

ปีการศึกษา 2541

ไอจีบีที อินเวอร์เตอร์ (IGBT INVERTER)



นางสาวนันทนาฏ กฤษณจินดา รหัส 38014236
นายอิพิงค์ แซ่ตั้ง รหัส 38014615
นางสาวอวยพร สุวรรณศิริ ชั้นธ์ รหัส 38014638
นายอิทธิพล ตั้งอารยทรัพย์ รหัส 38014652

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ศุภกิจ ฐตะวิริยะ

เลขหน้.....
เลขทะเบียน..... 34152
วัน, เดือน, ปี..... 6 ต.ค. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ภาคภูมิใจในสิ่งใดทั้งนี้ขอสงวนเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2541

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ไอจีบีทีอินเวอร์เตอร์

ผู้จัดทำ

1. นางสาวนันทนาฏ กฤษณจินดา
2. นายอธิพงษ์ แซ่ตั้ง
3. นางสาวอวยพร สุวรรณศิริจันทร์
4. นายอิทธิพล ตั้งอารยทรัพย์



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ศุภกิจ จุฑะวีริยะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอจีบีที อินเวอร์เตอร์

นันทนาฏ กฤษณจินดา

อริพงษ์ แซ่ตั้ง

อวยพร สุวรรณศิริพันธ์

อิทธิพล ตั้งอารยทรัพย์

ผศ. ศุภกิจ จูตะวิริยะ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบอินเวอร์เตอร์ โดยใช้ไอจีบีทีเป็นอุปกรณ์สวิตชิงและใช้ IR 2113 เป็นตัวขับไอจีบีทีในวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่น ซึ่ง IR 2113 จะรับอินพุทจากการ AND ของสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz และผลของการเปรียบเทียบ ระหว่างผลของการอินทิเกรต สัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 800 Hz และ ผลจากวงจรรักษาระดับแรงดัน โดยใช้วงจรเปรียบเทียบ ซึ่งแรงดันเอาต์พุทที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่นจะนำมายกระดับแรงดันด้วยหม้อแปลง และ นำไปกรองด้วยวงจรกรองสัญญาณ (Filter) จะได้สัญญาณไซน์ (Sine Wave) ที่มีความถี่ 50 Hz ระดับแรงดัน เป็น 220 โวลท์ ขนาดพิกัด 200 VA โดยมีวงจรป้องกันกระแสเกินที่ทำการ OR สัญญาณที่ได้จากค่านปฐมภูมิของหม้อแปลง และสัญญาณที่แสดงระดับแรงดันเบตเตอรี่ ดังนั้นจะสามารถนำอินเวอร์เตอร์นี้ไปประยุกต์ใช้งานเป็น UPS ได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IGBT INVERTER

Nuntanart Krisnachinda

Atipong Saetung

Auyporn Suvankirikhun

Ittipon Thangarayasup

Asst. Prof. Supakit Jutaviriya , Advisor

Academic Year 1998

Abstract

This thesis is objected for designing and inverter by using IGBT as switching equipment. IR 2113 is used for driving IGBT in full bridge inverter circuit . It receives input signal from output of AND operating between square wave signal , which frequency is 50 Hz , and result of comparing between signal from integrating square wave (which frequency is 800 Hz) and signal from voltage regulated voltage circuit . Output voltage of full bridge inverter circuit is stepped up by transformer and filtered by filter circuit , the result is sine wave signal which has 50 Hz frequency , 220 Volts and rated of 200 VA . The signal from transformer in primary side is operated in OR-operation with the signal which show battery level in the part of over current protection circuit , so that in the future , this IGBT INVERTER can develop to use in Uninterruptible Power System (UPS) .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
สารบัญรูปภาพ	V
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี และ หลักการ	2
2.1 ไอจีบีที	2
2.1.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ ไอจีบีที (IGBT)	2
2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานของ ไอจีบีที (IGBT)	2
2.1.3 คุณลักษณะของกระแสและศักดาไฟฟ้า	5
2.1.4 ลักษณะการทำงาน	6
- ภาชนะนำกระแส (Turn On)	6
- ภาชนะหยุดนำกระแส (Turn Off)	6
2.1.5 การเลทซ์ใน ไอจีบีที	8
2.1.6 วงจรสมมูลย์ของ ไอจีบีที	10
2.1.7 คุณลักษณะของการสวิตชิง	11
- ช่วงขณะนำกระแส	11
- ช่วงขณะหยุดนำกระแส	12
2.1.8 ข้อจำกัดของอุปกรณ์และพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัย	13
2.1.9 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ ไอจีบีทีกับอุปกรณ์สวิตชิงประเภทอื่นๆ	15
2.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)	16
บทที่ 3 การศึกษาและการออกแบบ	20
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ใน โครงการงาน	20
3.2 ขอบเขตของโครงการงาน	21
3.2.1 ส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มี ความถี่ 50Hz และ 800Hz	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากไม่มีเห็นแต่เพียงผู้เดียว และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
3.2.2 ส่วนของวงจรควบคุม	23
3.2.2.1 วงจรอินทิเกรต (Integrate Circuit)	23
3.2.2.2 วงจรรักษาแรงดัน	24
3.2.2.3 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator Circuit)	25
3.2.2.4 เกตแบบแอนด์	30
3.2.2.5 วงจรไฟเลี้ยง	30
3.2.2.6 วงจรขับเคลื่อน	30
3.2.3 ส่วนของวงจรกำลัง	33
3.2.3.1 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่น	33
3.2.3.2 วงจรกรองสัญญาณ	34
3.2.3.3 หม้อแปลง	36
3.2.4 ส่วนของวงจรป้องกัน	36
บทที่ 4 ผลการทดลอง	38
4.1 ส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 Hz และ 100 Hz	38
4.2 ส่วนของวงจรควบคุม	40
4.2.1 วงจรอินทิเกรต	40
4.2.2 วงจรรักษาแรงดัน	41
4.2.3 เกตแบบแอนด์	42
4.2.4 วงจรขับเคลื่อน	43
4.3 ส่วนของวงจรกำลัง	44
4.4 การทดสอบจ่ายภาระต่างๆ	45
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	47
ภาคผนวก	

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	(a) ภาพตัดเนวคั้งของไอจีบีที (b) ภาพ โครงสร้างของ ไอจีบีที	3
2	คุณลักษณะของกระแสและความต่างศักย์ (a) ลักษณะเอาท์พุท (b) Transfer Characteristic (c) ,(d) สัญลักษณ์ของ ไอจีบีทีชนิด เอ็น - แชนแนล	5
3	ทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนและ โฮลในขณะนำกระแส	7
4	(a) แสดง โครงสร้างที่มีทรานซิสเตอร์และมอสเฟทแฝงอยู่ใน (b) วงจรสมมูลย์สำหรับการทำงานสภาพปกติของไอจีบีที (c) วงจรสมมูลย์ที่แสดงส่วนของ ไทริสเตอร์ที่แฝงอยู่ใน ไอจีบีที	9
5	แสดงรูปคลื่นของกระแสและความต่างศักย์ ขณะ นำกระแส	11
6	แสดงรูปคลื่นของกระแสและความต่างศักย์ ขณะ หยุดนำกระแส	12
7	(a) พื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยในสภาวะไบแอสตรง (b) พื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยในสภาวะไบแอสกลับ	15
8	แสดง Multiple Pulse Width Modulation	18
9	บล็อกไดอะแกรม แสดงขอบเขตของ โครงงาน	21
10	วงจรกำเนิดสัญญาณ สี่เหลี่ยม ที่มีความถี่ 50 Hz และ 800 Hz	22
11	วงจรรีนาทิเกรต	23
12	วงจรรักษาแรงดัน	24
13	วงจรเปรียบเทียบ	25
14	แสดงลักษณะความกว้างของเนื้อพัลส์ที่สภาวะปกติ	27
15	แสดงลักษณะความกว้างของเนื้อพัลส์ซึ่งกว้างขึ้นชั่วขณะ ที่ระดับแรงดันเอาต์พุตมีค่าต่ำกว่าสภาวะปกติ	28
16	แสดงลักษณะความกว้างของเนื้อพัลส์ซึ่งแคบลงชั่วขณะ ที่ระดับแรงดันเอาต์พุตมีค่าสูงกว่าปกติ	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
17	วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม และ วงจรควบคุม	31
18	วงจรไฟเลี้ยง	32
19	แสดงการต่อ IR 2113	32
20	วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่น (Full Bridge Inverter)	33
21	วงจรควบคุมที่ใช้งานจริงในโครงการ	34
22	วงจรกรองสัญญาณ (Filter)	35
23	แสดงการต่อวงจรป้องกัน	37
24	แสดงสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 Hz	38
25	แสดงสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 800 Hz	39
26	แสดงสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 Hz และ 800 Hz เปรียบเทียบกัน	39
27	แสดงเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรต	40
28	แสดงเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรตเปรียบเทียบกับอินพุต (สี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 800 Hz)	40
29	แสดงการจำลองตั้งค่า V_{ref} ณ กึ่งกลางสัญญาณสามเหลี่ยม 800 Hz	41
30	แสดงการจำลองตั้งค่า V_{ref} เปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม 800 Hz ที่ระดับแรงดันเอาต์พุตมีค่า 0 โวลต์	41
31	แสดงเอาต์พุตของเกตแบบแอนด์ ที่ขา 3 และ 4 ซึ่งป้อนเข้า IR 2113 ที่จำลองตั้งค่า V_{ref} ณ กึ่งกลางสัญญาณสามเหลี่ยม 800 Hz	42
32	แสดงเอาต์พุตของเกตแบบแอนด์ ที่ขา 3 และ 4 ซึ่งป้อนเข้า IR 2113 ที่จำลองระดับแรงดันเอาต์พุต มีค่า 0 โวลต์	42
33	แสดงเอาต์พุตของ IR 2113 ทั้งสองเอาต์พุตเปรียบเทียบกัน ที่จำลองตั้งค่า V_{ref} ณ กึ่งกลางสัญญาณสามเหลี่ยม 800 Hz	43
34	แสดงเอาต์พุตของ IR 2113 ทั้งสองเอาต์พุตเปรียบเทียบกัน ที่จำลอง ณ ระดับแรงดันเอาต์พุตมีค่า 0 โวลต์	43

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
35	แสดงเอาต์พุตจากวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่น ที่จำลองตั้งค่า V_{ref} ณ กึ่งกลางสัญญาณสามเหลี่ยม 800 Hz	44
36	แสดงเอาต์พุตจากวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่น ที่จำลองระดับแรงดันเอาต์พุตมีค่า 0 โวลต์	44
37	เอาต์พุต ณ สภาวะไร้ภาระ	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIII

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การบันทึกผลการทดสอบจ่ายภาระต่างๆในกรณี Open Loop	45
2	การบันทึกผลการทดสอบจ่ายภาระต่างๆในกรณี Close Loop	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำได้มีการพัฒนาไปอย่างมาก ซึ่งมีการนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นทรานซิสเตอร์ (TRANSISTOR) , มอสเฟต (MOSFET) , เอสซีอาร์ (SCR) , ไอจีบีที (IGBT) , ไดโอด (DIODE) และ ยูเจที (UJT) การเลือกไปใช้งานขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้และลักษณะการนำไปใช้งานอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำส่วนใหญ่ในทางพาวเวอร์อิเล็กทรอนิกส์มักใช้เป็นตัวสวิตชิง (SWITCHING) ซึ่งอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำแต่ละชนิด มีทั้งส่วนดีและส่วนด้อยเหมาะสมกับงานที่แตกต่างกัน ไอจีบีทีเป็นอุปกรณ์ตัวหนึ่งที่พัฒนามาจากทรานซิสเตอร์และมอสเฟต ข้อดีของทรานซิสเตอร์ก็คือ มีการสูญเสียของพลังงานในขณะที่ใช้งานต่ำ แต่คุณสมบัติในการเป็นตัวสวิตชิงไม่ดีเท่าที่ควร นั่นคือ สวิตช์ (SWITCH) ได้ค่อนข้างช้า จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานที่ความถี่สูง ในขณะที่มอสเฟตสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูงๆ แต่ก็มีข้อจำกัดคือพลังงานสูญเสียในการใช้งานจะแปรตามความถี่ นั่นคือยิ่งนำไปใช้งานความถี่สูงก็จะทำให้เกิดพลังงานสูญเสียสูง ดังที่ได้กล่าวไปแล้วจึงได้นำข้อดีของทรานซิสเตอร์และมอสเฟตมาพัฒนาเป็น ไอจีบีที ดังนั้นคุณสมบัติของไอจีบีทีจึงอยู่ระหว่างอุปกรณ์ทั้งสอง คือ ใช้งานที่ความถี่สูงได้ดีกว่าทรานซิสเตอร์และพลังงานสูญเสียต่ำกว่ามอสเฟต ส่วนการนำไปใช้งานก็ใช้ได้เช่นเดียวกับอุปกรณ์ตัวอื่น

ในโครงการนี้ได้นำไอจีบีทีไปใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่นเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองได้ในอนาคต โดยการสร้างสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz และ 800 Hz จากนั้นนำสัญญาณสี่เหลี่ยม 800 Hz ไปผ่านวงจรอินทิเกรตแล้วนำสัญญาณตามเหลี่ยมที่ได้จากวงจรอินทิเกรตไปเปรียบเทียบกับสัญญาณควบคุมจากวงจรรักษาระดับแรงดัน (ตรวจจับมาจากระดับแรงดันของสัญญาณเอาต์พุต) ด้วยวงจรเปรียบเทียบ แล้วนำสัญญาณเอาต์พุตจากการเปรียบเทียบมาแอนด์ (AND) กับ สัญญาณสี่เหลี่ยม 50 Hz เพื่อนำสัญญาณที่ได้นี้เป็นสัญญาณป้อนให้กับ IR 2113 ซึ่งเป็นตัวขับไอจีบีทีให้ทำการสวิตชิง สัญญาณที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่นจะถูกนำไปยกระดับแรงดันด้วยหม้อแปลง และจะนำไปผ่านวงจรกรองสัญญาณเพื่อให้เป็นสัญญาณคลื่นไซน์ที่มีความถี่ 50 Hz ระดับแรงดัน 220 โวลต์ โดยมีวงจรป้องกันกระแสเกินและวงจรป้องกันระดับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ไอจีบีที

