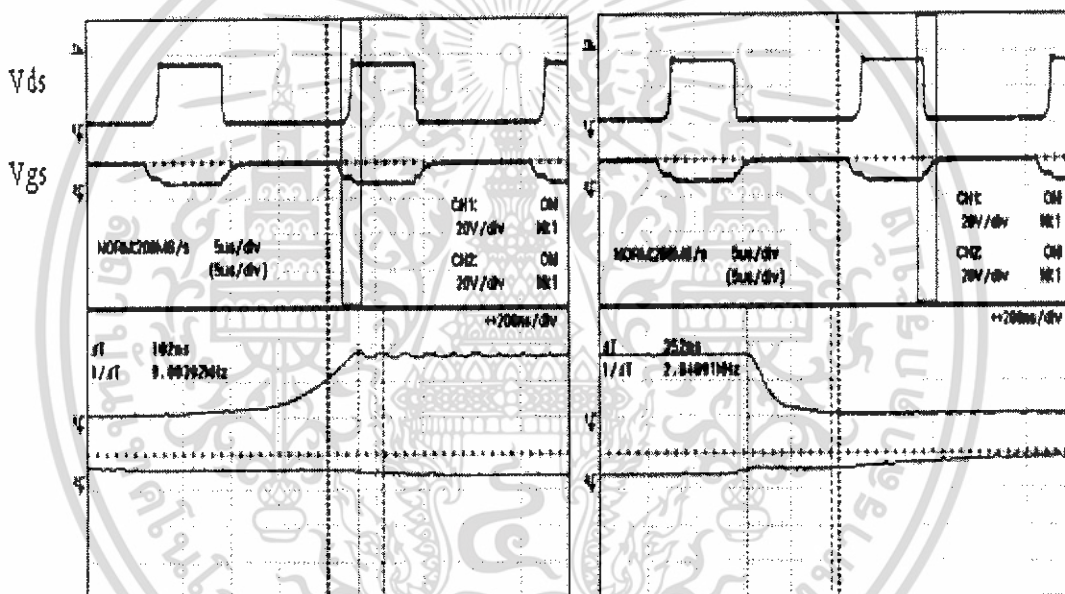
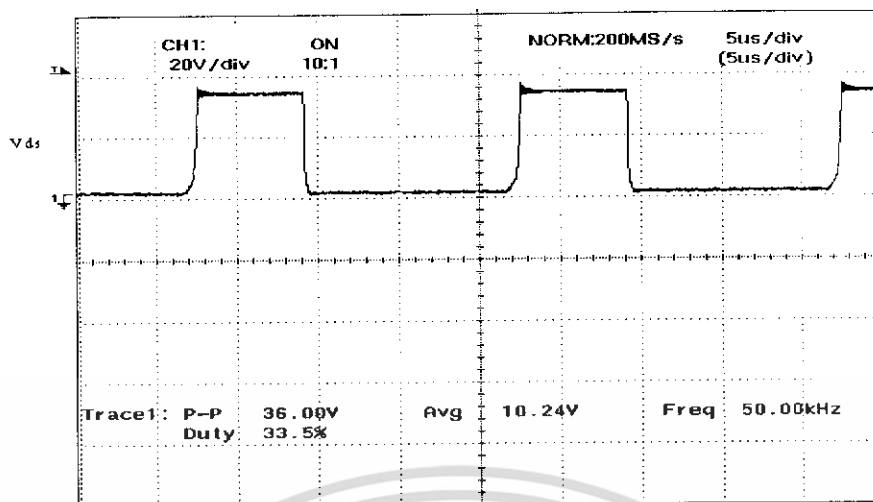
- แรงดันอินพุต  $V_s = 34$  โวลต์ จากหม้อแปลง 220/24 และวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น
- ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์เท่ากับ 50kHz ทุกวงจรที่ใช้ในการทดสอบ
- ค่าดีวีซีเคิลเท่ากับ 60% ทุกวงจรที่ใช้ในการทดสอบ
- ไดโอดฟรีวิลลิง UF202
- มอสเฟต IRFP150N ทุกวงจรที่ใช้ในการทดสอบ
- โหลด คีชีมอเตอร์
- วงจรขับเคลื่อนใช้  $R_g = 100\Omega$ ,  $C_g = 1\mu F$ , TLP250,  $V_{dc} = 12v$

#### 4.2 ผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบไม่สมดุล



รูปที่ 4.1 แสดงวงจร dc-dc converter (single switch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

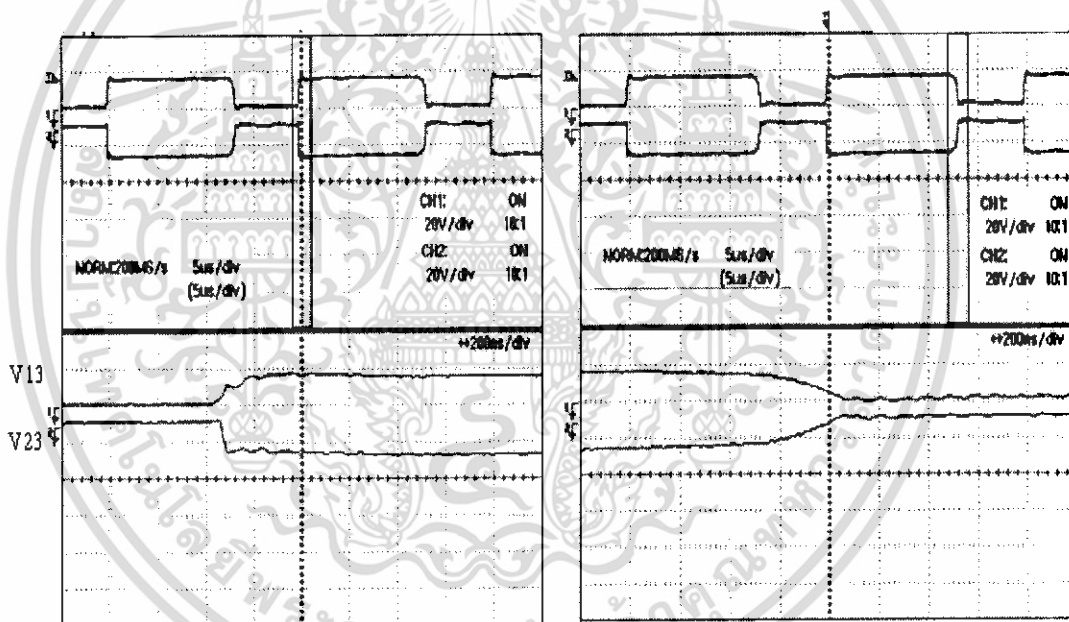
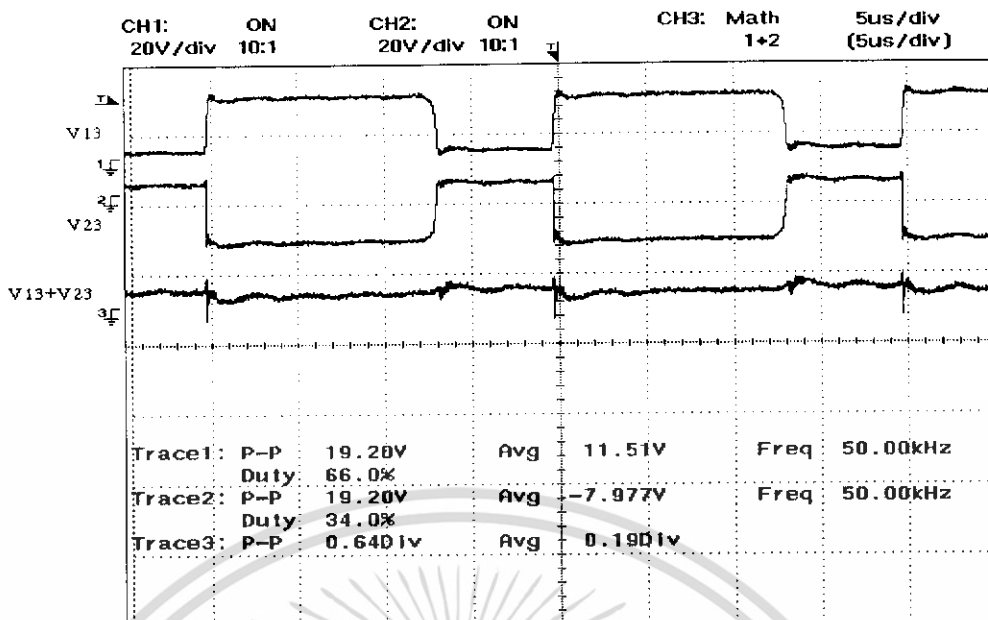


ช่วงมอเฟตเริ่มหยุดนำกระแส

ช่วงมอเฟตเริ่มนำกระแส

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบ Vds กับ Vgs

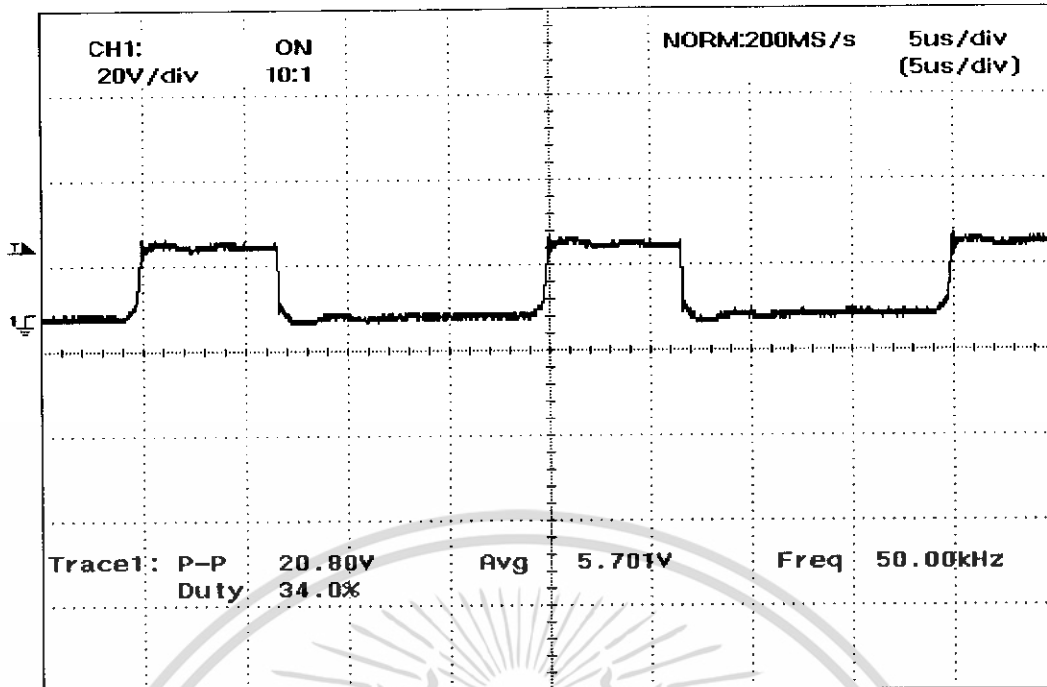
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



