

ทาวเวอร์สวิตช์แบบไม่มีถ่านเบ็งแบบชั่วคราวในโหลดขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์

Power Switch Free Transient for Load Less than 1 kilo Watts

โดย

ศาสตราจารย์ ดร. ชัย ตรีวิทย์

ศาสตราจารย์ ดร. วิจิตร วัฒนา

ศาสตราจารย์ ดร. บุญศรี

ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

พาวเวอร์สวิตช์แบบไม่มีทรานเซียนส์สำหรับโหลดขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์
Power Switch Free Transient for Load Less than 1 Kilo Watts

โดย

นายชิษณุชา นีรัมย์
นายพิรัช เวียงนาค
นายพีรพัฒน์ บุญศรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

Power Switch Free Transient for Load Less than 1 Kilo Watts

CHITSANUCHA NIRAMAI
PIRACHAT WEANGNAK
PERAPHAT BOONSRI

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2014

ปีการศึกษา 2557

พาวเวอร์สวิตช์แบบไม่มีทรานเซียนส์สำหรับโหลดขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์
Power Switch Free Transient for Load Less than 1 Kilo Watts

โดย

นาย ชัชฌา นีรัมย์
นาย พิรัช เวียงนาค
นาย พีรพัฒน์ บุญศรี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. นิรุช จิรสวรรณกุล
ผศ.ดร. เฉลิมชาติ มานพ

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง พาวเวอร์สวิตช์แบบไม่มีทรานเซียนส์สำหรับโหลดขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์

ผู้จัดทำ

1. นาย ชิชณูชา นีรามัย
2. นาย พีรชัช เวียงนาค
3. นาย พีรพัฒน์ บุญศรี



อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล)



อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชาติ มานพ)

Power Switch Free Transient for Load Less than 1 Kilo Watts

Mr.Chitsanucha	Niramai	
Mr.Pirachat	Weangnak	
Mr.Peraphat	Boonsri	
Dr.Nirudh	Jirasuwankul	Advisor
Asst. Prof. Dr.Chalermchat	Manop	Advisor
Year 2014		

ABSTRACT

This paper summarises effect of transient when switching of less than or equal to 1 kW load with invented switch base on ZCS and ZVS basis in order to reduce current when open circuit and reduce voltage when close circuit owing to the moment of switching that produce instantaneous transient. This effect causes rising of current and voltage that might be danger for electronics device such as power strip ,which has many of connected load. In case of starting motor usually use a technique is called soft start but this technique is too expensive for low voltage load therefore we establish this Project to find another technique to replace soft start technique.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอกราบขอบพระคุณ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล และ ผศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดี โดยตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนๆ ร่วมอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจตลอดมา

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครง	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การเกิดสภาวะชั่วคราว (Transient)	5
2.2 การอาร์คของสวิตช์ในสภาวะทรานเซียนต์	6
2.3 คุณสมบัติเบื้องต้นของอุปกรณ์ในวงจรทรานเซียนต์	7
2.3.1 การเกิดทรานเซียนต์ในวงจรตัวต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำ	7
2.3.2 การเกิดทรานเซียนต์ในวงจรตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ	9
2.4 แบบจำลองการเกิดทรานเซียนต์ในวงจรไฟฟ้าด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink	11
2.5 หลักการที่ใช้ในการลดผลของทรานเซียนต์ขณะทำการสวิตช์	13
2.5.1 หลักการแรงดันตัดศูนย์ (Zero Voltage Switching)	13
2.5.2 หลักการกระแสตัดศูนย์ (Zero Current Switching)	15
2.6 หลักการทำงานของวงจรถนิตต่างๆ	16
2.6.1 แอนด์เกต (AND gate)	16
2.6.2 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง	17
2.6.3 แนนด์เกต (NAND Gate)	18
2.6.4 นอร์เกต (NOR Gate)	18
2.6.5 ดีฟลิปฟลอป	19
2.6.6 ทีฟลิปฟลอป	20

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 ผลกระทบจากการเกิดทรานเซียนต์	30
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
2.8.1 ซอร์ฟสตาร์ท	31
2.8.2 การควบคุมแรงดันเกินจากการสวิตชิง Capacitor BankและFilter Bank ด้วยSwitchsync	32
บทที่ 3 ส่วนประกอบของวงจรและหลักการทำงาน	34
3.1 ส่วนประกอบของวงจร	34
3.2 การทำงานของวงจรในส่วนที่ 1 วงจรสร้างพัลส์แรงดันไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์	36
3.3 การทำงานของวงจรในส่วนที่ 2 วงจรสร้างพัลส์กระแสไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์	38
3.4 การทำงานของวงจรในส่วนที่ 3 การทำงานของวงจรในส่วนที่ 3 วงจร อินเตอร์ล๊อคสวิตซ์	43
3.5 วงจรพาวเวอร์ซัพพลายกระแสตรง(DC Power Supply)	43
บทที่ 4 ผลการทดลอง	44
4.1 วัตถุประสงค์	44
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	44
4.3 วิธีการทดลอง	45
4.4 การทดลองการเปิดปิดสวิตซ์ในการควบคุมโหลดด้วยสวิตซ์ธรรมดา	46
4.4.1 โหลดตัวต้านทาน(R Load)	46
4.4.2 โหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ(RL Load)	49
4.4.3 โหลดมอเตอร์(พัดลม)	55
4.5 การทดลองการเปิดปิดสวิตซ์ในการควบคุมโหลดด้วยอุปกรณ์ (Power Switch Free Transient)	61
4.5.1 โหลดตัวต้านทาน(R Load)	61
4.5.2 โหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ(RL Load)	67
4.5.3 โหลดมอเตอร์(พัดลม)	73
4.6 การทดลองการเปิดปิดสวิตซ์ในการควบคุมโหลดโดยผ่านโซลิตสเตจรีเลย์โดยตรง	79
4.6.1 โหลดตัวต้านทาน(R Load)	79
4.6.2 โหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ(RL Load)	82
4.6.3 โหลดมอเตอร์(พัดลม)	85
4.7 ผลการจำลองจากโปรแกรม Matlab/Simulink ด้วยสวิตซ์ธรรมดา	91

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.7.1 โหลดตัวต้านทาน(R Load)	91
4.7.2 โหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ(RL Load)	93
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอนะ	97
5.1 สรุปผลการทดลองสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากวิธีการทดลองที่นำเสนอในข้างต้น	97
5.2 ทฤษฎีการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับ(Back Emf)	98
5.3 ข้อเสนอแนะ	99
เอกสารอ้างอิง	101
ภาคผนวก	102
ก. บทความทางวิชาการ	103
ข. ข้อมูลแอนด์เกต	108
ค. ข้อมูลนอร์เกต	112
ง. ข้อมูลดีฟลิปฟลอป	118
จ. ข้อมูล แอนด์เกต 3 อินพุต	123
ฉ. ข้อมูล แอนด์เกต	126
ช. ข้อมูล โซลิตสเตรจีเลย์	131
ซ.ข้อมูล ซีมอส	134
ฅ. ข้อมูล เนกกาทีฟ โวลเตจ เรกกูเรเตอร์	141
ญ.ข้อมูล โพซิทีฟ โวลเตจ เรกกูเรเตอร์	151
ฎ.ข้อมูล ออปแอมป์	170
ประวัติผู้เขียน	175

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 วงจรสมมูลทรานเซียนต์ที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน	5
2.2 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า(i)	6
2.3 ทรานเซียนต์จากการเปิดสวิตช์	7
2.4 วงจร R-L ทรานเซียนต์	8
2.5 กราฟของวงจร R-L ทรานเซียนต์	8
2.6 กราฟของวงจร R-L ทรานเซียนต์เมื่อแรงดันไฟฟ้าลดลง	9
2.7 วงจร R-C ทรานเซียนต์	10
2.8 กราฟของกระแสไฟฟ้าในวงจร R-C ทรานเซียนต์	10
2.9 กราฟของแรงดันไฟฟ้าในวงจรทรานเซียนต์ที่มีตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ	11
2.10 วงจรโหลด RL	12
2.11 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขณะทำการสวิตช์ของโหลด RL	12
2.12 วงจรโหลด RC	13
2.13 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขณะทำการสวิตช์ของโหลด RC	13
2.14 เทคนิคในการเปิดสวิตช์(ปิดวงจร)ในสภาวะแรงดันตัดศูนย์	14
2.15 ก)วงจรการทำงานด้วยสวิตช์และ ข)สัญลักษณ์ของแอนด์เกตที่มี 2 อินพุท	16
2.16 แสดงสัญลักษณ์ของแอนด์เกต n อินพุท	17
2.17 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง และสัญญาณที่ได้จากวงจร	17
2.18 แนนด์เกตและตารางค่าความจริง	18
2.19 นอร์เกตและตารางค่าความจริง	19
2.20 สัญลักษณ์ดีฟลิปฟลอป	19
2.21 ไตอะแกรมเวลาของสัญญาณแบบขอบขาขึ้น	20
2.22 ไตอะแกรมเวลาของสัญญาณแบบขอบขาลง	20
2.23 สัญลักษณ์ของทีฟลิปฟลอป	21
2.24 ไตอะแกรมเวลาของทีฟลิปฟลอป	21
2.25 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	22
2.26 วงจรขยายแบบกลับสัญญาณ	22
2.27 กราฟกำลังขยายเทียบกับความถี่	23
2.28 โครงสร้างภายใน และสัญลักษณ์ของไตรแอก	24
2.29 การไหลของกระแสไฟฟ้าภายในตัวไตรแอกในสภาวะที่ 1	24
2.30 การทำงานไทรสเตอร์ภายในไตรแอกในสภาวะที่ 1	25
2.31 การไหลของกระแสไฟฟ้าภายในตัวไตรแอกในสภาวะที่ 2	25

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.32 การทำงานไทรสเตอร์ภายในไตรแอกในสภาวะที่ 2	25
2.33 การไหลของกระแสไฟฟ้าภายในตัวไตรแอกในสภาวะที่ 3	26
2.34 การทำงานไทรสเตอร์ภายในไตรแอกในสภาวะที่ 3	26
2.35 การไหลของกระแสไฟฟ้าภายในตัวไตรแอกในสภาวะที่ 4	26
2.36 การทำงานไทรสเตอร์ภายในไตรแอกในสภาวะที่ 4	27
2.37 คุณสมบัติการทำงานของไตรแอก	27
2.38 การเปรียบเทียบระหว่างวงจรถวายไตรแอก(ก) และวงจรถวาย SCR(ข)	28
2.39 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดของไตรแอก	28
2.40 โซลิดสเตตรีเลย์	28
2.41 องค์ประกอบและวงจรมูลฐานของโซลิดสเตตรีเลย์	29
2.42 คลื่นสัญญาณและแรงดันไฟฟ้าการทำงานของวงจรถวายโซลิดสเตตรีเลย์	29
2.43 การเปลี่ยนแปลงแรงบิดของมอเตอร์ถ้าแรงดันเปลี่ยนเป็นค่าต่างๆ	31
2.44 วงจรถวายควบคุมเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้วย Switchsync	32
2.45 หลักการควบคุมเวลาการทำงานของ CB ด้วย Switchsync	33
2.46 เวลาที่ใช้ในการสวิตชิงด้วย Switchsync	33
3.1 วงจรถวายพัลส์แรงดันไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์(Zero Crossing Voltage)	35
3.2 วงจรถวายพัลส์กระแสไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์(Zero Crossing Current)	35
3.3 วงจรถวายอินเตอร์ล๊อคสวิตซ์(Intelock Switch Circuit)	35
3.4 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกแปลงลงมาเหลือ 15 โวลต์	36
3.5 แรงดันไฟฟ้าหลังผ่านวงจรถวายเรียงกระแส	36
3.6 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านวงจรถวายออปแอมป์	37
3.7 สัญญาณขาออกจากวงจรถวายสัญญาณแบบกลับเฟส	37
3.8 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์(Zero Crossing Voltage)	38
3.9 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากหม้อแปลงกระแส	38
3.10 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าหลังผ่านวงจรถวายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	39
3.11 สัญญาณที่ได้เมื่อผ่านไดโอด	39
3.12 สัญญาณหลังผ่านวงจรถวายสัญญาณกลับเฟส	40
3.13 สัญญาณที่ได้เมื่อผ่านไดโอด	40
3.14 สัญญาณรูปคลื่นไซน์ครึ่งบวก	41
3.15 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านวงจรถวายออปแอมป์	41
3.16 สัญญาณขาออกจากวงจรถวายสัญญาณแบบกลับเฟส	42

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.17 สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์(Zero Crossing Current)	42
3.18 บล็อกไดอะแกรมของพาวเวอร์ซัพพลาย	43
3.19 วงจรพาวเวอร์ซัพพลายกระแสตรง(DC Power Supply)	43
4.1 ชิ้นงาน Power Switch Free Transient	44
4.2 การทดลอง	45
4.3 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ	46
4.4 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ	47
4.5 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ	48
4.6 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ	49
4.7 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ	50
4.8 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ	51
4.9 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ	52
4.10 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ	53
4.11 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ	54
4.12 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ	55
4.13 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ	56
4.14 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ	57
4.15 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ	58
4.16 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ	59
4.17 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ	60
4.18 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ	61
4.19 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ	62
4.20 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ	63
4.21 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ	64
4.22 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ	65

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.46 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ	89
4.47 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ	90
4.48 วงจร simulink โหลดตัวต้านทาน	91
4.49 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณจุดตัดศูนย์ของสัญญาณ	91
4.50 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณจุดตัดศูนย์ของสัญญาณ	92
4.51 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ	93
4.52 วงจร simulink โหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ	93
4.53 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณจุดตัดศูนย์ของสัญญาณ	94
4.54 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณจุดตัดศูนย์ของสัญญาณ	95
4.55 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ	96

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	3
2.1 ตารางแสดงค่าความจริง(Truth table) ของแอนด์เกต	16
2.2 สัญญาณแบบขอบขาขึ้น และสัญญาณแบบขอบขาลง	20

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในชีวิตประจำวันเรามักพบกับปัญหาในการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับสวิตช์ คือ ในบางครั้งเมื่อเราทำการเปิดสวิตช์(ต่อวงจร) หรือทำการปิดสวิตช์(ตัดวงจร) อาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับตัวสวิตช์นั้นๆ เกิดความเสียหายได้ เช่น เมื่อเราทำการเปิดสวิตช์หลอดไฟที่ต่ออยู่กับสวิตช์ตัวนั้นเกิดความเสียหาย หรือเมื่อเราทำการระฟ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายๆชิ้นเข้ากับปลั๊กพ่วง เมื่อทำการสวิตช์อาจทำให้อุปกรณ์เสียหายได้เช่นกัน สาเหตุเหล่านี้เกิดจากสภาวะชั่วครู่ขณะทำการสวิตช์ ในช่วงที่มีขนาดกระแสหรือขนาดแรงดันสูงกว่าปกติ ซึ่งการเกิดสภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ จะเกิดในช่วงที่เราทำการเปิดสวิตช์ ส่วนการเกิดสภาวะกระแสสูงกว่าปกติจะเกิดในช่วงที่เราทำการปิดสวิตช์ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าขณะที่เราทำการเปิดสวิตช์(ต่อวงจร) วงจรไฟฟ้าที่เรากำลังพิจารณา ยังไม่ครบวงจรจึงยังไม่มีกระแสไหลทำให้ยังไม่เกิดสภาวะที่กระแสสูงกว่าปกติ แต่ในขณะที่เรากำลังจะทำการปิดสวิตช์(ตัดวงจร) นั้นแปลว่าเดิมวงจรไฟฟ้าที่เราพิจารณามีการครบวงจรทางไฟฟ้าและมีกระแสไหลในวงจรอยู่ก่อนแล้ว ซึ่งเมื่อเราทำการปิดสวิตช์ อาจทำให้เกิดกระแสสูงกว่าปกติได้เนื่องจากกระแสและแรงดันไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซนูซอยด์ ซึ่งเราไม่สามารถรู้ได้ว่าขณะที่เราทำการสวิตช์นั้น จะไปสวิตช์ที่ตำแหน่งใดของรูปคลื่น

จากเหตุผลดังกล่าว ประกอบกับปัจจุบันอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันสภาวะการเกิดกระแสและแรงดันสูงกว่าปกติในขณะที่ทำการสวิตช์ที่ใช้กับโหลดขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์ หรือใช้ตามที่พักอาศัยยังไม่มีอุปกรณ์ป้องกัน จึงทำให้เกิดการวิจัยของโครงการชิ้นนี้ขึ้นมาในชื่อ พาวเวอร์สวิตช์แบบไม่มีทรานเซียนส์สำหรับโหลดขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์ โดยอาศัยหลักการของ Zero Voltage Switch(ZVS) และ Zero Current Switch(ZCS) ในการเปิดปิดสวิตช์อัตโนมัติ เพื่อลดปัญหาการเกิดกระแสและแรงดันสูงกว่าปกติในช่วงชั่วครู่ขณะทำการสวิตช์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อให้เข้าใจสภาวะการเกิดขนาดกระแสและแรงดันสูงกว่าปกติในช่วงทรานเซียนต์ขณะทำการสวิตช์
2. เพื่อศึกษาถึงหลักการทำงานของ Zero Voltage Switch(ZVS) และ Zero Current Switch(ZCS)ในการลดผลการเกิดขนาดกระแสและแรงดันสูงกว่าปกติขณะทำการสวิตช์
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตอุปกรณ์เพื่อลดผลการเกิดสภาวะชั่วครู่ขณะทำการสวิตช์ในโหลดขนาดเล็กไม่เกิน 1 กิโลวัตต์

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ศึกษาการเกิดสภาวะกระแสและแรงดันสูงกว่าปกติที่เกิดจากการสวิตช์
2. ศึกษาหลักและวิธีการของ Zero Voltage Switch(ZVS) และ Zero Current Switch(ZCS)
3. ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้กับโหลดขนาดเล็กไม่เกิน 1 กิโลวัตต์
4. ทำการทดสอบอุปกรณ์ป้องกัน โดยการนำไปต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้าจริงที่มีขนาดโหลดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์
5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการนำอุปกรณ์ไปทดสอบและสรุปผลการทดลอง

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

วิธีการที่ใช้ในโครงการนี้ คือการนำเอาหลักการของ Zero Voltage Switch(ZVS) และ Zero Current Switch(ZCS) มาออกแบบอุปกรณ์พาวเวอร์สวิตช์อัตโนมัติเพื่อป้องกันสภาวะชั่วครู่ขณะทำการสวิตช์ โดยขณะที่เกิด ZVSกระแสไฟฟ้าจะถูกแบ่งไปไหลในกิ่งที่ขนานกับกิ่งหลักในวงจรโดยในขณะที่กำลังเปิดวงจรนั้น แรงดันไฟฟ้าที่คร่อมอยู่ที่สวิตช์จะมีค่าเข้าใกล้ 0 ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการส่งถ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังกิ่งที่ขนานกันประกอบไปด้วยแรงดันอาร์คและค่าความเหนี่ยวนำสแตตริยระหว่างตัวสวิตช์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง จากข้างต้น เทคนิคนี้ถูกเรียกว่า ZVS turn-off ถ้าหากปริมาณกระแสและแรงดันบริเวณหน้าสัมผัสมีค่ามากกว่าปริมาณกระแสและแรงดันขั้นต่ำที่ทำให้เกิดอาร์คจะส่งผลให้เกิด อาร์ค ในระยะเวลาสั้นๆและในขณะที่หน้าสัมผัสถูกเปิดออก แรงดันอาร์คจะปรับเข้าสู่ปริมาณขั้นต่ำสุดที่ทำให้เกิดอาร์คได้ แต่ยังมีค่าสูงกว่าแรงดันตกที่เป็น Non-Inductive จนกว่าการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าบริเวณหน้าสัมผัสจะเสร็จสิ้นในเทคนิคที่เรียกว่า ZCS turn-off นั้น กระแสเรโซแนนท์จะถูกนำมาคิดด้วย โดยกระแสเรโซแนนท์เกิดจากในขณะที่กำลังจะเปิดวงจรนั้นเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสวิตช์เข้าใกล้ 0 ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลสวนทางกระแสไฟฟ้าหลักหรือก็คือกระแสที่จะไหลเข้าตัวเก็บประจุ และค่าของกระแส Peak (i_c) จะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่ากระแสลัดวงจรสูงสุดส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการส่งถ่ายกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L),ค่าความจุไฟฟ้า(C)และค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น($E(0)$) (แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุก่อนที่จะมีการชาร์จเพื่อสะสมประจุ)

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ทราบถึงผลกระทบที่มีต่อเครื่องใช้ไฟฟ้า จากการเกิดแรงดันหรือกระแสเกิน ในช่วงสภาวะทรานเซียนและได้ทราบถึงวิธีการและหลักการต่างๆในการกำจัดหรือลด การเกิดแรงดันหรือกระแสเกินในช่วงทรานเซียน
2. ได้ทราบถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้งานจริง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้และเป็นต้นแบบของ อุปกรณ์ที่ศึกษาและสร้างขึ้นใหม่
3. ได้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการ ZVS และ ZCS ที่ใช้ในการกำจัดผลที่เกิดขึ้น ในช่วงทรานเซียนของการสับสวิตซ์
4. สามารถสร้างอุปกรณ์(สวิตซ์) ที่สามารถลดหรือกำจัด กระแสหรือแรงดันเกิน ในช่วงสภาวะทรานเซียนได้จากหลักการ ZVS และ ZCS

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเกิดสภาวะชั่วคราว (Transient)

ทรานเซียนต์คือการเกิดของสัญญาณในช่วงเวลาสั้นๆของการเปิด - ปิดสวิตช์ช่วงเวลาสั้นๆนี้ สภาพของวงจรจะเปลี่ยนไปเรียกการเปลี่ยนแปลงของวงจรไฟฟ้านี้ว่าเป็นการเกิดของสัญญาณในช่วงเวลาทรานเซียนต์

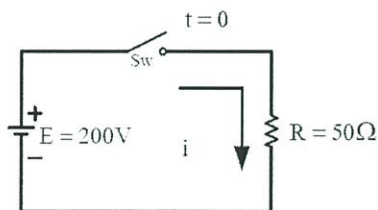
ทรานเซียนต์เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขณะที่เปิดหรือปิดสวิตช์ของวงจรไฟฟ้าในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าจึงพิจารณาตั้งแต่ก่อนหรือหลังการทำงานของสวิตช์คือช่วงก่อนสวิตช์จะต่อหรือตัดวงจรที่เวลา $t = 0$ ซึ่งเรียกช่วงเวลานี้ว่า “ช่วงเวลาทรานเซียนต์” ผลตอบสนองของรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่ได้ในช่วงเวลานี้เรียกว่าผลตอบสนองต่อทรานเซียนต์หรือการเกิดทรานเซียนต์

ทรานเซียนต์จะไม่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้าที่มีตัวต้านทานเพียงอย่างเดียวเพราะว่าตัวต้านทานไม่สามารถเก็บหรือสะสมพลังงานไว้ที่ตัวมันเองได้พลังงานที่ตัวต้านทานได้รับนั้นจะกระจายออกไปในรูปของพลังงานความร้อนส่วนในวงจรไฟฟ้าที่มีขดลวดเหนี่ยวนำหรือตัวเก็บประจุต่ออยู่จะมีการเกิดทรานเซียนต์ขึ้นเพราะว่าขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุสามารถเก็บหรือสะสมพลังงานไว้ได้

สัญญาณที่เกิดขึ้นมานี้จะมีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของทรานเซียนต์ถ้าสัญญาณทรานเซียนต์เกิดขึ้นมาไม่มากอาจจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายใดๆหรืออาจจะเสียหายเล็กน้อย แต่ถ้าสัญญาณทรานเซียนต์เกิดขึ้นมามากอาจจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงได้

ตัวอย่างที่ 2.1 จากวงจรในภาพที่ 2.1 จงหาค่ากระแสไฟฟ้า $i(t)$ ที่เวลาต่อไปนี้

- ที่เวลา t ใดๆก่อนสวิตช์ต่อวงจร (t มีค่าเป็นลบ)
- ที่เวลา $t = 0$ (สวิตช์ต่อวงจรที่เวลา $t = 0$)
- เขียนรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า $i(t)$ เทียบกับเวลา t



ภาพที่ 2.1 วงจรสมมูลทรานเซียนต์ที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน

วิธีทำ

ก. ก่อนสวิตช์ต่อวงจรที่เวลา $t = 0$ วินาทีค่ากระแสไฟฟ้า $i(0) = 0$ A

ข. ที่เวลา $t = 0$ สวิตช์ต่อวงจรหาค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรจะได้ดังนี้

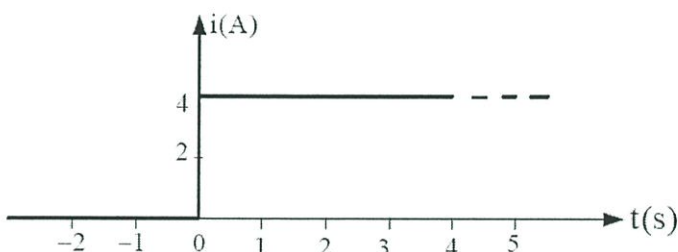
$$i = \frac{E}{R} \quad (2.1)$$

$$i = \frac{200}{50} \quad (2.2)$$

$$= 4$$

หลังจากสวิตช์ต่อวงจรแล้วค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรมีค่าคงที่เท่ากับ 4 A

ค. เขียนรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า $i(t)$ เทียบกับเวลา t ได้ดังภาพ

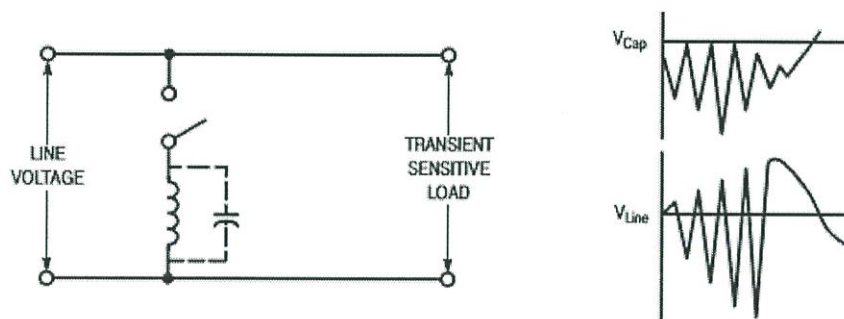


ภาพที่ 2.2 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า $i(t)$

ผลของทรานเซียนต์ เมื่อเกิดทรานเซียนต์ขึ้นในวงจรไฟฟ้ามักจะพบว่ามีความเสียหายมากกว่าผลดี เนื่องจากการเกิดทรานเซียนต์นั้นจะทำให้เกิดผลเสียต่อระบบจากการกระชากของกระแสไฟฟ้าจำนวนมากในขณะที่เปิดหรือปิดสวิตช์ระบบไฟฟ้าให้กับเครื่องจักรทรานเซียนต์จะเกิดขึ้นอย่างรุนแรง ในกรณีที่เครื่องจักรเหล่านั้นต้องการแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูงจึงมีผลทำให้เกิดอุปกรณ์และเครื่องจักรต่างๆเกิดการเสียหายได้ในขณะที่ผลดีของทรานเซียนต์นั้นน้อยมากเช่นผลของทรานเซียนต์นี้นำไปสร้างเป็นแหล่งกำเนิดรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่สร้างได้ยากได้แก่การวาดรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าในหลอดคาโทดเรย์ (CRT : Cathode ray tube) เป็นต้น

2.2 การอาร์คของสวิตช์ในสถานะทรานเซียนต์

ขณะที่หน้าสัมผัสของสวิตช์เปิดขึ้นและพยายามยับยั้งการไหลของกระแสในวงจรเหนี่ยวนำอยู่นั้น ตัวเหนี่ยวนำก็จะทำการรักษาทิศทางของการไหลของกระแสให้ไปสะสมที่ ความจุไฟฟ้าสเตรย์ (ดูจากภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 ทรานเซียนต์จากการเปิดสวิตช์

เหตุการณ์เช่นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อน้ำสัมผัสของสวิตช์ทำการเปิดหลังจากมันเพิ่งจะทำการปิดสวิตช์ได้ไม่นาน กล่าวคือ เมื่อสวิตช์ทำการเปิดวงจร การไหลของกระแสจะไหลวนระหว่าง ความจุไฟฟ้าสเตรย์และตัวเหนี่ยวนำ เป็นผลทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตรงบริเวณน้ำสัมผัส และอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเบรกดาวนได้ แต่หากสวิตช์ทำการเปิดน้ำสัมผัสอย่างช้าๆเมื่อเทียบกับความถี่ ออสซิลเลชั่น ก็เพียงจะทำให้เกิดอาร์คได้ โดย อาร์คจะสั้นสุดลงเมื่อการไหลวนของกระแสเป็นศูนย์อย่างไรก็ตามการไหลวนของแรงดันจะเกิดขึ้นอีกและทำให้น้ำสัมผัสสวิตช์อยู่ห่างกันมากขึ้น

อาร์คทุกๆตัวนั้นเป็นสาเหตุให้แรงดันสูงขึ้นและแรงดันจะไม่ลดลง จนกว่าน้ำสัมผัสของสวิตช์จะอยู่ห่างกันมากพอ เพื่อไม่ให้กระแสไหลผ่าน(เปิดวงจร)

2.3 คุณสมบัติเบื้องต้นของอุปกรณ์ในวงจรทรานเซียนต์

การเกิดทรานเซียนต์ในวงจรไฟฟ้านั้นสัมพันธ์อยู่กับอุปกรณ์พื้นฐาน 3 ตัวคือตัวต้านทาน ขดลวดเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าโดยแหล่งจ่ายนี้จะมีค่าคงที่หรือเปลี่ยนแปลงตามเวลา

2.3.1 การเกิดทรานเซียนต์ในวงจรตัวต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำ (R-L Transient) เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวดเหนี่ยวนำจะทำให้ขดลวดเหนี่ยวนำเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าในตัวของมันเองกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำเริ่มเปลี่ยนแปลงมากขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำในตัวของมันเองจะเริ่มลดลงจะได้สมการ

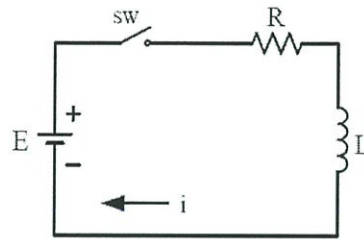
$$V_L = \frac{L \Delta i}{\Delta t} \quad (2.2)$$

V_L หมายถึงแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของขดลวดเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

L หมายถึงค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็นเฮนรี (H)

Δi หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ

Δt หมายถึงที่เวลาหนึ่งๆกับการเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสไฟฟ้าที่เวลานั้นๆ

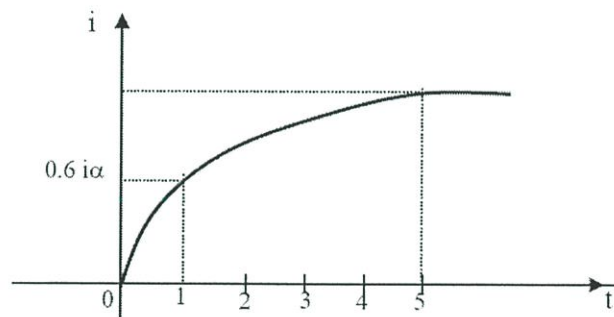


ภาพที่ 2.4 วงจร R-L ทรานเซียนต์

จากวงจรก่อนสวิตช์ต่อวงจรที่เวลา $t = 0$ นั้นกระแสไฟฟ้า $i_L = (0^-)$ ในวงจรมีค่าเท่ากับ 0 แอมป์และขณะสวิตช์ต่อวงจรที่เวลา $t = 0$ โดยใช้กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์เขียนสมการแรงดันไฟฟ้าที่เวลา $t > 0$ จะได้สมการดังนี้

$$E = V_L + V_R \quad (2.3)$$

$$E = L \frac{\Delta i}{\Delta t} + (R \times i) \quad (2.4)$$



ภาพที่ 2.5 กราฟของวงจร R-L ทรานเซียนต์

จากกราฟของวงจรเมื่อเริ่มต่อสวิตช์ให้กับวงจรกระแสไฟฟ้าจะค่อยๆ ไหลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าสูงสุดโดยกระแสไฟฟ้าจะไม่ไหลเพิ่มขึ้นทันทีทันใดเพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (Back emf) ในขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งจะต่อต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดเหนี่ยวนำที่เวลา $t = \frac{L}{R}$ วินาทีกระแสไฟฟ้าจึงจะไหลเพิ่มขึ้นถึง 0.63 ของค่ากระแสไฟฟ้าสุดท้าย (i_α) หรือ 63% ของค่ากระแสไฟฟ้าสุดท้ายซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าเมื่อวงจรเข้าสู่สภาวะคงที่คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในวงจรอีกต่อไป

ในวงจรทรานเซียนต์ที่ประกอบด้วยตัวต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำเรียกว่า $\frac{L}{R}$ ว่าค่าคงตัวทางเวลา (Time Constant หรือ TC)

$$\text{ถ้า } t = \frac{L}{R} \text{ วินาที}$$

ค่าการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าจะเป็นเส้นโค้งซึ่งหาได้จากสมการเอกซ์โพเนนเชียล

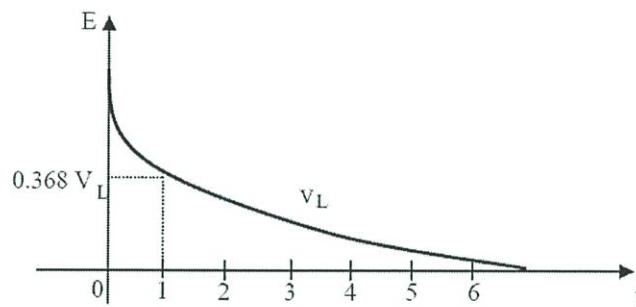
$$i = i\alpha(1 - e^{-t/(L/R)}) \quad (2.5)$$

$$i = \frac{E}{R}(1 - e^{-t/(L/R)}) \quad \text{ให้ } t = \frac{L}{R} \quad (2.6)$$

$$i = i\alpha(1 - e^{-1}) \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} i &= i\alpha(1 - 0.368) \\ &= 0.632i\alpha \text{ A} \end{aligned}$$

หลังจาก $t = \frac{5L}{R} = 5TC$ ไปแล้วกระแสไฟฟ้าในวงจรจะเริ่มมีค่าคงที่ในกรณีของ V_L แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม L จะลดลงเป็นส่วนกลับกับค่ากระแสไฟฟ้าในวงจร



ภาพที่ 2.6 กราฟของวงจร R-L ทราบเขียนต์เมื่อแรงดันไฟฟ้าลดลง

$$V_L = E \cdot e^{-t/(L/R)} \text{ V} \quad (2.8)$$

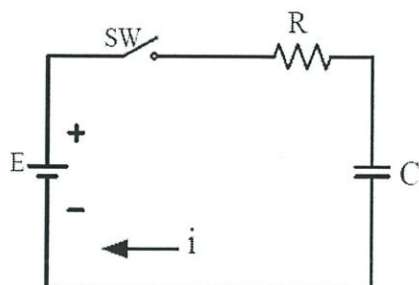
$$\text{เมื่อ } t = \frac{L}{R}$$

$$V_L = E \cdot e^{-1}$$

(2.9)

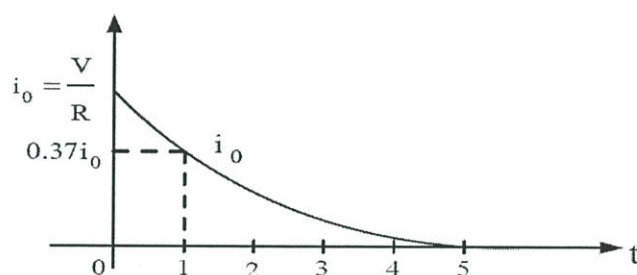
$$= 0.368E \text{ V}$$

2.3.2 การเกิดทรานเซียนต์ในวงจรตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ (R - C Transient) การวิเคราะห์การเกิดทรานเซียนต์ในวงจรตัวต้านทานและตัวเก็บประจุนั้นจะเหมือนกับการวิเคราะห์การเกิดทรานเซียนต์ในวงจรตัวต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำต่างกันตรงที่ในวงจรตัวต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำเป็นการพิจารณาเรื่องของกระแสไฟฟ้าเพราะขดลวดเหนี่ยวนำเก็บพลังงานไว้ในรูปสนามแม่เหล็กเมื่อสนามแม่เหล็กยุบตัวจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรส่วนในวงจรตัวต้านทานและตัวเก็บประจุนั้นเป็นเรื่องของแรงดันไฟฟ้าเพราะว่าตัวเก็บประจุจะเก็บพลังงานไว้ในรูปสนามไฟฟ้าคือเกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุนั่นเอง



ภาพที่ 2.7 วงจร R-C ทรานเซียนต์

ตัวเก็บประจุเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าจะทำการเก็บประจุไฟฟ้าไว้ในสภาพปกติเมื่อยังไม่ต่อสวิตช์ตัวเก็บประจุจะยังไม่มีประจุต่อเมื่อต่อสวิตช์ตัวเก็บประจุจะทำการเก็บประจุกระแสไฟฟ้าในวงจรจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเป็นศูนย์เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุประจุไว้



ภาพที่ 2.8 กราฟของกระแสไฟฟ้าในวงจร R-C ทรานเซียนต์

$$E = V_C + V_R \quad (2.10)$$

$$E = V_C + R \cdot i \quad (2.11)$$

$$i = \frac{E - V_C}{R} \quad (2.12)$$

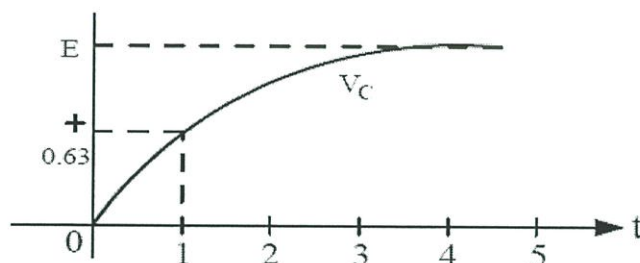
เขียนเป็นสมการเอกซโพเนนเชียลได้ดังนี้

$$i_C = i_0 e^{-t/RC} \text{ A} \quad (2.13)$$

$$\text{เมื่อ } t = TC = RC \text{ s}$$

$$i_C = i_0 e^{(-1)} = 0.368 i_0 \text{ A} \quad (2.14)$$

ที่เวลาหนึ่งภายหลังจากที่ได้ต่อสวิตช์ V_C จะเพิ่มมากขึ้นและกระแสไฟฟ้าจะลดลงเวลาที่มีค่าเท่ากับ RC เรียกว่าค่าคงตัวทางเวลา (TC) ของวงจร R-C จะมีค่ากระแสไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 0.368 ของค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด



ภาพที่ 2.9 กราฟของแรงดันไฟฟ้าในวงจรทรานเซียนต์ที่มีตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ

แรงดันไฟฟ้า V_C ที่เพิ่มขึ้นจะเป็นส่วนกลับกับค่ากระแสไฟฟ้า

$$V_C = E(1 - e^{-t/RC}) \quad (2.15)$$

$$\text{เมื่อ } TC = RC$$

$$V_C = E(1 - e^{-1}) \quad (2.16)$$

$$= E(1 - 0.368) \quad (2.17)$$

$$= 0.632 E$$

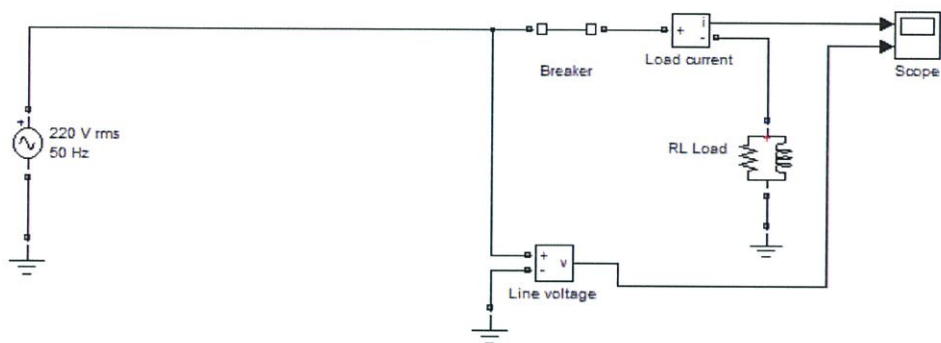
สามารถกล่าวได้โดยรวมน่า ทรานเซียนต์เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขณะที่เปิดหรือปิดสวิตช์ของวงจรไฟฟ้าในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าจึงพิจารณาตั้งแต่ก่อนหรือหลังการทางานของสวิตช์คือช่วงก่อนสวิตช์จะต่อ หรือตัดวงจรที่เวลา $t = 0$ ซึ่งเรียกช่วงเวลานี้ว่า “ช่วงเวลาทรานเซียนต์” ผลตอบสนองรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่ได้ในช่วงเวลานี้เรียกว่าผลตอบสนองต่อทรานเซียนต์หรือการเกิดทรานเซียนต์

2.4 แบบจำลองการเกิดทรานเซียนต์ในวงจรไฟฟ้าด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

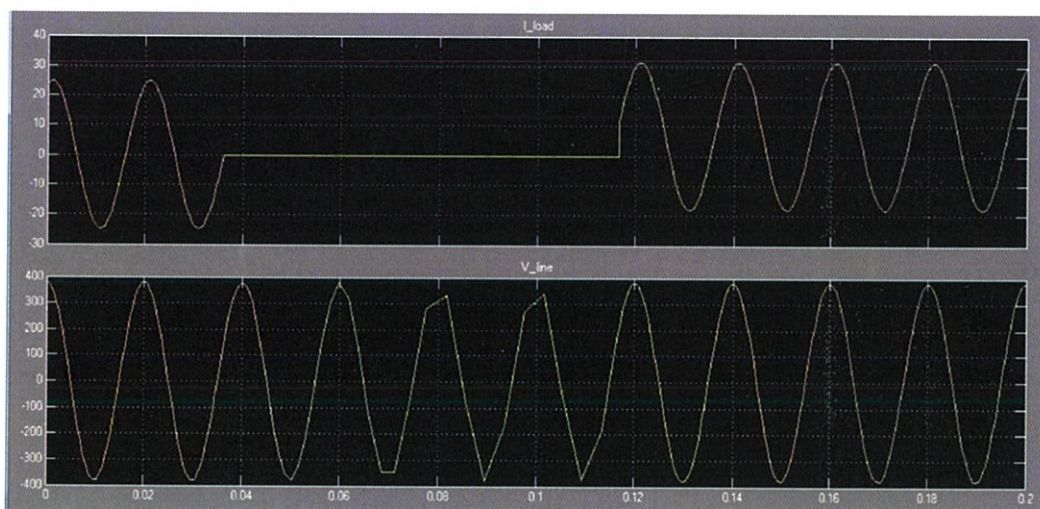
พิจารณาที่ 1000 W , Power Factor 0.95

วงจรที่ประกอบด้วยโหลดตัวต้านทาน(R) และขดลวดเหนี่ยวนำ(L)

Transient Analysis of a Linear Circuit



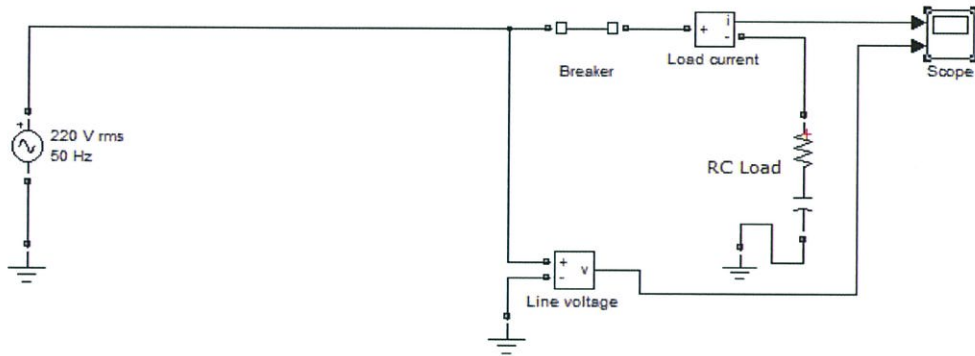
ภาพที่ 2.10 วงจรโหลด RL



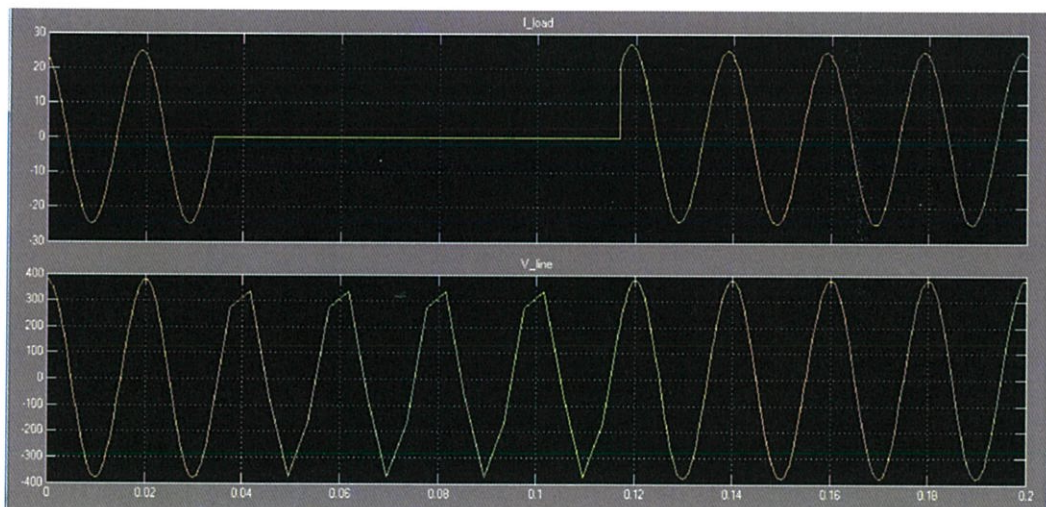
ภาพที่ 2.11 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขณะทำการสวิตช์ของโหลด RL

วงจรที่ประกอบด้วยโหลดตัวต้านทาน(R) และตัวเก็บประจุ(C)

Transient Analysis of a Linear Circuit



ภาพที่ 2.12 วงจรโหลด RC



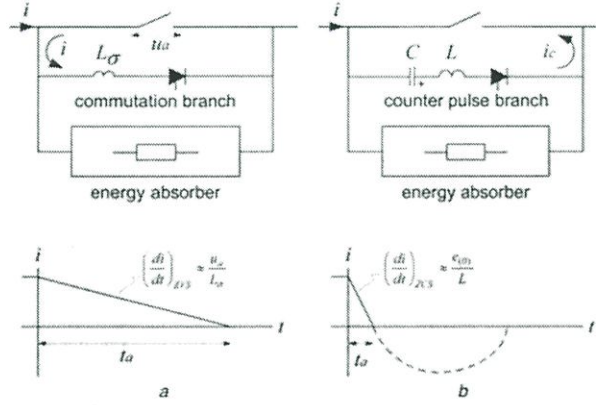
ภาพที่ 2.13 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขณะทำการสวิตช์ของโหลด RC

จากวงจรในภาพที่ 2.9,2.11 และกราฟจากการจำลองทางโปรแกรมในภาพที่ 2.10,2.12 จะแสดงให้เห็นว่า กราฟของแรงดันไฟฟ้าในช่วงที่มีการสวิตช์นั้น จะเป็นกราฟไซน์ที่ไม่สมบูรณ์กล่าวคือมีลักษณะบิดเบี้ยวของรูปคลื่น ซึ่งเกิดมาจากวงจรมีโหลดที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุหรือขดลวดเหนี่ยวนำสามารถเก็บหรือสะสมพลังงานได้ทำให้เกิดสถานะทรานเซียนต์ขณะทำการสวิตช์

2.5 หลักการที่ใช้ในการลดผลของทรานเซียนต์ขณะทำการสวิตช์

2.5.1 หลักการแรงดันตัดศูนย์(Zero Voltage Switching) ขณะที่เกิด ZVS นั้นกระแสไฟฟ้าจะถูกแบ่งไปยังกิ่งที่ขนานกันในวงจรซึ่งมีแรงดันตกคร่อมที่สวิตช์เข้าใกล้ศูนย์ขณะทำการเปิดวงจรโดย

อิทธิพลหลักที่มีผลต่อการส่งถ่ายกระแสก็คือแรงดันอาร์คและค่าความเหนี่ยวนำสเตรย์ระหว่างสวิตซ์ทางกลและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยเทคนิคนี้จะถูกเรียกว่า ZVS turn-off ซึ่งจะถูกแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 เทคนิคในการเปิดสวิตซ์(ปิดวงจร) ในสภาวะแรงดันตัดศูนย์

และอัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าของการเปลี่ยนแปลงระหว่างกิ่งจะเขียนได้ตามสมการ

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{ZVS_avg} = \frac{u_a - u_{Tavg} - (i \times r_T)}{L_\sigma} \tag{2.18}$$

โดย U_a คือแรงดันอาร์คของแต่ละวัสดุ, U_{Tavg} คือแรงดันเฉลี่ยขณะอยู่ในสภาพสารกึ่งตัวนำ และ L_σ คือความเหนี่ยวนำสเตรย์ระหว่างสวิตซ์ทางกลและกิ่งที่เปลี่ยนแปลง สามารถเฉลี่ย $i \cdot r_T$ ในการคำนวณถ้าหากมีค่าน้อยกว่า $(U_a - U_{Tavg})$ ถ้าหากกระแสไฟฟ้าบริเวณหน้าสัมผัสและแรงดันมีค่าสูงกว่าแรงดันและกระแสขั้นต่ำที่ทำให้เกิดอาร์คจะส่งผลให้เกิดอาร์คในระยะเวลาสั้นๆ และเมื่อช่องว่างที่หน้าสัมผัสเปิดออก มีขนาดเข้าใกล้ 50 ไมโครเมตร แรงดันอาร์คจะปรับเข้าสู่ปริมาณขั้นต่ำสุดที่ทำให้เกิดอาร์คได้ ซึ่งจะมีแรงดันอยู่ที่ประมาณ 11-14 โวลต์ ส่วนแรงดันตกที่ไม่ได้เกิดจากการเหนี่ยวนำนั้นจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันอาร์คเสมอ จนกว่าการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหน้าสัมผัสจะเสร็จสิ้น โดยเราสามารถระบุระยะเวลามากที่สุดที่เกิดอาร์คได้จากสมการต่อไปนี้

$$t_a(i) \cong i \cdot \left(\frac{L_\sigma}{u_a - u_{T0} - \left(\frac{1}{2}\right) \cdot r_T \cdot i} \right) + t_d \tag{2.19}$$

$$= i \cdot \left(\frac{di}{dt} \right)_{ZVS_avg}^{-1} + t_d \tag{2.20}$$

2.5.2 หลักการกระแสตัดศูนย์ (Zero Current Switching) นั้น กระแสแรงแซนแนทจะถูกนำมาคิดด้วย โดยกระแสแรงแซนแนท คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสไฟฟ้าหลักที่ไหลเข้าสู่สวิตช์ทางกล และทำหน้าที่ลดทอนปริมาณกระแสไฟฟ้าหลักด้วยเช่นกัน จากภาพ 2.14b ในขณะที่สวิตช์ทำการเปิดวงจรกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสวิตช์ทางกลนั้นมีค่าเข้าใกล้ศูนย์แล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลสวนทางกระแสไฟฟ้าหลัก (กระแสแรงแซนแนท) หรือก็คือกระแสไฟฟ้าที่จะไหลเข้าตัวเก็บประจุ และค่าของกระแสคายอด (i_c) จะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร ซึ่งก็คือข้อจำกัดข้อแรกในการคำนวณหาความเหนี่ยวนำและค่าความจุของกระแสไฟฟ้าที่ไหลสวนทางภายในวงจร

$$e_0 - i_c \cdot \sqrt{LC} = 0 \quad (2.21)$$

จากสมการข้างต้น $e(0)$ คือค่าความจุก่อนที่จะมีการชาร์ตเพื่อสะสมประจุ, L คือค่าความเหนี่ยวนำรวมที่อยู่ในลูปและ C คือค่าความจุไฟฟ้า ขั้นตอนต่อไปคือทำการเลือกความถี่ออสซิลเลชัน โดยที่ครึ่งคาบของความถี่ที่เลือกจะต้องมีค่าเท่ากับเวลาที่สวิตช์ทางกลทำการเปิดวงจร จึงจะทำให้สวิตช์ทางกลทนต่อแรงดันสูงสุดภายในวงจรได้ ซึ่งก็คือข้อจำกัดข้อที่สอง

$$t_{MSV} - \pi \cdot \sqrt{LC} = 0 \quad (2.22)$$

จากสมการข้างต้น t_{MSV} คือช่วงเวลาระหว่างที่สวิตช์ทางกลได้รับคำสั่งให้เปิดวงจรและเวลาที่สวิตช์ทางกลรับแรงดันสูงสุดภายในวงจร การคำนวณหา L, C จะไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้ง 2 อย่างนี้เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับค่าความเหนี่ยวนำ grid อีกด้วย กล่าวคือค่าความเหนี่ยวนำ resonant ควรมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความเหนี่ยวนำ grid (เช่น มีค่าน้อยกว่า 5 เท่า ของค่าความเหนี่ยวนำ grid)

ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่าง ZVS และ ZCS คือ ค่า di/dt ขณะเกิด ZCS turn-off นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าของ L, C และ $e(0)$ ซึ่งในการคำนวณหา di/dt มีข้อจำกัดลดน้อยลงขณะทำการออกแบบระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และข้อจำกัดของความเหนี่ยวนำสเตรย์ก็ลดลงเช่นกัน ทำให้มีอิสระในการออกแบบระบบให้สมบูรณ์มากขึ้น หาก di/dt ยิ่งมีค่ามากก็จะส่งผลให้แรงดัน arc หายไปได้เร็วขึ้น จึงทำให้สามารถ turn-off กระแสที่มากขึ้นโดยไม่กระทบต่อเวลาของการเกิด arc สูงสุด (โดยมีค่า $\sim 100 \mu s$) โดยสามารถหา di/dt จากสมการที่ (2.23)

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_i = \frac{e_0}{L} \cdot \cos\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right) \quad (2.23)$$

ที่เวลา $t=0$ สามารถหา di/dt เริ่มต้นของ di/dt ได้ ซึ่งก็คือค่า $e(0)/L$ และสามารถหา di/dt เฉลี่ยได้จากสมการที่ (2.24)

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{ZCS_avg} = \frac{2}{\pi} \frac{e_0}{L} \quad (2.24)$$

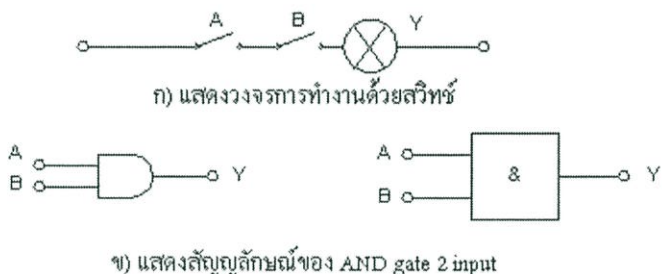
แต่ในความเป็นจริงนั้น ค่า di/dt จะอยู่ระหว่างค่าที่ได้จากสมการ (2.23) และ สมการ (2.24)

จากการไม่คิดความสัมพันธ์ของกระแสที่ไหลส่วนทางและปริมาณของกระแสหลักที่มีค่าน้อย ค่า di/dt จะสามารถประมาณค่าได้เท่ากับค่า di/dt เริ่มต้น ถ้าหากปริมาณของกระแสข้างต้นมีค่าใกล้เคียงกัน ค่า di/dt จะสามารถประมาณค่าได้เท่ากับค่า di/dt เฉลี่ย

2.6 หลักการทำงานของวงจรถนิตต่างๆ

2.6.1 แอนด์เกต (AND gate)

แอนด์เกต เป็นการกระทำการ AND ระหว่างอินพุตตั้งแต่ 2 อินพุตขึ้นไป ซึ่งAND gate คือหนึ่งในเกตต่าง ๆ ที่ใช้ในดิจิตอลคอมพิวเตอร์นั้นจะผลิตออกมาในรูปแบบของอุปกรณ์แบบวงจรรวม (integrated circuit : IC) ซึ่งเราเรียกสั้นๆว่าไอซีภายในตัวไอซีนั้นจะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆมากมาย เช่น ทรานซิสเตอร์ (transistor), ไดโอด(diode), ตัวต้านทาน(resistor), อุปกรณ์โซลิดสเตต (solid-state component) และอุปกรณ์อื่นๆโดยAND gateมีลักษณะของเอาต์พุตคือ เอาต์พุตจะเป็น “1” เพียงกรณีเดียวเท่านั้นเมื่ออินพุตทุกตัวเป็น “1” ซึ่ง AND gate มีสัญลักษณ์ และการทำงานแสดงดังภาพ 2.14



ภาพที่ 2.15 ก)วงจรถนิตการทำงานด้วยสวิตช์ และ ข)สัญลักษณ์ของแอนด์เกตที่มี 2 อินพุต

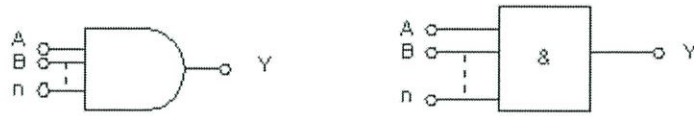
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าความจริง(Truth table) ของแอนด์เกต

อินพุต		เอาต์พุต
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

จากการทำงานของแอนด์เกต เราสามารถเขียนฟังก์ชันเอาต์พุต ของแอนด์เกต ได้คือ

$$Y = A \cdot B \tag{2.25}$$

ในทางปฏิบัติจริงอาจจะมีการใช้แอนด์เกตที่มีอินพุตมากกว่าสองอินพุตก็ได้ โดยจะมีจำนวนอินพุตถึง n อินพุต ซึ่งจะได้ ฟังก์ชันเอาต์พุต ของ แอนด์เกต ที่มีจำนวนอินพุต n อินพุต คือ



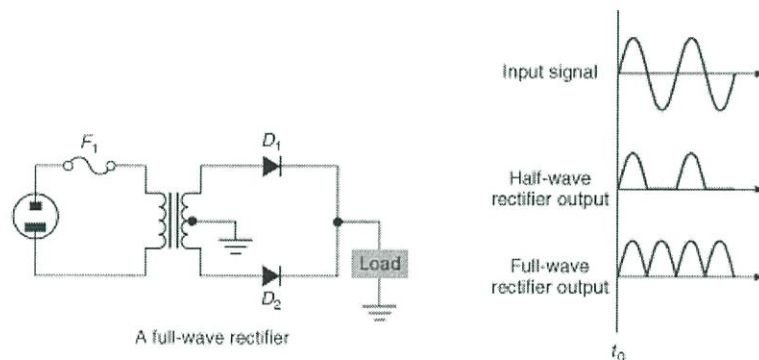
ภาพที่ 2.16 สัญลักษณ์ของแอนด์เกต n อินพุต

$$Y = A \cdot B \cdot \dots \cdot n$$

(2.26)

2.6.2 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง (Full Wave Rectifier with Center tap)

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น จะสามารถเรียงแรงดันไฟสลับให้ออกเอาต์พุตได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบของแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามาที่อินพุตของวงจร โดยไม่มีส่วนใดของแรงดันไฟสลับถูกตัดทิ้งไป ลักษณะของวงจรจะใช้ไดโอด 2 ตัว ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟสลับเป็นสัญญาณไฟตรงโดยมีหม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีแท็ปกลาง (Center Tap) ทำหน้าที่แบ่งเฟสให้เกิดการต่างเฟสกัน 180 องศา ระหว่างสัญญาณที่ออกจากส่วนบนและส่วนล่างของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงเพื่อให้ไดโอดทั้ง 2 ตัวสลับกันทำงาน ดังนั้นวงจรจึงสามารถจ่ายกระแสได้เรียบและสูงกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น