2.1.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไอจีบีที

(Insulated Gate Bipolar Transistor : IGBT) [1]

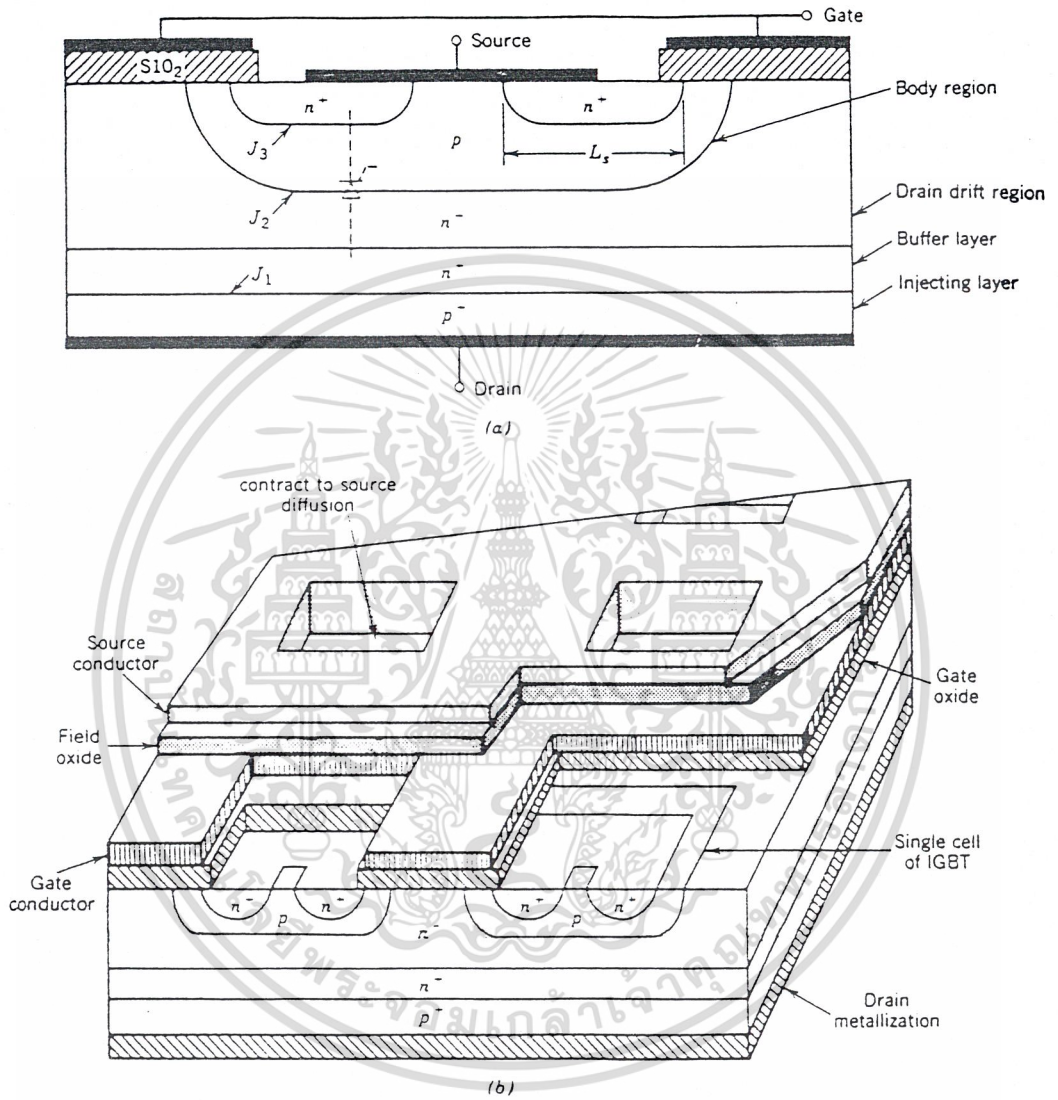
อุปกรณ์พาวเวอร์อิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลที่พหุจะคุ้นเคยและใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ในขณะนี้ ได้แก่ เอตซีอาร์ , ไตรแอก (TRIAC) , ทรานซิสเตอร์และมอสเฟต โดยเฉพาะทรานซิสเตอร์และมอสเฟต ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองชนิด ก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือ ทรานซิสเตอร์ขณะอยู่ในสภาวะนำกระแสจะมีอัตราการสูญเสียกำลังงานต่ำ มีอัตราทนแรงดันและขยายกระแสได้สูงแต่ความเร็วในการสวิตซ์ยังต่ำอยู่ โดยเฉพาะช่วงหยุดนำกระแสจะมีช่วงเวลาที่ยาวกว่า ซึ่งจะเป็นคุณสมบัติที่ตรงกันข้ามกับมอสเฟตที่มีความเร็วในการสวิตซ์ทำงานนำกระแสและหยุดนำกระแสได้เร็วกว่ามาก แต่ก็มีอัตราการสูญเสียกำลังงานสูงมากเช่นกัน จากเหตุผลที่กล่าวมาของทรานซิสเตอร์และมอสเฟตจึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ประเภทนี้จนสามารถได้อุปกรณ์พาวเวอร์อิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลชนิดใหม่ขึ้นมา โดยคุณสมบัติต่างๆจะรวมเอาข้อได้เปรียบของทรานซิสเตอร์และมอสเฟตเข้ามารวมไว้ในอุปกรณ์ชนิดใหม่นี้ เรียกชื่ออย่างเป็นทางการว่า ไอจีบีที

2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานของไอจีบีที

รูปตัดในแนวดิ่งของไอจีบีที เอ็น-แชนแนล (N-Channel) ดังแสดงในรูปที่ 1 (a) ซึ่งโครงสร้างเหมือนกับมอสเฟตมาก จะแตกต่างกันตรงที่ไอจีบีทีจะมีชั้น p^+ หรือชั้นอินเจกต์ติ้ง (Injecting) ระหว่างขาเดรน (Drain) ซึ่งในมอสเฟตนั้นไม่มี

ระดับของสารเจือ (Dopping Levels) ในแต่ละชั้นของไอจีบีทีจะคล้ายกับที่ใช้ในแต่ละชั้นของมอสเฟต ยกเว้นส่วนบริเวณบอดี้ (Body Region) ซึ่งจะอธิบายในภายหลัง ในกรณีของไอจีบีทีชนิด พี- แชนแนล (P - Channel) สามารถทำได้โดย เปลี่ยนชนิดของสารเจือในแต่ละชั้นของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปภาพที่ 1 (a) ภาพตัดแนวตั้งของไอจีบีที
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 (b) ภาพโครงสร้างของไอจีบีที

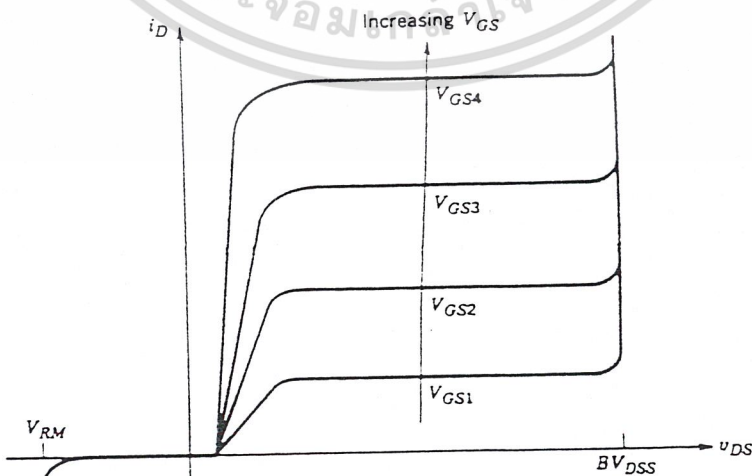
ในรูปที่ 1 (a) เป็นโครงสร้างของ ไอจีบีทีซึ่งจะมีทรานซิสเตอร์แอมป์อยู่ การเทิร์นออน (Turn On) ของทรานซิสเตอร์นี้เป็นสิ่งที่จะต้องพยายามหลีกเลี่ยงและรายละเอียดของอุปกรณ์จริงๆมีหลายอย่างที่แตกต่างไปจากรูป ดังเช่นบริเวณบอดีที่เป็นสารกึ่งตัวนำประเภทพีจะมีบริเวณรอยต่อ J_2 และ J_3 ที่แตกต่างไปจากรูป เพื่อให้โอกาสที่ทรานซิสเตอร์ทำงานมีน้อยที่สุด ส่วนซอร์สที่เป็นโลหะ (Source Metallization) ใน ไอจีบีที มีขนาดสั้นกว่าในส่วนของมอสเฟต ซึ่งมีส่วนช่วยให้ทรานซิสเตอร์แผ่นนี้มีโอกาสทำงานน้อยลงส่วนบัฟเฟอร์ของสารกึ่งตัวนำที่มีสารเจือสูง (n^+ Buffer Layer) ซึ่งอยู่ระหว่างชั้นของ p^+ ที่สัมผัสกับแคโทด และ n^- ของชั้นดริฟท์ (Drift Layer) ไม่มีความสำคัญกับการทำงานของ ไอจี บีที และ ไอจี บีที บางตัวก็ตัดส่วนนี้ออกไปเรียกว่า ไอจี บีที แบบสมมาตร (Symmetrical IGBT) ส่วน ไอจี บีที ที่ยังมีส่วนนี้อยู่เรียกว่า ไอจี บีที แบบไม่สมมาตร (Asymmetrical IGBT) ถ้าความหนาแน่นของสารเจือ และ ความหนาแน่นของชั้นนี้ถูกเลือกอย่างเหมาะสม การที่มีชั้นนี้จะช่วยในการทำงานของ ไอจี บีที ให้ดีขึ้น ได้ 2 อย่างด้วยกัน คือ

1. ทำให้แรงดันตกคร่อมในขณะนำกระแส มีค่าลดน้อยลง

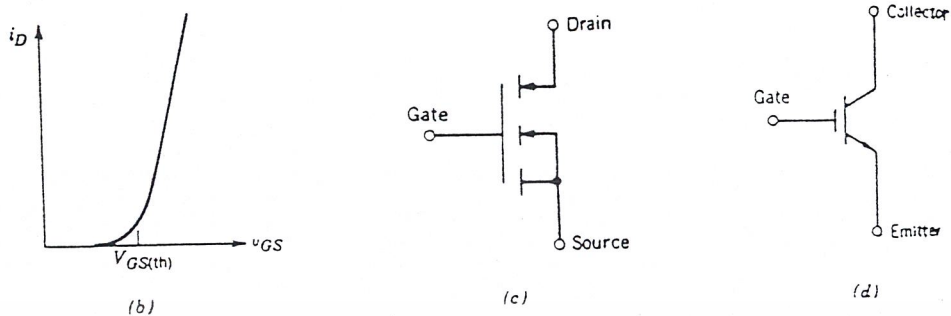
2. ทำให้เวลาในขณะหยุดนำกระแส (Turn Off Time) ลดลง

แต่มีข้อเสียคือ ทำให้ความสามารถในการทนความต่างศักย์รีเวิร์ส (Reverse Blocking Voltage) ลดลง

สัญลักษณ์ของวงจรของ ไอจีบีที ชนิด เอ็น - แชนแนล แสดงไว้ในรูปที่ 2 (c) ทิศทางของลูกศรจะกลับทิศในกรณีของ ไอจีบีทีชนิด พี - แชนแนล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 คุณลักษณะของกระแสและความต่างศักย์

(a) ลักษณะเอาต์พุต

(b) Transfer Characteristic

(c), (d) สัญลักษณ์ของไอจีบีทีชนิด เอ็น - แชนแนล

2.1.3 คุณลักษณะของกระแสและศักดาไฟฟ้า

ลักษณะของกระแสและศักดาไฟฟ้าของไอจีบีที ชนิดเอ็น-แชนแนล ดังแสดงในรูปที่ 2 (a) ในทิศฟอว์เวิร์ด (Forward) จะเหมือนกับของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในลอจิกเซอร์กิตแตกต่างกันเพียงควบคุมการทำงานด้วยความต่างศักย์ แทนที่จะควบคุมการทำงานด้วยกระแสเหมือนกับทรานซิสเตอร์ คุณสมบัติของ ไอจีบีทีชนิด พี - แชนแนล จะเหมือนกันเพียงแต่ขั้วของความต่างศักย์และทิศของกระแสจะกลับกัน

ที่รอยต่อ J_2 ในรูปที่ 2 (a) จะกั้นแรงดันฟอว์เวิร์ด (Forward Voltage) เมื่อไอจีบีทีอยู่ในสถานะหยุดนำกระแส ค่าการทนความต่างศักย์ในทิศรีเวิร์ส (Reverse Blocking Voltage) จะสามารถมีค่าเท่ากับค่าการทนความต่างศักย์ในทิศฟอว์เวิร์ดได้ ถ้าไม่มีชั้นบัฟเฟอร์ n^+ ที่รอยต่อ J_1 ในรูปที่ 1 (a) เรียกว่า เป็นรอยต่อของรีเวิร์สบล็อกกิ้ง (Reverse Blocking) ถ้าในโครงสร้างของอุปกรณ์มีชั้นบัฟเฟอร์ n^+ จะทำให้ค่าแรงดันเบรคดาวน์ (Breakdown Voltage) มีค่าลดลงเหลือเพียงสิบกว่าโวลต์เพราะมีปริมาณสารเจือสูงมากทั้ง 2 ด้านของรอยต่อ ทำให้ไม่สามารถกั้นกระแสรีเวิร์สได้ ในรูปที่ 2 (b) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_D และ V_{GS} ลักษณะเหมือนกับของมอสเฟต ลักษณะเส้นกราฟจะเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงของกระแสเดรนและไม่เป็นเชิงเส้น ณ จุดที่กระแสเดรนมีค่าต่ำ เมื่อ V_{GS} มีค่าต่ำกว่าค่าหนึ่ง เรียกว่า $V_{GS(th)}$ (Threshold Voltage) ไอจีบีทีจะ