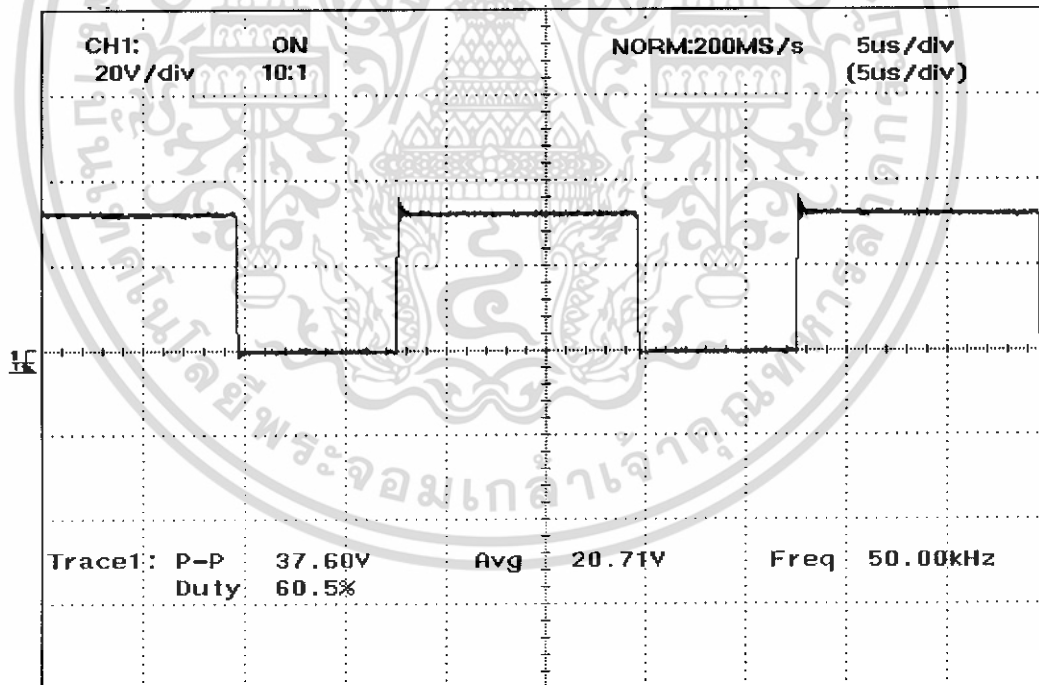
รูปที่4.3 เปรียบเทียบ V12 กับ V23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



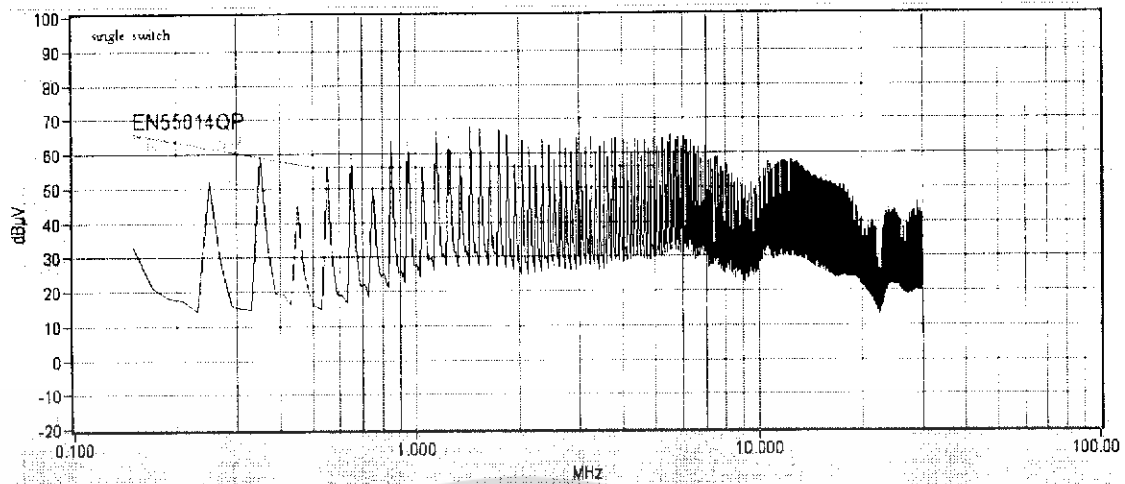


รูปที่ 4.4 แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแผ่น (Chs1)



รูปที่ 4.5 แรงดันที่ตกคร่อมดีซีมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

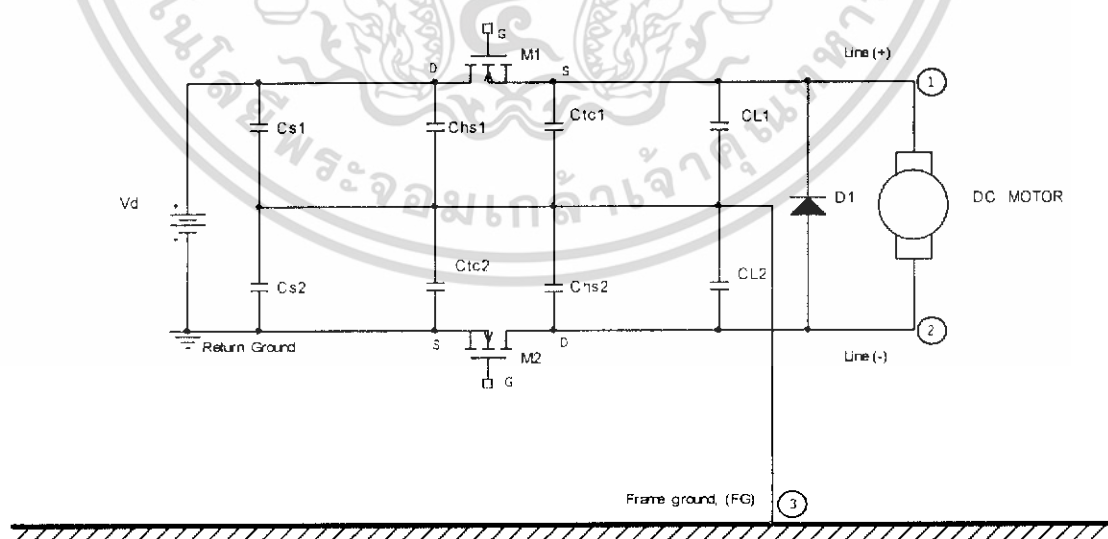


รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณรบกวนของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบไม่สมดุล

### 4.3 ผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบสมดุล

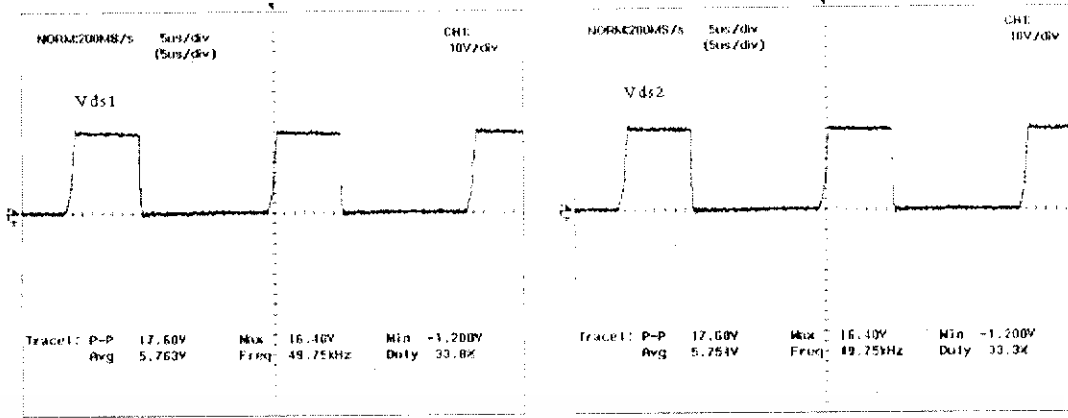
#### 4.3.1 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดสอบเพิ่มเติม

- ตัวเก็บประจุที่ขั้วแหล่งจ่าย  $Cs1 = Cs2 = 3300\text{pF}$  (Balanced Source)
- ตัวเก็บประจุที่ขั้วโหลด  $CL1 = CL2 = 3300\text{pF}$  (Balanced Load)
- ตัวเก็บประจุคัปเปิลลิ่ง  $Ctc1 = Ctc2 = 10\text{pF}$  และเพิ่มมอเตอร์ที่สายส่งด้านโหลดกลับ IRFP150N (Balanced Transmission Line)

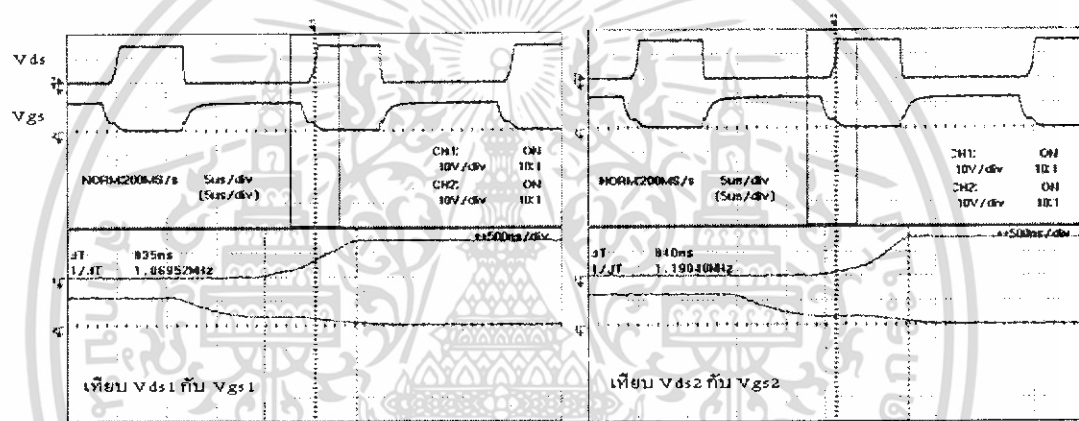


รูปที่ 4.7 แสดงวงจร dc-dc converter (two switch)

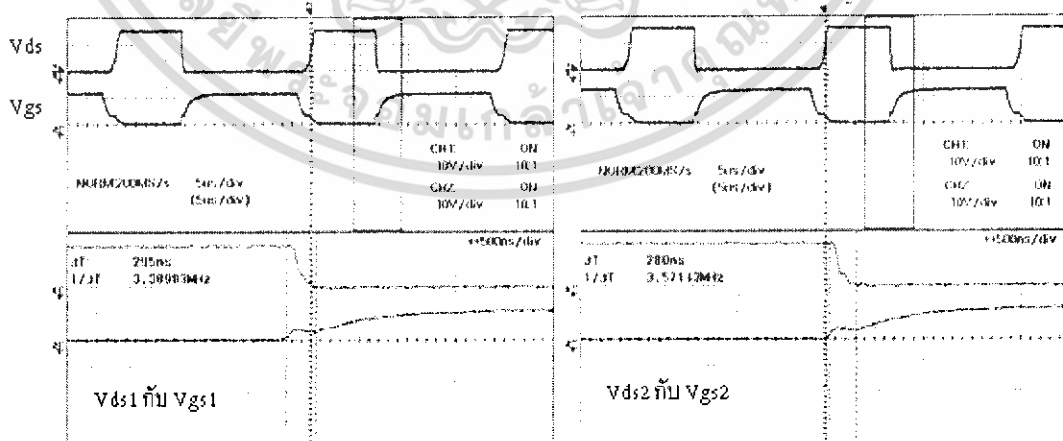
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบ Vds1 กับ Vds2