ภาพที่ 2.17 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง และสัญญาณที่ได้จากวงจร

เมื่อมีแรงดันไฟสลับ V_N ป้อนเข้าขดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะเกิดแรงดันไฟสลับขึ้นที่ขั้วบนและขั้วล่างของขดทุติยภูมิที่แท็ปกลางของหม้อแปลงจะกำหนดให้มีแรงดัน 0 โวลต์ ดังนั้นแรงดันครึ่งหนึ่งจึงเกิดที่แท็ปกลางกับขั้วด้านบนของหม้อแปลง และอีกครึ่งหนึ่งจะเกิดขึ้นที่แท็ปกลางกับอีกขั้วด้านล่างของหม้อแปลงโดยระหว่างขั้วด้านบนและขั้วด้านล่างจะมีเฟสต่างกัน 180 องศา การทำงานของวงจรเมื่อขั้วบนของขดทุติยภูมิมีค่าแรงดันเป็นบวก ขั้วล่างมีแรงดันเป็นลบ ไดโอด D_1 จะได้รับไบอัสตรง นำกระแสมีกระแสไหลผ่านไดโอดผ่านโหลด R_L ไปครบวงจรที่ขั้วแท็ป ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลด R_L เป็นคลื่นรูปไซน์ครึ่งคลื่น ในช่วงเวลาต่อมา ขั้วบนของขดทุติยภูมิมีค่าแรงดันเป็นลบ ขั้วล่างมีค่าแรงดันเป็นบวก ไดโอด D_1 จะได้รับไบอัสกลับ ไดโอด D_2 ได้รับไบอัสตรงเกิดการนำกระแส มีกระแสไหลผ่านไดโอดผ่านโหลด R_L ไปครบวงจรที่ขั้วแท็ปทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลด R_L เป็นคลื่นรูปไซน์ครึ่งคลื่นด้านบวกปรากฏที่เอาต์พุต แรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่สามารถคำนวณได้จากสูตร $V_{DC} = 0.636 V_P$ แต่

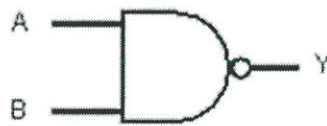
แรงดัน V_p เป็นแรงดันค่ายอดสูงสุดสามารถคำนวณหาได้จากสูตร $V_p = 1.414 V_{AC}$ หรือจะคำนวณหาค่าแรงดันไฟตรงได้จากสูตร $V_{DC} = 0.9 V_{AC}$

2.6.3 แนนด์เกต (NAND Gate)

เป็นเกตที่มีอินพุตตั้งแต่สองอินพุตขึ้นไป เอาต์พุตของแนนนด์เกต คือการคูณกันของสัญญาณอินพุต จากนั้นกลับบิตของสัญญาณเอาต์พุตเป็นตรงกันข้าม แนนด์เกตเปรียบเสมือนเอาแอนด์เกตมาต่อกับนอตเกต ซึ่งค่าเอาต์พุตที่ได้จะตรงข้ามกับแอนด์เกต โดยตารางค่าความจริง และสัญลักษณ์ของแนนนด์เกตจะเป็นดังภาพ

$$Y = \overline{A \cdot B}$$

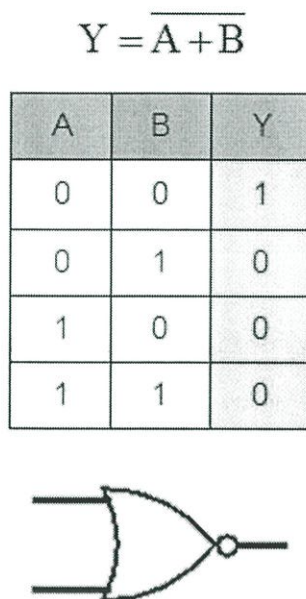
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



ภาพที่ 2.18 แนนด์เกตและตารางค่าความจริง

2.6.4 นอร์เกต (NOR Gate)

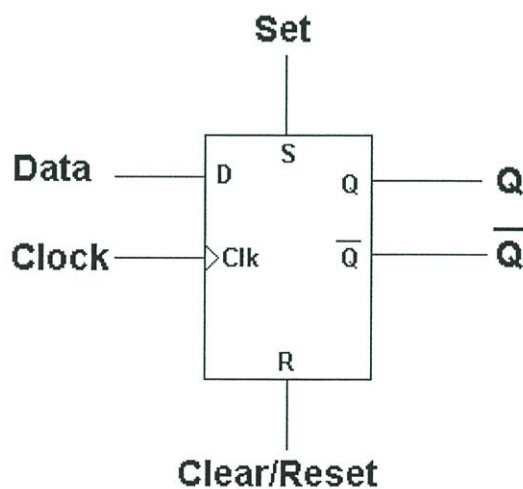
เป็นเกตที่มีอินพุตตั้งแต่สองอินพุตขึ้นไป เอาต์พุตของนอร์เกต เอาต์พุตของนอร์เกต คือการบวกกันของสัญญาณอินพุต จากนั้นกลับบิตของสัญญาณเอาต์พุตเป็นตรงกันข้าม เปรียบเสมือนกับการเอาออร์เกตมาต่อกับนอตเกต ซึ่งค่าเอาต์พุตที่ได้จะตรงข้ามกับออร์เกต โดยตารางค่าความจริง และสัญลักษณ์ของนอร์เกตจะเป็นดังภาพ



ภาพที่ 2.19 นอร์เกตและตารางค่าความจริง

2.6.5 ดีฟลิปฟลอป

ทำงานเมื่อมีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาจะทำให้ฟลิปฟลอปชนิดนี้ให้เอาต์พุตออกมาโดยเป็นไปตามข้อมูลที่ถูกรับเข้าที่ขา D (Data input) ในขณะนั้น มีสัญลักษณ์ดังภาพ

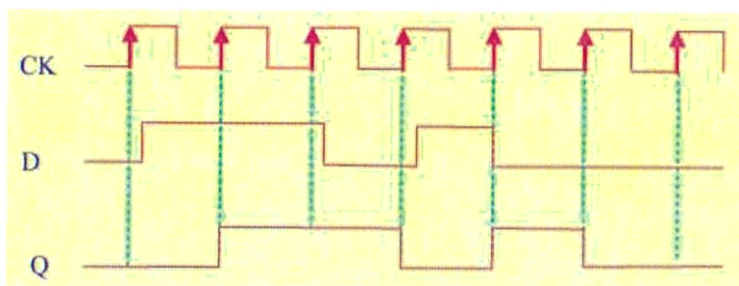


ภาพที่ 2.20 สัญลักษณ์ดีฟลิปฟลอป

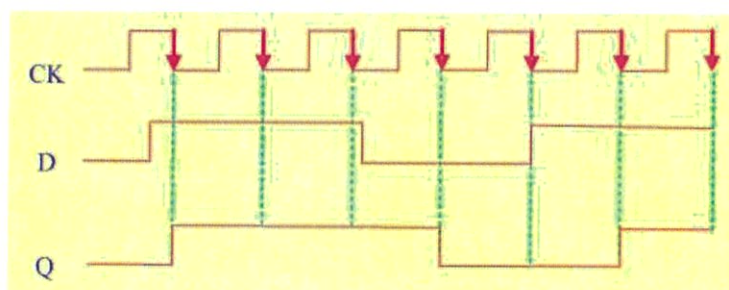
การทำงานของดีฟลิปฟลอป สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.1 และเมื่อนำมาเขียนเป็นไดอะแกรมเวลา แสดงการทำงานจะได้นดังภาพที่ 2.21 และภาพที่ 2.22

ตารางที่ 2.2 สัญญาณแบบขอบขาขึ้น และสัญญาณแบบขอบขาลง

ck	D	Q	ck	D	Q
f	0	0	f	0	0
f	1	1	f	1	1



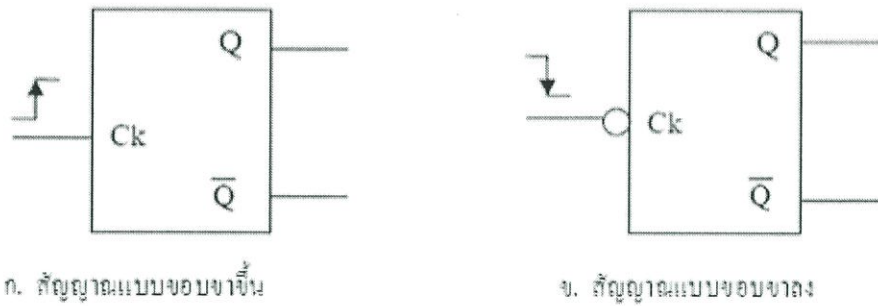
ภาพที่ 2.21 ไดอะแกรมเวลาของสัญญาณแบบขอบขาขึ้น



ภาพที่ 2.22 ไดอะแกรมเวลาของสัญญาณแบบขอบขาลง

2.6.6 ทีฟลิปฟลอป

ลักษณะการทำงานของ T ฟลิปฟลอป คือจะเปลี่ยนสถานะเป็นตรงกันข้ามทุกครั้งที่มีสัญญาณนาฬิกาป้อนเข้ามาที่ Toggle Input (T) หมายความว่า ถ้า T ฟลิปฟลอป อยู่ในสถานะ "0" เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาป้อนเข้ามาถูกต้อง ไม่ว่าจะป้อนขาขึ้นหรือขาลง มันจะเปลี่ยนสถานะเป็น "1" และจะกลับไปเป็น "0" อีกครั้ง เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาป้อนเข้ามา T ฟลิปฟลอป มี 2 แบบตามลักษณะของสัญญาณนาฬิกา คือแบบขอบขาขึ้นและแบบขอบขาลง ซึ่งมีสัญลักษณ์แสดงดังภาพ



ภาพที่ 2.23 สัญญาณลักษณะของทีฟลิปฟลอป

เมื่อนำคุณสมบัติของ T ฟลิปฟลอป มาเขียนเป็นไดอะแกรมเวลาจะได้ดังภาพ

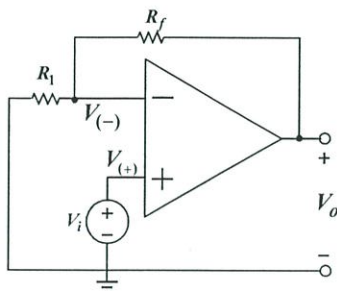


ภาพที่ 2.24 ไดอะแกรมเวลาของทีฟลิปฟลอป

จากภาพที่ 2.24 ก. จะเห็นว่าการเปลี่ยนสถานะของเอาต์พุต Q จาก "0" เป็น "1" หรือจาก "1" เป็น "0" จะเปลี่ยนตรงตำแหน่งที่สัญญาณนาฬิกาขอบขาขึ้น ส่วนภาพที่ 2.24 ข. จะเปลี่ยนสถานะตรงตำแหน่งที่สัญญาณนาฬิกาขอบขาลง

2.6.7 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)

วงจรรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส คือ วงจรออปแอมป์ที่ออกแบบมาเพื่อให้ voltage gain มีค่าเป็นบวก หรือให้ค่าเอาต์พุตคงค่าเครื่องหมายเหมือนเดิม



ภาพที่ 2.25 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

พิจารณาจากรูปจะได้

$$V_{(+)} = V_i = V_{(-)} \quad (2.27)$$

(ขั้วบวกของ Op amp ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดัน แรงดันที่ขั้วบวกจึงมีค่าเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายนั้น)

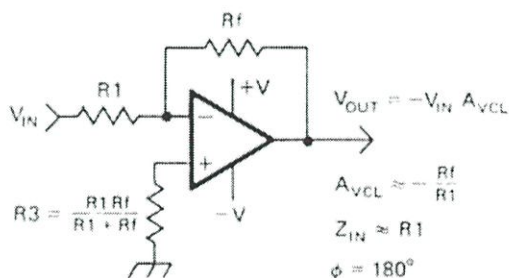
พิจารณาที่ $V_{(-)}$ โหนดจาก KCL;
$$\frac{V_{(-)}}{R_1} + \frac{V_{(-)} - V_o}{R_f} = 0 \quad (2.28)$$

เมื่อแทน $V_{(-)} = V_i$ ในสมการข้างต้น จะได้

$$\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_i - V_o}{R_f} = 0 \quad (2.29)$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_i \quad (2.30)$$

2.6.8 วงจรขยายแบบกลับสัญญาณ (Inverting Amplifier)

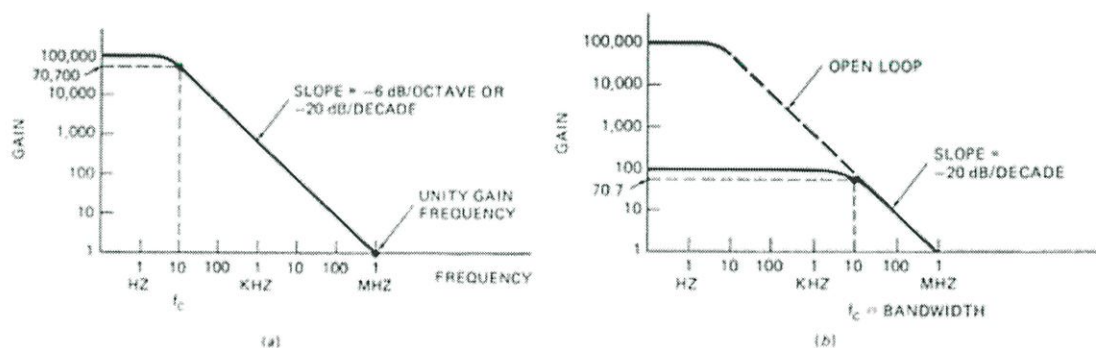


ภาพที่ 2.26 วงจรขยายแบบกลับสัญญาณ

จากวงจรดังรูปข้างต้นจะใช้เนคคาที่ฟีดแบ็ค(Negative Feedback) ในการปรับสถานะสมดุลของออป-แอมป์(OP-AMP)ในวงจรขยายสัญญาณ ให้สังเกตว่าในวงจรนี้นอนอินเวอร์ตติ้งอินพุตจะถูกต่ออยู่กับกราวด์ ส่วนสัญญาณที่ต้องการขยายจะถูกส่งเข้ามาทางอินเวอร์ตติ้งอินพุต ดังนั้นเอาต์พุตที่ได้จะมีเฟสแตกต่างจากสัญญาณอินพุต 180° สำหรับวงจรนี้ความต้านทาน R_f จะถูกใช้ในการสแกนคาที่ฟีดแบ็ค(Negative Feedback)กลับไปปรับสมดุล เพื่อให้อินพุตทั้งคู่ของออป-แอมป์(OP-AMP)มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากนอนอินเวอร์ตติ้งอินพุตจะถูกต่ออยู่กับกราวด์ ดังนั้นอินเวอร์ตติ้งอินพุตจะต้องการแรงเคลื่อนไฟฟ้าใหม่ค่าใกล้เคียง 0V โหนดนี้จึงมีชื่อเรียกว่า เวอร์ชวลกราวด์(Virtual Ground)กำลังขยายของวงจรขยายสัญญาณนี้สามารถหาได้จากอัตราส่วนของความต้านทานเช่นเดียวกัน คือ

$$A_v = \frac{-R_f}{R_i} \quad (2.31)$$

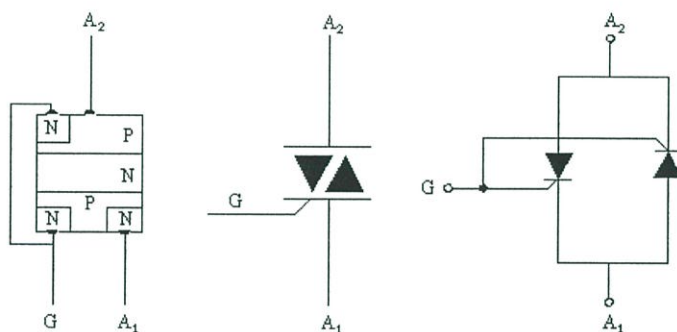
ที่ความถี่ต่ำ ส่วนอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรนี้จะมีค่าโดยประมาณใกล้เคียงกับ R_i ทั้งนี้เนื่องจากออป-แอมป์จะพยายามรักษาแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขาอินพุตไว้ที่ 0V ที่ความถี่ต่ำ คุณสมบัติอีกประการหนึ่งของวงจรขยายสัญญาณแบบกลับสัญญาณ คือ เกน-แบนด์วิดท์ โพรดักส์(gain-bandwidth product)จากที่กล่าวข้างต้น ออป-แอมป์อาจจะมีกำลังขยายในขณะ โอเพ่น-ลูป(Open-loop)ได้สูงถึง 100,000 หรือมากกว่า ที่ความถี่สูงกำลังขยายของ ออป-แอมป์จะลดลง และที่ความถี่ค่าหนึ่งกำลังขยายของออป-แอมป์จะมีค่าเท่ากับ 1 ดังแสดงตามภาพ 2.27 (a) ความถี่นี้เรียกว่า ยูนิตี เกน ฟรียูเควนซี(Unity Gain Frequency)และมักจะมีความถี่เท่ากับ 1 MHz. ค่าความถี่นี้หาได้จากผลคูณระหว่างแบนด์วิดท์ของวงจรแอมพลิฟายด์ที่มีเนคคาที่ฟีดแบ็คกับ โคลสลูปเกน(close loop gain) ของออปแอมป์ที่ความถี่ต่ำ เช่นถ้าใช้ออปแอมป์ที่มีค่า เกน-แบนด์วิดท์ โพรดักส์ 1 MHz. ในการสร้างวงจรขยายสัญญาณที่มีกำลังขยาย 100 แบนด์วิดท์ (f_c) ของวงจรนี้จะมีค่าประมาณ 1MHz 100 หรือ 10 kHz ดังแสดงตามภาพ 2.27 (b)



ภาพที่ 2.27 กราฟกำลังขยายเทียบกับความถี่

2.6.9 ไตรแอก (triac)

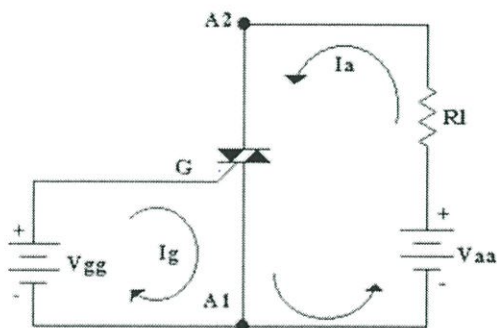
เป็นอุปกรณ์จำพวกสารกึ่งตัวนำในกลุ่มของไทริสเตอร์ มีลักษณะโครงสร้างภายในคล้ายกับไดโอด แต่มีขาเกตเพิ่มขึ้นมาอีก 1 ขาโดยจะทำงานคล้ายๆ สวิตช์แต่การเปิด-ปิดวงจรของไตรแอกจะเร็วกว่าหลายเท่า ไตรแอกถูกสร้างขึ้นเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของ SCR ซึ่งไม่สามารถนำกระแสในซีกกลับของไฟฟ้ากระแสสลับได้ การนำไตรแอกไปใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ทำเป็นวงจรควบคุมการทำงานเป็นสวิตช์ต่อกับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งไตรแอกนั้น ถูกสร้างมาให้ใช้กับกระแสสูงๆ ดังนั้นต้องระวังเรื่องการระบายความร้อนไตรแอกจะมีขาใช้งานทั้งหมด 3 ขา คือ A₂(แอนโนด 2), A₁(แอนโนด 1) และ G(เกต) แสดงดังภาพที่ 2.28



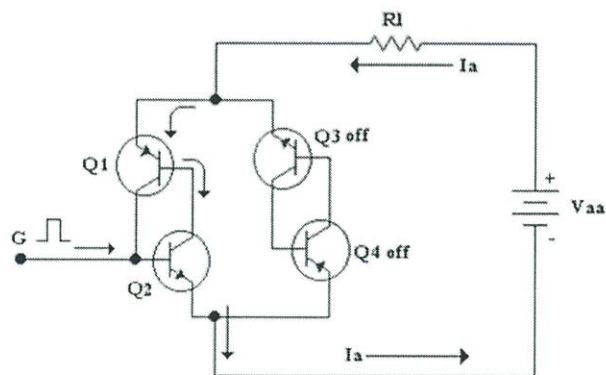
ภาพที่ 2.28 โครงสร้างภายใน และสัญลักษณ์ของไตรแอก

หลักการทำงานของไตรแอก

ไตรแอกมีคุณสมบัติ ทำงานได้ทั้งแรงดันช่วงบวกและแรงดันช่วงลบ การนำกระแสของไตรแอกจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนกระตุ่นขาG และแรงดันที่จ่ายให้ขา A₁ และ A₂ โดยการจ่ายไปอัสให้ตัวไตรแอกสามารถแบ่งได้เป็น 4 สภาวะ คือ สภาวะที่ 1 หรือควอดแดนต์ที่ 1



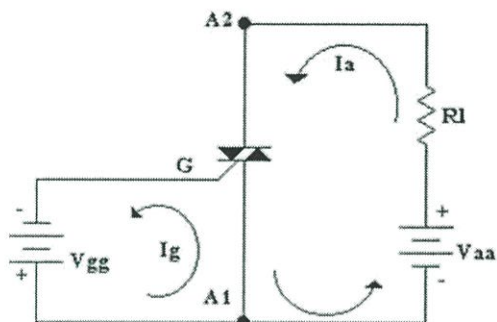
ภาพที่ 2.29 การไหลของกระแสไฟฟ้าภายในตัวไตรแอกในสภาวะที่ 1



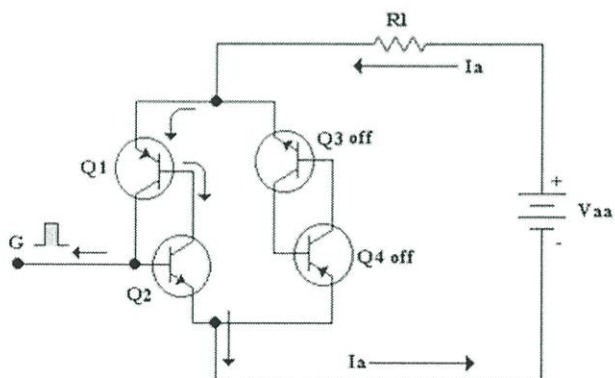
Q1และQ2ทำงาน Q3และQ4ไม่ทำงาน

ภาพที่ 2.30 การทำงานไทรสเตอร์ภายในไตรแอกในสภาวะที่ 1

จ่ายแรงดันขาบวกให้กับขา A2 จ่ายแรงดันลบให้ขา A1 และจ่ายแรงดันบวกกระตุ้นขา G จะเกิดการนำกระแสในตัวไตรแอกตั้งรูปข้างต้น ทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองจะไหลในทิศทางเดียวกันหรือกระแสไหลเสริมกันทำให้ Ia ไหลมากขึ้น
สภาวะที่ 2 หรือควอตแดนท์ที่ 2



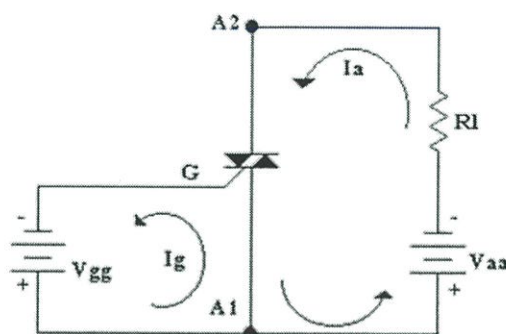
ภาพที่ 2.31 การไหลของกระแสไฟฟ้าภายในตัวไตรแอกในสภาวะที่ 2



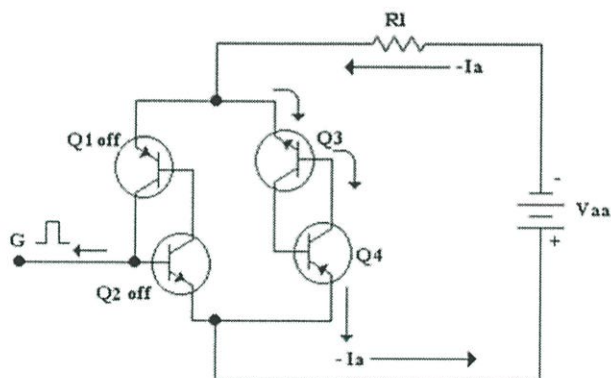
Q1และQ2ทำงาน Q3และQ4ไม่ทำงาน

ภาพที่ 2.32 การทำงานไทรสเตอร์ภายในไตรแอกในสภาวะที่ 2

จ่ายแรงดันขาลบให้กับขา A2 จ่ายแรงดันขาลบให้ขา A1 แต่จ่ายแรงดันลบกระตุ้นขา G จะเกิดการนำกระแสในตัวไดรแอกดังรูป ทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองจะไหลทิศทางสวนทางกัน หรือกระแสไหลหักล้างกัน ทำให้ I_a ไหลน้อยลง
 สภาวะที่ 3 หรือควอดแดนท์ที่ 3



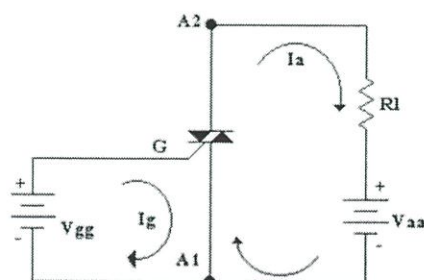
ภาพที่ 2.33 การไหลของกระแสไฟฟ้าภายในตัวไดรแอกในสภาวะที่ 3



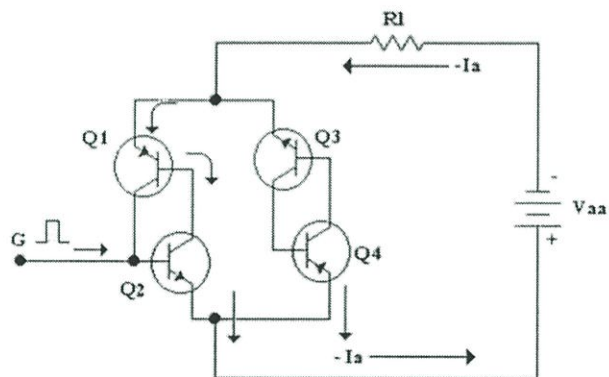
Q1 และ Q2 ไม่ทำงาน Q3 และ Q4 ทำงาน

ภาพที่ 2.34 การทำงานไทรสเตอร์ภายในไดรแอกในสภาวะที่ 3

จ่ายแรงดันขาลบให้กับขา A2 จ่ายแรงดันขาลบให้ขา A1 แต่จ่ายแรงดันลบกระตุ้นขา G จะเกิดการนำกระแสในตัวไดรแอกดังรูป ทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองจะไหลในทิศทางเดียวกัน หรือกระแสไหลเสริมกัน ทำให้ I_a ไหลมากขึ้น
 สภาวะที่ 4 หรือควอดแดนท์ที่ 4



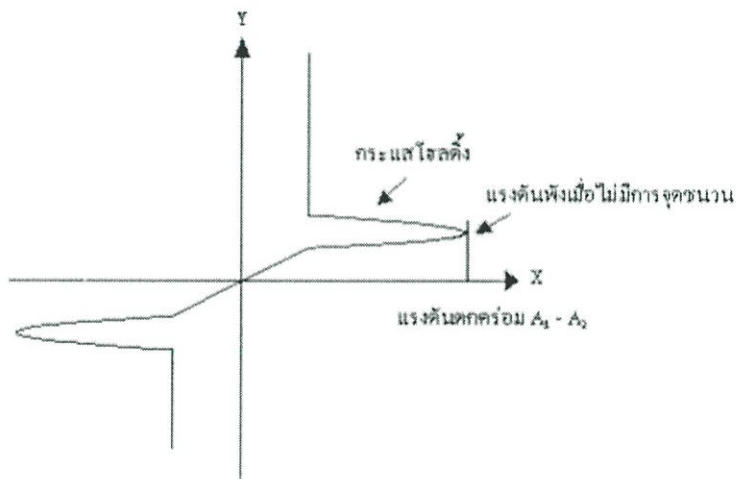
ภาพที่ 2.35 การไหลของกระแสไฟฟ้าภายในตัวไดรแอกในสภาวะที่ 4



Q1 และ Q2 ไม่ทำงาน Q3 และ Q4 ทำงาน

ภาพที่ 2.36 การทำงานไทรสเตอร์ภายในไตรแอกในสภาวะที่ 4

จ่ายแรงดันขาลบให้กับขา A2 จ่ายแรงดันขาบวกให้ขา A1 แต่จ่ายแรงดันบวกกระตุ้นขา G จะเกิดการนำกระแสในตัวไตรแอกดังรูป ทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองจะไหลในทิศทางสวนทางกัน หรือกระแสไหลหักล้างกัน ทำให้ I_a ไหลน้อยลง



ภาพที่ 2.37 คุณสมบัติการทำงานของไตรแอก

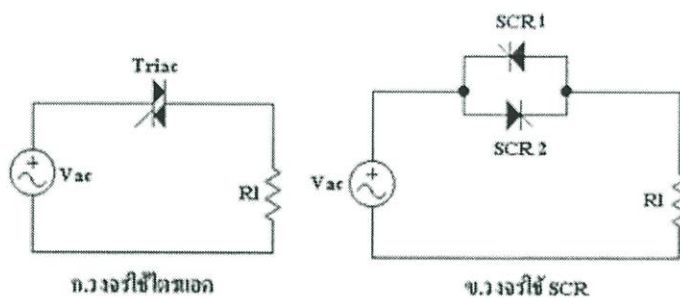
การหยุดนำกระแสของไตรแอก

ไตรแอกเมื่อนำกระแสแล้ว ไม่จำเป็นต้องจ่ายแรงดันกระตุ้นที่ขา G อีก เนื่องจากไตรแอกจะนำกระแสได้ต่อเนื่องเหมือนกับ SCR ซึ่งจะหยุดนำกระแสได้ใน 2 กรณี คือ

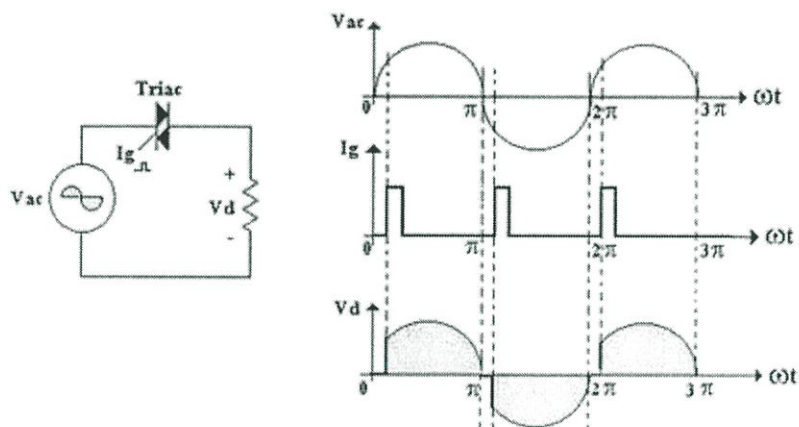
- 1 ตัดแหล่งจ่ายแรงดัน V_{AA} ที่ป้อนให้กับขา A2 และขา A1 ของไตรแอกออกชั่วขณะ
- 2 ลดแรงดันไบอัสตรงที่จ่ายให้ขา A2 และ A1 ลง จนทำให้มีกระแสไหลผ่าน ตัวไตรแอกต่ำกว่ากระแสไหลตั้ง(Holding Current) ของไตรแอก

การควบคุมเฟสของไทรแอก

ไทรแอกสามารถนำไฟฟ้ากระแสสลับได้ 2 ซีก คือ ซีกบวกและซีกลบ ในการควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับจะสามารถทำได้กับทั้งไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส และ ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ซึ่งจะใช้ไทรแอกเพียงตัวเดียว แต่ถ้าหากเป็น SCR จะต้องใช้ถึง 2 ตัว ดังภาพ 2.38

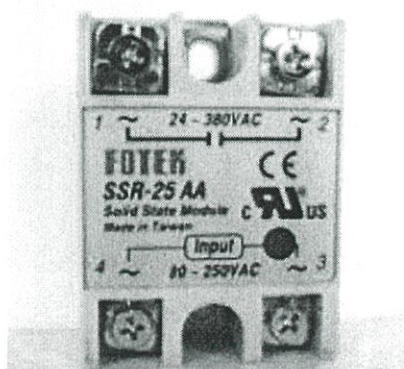


ภาพที่ 2.38 การเปรียบเทียบระหว่างวงจรไทรแอก(ก) และวงจร SCR(ข)



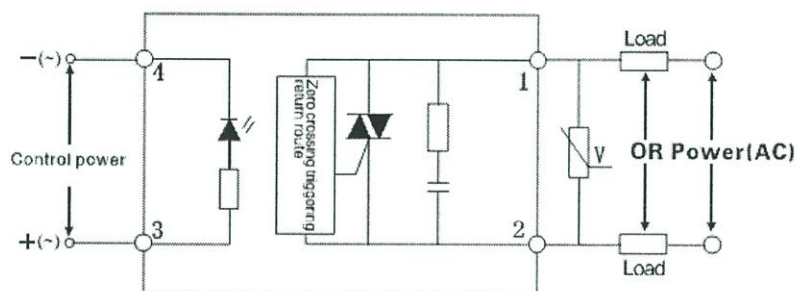
ภาพที่ 2.39 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดของไทรแอก

2.6.10 โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay)



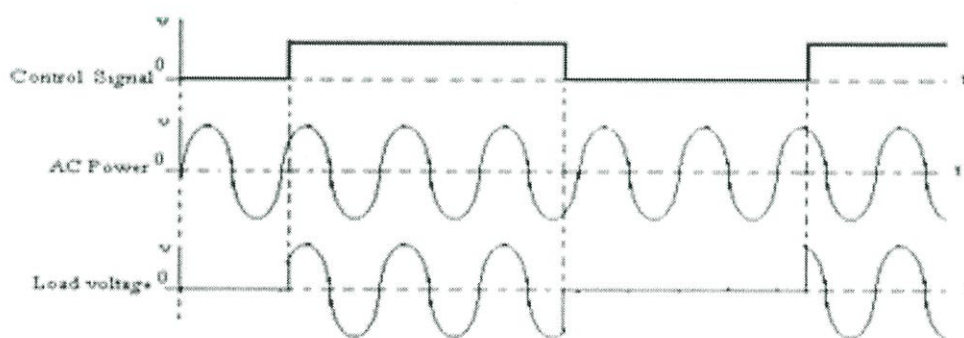
ภาพที่ 2.40 โซลิดสเตตรีเลย์

คือรีเลย์ที่ไม่ใช้หน้าสัมผัสที่ ใช้ใช้เทคโนโลยีของ Semiconductor ทำให้ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ เพื่อลดเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากรีเลย์แบบหน้าสัมผัส และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานระยะยาว โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid state Relay) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อ (Interface) ระหว่างภาคควบคุม (Control) ซึ่งเป็นส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ กับวงจรภาคไฟฟ้ากำลัง (Power) โดยที่ภาคทั้งสองจะมีระบบกราวด์ (Ground) ที่แยกออกจากกันทำให้สามารถป้องกันการลัดวงจร (Short circuit) และการรบกวนซึ่งกันและกันได้ โซลิดสเตตรีเลย์ อาจถือได้ว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้แทนอาร์เมเจอร์รีเลย์ (Armature Relay) แต่มีข้อดีก็คือ มีขนาดเล็กกว่า มีความไวในการทำงานที่สูงกว่า มีอายุการทำงานนานกว่า เป็นต้น



ภาพที่ 2.41 องค์ประกอบและวงจรพื้นฐานของโซลิดสเตตรีเลย์

จากภาพที่ 2.41 จะเห็นว่า โซลิดสเตตรีเลย์ มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ Photo Couple , Main Triac , Snuber circuit การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้จาก กราฟรูปคลื่นสัญญาณและแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่าง ๆ ในวงจรตามภาพที่ 2.42 ซึ่งกระแสไฟฟ้าและแรงดันที่ตกคร่อมโหลดจะปรากฏทันที ที่สัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้าเป็นบวก



ภาพที่ 2.42 คลื่นสัญญาณและแรงดันไฟฟ้า การทำงานของวงจรโซลิดสเตตรีเลย์

2.7 ผลกระทบจากการเกิดทรานเซียนต์

1. อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดความเสียหายและทำลายทั้งยากเนื่องจากเมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้เมื่อเสียหายจนไม่สามารถนำมาใช้อีกได้ ก็จะกลายเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งขยะประเภทนี้ย่อยสลายได้ยาก และเกิดสารเคมีตกค้างที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และสิ่งมีชีวิต เช่น สารหนูที่ใช้ในแผงวงจร จะทำลายระบบประสาท ผิวหนังและระบบการย่อยอาหาร หากได้รับปริมาณมากอาจทำให้ถึงตายได้ , พอลวง , สารทนไฟที่ทำจากโบรมีน ที่ใช้ในกล่องพลาสติกของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แผงวงจร และตัวเชื่อมต่อ ซึ่งเป็นสารที่มีพิษและสามารถสะสมได้ในสิ่งมีชีวิต ถ้ามีทองแดงร่วมด้วยจะเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดไดออกซิน และฟิวแรนระหว่างการเผา เนื่องจากตัวทนไฟทำจากโบรมีนมีอยู่หลายรูปแบบ แบบที่มีอันตรายมากจะเป็นโบรมีนมีอยู่หลายรูปแบบ แบบที่มีอันตรายมากจะเป็นโพลีโบรมิเตดไบฟีนีล (Polybrominated Biphenyls-PBBs) ซึ่งก่อให้เกิดไดออกซิน สารก่อให้เกิดมะเร็งทำลายการทำงานของตับ มีผลกระทบต่อระบบประสาท และภูมิคุ้มกัน ทำให้การทำงานของต่อไทรอยด์ผิดปกติ รวมถึงระบบต่อมไร้ท่อสามารถสะสมในน้ำมันของมนุษย์ และกระแสเลือด สามารถถ่ายทอดในห่วงโซ่อาหาร , แคดเมียมโดยมักพบในแผ่นวงจรพิมพ์ ตัวต้านทาน และหลอดภาพรังสีแคโทด ซึ่งสารนี้จะสะสมในร่างกาย โดยเฉพาะที่ไต ทำลายระบบประสาทส่งผลต่อพัฒนาการและการมีบุตร หรืออาจมีผลกระทบต่อพันธุกรรม , ตะกั่วซึ่งเป็นส่วนประกอบในการบัดกรีแผ่นวงจรพิมพ์ หลอดภาพรังสีแคโทด (CRT) เป็นต้น โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นจะไปทำลายระบบประสาทส่วนกลาง ระบบโลหิต การทำงานของไต การสืบพันธุ์ และมีผลต่อการพัฒนาสมองของเด็ก และทำลายระบบประสาท ระบบเลือด และระบบสืบพันธุ์ในผู้ใหญ่ นอกจากนี้ พิษจะสามารถสะสมได้ในสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดผลเฉียบพลัน หรือแบบเรื้อรังได้ในพืช และสัตว์นิกเกิด ส่วนจอฟลิกเหล่านี้ก็มีสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสารอันตรายและสารก่อมะเร็ง เช่น Phenylcyclohexane, Cyclohexane เป็นต้น ,ปรอท มักพบในตัวตัดความร้อน สวิตช์ และจอแบน โดยจะส่งผลในการทำลายอวัยวะต่างๆ รวมทั้งสมอง ไต และเด็กในครรภ์มารดาได้ และถ้าลงสู่แหล่งน้ำจะเปลี่ยนรูปเป็น Methylated Mercury และตกตะกอน ซึ่งสะสมในสิ่งมีชีวิตได้ง่าย และจะสะสมต่อไปตามห่วงโซ่,โครเนียมเฮกซะวาเลนซ์ ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของแผ่นโลหะเคลือบสังกะสี ซึ่งสามารถผ่านเข้าสู่ผนังเซลล์ได้ง่าย จะส่งผลในการทำลายดีเอ็นเอ และเป็นสารก่อมะเร็งสำหรับ มนุษย์และปรีลเลียม ใช้ในแผงวงจรหลัก เป็นการก่อมะเร็งโดยเฉพาะมะเร็งปอดโดยผู้ที่ได้รับสารนี้อย่างต่อเนื่องจากการสูดดมจะกลายเป็นโรค Berylliosisซึ่งมีผลกับปอดหากสัมผัสก็จะทำให้เกิดแผลที่ผิวหนังอย่างรุนแรง

2. การรบกวนระบบคอมพิวเตอร์ทรานเซียนต์ที่เกิดขึ้นนั้นในบางครั้งจะมีความถี่ที่สูงมากจนกระทั่งสามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวเก็บประจุไฟฟ้าในเพาเวอร์ซัพพลาย เข้าไปทำ ความเสียหายให้แก่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และระบบ

3. การรบกวนระบบสื่อสารทรานเซียนต์ที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะไปรบกวนช่องสัญญาณในการสื่อสาร ซึ่งส่งผลให้เกิดสัญญาณเสียงที่ไม่พึงประสงค์ เช่น เสียงซ่า(Fuzzy) หรือเสียงฮัม(Hum) หรือในระบบการสื่อสารโทรทัศน์ อาจก่อให้เกิดภาพหิมะ(Snow) หรือภาพหิมะหลากสี(Confetti)

ปรากฏอยู่ในภาพที่ต้องการรับ ซึ่งสัญญาณรบกวนชนิดนี้ยากต่อการวิเคราะห์และแก้ไข

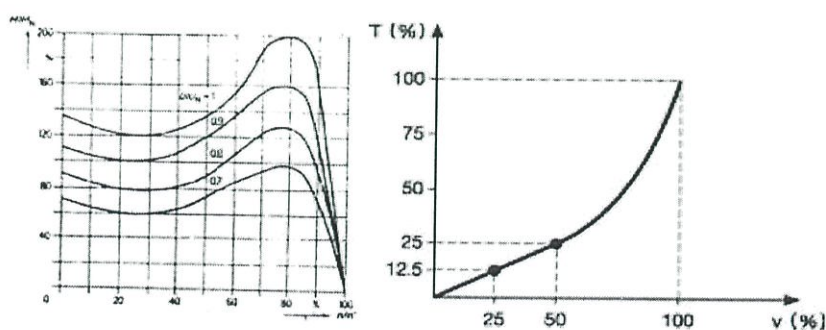
2.8งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 ซอร์ฟสตาร์ท

ศิลปะ หงส์นภา กับประโยชน์ของซอร์ฟสตาร์ทที่แท้จริง มีผู้ขายจำนวนมากที่เข้าไปขายซอร์ฟสตาร์ทโดยจุดขายในเรื่องของการประหยัดพลังงาน ทั้งในขณะสตาร์ทและขณะทำงานแต่รับโหลดน้อย ๆ (Partial Load) ซึ่งจุดขายนี้สามารถพิสูจน์ให้ดูเหมือนว่าสิ่งที่กล่าวนี้เป็นจริงได้ถ้าเรานำเอาแอมป์มิเตอร์ไปวัดกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ ก็จะพบว่ากระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ในขณะสตาร์ทลดลงจริง เช่นเดียวกันในกรณีที่มีมอเตอร์ทำงานแบบไม่มีโหลดหรือรับโหลดน้อย ๆ ถ้าในซอร์ฟสตาร์ททำงานในโหมดประหยัดพลังงาน ก็จะพบว่ากระแสลดลงจริงจึงเป็นเหตุให้ผู้ที่ไม่ทราบในหลักการการทำงานของซอร์ฟสตาร์ทได้เข้าใจผิดคิดว่าซอร์ฟสตาร์ท จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้เป็นจำนวนมาก บทความนี้จะช่วยตอบคำถามนี้พร้อมกับจะกล่าวถึงข้อจำกัดของการเลือกซอร์ฟสตาร์ทมาใช้งานโดยละเอียด เพื่อให้ผู้ใช้งานโดยเฉพาะอย่างยิ่งเจ้าของโรงงานและวิศวกรของโรงงานได้ใช้เป็นข้อมูลในการติดต่อกับผู้ขายซอร์ฟสตาร์ทเนื่องจากซอร์ฟสตาร์ท คืออุปกรณ์ที่นำไปใช้ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้รับโหลดทางกล ดังนั้นจึงจะแบ่งการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจากการนำซอร์ฟสตาร์ทไปใช้ในสองทางคือผลทางไฟฟ้าและผลทางกล ดังต่อไปนี้

1.ผลทางไฟฟ้า ในสมัยก่อนที่มีการเริ่มนำเอาซอร์ฟสตาร์ทมาใช้ใหม่นั้น ความสามารถของซอร์ฟสตาร์ทที่มีผลต่อทางไฟฟ้าจะมีเพียงอย่างเดียวคือ ลดกระแสสตาร์ทของมอเตอร์ในขณะเริ่มเดิน แต่ต่อมาได้มีการพัฒนาการใช้ประโยชน์ซอร์ฟสตาร์ทให้ครอบคลุมไปถึงการลดกำลังการสูญเสียขณะทำงานแบบไม่มีโหลดหรือมีโหลดน้อยๆด้วย ในปัจจุบันการนำซอร์ฟสตาร์ท ไปใช้งานจึงส่งผลทางไฟฟ้าในสองแนวทางคือ เพื่อลดกระแสไฟฟ้าตอนสตาร์ทมอเตอร์ และลดกำลังสูญเสียขณะทำงานแบบมีโหลดน้อยๆ

2.ผลทางกล ในภาพที่ 2.43แสดงให้เห็นว่าการใช้ซอร์ฟสตาร์ท จะทำให้แรงบิดเริ่มสตาร์ทลดลง ซึ่งการลดลงของแรงบิด เริ่มสตาร์ทจะมีทั้งผลดีและผลเสีย คือ สามารถลดการกระชากทางกลไลน์การผลิตไม่กระตุกขณะสตาร์ท แต่ผลเสียที่ตามมานั้นก็คือ จะดึงกระแสสูงกว่าพิกัดยาวนานกว่าที่ควร และอาจทำให้มีการออกตัวช้า หรือบางกรณีอาจถึงกับออกตัวไม่ไหวเมื่อแรงบิดทางกลลดลง



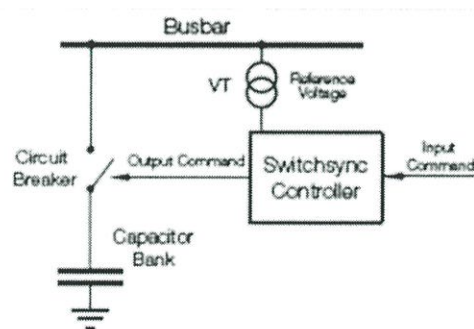
ภาพที่ 2.43 การเปลี่ยนแปลงแรงบิดของมอเตอร์ถ้าแรงดันเปลี่ยนเป็นค่าต่างๆ

2.8.2 การควบคุมแรงดันเกินจากการสวิตช์ Capacitor Bank และ Filter Bank ด้วย Switchsync

ไทรกฟ เหลือจรัถนเจรญ ABB Thailand เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า การสวิตช์ในระบบไฟฟ้าแรงดันสูงกระทำโดยใช้ Circuit Breaker (CB) ซึ่งการควบคุม CB โดยทั่วไปใช้หลักการปิด-เปิดวงจรัถนที่หั่นไถแบบ Random ซึ่งนำไปสู่การเกิดแรงดันและกระแสทรานเซียร์นต (Transient) รุนแรงได้แม้ว่าทรานเซียร์นตเกิดขึ้นในวงจรัถนหลักแต่อาจเหนี่ยวนำให้เกิดทรานเซียร์นตในวงจรัถนย่อยและวงจรัถนควบคุมที่แรงดันต่ำบริเวณใกล้เคียงได้ทรานเซียร์นตมีผลกระทบต่อไดอิเล็กทริก (Dielectric) และความเครียดทางกลของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูง สำหรับแรงดันต่ำซึ่งได้รับผลจากการเหนี่ยวนำของทรานเซียร์นตจากแรงดันสูง ความเสียหายอาจเกิดขึ้นเล็กน้อยหรือรุนแรงต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าได้เช่น การรบกวนระบบป้องกันคอมพิวเตอร์และสื่อสารเป็นต้น

การสวิตช์เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับคาปาซิเตอร์แบบขนาน (Shunt capacitor), รีแอกเตอร์แบบขนาน (Shunt reactor) และหม้อแปลงขนาดใหญ่ ทำให้เกิดทรานเซียร์นตรุนแรงจากแรงดันเกิน (Over voltages), แรงดันต่ำ (Under voltages) หรือกระแสชั่วขณะ (Inrush current) รวมทั้งในกรณีปลดวงจรัถนรีแอกเตอร์แบบขนานทำให้เกิดการจุดประกายซ้ำ (Reignition) เป็นผลให้เกิดเซิร์จ (Surge) ที่มีความชันสูง ขนาดของทรานเซียร์นตเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของรูปคลื่นแรงดันขณะทำการปิด-เปิดหน้าสัมผัสของ CB ดังนั้นในกรณีที่มิได้ควบคุมตำแหน่งการสวิตช์ซึ่งโอกาสเกิดทรานเซียร์นตรุนแรงสามารถเกิดขึ้นได้ แม้ว่า CB รุ่นใหม่ที้ออกแบบใหม่มีโอกาสการเกิด Restrike ต่ำมากก็ตาม เมื่อนำมาใช้กับคาปาซิเตอร์แบงก์ (Capacitor bank) หรือฟิลเตอร์แบงก์ (Filter bank) ก็ยังมีความเป็นไปได้ที่จะเกิด Restrike ขึ้นขณะเปิดวงจรัถนซึ่งปัญหานี้ อาจถูกแก้ไขได้ด้วยการควบคุมตำแหน่งการเปิดวงจรัถนอย่างเหมาะสม

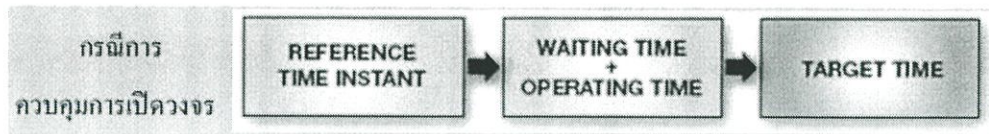
หลักการควบคุมการสวิตช์ด้วย Switchsync การควบคุมการสวิตช์ด้วย Switchsync คำนึงถึงตำแหน่งของรูปคลื่นขณะทำการปิด-เปิดวงจรัถนแต่ละหน้าสัมผัสของ CB เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดทรานเซียร์นตจากการสวิตช์ ซึ่งตามทฤษฎีทำได้โดยการสวิตช์ที่หั่นไถ ขณะทีแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์เท่ากับศูนย์



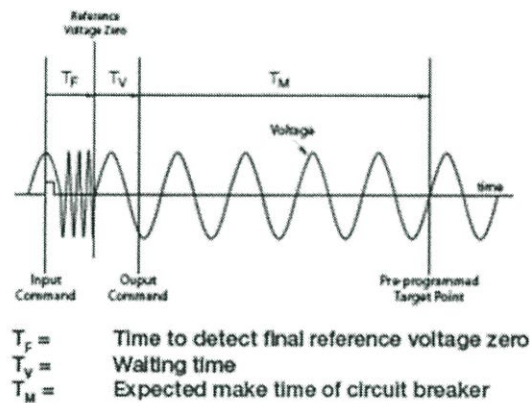
ภาพที่ 2.44 วงจรัถนการควบคุมเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้วย Switchsync

พิจารณาต้งภาพที่ 2.44 อุปกรณ์ควบคุม Switchsync ตรวจวัดสัญญาณแรงดันผ่าน Voltage transformer (VT) เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง เพื่อสั่งให้หน้าสัมผัสของ CB ปิดวงจรัถนขณะที่ตำแหน่งของรูปคลื่นแรงดันที่จ่ายไฟฟ้าให้กับคาปาซิเตอร์เท่ากับ “ศูนย์” โดยทีเวลาในการควบคุม

การสวิตชิงทั้งหมดพิจารณาจากภาพที่ 2.45 และ 2.46 โดยเวลาดังกล่าวถูกโปรแกรมใน Switchsync controller เพื่อให้ทำงาน ณ เวลาที่ถูกต้อง



ภาพที่ 2.45 หลักการควบคุมเวลาการทำงานของ CB ด้วย Switchsync



ภาพที่ 2.46 เวลาที่ใช้ในการสวิตชิงด้วย Switchsync

ABB มีประสบการณ์ด้านการควบคุมการสวิตชิงมากกว่า 20 ปี โดยที่ Switchsync รุ่นแรกถูกนำมาใช้งานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1986 ABB เป็นผู้นำในการพัฒนาและสร้างอุปกรณ์สวิตชิงเพื่อกำจัดทรานเซียนต์ที่ทำให้เกิดปัญหากับ CB และอุปกรณ์ใกล้เคียง รวมทั้งปัญหาเกี่ยวกับความเข้ากันได้ทางสนามแม่เหล็ก (Electromagnetic compatibility) ด้วยปัจจุบัน Switchsync จำนวนหลายพันตัวได้ถูกนำไปใช้งานกับคปาซิเตอร์และฟิลเตอร์แบงก์ , รีแอกเตอร์แบบขนาน และหม้อแปลงขนาดใหญ่ ด้วยจำนวนมากกว่า 50%, ประมาณ 25% และ ประมาณ 15% ตามลำดับ

บทที่ 3

ส่วนประกอบของวงจรและหลักการทำงาน

3.1 ส่วนประกอบของวงจร

วงจรการควบคุมสวิตช์จะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ

วงจรสร้างพัลส์แรงดันไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์(Zero Crossing Voltage)

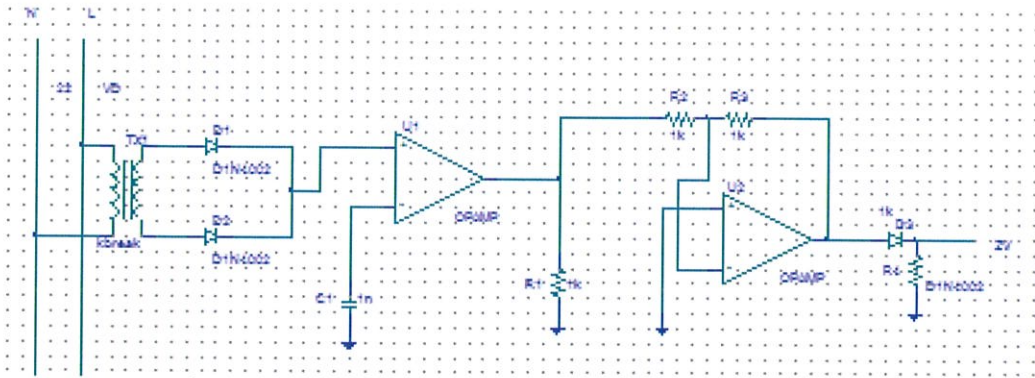
1. หม้อแปลงแรงดัน(voltage transformer 220V:15V)
2. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง(Full Wave Rectifier with Center tap)
3. วงจรการเปรียบเทียบสัญญาณ(Op-Amp)
4. วงจรขยายแบบกลับสัญญาณ(Inverting Amplifier)
5. ไดโอด(Diode)
6. ตัวต้านทาน(Resistor)

วงจรสร้างพัลส์กระแสไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์(Zero Crossing Current)

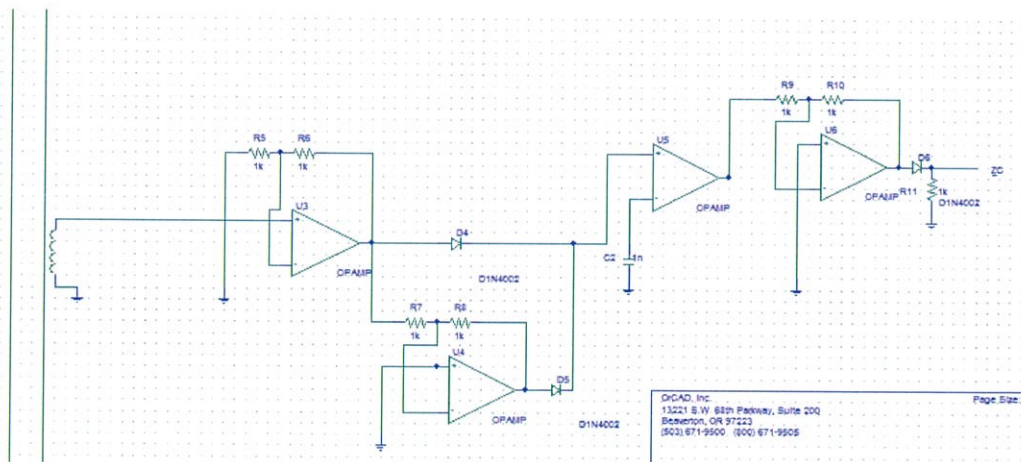
1. หม้อแปลงกระแส(Current Transformer)
2. วงจรเรียงกระแส(Op-Amp rectifier)
3. วงจรการเปรียบเทียบสัญญาณ(Op-Amp)
4. วงจรขยายแบบไม่กลับสัญญาณ(Non Inverting Amplifier)
5. วงจรขยายแบบกลับสัญญาณ(Inverting Amplifier)
6. ไดโอด(Diode)
7. ตัวต้านทาน(Resistor)

วงจรอินเตอร์ล๊อคสวิตช์(Interlock Switch Circuit)

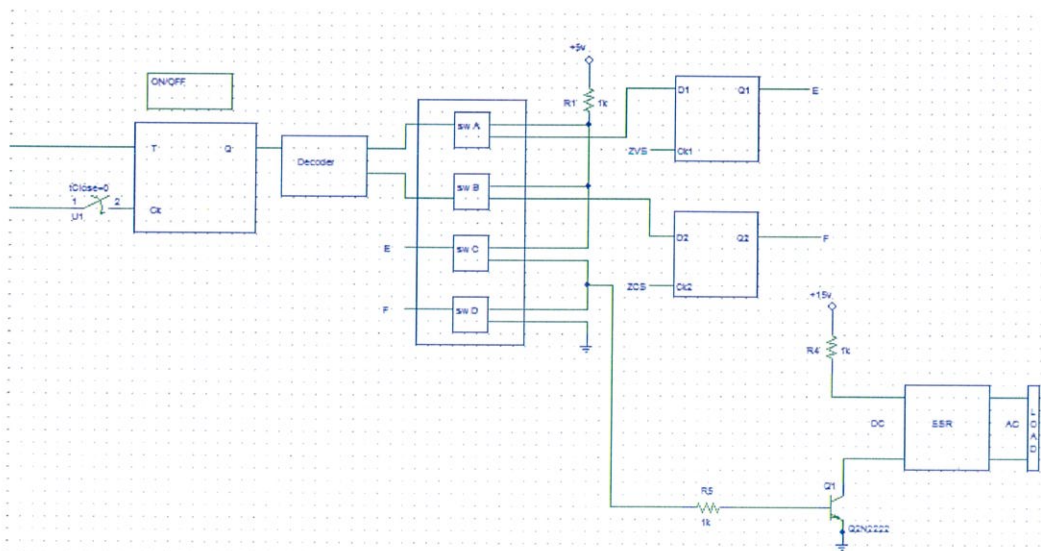
1. ทีฟลิปฟลอป
2. ดีฟลิปฟลอป
3. แอนด์เกต
4. นอร์เกต
5. แนนด์เกต
6. ควอดซ์สวิตช์ซีมอส
7. ทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น
8. ตัวต้านทาน
9. ตัวเก็บประจุ
10. สวิตช์กดติดปล่อยดับ(Push Button Switch)