อยู่ในสถานะหยุดการนำกระแส ความต่างศักย์คร่อมเกตและซอร์สสูงสุดที่ยอมให้ใช้ได้ขึ้นอยู่กับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

กระแส เดรน สูงสุดที่ยอมให้ไหลในตัวไอจีบีที

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ลักษณะการทำงาน

สถานะนำกระแส

เมื่อขาเกรนได้รับแรงดันไบแอสตรงคือเป็นบวกเมื่อเทียบกับซอร์สและแรงดันระหว่างเกตและซอร์ส มีค่าเกิน $V_{GS(th)}$ ประจุไฟฟ้าบวกที่เกิดจากแรงดันที่ขาเกตจะดึงเอาอิเล็กตรอนให้มารวมกันอยู่ใน บริเวณภายใต้เกตทำให้ชั้นบอดี้ตรงส่วนใต้เกตแปรสภาพเป็น n ทำให้เกิดการต่อกันของบริเวณ n (Drift Region) เข้ากับบริเวณซอร์ส n^+ (Source Region) ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเหมือนกับการทำงานของมอสเฟต

กระแสอิเล็กตรอนที่ไหลจากขาซอร์สผ่านบริเวณใต้เกตมายังบริเวณลอยเลื่อน n จะรวมกับโฮลที่เป็นพาหะข้างน้อยที่ถูกฉีดมาจากชั้น อินเจกต์ p^- (ดูโครงสร้างในรูปที่ (1a)) เพราะรอยต่อ J_1 ได้รับแรงดันไบแอสตรง ทำให้ไอจีบีที่อยู่ในสถานะนำกระแสเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าจากเกรนไปซอร์ส ได้ การรวมกันของโฮลและอิเล็กตรอนภายในบริเวณ n เรียกว่า การมอดดูเลตสภาพนำ (Conductivity Modulation)

ผลการมอดดูเลตนั้นจะทำให้ความต้านทานของบริเวณ n มีค่าต่ำลงเป็นการเพิ่มความสามารถในการขับผ่านกระแสได้สูงขึ้น ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับทรานซิสเตอร์ผลของความต้านทานที่ลดลง ทำให้แรงดันตกคร่อมที่สถานะนำกระแสลดต่ำลง การสูญเสียกำลังงานขณะนำกระแสจึงลดลงด้วย ทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนและโฮล แสดงไว้ในรูปที่ 3

สถานะหยุดนำกระแส

เมื่อแรงดันระหว่างเกตและซอร์สลดลงต่ำกว่าแรงดัน $V_{GS(th)}$ จะทำให้มีแรงดันไม่เพียงพอสำหรับการแปรสภาพชั้นบอดี้ p เป็น n ได้ ทำให้บริเวณ n ไม่ต่อกับบริเวณซอร์ส n^+ ไอจีบีที่จึงอยู่ในสถานะหยุดนำกระแส ในสถานะนี้รอยต่อ J_2 ที่ได้รับแรงดันไบแอสกลับจะทำให้เกิดกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) ขึ้นที่รอยต่อ J_2 ด้วย

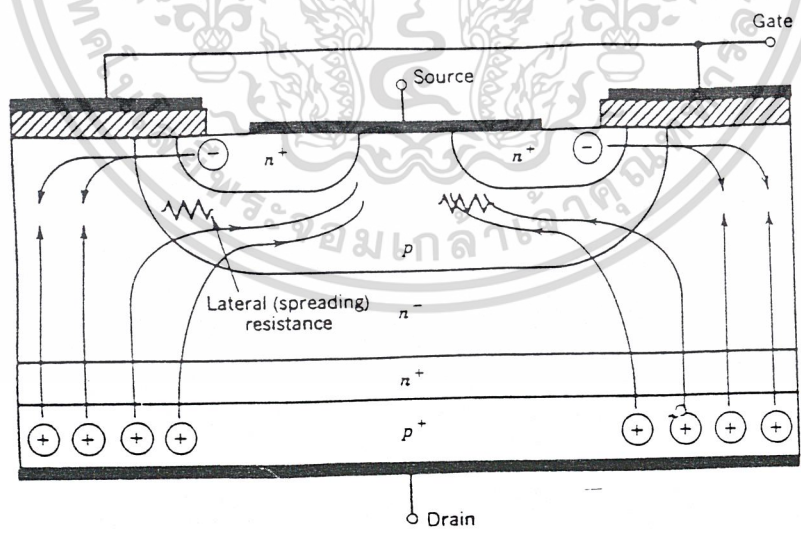
บริเวณปลอดพาหะนี้จะขยายบริเวณกว้างขึ้นจนเกินเข้ามายังบริเวณ n ทั้งนี้ เพราะ ชั้นบอดี้ p มีความหนาแน่นในการโด๊ปสารมากกว่า ถ้าความหนาแน่นของสารที่โด๊ปในบริเวณลอยเลื่อน n มากพอ ก็จะทำให้การขยายของบริเวณปลอดพาหะไม่สามารถแตะกับชั้นอินเจกต์ p^- ได้ ชั้นบัฟเฟอร์ n^+ (Buffer Layer , ดังในรูปที่ 1 (a)) ก็ไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดขึ้น หรือไม่จำเป็นต้องโด๊ปสาร ทั้งนี้เพราะการแตะกันของบริเวณทั้งสองจะทำให้เกิดการพังทลายทางด้านไบแอสตรง สำหรับไอจีบีที่ไม่มีการโด๊ปสารในชั้นบัฟเฟอร์ n^+ นี้จะเรียกว่า ไอจีบีแบบสมมาตร ซึ่งจะมีอัตราทนแรง

คันท่อนกลับ (V_{RM} หรือ BV_{SDS}) สูงพอๆกับค่าอัตราทนแรงดันโวลตรง (BV_{DSS}) เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

การลดความหนาของบริเวณ n^- ลงแต่ยังคงความสามารถของอัตราทนแรงดันโวลตรงไว้สามารถทำได้โดยเพิ่มชั้นบัพเฟอร์ n^+ เข้าไป เพื่อป้องกันการแตกกันของบริเวณพลาสมาของบริเวณอินเจ็คชั่น p^+ ซึ่งจะเรียก ไอจีบีที ชนิดนี้ว่า ไอจีบีทีแบบไม่สมมาตรและจากการลดความหนาของบริเวณลอยเลื่อน n^- ลงจะช่วยส่งผลให้เกิดข้อดีสองประการคือ

- ทำให้แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำลง เป็นผลให้การสูญเสียกำลังงานลดน้อยลง
- ช่วยลดช่วงเวลาหยุดนำกระแสให้สั้นลงได้

แต่ข้อเสียของการเพิ่มชั้นบัพเฟอร์ n^+ ก็มี คือจะลดความสามารถของอัตราทนแรงดันคันท่อนกลับให้น้อยลงเหลือเพียงไม่กี่สิบลีโวลท์ ทั้งนี้เพราะเมื่อ ไอจีบีทีได้รับแรงดันไบแอสกลับที่ขาแตรนรอยต่อ J_1 ซึ่งทั้งสองข้างมีความหนาแน่นในการโด๊ปของสารมากจะไม่สามารถทนแรงดันคันท่อนกลับได้สูงคั้งนั้น ไอจีบีทีชนิดนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 กิตทางการไหลของอิเล็กตรอนและโฮลในขณะนำกระแส

2.1.5 การແທช้ในไอจีบีที

นอกจากโหนดส่วนใหญ่ที่รวมกับอิล็กตรอนภายใต้บริเวณ n^- แล้วยังมีกระแสโหนดส่วนใหญ่ที่ไหลข้ามบริเวณ n^- เข้าสู่บริเวณชั้นบอดี p โดยตรง ผลของกระแสโหนดนี้ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมความต้านทานข้างเคียง (Lateral Resistance) ดังในรูปที่ 3 ถ้าแรงดันนี้มีค่ามากพอ คือประมาณ 0.7 โวลท์ จะทำให้รอยต่อ J_3 ได้รับไบแอสตรง เป็นผลให้อิล็กตรอนจาก บริเวณซอร์ส n^+ ถูกฉีดเข้าไปในชั้นบอดี p

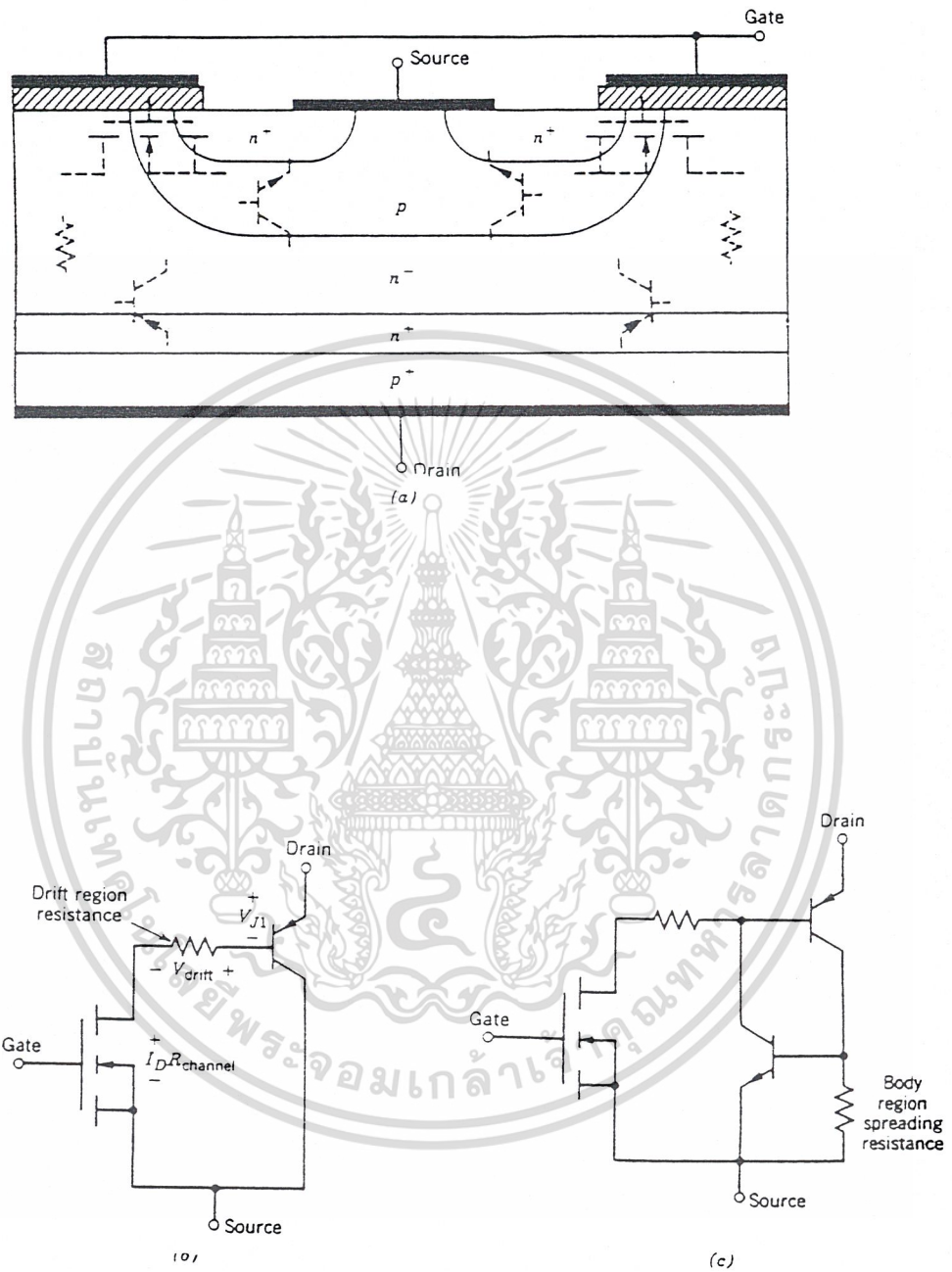
ถ้าดูจากวงจรสมมูลย์ใน รูปที่4 (c) จะหมายถึง ขาเบส (Base) และขาอีมิเตอร์ (Emitter) ของทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น (NPN) ได้รับแรงดันไบแอสตรงส่งผลให้ไทรสเตอร์ซึ่งแฝงอยู่ในโครงสร้างของไอจีบีทีอยู่ในสถานะแลทซ์การนำกระแสทำให้ที่ขาเกตไม่สามารถควบคุมปริมาณของกระแสได้อีกต่อไป แต่การควบคุมกระแสเดรนนี้จะขึ้นอยู่กับตัวต้านทานที่นำมาต่อในวงจรภายนอก ถ้าหากมีการแลทซ์เกิดขึ้นเป็นเวลานาน อาจทำให้ ไอจีบีทีเสียหายได้เพราะมีการสูญเสียกำลังงานเกินค่าพิกัดที่ทนได้

ส่วนใหญ่หรือเป็นมาตรฐานคู่มือของผู้ผลิตมักจะมีการบอกค่ากระแสเดรนสูงสุดที่สามารถไหลผ่านไอจีบีทีได้โดยยังไม่เกิดแลทซ์ขึ้น (I_{DM}) แต่เนื่องจากกระแสเดรนถูกกำหนดหรือควบคุมโดยตรงจากแรงดันระหว่างขาเกตกับขาซอร์ส บางครั้งคู่มือจึงบอกค่าแรงดันระหว่างเกตและซอร์สสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการแลทซ์ แทนการบอกค่ากระแสเดรนสูงสุด (I_{DM})