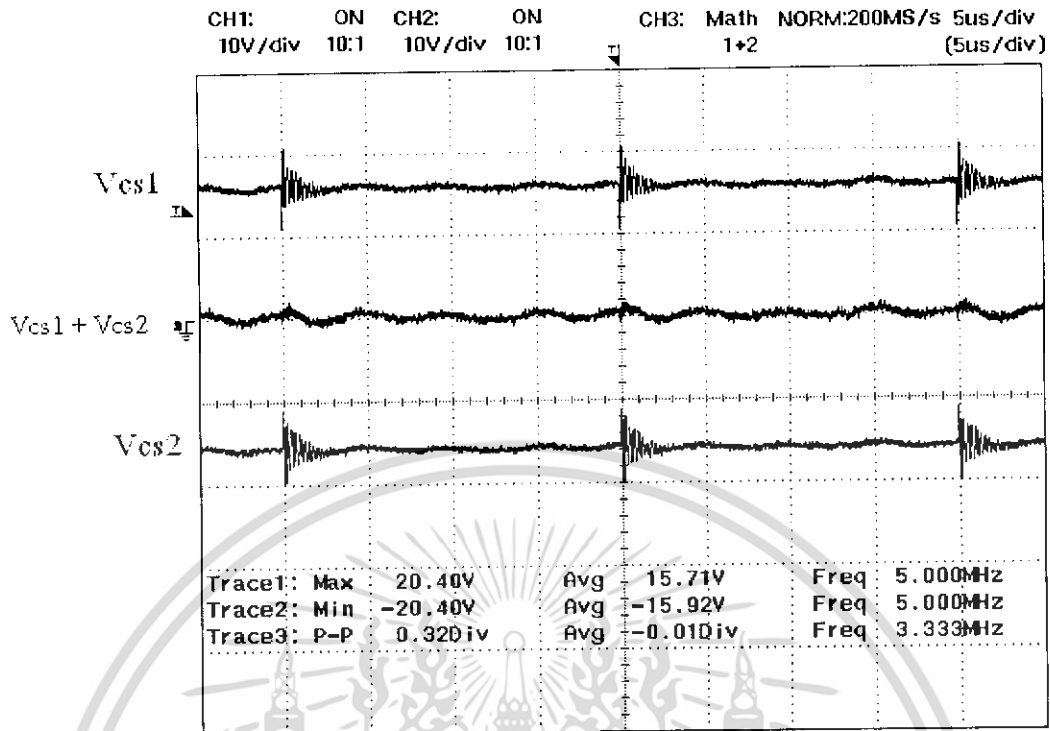


รูปที่ 4.9 ช่วงมอสเฟตเริ่มหยุดนำกระแส

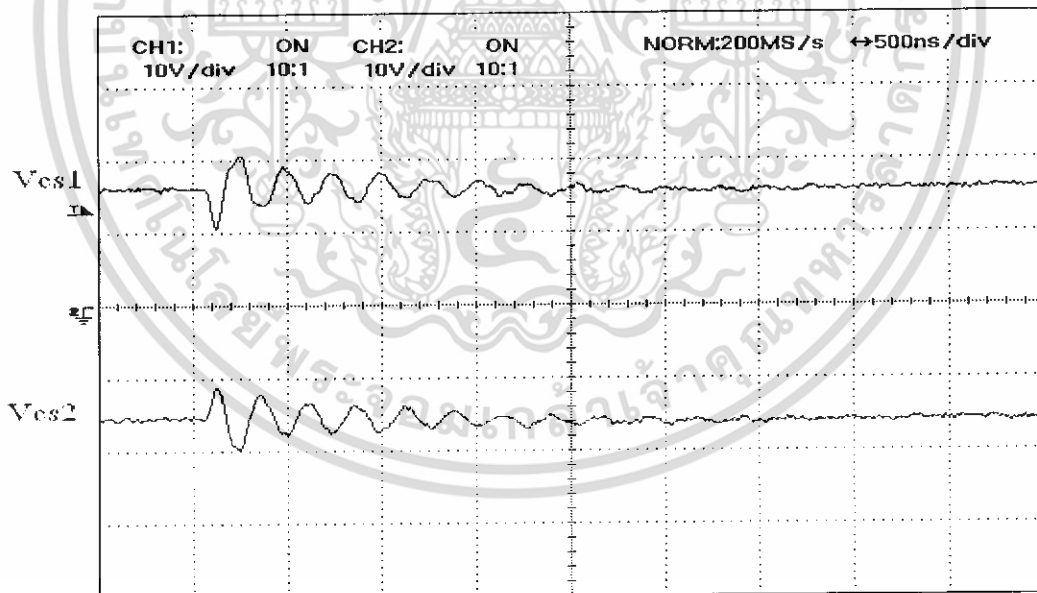


รูปที่ 4.10 ช่วงมอสเฟตเริ่มนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

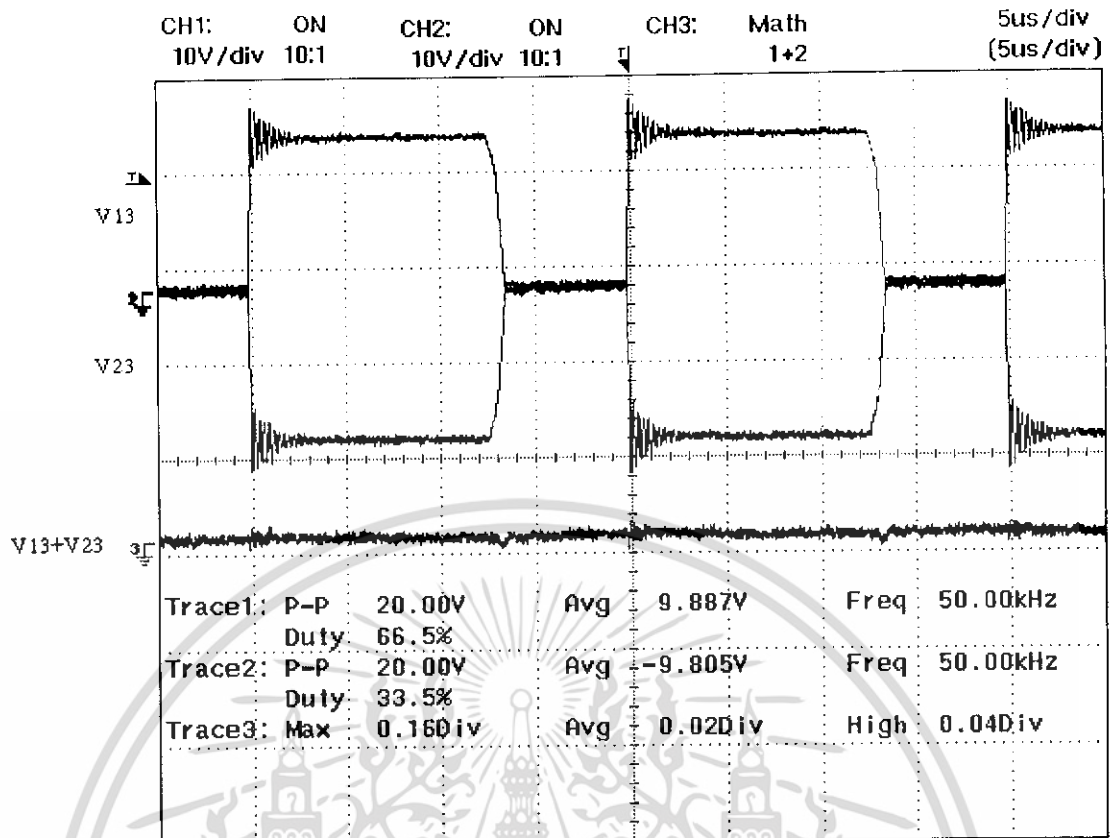


รูปที่4.11 เปรียบเทียบแรงดันที่ตกคร่อม Cs1 เทียบกับ Cs2

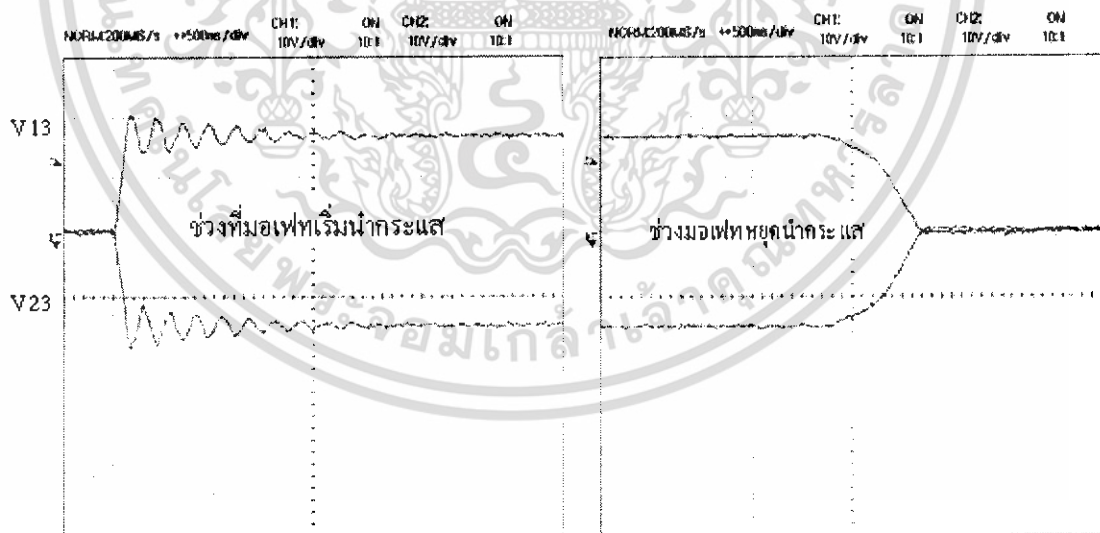


รูปที่4.12 ชุมเปรียบเทียบแรงดันที่ตกคร่อม Cs1 เทียบกับ Cs2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

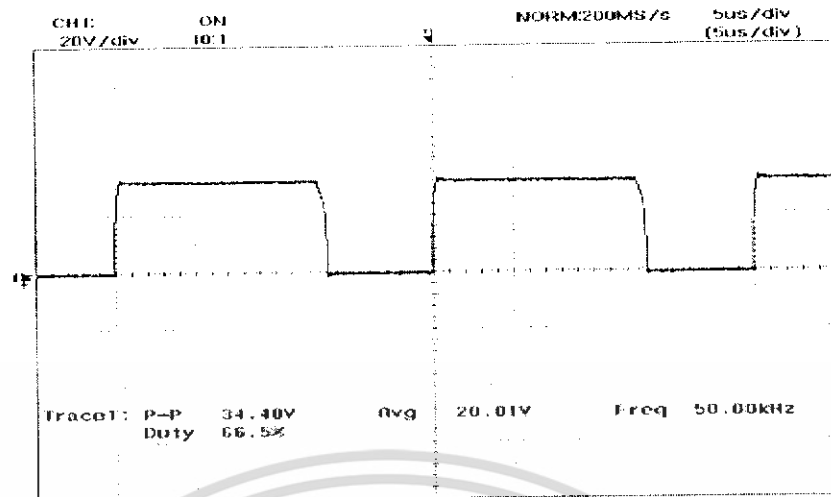


รูปที่4.13 เปรียบเทียบ V12 กับ V23

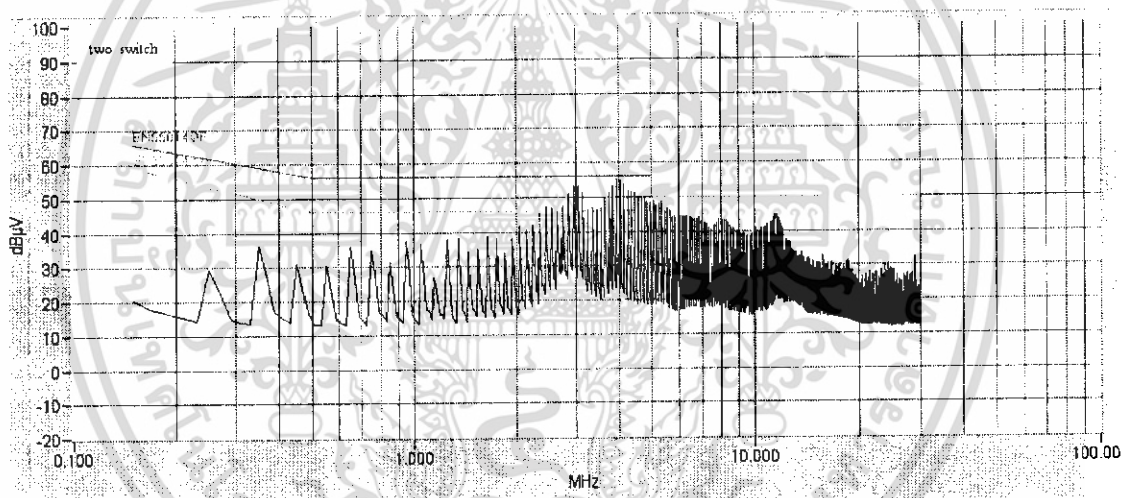


รูปที่4.14 ชุมเปรียบเทียบ V12 กับ V23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