ภาพที่ 3.1 วงจรสร้างพัลส์แรงดันไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์(Zero Crossing Voltage)



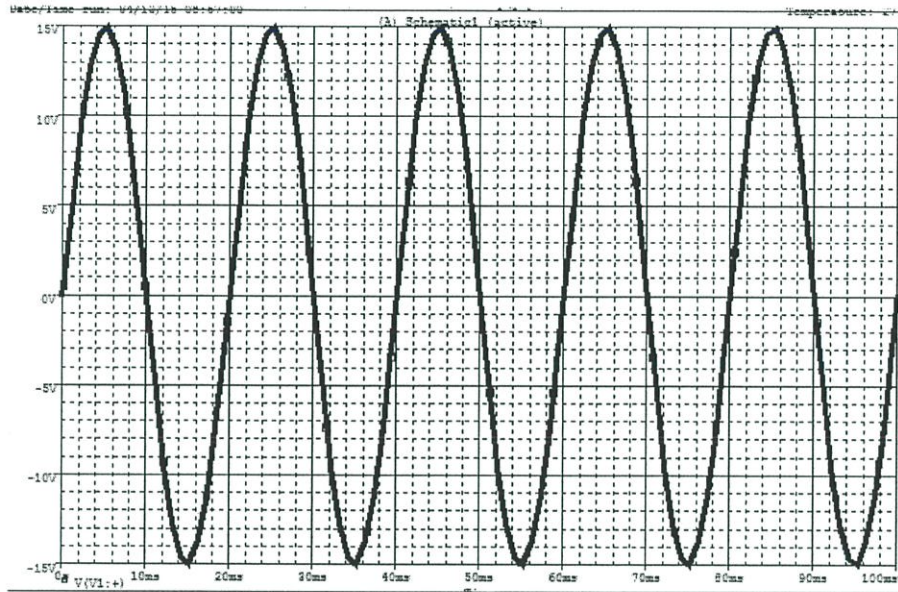
ภาพที่ 3.2 วงจรสร้างพัลส์กระแสไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์(Zero Crossing Current)



ภาพที่ 3.3 วงจรอินเตอร์ล๊อคสวิตซ์(Interlock Switch Circuit)

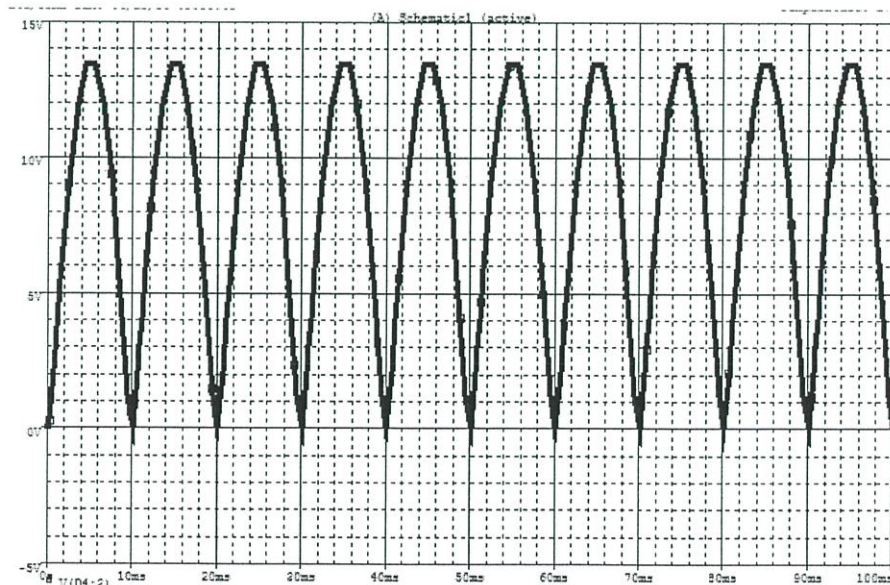
3.2 การทำงานของวงจรในส่วนที่ 1 วงจรสร้างพัลส์แรงดันไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Voltage)

1) แรงดันจากไฟบ้าน 220V จะถูกแปลงลงมาโดยหม้อแปลงแรงดัน (voltage transformer 220v:15V) ให้เหลือ 15V



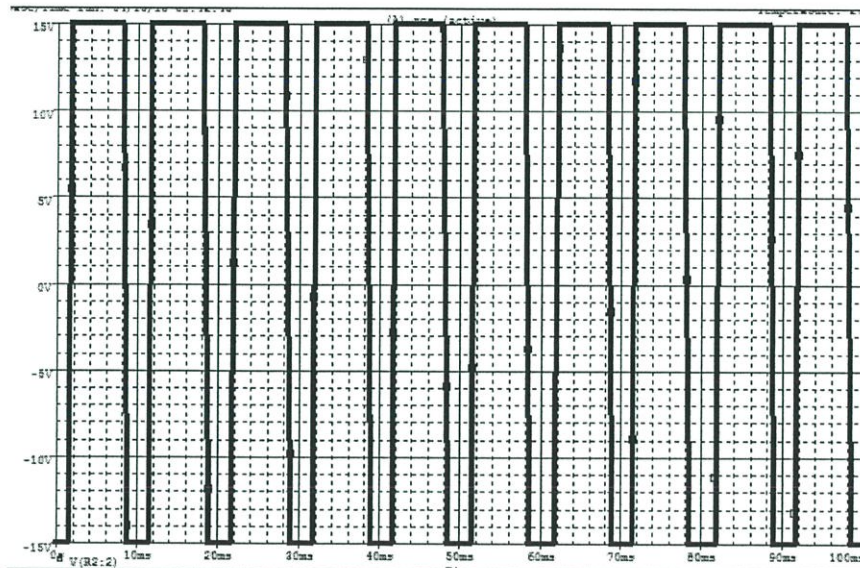
ภาพที่ 3.4 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกแปลงลงมาเหลือ 15 โวลต์

2) แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 15V ผ่านวงจรเรียงกระแส (Full Wave Rectifier with Center tap) สัญญาณที่ได้นั้นยังคงเป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีแต่ครึ่งบวก



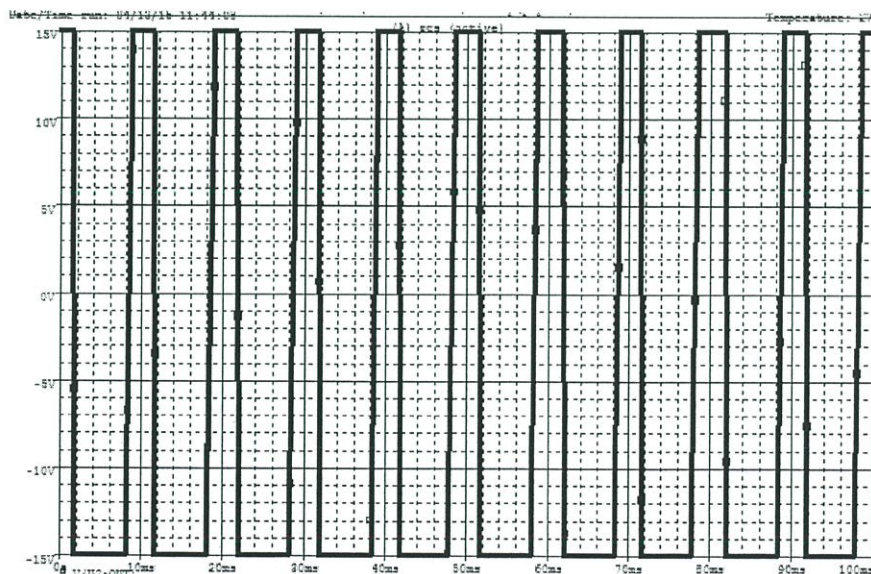
ภาพที่ 3.5 แรงดันไฟฟ้าหลังผ่านวงจรเรียงกระแส

3) สัญญาณแรงดันจะผ่านวงจรเทียบสัญญาณ(comparator)ที่ใช้โอปแอมป์ เพื่อเทียบสัญญาณรูปคลื่นไซน์ 15V กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงระดับ 4.5V เพื่อให้ได้เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ที่มีค่าบวกลบ 15V โดยช่วงลบบยาวประมาณ 1ms และช่วงบวกยาวประมาณ 9ms



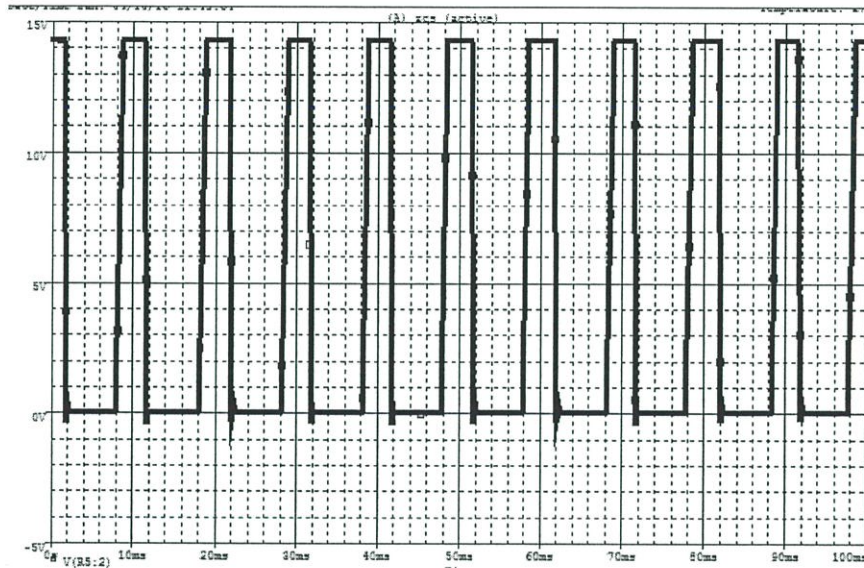
ภาพที่ 3.6 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านวงจรออปแอมป์

4) นำสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ได้ไปเข้าวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส ซึ่งจะทำให้ช่วงเวลาของค่าบวกและค่าลบสลับกัน โดยที่ช่วงลบบยาวประมาณ 9ms และช่วงบวกยาวประมาณ 1ms



ภาพที่ 3.7 สัญญาณขาออกจากวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

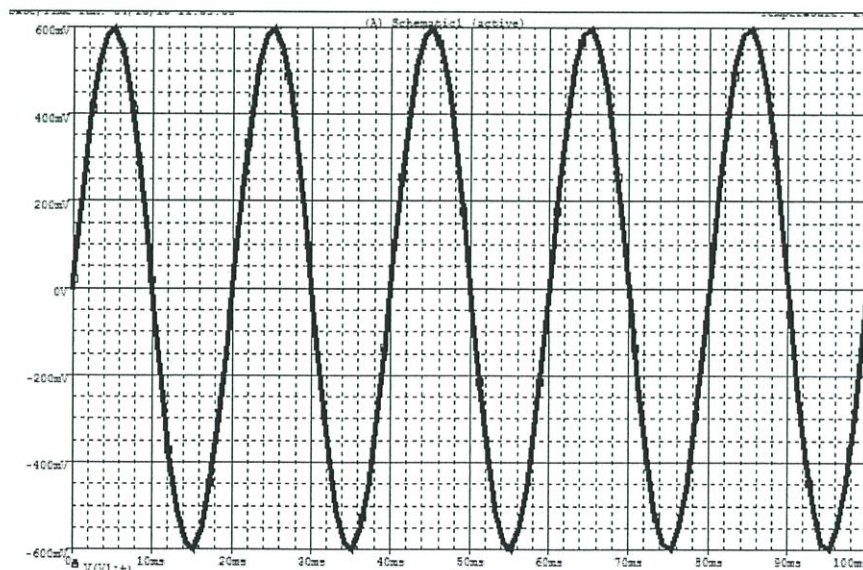
5) นำสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ได้มาผ่านไดโอดเพื่อให้เหลือสัญญาณเฉพาะครึ่งบวก ซึ่งจะได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์ โดยมีคาบเวลา 10ms



ภาพที่ 3.8 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์(Zero Crossing Voltage)

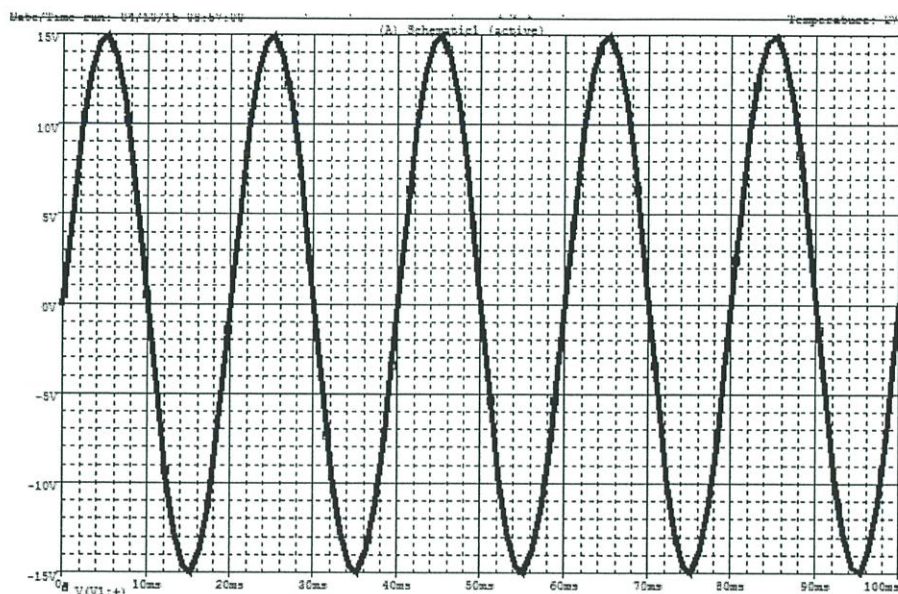
3.3 การทำงานของวงจรในส่วนที่ 2 วงจรสร้างพัลส์กระแสไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์(Zero Crossing Current)

1) กระแสไฟฟ้าจากระดับไฟบ้านจะถูกแปลงลงมาให้ต่ำลงโดยหม้อแปลงกระแส(current transformer) โดยสัญญาณที่ได้จะเป็นรูปคลื่นแรงดันกระแสสลับขนาด 600mV



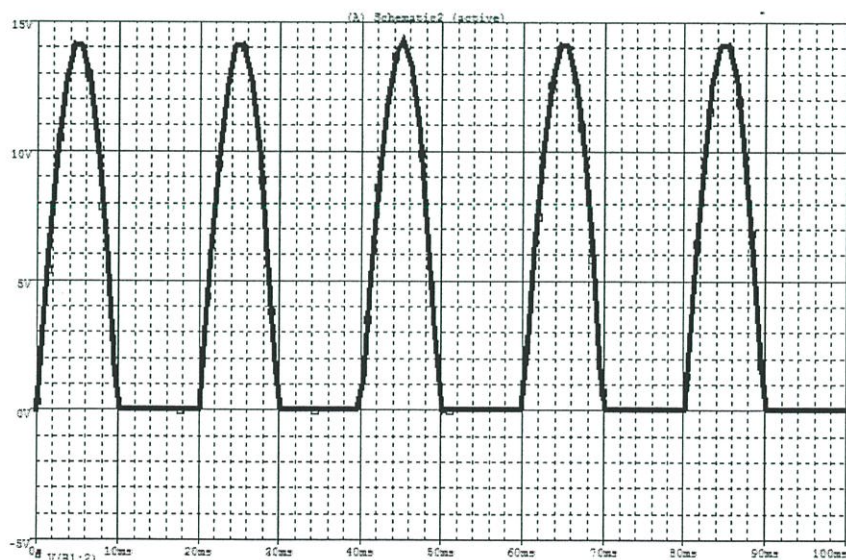
ภาพที่ 3.9 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากหม้อแปลงกระแส

2) นำสัญญาณที่ได้จากหม้อแปลงกระแสมาเข้าวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสเพื่อปรับค่าจาก 600mV ให้เป็น 15V



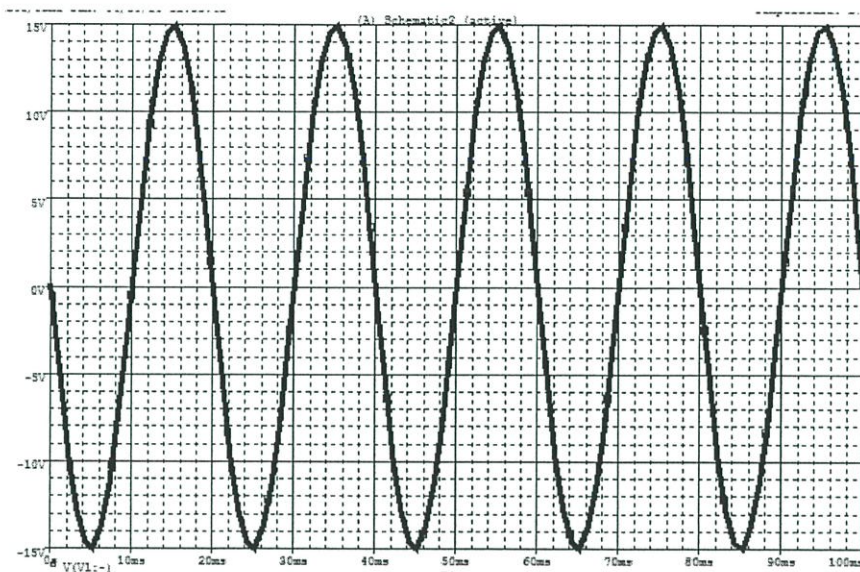
ภาพที่ 3.10 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าหลังผ่านวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

3) นำสัญญาณที่ได้จากข้อ 2 มาผ่านไดโอดเพื่อให้เหลือสัญญาณเฉพาะครึ่งบวก



ภาพที่ 3.11 สัญญาณที่ได้เมื่อผ่านไดโอด

4) นำสัญญาณที่ได้จากข้อ 2 มาผ่านวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส



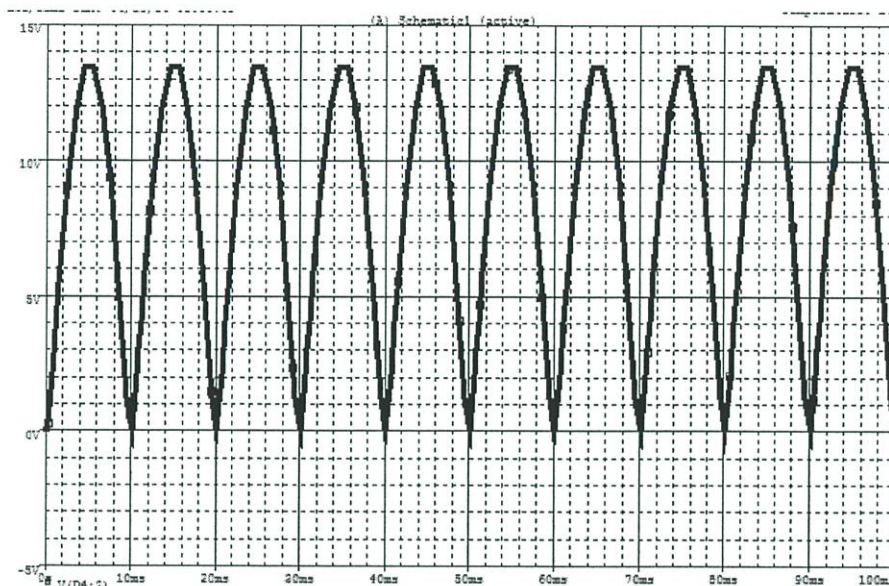
ภาพที่ 3.12 สัญญาณหลังผ่านวงจรขยายสัญญาณกลับเฟส

5) นำสัญญาณที่ได้จากข้อ 4 มาผ่านไดโอด เพื่อให้ได้สัญญาณเฉพาะครึ่งบวก



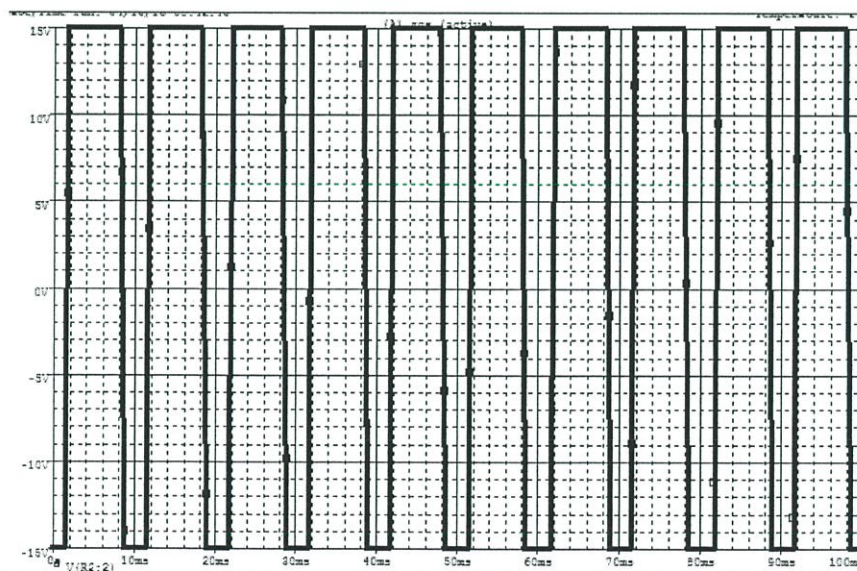
ภาพที่ 3.13 สัญญาณที่ได้เมื่อผ่านไดโอด

6) นำสัญญาณที่ได้จากข้อ 3 และข้อ 5 มารวมกัน จะได้สัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่มีแต่ครึ่งบวก



ภาพที่ 3.14 สัญญาณรูปคลื่นไซน์ครึ่งบวก

7) สัญญาณแรงดันที่ได้จะผ่านวงจรเทียบสัญญาณ(comparator)ที่ใช้โอปแอมป์ เพื่อเทียบสัญญาณรูปคลื่นไซน์ 15V กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงระดับ 4.5V เพื่อให้ได้เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ที่มีค่าบวกลบ 15V โดยช่วงลบบยาวประมาณ 1ms และช่วงบวกยาวประมาณ 9ms



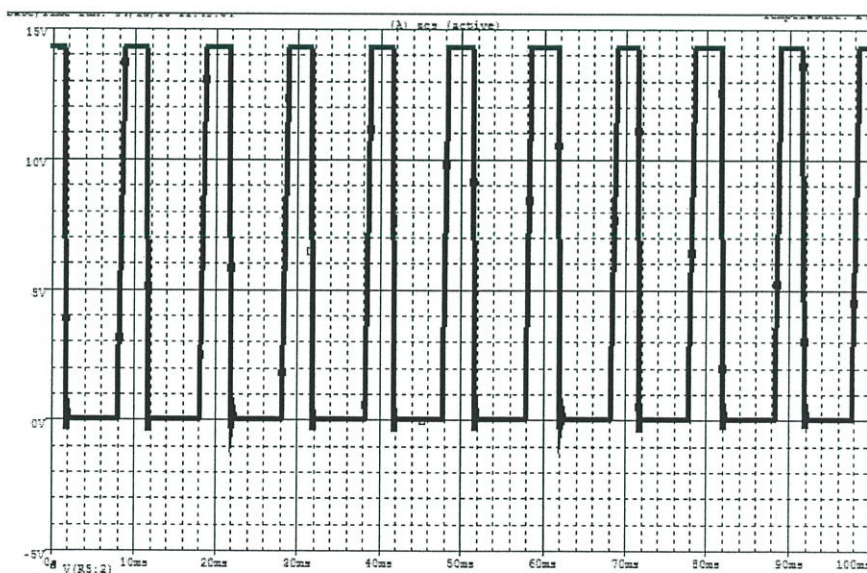
ภาพที่ 3.15 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านวงจรออปแอมป์

8) นำสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ได้ไปเข้าวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส ซึ่งจะทำให้ช่วงเวลาของค่าบวกและค่าลบสลับกัน โดยที่ช่วงลบยาวประมาณ 9ms และช่วงบวกยาวประมาณ 1ms



ภาพที่ 3.16 สัญญาณขาออกจากรวมวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

9) นำสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ได้มาผ่านไดโอดเพื่อให้เหลือสัญญาณเฉพาะครึ่งบวก ซึ่งจะได้สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์ โดยมีคาบเวลา 10ms



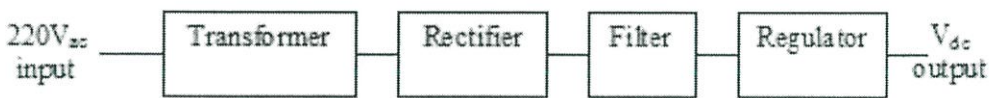
ภาพที่ 3.17 สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Current)

3.4 การทำงานของวงจรในส่วนที่ 3 วงจรอินเตอร์ล๊อคสวิตช์ (Interlock Switch Circuit)

เริ่มจากการการกดสวิตช์แบบกดติดปล่อยดับ(Push Button Switch) เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับที่ฟลิปฟลอป จากนั้นสัญญาณที่ออกจากที่ฟลิปฟลอปจะเป็นสัญญาณกระแสตรง 2 สถานะคือลอจิก 1 (5V) และลอจิก 0 (0V) สัญญาณจากที่ฟลิปฟลอปจะไปเข้าวงจรดีโคเดออร์ ซึ่งดีโคเดออร์จะมีลักษณะเป็น 1 อินพุต 2 เอาท์พุต โดย 2 เอาท์พุตที่ออกมานั้นจะมีสัญญาณที่ตรงข้ามกันเสมอ นำสัญญาณที่ได้จากดีโคเดออร์ไปเข้าสวิตช์เอ และสวิตช์บีของซิมอส โดยสวิตช์เอและสวิตช์บีจะทำงานแบบอินเตอร์ล๊อคกัน จากนั้นสัญญาณจากสวิตช์เอจะไปควบคุมดีฟลิปฟลอปตัวที่ 1 และสัญญาณจากสวิตช์บีจะไปควบคุมดีฟลิปฟลอปตัวที่ 2 โดยที่สัญญาณนาฬิกาของดีฟลิปฟลอปตัวที่ 1 มาจากสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์(Zero Crossing Voltage) และสัญญาณนาฬิกาของดีฟลิปฟลอปตัวที่ 2 มาจากสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์(Zero Crossing Current) นำสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จากดีฟลิปฟลอปตัวที่ 1 มาเป็นสัญญาณควบคุมสวิตช์ซีในซิมอส และนำสัญญาณเอาท์พุตจากดีฟลิปฟลอปตัวที่ 2 มาเป็นสัญญาณควบคุมสวิตช์ดีในซิมอส โดยสวิตช์ซีและสวิตช์ดีในซิมอสจะทำงานอินเตอร์ล๊อคกัน อันเนื่องมาจากสัญญาณของดีฟลิปฟลอปทั้งสองตัว นำสัญญาณที่ได้จากสวิตช์ซีและสวิตช์ดีมาควบคุมโซลิดสเตตเจรีเลย์เพื่อใช้เป็นสวิตช์ในการควบคุมโหลด โดยจะทำงานที่จุดตัดศูนย์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

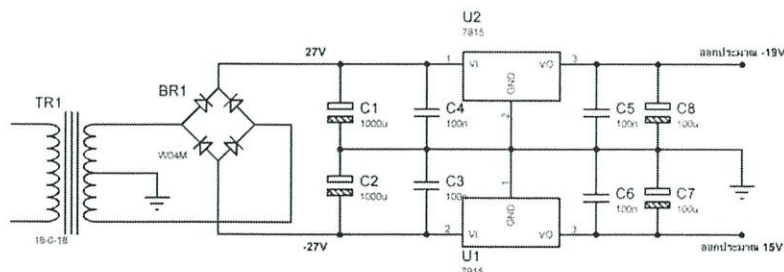
3.5 วงจรพาวเวอร์ซัพพลายกระแสตรง(DC Power Supply)

DC Power Supply เป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในงานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้แก่ตัวไอซี โดยมีส่วนประกอบหลักๆดังภาพ



ภาพที่ 3.18 บล็อกไดอะแกรมของพาวเวอร์ซัพพลาย

จากภาพ เริ่มต้นจาก power line ac 220 V บ่อนให้หม้อแปลงเพื่อลดระดับแรงดันที่เหมาะสม จากนั้นเข้าวงจรเรียงกระแสซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง ไฟกระแสตรงที่ได้จากส่วนนี้มีลักษณะเป็นลูกคลื่นอยู่จึงต้องนำไปกรองให้เรียบด้วยวงจรกรอง(filter) และส่วนสุดท้ายเป็นวงจรควบคุมแรงดัน(regulator) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมรักษาระดับแรงดันเอาท์พุตของวงจรให้มีระดับคงที่ตามต้องการเสมอ โดยไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาวะของโหลด



ภาพที่ 3.19 วงจรพาวเวอร์ซัพพลายกระแสตรง(DC Power Supply)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 วัตถุประสงค์

1. ทดลองการใช้สวิตช์ธรรมดาธรรมดา พาวเวอร์สวิตช์ฟรีทรานเซียนส์ และสวิตช์ผ่านโซลิตสเตจรีเลย์โดยตรงมาทำการควบคุมการเปิดปิดโหลดไฟฟ้าเพื่อดูสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้น
2. นำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้มาเปรียบเทียบกับความแตกต่างกันอย่างไร

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. สายไฟ
2. สวิตช์ไฟฟ้า
3. พาวเวอร์สวิตช์ฟรีทรานเซียนส์(Power Switch Free Transient)
4. แผงโหลดประกอบด้วย หลอดไส้ขนาด 100W จำนวน 6 หลอด และบัลลาสต์ 1 ตัว
5. กล่องต่อสาย(Junction Box)
6. ดิจิตอลออสซิลโลสโคป
7. โพรบวัดแรงดัน
8. โพรบวัดกระแส(100mV/A)
9. พัดลม



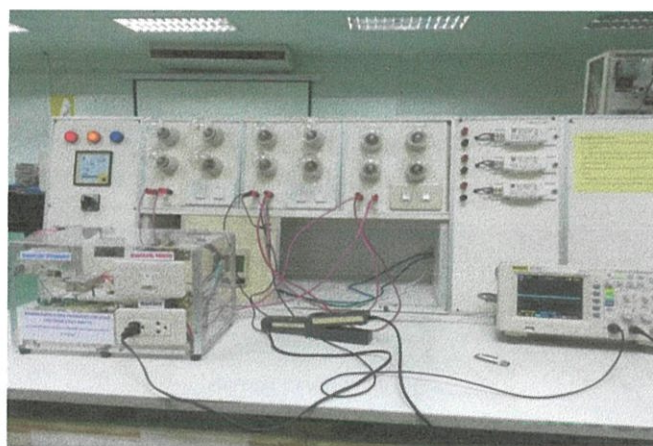
ภาพที่ 4.1 ชิ้นงาน Power Switch Free Transient

4.3 วิธีการทดลอง

นำอุปกรณ์ (Power Switch Free Transient) ที่ประดิษฐ์ขึ้น มาทำการทดลองในการเปิดปิดสวิตช์เพื่อทำการควบคุมโหลด และทำการเก็บรูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากการเปิดปิดสวิตช์เพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าผลของทรานเซียนส์ที่เกิดขึ้นขณะทำการออนโหลด และออฟโหลด ซึ่งจะแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วนคือ

1. ทดลองกับโหลดตัวต้านทาน(R Load)
2. ทดลองกับโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ(RL Load)
3. ทดลองกับโหลดมอเตอร์(พัดลม)

โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็นทดลองการเปิดปิดสวิตซ์ในการควบคุมโหลดด้วยสวิตซ์ธรรมดา การทดลองการเปิดปิดสวิตซ์ในการควบคุมโหลดด้วยอุปกรณ์(Power Switch Free Transient) และการทดลองการควบคุมโหลดด้วยการผ่านโซลิตสเตจรีเลย์โดยตรง แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับเพื่อที่จะแสดงให้เห็นว่าหลังจากที่ได้ใช้อุปกรณ์(Power Switch Free Transient)มาทำการควบคุมโหลด จะมีความแตกต่างกับการควบคุมโหลดด้วยสวิตซ์ธรรมดาและการควบคุมโหลดผ่านโซลิตสเตจรีเลย์โดยตรงอย่างไร

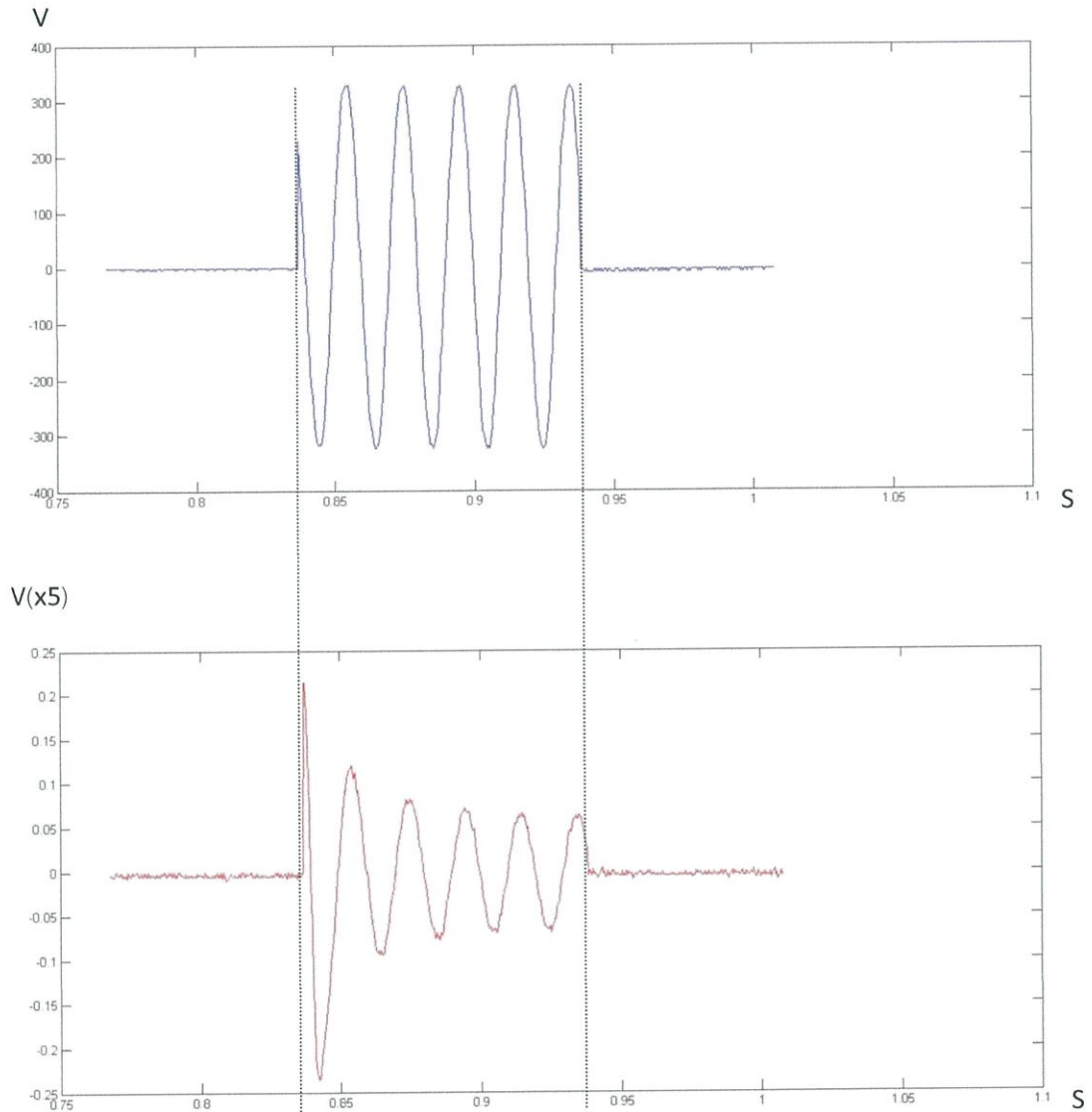


ภาพที่ 4.2 การทดลอง

4.4 การทดลองการเปิดปิดสวิตซ์ในการควบคุมโหลดด้วยสวิตซ์ธรรมดา

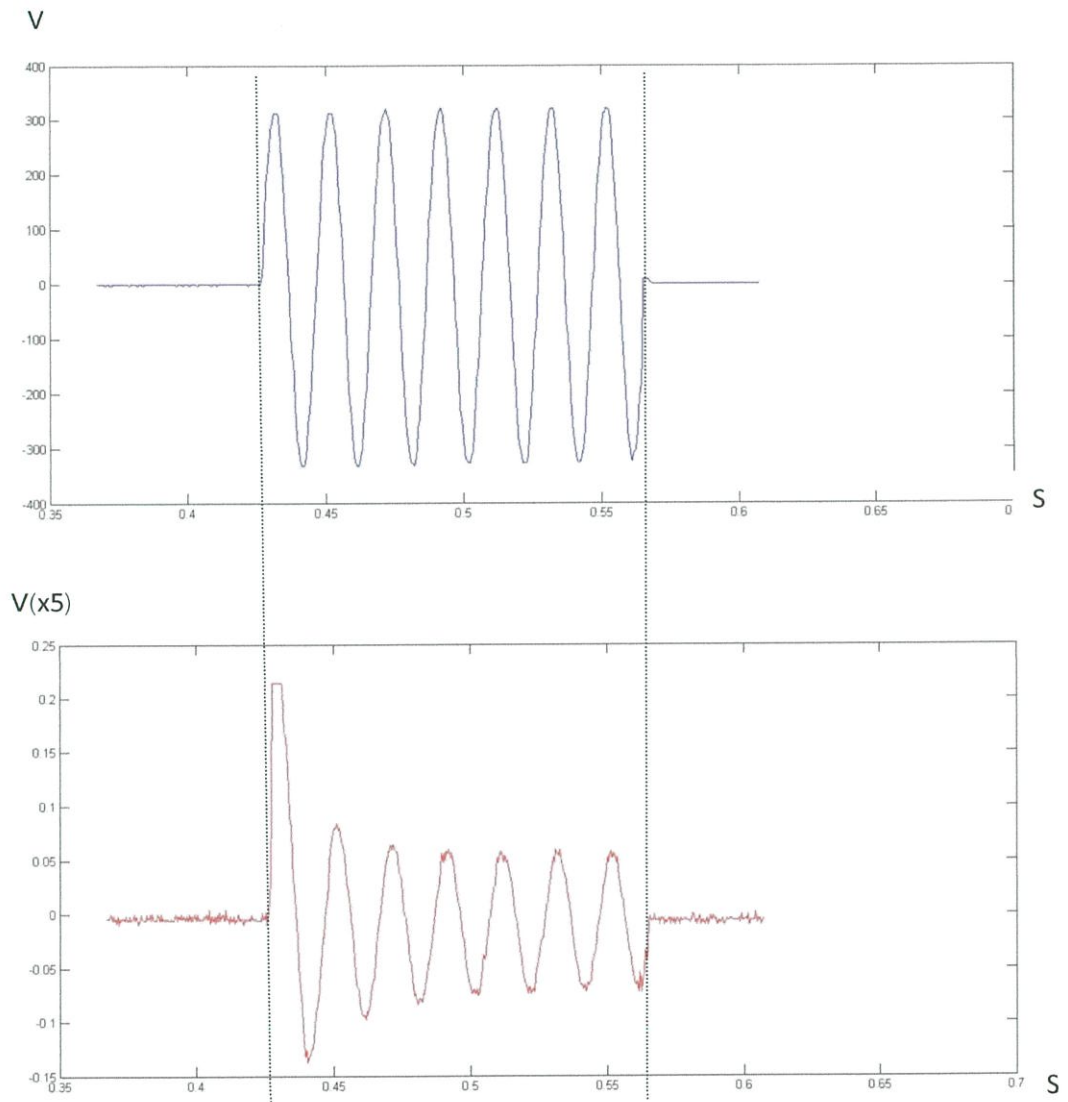
4.4.1 โหลดตัวต้านทาน(R Load)

ทำการสวิตซ์ ณ บริเวณจุดยอดของสัญญาณ



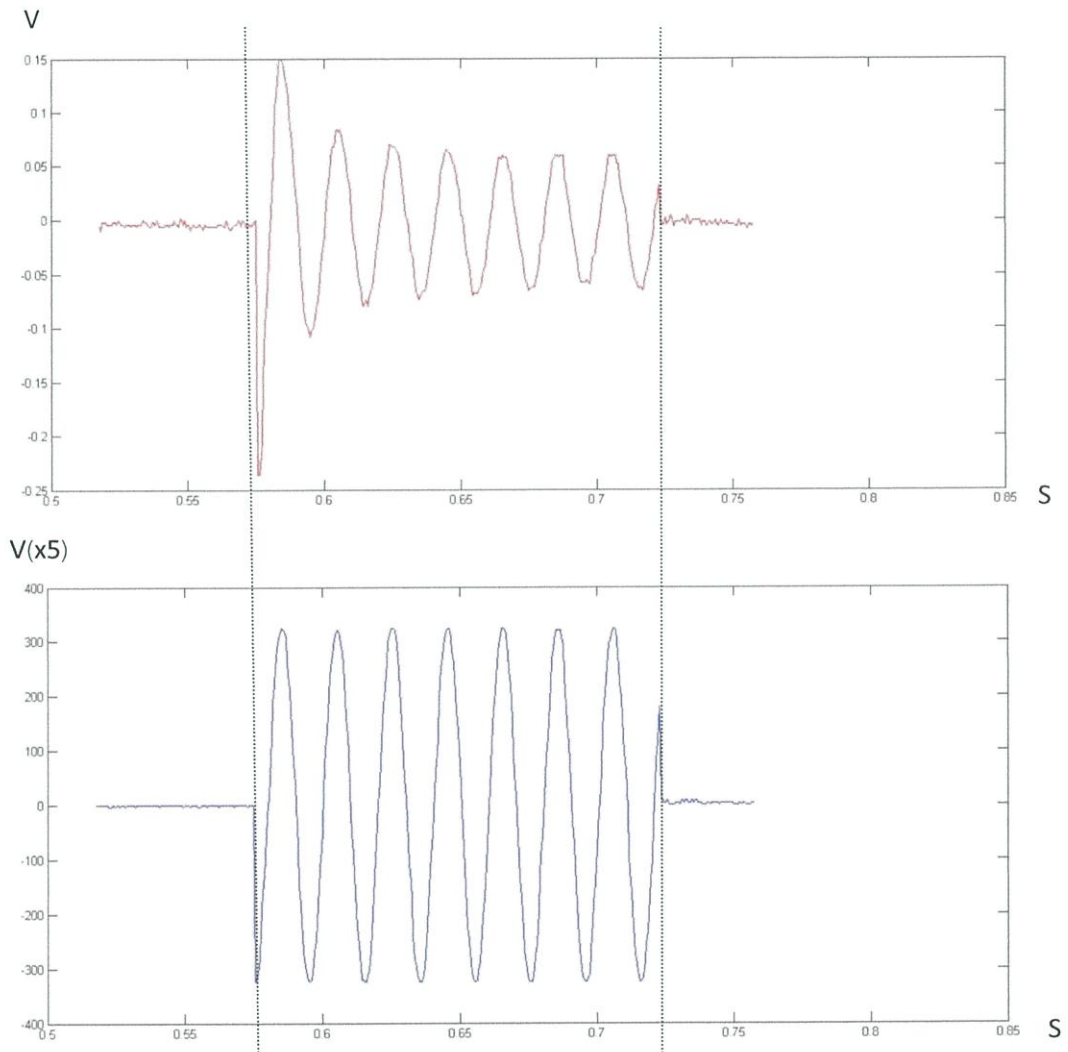
ภาพที่ 4.3 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ



ภาพที่ 4.4 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

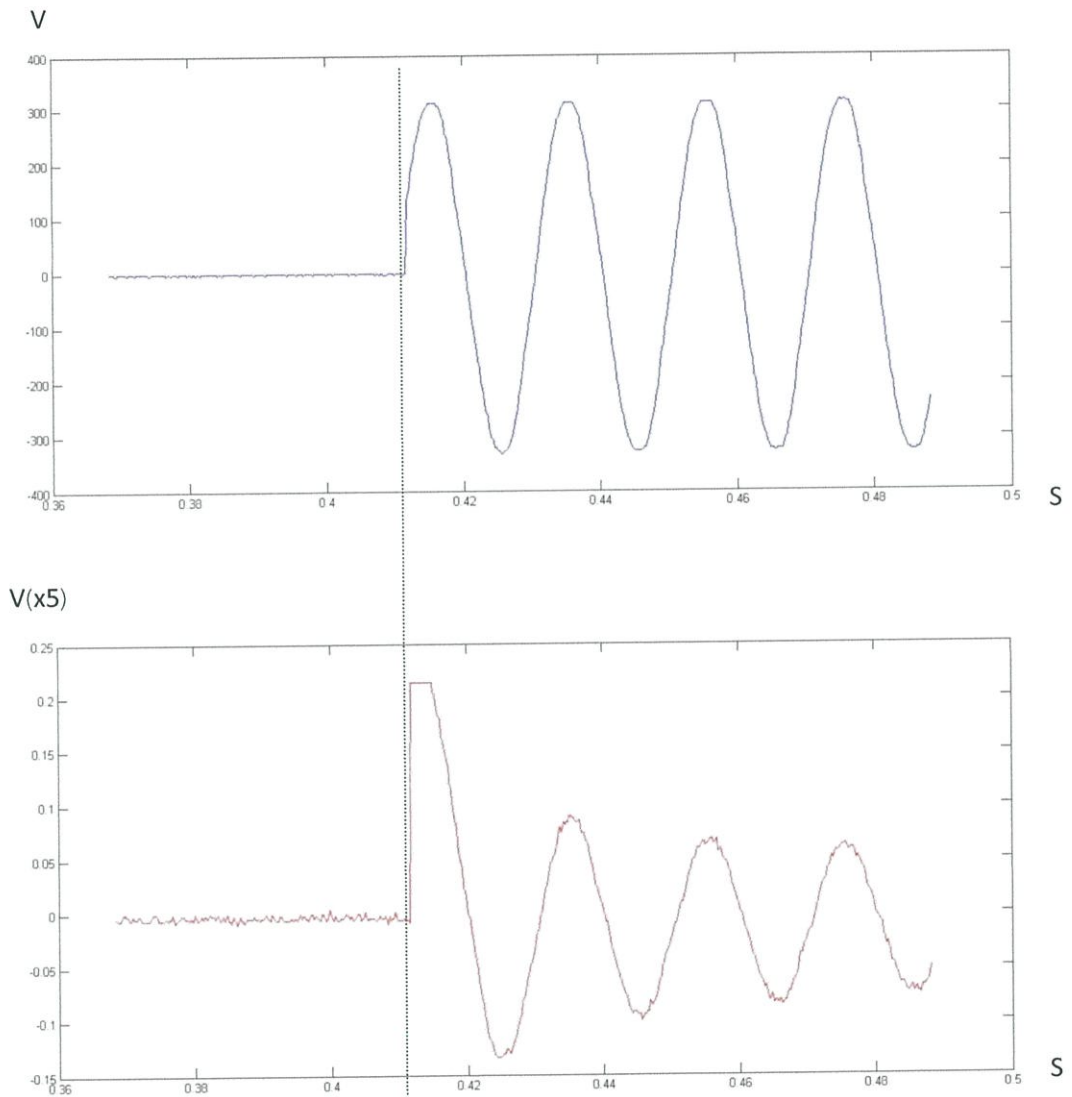
ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



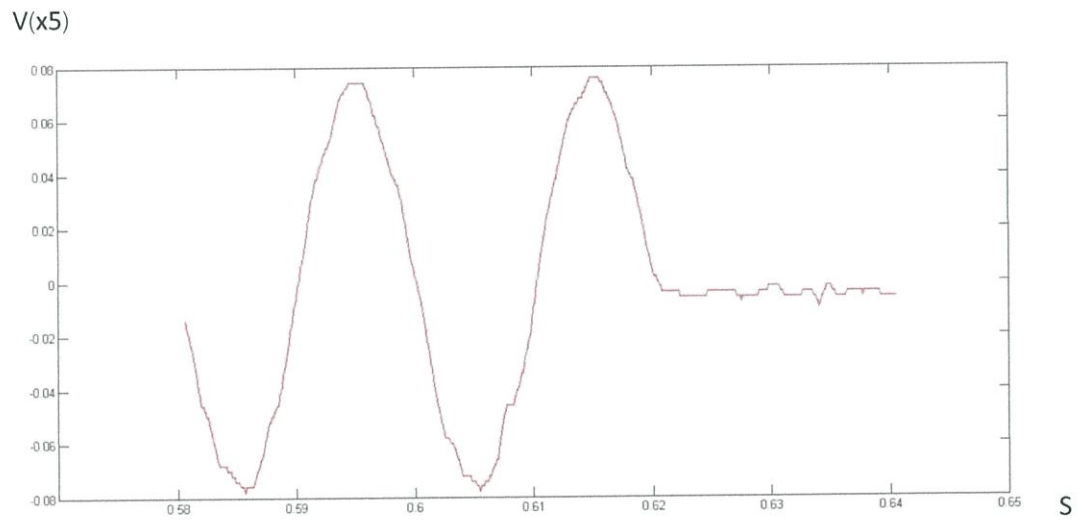
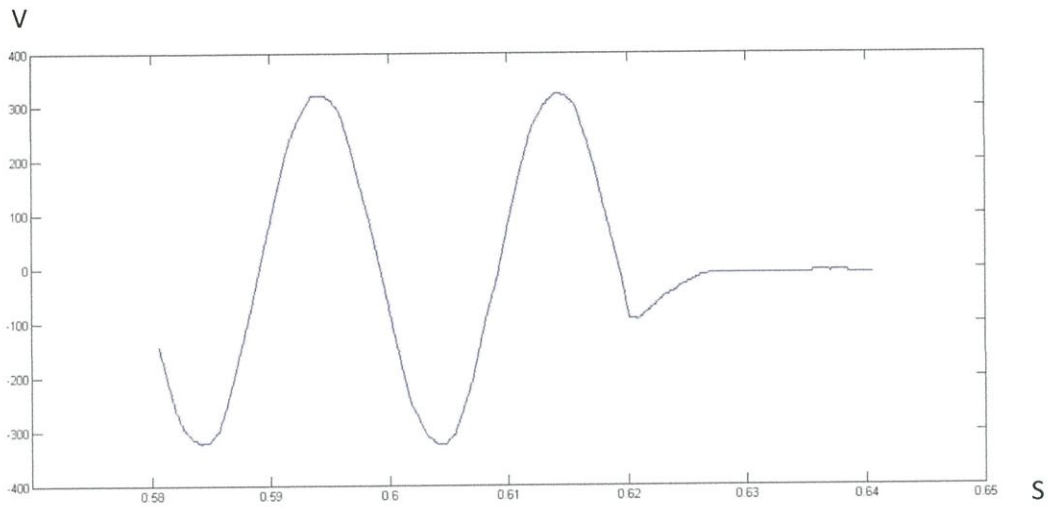
ภาพที่ 4.5 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ

4.4.2 โหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ(RL Load)