การแลทซ์ที่กล่าวถึงข้างต้นเรียกว่าการแลทซ์ในโหมดสแตติกเพราะเกิดขึ้นเมื่อกระแสที่ไหลในสถานะนำกระแสมีค่าเกิน I_{DM} แต่ลักษณะการแลทซ์นี้ก็ยังสามารถเกิดขึ้นได้ เรียกว่าในโหมดไดนามิก ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนการทำงานจากสถานะการนำกระแสเข้าสู่สถานะหยุดนำกระแสได้ ค้วย บางครั้งการแลทซ์นี้อาจเกิดขึ้นได้แม้ว่ากระแสเดรนขณะนำกระแสยังมีค่าต่ำกว่า I_{DM} ก็ตาม ทั้งนี้เพราะเมื่อ ไอจีบีทีเริ่มหยุดนำกระแส กระแสเดรนจะตกลงอย่างรวดเร็วรอยต่อ J_2 จะต้องรับแรงดันย้อนกลับที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน

ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้บริเวณปลดพาหะขยายบริเวณชั้นบอดี p โดยเฉพาะจะขยายเข้าสู่บริเวณ n^- มากกว่าเพราะมีความหนาแน่นของการได้ปต่ำกว่า การขยายบริเวณปลดพาหะอย่างรวดเร็ว จะทำให้โหนดที่ค้างอยู่ในบริเวณ n^- ขณะนำกระแสและยังไม่ได้รวมกับอิล็กตรอนหลุดรอดจากการขีดขวางของบริเวณปลดพาหะ เข้าไปสะสมอยู่ในบริเวณรอยต่อ J_2 เป็นการเพิ่มกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานข้างเคียงให้สูงขึ้น ทำให้ไทรสเตอร์ภายในไอจีบีทีเกิดการแลทซ์ขึ้นได้เมื่อเกิดการแลทซ์ขึ้น

แรงดันตกคร่อมขาซอร์สและขาเดรนขณะนำกระแสจะมีค่าต่ำกว่าระดับปกติ นอกจากนี้การเกิดแลทซ์ยังสามารถเกิดขึ้นได้อีก เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่รอยต่อ ในขณะที่กระแสเดรนยังไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ มีค่าต่ำกว่า I_{DM} อยู่ได้เช่นกัน



รูปที่ 4 (a) แสดงโครงสร้างที่มีทรานซิสเตอร์และมอสเฟตฝังอยู่ภายใน

(b) วงจรสมมูลย์สำหรับการทำงานสภาพปกติของ ไอจีบีที

(c) วงจรสมมูลย์ที่แสดงส่วนของไทรสแตอ์ที่ฝังอยู่ใน ไอจีบีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในนามของกรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 วงจรสมมูลย์ของ ไอจีบีที

วงจรสมมูลย์ของ ไอจีบีที แสดงไว้ในรูปที่ 4 (a) นั้นจะเห็นว่าบริเวณบอดี p ชั้นบริเวณ n และชั้นอินเจกต์ p^+ จะคล้ายกับทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี (PNP) โดยแทนได้ด้วยขาคอลเลคเตอร์ (Collector) , เบส และ อิมิตเตอร์ ตามลำดับ และบริเวณภายใต้เกตก็จะแทนได้ด้วยมอสเฟต ซึ่งจะมีความต้านทานบริเวณ n เชื่อมขาเบสของทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีเข้ากับขาเกรนของมอสเฟต ซึ่งเมื่อเขียนวงจรสมมูลย์ออกมาจะได้วงจรดังรูปที่ 4 (b)

จากรูปที่ 4 (b) จะเห็นว่า เป็นวงจรอาร์ลิงตัน โดยมีมอสเฟตเป็นตัวขับทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี แต่มีจุดพิเศษที่แตกต่างจากวงจรทั่วไปคือ กระแสเกรนส่วนใหญ่จะไหลจากอิมิตเตอร์มายังเบส ผ่านความต้านทานบริเวณลอยเลื่อนและผ่านขาเกรนของมอสเฟตมาจบลงที่ขาซอร์ส จะมีกระแสส่วนน้อยเท่านั้นที่ไหลจากอิมิตเตอร์มายังคอลเลคเตอร์และขาซอร์ส สำหรับวงจรสมมูลย์ในรูปที่ 4 (c) จะแสดงให้เห็นว่า ภายในไอจีบีทีมีไทรสเตอร์แฝงอยู่ด้วย โดยคู่ได้จากการที่ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีเอ็นและพีเอ็นพี ต่อเข้าด้วยกัน ในลักษณะที่มีการป้อนกลับทำให้เห็นได้ชัดถึงเหตุที่ทำให้เกิดการแลทซ์ของไอจีบีที

โดยถ้ากระแสส่วนน้อยที่ไหลผ่านจากอิมิตเตอร์มายังคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี ผ่านความต้านทานข้างเคียงแล้วทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมความต้านทานสูงกว่า 0.7 โวลต์ ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีจะนำกระแส ส่งผลให้เกิดการแลทซ์ขึ้นในไอจีบีที สำหรับแรงดันตกคร่อมขาเกรนและซอร์สของ ไอจีบีที ขณะนำกระแส ($V_{DS(on)}$) สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$V_{DS(on)} = V_{J1} + V_{drift} + I_D R_{channel} \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ

V_{J1} เป็นแรงดันไบแอสตรงที่ตกคร่อมรอยต่อพีเอ็นพีเอ็นจึงมีค่าค่อนข้างจะคงที่จะมีการเปลี่ยนแปลงบ้างก็เพียงเล็กน้อยเพราะมีความสัมพันธ์โดยตรงในลักษณะเอ็กโพเนนเชียล กับกระแสทำให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.7 - 1.0 โวลต์

V_{drift} เป็นแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานบริเวณลอยเลื่อน ซึ่งความต้านทานนี้จะมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อเทียบกับค่าแรงดันในมอสเฟตแล้วจะมีค่าน้อยกว่าเพราะผลของการมีอคติเลตสภาพนำที่เกิดขึ้นใน ไอจีบีที

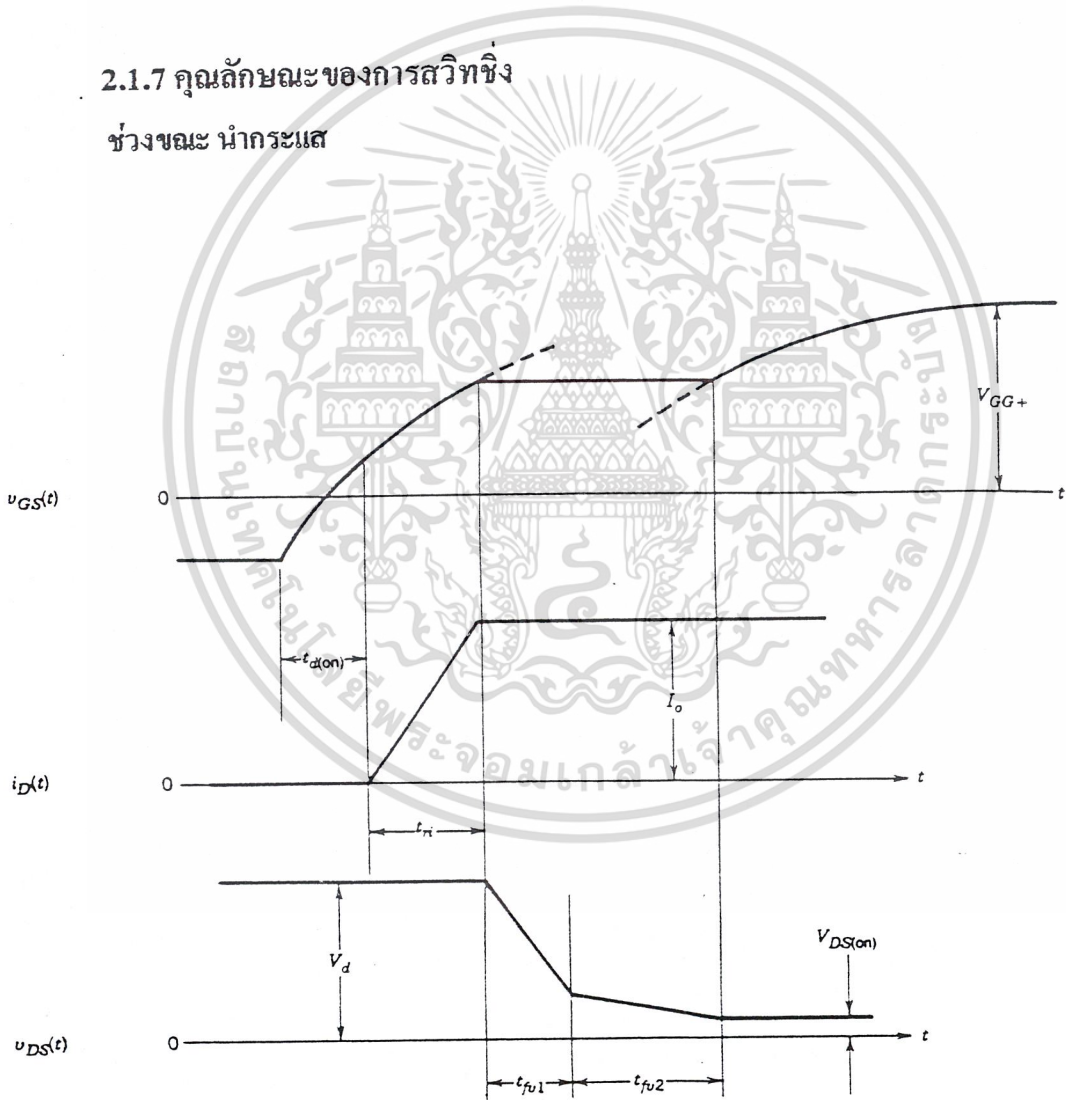
$R_{channel}$ เป็นค่าความต้านทานในย่าน 1-1,000 โอห์ม มีค่าค่อนข้างจะคงที่

$I_D R_{channel}$ เป็นแรงดันตกคร่อมมอสเฟต

ดังนั้นจึงพอจะสรุปได้ว่า $V_{DS(on)}$ จะมีค่ากระแสครนที่สูงขึ้น โดยทั่วไปไอจีบีทีจะสามารถทำงานได้ในอุณหภูมิมียอต่อสูงสุดถึง 150 องศาเซลเซียส และผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากค่าอุณหภูมิห้อง ไปถึงค่าสูงสุดนี้จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า $V_{DS(on)}$ เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพราะ ไอจีบีทีจะมีค่า $V_{DS(on)}$ เป็นผลรวมระหว่างแรงดันตกคร่อมมอสเฟตที่มีสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิเป็นบวก (หมายถึง อุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันตกคร่อมก็สูงขึ้นตาม) กับแรงดันตกคร่อมความต้านทานบริเวณรอยเลื่อน ที่มีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำเป็นลบ

2.1.7 คุณสมบัติของการสวิทชิง

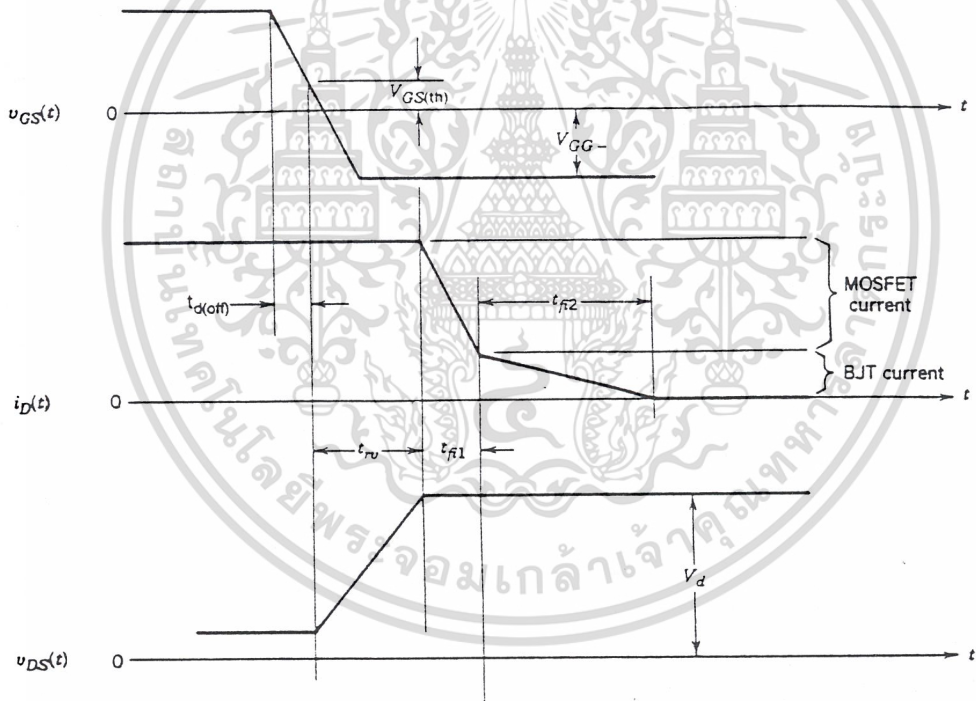
ช่วงขณะ นำกระแส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 5 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันต่างศักย์ ขณะ นำกระแส

มีลักษณะเหมือนการนำกระแสของมอสเฟทมาก โดยในช่วงการนำกระแสจะมีปัจจัยสองอย่างส่งผลต่อลักษณะของการนำกระแสในช่วง t_{fv2} ตัวแรกคือค่าตัวเก็บประจุระหว่างขาเกตและเดรนจะมีค่าสูงขึ้น ในส่วนมอสเฟทภายในไอจีบีที แต่ความต่างศักย์ระหว่างเดรนกับซอร์สต่ำๆ ส่วนปัจจัยตัวที่สองคือ ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีในไอจีบีทีจะเปลี่ยนจากสถานะแอกทีฟไปสู่สถานะนำกระแสได้ช้ากว่าส่วนของมอสเฟทในตัวไอจีบีทีมาก ทำให้ความต่างศักย์คร่อมระหว่างขาเดรนและซอร์สในสถานะนำกระแสไม่ตกลงจนถึงค่า $V_{DS(ON)}$ ในช่วงแรก ไม่เหมือนกับในมอสเฟท