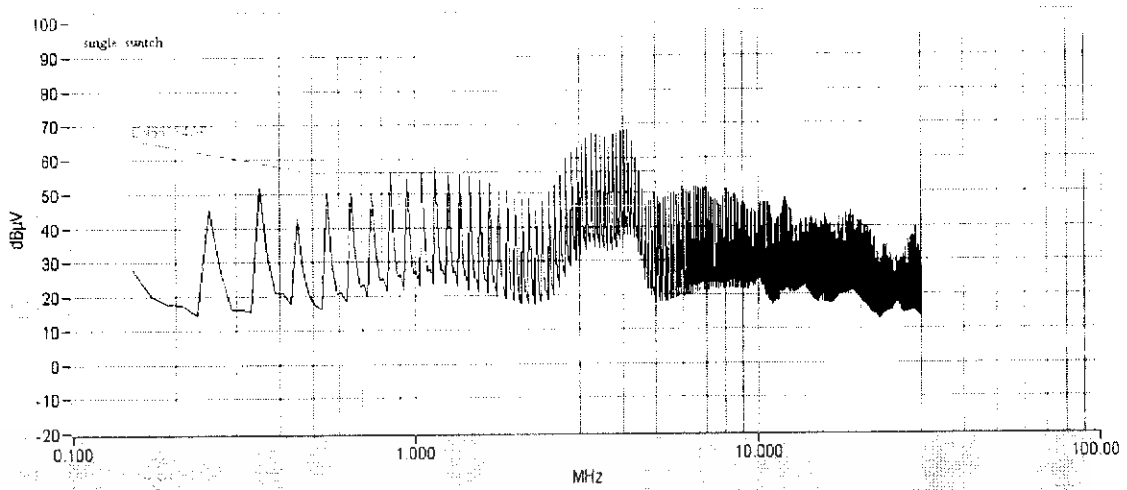


รูปที่ 4.15 แรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์

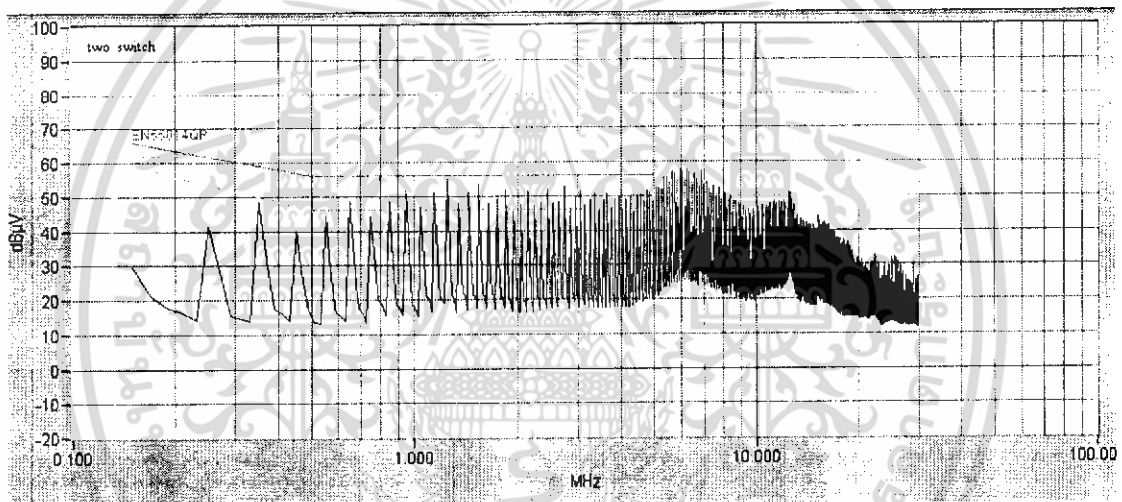


รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณรบกวนของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบจัดสมมูลสายส่ง, แหล่งจ่าย, ขั้ว โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณรบกวนของวงจรขั้วต่อมอเตอร์แบบจัดสมดุลเฉพาะแหล่งจ่าย, โหลด



รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณรบกวนของวงจรขั้วต่อมอเตอร์แบบจัดสมดุลเฉพาะสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# บทวิจารณ์และการสรุป

### 5.1 สรุปผลการทดลองวงจรขั้วตีซีมอเตอร์แบบไม่สมดุล

จากรูปที่ 4.2 แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างขาเดรน กับ ขาซอร์สมีการเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของการสับสวิตช์มอเตอร์ซึ่งทำให้อิมพีแดนซ์ที่สายส่งด้านไหลไปไม่เท่ากับสายส่งด้านไหลกลับและเป็นสาเหตุที่ทำให้สายส่งไม่บาลานซ์กัน

จากรูปที่ 4.3 การที่แรงดัน V13 ไม่สามารถหักล้างกับ V23 ได้หมด ทำให้เกิดแรงดันรบกวนความถี่สูงไปรบกวนที่โหลด

จากรูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแฝง (Chs1) ทำให้เกิดกระแสรบกวนแบบคอมมอน โหมดซึ่งสามารถไปรบกวนส่วนต่างๆของวงจรได้

### 5.2 สรุปผลการทดลองวงจรขั้วตีซีมอเตอร์แบบบาลานซ์

จากรูปที่ 4.8, 4.9, 4.10 การที่  $V_{ds1}$  กับ  $V_{ds2}$  มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อเวลาและขนาดที่ใกล้เคียงกันก็จะทำให้อิมพีแดนซ์ที่เกิดขึ้นที่สายส่งด้านไหลไปกลับสายส่งด้านไหลกลับมีค่าที่ใกล้เคียงกันซึ่งแสดงถึงความสมดุลในส่วนของสายส่ง

จากรูปที่ 4.12, 4.13, 4.14 แรงดัน V13 สามารถหักล้างกับ V23 ได้จนเกือบหมด ดังนั้นแรงดันรบกวนที่ไปปรากฏที่โหลดจะถูกหักล้างกันจนเกือบหมด

### 5.3 สรุปสำหรับการทดลองทั้งหมด

จากรูปที่ 4.6 เทียบกับรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าเมื่อทำการจัดสมดุลวงจรในส่วนของภาคสายส่ง แห่ส่งจ่าย, ขั้วโหลด สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจะลดลง และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.16 กับ 4.17 จะเห็นว่าปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนคือการไม่บาลานซ์กันของสายส่งด้านไหลไปกับด้านไหลกลับ

### 5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบวงจรที่ใช้ในการทดลองได้ใช้เทคนิคการลดระดับสัญญาณรบกวนโดยใช้หลักการจัดสมดุลเพียงอย่างเดียว หากทำการพิจารณาพร้อมกับเทคนิคอื่นๆซึ่งมีอยู่มากมายหลายวิธีจะทำให้สามารถลดระดับสัญญาณรบกวนได้มากขึ้น และนอกจากนี้เทคนิคของการจัดสมดุลก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวงจรคอนเวอร์เตอร์อื่นๆได้



## เอกสารอ้างอิง

- [1] มงคล อัสวโกวิทกรณ์, วัตสัน ธีรภัทรพงศ์. การลดสัญญาณรบกวน.  
กรุงเทพมหานคร : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ การพิมพ์.
- [2] Muhammad H. Rashid. **Power Electronics Circuit Devices and Applications.**  
Third Edition. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 2004
- [3] Daniel W. Hart. **Introduction to Power Electronic.** New Jersey : Prentice-Hall,  
Inc. 1997
- [4] H.W. Whittington, B.W. Flynn, D.E. Macpherson. **Switched Mode Power Supplies:  
Design and Construction.** Somerset : Research Studies Press Ltd. 1992.
- [5] Robert W. Erickson. **Fundamentals of Power Electronics.** Fourth printing  
Massachusetts: Kluwer academic publishers. 1999.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Request For Quotation

Order the parts you need from our real-time inventory database. Simply complete a request for quotation form with your part information and a sales representative will respond to you with price and availability.

Request For Quotation

Your free datasheet starts on the next page.

More datasheets and data books are available from our homepage: <http://www.datasheetarchive.com>



# TLP250

TRANSISTOR INVERTER  
 INVERTER FOR AIR CONDITIONOR  
 IGBT GATE DRIVE  
 POWER MOS FET GATE DRIVE

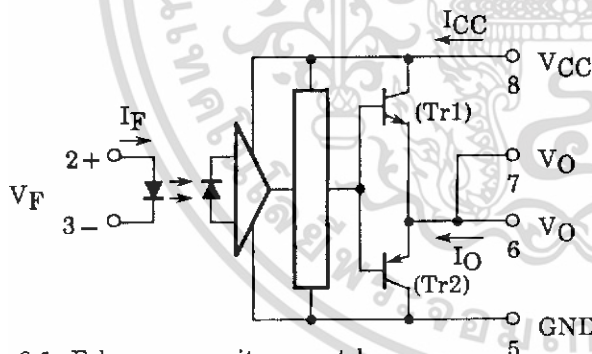
The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector. This unit is 8-lead DIP package. TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input Threshold Current :  $I_F = 5\text{mA}$  (Max.)
- Supply Current ( $I_{CC}$ ) :  $11\text{mA}$  (Max.)
- Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) :  $10\text{-}35\text{V}$
- Output Current ( $I_O$ ) :  $\pm 1.5\text{A}$  (Max.)
- Switching Time ( $t_{pLH}/t_{pHL}$ ) :  $1.5\mu\text{s}$  (Max.)
- Isolation Voltage :  $2500\text{V}_{\text{rms}}$  (Min.)
- UL Recognized : UL1577, File No.E67349
- Option (D4) type  
 VDE Approved : DIN VDE0884 / 06.92, Certificate No.76823  
 Maximum Operating Insulation Voltage :  $630\text{V}_{\text{PK}}$   
 Highest Permissible Over Voltage :  $4000\text{V}_{\text{PK}}$

(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "Option (D4)"

- Creepage Distance :  $6.4\text{mm}$  (Min.)
- Clearance :  $6.4\text{mm}$  (Min.)