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

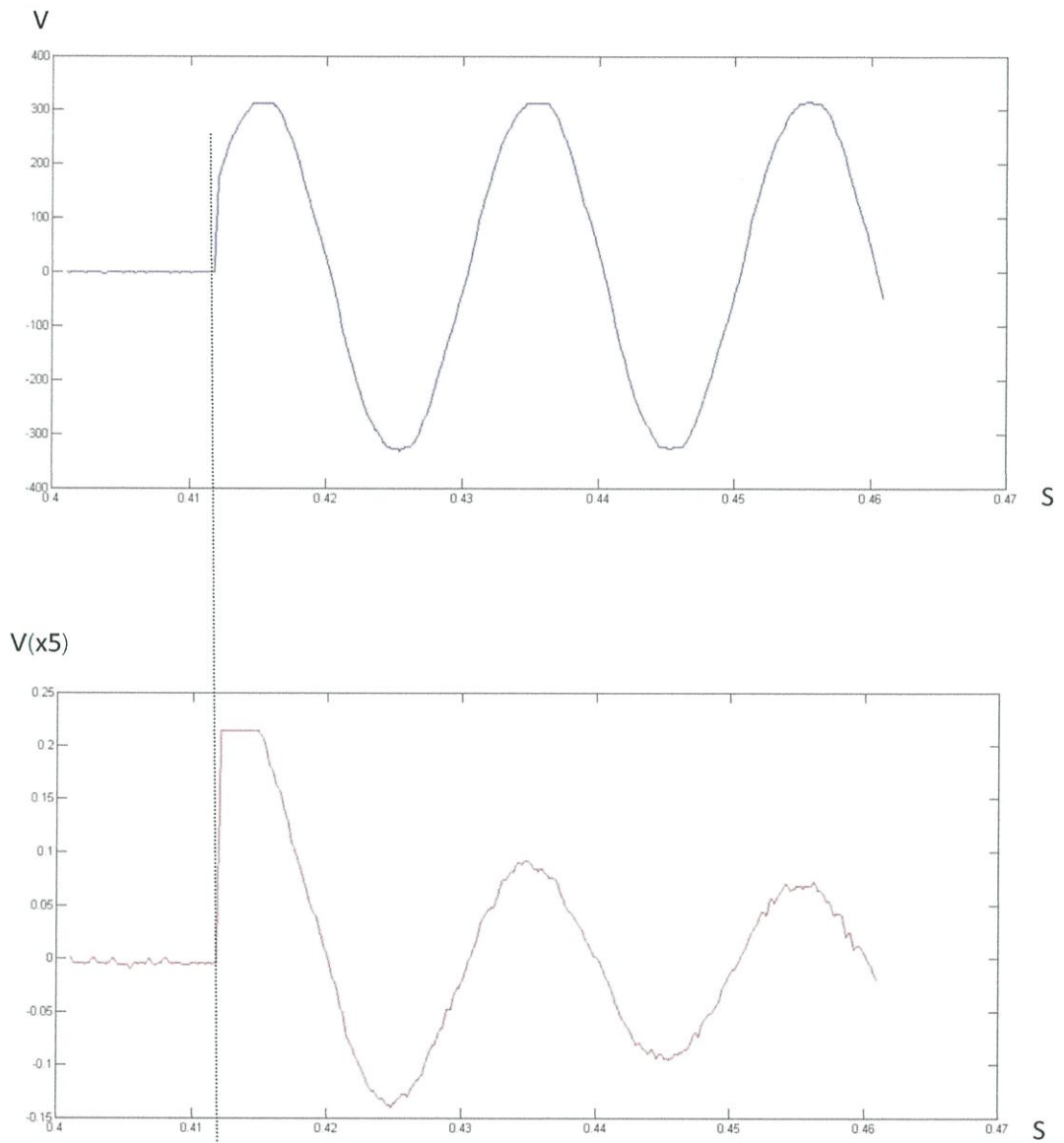


ภาพที่ 4.6 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

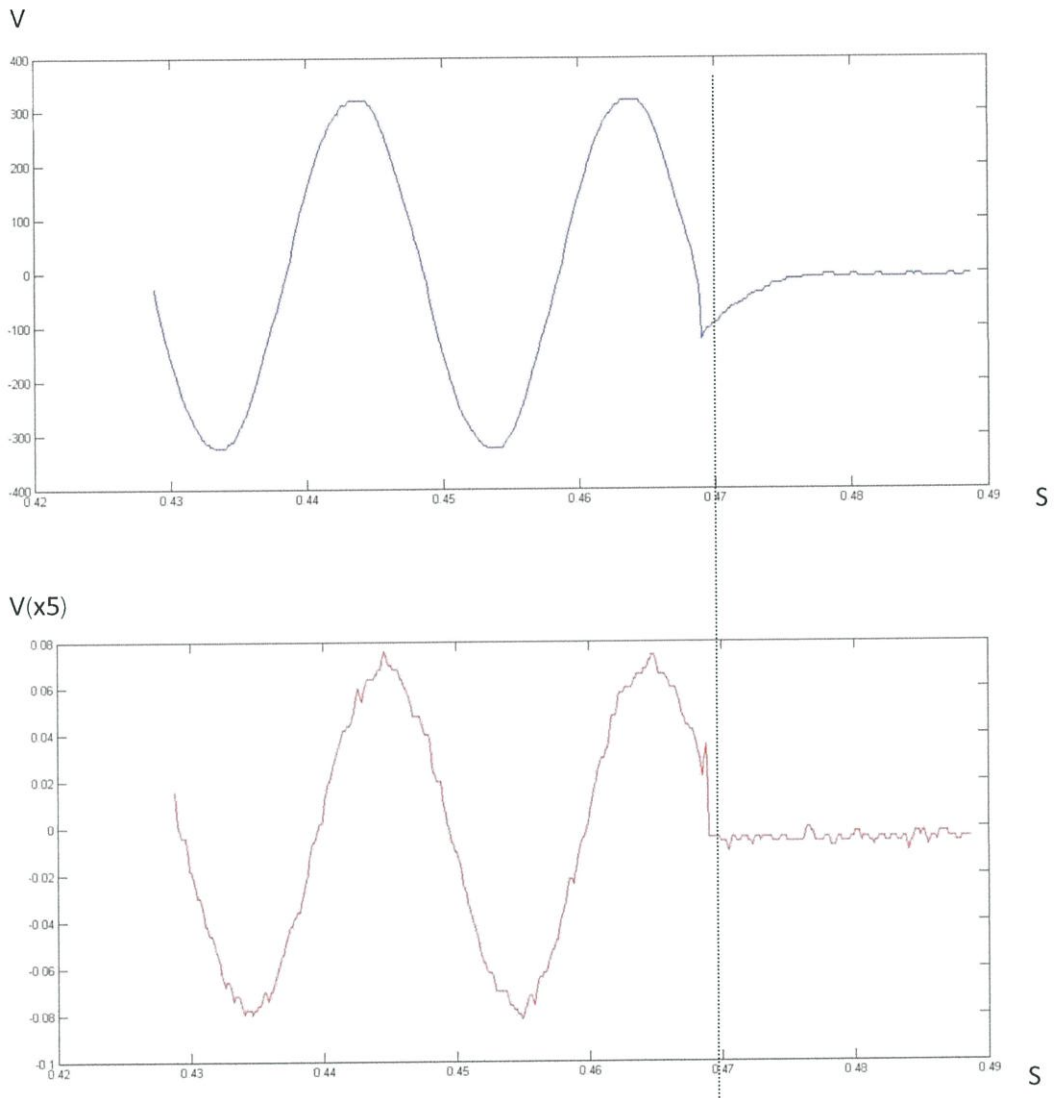


ภาพที่ 4.7 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

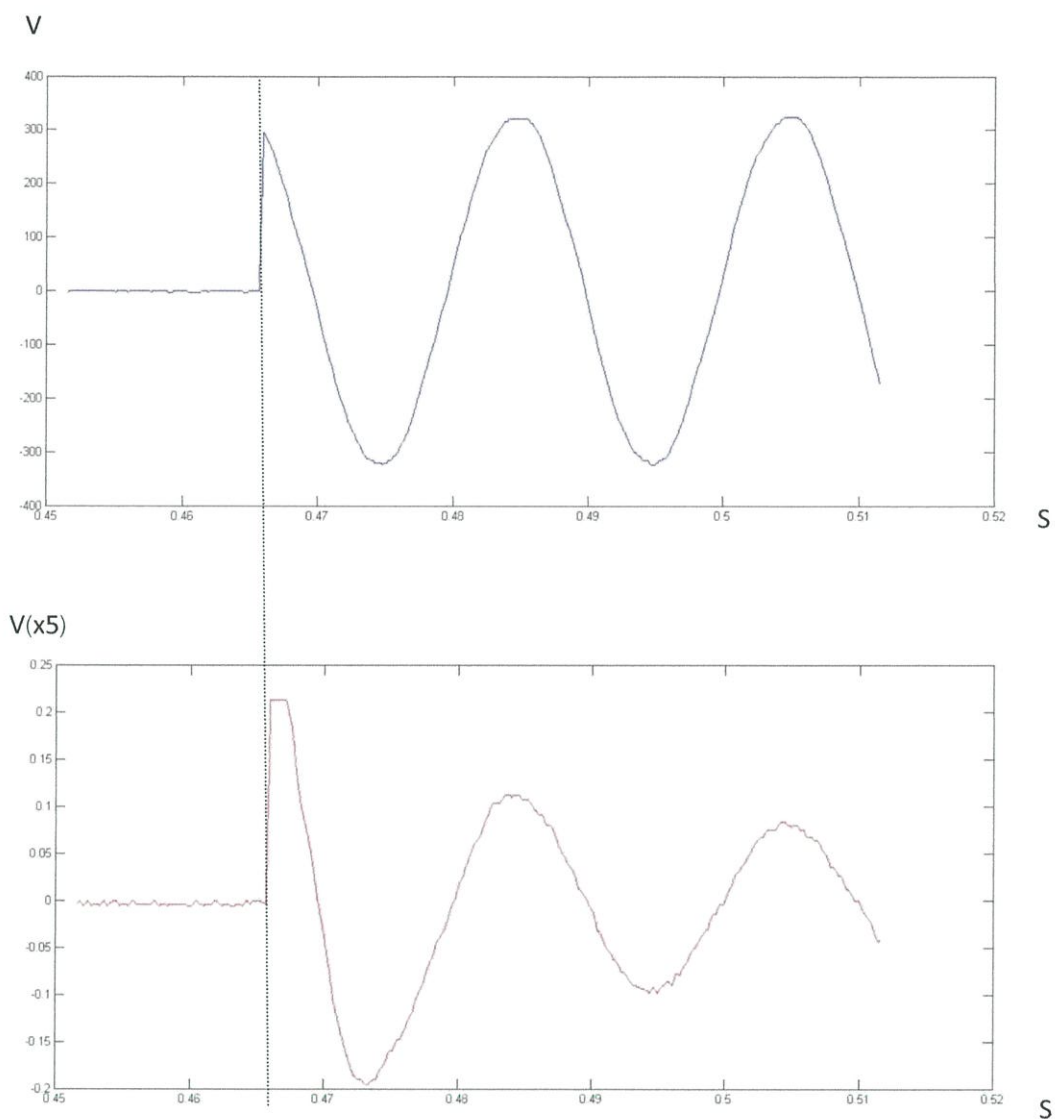


ภาพที่ 4.8 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

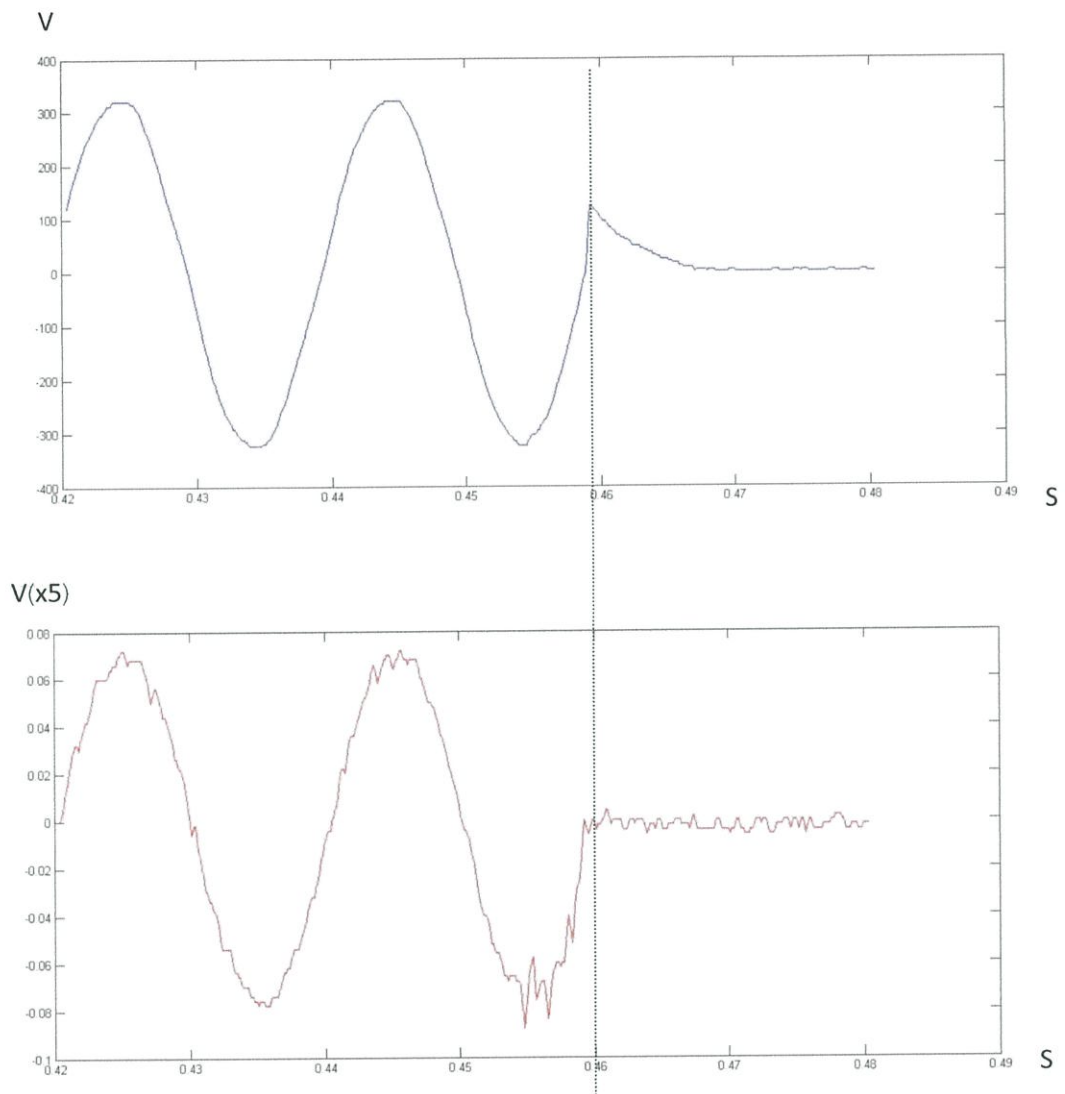


ภาพที่ 4.9 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



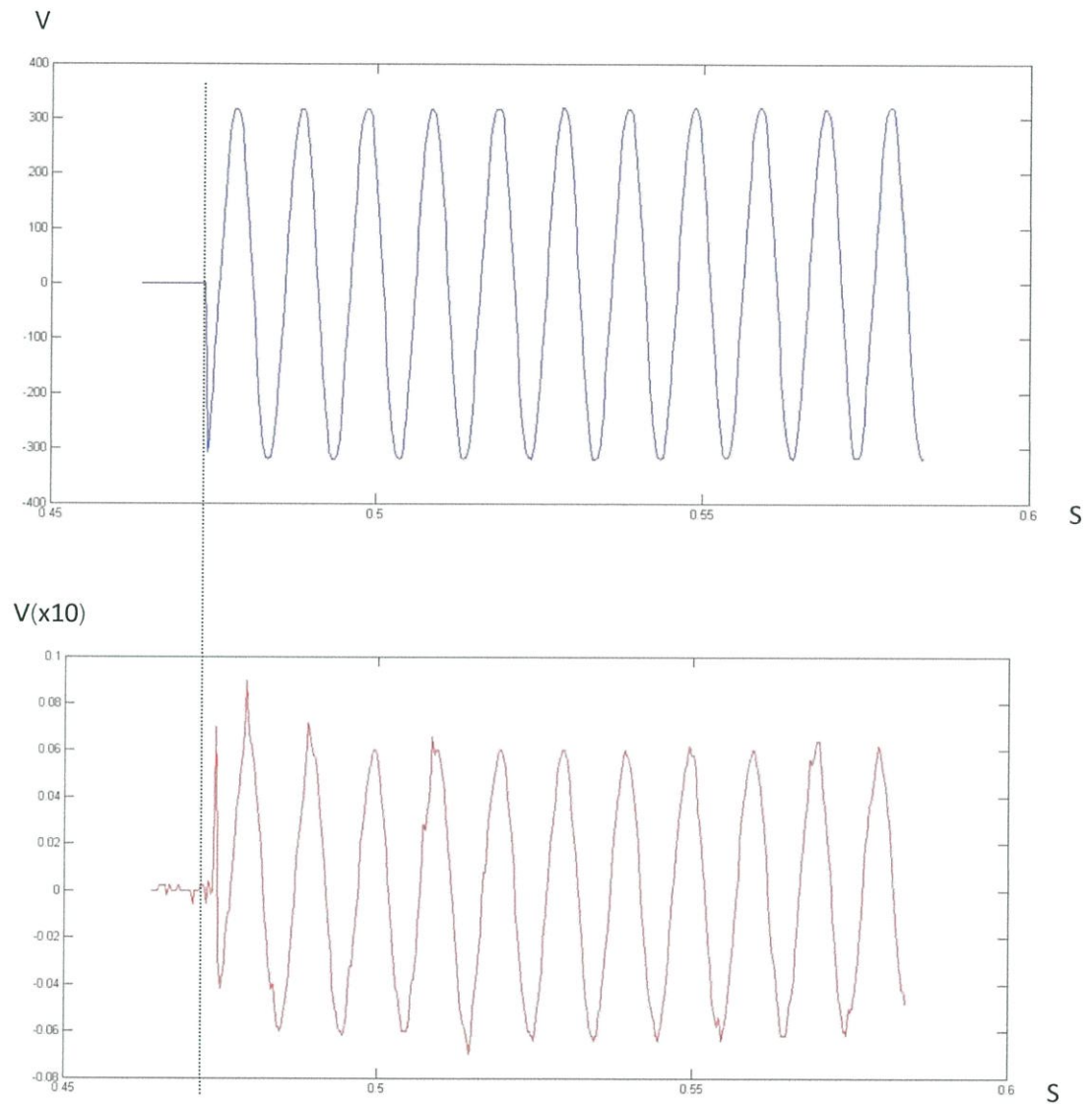
ภาพที่ 4.10 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



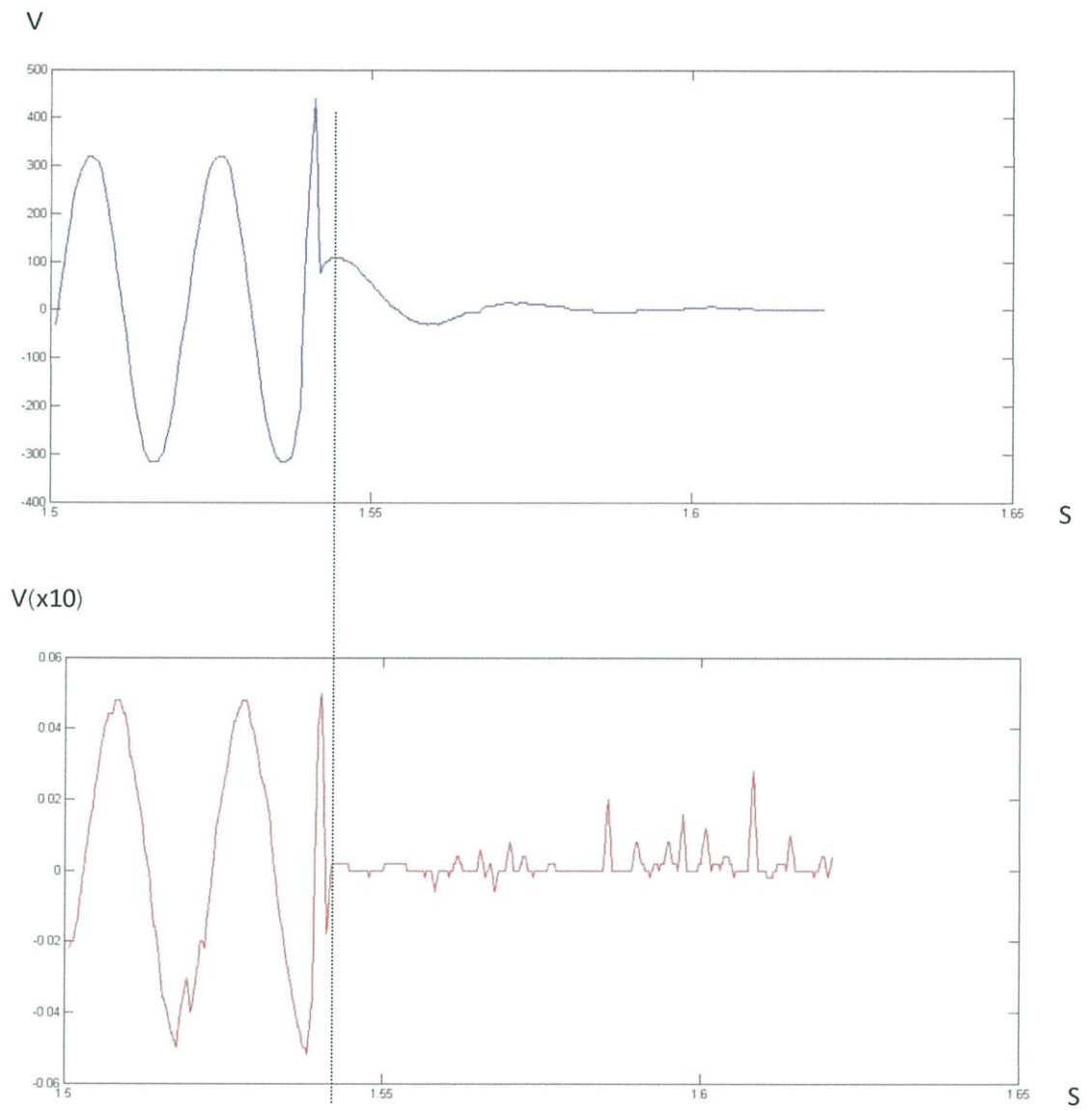
ภาพที่ 4.11 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ

4.4.3 โหลดมอเตอร์(พัดลม)

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณจุดยอดของสัญญาณ

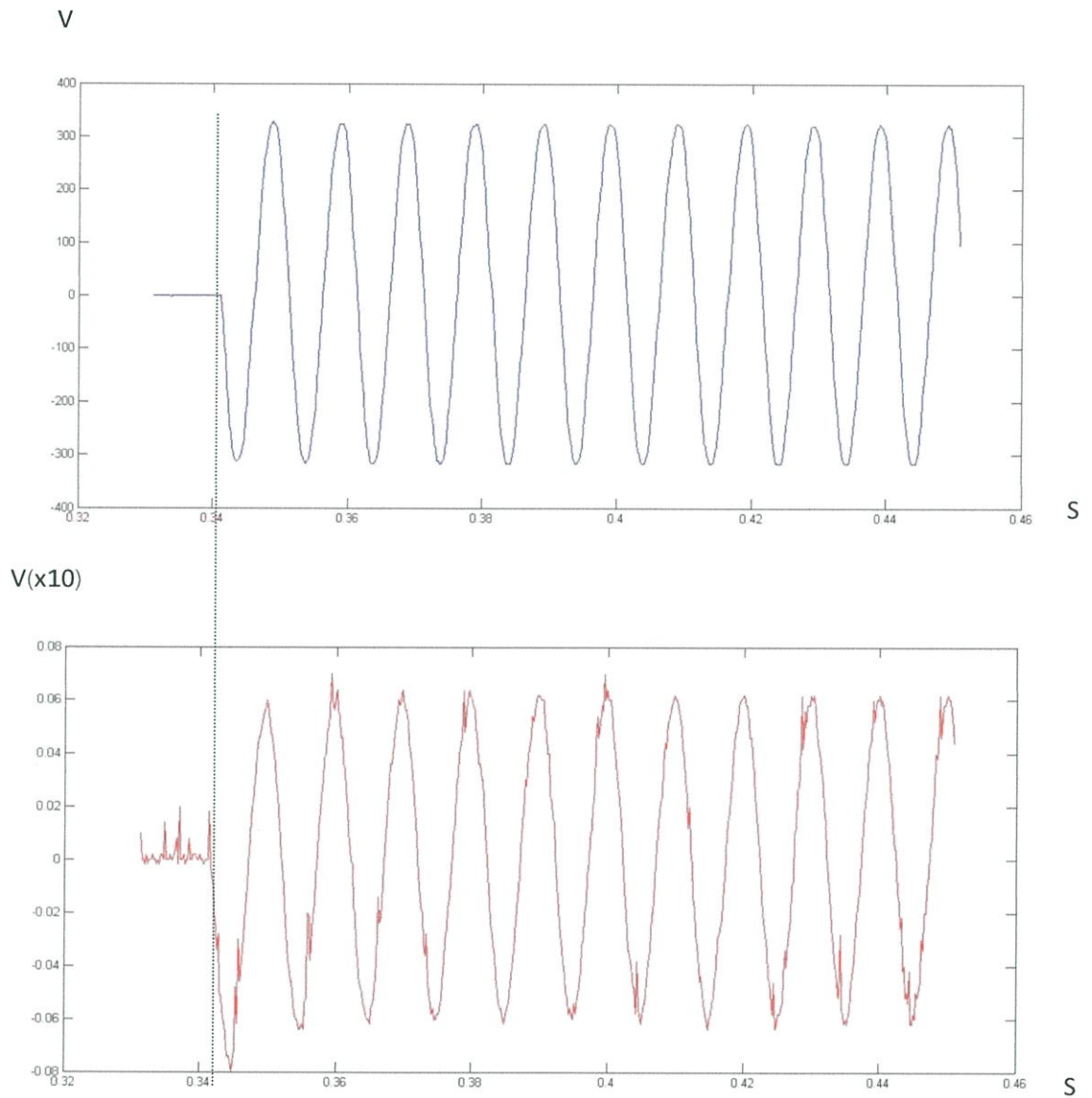


ภาพที่ 4.12 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ



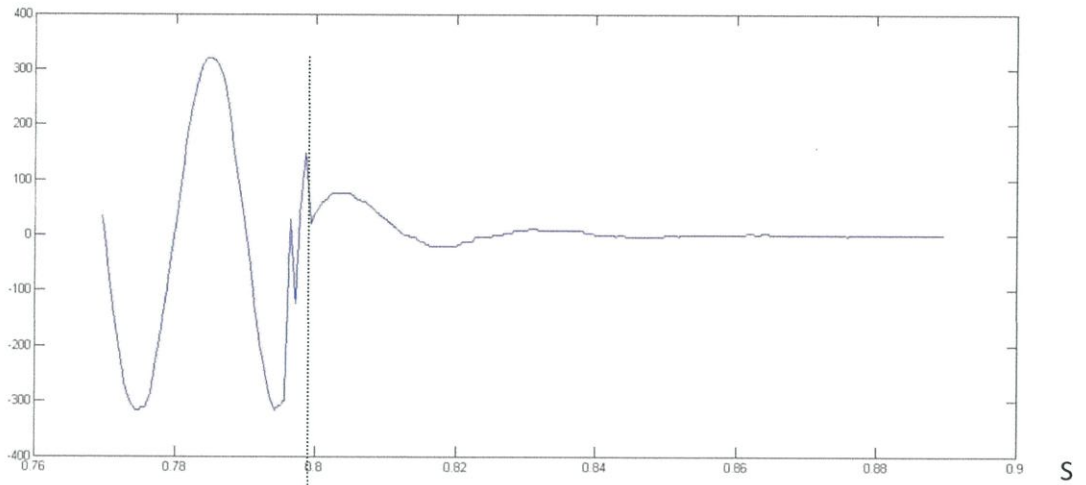
ภาพที่ 4.13 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

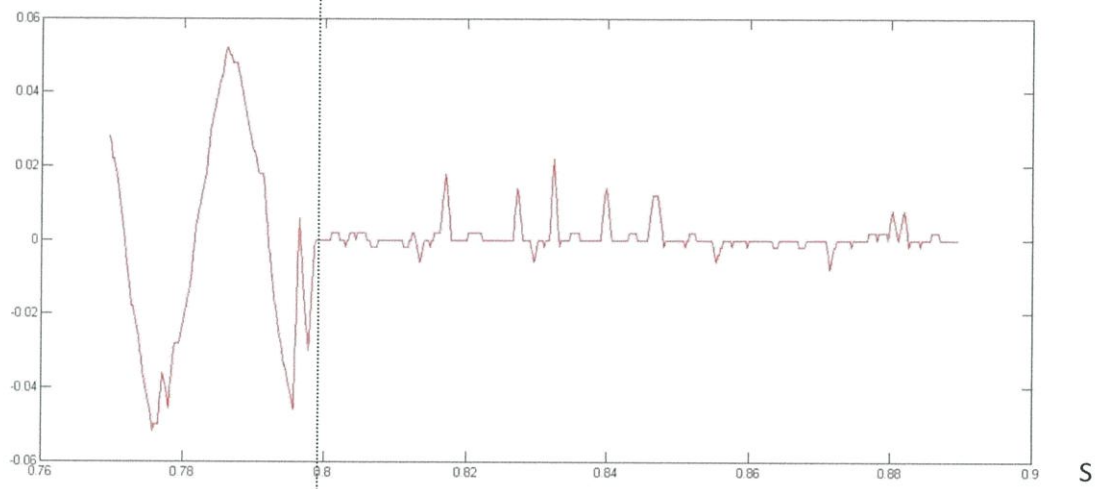


ภาพที่ 4.14 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

V

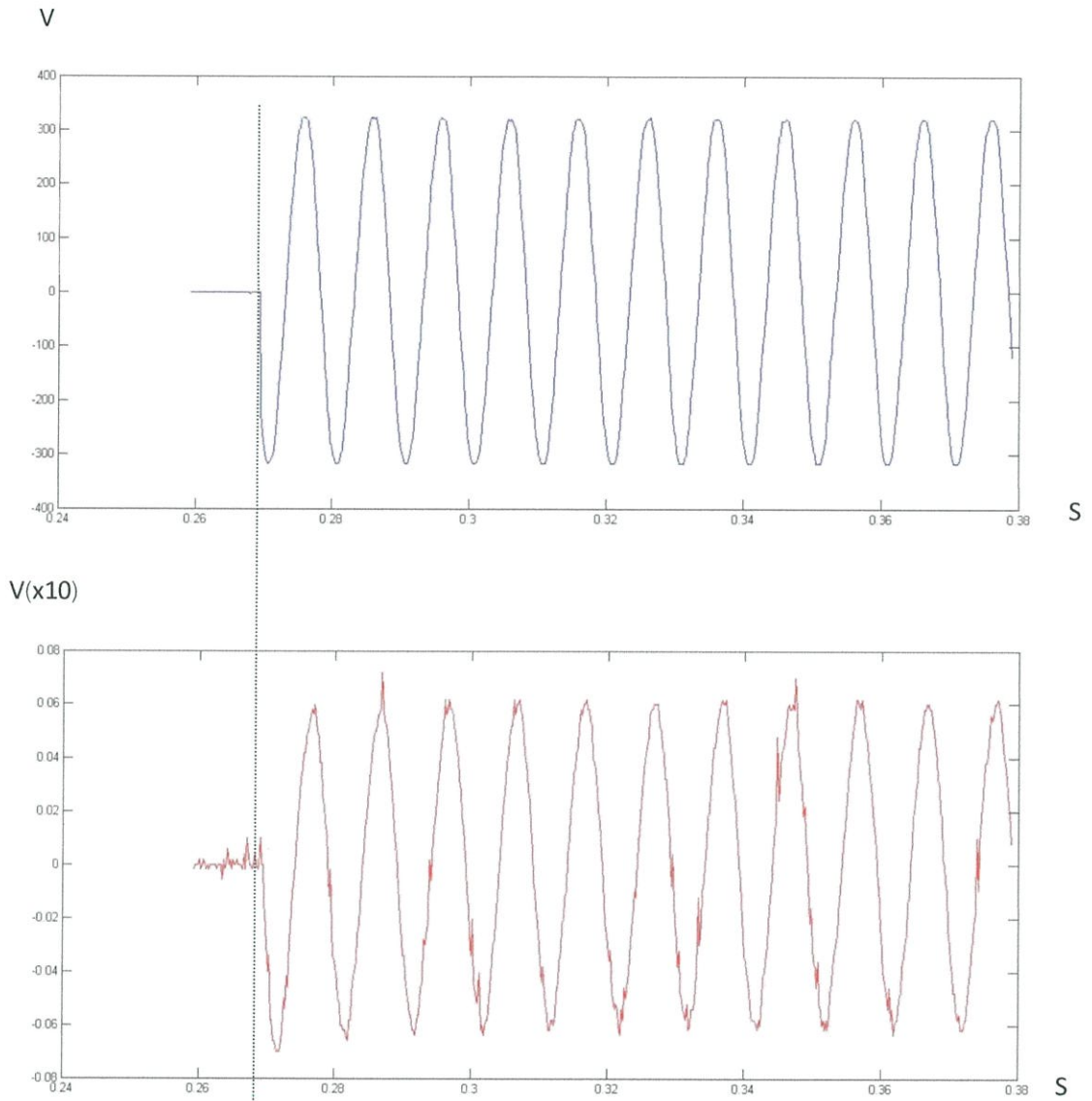


V(x10)

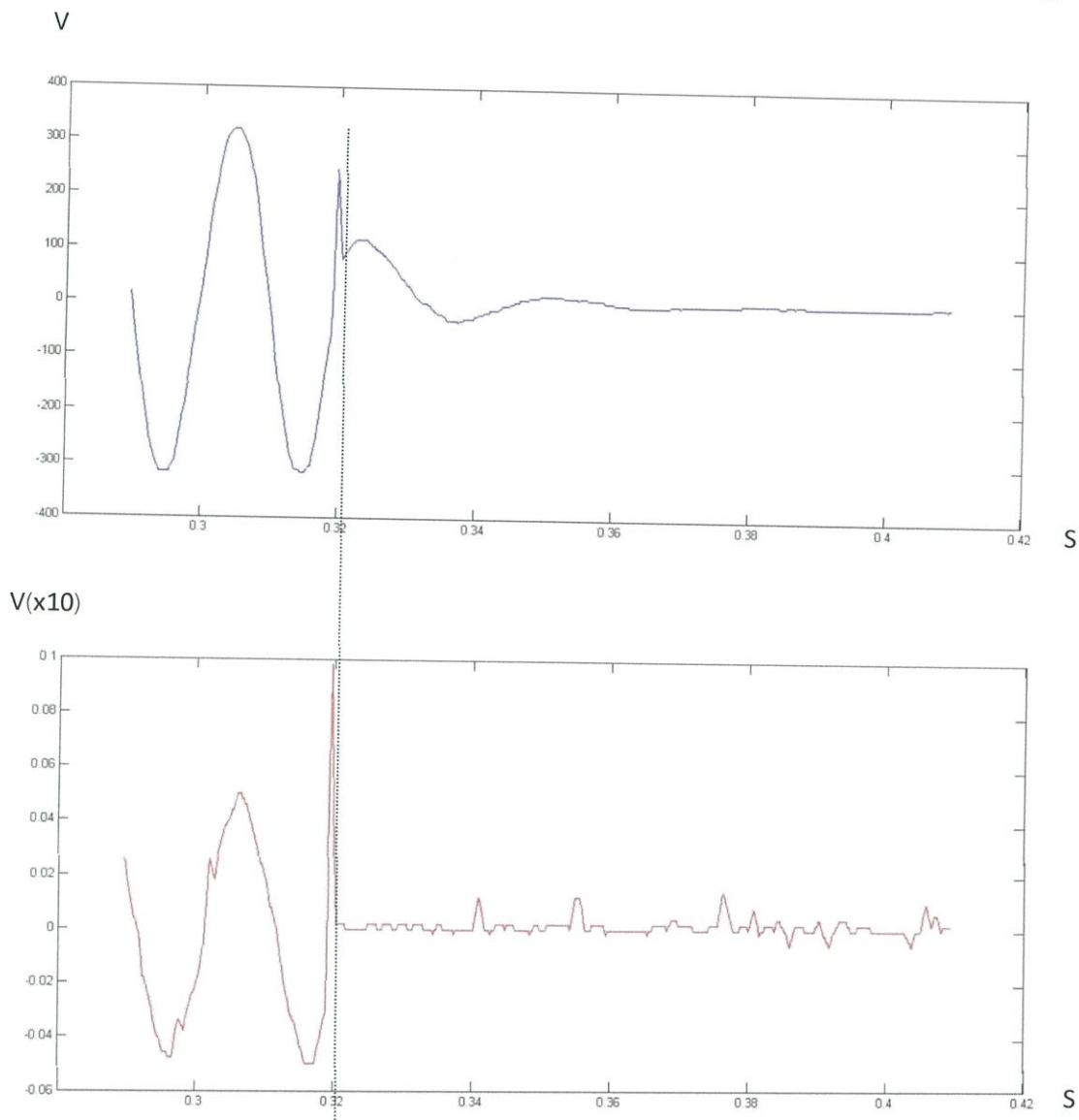


ภาพที่ 4.15 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



ภาพที่ 4.16 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ

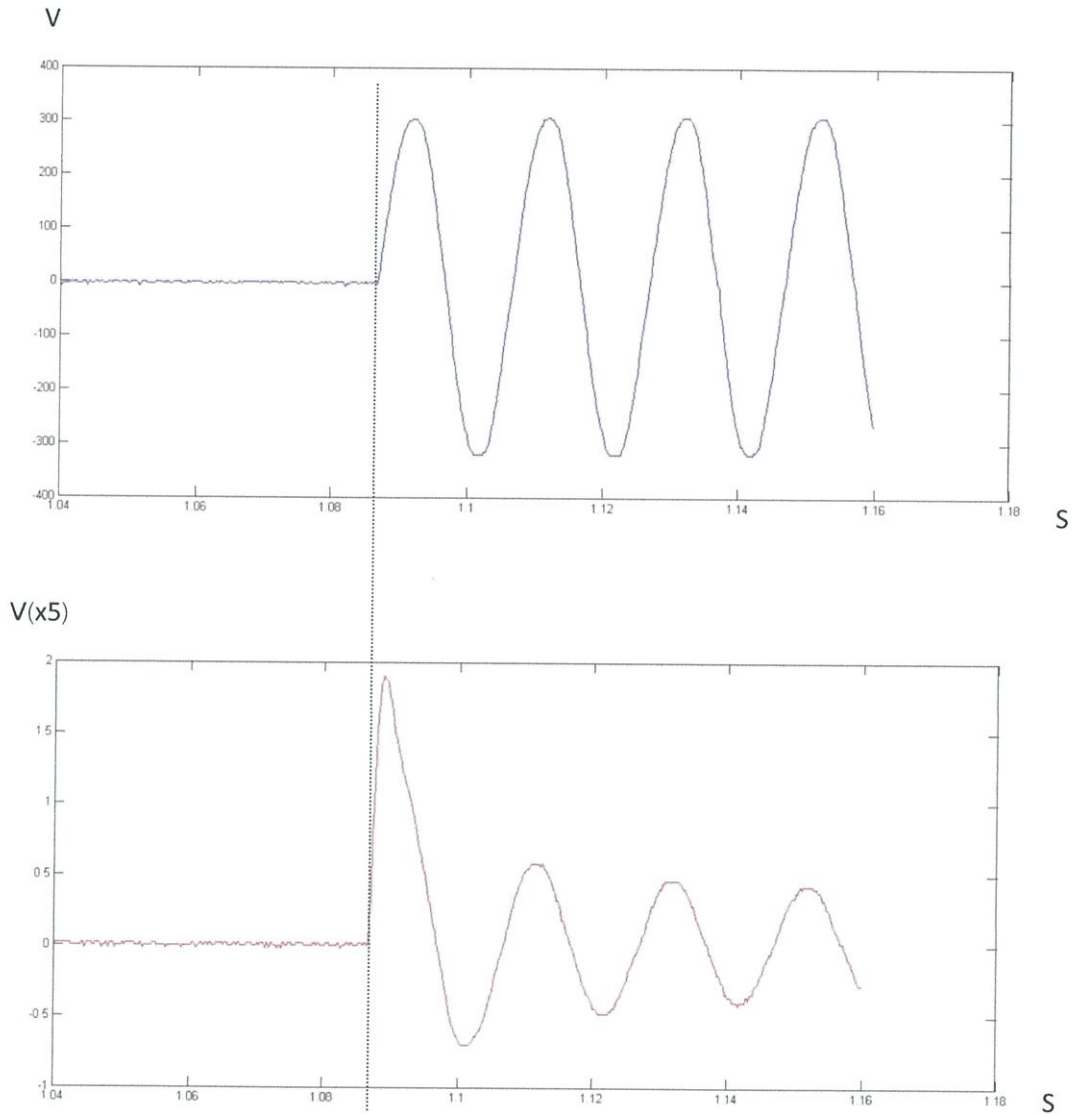


ภาพที่ 4.17 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ

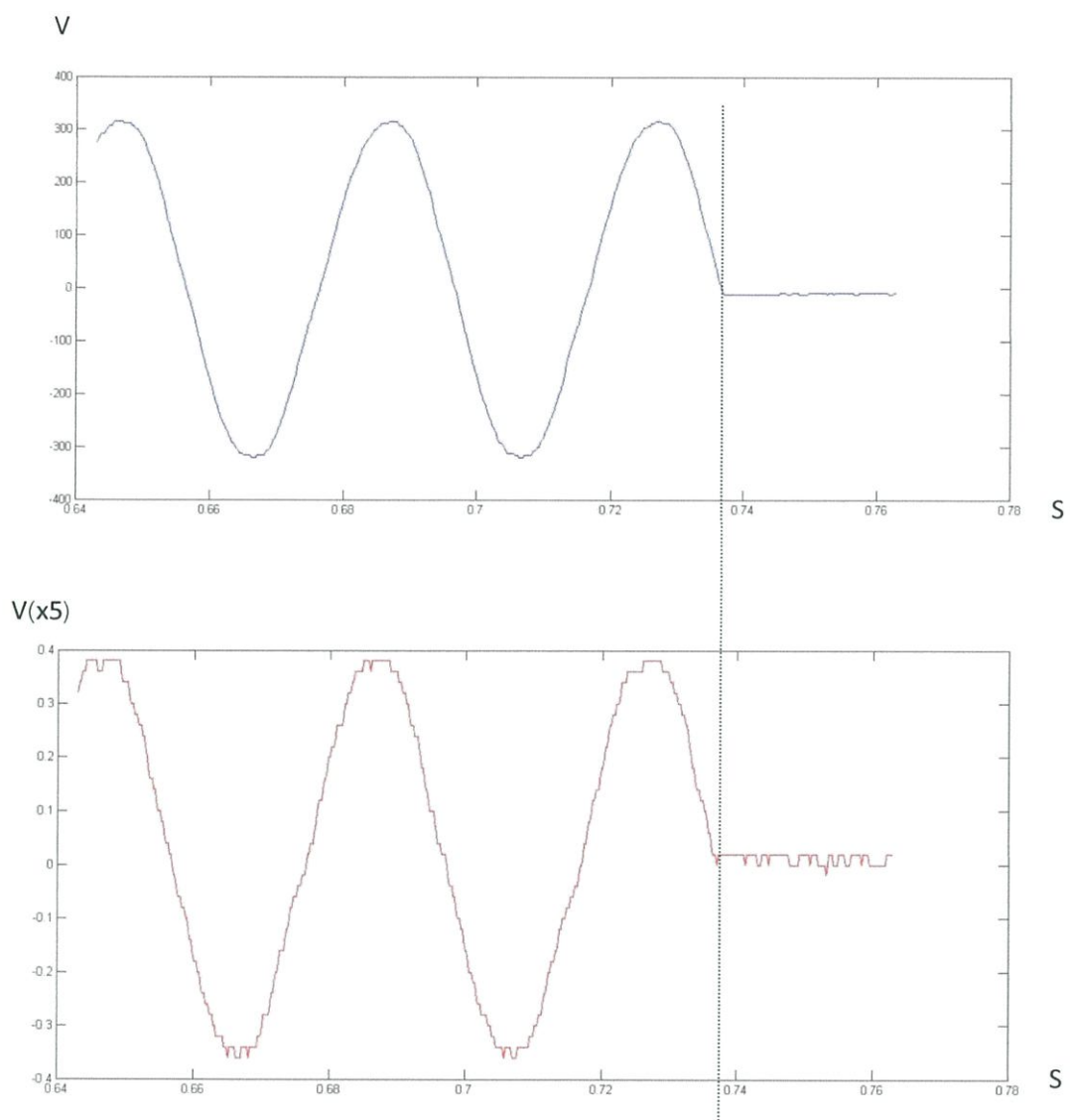
4.5 การทดลองการเปิดปิดสวิตซ์ในการควบคุมโหลดด้วยอุปกรณ์ (Power Switch Free Transient)

4.5.1 โหลดตัวต้านทาน(R Load)

ทำการสวิตซ์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

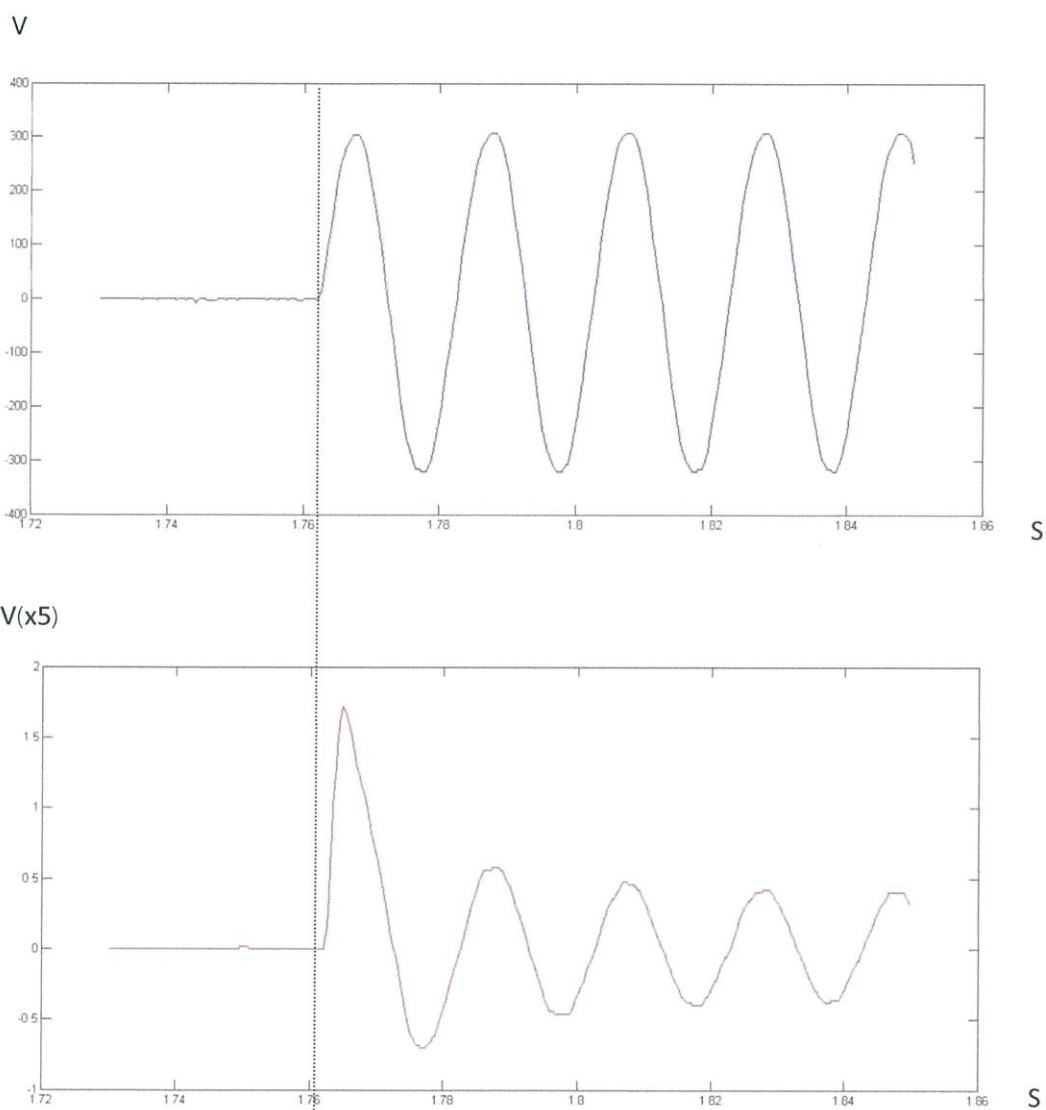


ภาพที่ 4.18 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

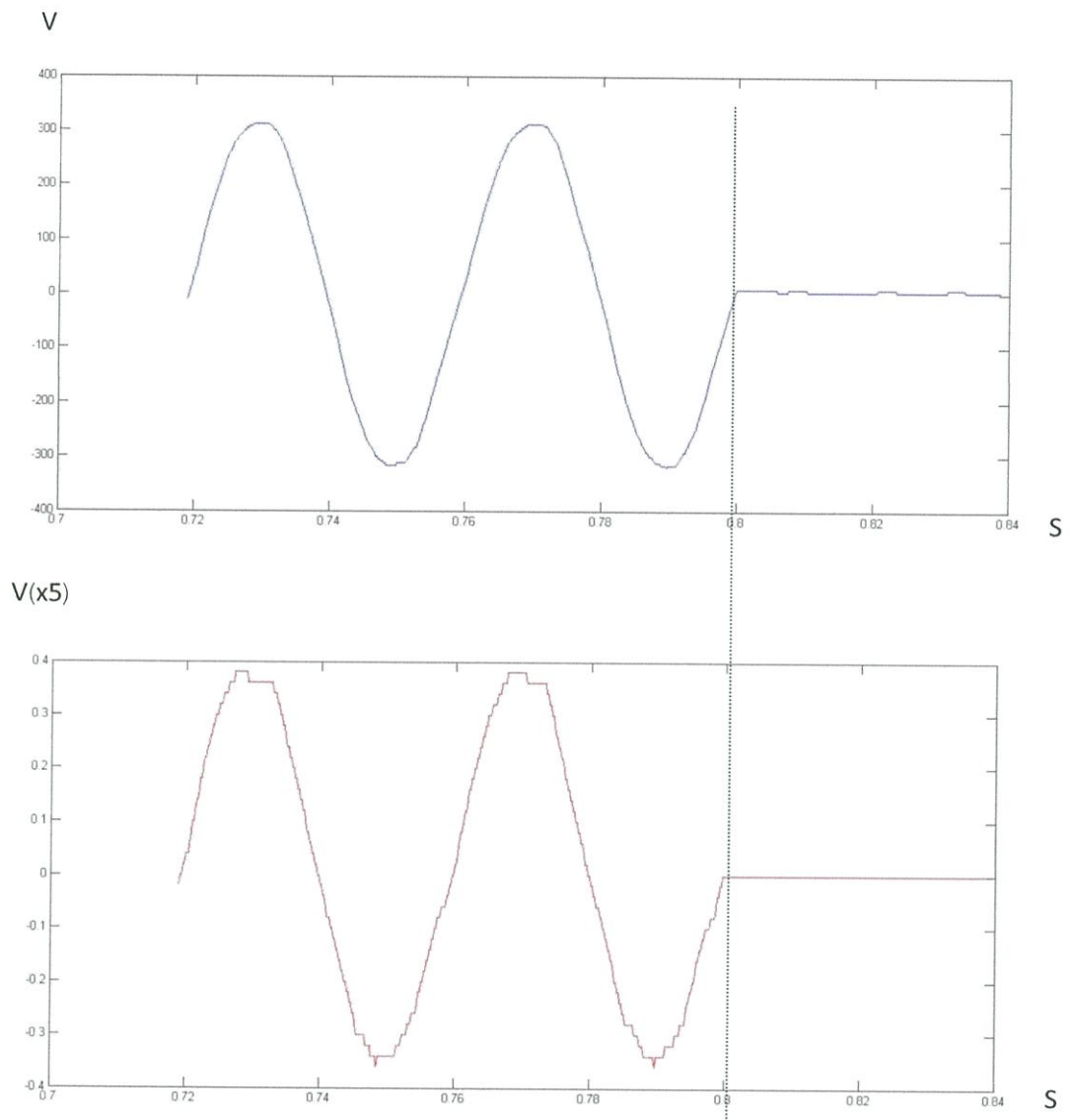


ภาพที่ 4.19 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

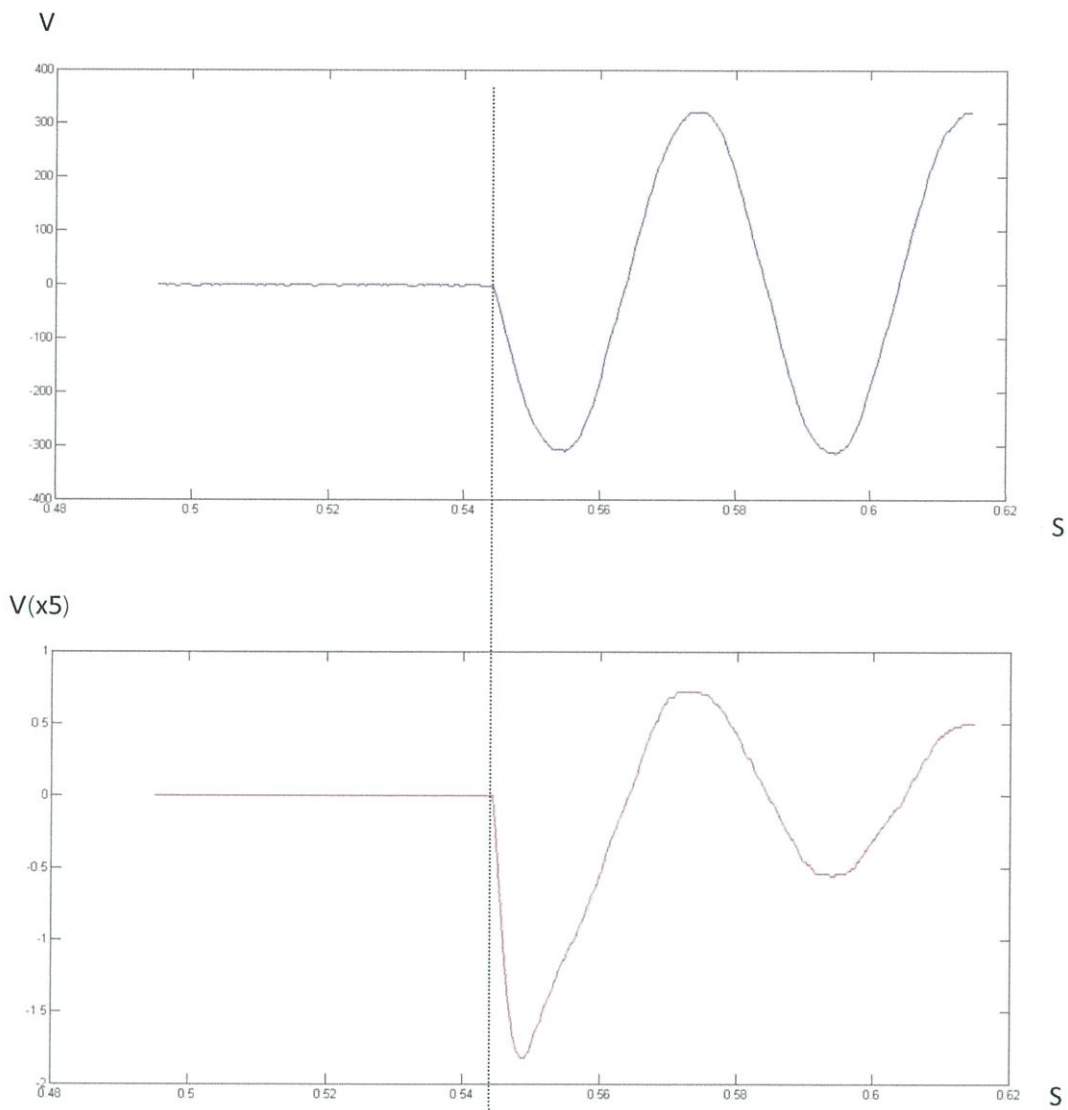


ภาพที่ 4.20 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

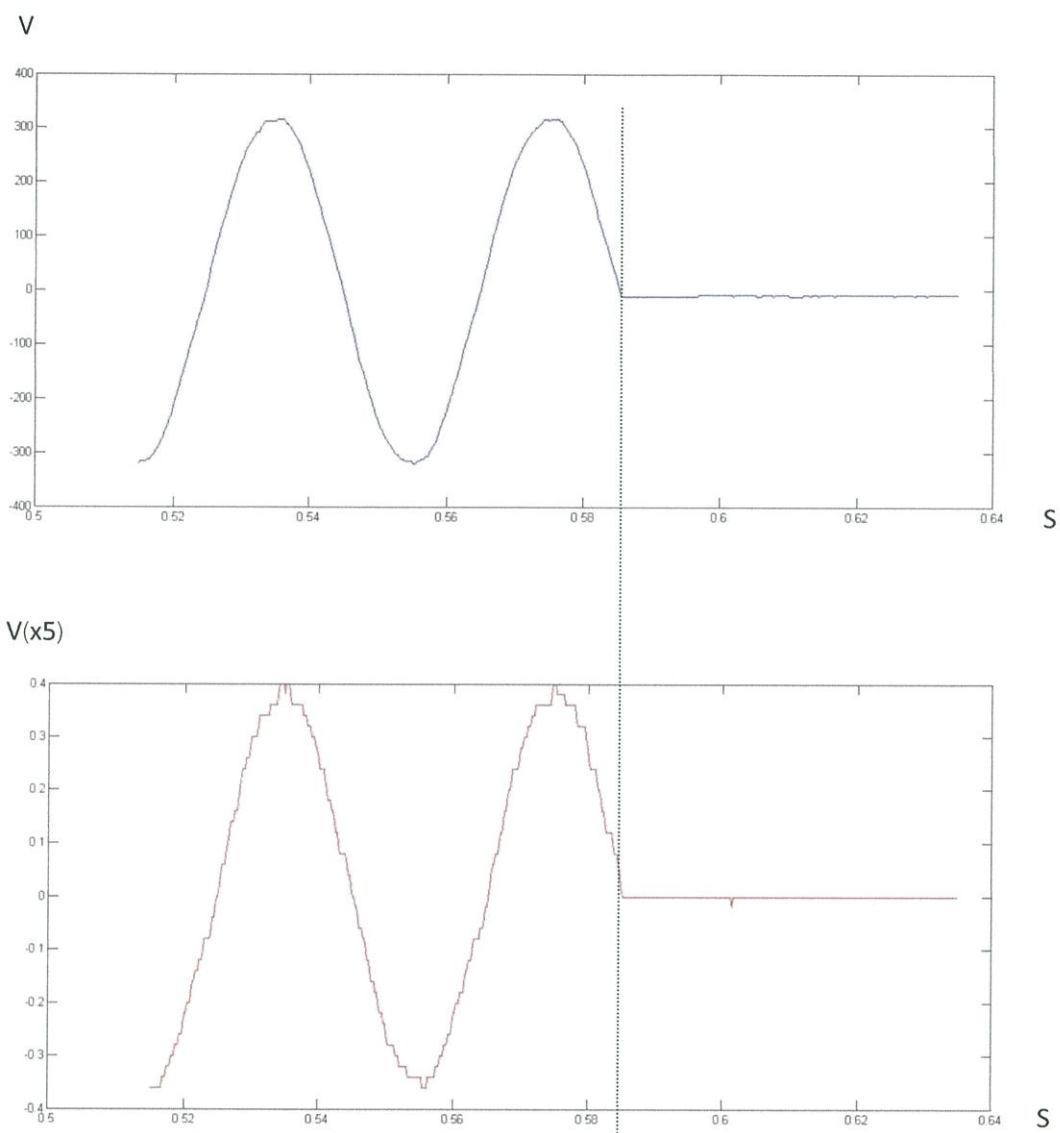


ภาพที่ 4.21 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



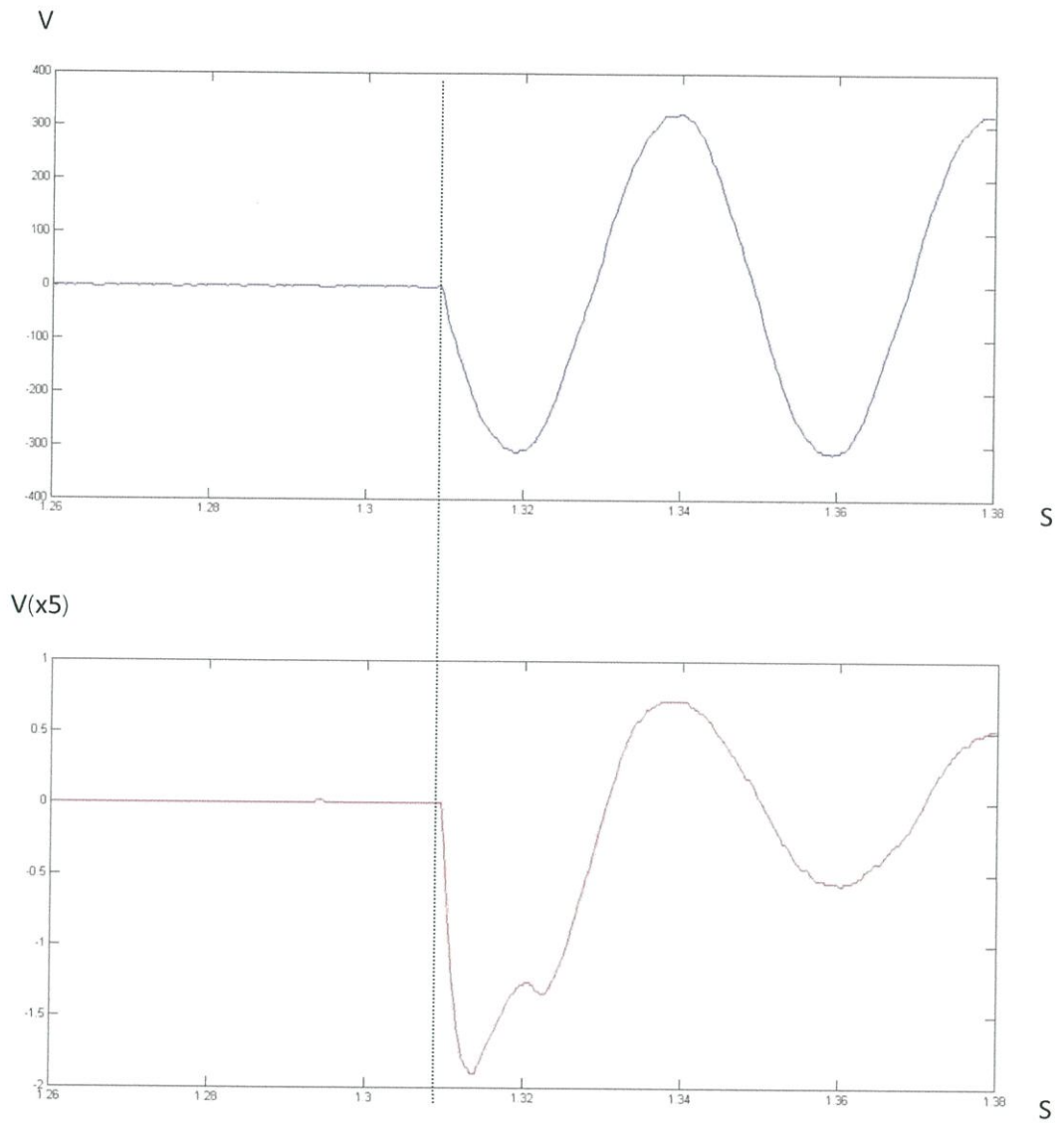
ภาพที่ 4.22 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



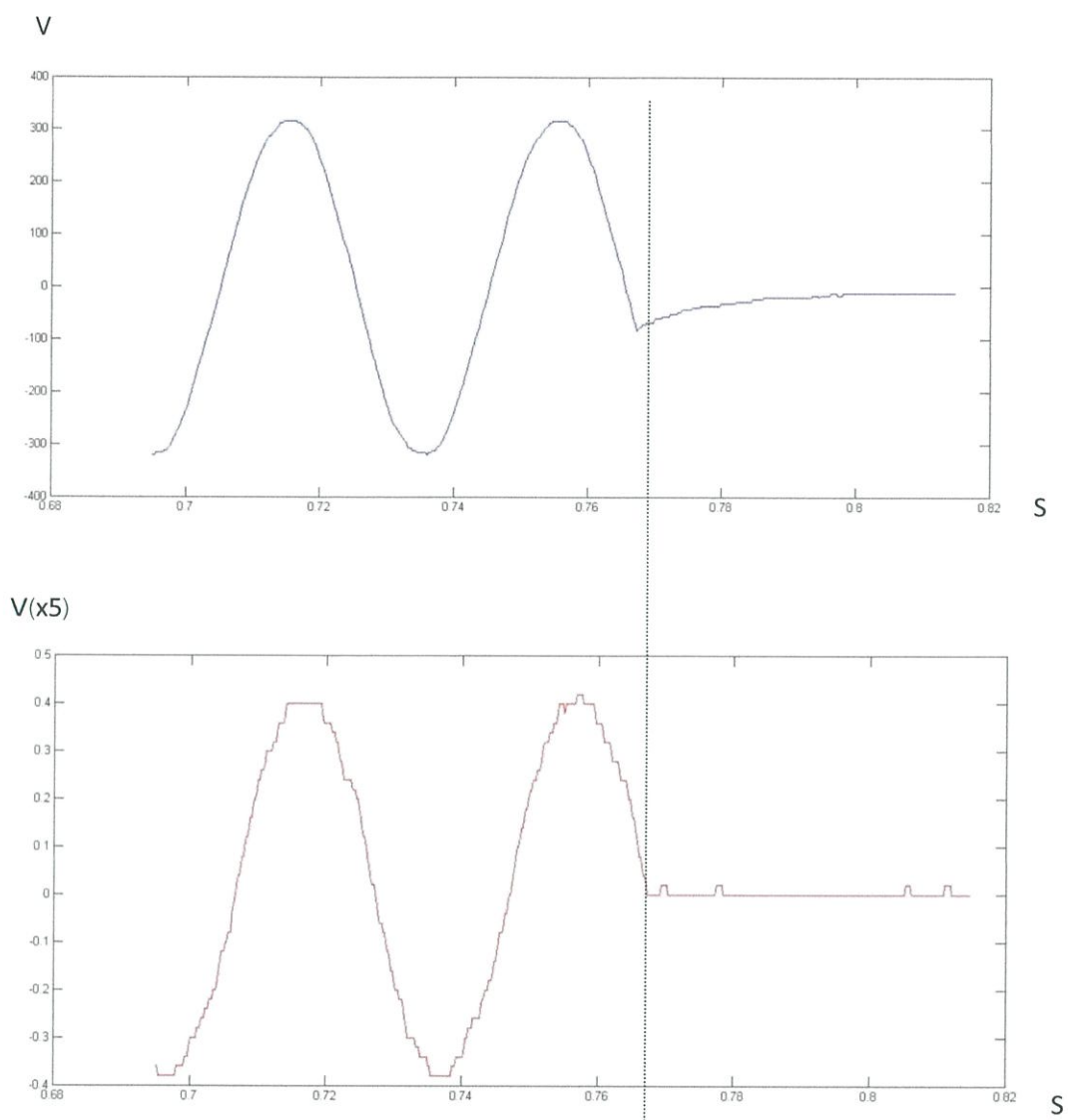
ภาพที่ 4.23 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ

4.5.2 โหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ(RL Load)