ช่วงขณะ หยุดนำกระแส



รูปที่ 6 แสดงรูปคลื่นของกระแสและความต่างศักย์ ในขณะ หยุดนำกระแส

ข้อแตกต่างสำคัญระหว่างการหยุดนำกระแสของ ไอจีบีทีและของมอสเฟท คือให้สังเกตรูปคลื่นของกระแสเดรน ซึ่งแตกต่างกันในสองช่วงเวลากการตกลงอย่างรวดเร็วของกระแสในช่วงเวลา t_{fr1} สืบเนื่องมาจากการหยุดนำกระแสของส่วนที่เป็นมอสเฟทในตัวไอจีบีทีส่วนหางของกระแสไม่ถูกรับได้ทั้งหมด อีกหนึ่งห้ามมิให้คิดแบบสงวนเอาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องในช่วงเวลาที่สอง เนื่องมาจากประจุที่สะสมอยู่ในบริเวณครีฟท์ n^- เพราะมอสเฟตถูกทำให้
 หยุคนำกระแสไปแล้ว และไม่มีรีเวิร์สโวลเตจจ่ายให้แก่ขั้วของไอจีบีที ซึ่งสามารถทำให้เกิดกระแส
 แล่นเกาท์ (Negative Current) ของเครื่อง ไม่มีทางที่จะเคลื่อนย้ายประจุ โดยการแคร์เรีย สเวปท์
 เอาท์ (Carrier Swept-Out) วิธีเดียวที่ประจุเกินเหล่านี้จะถูกกำจัดไปก็คือ ให้พิจารณาในส่วนของ
 ไอจีบีทีที่ไม่มีบริเวณบัฟเฟอร์ n^+ ก็โดยการรวมกันภายในบริเวณครีฟท์ n^- ซึ่งต้องการที่จะให้ไอพีไทม์
 ของประจุเกินในบริเวณนี้มีค่ายาวอยู่แล้ว เพื่อทำให้ความต่างศักย์คคร่อมบริเวณมีค่าค่าในสภาวะ
 นำกระแส ดังนั้นทำให้ช่วงเวลาที่ t_{n2} มีค่ายาวไปด้วย แต่ช่วงเวลา t_{n2} ที่ยาวขึ้นก็จะทำให้มีการ
 สูญเสียมากขึ้นในขณะที่หยุคนำกระแสซึ่งจะทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากการสูญเสียจึงต้องมีการ
 การรวมขอมกันระหว่างค่าสูญเสียในขณะที่นำกระแสกับการสูญเสียในขณะที่หยุคนำกระแส การย้าย
 ประจุออกจากบริเวณครีฟท์โดยวิธีการแพร่ไปยังชั้น p^+ เรียกว่าวิธีนี้ว่า แบ็คอินเจคชั่น (Back Injection)
 สามารถช่วยให้เวลาลดลงได้ ถ้าหลักการจากการแพร่ของโฮลมีค่ามากพอใน ไอจีบีทีที่ไม่มีบริเวณ
 บัฟเฟอร์ n^+ จะไม่สามารถมีการแพร่ดังกล่าวได้ เพราะว่าความหนาแน่นของโฮลมีทิศทางการกระ
 กระจายความหนาแน่นที่ไม่สามารถทำให้เกิดได้ เนื่องจากความหนาแน่นของโฮลในชั้น p^+ มีค่าความ
 หนาแน่นมากกว่าความหนาแน่นของโฮลที่เกิดมาในส่วนของบริเวณครีฟท์ ดังนั้นโฮลส่วนเกินจึง
 ถูกกักในบริเวณครีฟท์นั้น แต่ในไอจีบีทีที่มีบัฟเฟอร์ n^+ บริเวณนี้จะมีไอพีไทม์ของประจุส่วนเกิน
 ต่ำมากและจะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวลุดประจุส่วนเกินเหล่านี้ อัตราการรวมตัวที่สูงขึ้นของโฮลใน
 บริเวณบัฟเฟอร์ n^+ ทำให้ความหนาแน่นของโฮลค่อยๆ ลดลงในบริเวณครีฟท์นี้ในขณะที่กำลังหยุคนำ
 กระแส ซึ่งทำให้เกิดฟลักซ์จำนวนมากของการแพร่ของโฮลในทิศไปยังบริเวณบัฟเฟอร์ซึ่งจะ
 ช่วยส่งเสริมการย้ายของ โฮลออกจากบริเวณครีฟท์เป็นอย่างมากและทำให้เวลา t_{n2} ต่ำลง ควรจำ
 ไว้ว่าวิธีการลดเวลาขณะหยุคนำกระแสวิธีนี้ไม่ได้ลดไอพีไทม์ในบริเวณครีฟท์ เพราะฉะนั้นจึงไม่
 ได้ส่งผลให้ค่าการสูญเสียในขณะที่นำกระแส เปลี่ยนแปลงไป

2.1.8 ข้อจำกัดของอุปกรณ์และพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัย

ไอจีบีที มีพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยทั้งในระหว่างการนำกระแสและหยุคนำกระแส โดยมี
 พื้นที่การทำงานปลอดภัยในขณะที่ไบแอสตรง (Forward Bias Safe Operating Area : FBSOA) ที่
 กว้างมากเปรียบได้กับเกือบเป็นสี่เหลี่ยม สำหรับเวลาในการสวิทช์ที่สั้นๆ แต่จะแคบลงเมื่อเวลาใน
 การสวิทช์ยาวนานขึ้น ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับเพาเวอร์มอสเฟตแล้ว ไอจีบีทีจะทำงานได้ในช่วงพื้นที่
 ที่กว้างกว่าเมื่อเวลาในการสวิทช์เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาร่วมกัน ไม่สามารถนำมาใช้
 ใ้แก่สาธารณชนได้
 สำหรับค่ากระแส I_{DM} สูงสุดจะถูกกำหนดไว้ด้วยรูป โดยมากเป็นค่าไดนามิกเพื่อป้องกัน
 ไม่ว่าการบิดงอ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ค่าเปลี่ยนแปลงของค่า V_{GSmax} ด้วย ซึ่งค่าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 การเกิดเลทชอปและยังมีการกำหนดค่าความต่างศักย์สูงสุดระหว่างเกตและซอร์ส (V_{GSmax})

และที่ค่าความต่างศักย์ V_{GSmax} เมื่อเกิดความผิดปกติ (Fault) กระแสเดรนที่มีค่าสูงมากจะสามารถไหลได้ซึ่งมีค่าประมาณ 4 ถึง 10 เท่าของกระแสพิกัดที่ยอมรับได้ ภายใต้สภาวะนี้ ไอจีบีทีจะทำงานอยู่ในย่านแอกทีฟ โดยความต่างศักย์คร่อมระหว่างเดรนและซอร์ส (V_{DS}) จะเท่ากับโวลต์ในสภาวะหยุดนำกระแส จากการทดลองยืนยันว่า อุปกรณ์สามารถทนกระแสดังกล่าวได้เป็นเวลา 5 - 10 ไมโครวินาที ขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ระหว่างเดรนและซอร์ส (V_{DS}) และสามารถหยุดนำกระแสได้ด้วยความต่างศักย์ระหว่างเกตและซอร์ส (V_{GS}) ค่าความต่างศักย์สูงสุดระหว่างเดรนและซอร์ส (V_{DS}) ขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์เบรคดาวน์ของทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี ค่า β ของทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นความต่างศักย์เบรคดาวน์ที่ต้องพิจารณาคือ BV_{CBO} เป็นค่าเบรคดาวน์ของบริเวณครีพท์ (รอยต่อ J_2) ในปัจจุบัน ไอจีบีทีที่มีความสามารถในการทนแรงดันได้สูงสุดประมาณ 1700 โวลต์ และในอนาคตก็จะมีการพัฒนาให้สามารถทนแรงดันในพิกัดที่สูงขึ้นเพื่อให้เหมาะในการใช้งานต่อไป

ค่าอุณหภูมิสูงสุดของรอยต่อ ไอจีบีทีที่มีในปัจจุบันมีค่าประมาณ 150 องศาเซลเซียส ไอจีบีทีจะต้องถูกออกแบบให้มีโวลต์ในสภาวะนำกระแสเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (ระหว่างอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูงสุดของรอยต่อ) เนื่องจากการผสมระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิทางบวก (Positive Temperature Coefficient) ของมอสเฟตและสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิทางลบ (Negative Temperature Coefficient) ของความต่างศักย์คร่อมบริเวณครีพท์ซึ่งจะต่างกับมอสเฟตที่มีความต่างศักย์คร่อมสูงขึ้นไป เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นด้วยสาเหตุที่ ไอจีบีทีที่มีความต่างศักย์คร่อมในสภาวะนำกระแสค่อนข้างคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ วงจรป้องกันไม่ควรมีความจำเป็นนักสำหรับการทำงานที่อยู่ในย่านการทำงานที่ปลอดภัย

สำหรับพิกัดกระแสสูงสุดของ ไอจีบีทีที่มีในปัจจุบันมีค่าประมาณ 200 - 400 แอมแปร์ แต่เราสามารถขยายพิกัดกระแสได้ โดยการนำ ไอจีบีทีมาขนานกันซึ่ง ไอจีบีทีที่ขนานกันยังสามารถควบคุมได้ง่าย เพราะค่าความต่างศักย์คร่อมในสภาวะนำกระแสค่อนข้างคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

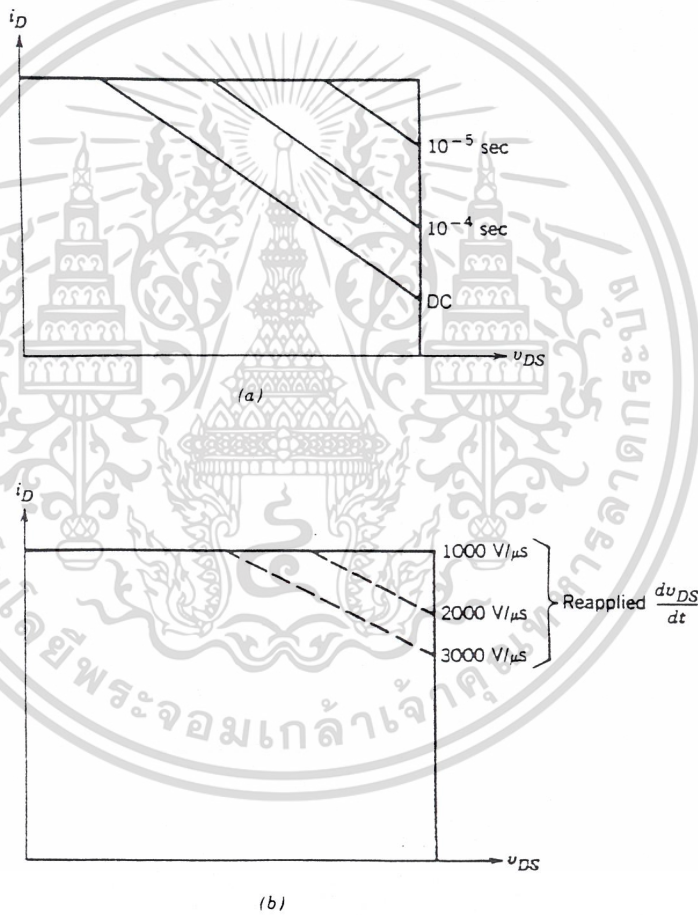
ในช่วงระหว่างเริ่มนำกระแสและขณะที่นำกระแสแล้ว จุดการทำงานของ ไอจีบีทีจะต้องมีขนาดแรงดันและกระแสที่ขาเดรนอยู่ภายในพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยในช่วงไบแอสตรงเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 7 หากไม่เป็นเช่นนั้นแล้วจะทำให้เกิดการเสียหายขึ้นกับ ไอจีบีที จากรูปพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยของ ไอจีบีทีนี้จะแสดงถึงขีดจำกัดของกระแสเดรน อัตราทนแรงดันไบแอสตรง และอุณหภูมिरอยต่อของ ไอจีบีทีตามลำดับ

สำหรับพื้นที่การทำงานปลอดภัยในช่วง ไบแอสกลับ (Reverse Bias Safe Operating Area : RBSOA) จะแตกต่างจากในช่วงไบแอสตรงโดยในรูปนี้จะแสดงค่าจำกัดของค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขาเดรน ต่อเวลา (dV_{DS}/dt) ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงระหว่างหยุดนำกระแสแทนขีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขอสงวนสิทธิ์ในการค้า
ไม่ทำกำไรแต่อย่างใด ทั้งนี้ ยังพึงหาข้อมูลเพิ่มเติมและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำกัดทางด้านอุณหภูมิรอยต่อและจะมีพื้นที่แคบลง ถ้า dV_{DS}/dt มีค่าสูงมากขึ้น ส่วนเหตุผลที่ถูกจำกัดโดยค่านี้นี้ เพราะไม่ต้องการให้เกิดการแลทซ์ ขึ้นที่ไอจีบีที

ค่า dV_{DS}/dt นี้จะมีผลโดยตรงกับช่วงเวลาหยุดนำกระแสหมายความว่า ถ้ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงเร็วจะทำให้ช่วงเวลาหยุดนำกระแสสั้น แต่ก็ยังถือว่าโศคติที่ขีดจำกัด dV_{DS}/dt ของไอจีบีทีมีค่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ไทรสเตอร์ตัวอื่นๆ ดังนั้นความจำเป็นในการใช้วงจรสับเบอร์เพื่อป้องกันการแลทซ์ก็ไม่มี ความจำเป็นต้องใช้ และการควบคุมค่า dV_{DS}/dt ที่เกิดขึ้นยังทำได้ง่ายขึ้นด้วยการออกแบบวงจรจับเบรกที่มีค่าความต้านทานที่ต่อกับขาเกต และ ค่า V_{GG} ที่เหมาะสม



รูปที่ 7 (a) พื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยในสภาวะไบแอสตรง

(b) พื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยในสภาวะไบแอสกลับ

2.1.9 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของไอจีบีที กับอุปกรณ์สวิตชิงประเภทอื่น