SCHMATIC

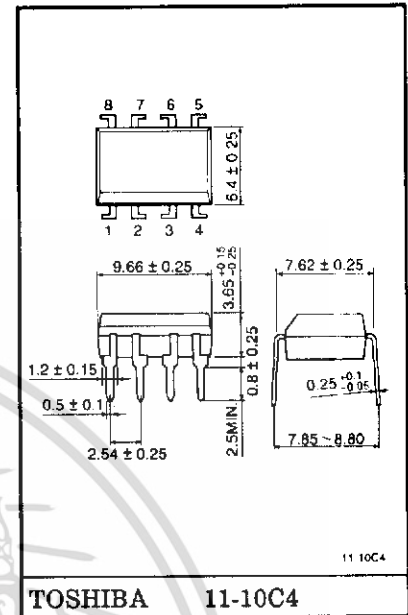


A  $0.1\mu\text{F}$  bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

TRUTH TABLE

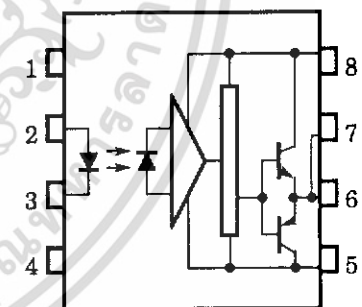
		Tr1	Tr2
Input LED	ON	ON	OFF
	OFF	OFF	ON

Unit in mm



Weight : 0.54g

PIN CONFIGURATION (TOP VIEW)



- 1 : N.C.
- 2 : ANODE
- 3 : CATHODE
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 :  $V_O$  (OUTPUT)
- 7 :  $V_O$
- 8 :  $V_{CC}$

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT	
LED	Forward Current	$I_F$	20	mA	
	Forward Current Derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C	
	Peak Transient Forward Current (Note 1)	$I_{FPT}$	1	A	
	Reverse Voltage	$V_R$	5	V	
	Junction Temperature	$T_j$	125	°C	
DETECTOR	"H" Peak Output Current (P <sub>W</sub> ≤ 2.5 μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	$I_{OPH}$	-1.5	A	
	"L" Peak Output Current (P <sub>W</sub> ≤ 2.5 μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	$I_{OPL}$	+1.5	A	
	Output Voltage	(Ta ≤ 70°C)	$V_O$	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply Voltage	(Ta ≤ 70°C)	$V_{CC}$	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Supply Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Junction Temperature	$T_j$	125	°C	
Operating Frequency (Note 3)	$f$	25	kHz		
Operating Temperature Range	$T_{opr}$	-20~85	°C		
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55~125	°C		
Lead Soldering Temperature (10s)	$T_{sol}$	260	°C		
Isolation Voltage (AC, I <sub>min.</sub> , R.H. ≤ 60%) (Note 4)	$BV_S$	2500	V <sub>rms</sub>		

(Note 1) Pulse width P<sub>W</sub> ≤ 1 μs, 300pps

(Note 2) Exponential Waveform

(Note 3) Exponential Waveform, I<sub>OPH</sub> ≤ -1.0A (≤ 2.5 μs), I<sub>OPL</sub> ≤ +1.0A (≤ 2.5 μs)

(Note 4) Device considered a two terminal device : pins 1,2,3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

(Note 5) A ceramic capacitor (0.1 μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Input Current, ON	$I_F(ON)$	7	8	10	mA
Input Voltage, OFF	$V_F(OFF)$	0	—	0.8	V
Supply Voltage	$V_{CC}$	15	—	30   20	V
Peak Output Current	$I_{OPH} / I_{OPL}$	—	—	±0.5	A
Operating Temperature	$T_{opr}$	-20	25	70   85	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.*	MAX.	UNIT
Input Forward Voltage		V <sub>F</sub>	—	I <sub>F</sub> =10mA, Ta=25°C		1.6	1.8	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage		ΔV <sub>F</sub> /ΔTa	—	I <sub>F</sub> =10mA	—	-2.0	—	mV/°C
Input Reverse Current		I <sub>R</sub>	—	V <sub>R</sub> =5V, Ta=25°C		—	10	μA
Input Capacitance		C <sub>T</sub>	—	V=0, f=1MHz, Ta=25°C	—	45	250	pF
Output Current	"H" Level	I <sub>OPH</sub>	3	V <sub>CC</sub> =30V (*) I <sub>F</sub> =10mA V <sub>8-6</sub> =4V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" Level	I <sub>OPL</sub>	2		I <sub>F</sub> =0 V <sub>6-5</sub> =2.5V	0.5	2	
Output Voltage	"H" Level	V <sub>OH</sub>	4	V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V R <sub>L</sub> =200Ω, I <sub>F</sub> =5mA	11	12.8	—	V
	"L" Level	V <sub>OL</sub>	5	V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V R <sub>L</sub> =200Ω, V <sub>F</sub> =0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply Current	"H" Level	I <sub>CCH</sub>	—	V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =10mA Ta=25°C	—	7	—	mA
				V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =10mA	—	—	11	
	"L" Level	I <sub>CCL</sub>	—	V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =0mA Ta=25°C	—	7.5	—	
				V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =0mA	—	—	11	
Threshold Input Current	"Output L→H"	I <sub>FLH</sub>	—	V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V R <sub>L</sub> =200Ω, V <sub>O</sub> >0V	—	1.2	5	mA
Threshold Input Voltage	"Output H→L"	V <sub>FHL</sub>	—	V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V R <sub>L</sub> =200Ω, V <sub>O</sub> <0V	0.8	—	—	V
Supply Voltage		V <sub>CC</sub>	—		10	—	35	V
Capacitance (Input-Output)		C <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> =0, f=1MHz Ta=25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance (Input-Output)		R <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> =500V, Ta=25°C R.H.≤60%	1×10 <sup>12</sup>	10 <sup>14</sup>	—	Ω

\* All typical values are at Ta=25°C (\*1) : Duration of I<sub>O</sub> time ≤ 50μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWITCHING CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

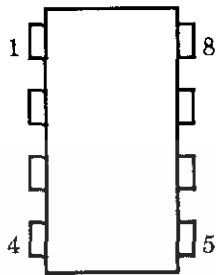
CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIR-CUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.*	MAX.	UNIT
Propagation Delay Time	L→H	t <sub>pLH</sub>	6	I <sub>F</sub> = 8mA V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t <sub>pHL</sub>			—	0.15	0.5	
Output Rise Time		t <sub>r</sub>			—	—	—	
Output Fall Time		t <sub>f</sub>			—	—	—	
Common Mode Transient Immunity at High Level Output		C <sub>MH</sub>	7	V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 8mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	-5000	—	—	V / μs
Common Mode Transient Immunity at Low Level Output		C <sub>ML</sub>	7	V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 0mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

\* All typical values are at Ta=25°C

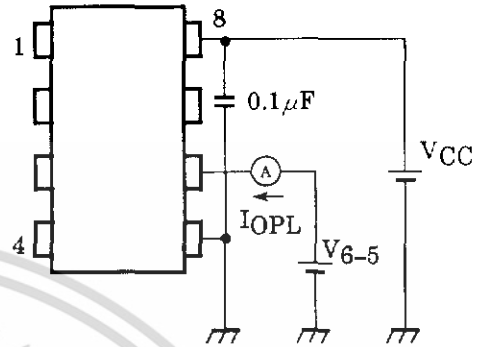


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

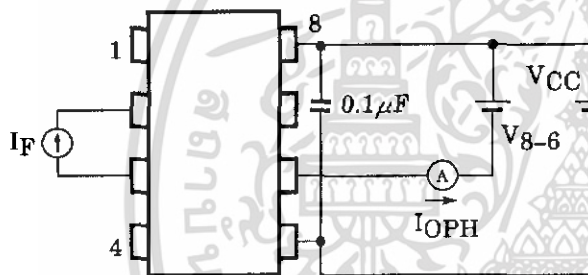
TEST CIRCUIT 1 :