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

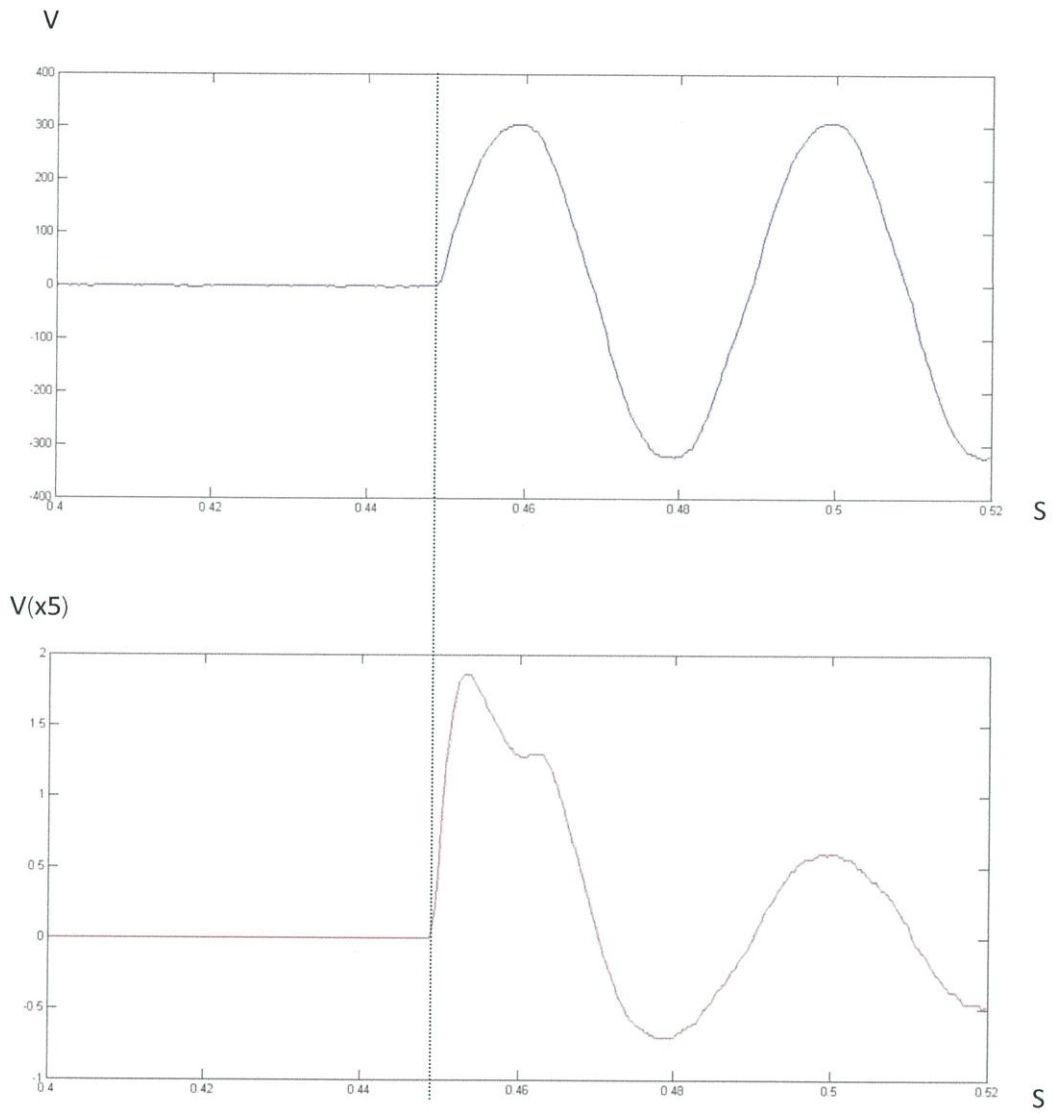


ภาพที่ 4.24 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

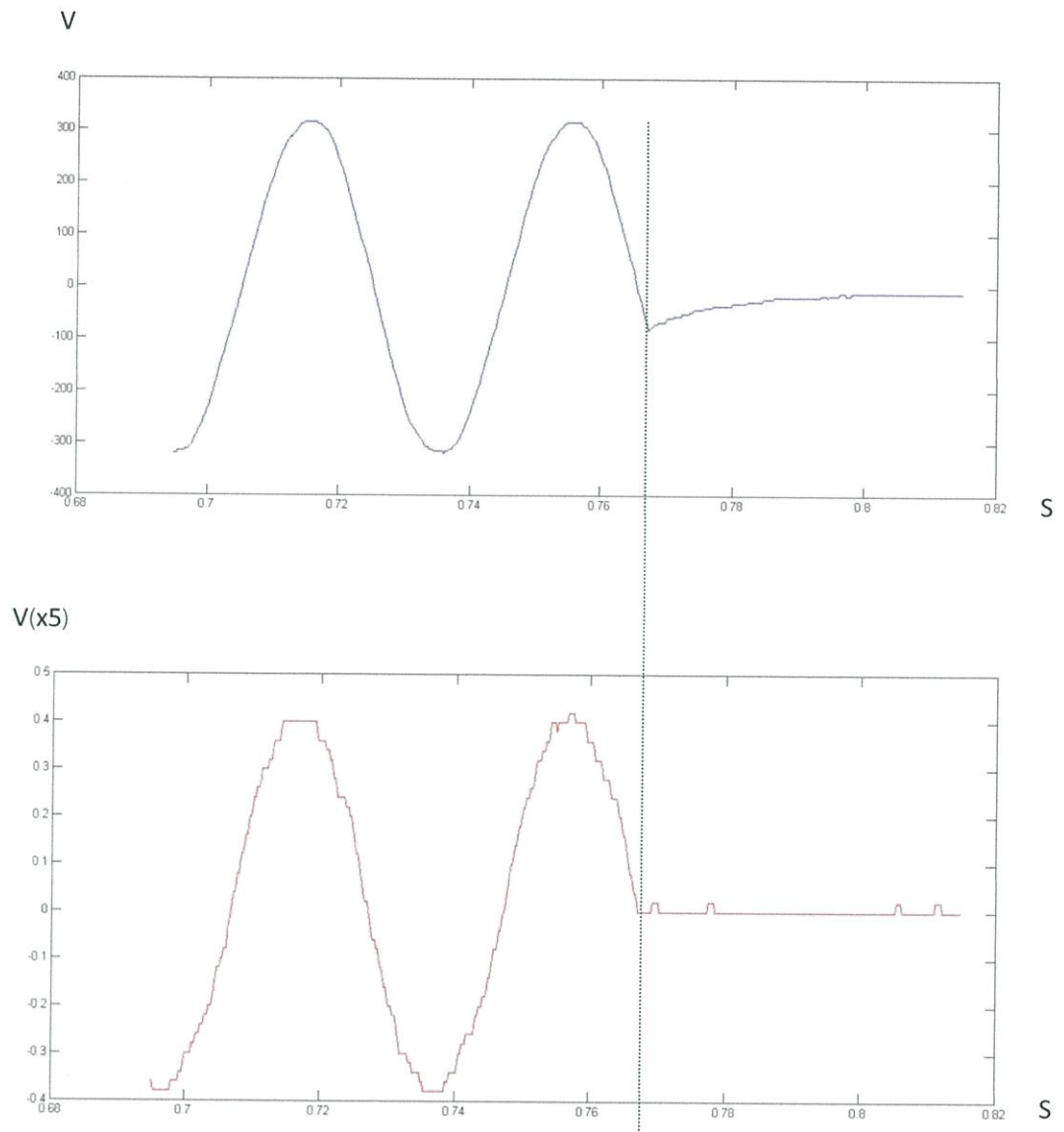


ภาพที่ 4.25 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์สัญญาณ

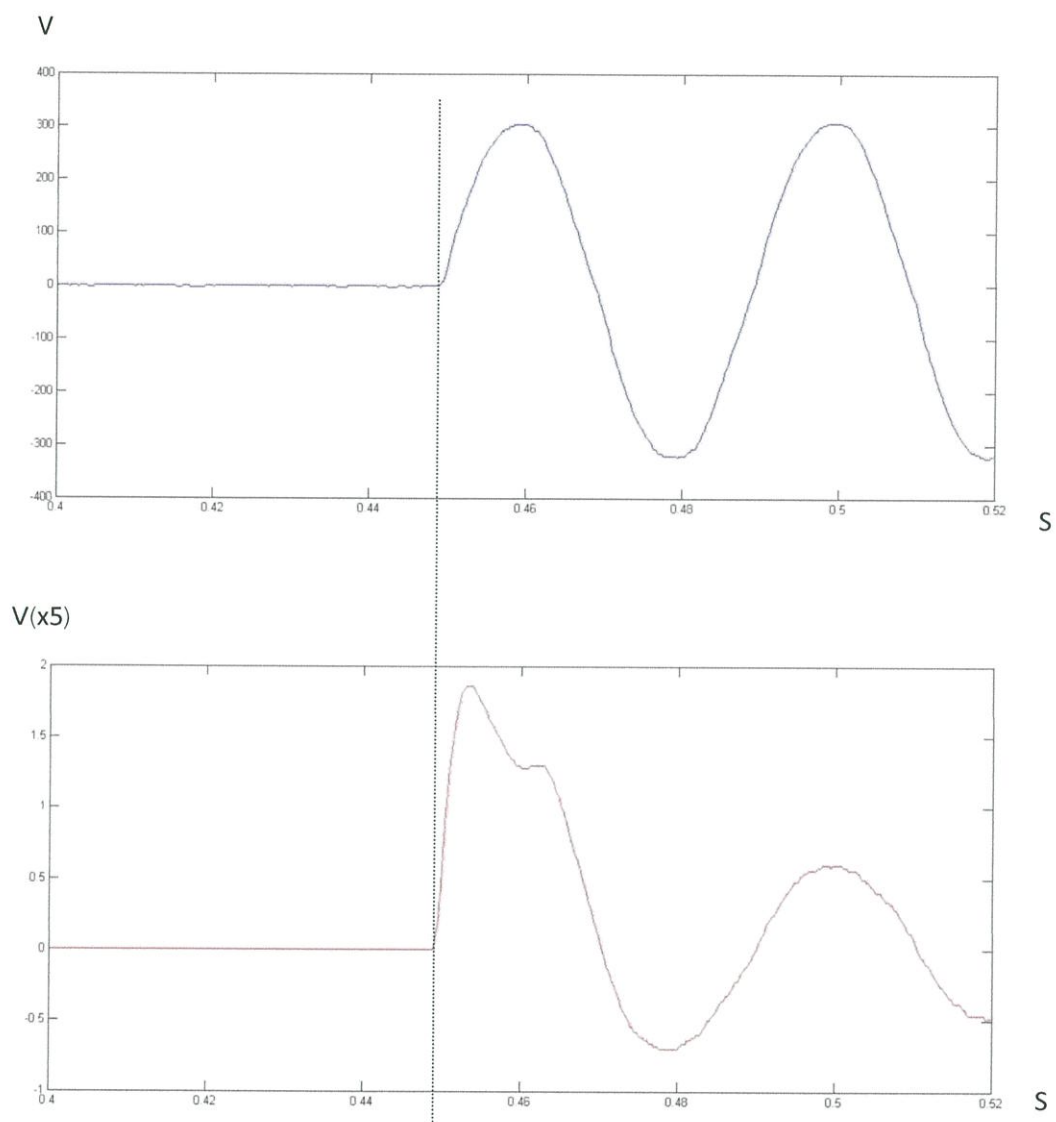


ภาพที่ 4.26 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

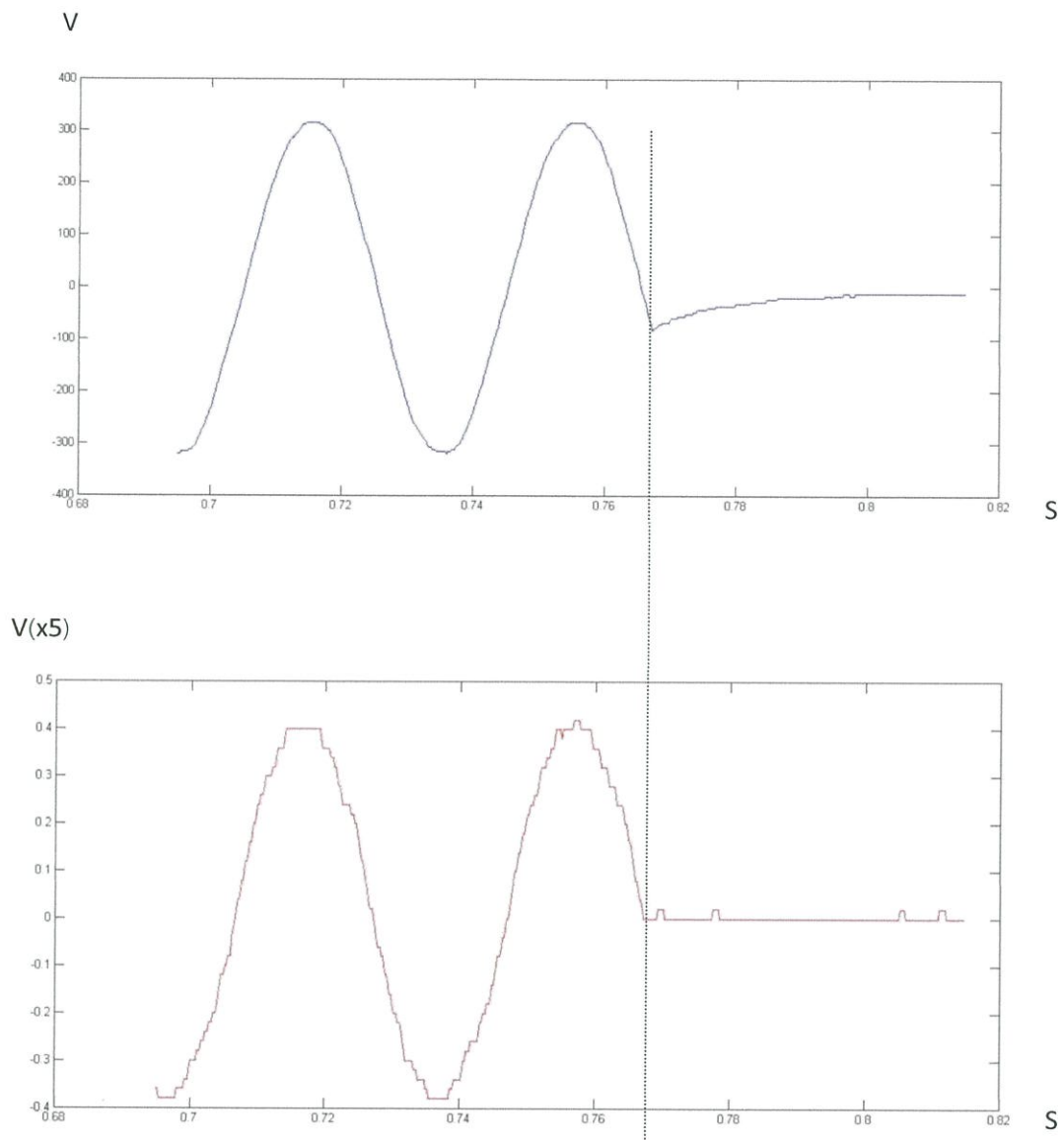


ภาพที่ 4.27 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของ
สัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



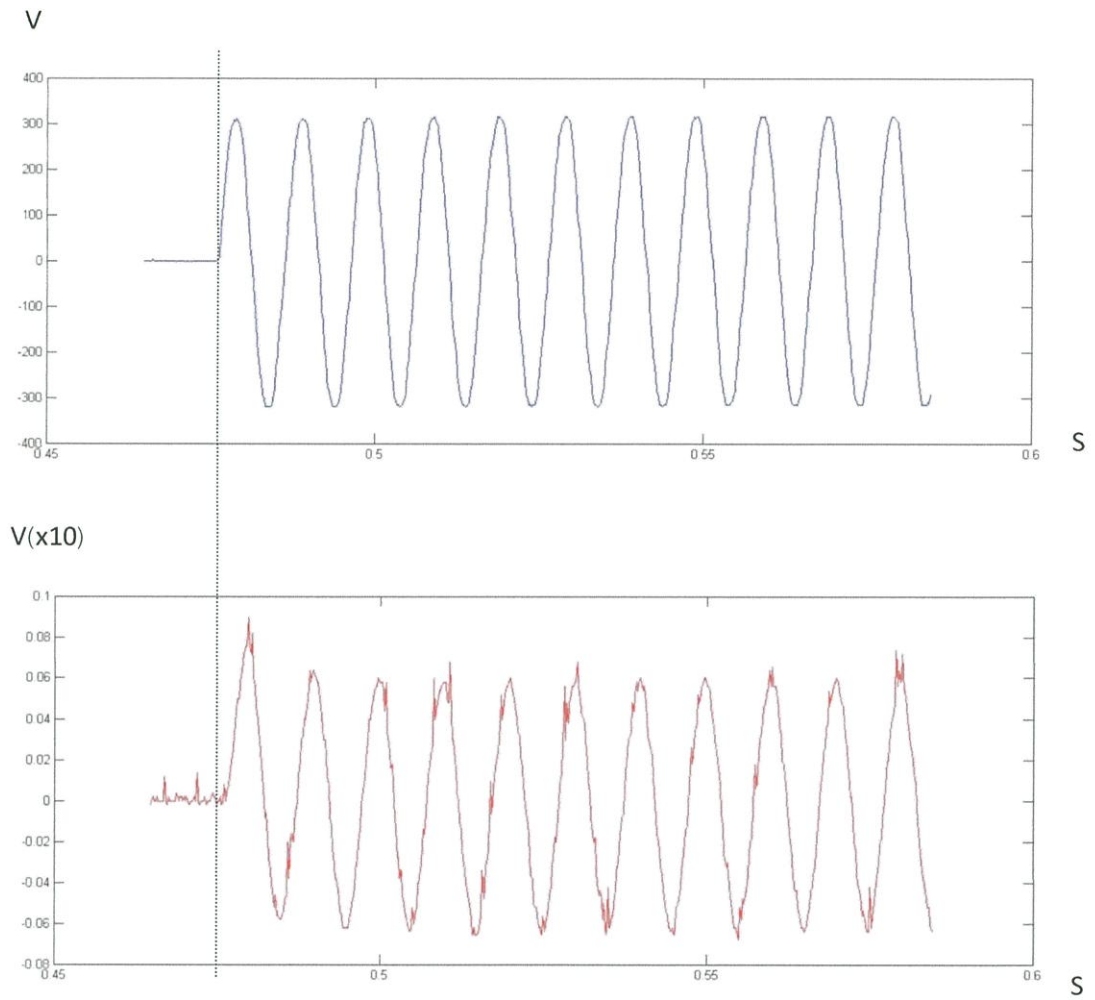
ภาพที่ 4.28 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



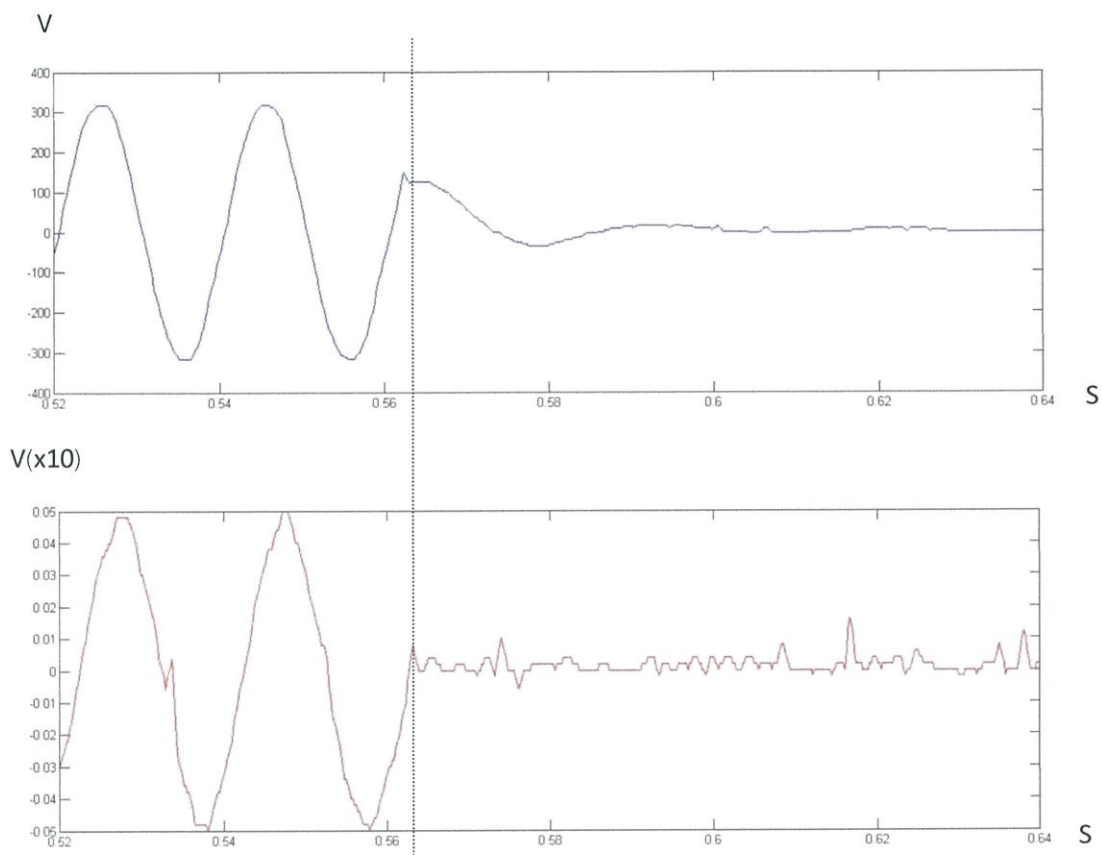
ภาพที่ 4.29 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ

4.5.3 โหลดมอเตอร์(พัดลม)

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

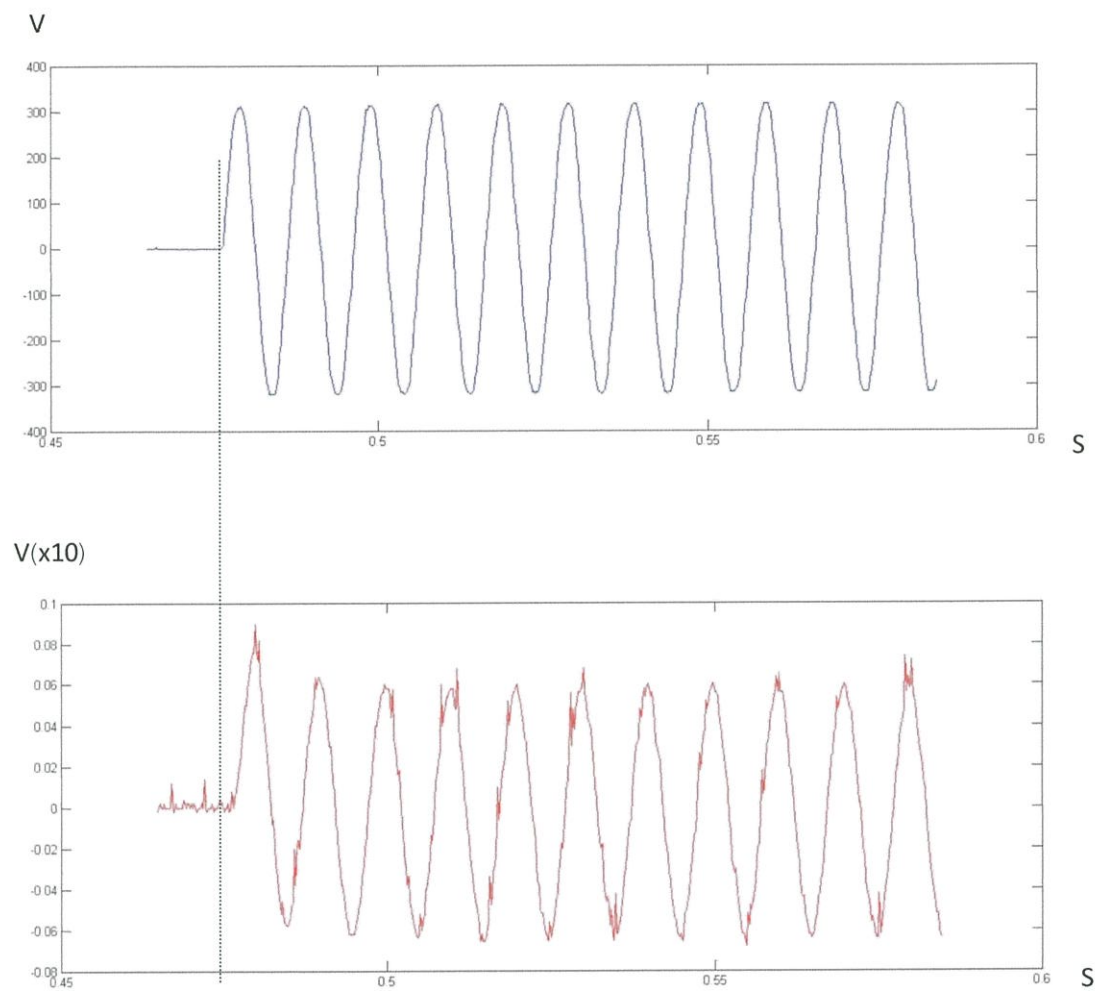


ภาพที่ 4.30 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

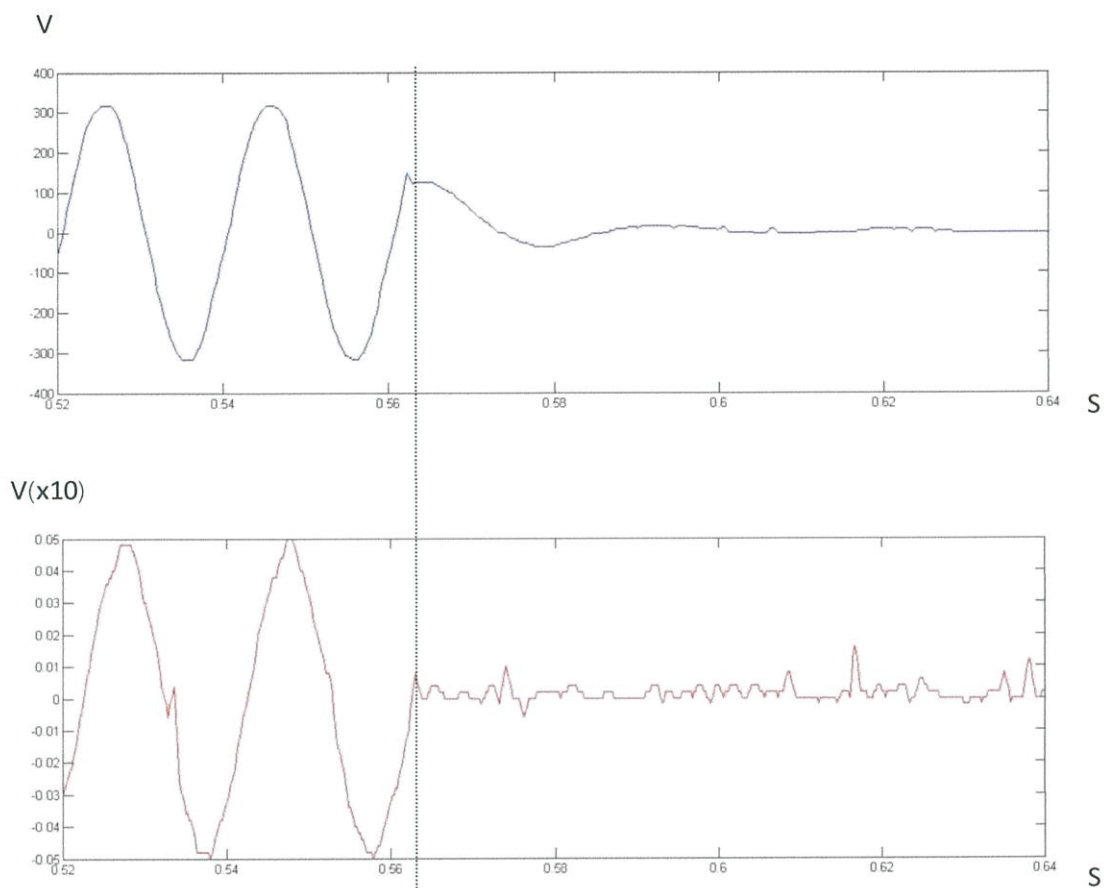


ภาพที่ 4.31 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

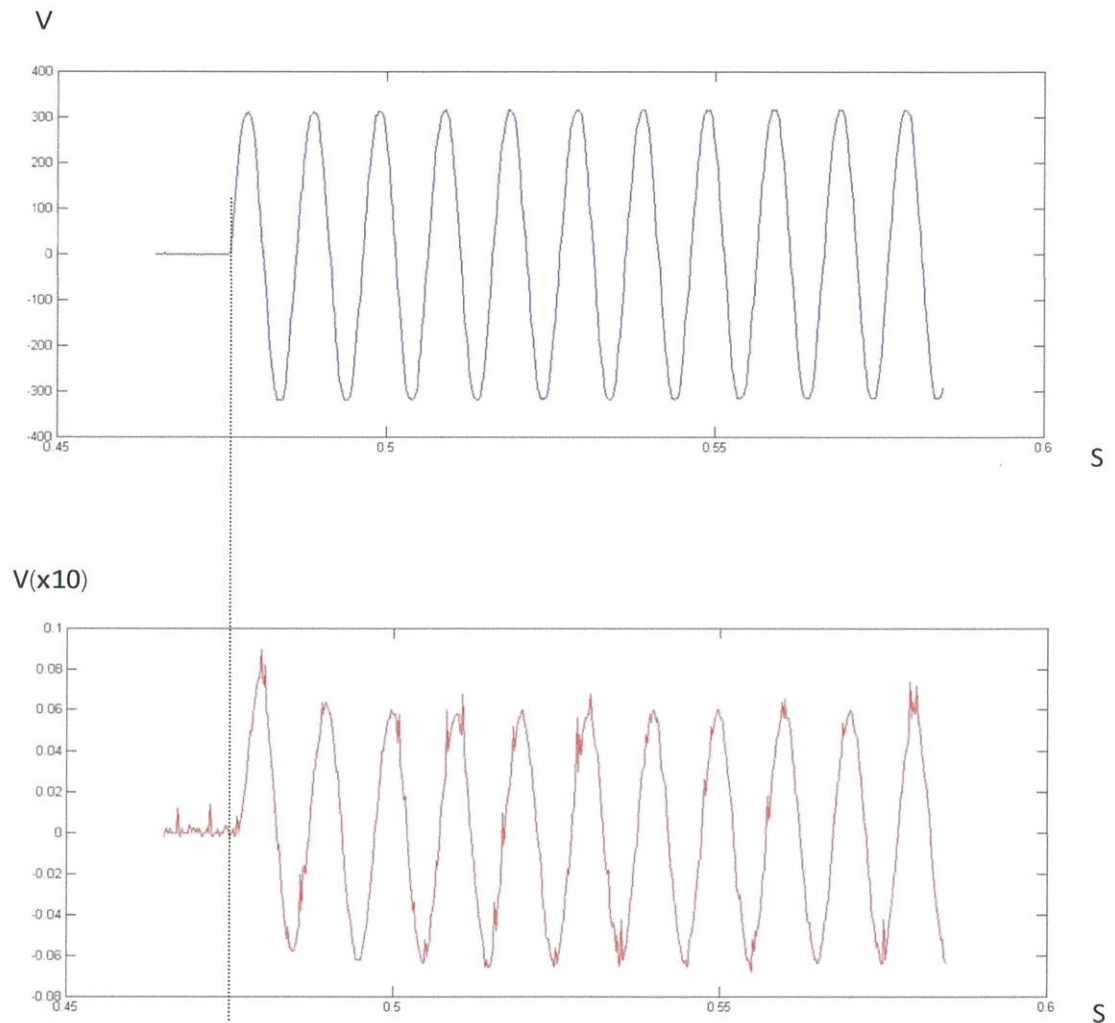


ภาพที่ 4.32 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

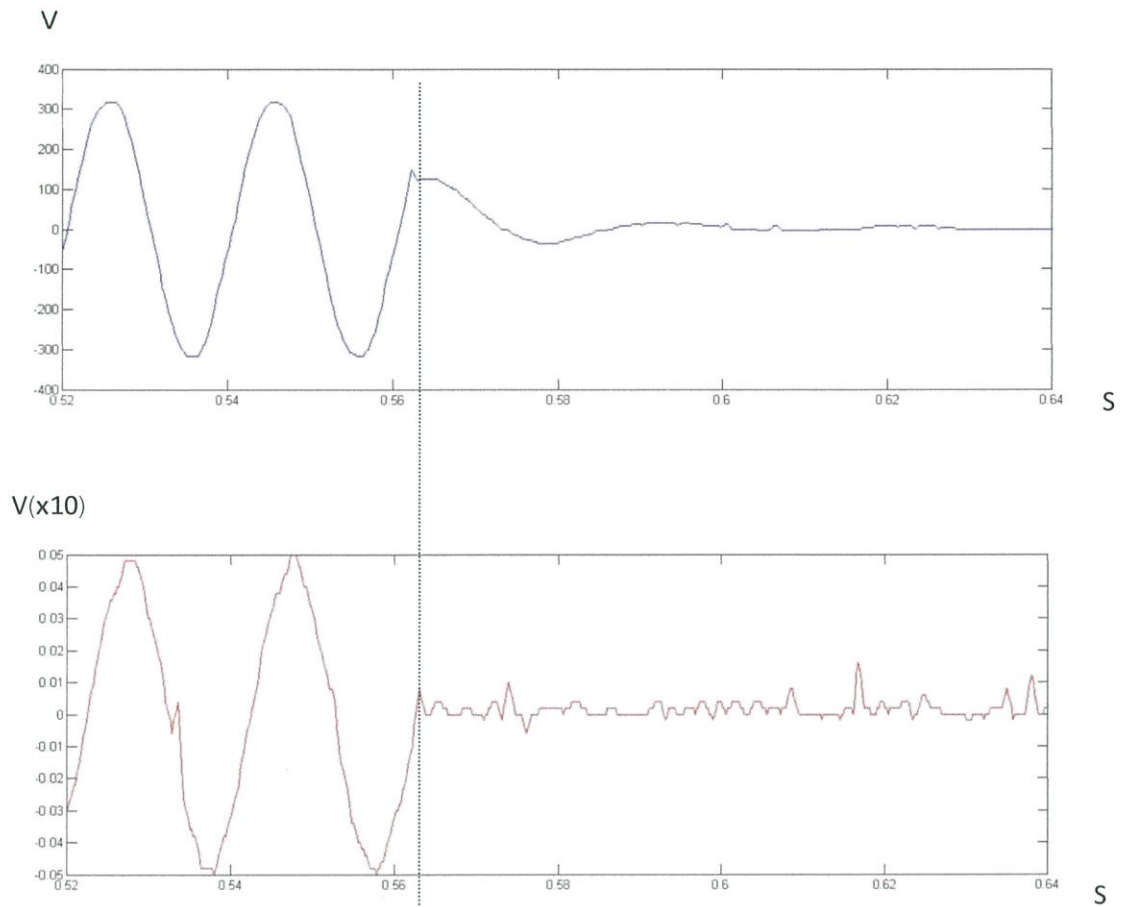


ภาพที่ 4.33 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



ภาพที่ 4.34 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ

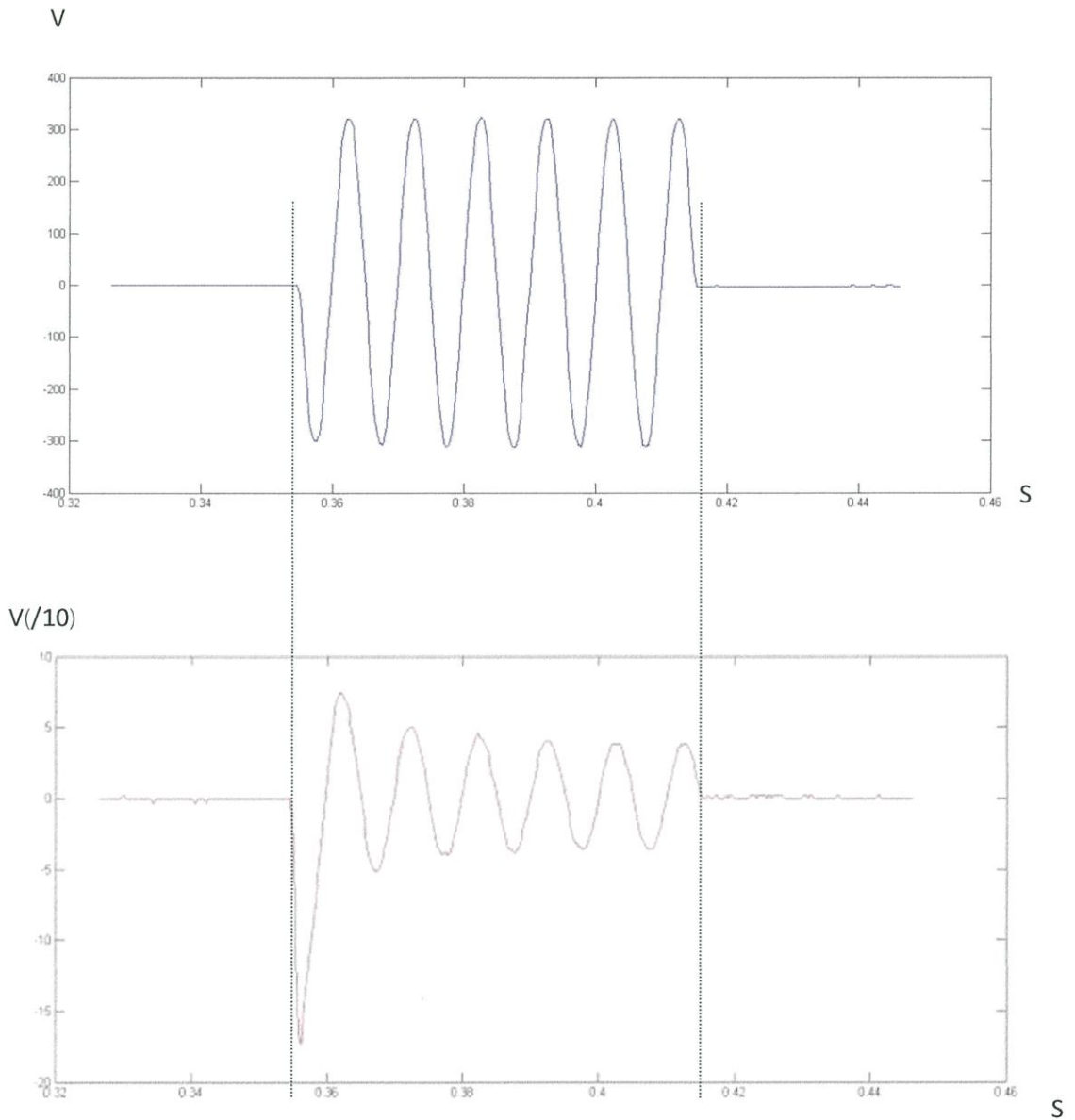


ภาพที่ 4.35 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ

4.6 การทดลองการเปิดปิดสวิตช์ในการควบคุมโหลดโดยผ่านโซลิตสเตจรีเลย์โดยตรง

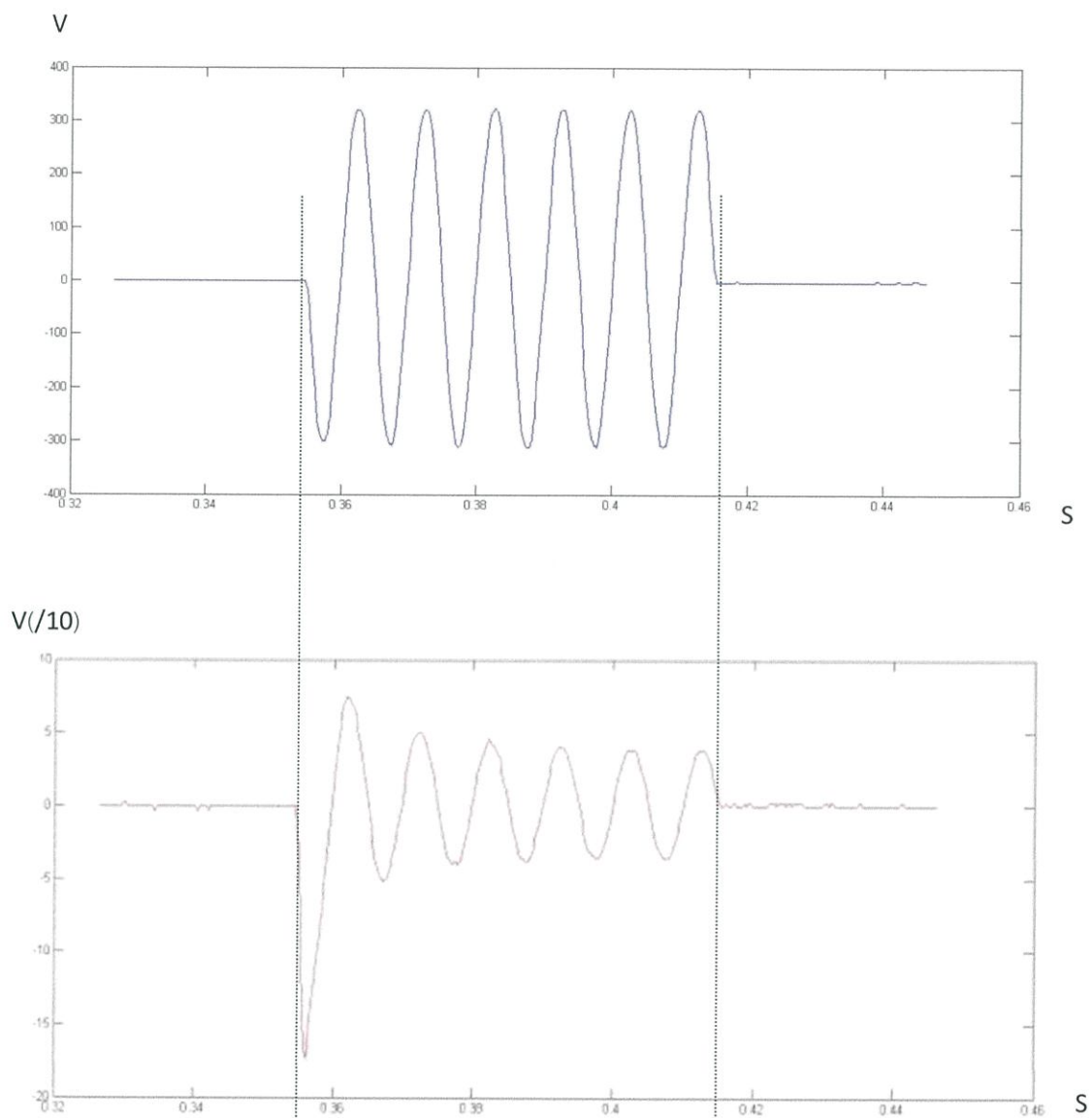
4.6.1 โหลดตัวต้านทาน(R Load)

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ



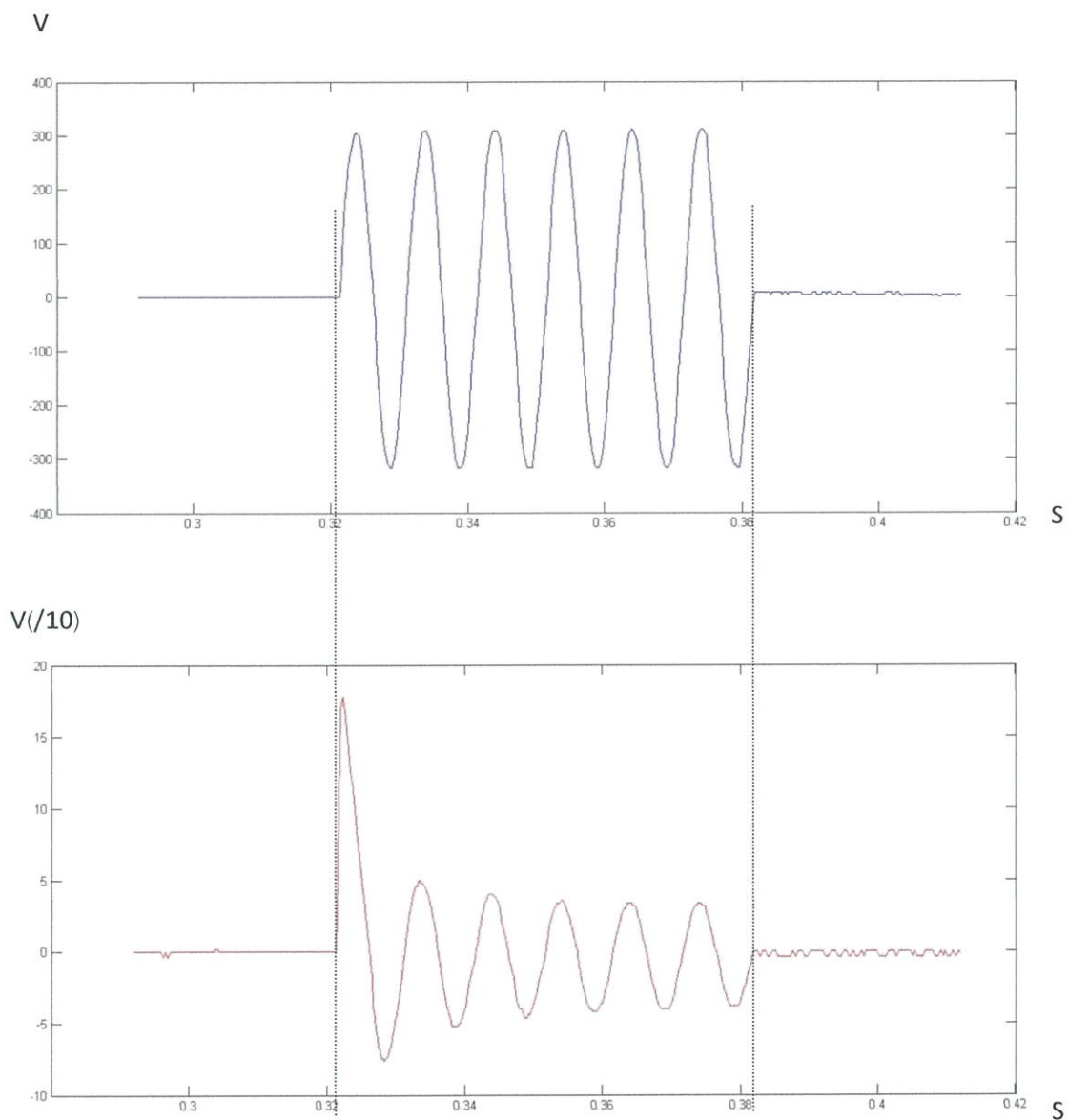
ภาพที่ 4.36 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ



ภาพที่ 4.37 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

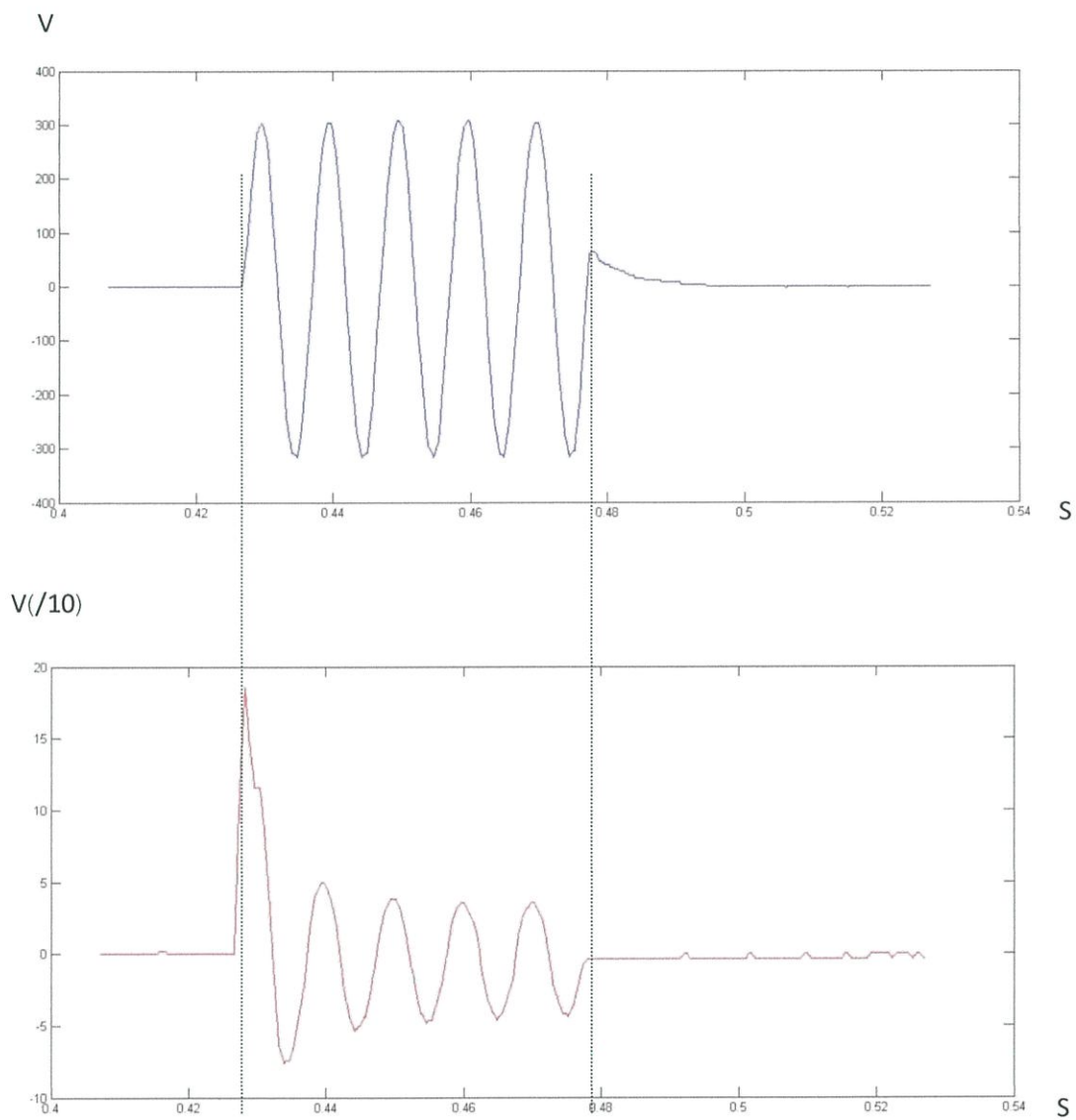
ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



ภาพที่ 4.38 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ

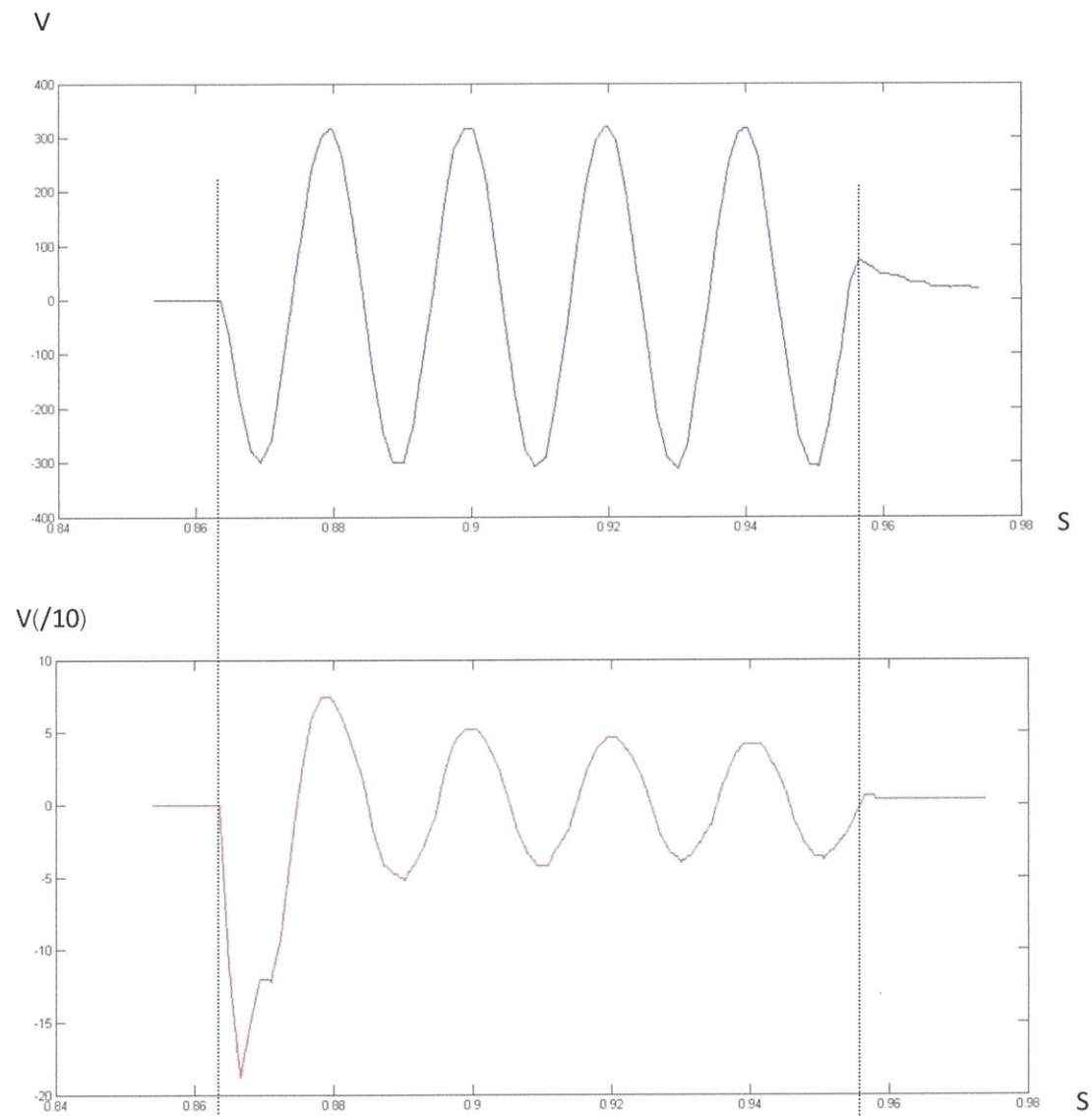
4.6.2 โหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ(RL Load)

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ



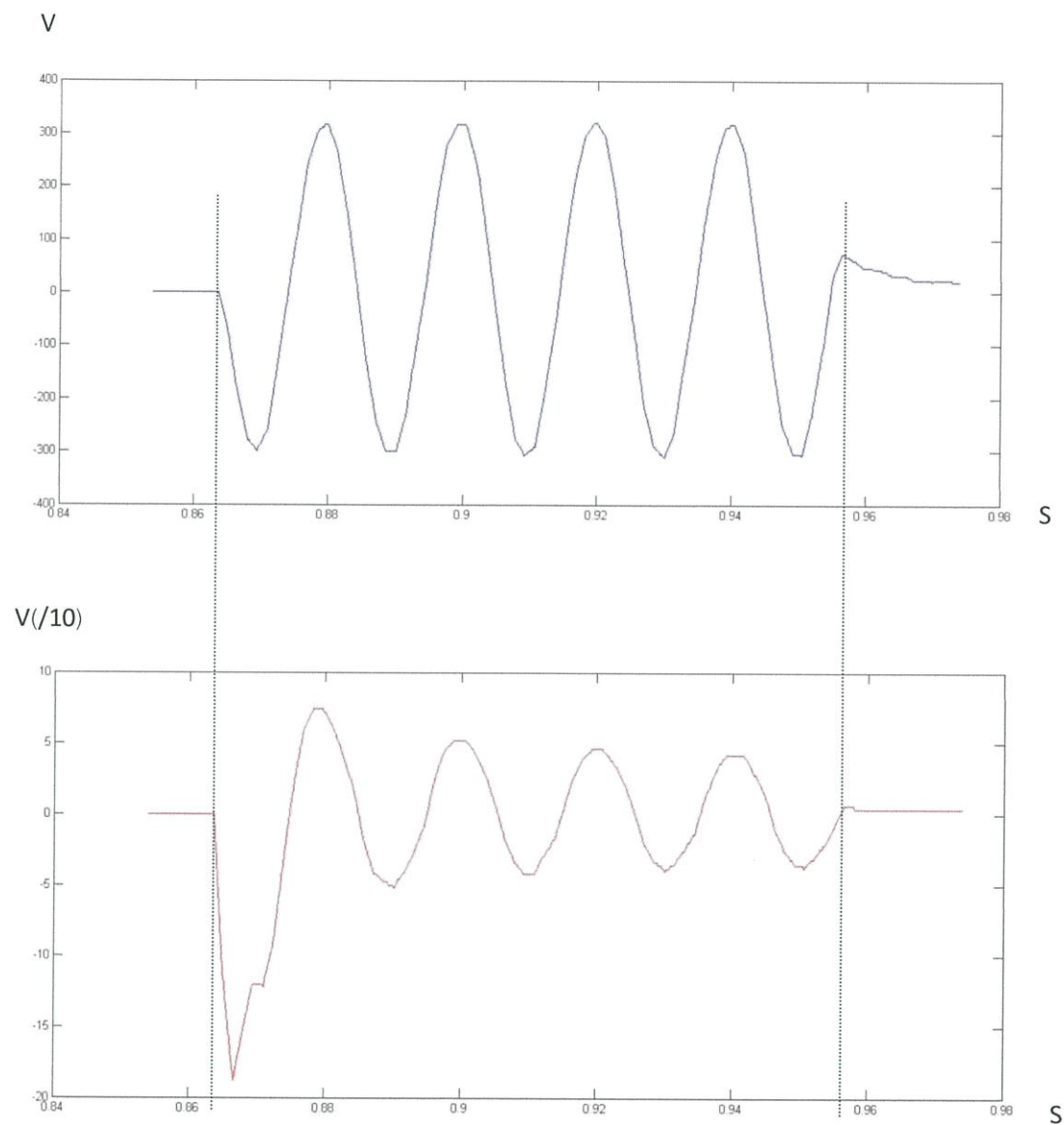
ภาพที่ 4.39 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ



ภาพที่ 4.40 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

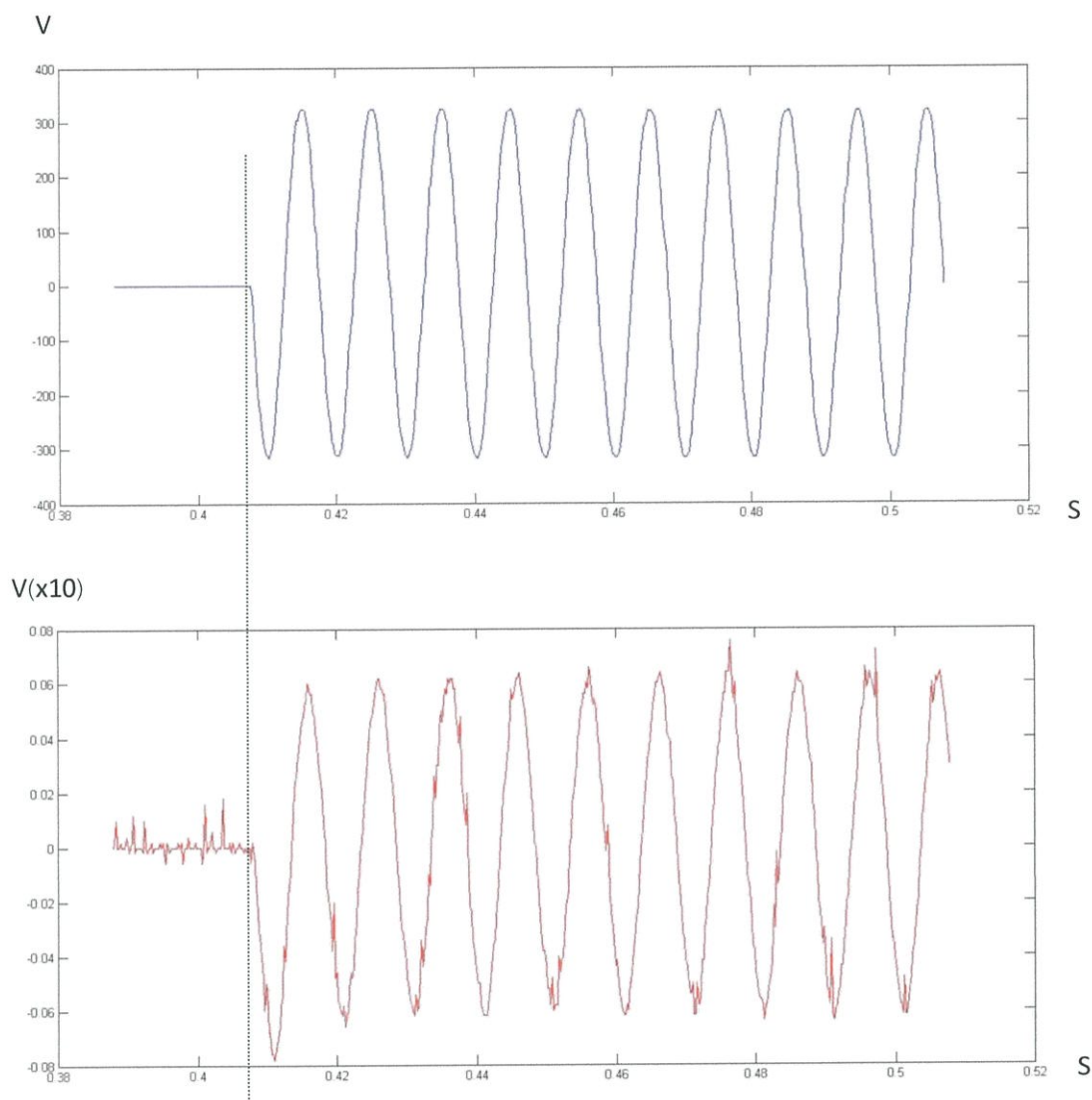
ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



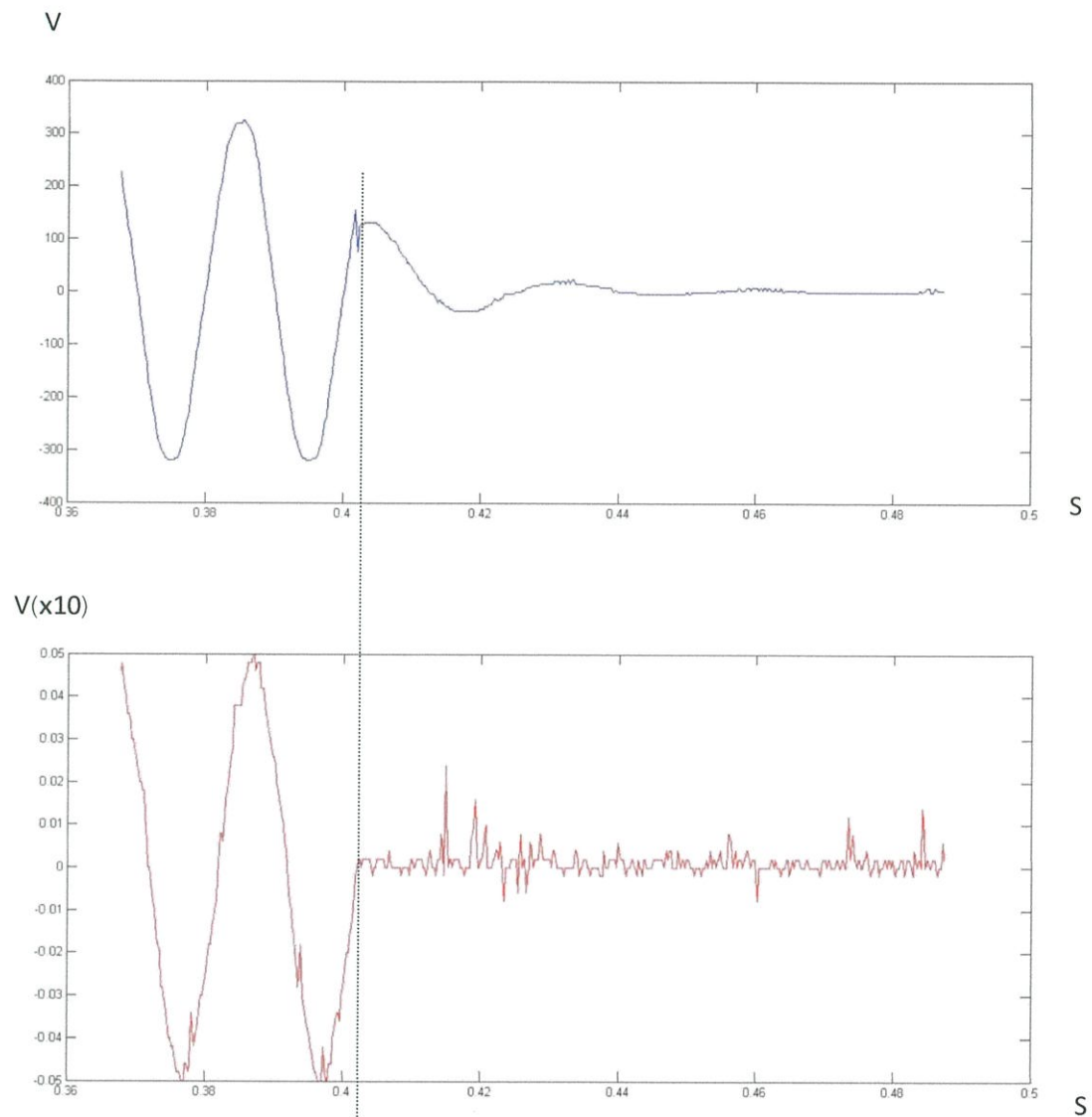
ภาพที่ 4.41 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ

4.6.3 โหลดมอเตอร์(พัคลม)

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

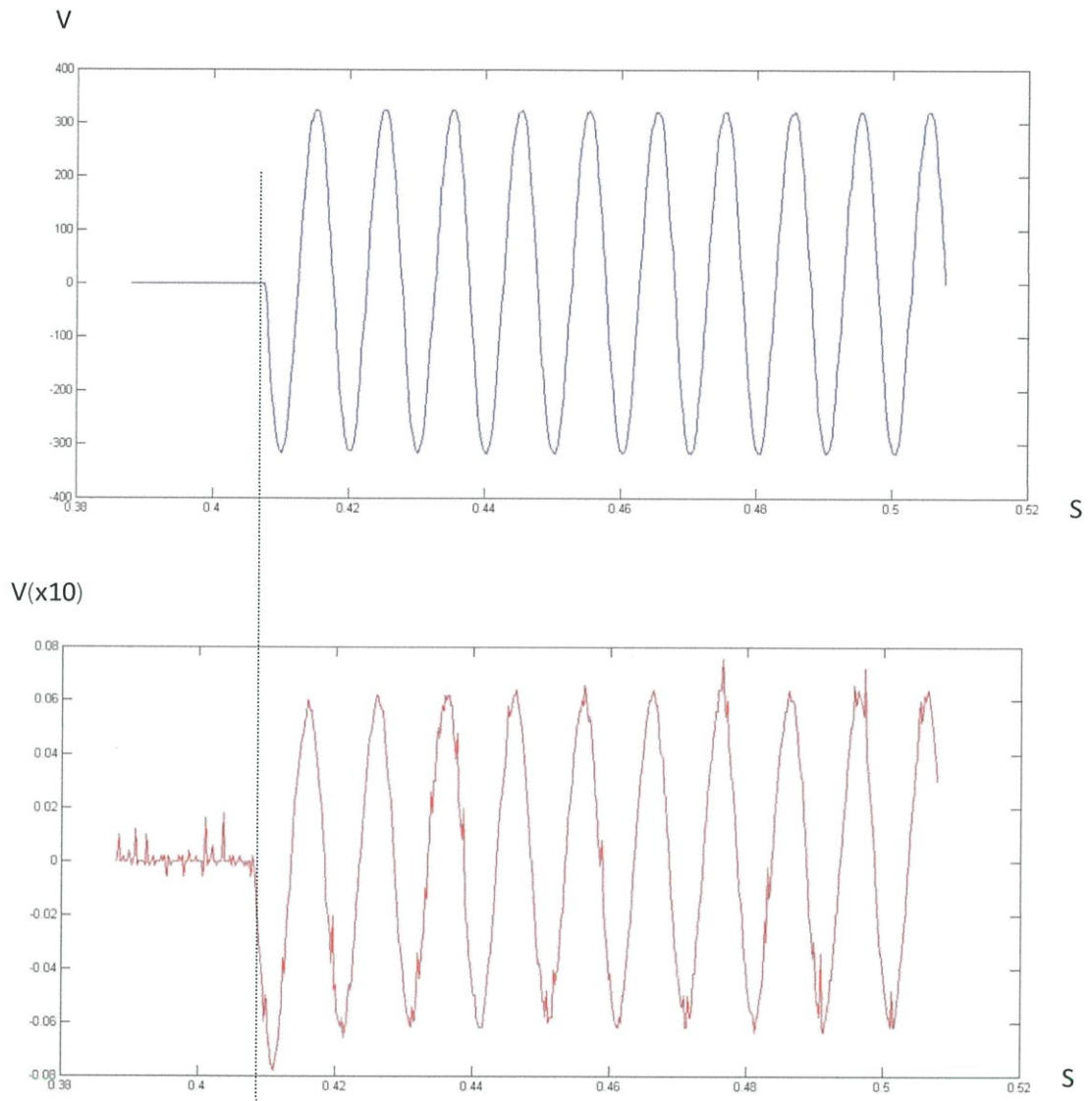


ภาพที่ 4.42 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

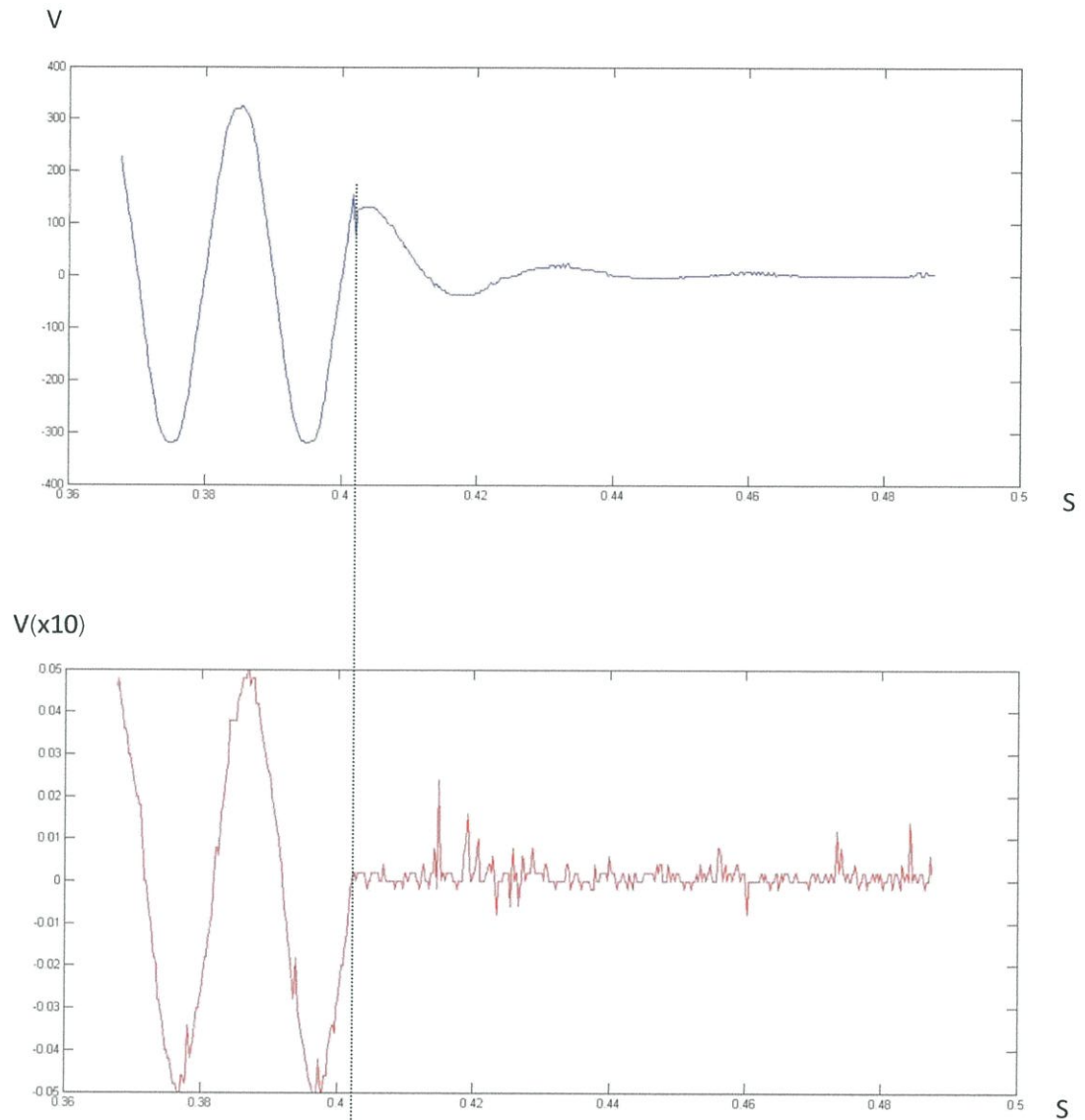


ภาพที่ 4.43 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

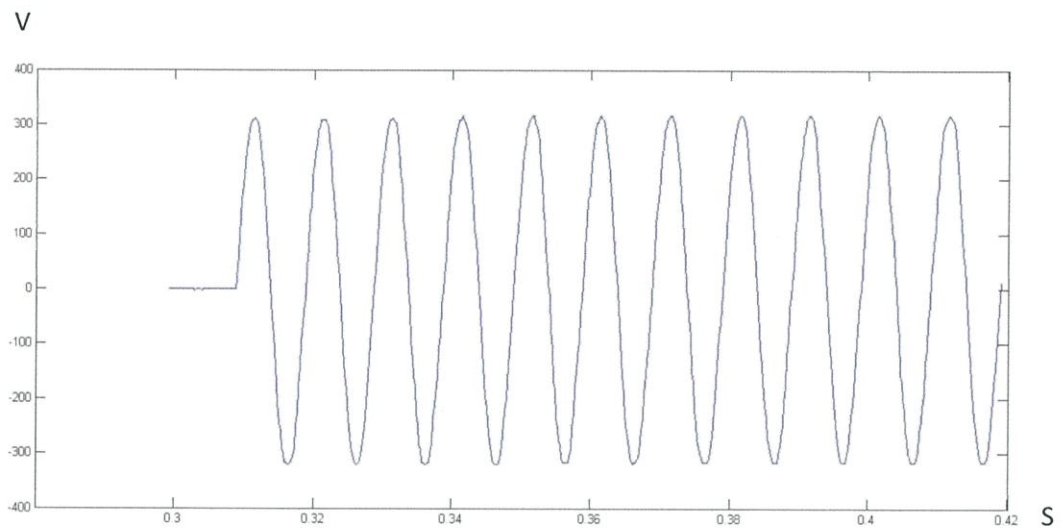


ภาพที่ 4.44 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

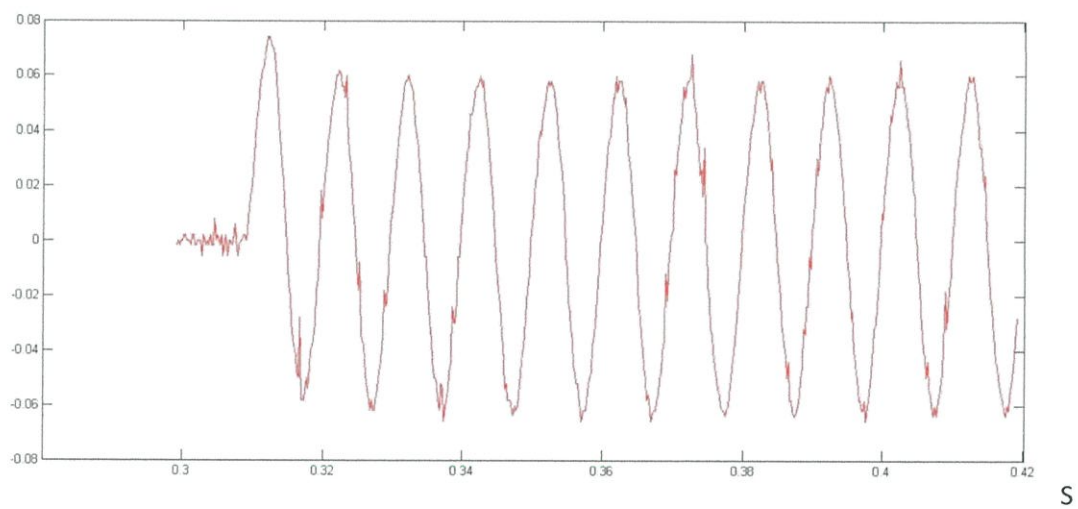


ภาพที่ 4.45 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

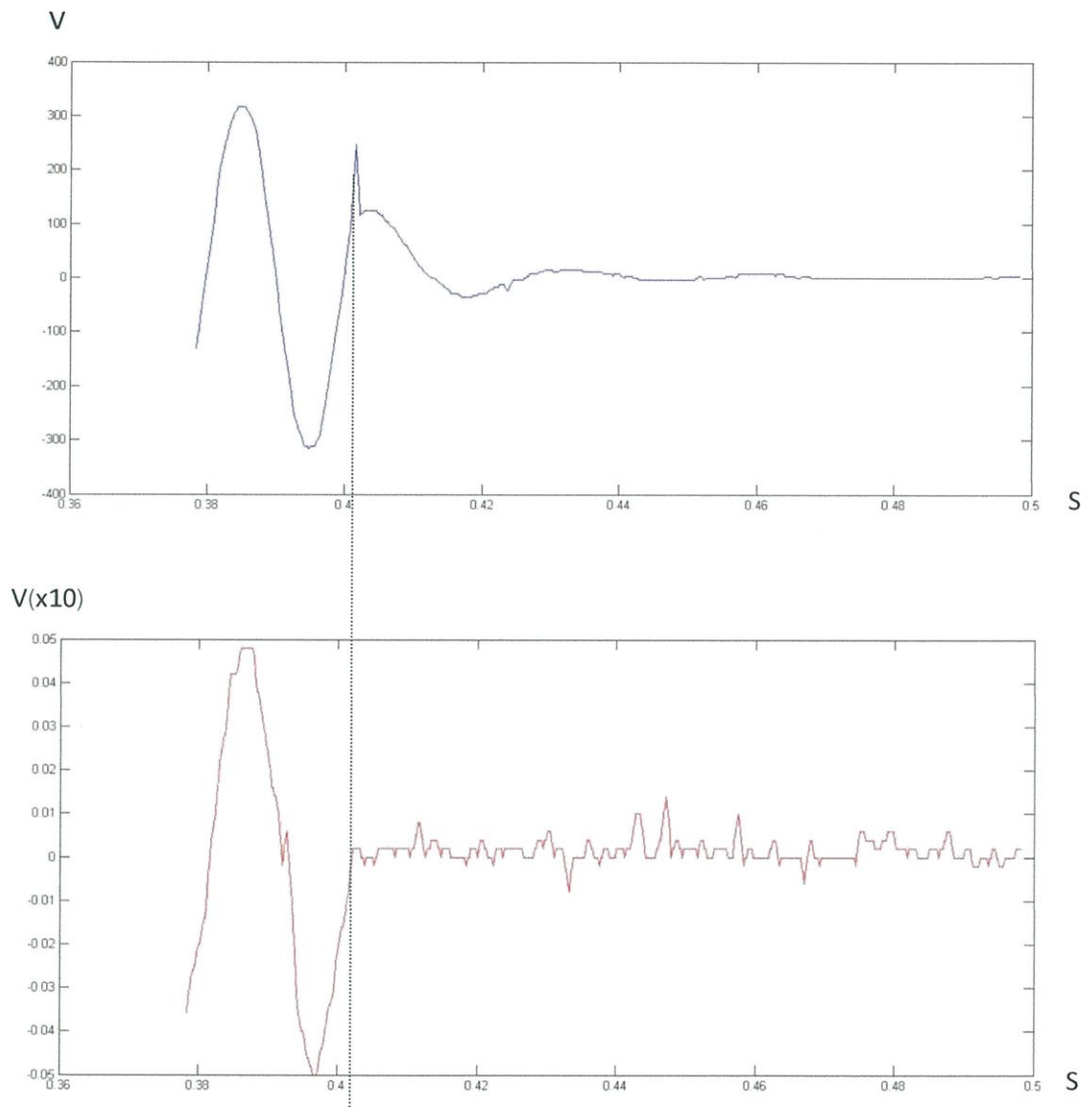
ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



$V(x10)$



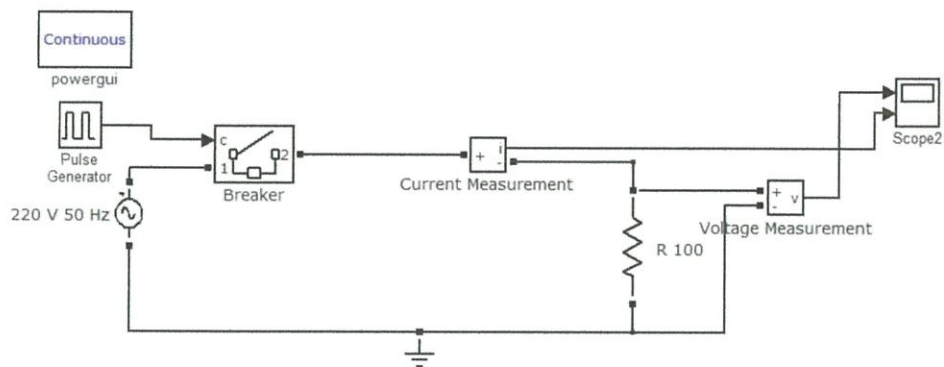
ภาพที่ 4.46 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการเปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



ภาพที่ 4.47 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ

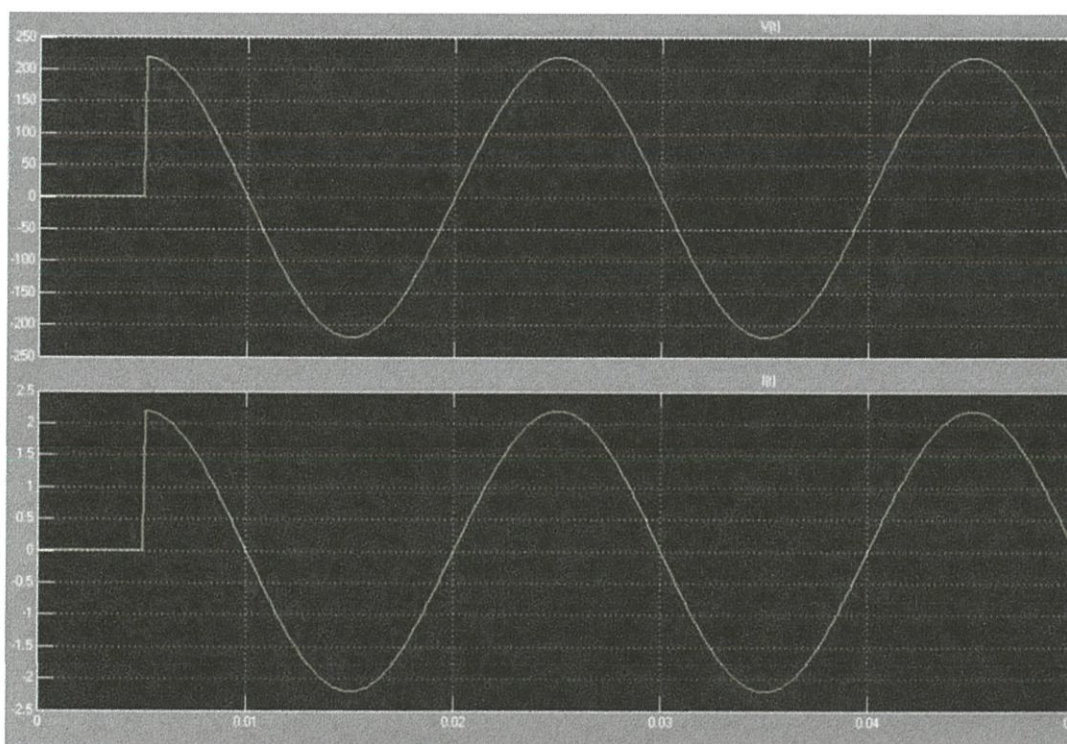
4.7 ผลการจำลองจากโปรแกรม Matlab/Simulink ด้วยสวิตซ์ธรรมดา

4.7.1 โหลดตัวต้านทาน (R Load)



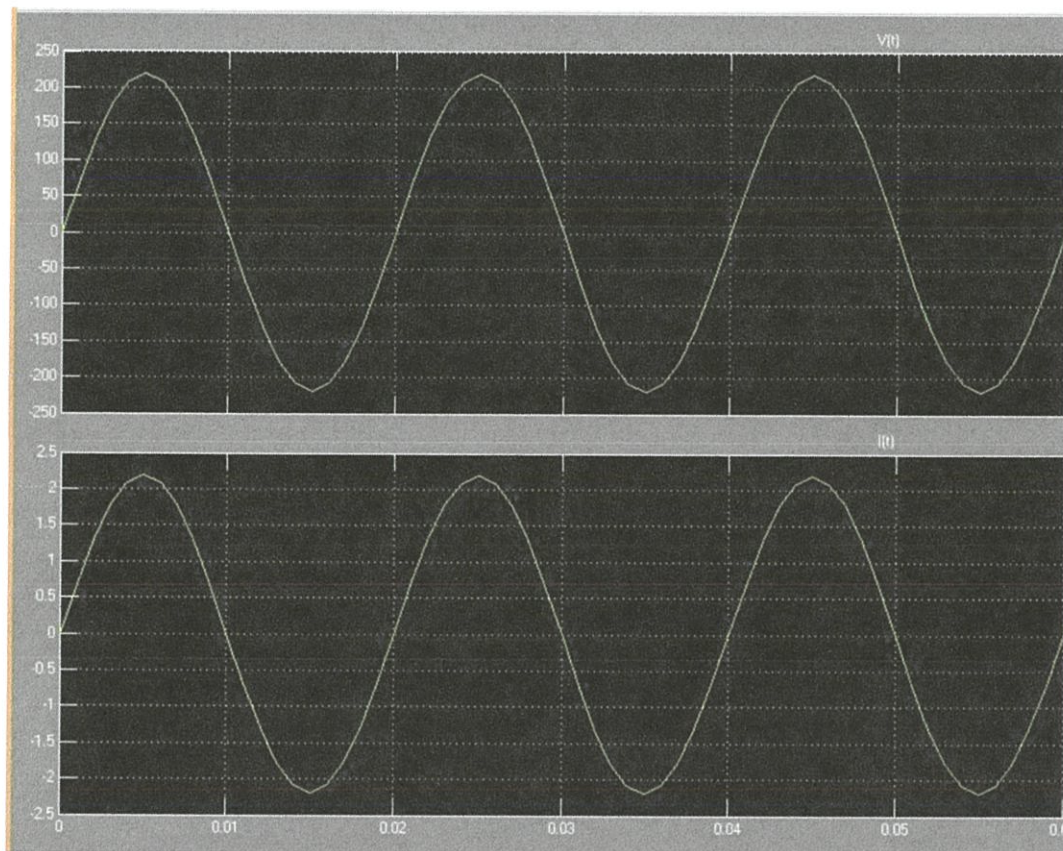
ภาพที่ 4.48 วงจร simulink โหลดตัวต้านทาน

ทำการสวิตซ์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ



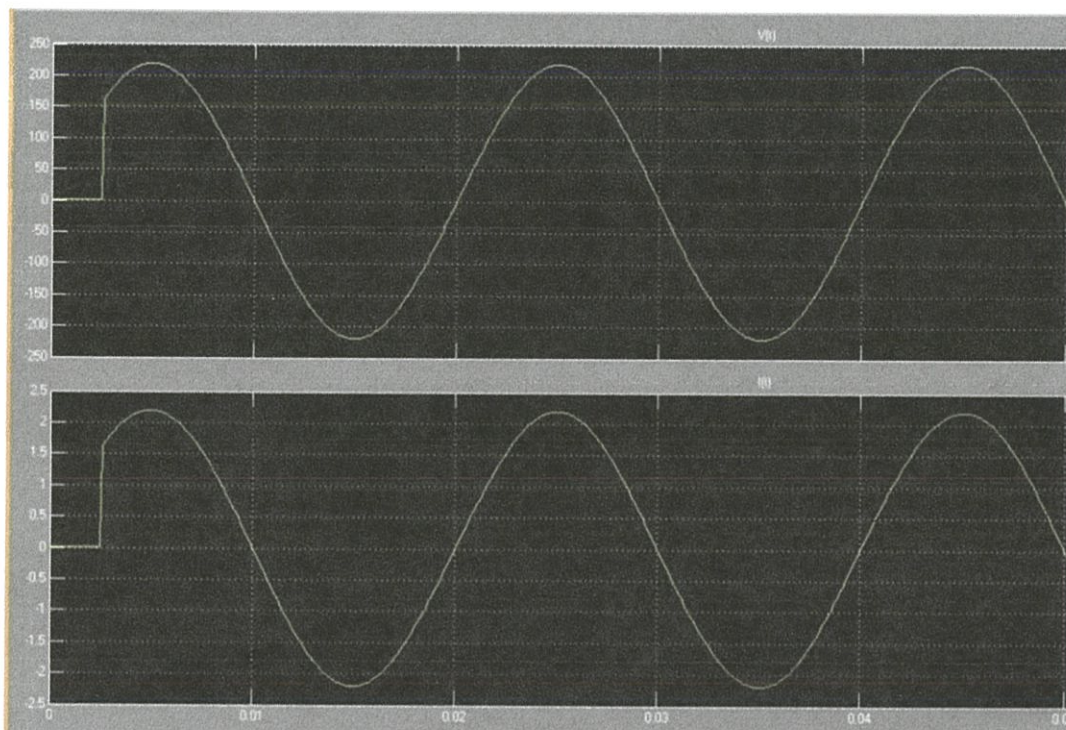
ภาพที่ 4.49 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตซ์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ



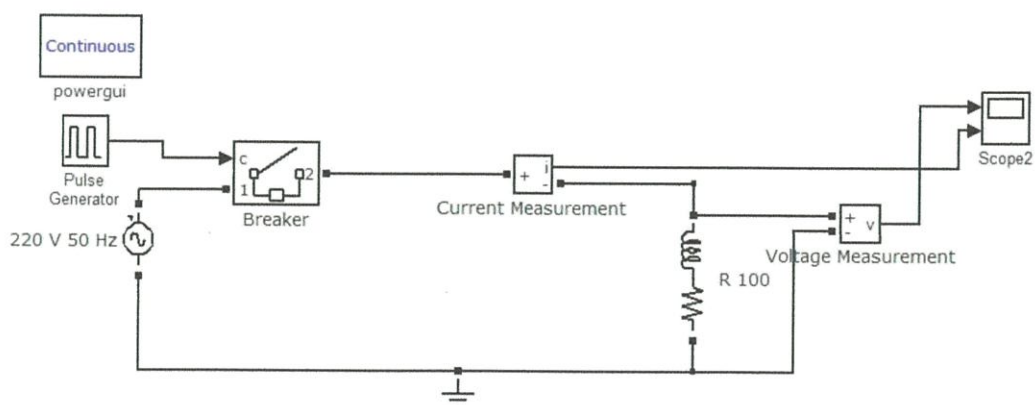
ภาพที่ 4.50 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณจุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



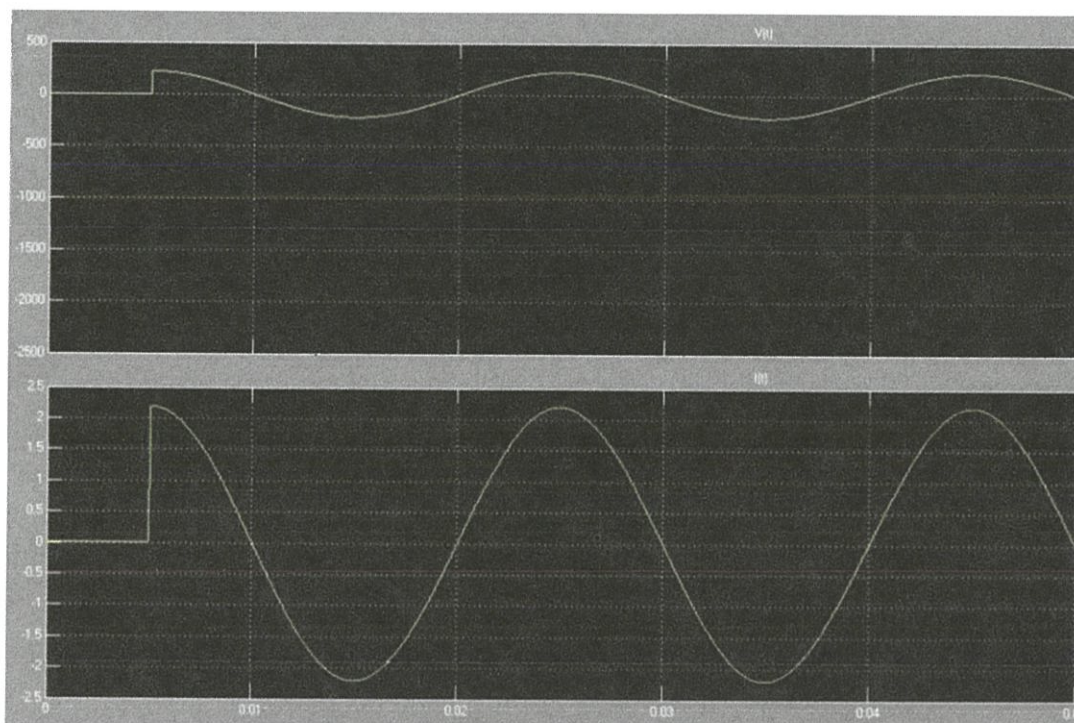
ภาพที่ 4.51 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ

4.7.2 โหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ(RL Load)



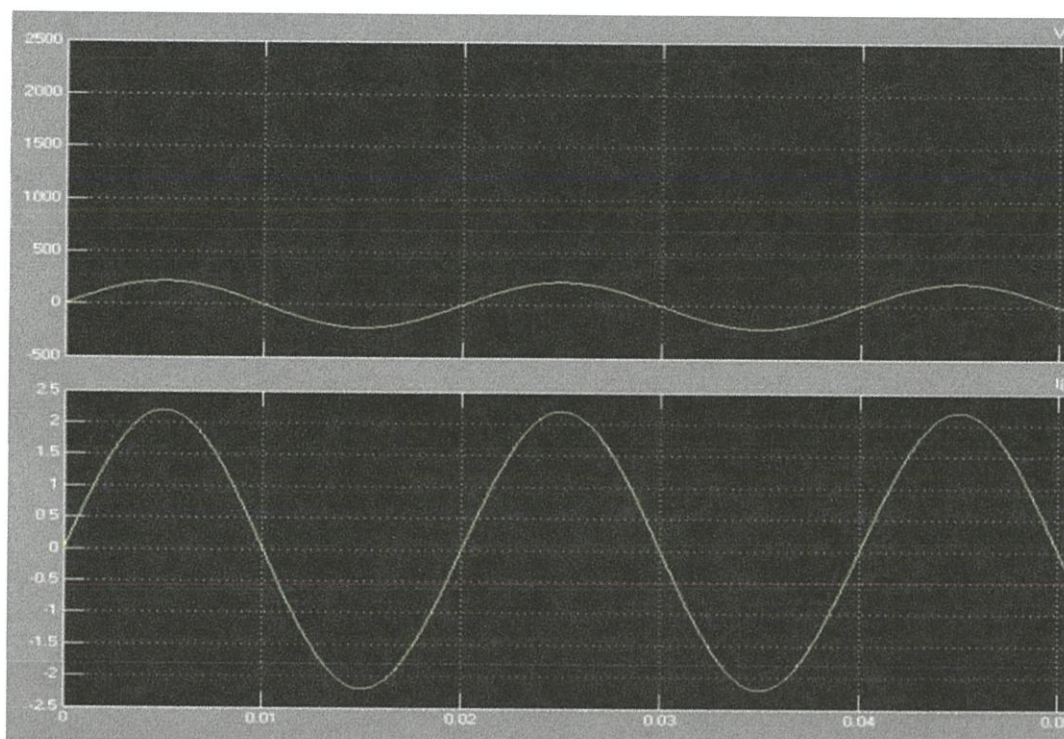
ภาพที่ 4.52 วงจร simulink โหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ



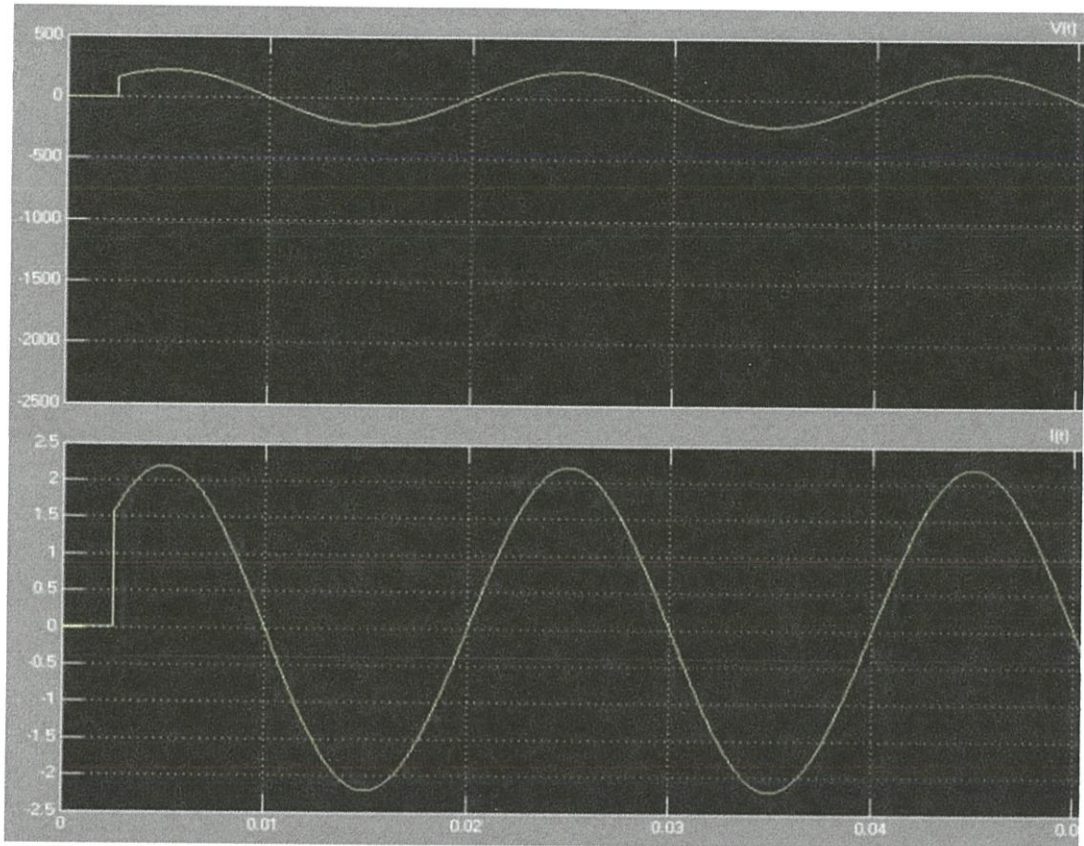
ภาพที่ 4.53 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ จุดยอดของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ



ภาพที่ 4.54 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณจุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

ทำการสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ



ภาพที่ 4.55 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะเปิดปิดสวิตช์ ณ บริเวณ ระหว่างจุดตัดศูนย์และจุดยอดของสัญญาณ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทนี้เป็นการสรุปผลและข้อเสนอแนะของการใช้อุปกรณ์พาวเวอร์สวิตซ์ในการลดผลของทรานเซียนส์ ขณะทำการเปิดปิดโหลดที่มีขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์ ซึ่งโครงการชิ้นนี้จะมีประโยชน์ต่อโหลดไฟฟ้าทั่วไปในการป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดทรานเซียนส์ขณะที่ทำการสวิตซ์

5.1 สรุปผลการทดลองสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากวิธีการทดลองที่นำเสนอในข้างต้น

การประยุกต์ใช้อุปกรณ์พาวเวอร์สวิตซ์ฟรีทรานเซียนส์(Power Switch Free Transient) ในการควบคุมการเปิดปิดโหลดที่มีขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์ เมื่อเทียบกับการควบคุมโหลดด้วยสวิตซ์ธรรมดา จากการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ กรณีที่ 1 การทดลองพาวเวอร์สวิตซ์ฟรีทรานเซียนส์ควบคุมการเปิดปิดโหลดตัวต้านทาน(โหลดไส้) และกรณีที่ 2 การทดลองพาวเวอร์สวิตซ์ฟรีทรานเซียนส์ควบคุมการเปิดปิดโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ(โหลดไส้ต่อร่วมกับบัลลาสต์) กรณีที่ 3 การทดลองพาวเวอร์สวิตซ์ฟรีทรานเซียนส์ควบคุมการเปิดปิดโหลดมอเตอร์(พัดลม) พบว่า

กรณีที่ 1 การทดลองพาวเวอร์สวิตซ์ฟรีทรานเซียนส์ควบคุมการเปิดปิดโหลดตัวต้านทาน(โหลดไส้) จากรูปสัญญาณที่ได้ในบทที่ 4 จะเห็นว่าค่ายอดของแรงดันไฟฟ้าจะมีระดับที่เท่ากันตลอดทั้งสัญญาณตั้งแต่เริ่มออนสวิตซ์ไปจนถึงการออฟสวิตซ์ ส่วนสัญญาณกระแสไฟฟ้าขณะทำการออนสวิตซ์จะมีค่าสูงในช่วงครึ่งคาบแรกเท่านั้นอันเนื่องมาจากอาจมีการกระชากของกระแสไฟฟ้าขณะทำการกดปุ่มสวิตซ์ แต่ก็เข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วมากเมื่อเทียบกับการใช้สวิตซ์ธรรมดาและการใช้โซลิดสเตตจรีเลย์โดยตรงในการควบคุมโหลด และทั้งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและสัญญาณกระแสไฟฟ้าขณะทำการเปิดปิดสวิตซ์จะเกิดขึ้นที่จุดศูนย์เสมอ ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีทรานเซียนส์ลดลงเมื่อเทียบกับสวิตซ์ธรรมดาทั่วไปที่ไม่ได้ทำงานผ่านจุดตัดศูนย์ของสัญญาณ ซึ่งจะทำให้ลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโหลดไฟฟ้าขณะทำการสวิตซ์ได้

กรณีที่ 2 การทดลองพาวเวอร์สวิตซ์ฟรีทรานเซียนส์ควบคุมการเปิดปิดโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ(โหลดไส้ต่อร่วมกับบัลลาสต์) จากรูปสัญญาณที่ได้ในบทที่ 4 จะเห็นว่าค่ายอดของแรงดันไฟฟ้าจะมีระดับที่เท่ากันตลอดทั้งสัญญาณตั้งแต่เริ่มออนสวิตซ์ไปจนถึงการออฟสวิตซ์ ส่วนสัญญาณกระแสไฟฟ้ามุมเฟสจะล่าหลังสัญญาณแรงดันไฟฟ้า อันเนื่องมาจากผลของตัวเหนี่ยวนำ(บัลลาสต์)ที่ต่อร่วมเข้าไปในโหลดตัวต้านทานและพบว่าสัญญาณกระแสไฟฟ้าในช่วงครึ่งไซเคิลแรกจะมีรอยหยักก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัวต่อไป อันเนื่องมาจากในตอนแรกที่กำลังจะออนสวิตซ์นั้นจะยังไม่มีกระแสไหลในขดลวดของตัวเหนี่ยวนำ ทำให้ยังไม่มีค่าสนามแม่เหล็กอยู่ภายในแกนเหล็กซึ่งก็จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับ (Back Electromotive Force : Back EMF) ด้วย ทำให้กระแสไฟฟ้าพุ่งสูงขึ้น และเมื่อผ่านไปสู่วงครึ่งไซเคิลหลังของสัญญาณ สัญญาณกระแสไฟฟ้าก็จะเข้าสู่สภาวะปกติ โดยจากกราฟสัญญาณที่ได้จะพบว่าทั้งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและสัญญาณกระแสไฟฟ้า

ฟริทธานเขียนส์สามารถลดทรานเขียนต์ขณะทำการสวิตซ์ลงได้ ส่งผลให้ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับโหลดไฟฟ้าลดลง

5.2 ทฤษฎีการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับ (Back Electromotive Force : Back EMF)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก $\phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A}$ เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของฟลักซ์แม่เหล็ก $BA \cos \theta$ จะเห็นว่าฟลักซ์แม่เหล็กขึ้นกับขนาดของสนามแม่เหล็ก B ขนาดของพื้นที่ A และมุมที่เวกเตอร์ปกติของพื้นที่วงปิดทำกับสนามแม่เหล็ก θ ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นได้จากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทั้ง 3 เขียนเป็นความสัมพันธ์ดังนี้

$$V_{emf} = -N \frac{d\phi_B}{dt} \quad (5.1)$$

$$= -N \frac{d}{dt} (BA \cos \theta) \quad (5.2)$$

$$V_{emf} = -N \left(A \cos \theta \frac{dB}{dt} + B \cos \theta \frac{dA}{dt} - BA \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \right) \quad (5.3)$$

วงจรไฟฟ้าใดใดจะมีลักษณะเป็นวงปิดเสมอ เริ่มต้นไม่มีกระแสไฟฟ้าในวงจรแต่เมื่อต่อสวิตซ์ให้มีกระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กมีทิศทะลุผ่านวงปิดตั้งรูป (จากกฎมือขวาโดยให้นิ้วโป่งแทนทิศของกระแสนี้ทั้งสี่แทนทิศของสนามแม่เหล็กที่วนรอบเส้นลวดตัวนำ) ทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านวงปิดมีการเปลี่ยนแปลงโดยเพิ่มขึ้นจากศูนย์ในตอนแรก การเปลี่ยนแปลงนี้เองทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อต้านการเพิ่มของฟลักซ์แม่เหล็ก ดังนั้นกระแสไฟฟ้าสุทธิในวงจรจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าตามที่ควรจะเป็น ($I = \frac{V}{R}$) เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กคงตัว กระแสไฟฟ้าไม่ได้เพิ่มอย่างทันทีทันใด

ทั้งนี้ปริมาณของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ต่อต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร (V_L) ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก ($\frac{d\phi_B}{dt}$) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ($\frac{dI}{dt}$) ในวงจรเอง

$$V_L = -N \frac{d\phi_B}{dt} \quad (5.4)$$

โดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ต่อต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในวงจร

$$N \frac{d\phi_B}{dt} \propto \frac{dI}{dt} \quad (5.5)$$

$$N \frac{d\phi_B}{dt} = L \frac{dI}{dt} \quad (5.6)$$

เมื่อ L เป็นคุณสมบัติที่ขึ้นกับระบบ เรียกว่า สภาพเหนี่ยวนำ (inductance) มีหน่วยเป็นเฮนรี(Henry, H)

$$N\phi_B = LI \quad (5.7)$$

$$L = \frac{N\phi_B}{I} \quad (5.8)$$

$$[H] = \left[\frac{Wb}{A} \right] = \left[\frac{V \cdot s}{A} \right] \quad (5.9)$$

อาจเขียนให้อยู่ในรูปของแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้เป็น

$$V_L = -NL \frac{dI}{dt} \quad (5.10)$$

$$L = -\frac{V_L}{N(dI/dt)} \quad (5.11)$$

สภาพเหนี่ยวนำนี้เป็นเหมือนความต้านทานที่ต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในวงจรซึ่งมีความสำคัญในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่แรงเคลื่อนไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

5.3 ข้อเสนอแนะ

โครงการชิ้นนี้เป็นการประยุกต์จากอุปกรณ์สวิตช์ธรรมดาให้เป็นสวิตช์ที่ลดผลของทรานเซียนส์ที่เกิดขึ้นขณะทำการสวิตช์ ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดความเสียหายของโหลดไฟฟ้าจากทรานเซียนส์เมื่อทำการสวิตช์ แต่อุปกรณ์สวิตช์ที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถใช้ได้กับโหลดไฟฟ้า 1 เฟส ที่มีขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์

อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นจากโครงการชิ้นนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้กับโหลดที่มีขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์ 1 เฟส หรือโหลดตามบ้านเรือนเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการสวิตช์ และเป็นแนวทางเพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำไปต่อยอดหรือพัฒนาให้สามารถใช้ได้กับโหลดไฟฟ้า 3 เฟส เช่นมอเตอร์ต่อไป

อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นจากโครงงานชิ้นนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้กับโหลดที่มีขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์1 เฟส หรือโหลดตามบ้านเรือนเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการสวิตช์ และเป็นแนวทางเพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำไปต่อยอดหรือพัฒนาให้สามารถใช้ได้กับโหลดไฟฟ้า 3 เฟส เช่นมอเตอร์ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] V.S. Pawar and S.M. Shembekar, "Transient Overvoltage in Power System," *International Journal of Science Spirituality Business and Technology (IJSSBT)*, Vol.2, No.1, 2013, pp. 1-5.
- [2] K. Seok and B. Kwon, "An Improved zero-voltage and zero-current-switching," *IEEE trans. Industrial Electron*, Vol.48, No.6, 2001, pp. 1205-1209.
- [3] Thomas E. Grebe, *PE Electrotek Concepts*, USA, Inc., 2010.
- [4] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, *ศัพท์เทคนิควิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง*, กรุงเทพฯ, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2535.
- [5] B. Roodenburg, A. Taffone, E. gilardi, S.M. Tenconi, B.H. Evenblij and M.A.M. Kaanders, "Combined ZVS-ZCS topology for high-current direct current hybrid switches: design aspects and first measurements," *IET Electr. Power Appl.*, Vol.1, No.2, 2007, pp. 1-10.
- [6] Steve Cherniak, "A Review of Transients and Their Means of Suppression," *ON Semiconductor Components Industries*, Vol.1, No.1, 2001, pp. 1-16.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
บทความทางวิชาการ

พาวเวอร์สวิทช์แบบไม่มีทรานเซียนต์สำหรับโหลดขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์

Power Switch Free Transient for Load Less than 1 Kilo Watts

ชัยภูชา นีรามัย พิรัชช เวียงนาค และ พีรพัฒน์ บุญศรี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ผลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นกรนำเสนอมูลผลกระทบบของการเกิดทรานเซียนต์ในขณะที่สับสวิทช์ของโหลดชนิดต่างๆ ขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์ โดยการใช้สวิทช์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาจากหลักการ Zero Current Switch : ZCS และ Zero Voltage Switch : ZVS เพื่อลดขนาดของกระแสขณะทำการตัดวงจร (open circuit) และลดขนาดแรงดันขณะทำการต่อวงจร (close circuit) โดยขณะสับสวิทช์นั้นจะเกิดขึ้นในช่วงสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วง Zero Crossing (ช่วงที่ระดับแรงดันและกระแสมีค่าเป็นศูนย์) เนื่องจากในช่วงที่ทำการสับสวิทช์นั้น จะเกิดสภาวะทรานเซียนต์ (สภาวะชั่วขณะ) ที่ทำให้ค่าของกระแสหรือแรงดันพุ่งสูงจนอาจเป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ได้ อาทิ กรณีปลั๊กพ่วงที่มีจำนวนโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าต่ออยู่จำนวนมาก การเปิด-ปิดสวิทช์นั้นอาจทำให้ตัวปลั๊กนั้นเกิดความเสียหายได้ เนื่องจากมีกระแส หรือแรงดันเกิน จึงได้ทดลองทำการสร้างตัวสวิทช์นี้ขึ้นมา

คำสำคัญ: สวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์, สวิตช์ขณะกระแสเป็นศูนย์

Abstract

This paper summarises effect of transient when switching of less than or equal to 1 kW load with invented switch base on ZCS (Zero Current Switch) and ZVS (Zero Voltage Switch) basis in order to reduce current when open circuit and reduce voltage when close circuit owing to the moment of switching that produce instantaneous transient. This effect causes rising of current and voltage that might be danger for electronics device such as power strip ,which has many of connected load. therefore we establish this Project to find another technique for reducing transient while switch.