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ไอจีบีทีมีความต่างศักย์ตกคร่อมใกล้เคียงกับทรานซิสเตอร์ ในขณะที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับรวมค่าใช้จ่ายด้านค่าความต้านทานทางด้านอินพุตสูงและมีความเร็วในการนำกระแสสูงเหมือนกับมอสเฟตไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้งานที่ย่านความถี่ปานกลางสามารถนำไอจีบีทีไปใช้งานแทนมอสเฟต, ทรานซิสเตอร์, ไทริสเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับไทรสเตอร์ทั่วไป ไอจีบีทีมีความเร็วในการสวิตชิงสูงกว่าและมีความต้านทานของอินพุตสูงกว่า สามารถทนต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์ dv/dt ที่สูงกว่าและมีวงจรถับที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ในขณะที่ไทรสเตอร์บางประเภท เช่น จีทีโอ ก็สามารถควบคุมการนำและหยุดนำกระแสได้ด้วยสัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้าขาเกตได้ แต่ก็ต้องการกระแสไหลกลับทิศในการหยุดนำกระแสของจีทีโอในขณะที่การหยุดนำกระแสของจีทีโอ ได้โดยการให้ตัวเก็บประจุที่ขาเกตได้จับประจุออกมา แต่ไทรสเตอร์มีความต่างศักย์ตกคร่อม ในสภาวะนำกระแสต่ำกว่าไอจีบีทีและมีค่าพิกัดการทนต่อกระแสเลิรัจ (Surge Current) ที่สูงกว่าไอจีบีที

ในการเปรียบเทียบความยากง่ายของวงจรถับให้สมมติว่าต้องการให้อุปกรณ์รับกระแสได้ 10 แอมป์ ถ้าใช้ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สวิตชิงในการที่จะจ่ายกระแสคอลเลคเตอร์ได้ จะควบคุมทรานซิสเตอร์ให้ทำงานตามต้องการ เพราะว่าทรานซิสเตอร์กำลังมีค่า β ที่ต่ำมาก ตัวอย่าง เช่น ทรานซิสเตอร์ต้องการมีค่า β เท่ากับ 5 ในการที่จะจ่ายกระแสคอลเลคเตอร์ได้ถึง 10 แอมป์ จะต้องป้อนกระแสประมาณ 2 แอมป์ เข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ในขณะที่ไอจีบีทีควบคุมการทำงานด้วยความต่างศักย์ที่ป้อนเข้าระหว่างขาเกตและ ขาซอร์ส ซึ่งต้องการกระแสจำนวนน้อยมาก อยู่ในหน่วยนาโนแอมป์ก็สามารถทำให้ไอจีบีทีทำงาน ซึ่งจะเห็นได้ว่า วงจรถับของไอจีบีที มีความง่ายกว่าวงจรถับเบสของทรานซิสเตอร์มาก

ทรานซิสเตอร์อาจจะใช้วงจรคาร์ลิงตัน (Darlington) ในการขยายค่า β เพื่อทำให้วงจรถับง่ายขึ้น แต่ความต่างศักย์ตกคร่อมในสภาวะหยุดนำกระแสจะสูงขึ้น

ส่วนวงจรถับของไอจีบีทีกับมอสเฟต มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมากจนสามารถใช้แทนกันได้ แต่ถ้าใช้งานในด้านความถี่ปานกลางที่พิกัดกระแสและความต่างศักย์ที่สูงแล้ว ก็ควรเลือกใช้ไอจีบีทีในการทำงานแทนมอสเฟต เนื่องจากมีความต่างศักย์ตกคร่อมในสภาวะนำกระแสต่ำกว่า

2.2 อินเวอร์เตอร์ (INVERTER) [2]

วงจรอินเวอร์เตอร์ คือ วงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ โดยสามารถควบคุมได้ทั้งขนาดและความถี่ได้ตามต้องการ นั่นคือแรงดันเอาต์พุตอาจคงที่หรือแปรค่าได้ที่ความถี่คงที่หรือความถี่แปรค่าได้

เอกสารนี้เป็น การนำอินเวอร์เตอร์ไปประยุกต์ใช้งาน ในงานอุตสาหกรรมต่างๆมากมาย เช่น
ไม่ว่าจะแหล่งจ่ายไฟต่อเนื่อง (Uninterruptible Power Supply) จนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

- การขับมอเตอร์กระแสสลับ (Motor Drive)
- เครื่องทำความร้อนแบบเหนี่ยวนำ (Induction Heating)

ประเภทของการอินเวอร์เตอร์

1. การอินเวอร์เตอร์แบบป้อนแรงดัน (Voltage Source Inverter ; VSI) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น
 - 1.1 อินเวอร์เตอร์แบบการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation Inverter)
 - 1.2 อินเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนซ์
 - 1.3 อินเวอร์เตอร์แบบ McMurray
 - 1.4 อินเวอร์เตอร์แบบ McMurray - Bedford
2. การอินเวอร์เตอร์แบบป้อนกระแส (Current Source Inverter ; CSI)

การควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว (Voltage Control of Single Phase Inverter)

การใช้งานอินเวอร์เตอร์มีหลากหลายประเภท การควบคุมแรงดันเอาต์พุตนี้ ได้ยอมแตกต่างกัน ด้วยเหตุผลดังนี้

1. เพื่อเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุตกระแสตรง ให้เป็นไปตามความต้องการ
2. เพื่อปรับแต่งแรงดันของอินเวอร์เตอร์
3. เพื่อให้แรงดันคงที่ตามความต้องการขณะควบคุมความถี่

การควบคุมแรงดันเอาต์พุต โดยวิธีการมอดูเลต ตามความกว้างของพัลส์แรงดันเอาต์พุต ซึ่งแบ่งได้เป็นหลายประเภท เช่น

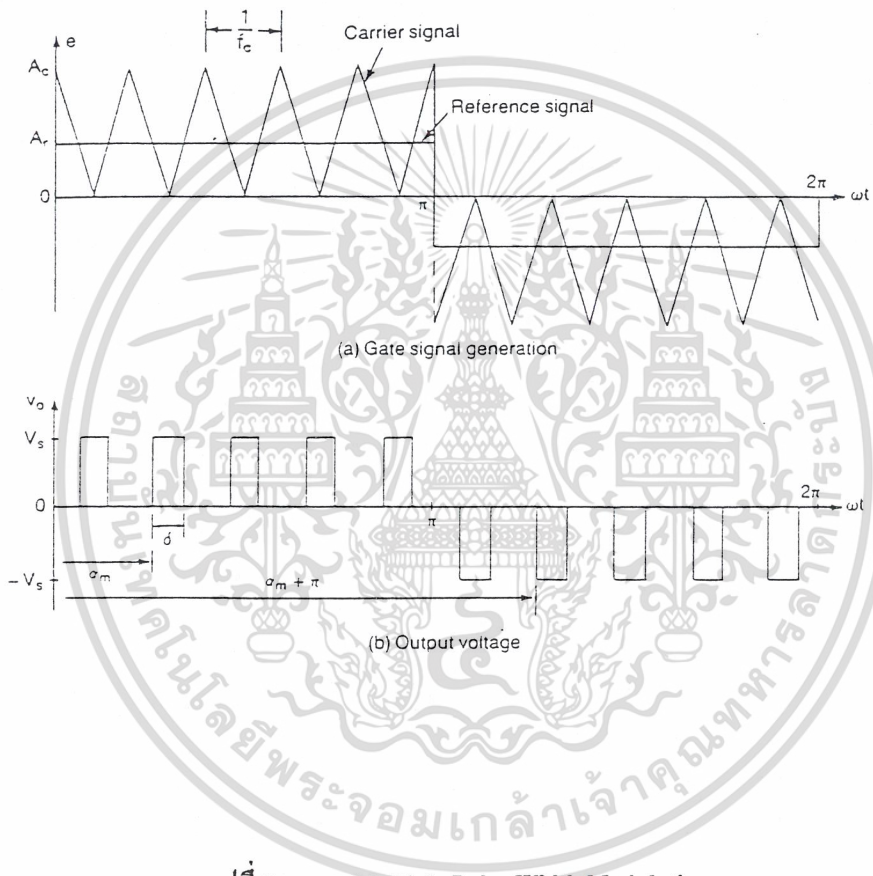
- การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบเดี่ยว
- การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบหลายพัลส์
- การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์

ในโครงการนี้เลือกใช้หลักการอินเวอร์เตอร์มอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบหลายพัลส์ (Multiple Pulse Width Modulation) แบบชนิดอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่นชนิดเฟสเดียว (Single Phase Full Bridge Inverter)

การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบหลายพัลส์ เป็นการทำให้จำนวนพัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิลของรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุต มีจำนวนมากขึ้นกว่าเดิม และลดองค์ประกอบฮาร์โมนิกในรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณทริกเกอร์ที่เกทสำหรับใช้ในการเปิดและปิดไอจีบีทีของการมอดูเลตประเภทนี้
เกิดจากบริเวณจุดตัดระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณพาหะ (ในอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เฟส
เดียว) ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดง Multiple Pulse Width Modulation

หา จำนวนพัลส์ต่อครึ่งไซเคิล (p) ได้จาก

$$p = \frac{f_c}{2f_o} \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ f_c = ความถี่ของสัญญาณพาหะ

f_o = ความถี่ของเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า δ เป็นความกว้างของแต่ละพัลส์ หาค่า rms ของแรงดันเอาต์พุต ได้จาก

$$V_o = \left[\frac{2p}{2\pi} \int_{(\pi/p-\delta)/2}^{(\pi/p+\delta)/2} V_s^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = V_s \sqrt{\frac{p\delta}{\pi}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

V_s = แรงดันอินพุตกระแสตรง

$\omega t = 2\pi f_0 t$

f_0 = ความถี่หลักมูลของอินเวอร์เตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ

1. เครื่องมือวัด

- 1.1 ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
- 1.2 มัลติมิเตอร์ (VOM Meter)

2. แหล่งจ่าย

- 2.1 แหล่งจ่ายสัญญาณ (Function Generator)
- 2.2 แหล่งจ่ายไฟตรง (DC Supply)

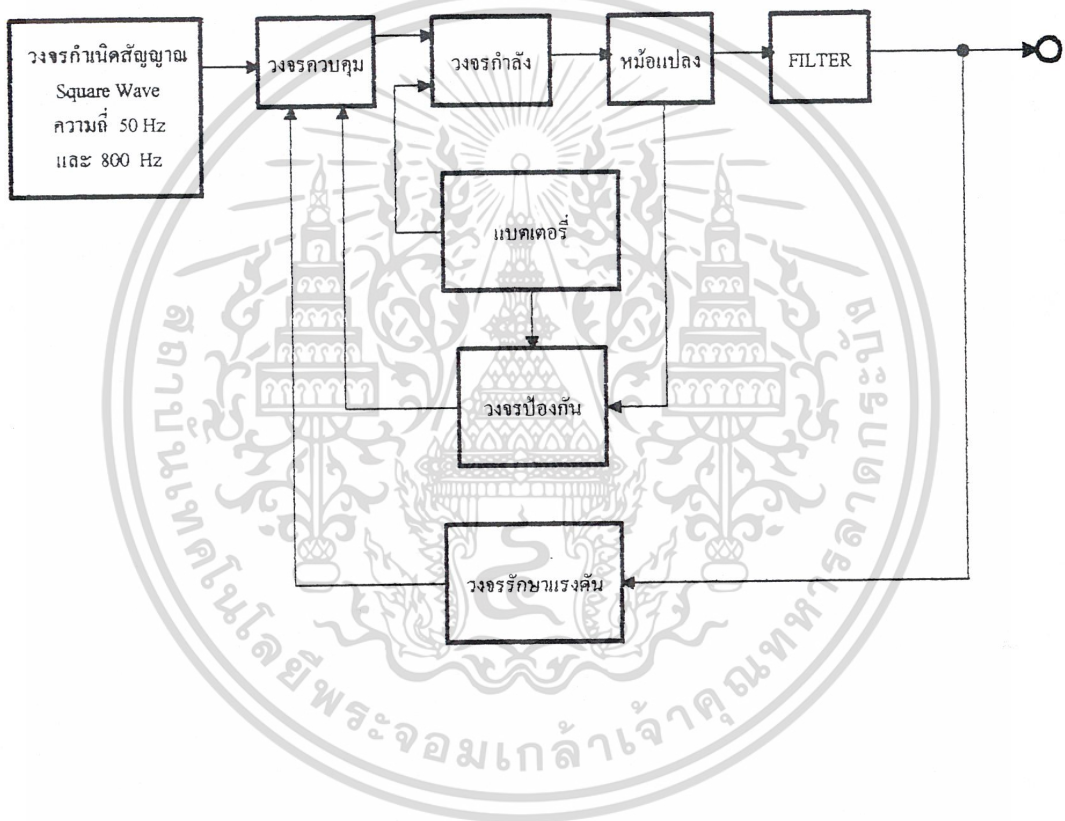
3. อุปกรณ์ในการต่อวงจร

- 3.1 แผงต่อวงจร (ProtoBoard)
- 3.2 สายไฟ , คีมปากนกแก้ว , คีมปอกสายไฟ
- 3.3 ตัวต้านทาน (Resistor) , ตัวเก็บประจุ (Capacitor) , ไอซี (IC) , ไดโอด (Diode)
- 3.4 ไอจีบีที
- 3.5 แผ่นระบายความร้อน (Heat Sink) , ครีมนิโคล
- 3.6 หัวแร้ง , ตะกั่วบัดกรี
- 3.7 คริสตัล (Crystal)
- 3.8 ฟิวส์ (Fuse)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขอบเขตของโครงการ

สำหรับขอบเขตของโครงการสามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 9



รูปที่ 9 บล็อกไดอะแกรมแสดงขอบเขตของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกโคอะแกรมสามารถแสดงรายละเอียดของแต่ละส่วนได้ดังนี้