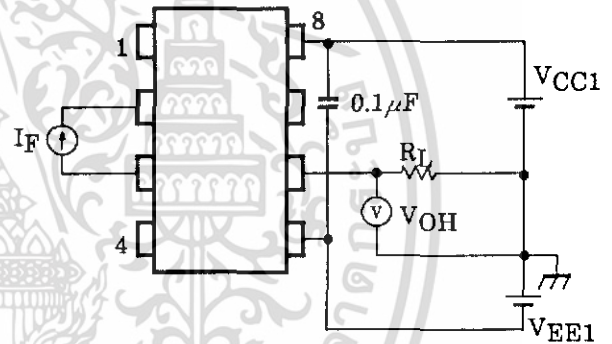
TEST CIRCUIT 2 : IOPL



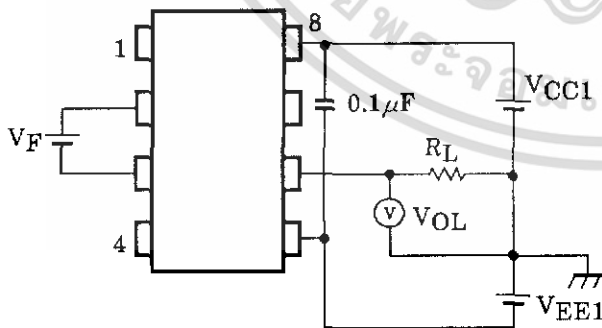
TEST CIRCUIT 3 : IOPH



TEST CIRCUIT 4 : VOH

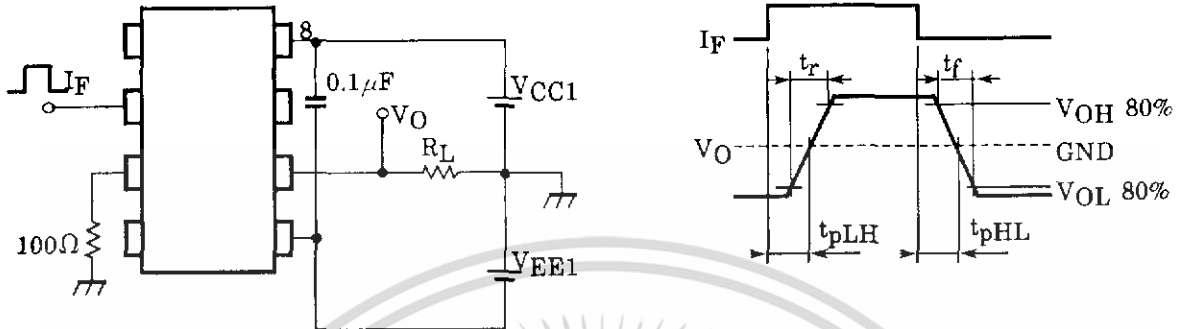


TEST CIRCUIT 5 : VOL

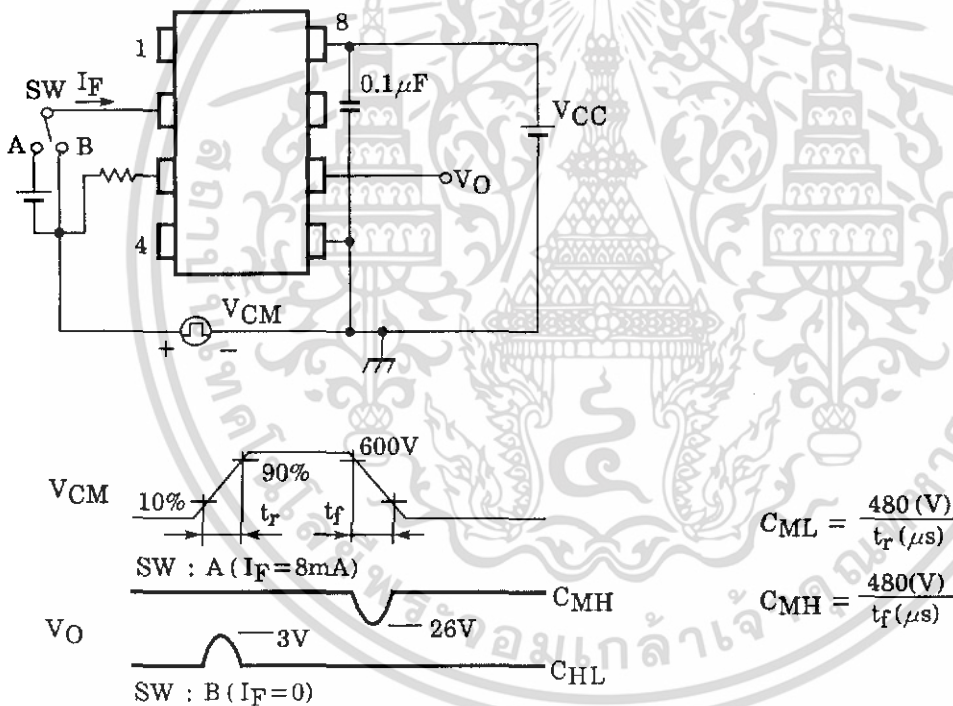




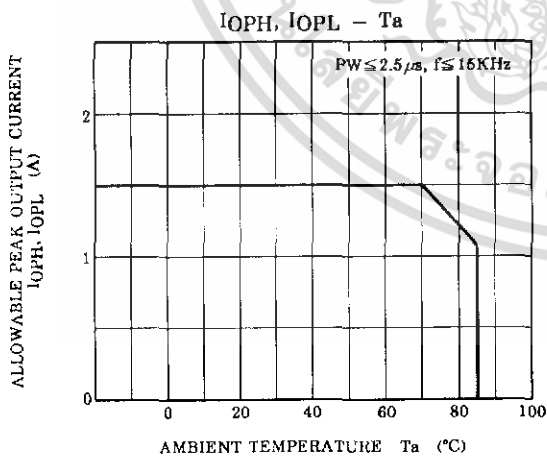
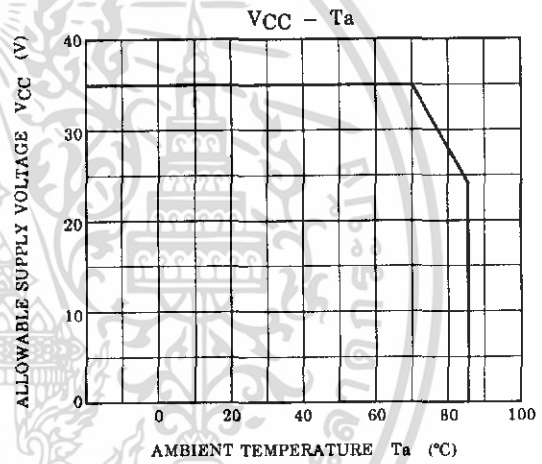
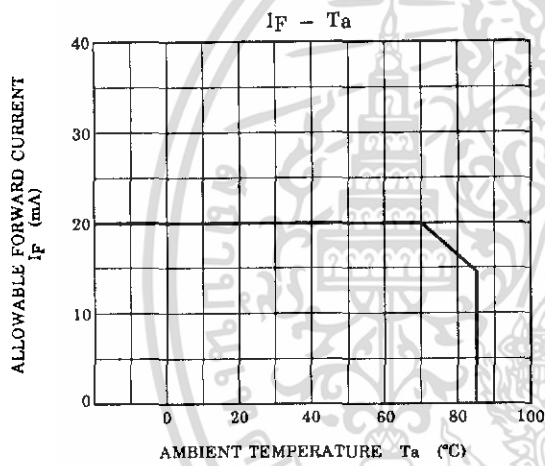
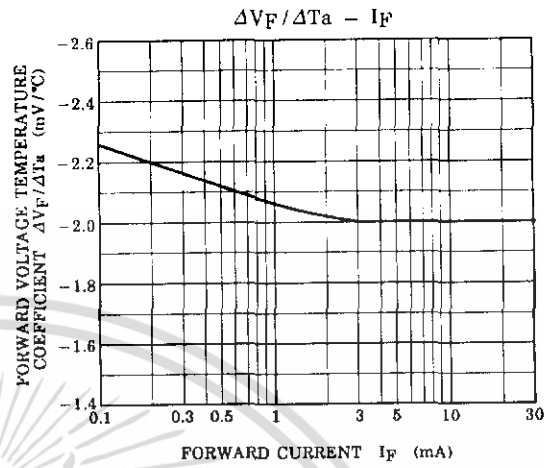
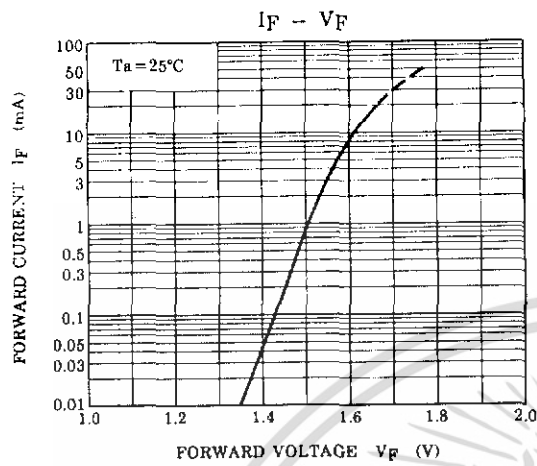
TEST CIRCUIT 6 :  $t_{pLH}$ ,  $t_{pHL}$ ,  $t_r$ ,  $t_f$



TEST CIRCUIT 7 :  $C_{MH}$ ,  $C_{ML}$



$C_{ML}$  ( $C_{MH}$ ) is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.

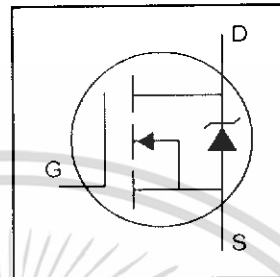


**RESTRICTIONS ON PRODUCT USE**

000707EBC

- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc..
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- Gallium arsenide (GaAs) is a substance used in the products described in this document. GaAs dust and fumes are toxic. Do not break, cut or pulverize the product, or use chemicals to dissolve them. When disposing of the products, follow the appropriate regulations. Do not dispose of the products with other industrial waste or with domestic garbage.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

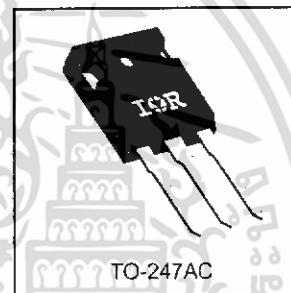


$V_{DSS} = 100V$
$R_{DS(on)} = 0.036\Omega$
$I_D = 42A$

### Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole.



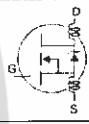
### Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	42	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	30	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①②	140	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	160	W
	Linear Derating Factor	1.1	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy②③	420	mJ
$I_{AR}$	Avalanche Current①③	22	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy①	16	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③④	5.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case )	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

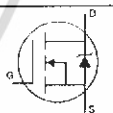
### Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.95	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	40	

Electrical Characteristics @ T<sub>J</sub> = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
V <sub>(BR)DSS</sub>	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	V <sub>GS</sub> = 0V, I <sub>D</sub> = 250μA
ΔV <sub>(BR)DSS</sub> /ΔT <sub>J</sub>	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.11	—	V/°C	Reference to 25°C, I <sub>D</sub> = 1mA <sup>①</sup>
R <sub>DS(on)</sub>	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.036	Ω	V <sub>GS</sub> = 10V, I <sub>D</sub> = 23A <sup>②</sup>
V <sub>GS(th)</sub>	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V <sub>DS</sub> = V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> = 250μA
g <sub>fs</sub>	Forward Transconductance	14	—	—	S	V <sub>DS</sub> = 25V, I <sub>D</sub> = 22A <sup>③</sup>
I <sub>DSS</sub>	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V <sub>DS</sub> = 100V, V <sub>GS</sub> = 0V
		—	—	250		V <sub>DS</sub> = 80V, V <sub>GS</sub> = 0V, T <sub>J</sub> = 150°C
I <sub>GSS</sub>	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V <sub>GS</sub> = 20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V <sub>GS</sub> = -20V
Q <sub>g</sub>	Total Gate Charge	—	—	110	nC	I <sub>D</sub> = 22A
Q <sub>gs</sub>	Gate-to-Source Charge	—	—	15		V <sub>DS</sub> = 80V
Q <sub>gd</sub>	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	58		V <sub>GS</sub> = 10V, See Fig. 6 and 13 <sup>④⑤</sup>
t <sub>d(on)</sub>	Turn-On Delay Time	—	11	—		V <sub>DD</sub> = 50V
t <sub>r</sub>	Rise Time	—	56	—	ns	I <sub>D</sub> = 22A
t <sub>d(off)</sub>	Turn-Off Delay Time	—	45	—		R <sub>G</sub> = 3.6Ω
t <sub>f</sub>	Fall Time	—	40	—		R <sub>D</sub> = 2.9Ω See Fig. 10 <sup>④⑤</sup>
L <sub>D</sub>	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L <sub>S</sub>	Internal Source Inductance	—	13	—		
C <sub>iss</sub>	Input Capacitance	—	1900	—	pF	V <sub>GS</sub> = 0V
C <sub>oss</sub>	Output Capacitance	—	450	—		V <sub>DS</sub> = 25V
C <sub>rss</sub>	Reverse Transfer Capacitance	—	230	—		f = 1.0MHz, See Fig. 5 <sup>⑤</sup>

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I <sub>S</sub>	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	42	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I <sub>SM</sub>	Pulsed Source Current (Body Diode) <sup>①⑤</sup>	—	—	140		
V <sub>SD</sub>	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>S</sub> = 23A, V <sub>GS</sub> = 0V <sup>②</sup>
t <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Time	—	180	270	ns	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>F</sub> = 22A
Q <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Charge	—	1.2	1.8	μC	di/dt = 100A/μs <sup>③⑤</sup>
t <sub>on</sub>	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L <sub>S</sub> +L <sub>D</sub> )				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. ( See fig. 11 )
- ② Starting T<sub>J</sub> = 25°C, L = 1.7mH  
R<sub>G</sub> = 25Ω, I<sub>AS</sub> = 22A. (See Figure 12)
- ③ I<sub>SD</sub> ≤ 22A, di/dt ≤ 180A/μs, V<sub>DD</sub> ≤ V<sub>(BR)DSS</sub>,  
T<sub>J</sub> ≤ 175°C
- ④ Pulse width ≤ 300μs; duty cycle ≤ 2%.
- ⑤ Uses IRF1310N data and test conditions.