Keywords: Zero Voltage Switch, Zero Current Switch

1. บทนำ

เนื่องจากในชีวิตประจำวันเรามักพบกับปัญหาในการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับสวิทช์ คือ ในบางครั้งเมื่อเราทำการเปิดสวิทช์ (ต่อวงจร)

หรือทำการปิดสวิทช์ (ตัดวงจร) อาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับตัวสวิทช์นั้นๆ เกิดความเสียหายได้ เช่น เมื่อเราทำการเปิดสวิทช์หลอดไฟที่ต่ออยู่กับสวิทช์ตัวนั้นเกิดความเสียหาย หรือเมื่อเราทำการระงับอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายๆชิ้นเข้ากับปลั๊กพ่วง เมื่อทำการสวิตช์อาจทำให้อุปกรณ์เสียหายได้เช่นกัน สาเหตุเหล่านี้เกิดจากสภาวะชั่วครู่ขณะทำการสวิตช์ ในช่วงที่มีขนาดกระแสหรือขนาดแรงดันสูงกว่าปกติ ซึ่งการเกิดสภาวะแรงดันสูงกว่าปกติจะเกิดในช่วงที่เราทำการเปิดสวิทช์ ส่วนการเกิดสภาวะกระแสสูงกว่าปกติจะเกิดในช่วงที่เราทำการปิดสวิทช์ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าขณะที่เราทำการเปิดสวิทช์ (ต่อวงจร) วงจรไฟฟ้าที่เรา กำลังพิจารณา ยังไม่ครบวงจรจึงยังไม่มีกระแสไหลทำให้ยังไม่เกิดสภาวะที่กระแสสูงกว่าปกติ แต่ในขณะที่เรากำลังจะทำการปิดสวิทช์ (ตัดวงจร) นั้น แปลว่าเดิมวงจรไฟฟ้าที่เราพิจารณา มีการครบวงจรทางไฟฟ้าและมีกระแสไหลในวงจรอยู่ก่อนแล้ว ซึ่งเมื่อเราทำการปิดสวิทช์ อาจทำให้เกิดกระแสสูงกว่าปกติได้ เนื่องจากกระแสและแรงดันไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซน์ซอซอด ซึ่งเราไม่สามารถรู้ได้ว่าขณะที่เราทำการสวิตช์นั้น จะไปสวิตช์ที่ตำแหน่งใดของรูปคลื่น

จากเหตุผลดังกล่าว ประกอบกับปัจจุบันอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันสภาวะการเกิดกระแสและแรงดันสูงกว่าปกติในขณะที่ทำการสวิตช์ที่ใช้กับโหลดขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์ หรือใช้ตามที่พักอาศัยยังไม่มียุโรปกรณ์ป้องกัน จึงทำให้เกิดการวิจัยของโครงการนี้ขึ้นมาในชื่อพาวเวอร์สวิทช์แบบไม่มีทรานเซียนต์สำหรับโหลดขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์ โดยอาศัยหลักการของ Zero Voltage Switch (ZVS) และ Zero Current Switch (ZCS) ในการเปิดปิดสวิทช์อัตโนมัติ เพื่อลดปัญหาการเกิดกระแสและแรงดันสูงกว่าปกติในช่วงชั่วครู่ขณะทำการสวิตช์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเกิดสภาวะชั่วครู่ (Transient)

ทรานเซียนต์คือการเกิดของสัญญาณในช่วงเวลาสั้นๆของการเปิด - ปิดสวิทช์ ช่วงเวลาสั้นๆนี้สภาพของวงจรจะเปลี่ยนไปเรียกการเปลี่ยนแปลงของวงจรไฟฟ้านี้ว่าเป็นการเกิดของสัญญาณในช่วงเวลาทรานเซียนต์

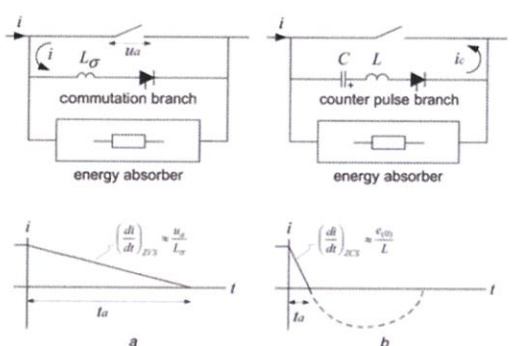
ทรานเซียนต์จะไม่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้าที่มีตัวต้านทานเพียงอย่างเดียวเพราะว่าตัวต้านทานไม่สามารถเก็บหรือสะสมพลังงานไว้ที่ตัว

มันเองได้พลังงานที่ตัวต้านทานได้รับนั้นจะกระจายออกไปในรูปของพลังงานความร้อน ส่วนในวงจรไฟฟ้าที่มีขดลวดเหนี่ยวนำหรือตัวเก็บประจุต่ออยู่จะมีการเกิดทรานเซียนต์ขึ้นเพราะว่าขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุสามารถเก็บหรือสะสมพลังงานไว้ได้

สัญญาณที่เกิดขึ้นมานี้จะมีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของทรานเซียนต์ค่าสัญญาณทรานเซียนต์เกิดขึ้นมาไม่มากอาจจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายใดๆหรืออาจจะเสียหายเล็กน้อยแต่ถ้าสัญญาณทรานเซียนต์เกิดขึ้นมามากอาจจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงได้

2.2 หลักการที่ใช้ในการลดผลของทรานเซียนต์ขณะทำการสวิตซ์

หลักการแรงดันตัดศูนย์ (Zero Voltage Switching) ขณะที่เกิด ZVS นั้นกระแสไฟฟ้าจะถูกแบ่งไปยังกิ่งที่ขนานกันในวงจรซึ่งมีแรงดันตกคร่อมที่สวิตซ์เข้าใกล้ศูนย์ขณะทำการเปิดวงจร โดยอิทธิพลหลักที่มีผลต่อการส่งถ่ายกระแสก็คือแรงดันอาร์คและค่าความเหนี่ยวนำสแตจระหว่างสวิตซ์ทางกลและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยเทคนิคนี้จะถูกเรียกว่า ZVS turn-off ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 1 เทคนิคในการเปิดสวิตซ์(เปิดวงจร)ในสภาวะแรงดันตัดศูนย์

หลักการกระแสตัดศูนย์ (Zero Current Switching) นั้น กระแสแรงไหลนั้นจะถูกนำมาคิดด้วย โดยกระแสแรงไหลนั้น คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสไฟฟ้าหลักที่ไหลเข้าสู่สวิตซ์ทางกล และทำหน้าที่ลดทอนปริมาณกระแสไฟฟ้าหลักด้วยเช่นกัน ในขณะที่สวิตซ์ทำการเปิดวงจรกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสวิตซ์ทางกลนั้นมีค่าเข้าใกล้ศูนย์แล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลสวนทางกระแสไฟฟ้าหลัก (กระแสแรงไหล) หรือก็คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าตัวเก็บประจุและค่าของกระแสค่าของจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร

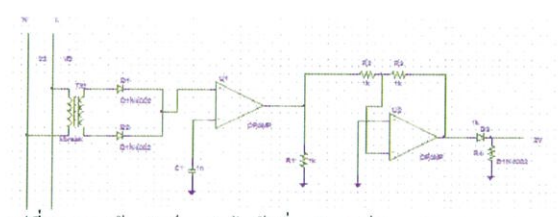
จากหลักการดังกล่าว ทำให้สวิตซ์ทำงาน ณ จุดที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ และทำงาน ณ จุดที่กระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งจะทำให้

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับสวิตซ์มีความปลอดภัยจากการเกิดทรานเซียนต์ที่หน้าสัมผัสของสวิตซ์

3. ส่วนประกอบของวงจรและหลักการทำงาน

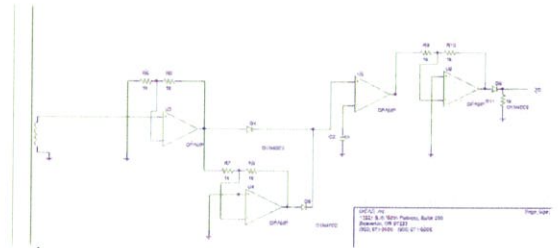
3.1 ส่วนประกอบวงจร

1. วงจรสร้างพัลส์แรงดันไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Voltage)



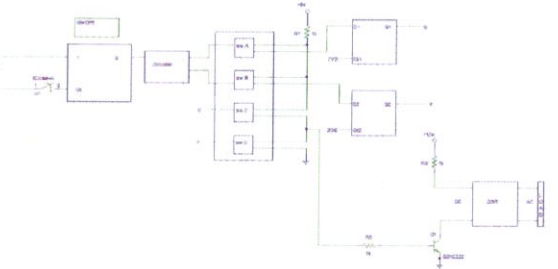
รูปที่ 2 วงจรสร้างพัลส์แรงดันไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Voltage)

2. วงจรสร้างพัลส์กระแสไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Current)



รูปที่ 3 วงจรสร้างพัลส์กระแสไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Current)

3. วงจรอินเตอร์ล๊อคสวิตซ์ (Interlock Switch Circuit)



รูปที่ 4 วงจรอินเตอร์ล๊อคสวิตซ์ (Interlock Switch Circuit)

3.2 หลักการทำงานของวงจร

วงจรสร้างพัลส์แรงดันไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Voltage) คือ วงจรจะรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ และผ่านหม้อแปลงลดระดับแรงดันเหลือ 15 โวลต์ สัญญาณที่ได้จะนำมาผ่านวงจรเรียงกระแสแบบมีแท็ปกลาง และนำสัญญาณที่ได้มา

เปรียบเทียบกับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ 4.5 โวลต์ โดยผ่านวงจรรอปแอมป์เพื่อให้ได้สัญญาณพัลส์ที่จุดตัดศูนย์ทุกๆ 10 ms

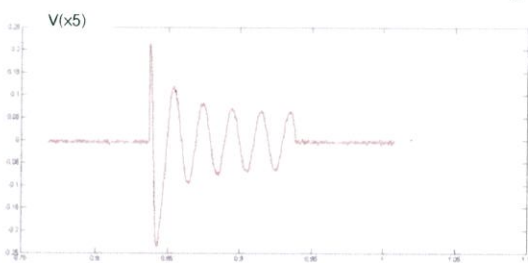
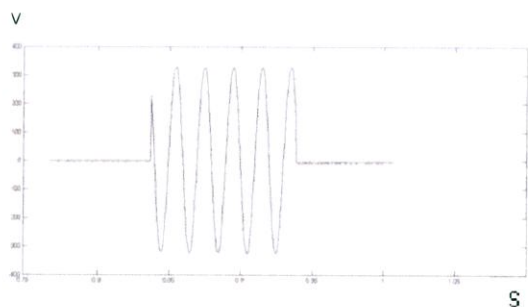
วงจรรสร้างพัลส์กระแสไฟฟ้าที่จุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Current) คือ หม้อแปลงกระแสในวงจร จะตรวจจับสัญญาณกระแสเมื่อวงจร close circuit และนำสัญญาณที่ได้มาขยายโดยผ่านวงจร non-inverting amplifier เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ 4.5 โวลต์ โดยใช้ซอฟต์แวร์ จะทำให้ได้สัญญาณพัลส์ที่จุดตัดศูนย์ทุกๆ 10 ms

วงจรรินเตอร์ล๊อคสวิตช์ (Interlock Switch Circuit) ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดปิดสวิตช์ในควอเตอร์ซิมอสสวิตช์ เพื่อนำไปควบคุมดีฟลิปฟลอบสองตัวให้ทำงานสลับกัน โดยการทำงานของดีฟลิปฟลอบนั้นจะเป็นไปตามสัญญาณพัลส์ของแรงดันและสัญญาณพัลส์ของกระแสที่จุดตัดศูนย์ทุกๆ 10 ms เพื่อใช้ในการควบคุมโหลดต่อไป

4. ผลการทดลอง

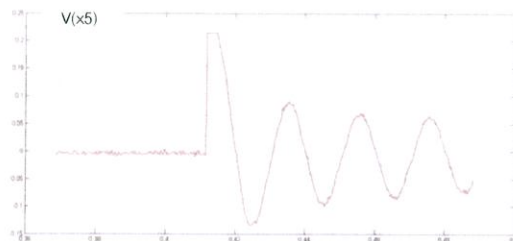
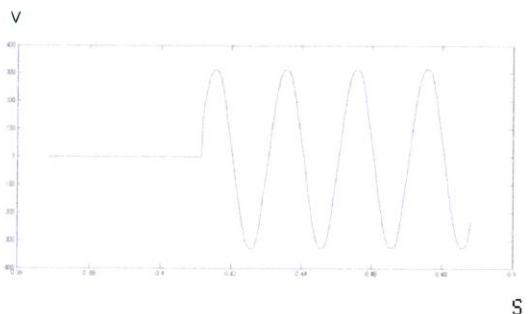
4.1 การทดลองการเปิดปิดสวิตช์ในการควบคุมโหลดด้วยสวิตช์ธรรมดา

โหลดตัวต้านทาน (R Load)



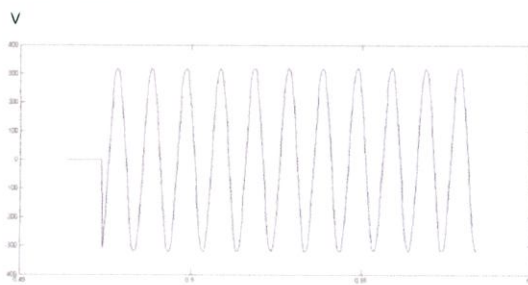
รูปที่ 5 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการสวิตช์

โหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ (RL Load)



รูปที่ 6 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการสวิตช์

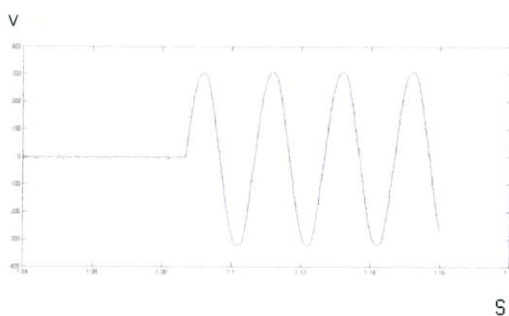
โหลดมอเตอร์ (พัลลัม)



รูปที่ 7 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการสวิตช์

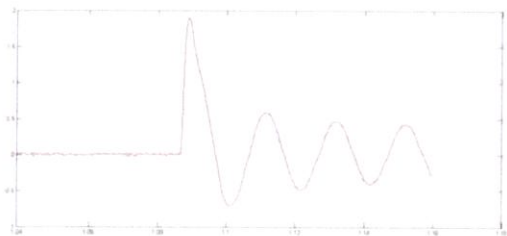
4.2 การทดลองการเปิดปิดสวิตช์ในการควบคุมโหลดด้วยอุปกรณ์ (Power Switch Free Transient)

โหลดตัวต้านทาน (R Load)



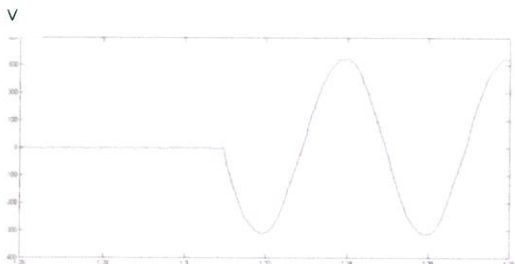
รูปที่ 8 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการสวิตช์

V(x5)

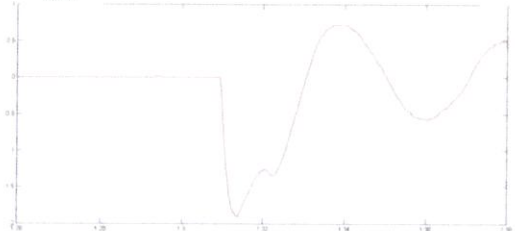


รูปที่ 8 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการสวิตช์ S

โหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ(RL Load)

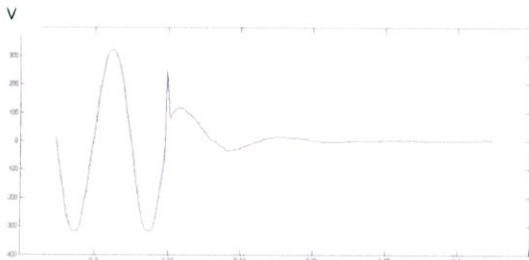


V(x5)

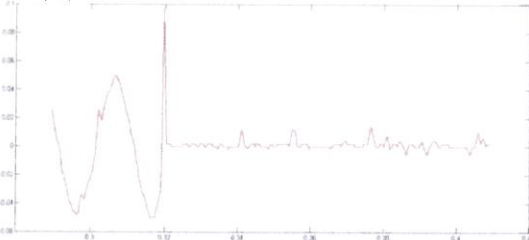


รูปที่ 9 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการสวิตช์ S

โหลดมอเตอร์(พัดลม)



V(x10)



รูปที่ 10 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะทำการสวิตช์ S

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการควบคุมด้วยพาวเวอร์สวิตช์ฟิรทรานเซียนต์ จะเข้าสู่ช่วงสภาวะคงตัวได้เร็วมาก(ประมาณไซเคิลที่ 2)เมื่อเทียบกับการควบคุมด้วยสวิตช์ธรรมดา แสดงให้เห็นว่าผลของทรานเซียนต์ที่เกิดขึ้นขณะทำการสวิตช์ลดลง ซึ่งจะทำให้ลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโหลดไฟฟ้าขณะทำการสวิตช์ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ปัญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอกราบขอบพระคุณ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล และ ศศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีโดยตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปัญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] V.S. Pawar and S.M. Shembekar, "Transient Overvoltage in Power System," **International Journal of Science Spirituality Business and Technology (IJSSBT)**, Vol.2, No.1, 2013, pp. 1-5.
 [2] Thomas E. Grebe, **PE Electrotek Concepts, USA, Inc.**, 2010.



นาย ชัชชญา นีรัมย์ (ชิต) เกิดวันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2534
 ที่อยู่ 239/4 อ.จามเทวี ด.เวียงเหนือ อ.เมือง จ.ลำปาง 52000
 Tel.0846114481 E-mail : slawter.chit@gmail.com



นายพิรัช เวียงนาค (ไต้เติ้ล) เกิดวันที่ 9 กันยายน พ.ศ.2535
 ที่อยู่ 149/7 หมู่ 1 อ.หลังค้ำยทหาร ด.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง 52000
 Tel. 0908933421 E-mail : yuri_got@hotmail.com



นายพีรพัฒน์ บุญศรี (พีร์) เกิดวันที่ 20 กันยายน พ.ศ. 2535
 ที่อยู่ 202 ซิดีวีว อ.รามคำแหง ช.รามคำแหง 4 แขวง/เขต สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250
 Tel. 0868959997 E-mail : pe.boonsri@gmail.com

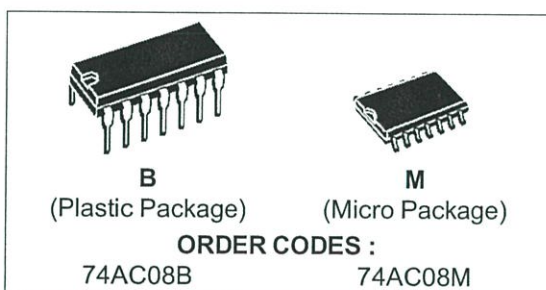
ภาคผนวก ข
ข้อมูล แอนด์เกต

QUAD 2-INPUT AND GATE

- HIGH SPEED: $t_{PD} = 4 \text{ ns}$ (TYP.) at $V_{CC} = 5V$
- LOW POWER DISSIPATION:
 $I_{CC} = 4 \mu A$ (MAX.) at $T_A = 25^\circ C$
- HIGH NOISE IMMUNITY:
 $V_{NIH} = V_{NIL} = 28\% V_{CC}$ (MIN.)
- 50Ω TRANSMISSION LINE DRIVING CAPABILITY
- SYMMETRICAL OUTPUT IMPEDANCE:
 $|I_{OH}| = I_{OL} = 24 \text{ mA}$ (MIN)
- BALANCED PROPAGATION DELAYS:
 $t_{PLH} \cong t_{PHL}$
- OPERATING VOLTAGE RANGE:
 V_{CC} (OPR) = 2V to 6V
- PIN AND FUNCTION COMPATIBLE WITH 74 SERIES 08
- IMPROVED LATCH-UP IMMUNITY

DESCRIPTION

The AC08 is an advanced high-speed CMOS QUAD 2-INPUT AND GATE fabricated with sub-micron silicon gate and double-layer metal

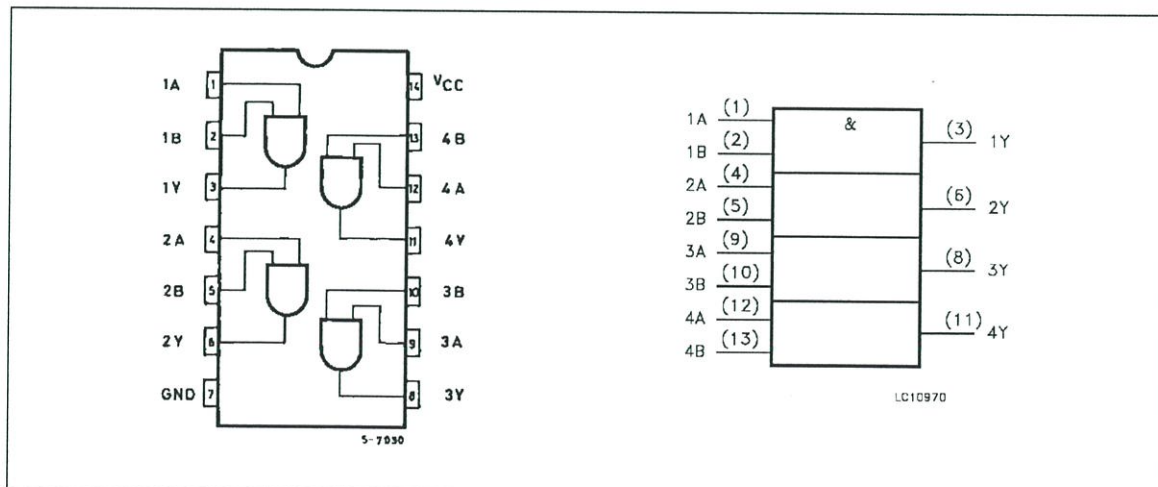


wiring C²MOS technology. It is ideal for low power applications maintaining high speed operation similar to equivalent Bipolar Schottky TTL.

The internal circuit is composed of 2 stages including buffer output, which enables high noise immunity and stable output.

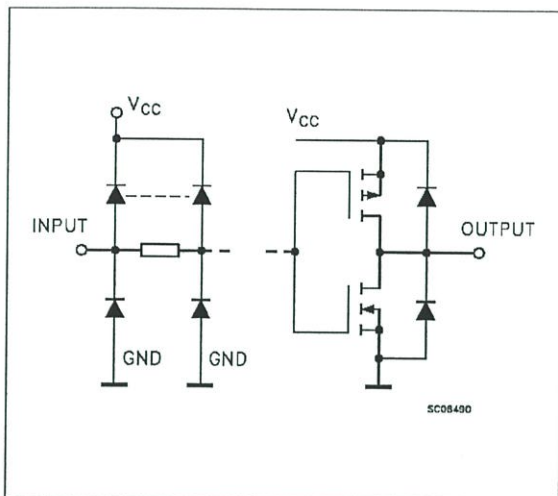
All inputs and outputs are equipped with protection circuits against static discharge, giving them 2KV ESD immunity and transient excess voltage.

PIN CONNECTION AND IEC LOGIC SYMBOLS



74AC08

INPUT AND OUTPUT EQUIVALENT CIRCUIT



PIN DESCRIPTION

PIN No	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
1, 4, 9, 12	1A to 4A	Data Inputs
2, 5, 10, 13	1B to 4B	Data Inputs
3, 6, 8, 11	1Y to 4Y	Data Outputs
7	GND	Ground (0V)
14	V _{CC}	Positive Supply Voltage

TRUTH TABLE

A	B	Y
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	-0.5 to +7	V
V _I	DC Input Voltage	-0.5 to V _{CC} + 0.5	V
V _O	DC Output Voltage	-0.5 to V _{CC} + 0.5	V
I _{IK}	DC Input Diode Current	± 20	mA
I _{OK}	DC Output Diode Current	± 20	mA
I _O	DC Output Current	± 50	mA
I _{CC} or I _{GND}	DC V _{CC} or Ground Current	± 200	mA
T _{stg}	Storage Temperature	-65 to +150	°C
T _L	Lead Temperature (10 sec)	300	°C

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	2 to 6	V
V _I	Input Voltage	0 to V _{CC}	V
V _O	Output Voltage	0 to V _{CC}	V
T _{op}	Operating Temperature:	-40 to +85	°C
dt/dv	Input Rise and Fall Time V _{CC} = 3.0, 4.5 or 5.5 V(note 1)	8	ns/V

1) V_{IN} from 30% to 70% of V_{CC}

DC SPECIFICATIONS

Symbol	Parameter	Test Conditions		Value					Unit	
				V _{CC} (V)	T _A = 25 °C			-40 to 85 °C		
					Min.	Typ.	Max.	Min.		Max.
V _{IH}	High Level Input Voltage	3.0	V _O = 0.1 V or V _{CC} - 0.1 V	2.1	1.5		2.1		V	
		4.5		3.15	2.25		3.15			
		5.5		3.85	2.75		3.85			
V _{IL}	Low Level Input Voltage	3.0	V _O = 0.1 V or V _{CC} - 0.1 V		1.5	0.9		0.9	V	
		4.5			2.25	1.35		1.35		
		5.5			2.75	1.65		1.65		
V _{OH}	High Level Output Voltage	3.0	V _I (*) = V _{IH} or V _{IL}	I _O = -50 μA	2.9	2.99		2.9	V	
		4.5		I _O = -50 μA	4.4	4.49		4.4		
		5.5		I _O = -50 μA	5.4	5.49		5.4		
		3.0		I _O = -12 mA	2.56			2.46		
		4.5		I _O = -24 mA	3.86			3.76		
		5.5		I _O = -24 mA	4.86			4.76		
V _{OL}	Low Level Output Voltage	3.0	V _I (*) = V _{IH} or V _{IL}	I _O = 50 μA		0.002	0.1		V	
		4.5		I _O = 50 μA		0.001	0.1			0.1
		5.5		I _O = 50 μA		0.001	0.1			0.1
		3.0		I _O = 12 mA			0.36			0.44
		4.5		I _O = 24 mA			0.36			0.44
		5.5		I _O = 24 mA			0.36			0.44
I _I	Input Leakage Current	5.5	V _I = V _{CC} or GND			±0.1		±1	μA	
I _{CC}	Quiescent Supply Current	5.5	V _I = V _{CC} or GND			4		40	μA	
I _{OLD}	Dynamic Output Current (note 1, 2)	5.5	V _{OLD} = 1.65 V max					75	mA	
I _{OHD}			V _{OHD} = 3.85 V min					-75	mA	

1) Maximum test duration 2ms, one output loaded at time

2) Incident wave switching is guaranteed on transmission lines with impedances as low as 50 Ω.

(*) All outputs loaded.

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (C_L = 50 pF, R_L = 500 Ω, Input t_r = t_f = 3 ns)

Symbol	Parameter	Test Condition		Value					Unit	
				V _{CC} (V)	T _A = 25 °C			-40 to 85 °C		
					Min.	Typ.	Max.	Min.		Max.
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay Time	3.3(*)		1.5	5	9	1	10	ns	
		5.0(**)		1.5	4	7	1	8		

(*) Voltage range is 3.3V ± 0.3V

(**) Voltage range is 5V ± 0.5V

CAPACITIVE CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	Test Conditions		Value					Unit	
				V _{CC} (V)	T _A = 25 °C			-40 to 85 °C		
					Min.	Typ.	Max.	Min.		Max.
C _{IN}	Input Capacitance	5.0			4				pF	
C _{PD}	Power Dissipation Capacitance (note 1)	5.0			27				pF	

1) C_{PD} is defined as the value of the IC's internal equivalent capacitance which is calculated from the operating current consumption without load. (Refer to Test Circuit). Average operating current can be obtained by the following equation. I_{CC(OPR)} = C_{PD} • V_{CC} • f_{IN} + I_{CC(O)} (per circuit)

ภาคผนวก ค
ข้อมูล นอร์เกต



Data sheet acquired from Harris Semiconductor
SCHS125C

CD54HC02, CD74HC02, CD54HCT02, CD74HCT02

March 1998 - Revised September 2003

High-Speed CMOS Logic Quad Two-Input NOR Gate

Features

- Buffered Inputs
- Typical Propagation Delay: 7ns at $V_{CC} = 5V$, $C_L = 15pF$, $T_A = 25^\circ C$
- Fanout (Over Temperature Range)
 - Standard Outputs 10 LSTTL Loads
 - Bus Driver Outputs 15 LSTTL Loads
- Wide Operating Temperature Range . . . $-55^\circ C$ to $125^\circ C$
- Balanced Propagation Delay and Transition Times
- Significant Power Reduction Compared to LSTTL Logic ICs
- HC Types
 - 2V to 6V Operation
 - High Noise Immunity: $N_{IL} = 30\%$, $N_{IH} = 30\%$ of V_{CC} at $V_{CC} = 5V$
- HCT Types
 - 4.5V to 5.5V Operation
 - Direct LSTTL Input Logic Compatibility, $V_{IL} = 0.8V$ (Max), $V_{IH} = 2V$ (Min)
 - CMOS Input Compatibility, $I_I \leq 1\mu A$ at V_{OL} , V_{OH}

Description

The 'HC02 and 'HCT02 logic gates utilize silicon-gate CMOS technology to achieve operating speeds similar to LSTTL gates with the low power consumption of standard CMOS integrated circuits. All devices have the ability to drive 10 LSTTL loads. The HCT logic family is functionally pin compatible with the standard LS logic family.

Ordering Information

PART NUMBER	TEMP. RANGE ($^\circ C$)	PACKAGE
CD54HC02F3A	-55 to 125	14 Ld CERDIP
CD54HCT02F3A	-55 to 125	14 Ld CERDIP
CD74HC02E	-55 to 125	14 Ld PDIP
CD74HC02M	-55 to 125	14 Ld SOIC
CD74HC02MT	-55 to 125	14 Ld SOIC
CD74HC02M96	-55 to 125	14 Ld SOIC
CD74HCT02E	-55 to 125	14 Ld PDIP
CD74HCT02M	-55 to 125	14 Ld SOIC
CD74HCT02MT	-55 to 125	14 Ld SOIC
CD74HCT02M96	-55 to 125	14 Ld SOIC

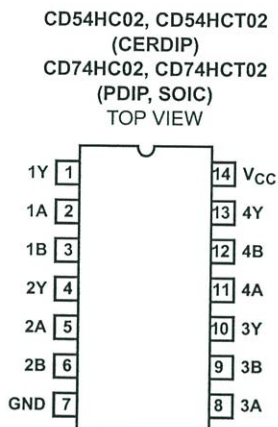
NOTE: When ordering, use the entire part number. The suffix 96 denotes tape and reel. The suffix T denotes a small-quantity reel of 250.

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper IC Handling Procedures.

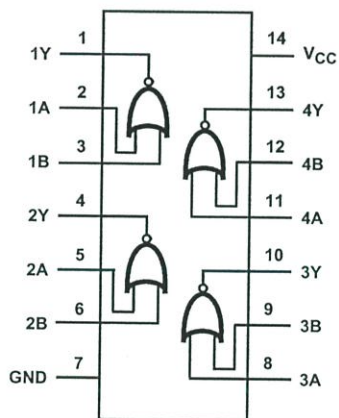
Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

CD54HC02, CD74HC02, CD54HCT02, CD74HCT02

Pinout



Functional Diagram

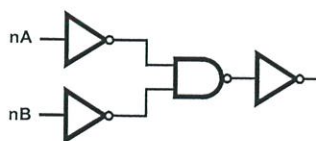


TRUTH TABLE

INPUTS		OUTPUT
nA	nB	nY
L	L	H
L	H	L
H	L	L
H	H	L

H = High Voltage Level, L = Low Voltage Level

Logic Diagram



CD54HC02, CD74HC02, CD54HCT02, CD74HCT02

Absolute Maximum Ratings

DC Supply Voltage, V_{CC}	-0.5V to 7V
DC Input Diode Current, I_{IK}	
For $V_I < -0.5V$ or $V_I > V_{CC} + 0.5V$	$\pm 20mA$
DC Output Diode Current, I_{OK}	
For $V_O < -0.5V$ or $V_O > V_{CC} + 0.5V$	$\pm 20mA$
DC Output Source or Sink Current per Output Pin, I_O	
For $V_O > -0.5V$ or $V_O < V_{CC} + 0.5V$	$\pm 25mA$
DC V_{CC} or Ground Current, I_{CC} or I_{GND}	$\pm 50mA$

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	θ_{JA} ($^{\circ}C/W$)
E (PDIP) Package	80
M (SOIC) Package	86
Maximum Junction Temperature (Hermetic Package or Die)	175 $^{\circ}C$
Maximum Junction Temperature (Plastic Package)	150 $^{\circ}C$
Maximum Storage Temperature Range	-65 $^{\circ}C$ to 150 $^{\circ}C$
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300 $^{\circ}C$
(SOIC - Lead Tips Only)	

Operating Conditions

Temperature Range (T_A)	-55 $^{\circ}C$ to 125 $^{\circ}C$
Supply Voltage Range, V_{CC}	
HC Types	.2V to 6V
HCT Types	4.5V to 5.5V
DC Input or Output Voltage, V_I , V_O	0V to V_{CC}
Input Rise and Fall Time	
2V	1000ns (Max)
4.5V	500ns (Max)
6V	400ns (Max)

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

DC Electrical Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		V_{CC} (V)	25 $^{\circ}C$			-40 $^{\circ}C$ TO 85 $^{\circ}C$		-55 $^{\circ}C$ TO 125 $^{\circ}C$		UNITS
		V_I (V)	I_O (mA)		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
HC TYPES												
High Level Input Voltage	V_{IH}	-	-	2	1.5	-	-	1.5	-	1.5	-	V
				4.5	3.15	-	-	3.15	-	3.15	-	V
				6	4.2	-	-	4.2	-	4.2	-	V
Low Level Input Voltage	V_{IL}	-	-	2	-	-	0.5	-	0.5	-	0.5	V
				4.5	-	-	1.35	-	1.35	-	1.35	V
				6	-	-	1.8	-	1.8	-	1.8	V
High Level Output Voltage CMOS Loads	V_{OH}	V_{IH} or V_{IL}	-0.02	2	1.9	-	-	1.9	-	1.9	-	V
			-0.02	4.5	4.4	-	-	4.4	-	4.4	-	V
			-0.02	6	5.9	-	-	5.9	-	5.9	-	V
High Level Output Voltage TTL Loads	V_{OH}	V_{IH} or V_{IL}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	V
			-4	4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V
			-5.2	6	5.48	-	-	5.34	-	5.2	-	V
Low Level Output Voltage CMOS Loads	V_{OL}	V_{IH} or V_{IL}	0.02	2	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
			0.02	4.5	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
			0.02	6	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
Low Level Output Voltage TTL Loads	V_{OL}	V_{IH} or V_{IL}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	V
			4	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
			5.2	6	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
Input Leakage Current	I_I	V_{CC} or GND	-	6	-	-	± 0.1	-	± 1	-	± 1	μA
Quiescent Device Current	I_{CC}	V_{CC} or GND	0	6	-	-	2	-	20	-	40	μA

CD54HC02, CD74HC02, CD54HCT02, CD74HCT02

DC Electrical Specifications (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		V _{CC} (V)	25°C			-40°C TO 85°C		-55°C TO 125°C		UNITS
		V _I (V)	I _O (mA)		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
HCT TYPES												
High Level Input Voltage	V _{IH}	-	-	4.5 to 5.5	2	-	-	2	-	2	-	V
Low Level Input Voltage	V _{IL}	-	-	4.5 to 5.5	-	-	0.8	-	0.8	-	0.8	V
High Level Output Voltage CMOS Loads	V _{OH}	V _{IH} or V _{IL}	-0.02	4.5	4.4	-	-	4.4	-	4.4	-	V
High Level Output Voltage TTL Loads			-4	4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V
Low Level Output Voltage CMOS Loads	V _{OL}	V _{IH} or V _{IL}	0.02	4.5	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
Low Level Output Voltage TTL Loads			4	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
Input Leakage Current	I _I	V _{CC} and GND	0	5.5	-	-	±0.1	-	±1	-	±1	μA
Quiescent Device Current	I _{CC}	V _{CC} or GND	0	5.5	-	-	2	-	20	-	40	μA
Additional Quiescent Device Current Per Input Pin: 1 Unit Load	ΔI _{CC} (Note 2)	V _{CC} -2.1	-	4.5 to 5.5	-	100	360	-	450	-	490	μA

NOTE:

2. For dual-supply systems theoretical worst case (V_I = 2.4V, V_{CC} = 5.5V) specification is 1.8mA.

HCT Input Loading Table

INPUT	UNIT LOADS
All	1.5

NOTE: Unit Load is ΔI_{CC} limit specified in DC Electrical Table, e.g., 360μA max at 25°C.

Switching Specifications Input t_r, t_f = 6ns

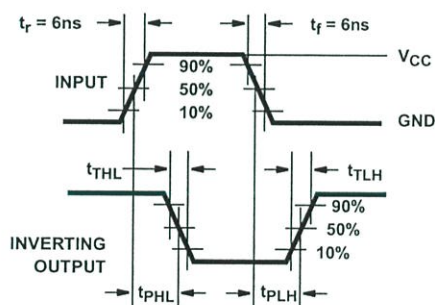
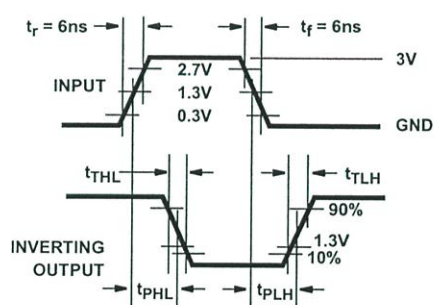
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	V _{CC} (V)	25°C			-40°C TO 85°C		-55°C TO 125°C		UNITS
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
HC TYPES											
Propagation Delay, Input to Output (Figure 1)	t _{PLH} , t _{PHL}	C _L = 50pF	2	-	-	90	-	115	-	135	ns
			4.5	-	-	18	-	23	-	27	ns
			6	-	-	15	-	20	-	23	ns
Propagation Delay, Data Input to Output Y	t _{PLH} , t _{PHL}	C _L = 15pF	5	-	7	-	-	-	-	ns	
Transition Times (Figure 1)	t _{TLH} , t _{THL}	C _L = 50pF	2	-	-	75	-	95	-	110	ns
			4.5	-	-	15	-	19	-	22	ns
			6	-	-	13	-	16	-	19	ns
Input Capacitance	C _{IN}	-	-	-	-	10	-	10	-	10	pF

CD54HC02, CD74HC02, CD54HCT, CD74HCT02
Switching Specifications Input $t_r, t_f = 6\text{ ns}$ (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	V_{CC} (V)	25°C			-40°C TO 85°C		-55°C TO 125°C		UNITS
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
Power Dissipation Capacitance (Notes 3, 4)	C_{PD}	-	5	-	26	-	-	-	-	-	pF
HCT TYPES											
Propagation Delay, Input to Output (Figure 2)	t_{PLH}, t_{PHL}	$C_L = 50\text{ pF}$	4.5	-	-	21	-	26	-	32	ns
Propagation Delay, Data Input to Output Y	t_{PLH}, t_{PHL}	$C_L = 15\text{ pF}$	5	-	8	-	-	-	-	-	ns
Transition Times (Figure 2)	t_{TLH}, t_{THL}	$C_L = 50\text{ pF}$	4.5	-	-	15	-	19	-	22	ns
Input Capacitance	C_{IN}	-	-	-	-	10	-	10	-	10	pF
Power Dissipation Capacitance (Notes 3, 4)	C_{PD}	-	5	-	26	-	-	-	-	-	pF

NOTES:

- C_{PD} is used to determine the dynamic power consumption, per gate.
- $P_D = V_{CC}^2 f_i (C_{PD} + C_L)$ where f_i = input frequency, C_L = output load capacitance, V_{CC} = supply voltage.

Test Circuits and Waveforms

FIGURE 1. HC AND HCU TRANSITION TIMES AND PROPAGATION DELAY TIMES, COMBINATION LOGIC

FIGURE 2. HCT TRANSITION TIMES AND PROPAGATION DELAY TIMES, COMBINATION LOGIC

ภาคผนวก ง
ข้อมูล ดีฟิลิปฟลอบ



March 1995
Revised February 2005

74LCX74

Low Voltage Dual D-Type Positive Edge-Triggered Flip-Flop with 5V Tolerant Inputs

General Description

The LCX74 is a dual D-type flip-flop with Asynchronous Clear and Set inputs and complementary (Q, \bar{Q}) outputs. Information at the input is transferred to the outputs on the positive edge of the clock pulse. After the Clock Pulse input threshold voltage has been passed, the Data input is locked out and information present will not be transferred to the outputs until the next rising edge of the Clock Pulse input.

Asynchronous Inputs:

LOW input to \bar{S}_D (Set) sets Q to HIGH level

LOW input to \bar{C}_D (Clear) sets Q to LOW level

Clear and Set are independent of clock

Simultaneous LOW on \bar{C}_D and \bar{S}_D makes both Q and \bar{Q} HIGH

Features

- 5V tolerant inputs
- 2.3V–3.6V V_{CC} specifications provided
- 7.0 ns t_{PD} max ($V_{CC} = 3.3V$), 10 μA I_{CC} max
- Power down high impedance inputs and outputs
- ± 24 mA output drive ($V_{CC} = 3.0V$)
- Implements patented noise/EMI reduction circuitry
- Latch-up performance exceeds JEDEC 78 conditions
- ESD performance:
 - Human body model > 2000V
 - Machine model > 200V
- Leadless Pb-Free DQFN package

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
74LCX74M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
74LCX74MX_NL (Note 2)	M14A	Pb-Free 14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
74LCX74SJ	M14D	Pb-Free 14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
74LCX74BQX (Note 1)	MLP014A	Pb-Free 14-Terminal Depopulated Quad Very-Thin Flat Pack No Leads (DQFN), JEDEC MO-241, 2.5 x 3.0mm
74LCX74MTC	MTC14	14-Lead Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP), JEDEC MO-153, 4.4mm Wide
74LCX74MTCX_NL (Note 2)	MTC14	Pb-Free 14-Lead Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP), JEDEC MO-153, 4.4mm Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Pb-Free package per JEDEC J-STD-020B.

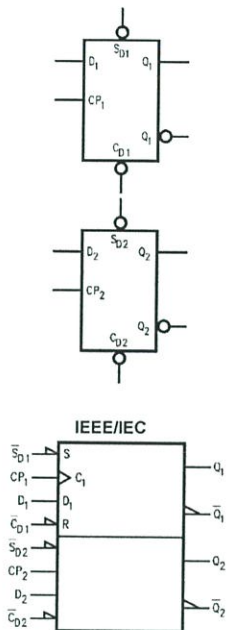
Note 1: DQFN package available in Tape and Reel only.

Note 2: "_NL" indicates Pb-Free package (per JEDEC J-STD-020B). Device available in Tape and Reel only.

74LCX74 Low Voltage Dual D-Type Positive Edge-Triggered Flip-Flop with 5V Tolerant Inputs

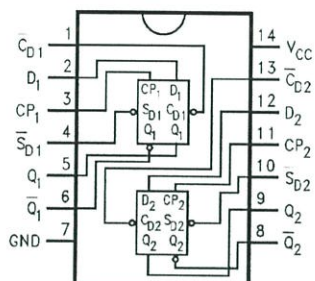
74LCX74

Logic Symbols

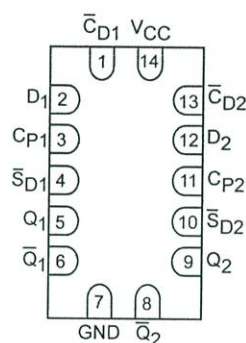


Connection Diagrams

Pin Assignments for SOIC, SOP, and TSSOP



Pad Assignment for DQFN



(Top View)

Pin Descriptions

Pin Names	Description
D ₁ , D ₂	Data Inputs
CP ₁ , CP ₂	Clock Pulse Inputs
C _{D1} , C _{D2}	Direct Clear Inputs
S _{D1} , S _{D2}	Direct Set Inputs
Q ₁ , Q ₁ [̄] , Q ₂ , Q ₂ [̄]	Outputs

Truth Table

(Each Half)

Inputs				Outputs	
S _D [̄]	C _D [̄]	CP	D	Q	Q [̄]
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H	H
H	H	↗	H	H	L
H	H	↗	L	L	H
H	H	L	X	Q ₀	Q ₀ [̄]

H = HIGH Voltage Level
 L = LOW Voltage Level
 X = Immaterial
 ↗ = LOW-to-HIGH Clock Transition
 Q₀(Q₀[̄]) = Previous Q(Q[̄]) before LOW-to-HIGH Transition of Clock

Absolute Maximum Ratings (Note 3)					
Symbol	Parameter	Value	Conditions	Units	
V_{CC}	Supply Voltage	-0.5 to +7.0		V	
V_I	DC Input Voltage	-0.5 to +7.0		V	
V_O	DC Output Voltage	-0.5 to $V_{CC} + 0.5$	Output in HIGH or LOW State (Note 4)	V	
I_{IK}	DC Input Diode Current	-50	$V_I < GND$	mA	
I_{OK}	DC Output Diode Current	-50	$V_O < GND$	mA	
		+50	$V_O > V_{CC}$	mA	
I_O	DC Output Source/Sink Current	± 50		mA	
I_{CC}	DC Supply Current per Supply Pin	± 100		mA	
I_{GND}	DC Ground Current per Ground Pin	± 100		mA	
T_{STG}	Storage Temperature	-65 to +150		°C	

Recommended Operating Conditions (Note 4)						
Symbol	Parameter	Min	Max	Units		
V_{CC}	Supply Voltage	Operating	2.0	3.6	V	
		Data Retention	1.5	3.6	V	
V_I	Input Voltage	0	5.5	V		
V_O	Output Voltage	HIGH or LOW State	0	V_{CC}	V	
I_{OH}/I_{OL}	Output Current	$V_{CC} = 3.0V - 3.6V$		± 24	mA	
		$V_{CC} = 2.7V - 3.0V$		± 12	mA	
		$V_{CC} = 2.3V - 2.7V$		± 8	mA	
T_A	Free-Air Operating Temperature	-40	85	°C		
$\Delta t/\Delta V$	Input Edge Rate, $V_{IN} = 0.8V - 2.0V$, $V_{CC} = 3.0V$	0	10	ns/V		

Note 3: The Absolute Maximum Ratings are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the Absolute Maximum Ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Note 4: I_O Absolute Maximum Rating must be observed.

Note 5: Unused inputs must be held HIGH or LOW. They may not float.

DC Electrical Characteristics

Symbol	Parameter	Conditions	V_{CC} (V)	$T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$		Units
				Min	Max	
V_{IH}	HIGH Level Input Voltage		2.3 - 2.7	1.7		V
			2.7 - 3.6	2.0		
V_{IL}	LOW Level Input Voltage		2.3 - 2.7		0.7	V
			2.3 - 3.6		0.8	
V_{OH}	HIGH Level Output Voltage	$I_{OH} = -100\mu A$	2.3 - 3.6	$V_{CC} - 0.2$		V
		$I_{OH} = -8\text{ mA}$	2.3	1.8		
		$I_{OH} = -12\text{ mA}$	2.7	2.2		
		$I_{OH} = -18\text{ mA}$	3.0	2.4		
		$I_{OH} = -24\text{ mA}$	3.0	2.2		
V_{OL}	LOW Level Output Voltage	$I_{OL} = 100\mu A$	2.3 - 3.6		0.2	V
		$I_{OL} = 8\text{ mA}$	2.3		0.6	
		$I_{OL} = 12\text{ mA}$	2.7		0.4	
		$I_{OL} = 16\text{ mA}$	3.0		0.4	
		$I_{OL} = 24\text{ mA}$	3.0		0.55	
I_I	Input Leakage Current	$0 \leq V_I \leq 5.5V$	2.3 - 3.6		± 5.0	μA
I_{OFF}	Power-Off Leakage Current	V_I or $V_O = 5.5V$	0		10	μA
I_{CC}	Quiescent Supply Current	$V_I = V_{CC}$ or GND	2.3 - 3.6		10	μA
		$3.6V \leq V_I \leq 5.5V$	2.3 - 3.6		± 10	
ΔI_{CC}	Increase in I_{CC} per Input	$V_{IH} - V_{CC} - 0.6V$	2.3 - 3.6		500	μA

74LCX74

AC Electrical Characteristics

Symbol	Parameter	$T_A = -40^\circ\text{C to } +85^\circ\text{C}, R_L = 500\Omega$						Units
		$V_{CC} = 3.3V \pm 0.3V$		$V_{CC} = 2.7V$		$V_{CC} = 2.5V \pm 0.2V$		
		$C_L = 50\text{ pF}$		$C_L = 50\text{ pF}$		$C_L = 30\text{ pF}$		
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	
f_{MAX}	Maximum Clock Frequency	150		150		150		MHz
t_{PHL}	Propagation Delay	1.5	7.0	1.5	8.0	1.5	8.4	ns
t_{PLH}	CP_n to Q_n or \overline{Q}_n	1.5	7.0	1.5	8.0	1.5	8.4	
t_{PHL}	Propagation Delay	1.5	7.0	1.5	8.0	1.5	8.4	ns
t_{PLH}	\overline{C}_{Dn} or \overline{S}_{Dn} to Q_n or \overline{Q}_n	1.5	7.0	1.5	8.0	1.5	8.4	
t_S	Setup Time	2.5		2.5		4.0		ns
t_H	Hold Time	1.5		1.5		2.0		ns
t_W	Pulse Width CP	3.3		3.3		4.0		ns
t_W	Pulse Width and $\overline{C}_D, \overline{S}_D$	3.3		3.6		4.0		ns
t_{REC}	Recovery Time	2.5		3.0		4.5		ns
t_{OSHL}	Output to Output Skew		1.0					ns
t_{OSLH}	(Note 6)		1.0					

Note 6: Skew is defined as the absolute value of the difference between the actual propagation delay for any two separate outputs of the same device. The specification applies to any outputs switching in the same direction, either HIGH-to-LOW (t_{OSHL}) or LOW-to-HIGH (t_{OSLH}).

Dynamic Switching Characteristics

Symbol	Parameter	Conditions	V_{CC} (V)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	Unit
				Typical	
V_{OLP}	Quiet Output Dynamic Peak V_{OL}	$C_L = 50\text{ pF}, V_{IH} = 3.3V, V_{IL} = 0V$	3.3	0.8	V
			2.5	0.6	
V_{OLV}	Quiet Output Dynamic Peak V_{OL}	$C_L = 50\text{ pF}, V_{IH} = 3.3V, V_{IL} = 0V$	3.3	-0.8	V
			2.5	-0.6	

Capacitance

Symbol	Parameter	Conditions	Typical	Units
C_{IN}	Input Capacitance	$V_{CC} = \text{Open}, V_I = 0V \text{ or } V_{CC}$	7	pF
C_{OUT}	Output Capacitance	$V_{CC} = 3.3V, V_I = 0V \text{ or } V_{CC}$	8	pF
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance	$V_{CC} = 3.3V, V_I = 0V \text{ or } V_{CC}, f = 10\text{ MHz}$	25	pF

ภาคผนวก จ
ข้อมูล แอนด์เกต 3 อินพุต



August 1986
Revised March 2000

DM74LS11

Triple 3-Input AND Gate

General Description

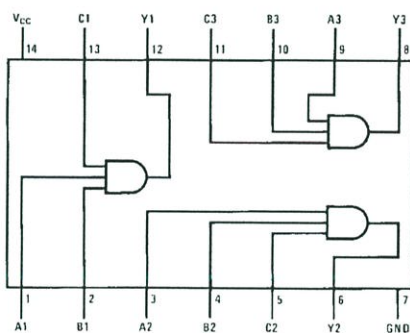
This device contains three independent gates each of which performs the logic AND function.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS11M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
DM74LS11N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter 'X' to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table

$$Y = ABC$$

Inputs			Output
A	B	C	Y
X	X	L	L
X	L	X	L
L	X	X	L
H	H	H	H

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level
X = Either LOW or HIGH Logic Level

DM74LS11 Triple 3-Input AND Gate

Absolute Maximum Ratings(Note 1)

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Nom	Max	Units
V _{CC}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V _{IH}	HIGH Level Input Voltage	2			V
V _{IL}	LOW Level Input Voltage			0.8	V
I _{OH}	HIGH Level Output Current			-0.4	mA
I _{OL}	LOW Level Output Current			8	mA
T _A	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 2)	Max	Units
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = -18 mA			-1.5	V
V _{OH}	HIGH Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OH} = Max V _{IH} = Min	2.7	3.4		V
V _{OL}	LOW Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OL} = Max V _{IL} = Max		0.35	0.5	V
		I _{OL} = 4 mA, V _{CC} = Min		0.25	0.4	
I _I	Input Current @ Max Input Voltage	V _{CC} = Max, V _I = 7V			0.1	mA
I _{IH}	HIGH Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 2.7V			20	μA
I _{IL}	LOW Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 0.4V			-0.36	mA
I _{OS}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max (Note 3)	-20		-100	mA
I _{CCH}	Supply Current with Outputs HIGH	V _{CC} = Max		1.8	3.6	mA
I _{CCL}	Supply Current with Outputs LOW	V _{CC} = Max		3.3	6.6	mA

Note 2: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 3: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

Switching Characteristics

at V_{CC} = 5V and T_A = 25°C

Symbol	Parameter	R _L = 2 kΩ				Units
		C _L = 15 pF		C _L = 50 pF		
		Min	Max	Min	Max	
t _{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	4	13	6	18	ns
t _{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	3	11	5	18	ns

ภาคผนวก ฉ
ข้อมูล แนนด์เกต

DATA SHEET

74LVC00A

Quad 2-input NAND gate

Product specification
Supersedes data of 1997 Aug 11
IC24 Data Handbook

1998 Apr 28



Quad 2-input NAND gate

74LVC00A

FEATURES

- Wide supply range of 1.2V to 3.6V
- Complies with JEDEC standard no. 8-1A
- Inputs accept voltages up to 5.5V
- CMOS low power consumption
- Direct interface with TTL levels
- 5-volt tolerant inputs, for interfacing with 5-volt logic

DESCRIPTION

The 74LVC00A is a high-performance, low power, low-voltage, Si-gate CMOS device and superior to most advanced CMOS compatible TTL families.

Inputs can be driven from either 3.3 V or 5 V devices. This feature allows the use of these devices as translators in a mixed 3.3 V/5 V environment.

Schmitt-trigger action at all inputs makes the circuit tolerant for slower input rise and fall times.

The 74LVC00A provides the 2-input NAND function.

QUICK REFERENCE DATA

GND = 0 V; $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$; $t_r = t_f \leq 2.5 \text{ ns}$

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYPICAL	UNIT
t_{PHL} t_{PLH}	Propagation delay nA, nB to nY	$C_L = 50 \text{ pF}$; $V_{CC} = 3.3 \text{ V}$	3.0	ns
C_I	Input capacitance		5.0	pF
C_{PD}	Power dissipation capacitance per gate	$V_I = \text{GND to } V_{CC}^1$	28	pF

NOTES:

1. C_{PD} is used to determine the dynamic power dissipation (P_D in μW)

$P_D = C_{PD} \times V_{CC}^2 \times f_i + \sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$ where:

f_i = input frequency in MHz; C_L = output load capacity in pF;

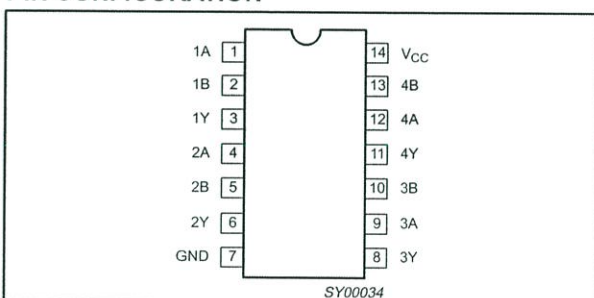
f_o = output frequency in MHz; V_{CC} = supply voltage in V;

$\sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$ = sum of the outputs.

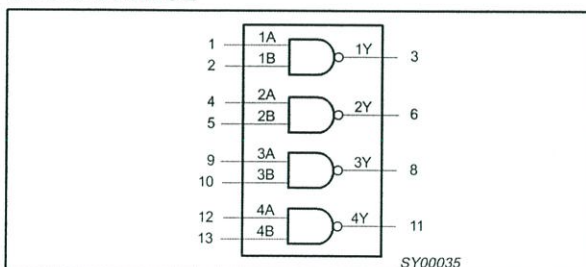
ORDERING INFORMATION

PACKAGES	TEMPERATURE RANGE	OUTSIDE NORTH AMERICA	NORTH AMERICA	DWG NUMBER
14-Pin Plastic SO	-40°C to $+85^{\circ}\text{C}$	74LVC00A D	74LVC00A D	SOT108-1
14-Pin Plastic SSOP Type II	-40°C to $+85^{\circ}\text{C}$	74LVC00A DB	74LVC00A DB	SOT337-1
14-Pin Plastic TSSOP Type I	-40°C to $+85^{\circ}\text{C}$	74LVC00A PW	74LVC00APW DH	SOT402-1

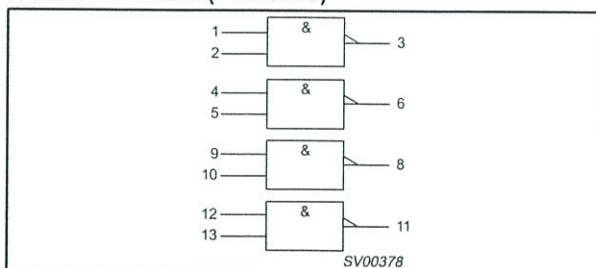
PIN CONFIGURATION



LOGIC SYMBOL



LOGIC SYMBOL (IEEE/IEC)



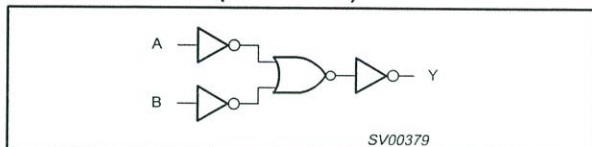
PIN DESCRIPTION

PIN NUMBER	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
1, 4, 9, 12	1A – 4A	Data inputs
2, 5, 10, 13	1B – 4B	
3, 6, 8, 11	1Y – 4Y	Data outputs
7	GND	Ground (0 V)
14	V_{CC}	Positive supply voltage

Quad 2-input NAND gate

74LVC00A

LOGIC DIAGRAM (ONE GATE)



FUNCTION TABLE

INPUTS		OUTPUTS
nA	nB	nY
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

NOTES:

H = HIGH voltage level

L = LOW voltage level

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LIMITS		UNIT
			MIN	MAX	
V_{CC}	DC supply voltage (for max. speed performance)		2.7	3.6	V
V_{CC}	DC supply voltage (for low-voltage applications)		1.2	3.6	V
V_I	DC Input voltage range		0	5.5	V
V_O	DC output voltage range		0	V_{CC}	V
T_{amb}	Operating ambient temperature range in free-air		-40	+85	°C
t_r, t_f	Input rise and fall times	$V_{CC} = 1.2$ to $2.7V$ $V_{CC} = 2.7$ to $3.6V$	0 0	20 10	ns/V

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS¹

Absolute Maximum Rating System (IEC 134)

Voltages are referenced to GND (ground = 0V)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	RATING	UNIT
V_{CC}	DC supply voltage (for max. speed performance)		-0.5 to +6.5	V
I_{IK}	DC input diode current	$V_I < 0$	-50	mA
V_I	DC input voltage	Note 2	-0.5 to +5.5	V
I_{OK}	DC output diode current	$V_O > V_{CC}$ or $V_O < 0$	± 50	mA
V_O	DC output voltage	Note 2	-0.5 to $V_{CC} + 0.5$	V
I_O	DC output source or sink current	$V_O = 0$ to V_{CC}	± 50	mA
I_{GND}, I_{CC}	DC V_{CC} or GND current		± 100	mA
T_{stg}	Storage temperature range		-65 to +150	°C
P_{TOT}	Power dissipation per package - plastic mini-pack (SO) - plastic shrink mini-pack (SSOP and TSSOP)	above +70°C derate linearly with 8 mW/K above +60°C derate linearly with 5.5 mW/K	500 500	mW

NOTES:

- Stresses beyond those listed may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- The input and output voltage ratings may be exceeded if the input and output current ratings are observed.

Quad 2-input NAND gate

74LVC00A

DC CHARACTERISTICS

Over recommended operating conditions voltages are referenced to GND (ground = 0V)

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
			Temp = -40°C to +85°C			
			MIN	TYP ¹	MAX	
V _{IH}	HIGH level Input voltage	V _{CC} = 1.2V	V _{CC}			V
		V _{CC} = 2.7 to 3.6V	2.0			
V _{IL}	LOW level Input voltage	V _{CC} = 1.2V			GND	V
		V _{CC} = 2.7 to 3.6V			0.8	
V _{OH}	HIGH level output voltage	V _{CC} = 2.7V; V _I = V _{IH} or V _{IL} ; I _O = -12mA	V _{CC} - 0.5			V
		V _{CC} = 3.0V; V _I = V _{IH} or V _{IL} ; I _O = -100μA	V _{CC} - 0.2	V _{CC}		
		V _{CC} = 3.0V; V _I = V _{IH} or V _{IL} ; I _O = -18mA	V _{CC} - 0.6			
		V _{CC} = 3.0V; V _I = V _{IH} or V _{IL} ; I _O = -24mA	V _{CC} - 0.8			
V _{OL}	LOW level output voltage	V _{CC} = 2.7V; V _I = V _{IH} or V _{IL} ; I _O = 12mA			0.40	V
		V _{CC} = 3.0V; V _I = V _{IH} or V _{IL} ; I _O = 100μA			0.20	
		V _{CC} = 3.0V; V _I = V _{IH} or V _{IL} ; I _O = 24mA			0.55	
I _I	Input leakage current	V _{CC} = 3.6V; V _I = 5.5V or GND		±0.1	±5	μA
I _{CC}	Quiescent supply current	V _{CC} = 3.6V; V _I = V _{CC} or GND; I _O = 0		0.1	10	μA
ΔI _{CC}	Additional quiescent supply current per input pin	V _{CC} = 2.7V to 3.6V; V _I = V _{CC} - 0.6V; I _O = 0		5	500	μA

NOTES:

1. All typical values are at V_{CC} = 3.3V and T_{amb} = 25°C.

AC CHARACTERISTICS

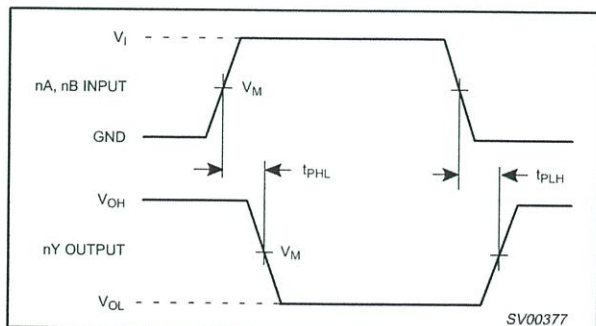
GND = 0 V; t_r = t_f ≤ 2.5 ns; C_L = 50 pF

SYMBOL	PARAMETER	WAVEFORM	LIMITS							UNIT
			V _{CC} = 3.3V ±0.3V			V _{CC} = 2.7V			V _{CC} = 1.2V	
			MIN	TYP ¹	MAX	MIN	TYP	MAX	TYP	
t _{PHL} / t _{PLH}	Propagation delay nA, nB to nY	1, 2	1.5	3.0	5.0	1.5	3.4	5.8	11	ns

NOTE:

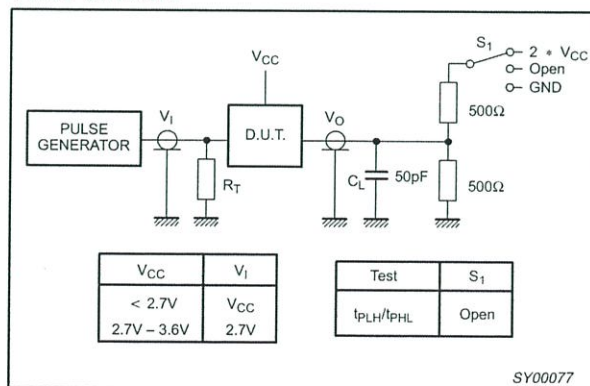
1. These typical values are at V_{CC} = 3.3V and T_{amb} = 25°C.

AC WAVEFORMS

V_M = 1.5 V at V_{CC} ≥ 2.7 VV_M = 0.5 • V_{CC} at V_{CC} < 2.7 VV_{OL} and V_{OH} are the typical output voltage drop that occur with the output load.

Waveform 1. Input (nA) to output (nY) propagation delays.

TEST CIRCUIT



Waveform 2. Load circuitry for switching times.