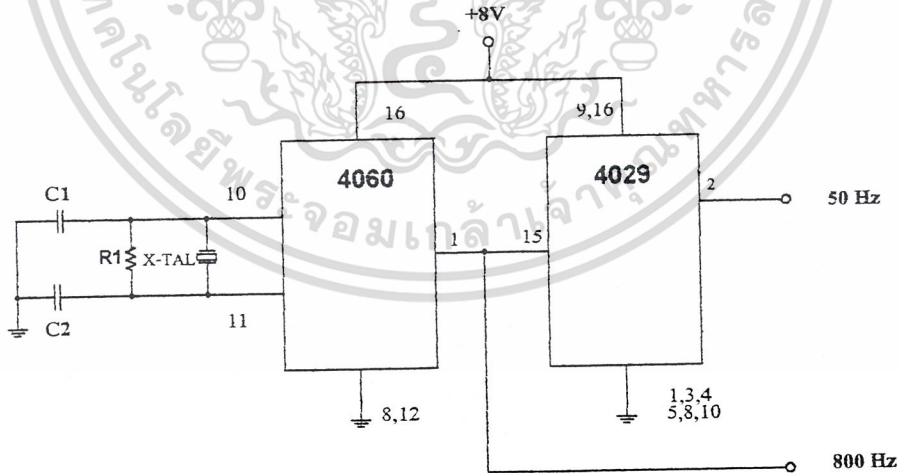
3.2.1 ส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave)

ที่มีความถี่ 50 Hz และ 800 Hz

จะประกอบด้วยคริสตอลเป็นตัวกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม แต่เนื่องจากคริสตอลที่มีขายในท้องตลาด ไม่มีตัวที่สามารถกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 50Hz และ 800 Hz ได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องนำ คริสตอล ที่สามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาดซึ่งมีขนาด 3.2768 MHz มาผ่านวงจรหารเพื่อให้ได้สัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz และ 800 Hz ตามที่ต้องการ

สำหรับวงจรในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ซึ่งประกอบด้วยคริสตอล และวงจรหาร (Divider Circuit) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10

จากวงจรในรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่า ไอซี(IC)เบอร์ 4060 จะทำหน้าที่หารสัญญาณความถี่จากคริสตอล ซึ่งมีความถี่ 3.2768 MHz ดังนั้น ที่ขา 1 ของไอซีเบอร์ 4060 จะเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 800 Hz และนำสัญญาณนี้มาหารด้วย 16 ด้วย ไอซีเบอร์ 4029 ทำให้ได้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 Hz ที่ขา 2



รูปที่ 10 วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 Hz และ 800 Hz

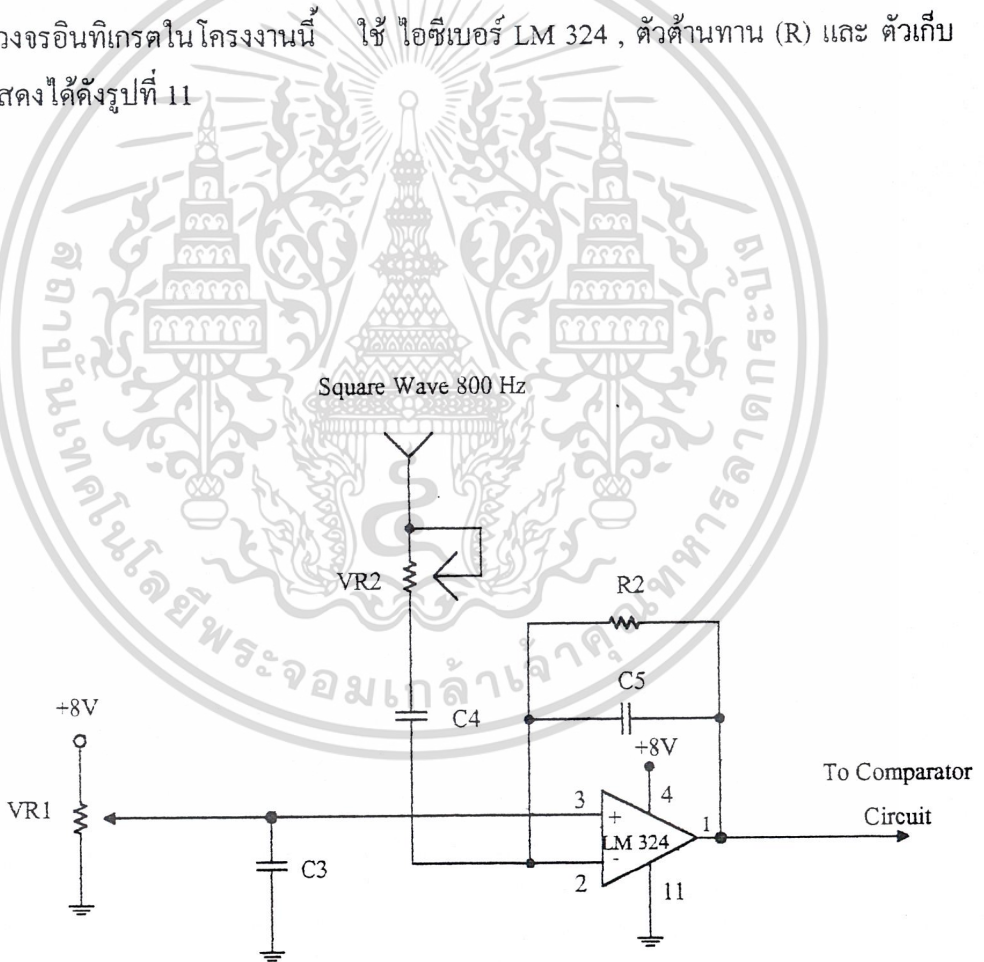
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ส่วนของวงจรควบคุม จะประกอบไปด้วย วงจรอินทิเกรต (Integrate Circuit) , วงจรรักษาแรงดัน, วงจรเปรียบเทียบ (Comparator Circuit) , เกตแบบแอนด์ (AND Gate) , วงจรไฟเลี้ยง และวงจรขับเคลื่อน ซึ่งจะสามารถพิจารณาแยกส่วนได้ดังนี้

3.2.2.1 วงจรอินทิเกรต (Integrate Circuit)

วงจรนี้จะทำหน้าที่รับสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 800 Hz จากส่วนของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมที่กล่าวมาข้างต้น แล้วทำการอินทิเกรต ซึ่งจะได้สัญญาณเอาต์พุต มีลักษณะเป็นสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave)

วงจรอินทิเกรตในโครงการนี้ ใช้ ไอซีเบอร์ LM 324 , ตัวต้านทาน (R) และ ตัวเก็บประจุ (C) แสดงได้ดังรูปที่ 11

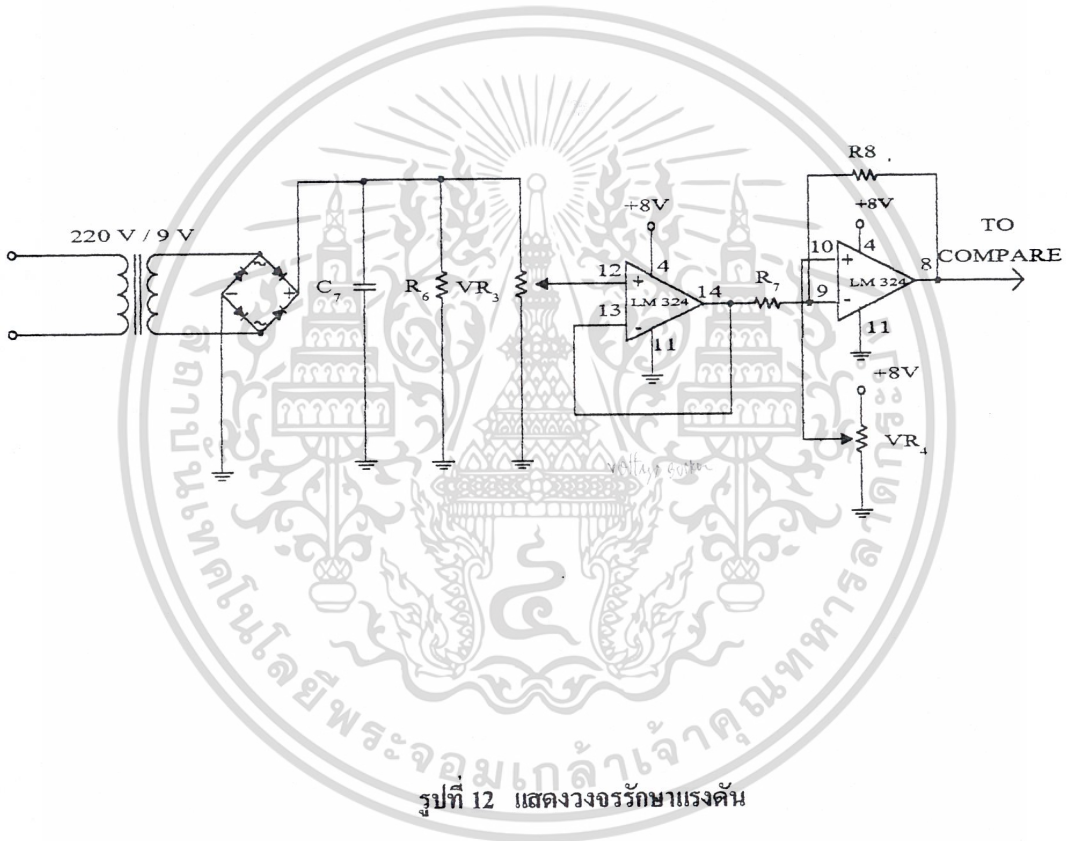


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลข้างต้นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 11 วงจรอินทิเกรต

3.2.2.2 ส่วนของวงจรรักษาแรงดัน

วงจรรักษาแรงดันจะทำหน้าที่ควบคุมแรงดันที่เอาต์พุตให้คงที่ คือ 220 โวลต์ โดยใช้หลักการของวงจรเปรียบเทียบ โดยจะเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยม 800 Hz ได้มาจากวงจรอินทิเกรต และสัญญาณจากวงจรลบ (Subtract Circuit) สัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม โดยจะแบ่งสัญญาณเป็นสองชุด เพื่อนำไปแอนด์กับสัญญาณ 50 Hz และแอนด์ กับ สัญญาณอินเวอร์ต (NOT) ของ 50 Hz สัญญาณทั้งสองที่ได้จะนำไปเป็นอินพุตให้กับ IR 2113

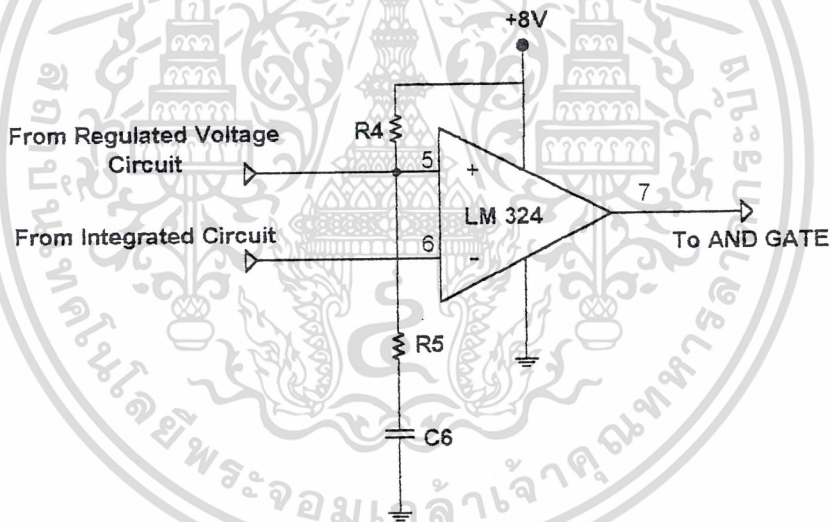


วงจรรักษาแรงดันในส่วนแรก จะรับสัญญาณอินพุตมาจากหม้อแปลงลดแรงดัน (Step Down Transformer) จากแรงดันขนาด 220 โวลต์ ทางด้านเอาต์พุตที่ต่อกับภาระให้เป็นแรงดันขนาด 9 โวลต์สัญญาณที่ได้จะผ่านวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น โดยใช้ไดโอด 4 ตัว ผ่านส่วนของการกรองสัญญาณจะได้สัญญาณไฟตรง ก่อนที่สัญญาณจะถูกป้อนให้กับวงจรลบ จะต้องแบ่งระดับแรงดันด้วยความต้านทานที่ปรับค่าได้แล้วผ่านวงจรบัฟเฟอร์เพื่อไม่ให้ค่าแรงดันที่ตั้งไว้โดยความต้านทานที่ปรับค่าได้นั้นเปลี่ยนไป และสัญญาณที่ได้ (V_m) จะนำไปลบกับสัญญาณอ้างอิงที่ได้จากการแบ่งระดับแรงดันด้วยความต้านทานที่ปรับค่าได้ โดยความต้านทานที่ปรับค่าได้ที่กล่าวมาข้าง

ดังนั้นคือ VR_3 และ VR_4 ในวงจรรักษาแรงดัน สัญญาณที่ได้จากวงจรลบจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่ได้จากการแบ่งแรงดันด้วย VR_4 (V_{ref}) ลบด้วยแรงดันที่ได้จากการแบ่งแรงดันด้วย VR_3 (V_{in}) และสัญญาณที่ได้จากวงจรลบนี้ จะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมจากวงจรอินทิเกรตด้วยวงจรเปรียบเทียบต่อไป

3.2.2.3 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator Circuit)

วงจรนี้จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากวงจรอินทิเกรต นำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณที่มาจากวงจรรักษาแรงดัน โดยในส่วนของวงจรเปรียบเทียบจะใช้ไอซีเบอร์ LM 324 , ความต้านทาน (R) และตัวเก็บประจุ (C) แสดงได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 วงจรเปรียบเทียบ