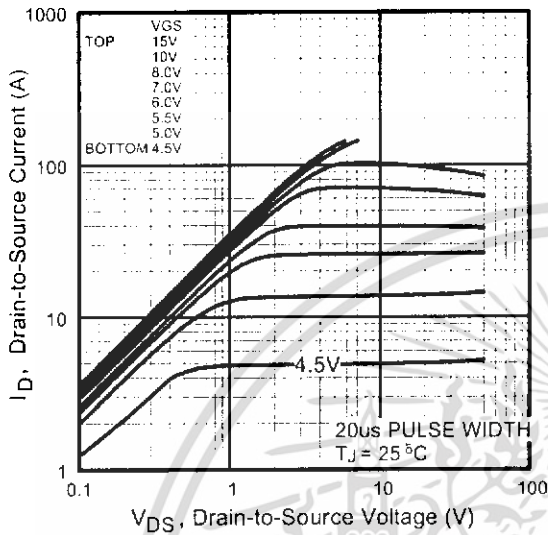


Fig 1. Typical Output Characteristics

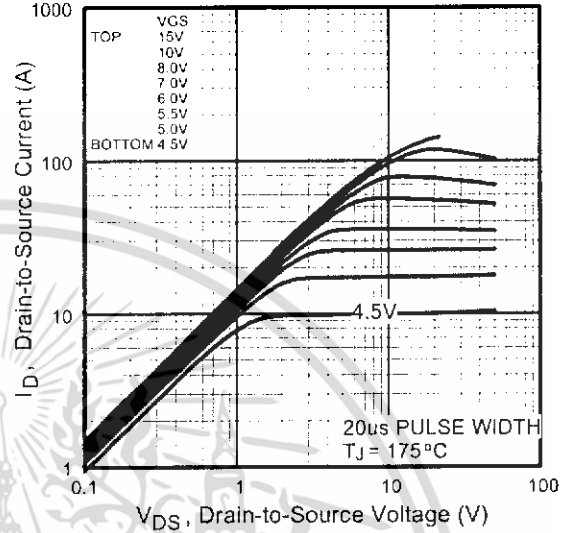


Fig 2. Typical Output Characteristics

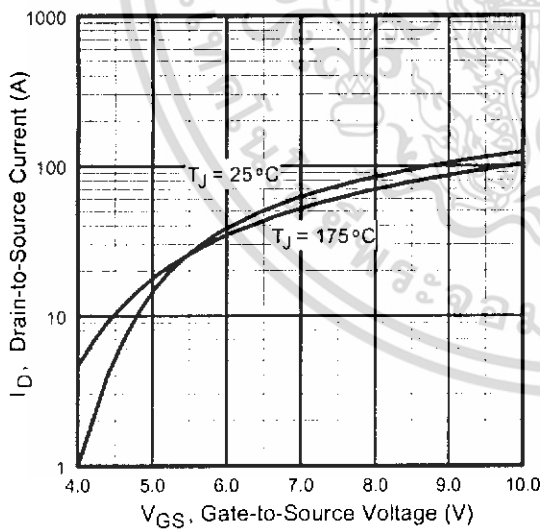


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

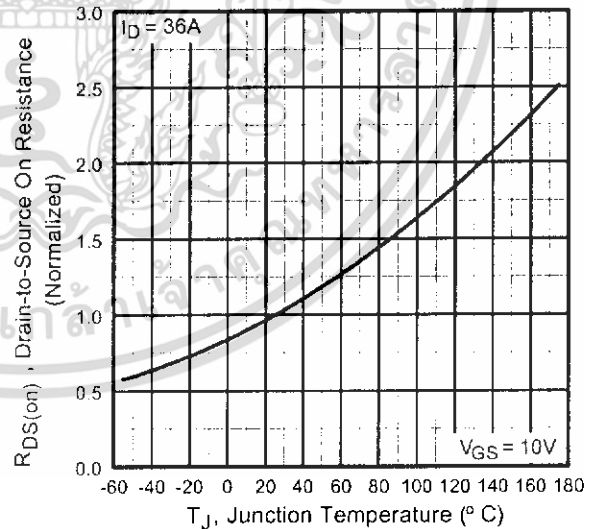


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

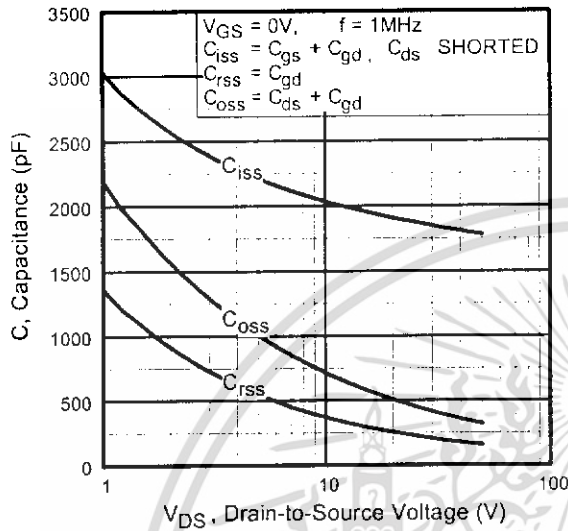


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

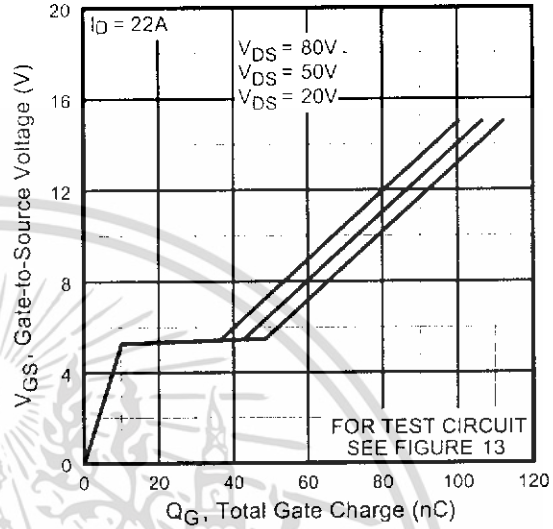


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

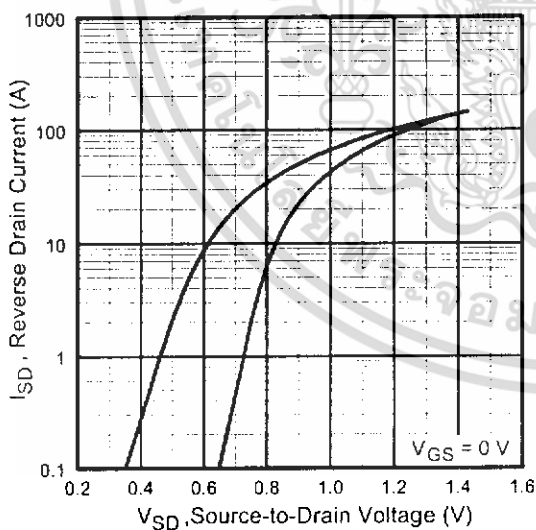


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

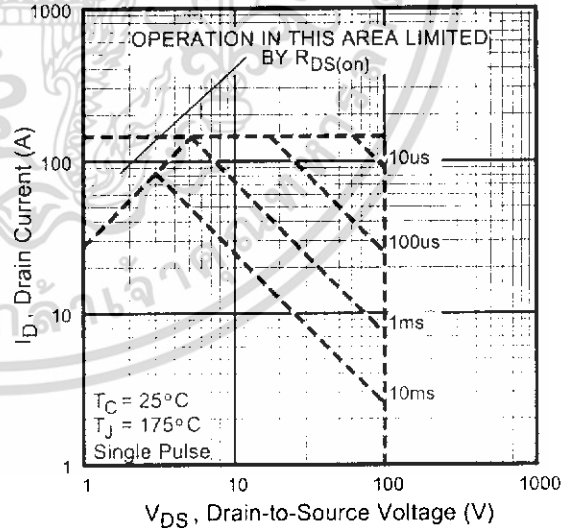


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

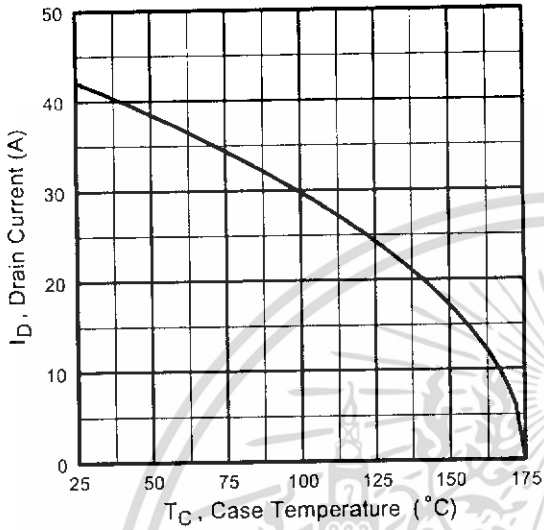


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

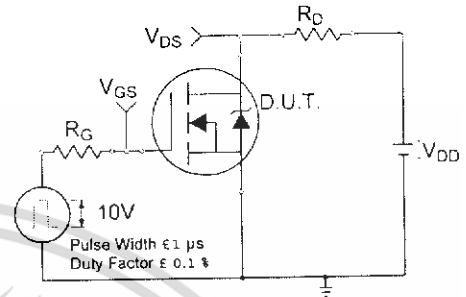


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

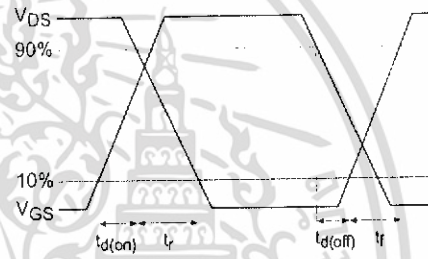


Fig 10b. Switching Time Waveforms

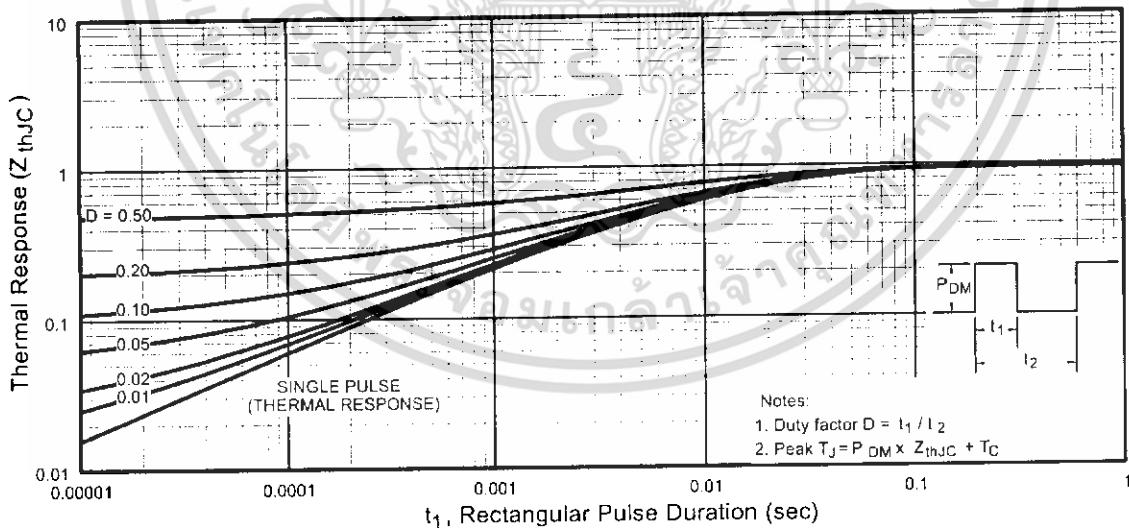


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case



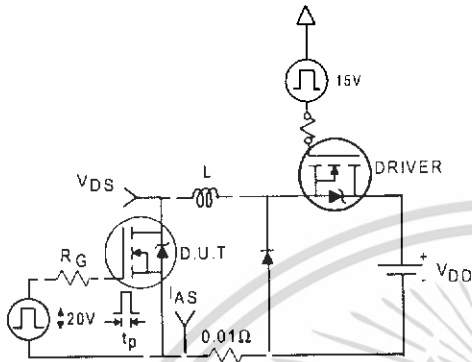


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

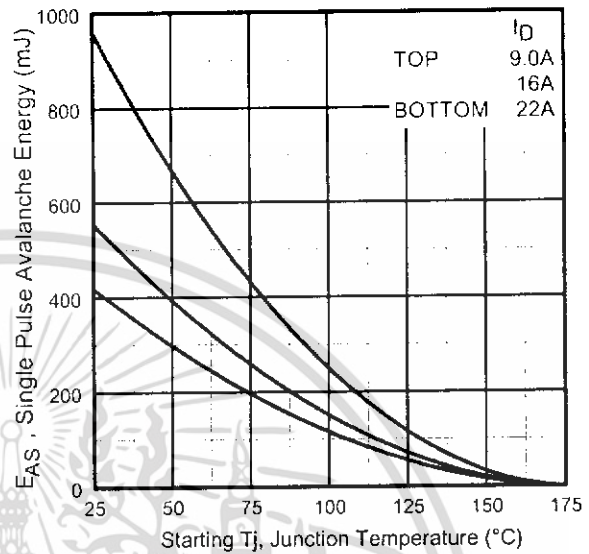


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

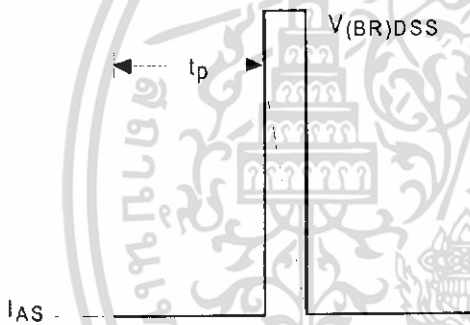


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

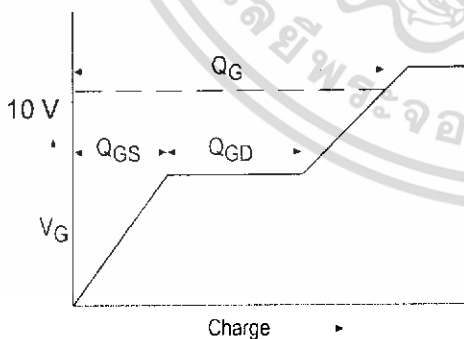


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

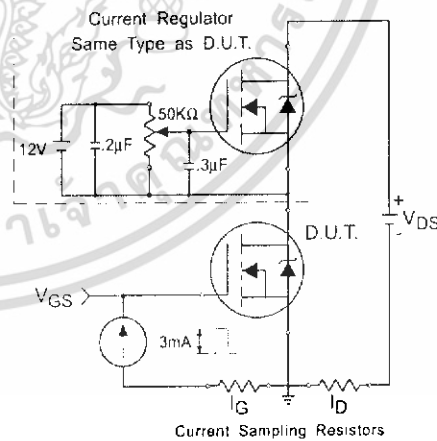


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit

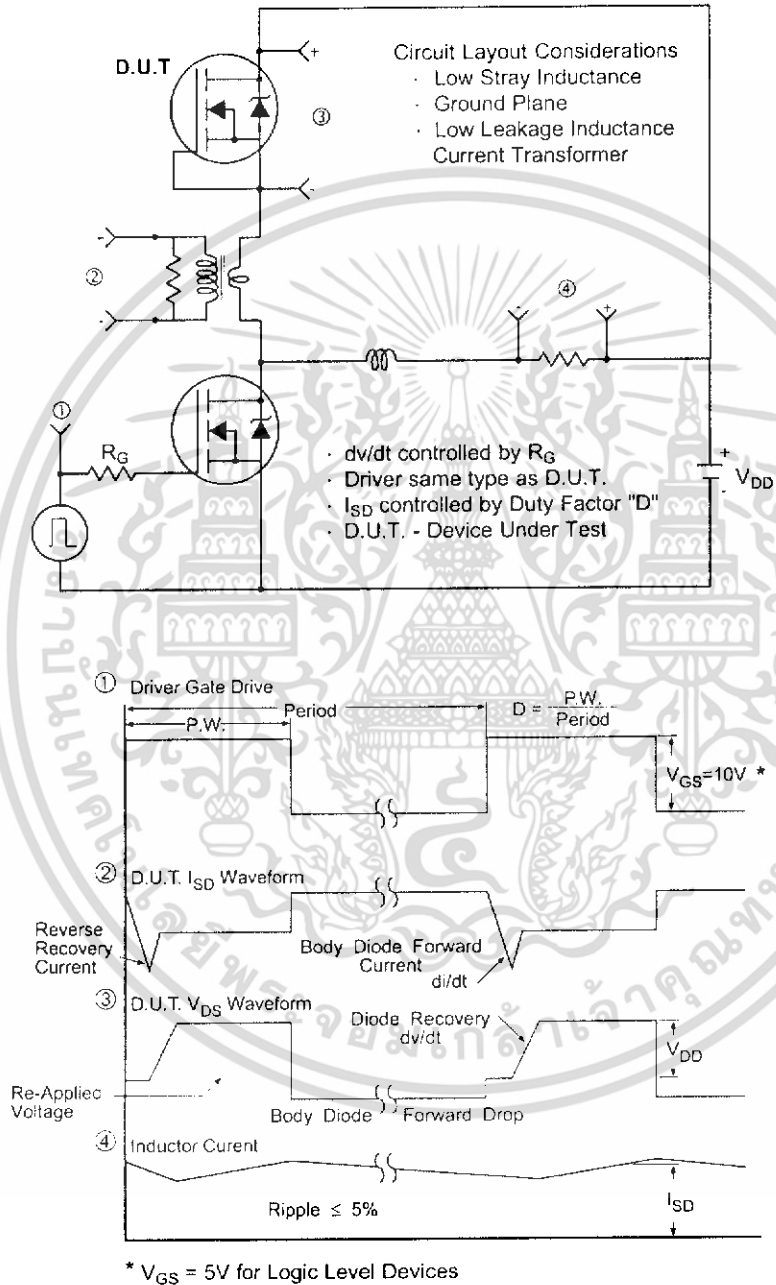


Fig 14. For N-Channel HEXFETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

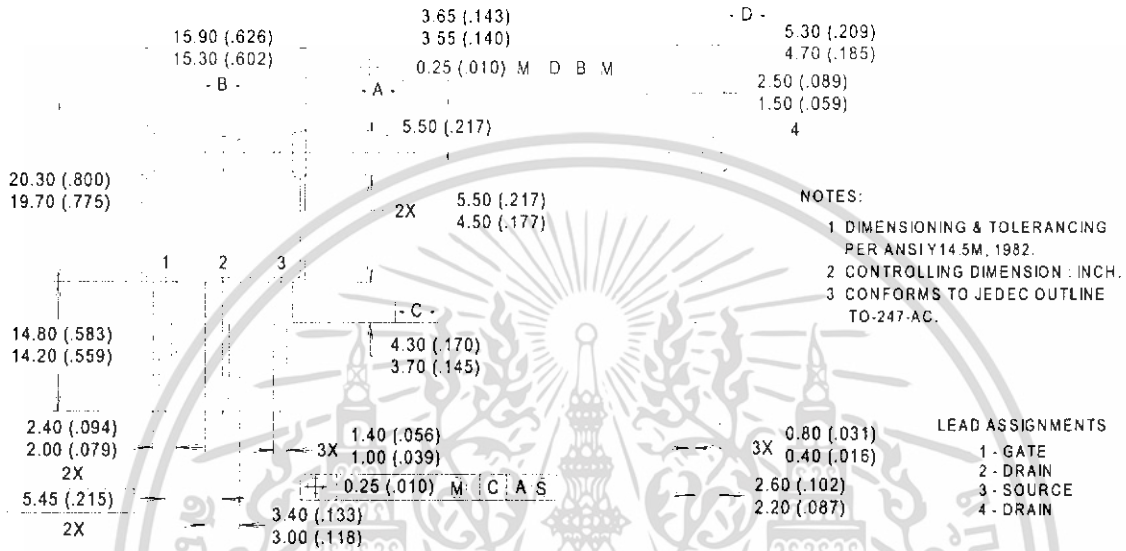
# IRFP150N

International  
**IOR** Rectifier

## Package Outline

### TO-247AC Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



## Part Marking Information

### TO-247AC

EXAMPLE: THIS IS AN IRFPE30  
WITH ASSEMBLY  
LOT CODE 3A1Q

INTERNATIONAL  
RECTIFIER  
LOGO  
**IOR**

PART NUMBER

3A1Q 9302

ASSEMBLY  
LOT CODE

DATE CODE  
(YYWW)  
YY = YEAR  
WW WEEK

Data and specifications subject to change without notice.

International  
**IOR** Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California  
90245, USA Tel: (310) 252-7105  
TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at [www.irf.com](http://www.irf.com) for sales contact information. 07/02

This datasheet has been download from:

[www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com)

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในของเครื่องรับวิทยุ	2
2.2 แสดงแหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ทั่วไปและเส้นทางการค้ำปั้งสู่เครื่องรับ	3
2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมองค์ประกอบของสัญญาณรบกวน	4
2.4 วงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลที่สมดุล	6
2.5 (Equivalent circuit) แสดงแรงดันรบกวนส่วนต่างๆของวงจร	7
2.6 (Equivalent circuit) แสดงแรงดันรบกวน VN1 และ VN2	7
2.7 บล็อกไดอะแกรมของวงจร ดีซี ทู ดีซี คอนเวอร์เตอร์	8
2.8 แสดงวงจร ด้วย ดีซี ทู ดีซี คอนเวอร์เตอร์ (โหลดเป็นดีซีมอเตอร์)	9
2.9 แสดงรูปคลื่นแรงดันควบคุม (Vgs) กระแสอาร์มีเจอร์(ia) และ แรงดันอาร์มีเจอร์(Va)	9
2.10 (Equivalent circuit) แสดงวงจรเมื่อ S1 = Closed ที่เวลา $0 \leq t < t_{on}$	10
2.11 (Equivalent circuit) แสดงวงจรเมื่อ S1 = Open ที่เวลา $t_{on} \leq t \leq T$	10
3.1 แสดงวงจร dc-dc converter (single switch)	13
3.2 (Equivalent circuit) แสดงอิมพีแดนซ์ของสายส่ง	14
3.3 (Equivalent circuit)แสดงทิศทางการไหลของกระแส	15
3.4 แสดงวงจร dc-dc converter (two switch)	16
3.5 (Equivalent circuit) แสดงแรงดันส่วนต่างๆของวงจร	17
3.6 แสดงการหักล้างกันของกระแสรบกวน	18
4.1 แสดงวงจร dc-dc converter (single switch)	19
4.2 เปรียบเทียบ Vds กับ Vgs	20
4.3 เปรียบเทียบ V12 กับ V23	21
4.4 แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแฝง (Chs1)	22
4.5 แรงดันที่ตกคร่อมดีซีมอเตอร์	22
4.6 แสดงสัญญาณรบกวนของวงจรขั้วดีซีมอเตอร์แบบไม่สมดุล	23
4.7 แสดงวงจร dc-dc converter (two switch)	23
4.8 เปรียบเทียบ Vds1 กับ Vds2	24
4.9 ช่วงมอสเฟทเริ่มหยุดนำกระแส	24
4.10 ช่วงมอสเฟทเริ่มนำกระแส	24
4.11 เปรียบเทียบแรงดันที่ตกคร่อม Cs1 เทียบกับ Cs2	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12	ชุมเปรียบเทียบแรงดันที่ตกคร่อม Cs1 เทียบกับ Cs2	25
4.13	เปรียบเทียบ V12 กับ V23	26
4.14	ชุมเปรียบเทียบ V12 กับ V23	26
4.15	แรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์	27
4.16	สัญญาณรบกวนของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบจัดสมดุลสายส่ง, แหล่งจ่าย, ขั้วโหลด	27
4.17	สัญญาณรบกวนของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบจัดสมดุลเฉพาะแหล่งจ่าย, โหลด	28
4.18	สัญญาณรบกวนของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบจัดสมดุลเฉพาะสายส่ง	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้