ภาคผนวก ข
ข้อมูล โขลิตสเตจรีเลย์

ASR01

Features

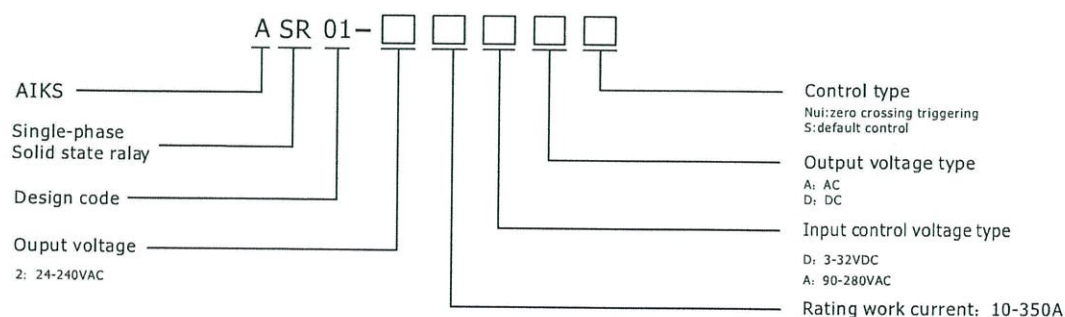
- Max 10-40A switching available
- Two phase AC or DC output, AC or DC input
- Built-in RC resistor, Low on-resistance
- Dielectric strength min: 2500VAC
- With LED, confirm the action



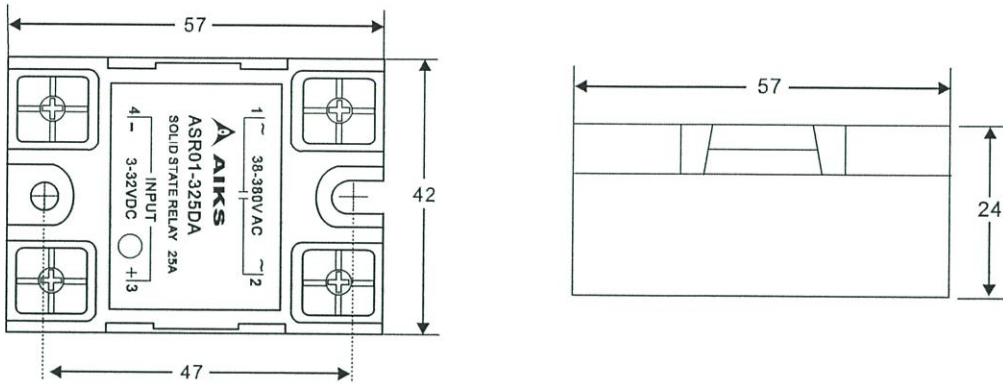
► TECHNICAL PARAMETRIC

Rating work current	10A, 15A, 25A, 40A
Breaths condition the control voltage	< 4.5mA
Input control voltage	DC: 3~32V AC: 90~280V
Work voltage	24-240VAC 38-380VAC
Active status instruction	LED
Guarantees breakover	3VDC 90VAC
Guarantees shutdown voltage	1VDC 20VAC
Ambient temperature	-30℃~80℃
Passes condition the pressuredrop	< 1.5VAC
Control type	Zero crossing triggering
Make-and-break time	DC: < 10uS AC: < 30uS
Arequency range	50/60Hz
Control current	4.5~20mA 2~15mA
Dielectric Strength	AC2500V 1min
Terminal structure	Bolt post

► MODEL DESCRIPTION

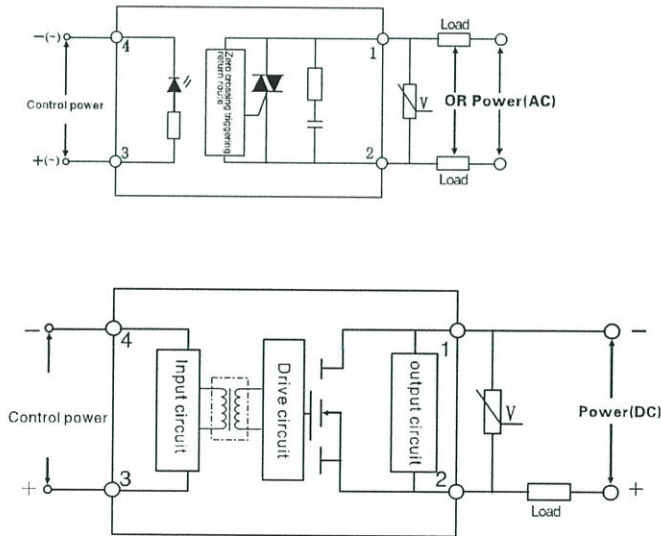


▶ OUTLINE DIMENSION WITH INSTALLATION SIZE Unit: mm



ASR01-DD Series

▶ INTERNAL CIRCUIT CONSTITUTION/WIRING DIAGRAM



ภาคผนวก ซ
ข้อมูล ซีมอส

HEF4066B

Quad single-pole single-throw analog switch

Rev. 8 — 11 September 2014

Product data sheet

1. General description

The HEF4066B provides four single-pole, single-throw analog switch functions. Each switch has two input/output terminals (nY and nZ) and an active HIGH enable input (nE). When nE is LOW, the analog switch is turned off.

The HEF4066B is pin compatible with the HEF4016B but exhibits a much lower ON resistance. In addition the ON resistance is relatively constant over the full input signal range.

2. Features and benefits

- Fully static operation
- 5 V, 10 V, and 15 V parametric ratings
- Standardized symmetrical output characteristics
- Inputs and outputs are protected against electrostatic effects
- Specified from $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Complies with JEDEC standard JESD 13-B

3. Applications

- Analog multiplexing and demultiplexing
- Digital multiplexing and demultiplexing
- Signal gating

4. Ordering information

Table 1. Ordering information

Type number	Package			Version
	Temperature range	Name	Description	
HEF4066BP	$-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$	DIP14	plastic dual in-line package; 14 leads (300 mil)	SOT27-1
HEF4066BT	$-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$	SO14	plastic small outline package; 14 leads; body width 3.9 mm	SOT108-1



5. Functional diagram

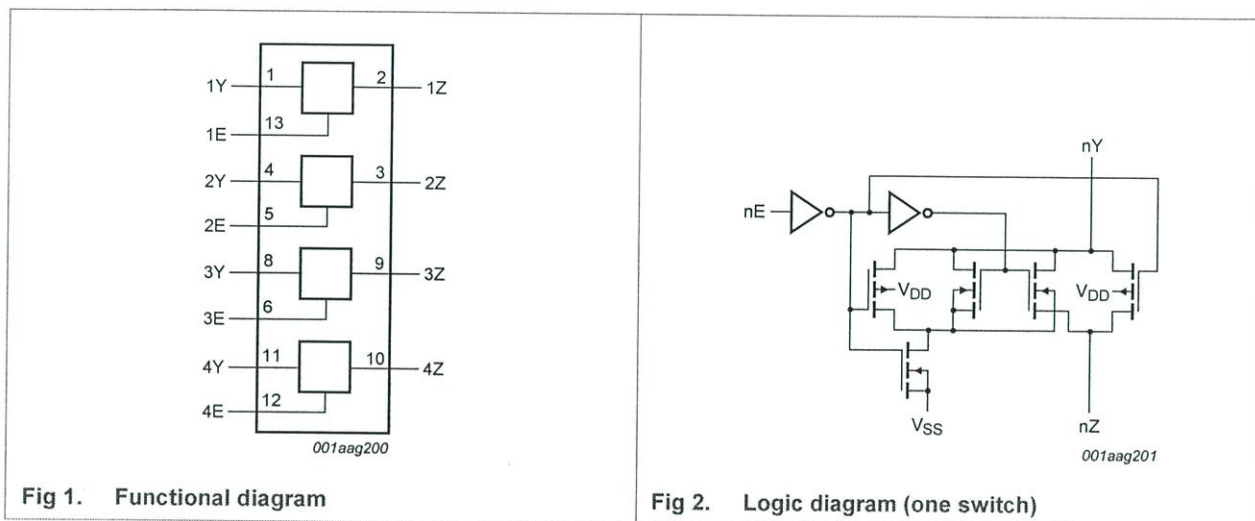


Fig 1. Functional diagram

Fig 2. Logic diagram (one switch)

6. Pinning information

6.1 Pinning

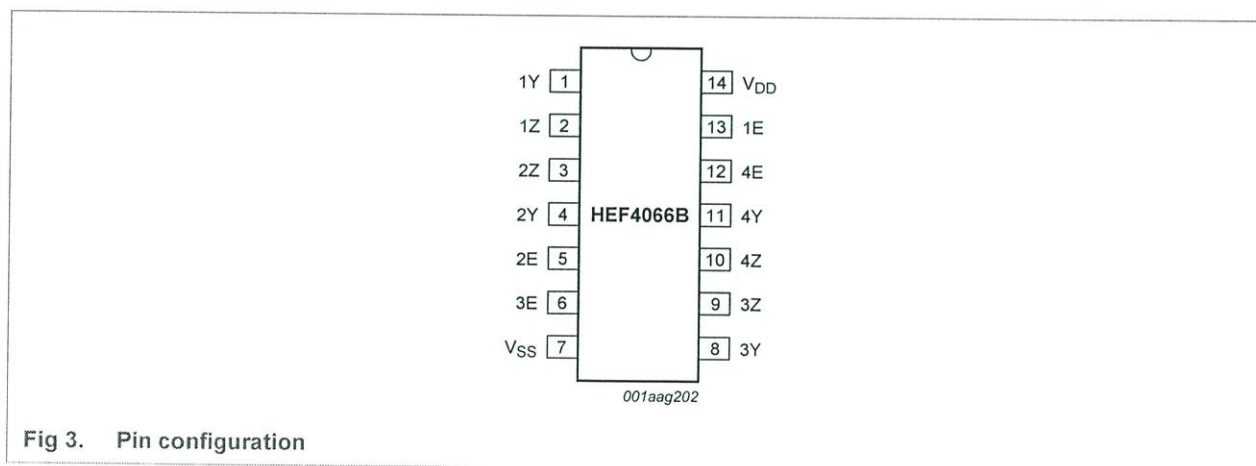


Fig 3. Pin configuration

6.2 Pin description

Table 2. Pin description

Symbol	Pin	Description
1Y, 2Y, 3Y, 4Y	1, 4, 8, 11	independent input or output
1Z, 2Z, 3Z, 4Z	2, 3, 9, 10	independent input or output
1E, 2E, 3E, 4E	13, 5, 6, 12	enable input (active HIGH)
V _{SS}	7	ground (0 V)
V _{DD}	14	supply voltage

7. Functional description

Table 3. Function table^[1]

Input nE	Switch
H	ON
L	OFF

[1] H = HIGH voltage level; L = LOW voltage level.

8. Limiting values

Table 4. Limiting values

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Voltages are referenced to $V_{SS} = 0$ V (ground).

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
V_{DD}	supply voltage		-0.5	+18	V
I_{IK}	input clamping current	$V_I < -0.5$ V or $V_I > V_{DD} + 0.5$ V	-	± 10	mA
V_I	input voltage		-0.5	$V_{DD} + 0.5$	V
$I_{I/O}$	input/output current		^[1] -	± 10	mA
T_{stg}	storage temperature		-65	+150	°C
T_{amb}	ambient temperature		-40	+85	°C
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} = -40$ °C to +85 °C			
		DIP14	^[2] -	750	mW
		SO14	^[3] -	500	mW
P	power dissipation	per switch	-	100	mW

[1] To avoid drawing V_{DD} current out of terminal nZ, when switch current flows into terminals nY, the voltage drop across the bidirectional switch must not exceed 0.4 V. If the switch current flows into terminal nZ, no V_{DD} current will flow out of terminals nY, in this case there is no limit for the voltage drop across the switch, but the voltages at nY and nZ may not exceed V_{DD} or V_{SS} .

[2] For DIP14 packages: above $T_{amb} = 70$ °C, P_{tot} derates linearly with 12 mW/K.

[3] For SO14 packages: above $T_{amb} = 70$ °C, P_{tot} derates linearly with 8 mW/K.

9. Recommended operating conditions

Table 5. Recommended operating conditions

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{DD}	supply voltage		3	-	15	V
V_I	input voltage		0	-	V_{DD}	V
T_{amb}	ambient temperature	in free air	-40	-	+125	°C
$\Delta t/\Delta V$	input transition rise and fall rate	$V_{DD} = 5$ V	-	-	3.75	$\mu\text{s/V}$
		$V_{DD} = 10$ V	-	-	0.5	$\mu\text{s/V}$
		$V_{DD} = 15$ V	-	-	0.08	$\mu\text{s/V}$

10. Static characteristics

Table 6. Static characteristics

$V_{SS} = 0\text{ V}$; $V_I = V_{SS}$ or V_{DD} unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	V_{DD}	$T_{amb} = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$		$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		$T_{amb} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$		$T_{amb} = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$		Unit
				Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
V_{IH}	HIGH-level input voltage	$ I_O < 1\text{ }\mu\text{A}$	5 V	3.5	-	3.5	-	3.5	-	3.5	-	V
			10 V	7.0	-	7.0	-	7.0	-	7.0	-	V
			15 V	11.0	-	11.0	-	11.0	-	11.0	-	V
V_{IL}	LOW-level input voltage	$ I_O < 1\text{ }\mu\text{A}$	5 V	-	1.5	-	1.5	-	1.5	-	1.5	V
			10 V	-	3.0	-	3.0	-	3.0	-	3.0	V
			15 V	-	4.0	-	4.0	-	4.0	-	4.0	V
I_I	input leakage current		15 V	-	± 0.1	-	± 0.1	-	± 1.0	-	± 1.0	μA
$I_{S(OFF)}$	OFF-state leakage current	per channel; see Figure 4	15 V	-	-	-	200	-	-	-	-	nA
I_{DD}	supply current	all valid input combinations	5 V	-	1.0	-	1.0	-	7.5	-	7.5	μA
			10 V	-	2.0	-	2.0	-	15.0	-	15.0	μA
			15 V	-	4.0	-	4.0	-	30.0	-	30.0	μA
C_I	input capacitance	nE input	-	-	-	-	7.5	-	-	-	-	pF

10.1 Test circuit

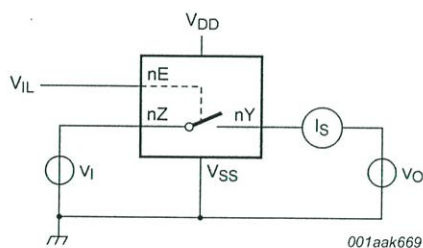


Fig 4. Test circuit for measuring OFF-state leakage current

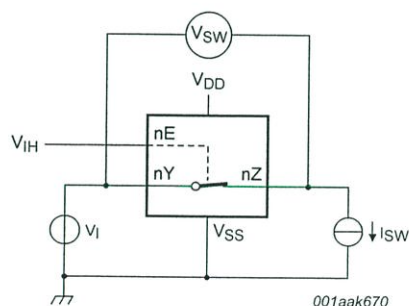
10.2 ON resistance

Table 7. ON resistance

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $I_{SW} = 200\text{ }\mu\text{A}$; $V_{SS} = 0\text{ V}$.

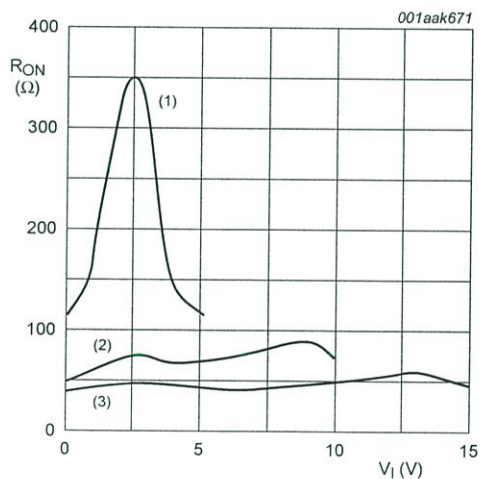
Symbol	Parameter	Conditions	V_{DD}	Typ	Max	Unit
$R_{ON(\text{peak})}$	ON resistance (peak)	$V_I = 0\text{ V}$ to V_{DD} ; see Figure 5 and Figure 6	5 V	350	2500	Ω
			10 V	80	245	Ω
			15 V	60	175	Ω
$R_{ON(\text{rail})}$	ON resistance (rail)	$V_I = 0\text{ V}$; see Figure 5 and Figure 6	5 V	115	340	Ω
			10 V	50	160	Ω
			15 V	40	115	Ω
		$V_I = V_{DD}$; see Figure 5 and Figure 6	5 V	120	365	Ω
			10 V	65	200	Ω
			15 V	50	155	Ω
ΔR_{ON}	ON resistance mismatch between channels	$V_I = 0\text{ V}$ to V_{DD} ; see Figure 5	5 V	25	-	Ω
			10 V	10	-	Ω
			15 V	5	-	Ω

10.2.1 ON resistance waveform and test circuit



$$R_{ON} = V_{SW} / I_{SW}$$

Fig 5. Test circuit for measuring R_{ON}



$I_{SW} = 200\text{ }\mu\text{A}$.

- (1) $V_{DD} = 5\text{ V}$
- (2) $V_{DD} = 10\text{ V}$
- (3) $V_{DD} = 15\text{ V}$

Fig 6. Typical R_{ON} as a function of input voltage

11. Dynamic characteristics

Table 8. Dynamic characteristics

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V_{SS} = 0\text{ V}$; for test circuit see [Figure 9](#).

Symbol	Parameter	Conditions	V_{DD}	Typ	Max	Unit
t_{PHL}	HIGH to LOW propagation delay	nY, nZ to nZ, nY; see Figure 7	5 V	10	20	ns
			10 V	5	10	ns
			15 V	5	10	ns
		nY, nZ to nZ, nY; see Figure 7	5 V	10	20	ns
			10 V	5	10	ns
			15 V	5	10	ns
t_{PHZ}	HIGH to OFF-state propagation delay	nE to nY, nZ; see Figure 8	5 V	80	160	ns
			10 V	65	130	ns
			15 V	60	120	ns
t_{PZH}	OFF-state to HIGH propagation delay	nE to nY, nZ; see Figure 8	5 V	40	80	ns
			10 V	20	40	ns
			15 V	15	30	ns
t_{PLZ}	LOW to OFF-state propagation delay	nE to nY, nZ; see Figure 8	5 V	80	160	ns
			10 V	70	140	ns
			15 V	70	140	ns
t_{PZL}	OFF-state to LOW propagation delay	nE to nY, nZ; see Figure 8	5 V	45	90	ns
			10 V	20	40	ns
			15 V	15	30	ns

Table 9. Dynamic power dissipation P_D

P_D can be calculated from the formulas shown; $V_{SS} = 0\text{ V}$; $t_r = t_f \leq 20\text{ ns}$; $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Symbol	Parameter	V_{DD}	Typical formula for P_D (μW)	where:
P_D	dynamic power dissipation	5 V	$P_D = 2500 \times f_i + \Sigma(f_o \times C_L) \times V_{DD}^2$	f_i = input frequency in MHz; f_o = output frequency in MHz; C_L = output load capacitance in pF; V_{DD} = supply voltage in V; $\Sigma(C_L \times f_o)$ = sum of the outputs.
		10 V	$P_D = 11500 \times f_i + \Sigma(f_o \times C_L) \times V_{DD}^2$	
		15 V	$P_D = 29000 \times f_i + \Sigma(f_o \times C_L) \times V_{DD}^2$	

ภาคผนวก ฅ
ข้อมูล เนกกาทีฟ โวลเตจ เรกกูเรเตอร์



L7900 series

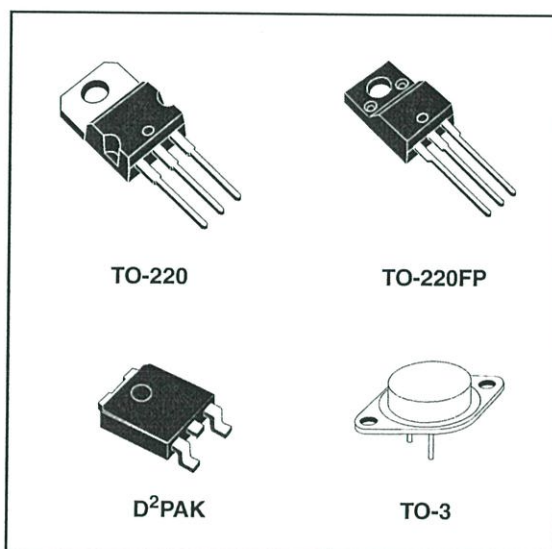
Negative voltage regulators

Feature summary

- Output current up to 1.5A
- Output voltages of -5; -6; -8; -12; -15; -18; -20; -24V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection

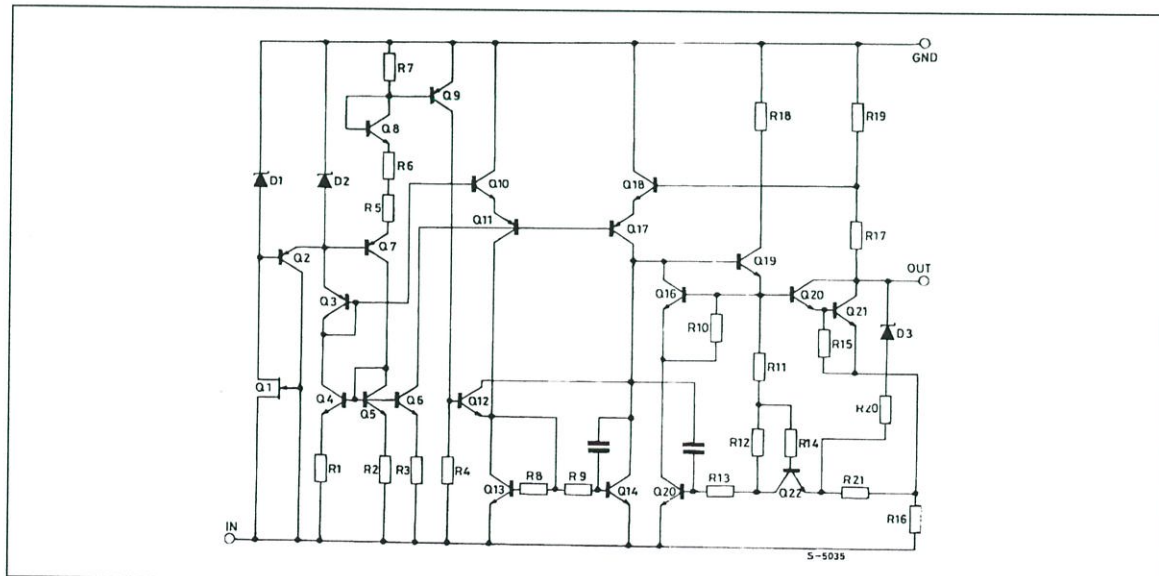
Description

The L7900 series of three-terminal negative regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-3 and D²PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation; furthermore, having the same voltage option as the L7800 positive standard series, they are particularly suited for split power supplies. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1.5A output current.



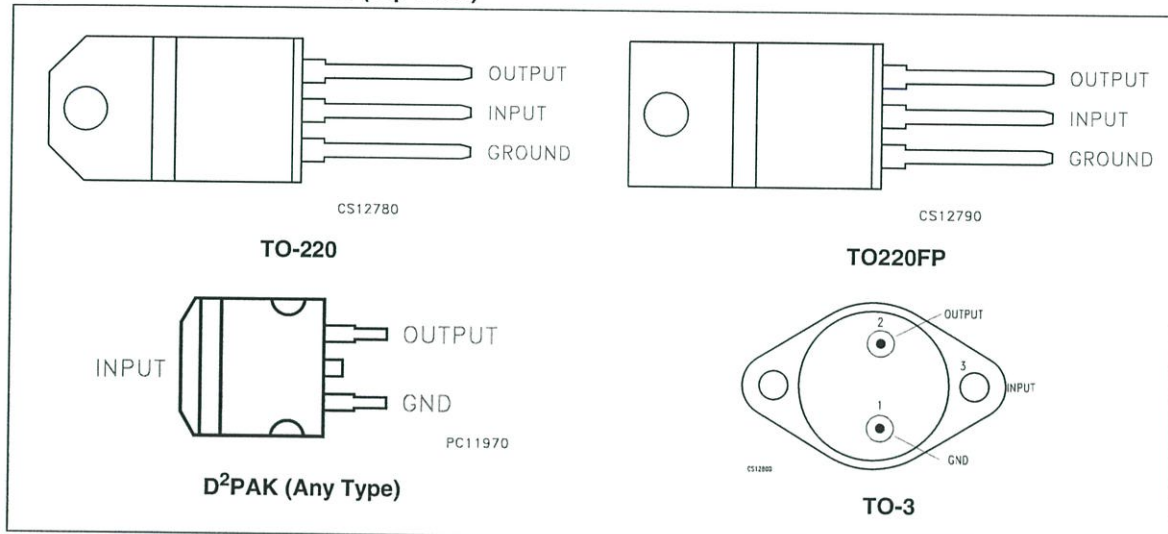
Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

Schematic diagram



1 Pin configuration

Figure 1. Pin connections (top view)



2 Maximum ratings

Table 1. Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	DC Input voltage	for $V_O= 5$ to 18V	-35	V
		for $V_O= 20, 24$ V	-40	
I_O	Output current		Internally Limited	
P_D	Power dissipation		Internally Limited	
T_{STG}	Storage temperature range		-65 to 150	°C
T_{OP}	Operating junction temperature range		0 to 150	°C

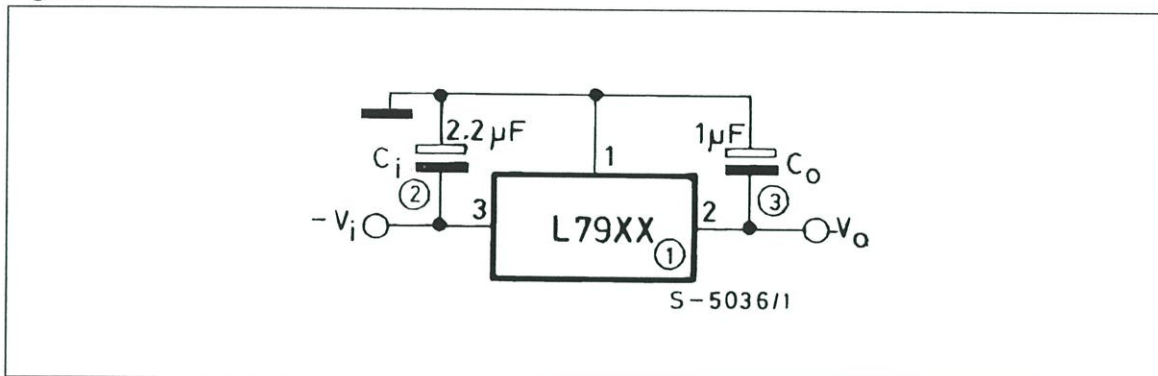
Note: Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied

Table 2. Thermal Data

Symbol	Parameter	D ² PAK	TO-220	TO-220FP	TO-3	Unit
R_{thJC}	Thermal resistance junction-case	3	3	5	4	°C/W
R_{thJA}	Thermal resistance junction-ambient	62.5	50	60	35	°C/W

3 Test circuit

Figure 2. Test circuit



4 Electrical characteristics

Table 3. Electrical characteristics of L7905C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -10\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-4.8	-5	-5.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -8\text{ to } -20\text{ V}$	-4.75	-5	-5.25	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -7\text{ to } -25\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$V_I = -8\text{ to } -12\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			50	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			50	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -8\text{ to } -25\text{ V}$			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.4		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		100		μV
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$, $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.4		V
I_{sc}	Short circuit current			2.1		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 4. Electrical characteristics of L7906C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -11\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-5.75	-6	-6.25	V
V_O	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -9.5\text{ to } -21.5\text{ V}$	-5.7	-6	-6.3	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -8.5\text{ to } -25\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
		$V_I = -9\text{ to } -15\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -9.5\text{ to } -25\text{ V}$			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.6		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		144		μV
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$, $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.4		V
I_{sc}	Short circuit current			2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 5. Electrical characteristics of L7908C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -14\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-7.7	-8	-8.3	V
V_O	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -11.5\text{ to } -23\text{ V}$	-7.6	-8	-8.4	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -10.5\text{ to } -25\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$V_I = -11\text{ to } -17\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -11.5\text{ to } -25\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.6		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		175		μV
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$, $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short circuit current			1.5		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 6. Electrical characteristics of L7912C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -19\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-11.5	-12	-12.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -15.5\text{ to } -27\text{ V}$	-11.4	-12	-12.6	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -14.5\text{ to } -30\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$V_I = -16\text{ to } -22\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -15\text{ to } -30\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		200		μV
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short circuit current			1.5		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 7. Electrical characteristics of L7915C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -23\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-14.4	-15	-15.6	V
V_O	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -18.5\text{ to } -30\text{ V}$	-14.3	-15	-15.7	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -17.5\text{ to } -30\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
		$V_I = -20\text{ to } -26\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -18.5\text{ to } -30\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.9		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		250		μV
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short circuit current			1.3		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 8. Electrical characteristics of L7918C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -27\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-17.3	-18	-18.7	V
V_O	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -22\text{ to } -33\text{ V}$	-17.1	-18	-18.9	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -21\text{ to } -33\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			360	mV
		$V_I = -24\text{ to } -30\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			360	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -22\text{ to } -33\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		300		μV
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short circuit current			1.1		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 9. Electrical characteristics of L7920C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -29\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-19.2	-20	-20.8	V
V_O	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -24\text{ to } -35\text{ V}$	-19	-20	-21	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -23\text{ to } -35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			400	mV
		$V_I = -26\text{ to } -32\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			200	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			400	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			200	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -24\text{ to } -35\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1.1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		350		μV
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short circuit current			0.9		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.



Table 10. Electrical characteristics of L7924C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -33\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-23	-24	-24.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -27\text{ to } -38\text{ V}$	-22.8	-24	-25.2	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -27\text{ to } -38\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			480	mV
		$V_I = -30\text{ to } -36\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			480	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -27\text{ to } -38\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		400		μV
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$, $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short circuit current			1.1		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

ภาคผนวก ญ
ข้อมูล โฟซีทีฟ โวลเตจ เรกกูเรเตอร์

MC7800, MC7800A, NCV7805

1.0 A Positive Voltage Regulators

These voltage regulators are monolithic integrated circuits designed as fixed-voltage regulators for a wide variety of applications including local, on-card regulation. These regulators employ internal current limiting, thermal shutdown, and safe-area compensation. With adequate heatsinking they can deliver output currents in excess of 1.0 A. Although designed primarily as a fixed voltage regulator, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

- Output Current in Excess of 1.0 A
- No External Components Required
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Output Voltage Offered in 2% and 4% Tolerance
- Available in Surface Mount D²PAK-3, DPAK-3 and Standard 3-Lead Transistor Packages
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Site and Control Changes
- Pb-Free Packages are Available

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value			Unit
		369C	221A	936	
Input Voltage (5.0 - 18 V) (24 V)	V_I		35 40		Vdc
Power Dissipation	P_D	Internally Limited			W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	92	65	Figure 14	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	5.0	5.0	5.0	$^\circ\text{C/W}$
Storage Junction Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150			$^\circ\text{C}$
Operating Junction Temperature	T_J	+150			$^\circ\text{C}$

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

*This device series contains ESD protection and exceeds the following tests:
Human Body Model 2000 V per MIL_STD_883, Method 3015.
Machine Model Method 200 V.



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



TO-220-3
T SUFFIX
CASE 221A

Heatsink surface
connected to Pin 2.



Pin 1. Input
2. Ground
3. Output

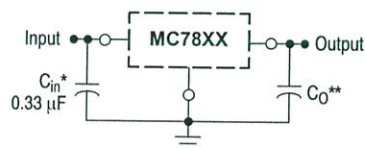
D²PAK-3
D2T SUFFIX
CASE 936

Heatsink surface (shown as terminal 4 in
case outline drawing) is connected to Pin 2.



DPAK-3
DT SUFFIX
CASE 369C

STANDARD APPLICATION



A common ground is required between the input and the output voltages. The input voltage must remain typically 2.0 V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.

XX, These two digits of the type number indicate nominal voltage.

* C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.

** C_O is not needed for stability; however, it does improve transient response. Values of less than 0.1 μF could cause instability.

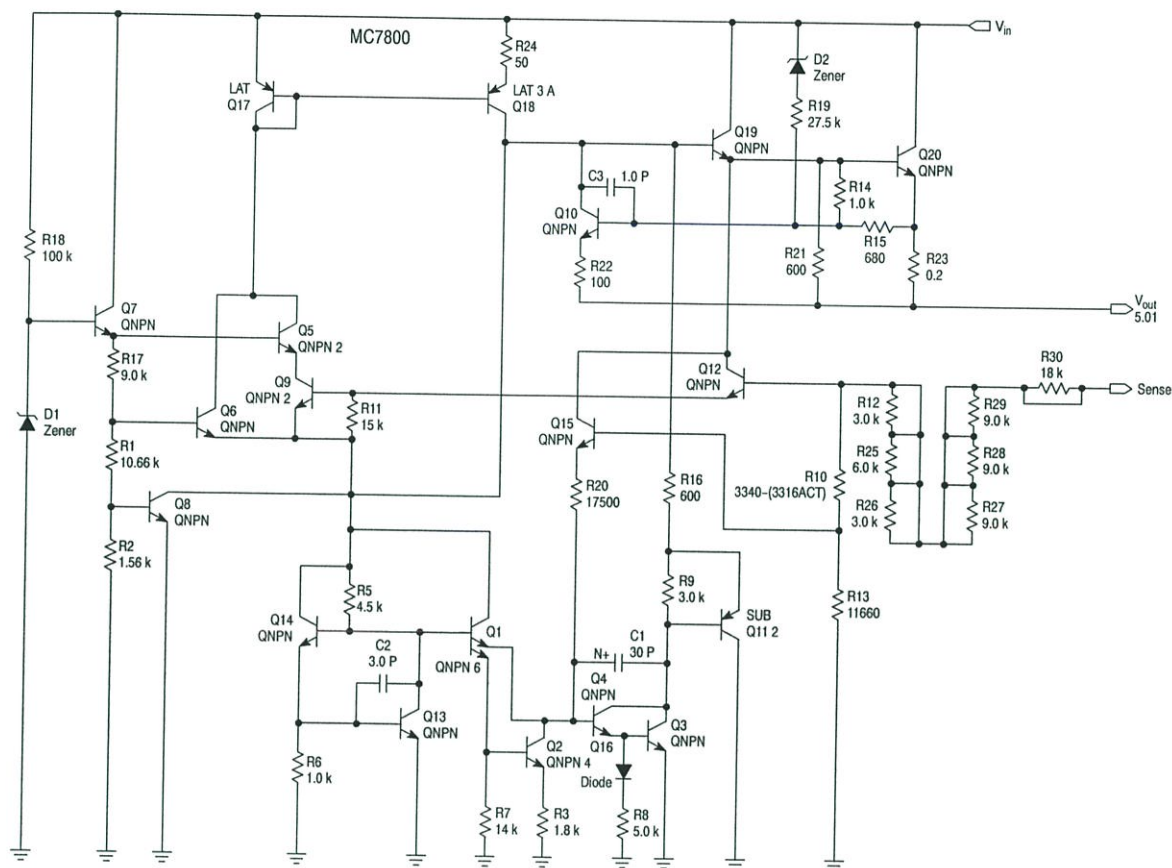
ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 22 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 28 of this data sheet.

MC7800, MC7800A, NCV7805



This device contains 22 active transistors.

Figure 1. Representative Schematic Diagram

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 1), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7805B, NCV7805			MC7805C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	4.8	5.0	5.2	4.8	5.0	5.2	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $7.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$	V_O	- 4.75	- 5.0	- 5.25	4.75 -	5.0 -	5.25 -	Vdc
Line Regulation (Note 4) $7.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$, 1.0 A $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 12\text{ Vdc}$	Reg_{line}	- -	5.0 1.3	100 50	- -	0.5 0.8	20 10	mV
Load Regulation (Note 4) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$ ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	Reg_{load}	- -	1.3 0.15	100 50	- -	1.3 1.3	25 25	mV
Quiescent Current	I_B	-	3.2	8.0	-	3.2	6.5	mA
Quiescent Current Change $7.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	ΔI_B	- -	- -	- 0.5	- -	0.3 0.08	1.0 0.8	mA
Ripple Rejection $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 18\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$	RR	-	68	-	62	83	-	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	-	2.0	-	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	-	10	-	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	-	0.9	-	-	0.9	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{SC}	-	0.2	-	-	0.6	-	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-0.3	-	-	-0.3	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

1. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, NCV7805
 $= -40^\circ\text{C}$ for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

2. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 10\text{ V}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 3), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7805AB/MC7805AC			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	4.9	5.0	5.1	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $7.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$	V_O	4.8	5.0	5.2	Vdc
Line Regulation (Note 4) $7.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 12\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 12\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $7.3\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	Reg _{line}	-	0.5	10	mV
Load Regulation (Note 4) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$	Reg _{load}	-	1.3	25	mV
Quiescent Current	I_B	-	3.2	6.0	mA
Quiescent Current Change $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $7.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	-	0.3	0.8	mA
Ripple Rejection $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 18\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$	RR	68	83	-	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance ($f = 1.0\text{ kHz}$)	r_O	-	0.9	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{sc}	-	0.2	-	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-0.3	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

3. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, NCV7805
 $= -40^\circ\text{C}$ for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

4. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 11\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 5), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7806B			MC7806C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	5.75	6.0	6.25	5.75	6.0	6.25	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$)	V_O							Vdc
8.0 Vdc $\leq V_{in} \leq 21\text{ Vdc}$		-	-	-	5.7	6.0	6.3	
9.0 Vdc $\leq V_{in} \leq 21\text{ Vdc}$		5.7	6.0	6.3	-	-	-	
Line Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 6)	Reg_{line}							mV
8.0 Vdc $\leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$		-	5.5	120	-	0.5	24	
9.0 Vdc $\leq V_{in} \leq 13\text{ Vdc}$		-	1.4	60	-	0.8	12	
Load Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 6)	Reg_{load}							mV
5.0 mA $\leq I_O \leq 1.5\text{ A}$		-	1.3	120	-	1.3	30	
Quiescent Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_B	-	3.3	8.0	-	3.3	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B							mA
8.0 Vdc $\leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$		-	-	-	-	0.3	1.3	
5.0 mA $\leq I_O \leq 1.0\text{ A}$		-	-	0.5	-	0.08	0.5	
Ripple Rejection	RR							dB
9.0 Vdc $\leq V_{in} \leq 19\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$		-	65	-	58	65	-	
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	-	2.0	-	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_n							$\mu\text{V}/V_O$
10 Hz $\leq f \leq 100\text{ kHz}$		-	10	-	-	10	-	
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	-	0.9	-	-	0.9	-	m Ω
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{SC}							A
$V_{in} = 35\text{ Vdc}$		-	0.2	-	-	0.2	-	
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-0.3	-	-	-0.3	-	mV/ $^\circ\text{C}$

5. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, NCV7805
 $= -40^\circ\text{C}$ for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

6. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 11\text{ V}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 7), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7806AC			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	5.88	6.0	6.12	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $8.6\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 21\text{ Vdc}$	V_O	5.76	6.0	6.24	Vdc
Line Regulation (Note 8) $8.6\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $9.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 13\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$	Reg _{line}	-	5.0	12	mV
Load Regulation (Note 8) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$	Reg _{load}	-	1.3	25	mV
Quiescent Current	I_B	-	3.3	6.0	mA
Quiescent Current Change $9.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $9.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 21\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	-	-	0.8	mA
Ripple Rejection $9.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 19\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$	RR	58	65	-	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance ($f = 1.0\text{ kHz}$)	r_O	-	0.9	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{SC}	-	0.2	-	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-0.3	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

7. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, NCV7805
 $= -40^\circ\text{C}$ for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

8. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 14\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 9), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7808B			MC7808C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	7.7	8.0	8.3	7.7	8.0	8.3	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$)	V_O							Vdc
10.5 Vdc $\leq V_{in} \leq 23\text{ Vdc}$		-	-	-	7.6	8.0	8.4	
11.5 Vdc $\leq V_{in} \leq 23\text{ Vdc}$		7.6	8.0	8.4	-	-	-	
Line Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$, (Note 10)	Reg_{line}							mV
10.5 Vdc $\leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$		-	6.0	160	-	6.0	32	
11 Vdc $\leq V_{in} \leq 17\text{ Vdc}$		-	1.7	80	-	1.7	16	
Load Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 10)	Reg_{load}	-	1.4	160	-	1.4	35	mV
5.0 mA $\leq I_O \leq 1.5\text{ A}$								
Quiescent Current	I_B	-	3.3	8.0	-	3.3	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B							mA
10.5 Vdc $\leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$		-	-	-	-	-	1.0	
5.0 mA $\leq I_O \leq 1.0\text{ A}$		-	-	0.5	-	-	0.5	
Ripple Rejection	RR	-	62	-	56	62	-	dB
11.5 Vdc $\leq V_{in} \leq 18\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$								
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	-	2.0	-	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_n	-	10	-	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
10 Hz $\leq f \leq 100\text{ kHz}$								
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	-	0.9	-	-	0.9	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{SC}	-	0.2	-	-	0.2	-	A
$V_{in} = 35\text{ Vdc}$								
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-0.4	-	-	-0.4	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

9. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, NCV7805
 $= -40^\circ\text{C}$ for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

10. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 14\text{ V}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 11), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7808AB/MC7808AC			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	7.84	8.0	8.16	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$ $10.6\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 23\text{ Vdc}$)	V_O	7.7	8.0	8.3	Vdc
Line Regulation (Note 12) $10.6\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $11\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 17\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$ $10.4\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 23\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	Reg _{line}	-	6.0	15	mV
Load Regulation (Note 12) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$	Reg _{load}	-	1.4	25	mV
Quiescent Current	I_B	-	3.3	6.0	mA
Quiescent Current Change $11\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $10.6\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 23\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	-	-	0.8	mA
Ripple Rejection $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 21.5\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$	RR	56	62	-	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	-	0.9	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{sc}	-	0.2	-	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-0.4	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

11. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, NCV7805
 $= -40^\circ\text{C}$ for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

12. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 15\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 13), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7809B			MC7809C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	8.65	9.0	9.35	8.65	9.0	9.35	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 24\text{ Vdc}$	V_O	8.55	9.0	9.45	8.55	9.0	9.45	Vdc
Line Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 14) $11\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 26\text{ Vdc}$ $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 17\text{ Vdc}$	Reg_{line}	-	6.2	32	-	6.2	32	mV
Load Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 14) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$	Reg_{load}	-	1.5	35	-	1.5	35	mV
Quiescent Current	I_B	-	3.4	8.0	-	3.4	8.0	mA
Quiescent Current Change $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 26\text{ Vdc}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	-	-	1.0	-	-	1.0	mA
Ripple Rejection $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 21.5\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$	RR	56	61	-	56	61	-	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	-	2.0	-	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	-	10	-	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	-	1.0	-	-	1.0	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{SC}	-	0.2	-	-	0.2	-	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-0.5	-	-	-0.5	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

13. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, NCV7805
= -40°C for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

14. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 15\text{ V}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 0^\circ\text{C}$ to 125°C , unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7809AC			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	8.82	9.0	9.18	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 24\text{ Vdc}$	V_O	8.65	9.0	9.35	Vdc
Line Regulation (Note 15) $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 26\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $12\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 17\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$ $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 24\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	Regline	-	6.2	16	mV
Load Regulation (Note 15) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$	Regload	-	-	25	mV
Quiescent Current	I_B	-	3.3	6.0	mA
Quiescent Current Change $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 26\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 24\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	-	-	0.8	mA
Ripple Rejection $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 21.5\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$	RR	56	61	-	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{I_VO}		2.0		Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	-	1.0	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{SC}	-	0.2		A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-0.5	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

15. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 19\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 16), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7812B			MC7812C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	11.5	12	12.5	11.5	12	12.5	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$)	V_O							Vdc
14.5 Vdc $\leq V_{in} \leq 27\text{ Vdc}$		-	-	-	11.4	12	12.6	
15.5 Vdc $\leq V_{in} \leq 27\text{ Vdc}$		11.4	12	12.6	-	-	-	
Line Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 17)	Reg_{line}							mV
14.5 Vdc $\leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$		-	7.5	240	-	3.8	24	
16 Vdc $\leq V_{in} \leq 22\text{ Vdc}$		-	2.2	120	-	0.3	24	
14.8 Vdc $\leq V_{in} \leq 27\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$		-	-	-	-	-	48	
Load Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 17)	Reg_{load}	-	1.6	240	-	8.1	60	mV
5.0 mA $\leq I_O \leq 1.5\text{ A}$								
Quiescent Current	I_B	-	3.4	8.0	-	3.4	6.5	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B							mA
14.5 Vdc $\leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		-	-	-	-	-	0.7	
15 Vdc $\leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$		-	-	1.0	-	-	0.8	
5.0 mA $\leq I_O \leq 1.0\text{ A}$		-	-	0.5	-	-	0.5	
Ripple Rejection	RR	-	60	-	55	60	-	dB
15 Vdc $\leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$								
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	-	2.0	-	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_n	-	10	-	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
10 Hz $\leq f \leq 100\text{ kHz}$								
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	-	1.1	-	-	1.1	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{sc}	-	0.2	-	-	0.2	-	A
$V_{in} = 35\text{ Vdc}$								
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-0.8	-	-	-0.8	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

16. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, NCV7805
 $= -40^\circ\text{C}$ for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

17. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 19\text{ V}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 18), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7812AB/MC7812AC			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	11.75	12	12.25	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $14.8\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 27\text{ Vdc}$	V_O	11.5	12	12.5	Vdc
Line Regulation (Note 19) $14.8\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $16\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 22\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$ $14.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 27\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	Reg_{line}	-	3.8	18	mV
Load Regulation (Note 19) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	Reg_{load}	-	-	25	mV
Quiescent Current	I_B	-	3.4	6.0	mA
Quiescent Current Change $15\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $14.8\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 27\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	ΔI_B	-	-	0.8	mA
Ripple Rejection $15\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$	RR	55	60	-	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance ($f = 1.0\text{ kHz}$)	r_O	-	1.1	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{SC}	-	0.2	-	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-0.8	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

18. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, NCV7805
 $= -40^\circ\text{C}$ for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

19. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 20), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7815B			MC7815C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	14.4	15	15.6	14.4	15	15.6	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$)	V_O							Vdc
17.5 Vdc $\leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$		-	-	-	14.25	15	15.75	
18.5 Vdc $\leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$		14.25	15	15.75	-	-	-	
Line Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 21)	Reg_{line}							mV
17.9 Vdc $\leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$		-	8.5	300	-	8.5	30	
20 Vdc $\leq V_{in} \leq 26\text{ Vdc}$		-	3.0	150	-	3.0	28	
Load Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 21)	Reg_{load}	-	1.8	300	-	1.8	55	mV
5.0 mA $\leq I_O \leq 1.5\text{ A}$								
Quiescent Current	I_B	-	3.5	8.0	-	3.5	6.5	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B							mA
17.5 Vdc $\leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$		-	-	-	-	-	0.8	
17.5 Vdc $\leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		-	-	1.0	-	-	0.7	
5.0 mA $\leq I_O \leq 1.0\text{ A}$		-	-	0.5	-	-	0.5	
Ripple Rejection	RR	-	58	-	54	58	-	dB
18.5 Vdc $\leq V_{in} \leq 28.5\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$								
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	-	2.0	-	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_n	-	10	-	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
10 Hz $\leq f \leq 100\text{ kHz}$								
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	-	1.2	-	-	1.2	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{sc}	-	0.2	-	-	0.2	-	A
$V_{in} = 35\text{ Vdc}$								
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-1.0	-	-	-1.0	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

20. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, NCV7805
 = -40°C for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

21. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 23\text{ V}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 22), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7815AB/MC7815AC			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	14.7	15	15.3	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $17.9\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$	V_O	14.4	15	15.6	Vdc
Line Regulation (Note 23) $17.9\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $20\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 26\text{ Vdc}$ $17.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	Reg_{line}	-	8.5	20	mV
Load Regulation (Note 23) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$	Reg_{load}	-	1.8	25	mV
Quiescent Current	I_B	-	3.5	6.0	mA
Quiescent Current Change $17.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $17.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	-	-	0.8	mA
Ripple Rejection $18.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 28.5\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$	RR	60	80	-	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	-	1.2	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{SC}	-	0.2	-	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-1.0	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

22. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, NCV7805
 $= -40^\circ\text{C}$ for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

23. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 27\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 24), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7818B			MC7818C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	17.3	18	18.7	17.3	18	18.7	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$)	V_O							Vdc
21 Vdc $\leq V_{in} \leq 33\text{ Vdc}$		-	-	-	17.1	18	18.9	
22 Vdc $\leq V_{in} \leq 33\text{ Vdc}$		17.1	18	18.9	-	-	-	
Line Regulation, (Note 25)	Reg_{line}							mV
21 Vdc $\leq V_{in} \leq 33\text{ Vdc}$		-	9.5	360	-	9.5	50	
24 Vdc $\leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$		-	3.2	180	-	3.2	25	
Load Regulation, (Note 25)	Reg_{load}							mV
5.0 mA $\leq I_O \leq 1.5\text{ A}$		-	2.0	360	-	2.0	55	
Quiescent Current	I_B	-	3.5	8.0	-	3.5	6.5	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B							mA
21 Vdc $\leq V_{in} \leq 33\text{ Vdc}$		-	-	-	-	-	1.0	
5.0 mA $\leq I_O \leq 1.0\text{ A}$		-	-	0.5	-	-	0.5	
Ripple Rejection	RR							dB
22 Vdc $\leq V_{in} \leq 33\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$		-	57	-	53	57	-	
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_{il} - V_O$	-	2.0	-	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_n							$\mu\text{V}/V_O$
10 Hz $\leq f \leq 100\text{ kHz}$		-	10	-	-	10	-	
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	-	1.3	-	-	1.3	-	m Ω
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{SC}							A
$V_{in} = 35\text{ Vdc}$		-	0.2	-	-	0.2	-	
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-1.5	-	-	-1.5	-	mV/ $^\circ\text{C}$

24. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, NCV7805
 $= -40^\circ\text{C}$ for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

25. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 27\text{ V}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 26), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7818AC			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	17.64	18	18.36	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $21\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 33\text{ Vdc}$	V_O	17.3	18	18.7	Vdc
Line Regulation (Note 27) $21\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 33\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $24\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$ $24\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $20.6\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 33\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	Reg_{line}	-	9.5	22	mV
Load Regulation (Note 27) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$	Reg_{load}	-	2.0	25	mV
Quiescent Current	I_B	-	3.5	6.0	mA
Quiescent Current Change $21\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 33\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $21.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	-	-	0.8	mA
Ripple Rejection $22\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 32\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$	RR	53	57	-	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	-	1.3	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{SC}	-	0.2	-	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-1.5	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

26. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, NCV7805
 $= -40^\circ\text{C}$ for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

27. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 33\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 28), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7824B			MC7824C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	23	24	25	23	24	25	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$)	V_O							Vdc
27 Vdc $\leq V_{in} \leq 38\text{ Vdc}$		-	-	-	22.8	24	25.2	
28 Vdc $\leq V_{in} \leq 38\text{ Vdc}$		22.8	24	25.2	-	-	-	
Line Regulation, (Note 29)	Reg_{line}							mV
27 Vdc $\leq V_{in} \leq 38\text{ Vdc}$		-	11.5	480	-	2.7	60	
30 Vdc $\leq V_{in} \leq 36\text{ Vdc}$		-	3.8	240	-	2.7	48	
Load Regulation, (Note 29)	Reg_{load}							mV
5.0 mA $\leq I_O \leq 1.5\text{ A}$		-	2.1	480	-	4.4	65	
Quiescent Current	I_B	-	3.6	8.0	-	3.6	6.5	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B							mA
27 Vdc $\leq V_{in} \leq 38\text{ Vdc}$		-	-	-	-	-	1.0	
5.0 mA $\leq I_O \leq 1.0\text{ A}$		-	-	0.5	-	-	0.5	
Ripple Rejection	RR							dB
28 Vdc $\leq V_{in} \leq 38\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$		-	54	-	50	54	-	
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	-	2.0	-	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_n							$\mu\text{V}/V_O$
10 Hz $\leq f \leq 100\text{ kHz}$		-	10	-	-	10	-	
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	-	1.4	-	-	1.4	-	m Ω
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{SC}							A
$V_{in} = 35\text{ Vdc}$		-	0.2	-	-	0.2	-	
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-2.0	-	-	-2.0	-	mV/ $^\circ\text{C}$

28. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, NCV7805
 = -40°C for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

29. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, NCV7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 33\text{ V}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 30), unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7824AC			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	23.5	24	24.5	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $27.3\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 38\text{ Vdc}$	V_O	23.2	24	25.8	Vdc
Line Regulation (Note 31) $27\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 38\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $30\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 36\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$ $30\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 36\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $26.7\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 38\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	Reg_{line}	-	11.5 3.8 3.8 10	25 28 12 25	mV
Load Regulation (Note 31) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$	Reg_{load}	-	2.1 2.0 1.8	15 25 15	mV
Quiescent Current	I_B	-	3.6	6.0	mA
Quiescent Current Change $27.3\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 38\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $27\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 38\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	-	-	0.8 0.8 0.5	mA
Ripple Rejection $28\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 38\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$	RR	45	54	-	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	-	2.0	-	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance ($f = 1.0\text{ kHz}$)	r_O	-	1.4	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{sc}	-	0.2	-	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	-	2.2	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	-	-2.0	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

30. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, NCV7805
 $= -40^\circ\text{C}$ for MC78XXB, MC78XXAB, NCV7805

31. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

ภาคผนวก ก
ข้อมูล ออปแอมป์

LM741

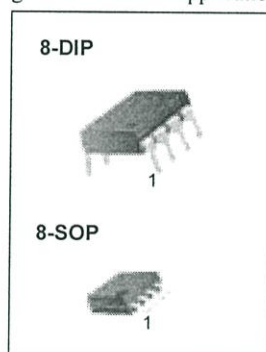
Single Operational Amplifier

Features

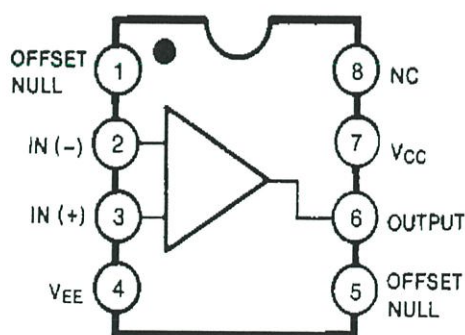
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High Input voltage range
- Null of offset

Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications.

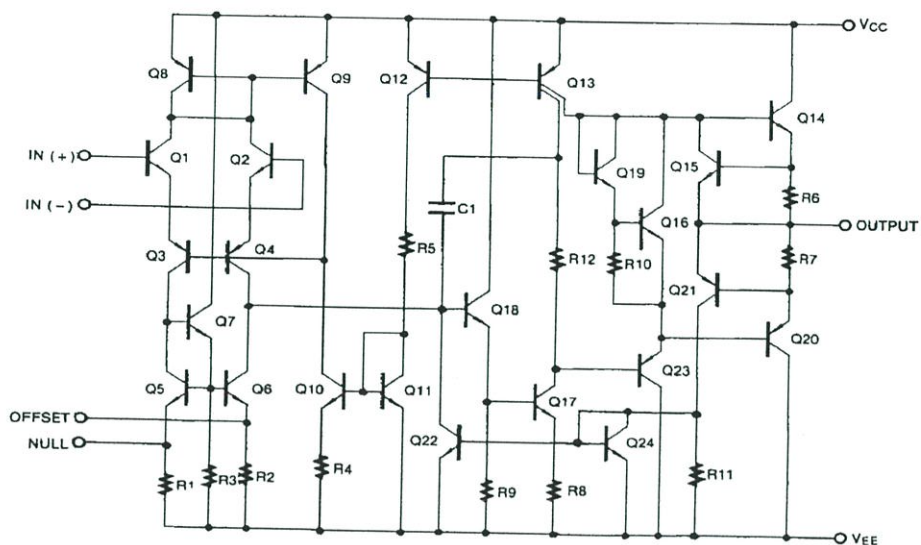


Internal Block Diagram



LM741

Schematic Diagram

Absolute Maximum Ratings ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	± 18	V
Differential Input Voltage	$V_{I(\text{DIFF})}$	30	V
Input Voltage	V_I	± 15	V
Output Short Circuit Duration	-	Indefinite	-
Power Dissipation	P_D	500	mW
Operating Temperature Range LM741C LM741I	T_{OPR}	0 ~ +70 -40 ~ +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter		Symbol	Conditions	LM741C/LM741I			Unit
				Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}		$R_S \leq 10K\Omega$	-	2.0	6.0	mV
			$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	
Input Offset Voltage Adjustment Range	$V_{IO(R)}$		$V_{CC} = \pm 20V$	-	± 15	-	mV
Input Offset Current	I_{IO}		-	-	20	200	nA
Input Bias Current	I_{BIAS}		-	-	80	500	nA
Input Resistance (Note1)	R_I		$V_{CC} = \pm 20V$	0.3	2.0	-	M Ω
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$		-	± 12	± 13	-	V
Large Signal Voltage Gain	G_V	$R_L \geq 2K\Omega$	$V_{CC} = \pm 20V$, $V_{O(P-P)} = \pm 15V$	-	-	-	V/mV
			$V_{CC} = \pm 15V$, $V_{O(P-P)} = \pm 10V$	20	200	-	
Output Short Circuit Current	I_{SC}		-	-	25	-	mA
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20V$	$R_L \geq 10K\Omega$	-	-	-	V
			$R_L \geq 2K\Omega$	-	-	-	
		$V_{CC} = \pm 15V$	$R_L \geq 10K\Omega$	± 12	± 14	-	
			$R_L \geq 2K\Omega$	± 10	± 13	-	
Common Mode Rejection Ratio	CMRR		$R_S \leq 10K\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	70	90	-	dB
			$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	-	-	-	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR		$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$ $R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	dB
			$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$ $R_S \leq 10K\Omega$	77	96	-	
Transient Response	Rise Time	T_R	Unity Gain	-	0.3	-	μs
	Overshoot	OS		-	10	-	%
Bandwidth		BW	-	-	-	-	MHz
Slew Rate		SR	Unity Gain	-	0.5	-	V/ μs
Supply Current		I_{CC}	$R_L = \infty\Omega$	-	1.5	2.8	mA
Power Consumption		P_C	$V_{CC} = \pm 20V$	-	-	-	mW
			$V_{CC} = \pm 15V$	-	50	85	

Note:

1. Guaranteed by design.

LM741

Electrical Characteristics

($0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$ $V_{CC} = \pm 15\text{V}$, unless otherwise specified)

The following specification apply over the range of $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ for the LM741C; and the $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for the LM741I

Parameter	Symbol	Conditions	LM741C/LM741I			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	mV	
		$R_S \leq 10\text{K}\Omega$	-	-	7.5		
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	-	-	-	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	-	300	nA	
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	-	-	-	$\text{nA}/^{\circ}\text{C}$	
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	-	0.8	μA	
Input Resistance (Note1)	R_I	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	-	-	-	$\text{M}\Omega$	
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	± 12	± 13	-	V	
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	$R_S \geq 10\text{K}\Omega$	-	-	-	V
			$R_S \geq 2\text{K}\Omega$	-	-	-	
		$V_{CC} = \pm 15\text{V}$	$R_S \geq 10\text{K}\Omega$	± 12	± 14	-	
			$R_S \geq 2\text{K}\Omega$	± 10	± 13	-	
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-	10	-	40	mA	
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10\text{K}\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	70	90	-	dB	
		$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	-	-	-		
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$ to $\pm 5\text{V}$	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	dB
			$R_S \leq 10\text{K}\Omega$	77	96	-	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$R_S \geq 2\text{K}\Omega$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 15\text{V}$	-	-	-	V/mV
			$V_{CC} = \pm 15\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 10\text{V}$	15	-	-	
			$V_{CC} = \pm 15\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 2\text{V}$	-	-	-	

Note :

1. Guaranteed by design.

ประวัติผู้เขียน



นาย ชิชฌูชา นิรามัย (ชิต) เกิดวันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2534
 ที่อยู่ 239/4 ถ.จามเทวี ต.เวียงเหนือ อ.เมือง จ.ลำปาง 52000
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนลำปางกัลยาณี
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนลำปางกัลยาณี
 Tel.0846114481 E-mail : slawter.chit@gmail.com



นายพิรชัช เวียงนาค (ไตเติ้ล) เกิดวันที่ 9 กันยายน พ.ศ.2535
 ที่อยู่ 149/7 หมู่ 1 ถ.หลังค่ายทหาร ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง 52000
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย
 Tel. 090-8933421 E-mail : yuri_got@hotmail.com



นายพีรพัฒน์ บุญศรี (พีร์) เกิดวันที่ 20 กันยายน 2535
 ที่อยู่ 202(R.709) ซิตีวีว รามคำแหง4 แขวง สวนหลวง เขต สวนหลวง
 กรุงเทพมหานคร 10250
 จบมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนมัธยมบ้านบางกะปิ
 จบมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบดินทรเดชา(สิงห์ สิงหเสนี)2
 Tel. 0868959997 E-mail : pe.boonsri@gmail.com