เมื่อเราเพิ่มภาระลงไปที่ แรงดันเอาต์พุตจากไอจีบีทีก็จะมีค่าลดลงผ่านวงจรเรียงกระแสก็จะมีขนาดลดลง นั่นคือสัญญาณ V_{in} มีค่าน้อยลง ผลที่เกิดจากการลบก็จะมีค่าสูงขึ้น (V_{sub} มากขึ้น) สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจรเปรียบเทียบเพื่อเป็นอินพุตของ IR 2113 จึงมีเนื้อพัลส์ที่มากขึ้น (Duty Cycle สูง) ส่งผลให้แรงดันทางด้านเอาต์พุตที่พร้อมภาระมีค่าเพิ่มขึ้น แรงดันที่เพิ่มขึ้นอาจมีค่าสูงกว่า 220 โวลต์วงจรรักษาแรงดันก็จะลดค่าที่เกิน โดยสัญญาณ V_{in} เข้ามามีค่าสูง V_{sub} จึงมีค่าไม่เท่ากันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลง ผลที่เกิดจากการผ่านวงจรเปรียบเทียบก็จะได้สัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีเนื้อพัลส์ลดลง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจะเกิดในลักษณะซ้ำๆกัน จนกระทั่งแรงดันที่คร่อมภาระมีค่าคงที่ ซึ่งจะใช้เวลาไม่นาน ไม่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงตามลำดับ ขั้นตอนดังกล่าว ในทางตรงกันข้าม เมื่อปลดภาระ ออกแรงดันทางเอาต์พุตก็จะมีค่าสูงขึ้น วงจรรักษาแรงดันก็จะทำงานในลักษณะคล้ายคลึงกัน เพื่อรักษาแรงดันทางเอาต์พุตให้คงที่

รูปแสดงลักษณะการรักษาแรงดันที่ภาระต่างๆเป็นดังนี้

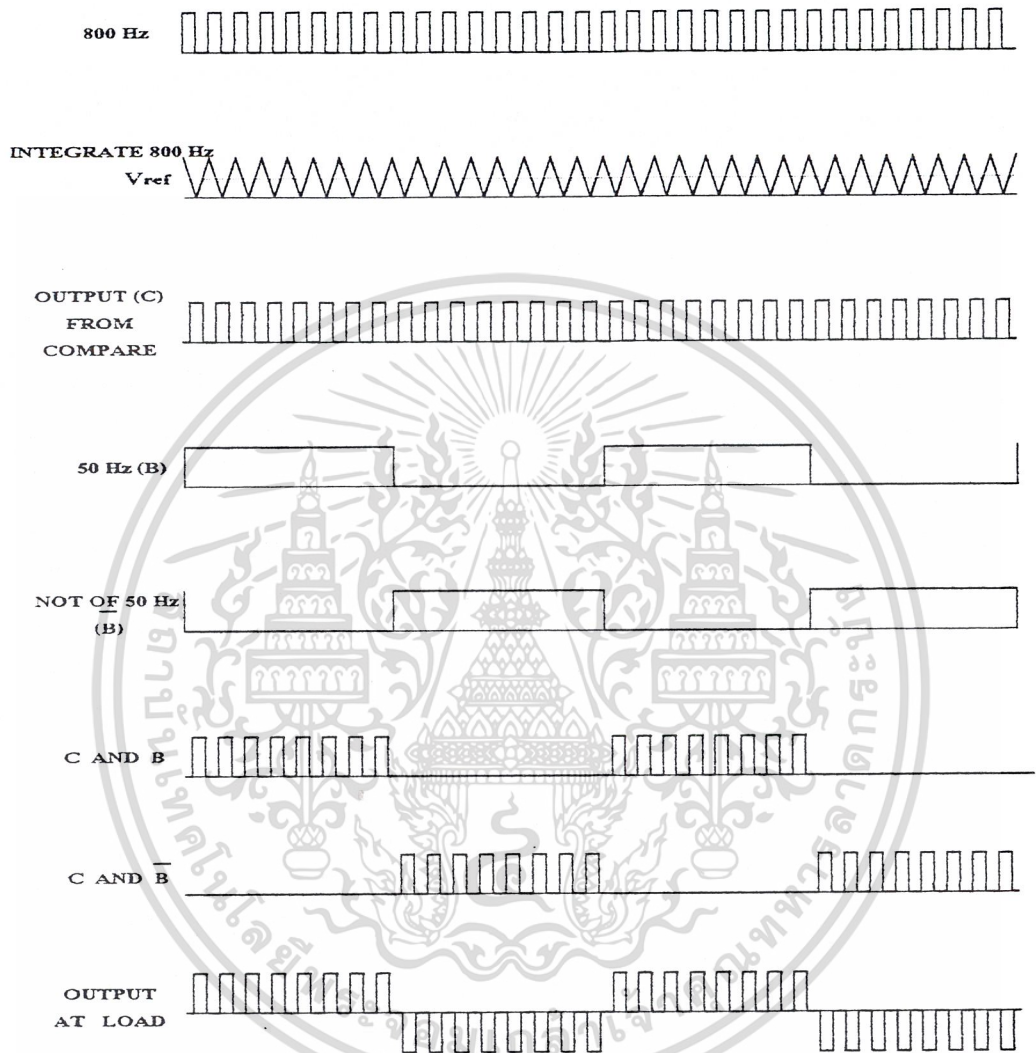
รูปที่ 14 แสดงการรักษาแรงดันที่สภาวะปกติ

รูปที่ 15 แสดงช่วงที่มีการรักษาแรงดันขณะมีภาระเพิ่ม (ระดับแรงดันต่ำลง)

รูปที่ 16 แสดงช่วงที่มีการรักษาแรงดันขณะปลดภาระออก (ระดับแรงดันสูงขึ้น)

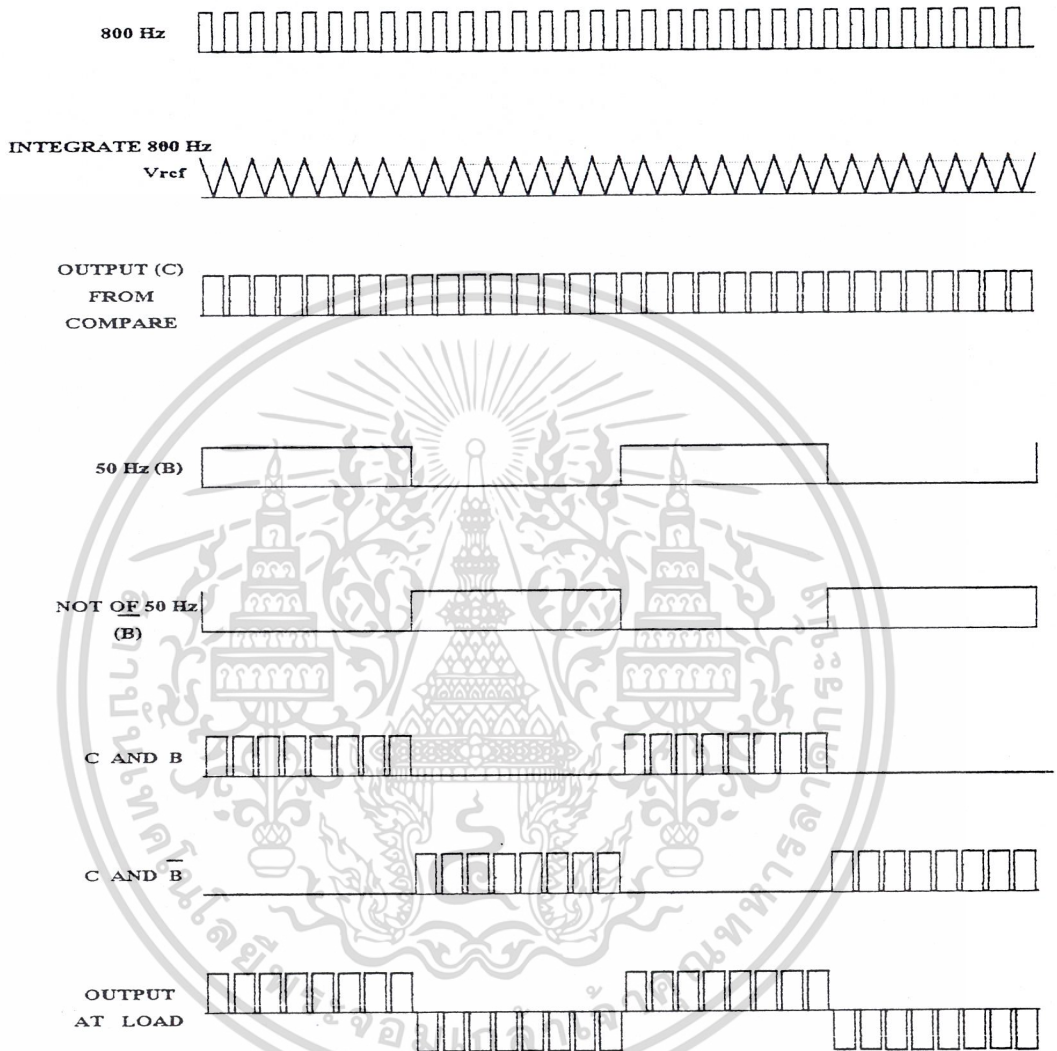


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



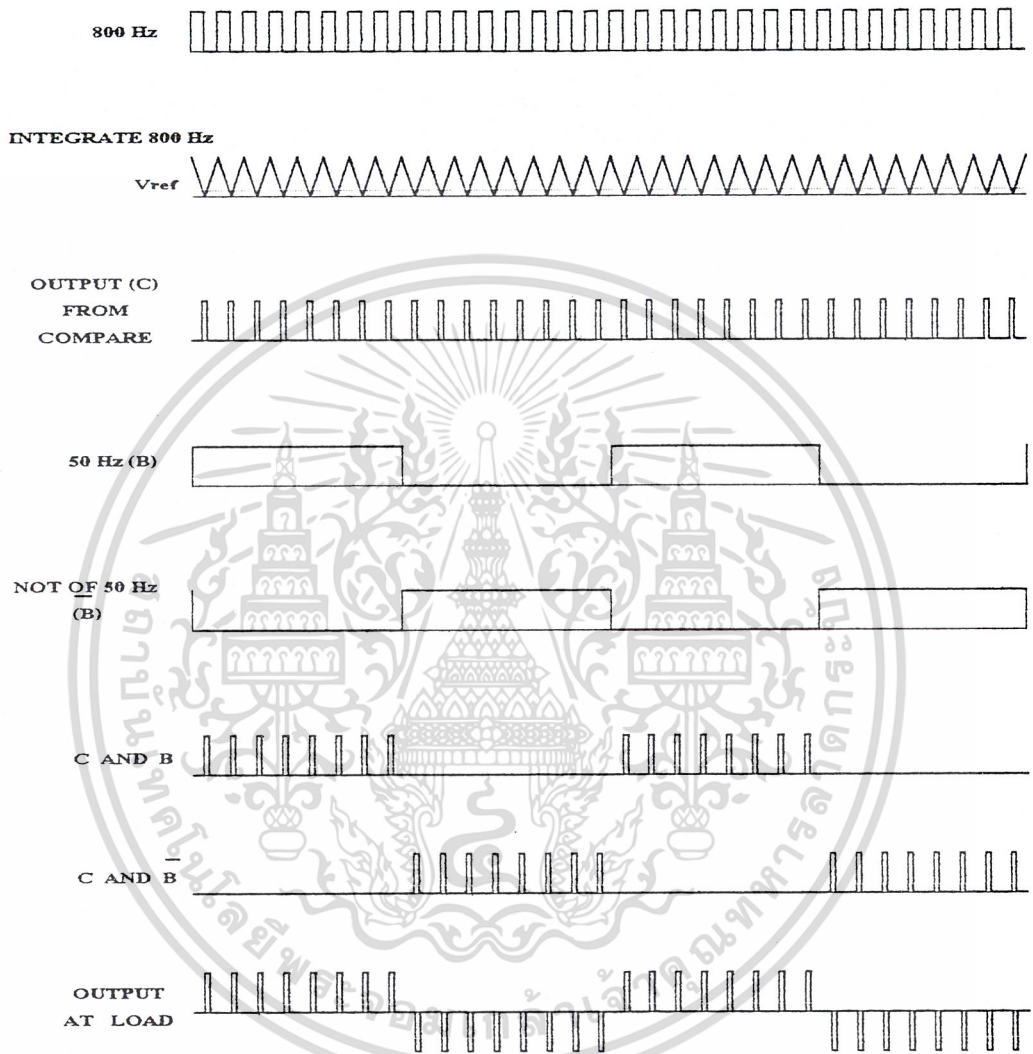
รูปที่ 14 แสดงลักษณะความกว้างของเนื้อพัลส์ที่สภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 15 แสดงลักษณะความกว้างของเนื้อพัลส์ซึ่งกว้างขึ้นชั่วขณะ
ที่ระดับแรงดันเอาต์พุตมีค่าต่ำกว่าสภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16 แสดงลักษณะความกว้างของเนื้อพัลส์ซึ่งแคบลงชั่วขณะ
ที่ระดับแรงดันเอาต์พุตมีค่าสูงกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.4 เกตแบบแอนด

เกตแบบแอนดตัวแรกจะทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุต ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 Hz จากวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมและสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรเปรียบเทียบมากระทำ (Operate) อีกตัวหนึ่งจะรับสัญญาณจากอินเวอร์ตของ 50 Hz และสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบจะได้เอาต์พุตของเกตแบบแอนด (ซึ่งจะนำไปเป็นอินพุตของ IR 2113 ในส่วนของวงจรถูกส่งต่อไป) โดยเอาต์พุตของเกตแบบแอนดนี้ จะขึ้นกับวงจรรักษาแรงดันเพราะฉะนั้นเมื่อนำมาเป็นอินพุตของ IR2113 ในส่วนของวงจรถูกส่งต่อไปให้อินเวอร์เตอร์สามารถรักษาแรงดันได้ (พิจารณาบล็อกไดอะแกรมประกอบ)

รูปวงจรทั้งส่วนของวงจรถูกส่งสัญญาณสี่เหลี่ยมและส่วนของวงจรถูกควบคุมสามารถแสดงร่วมกันได้ดังรูปที่ 17

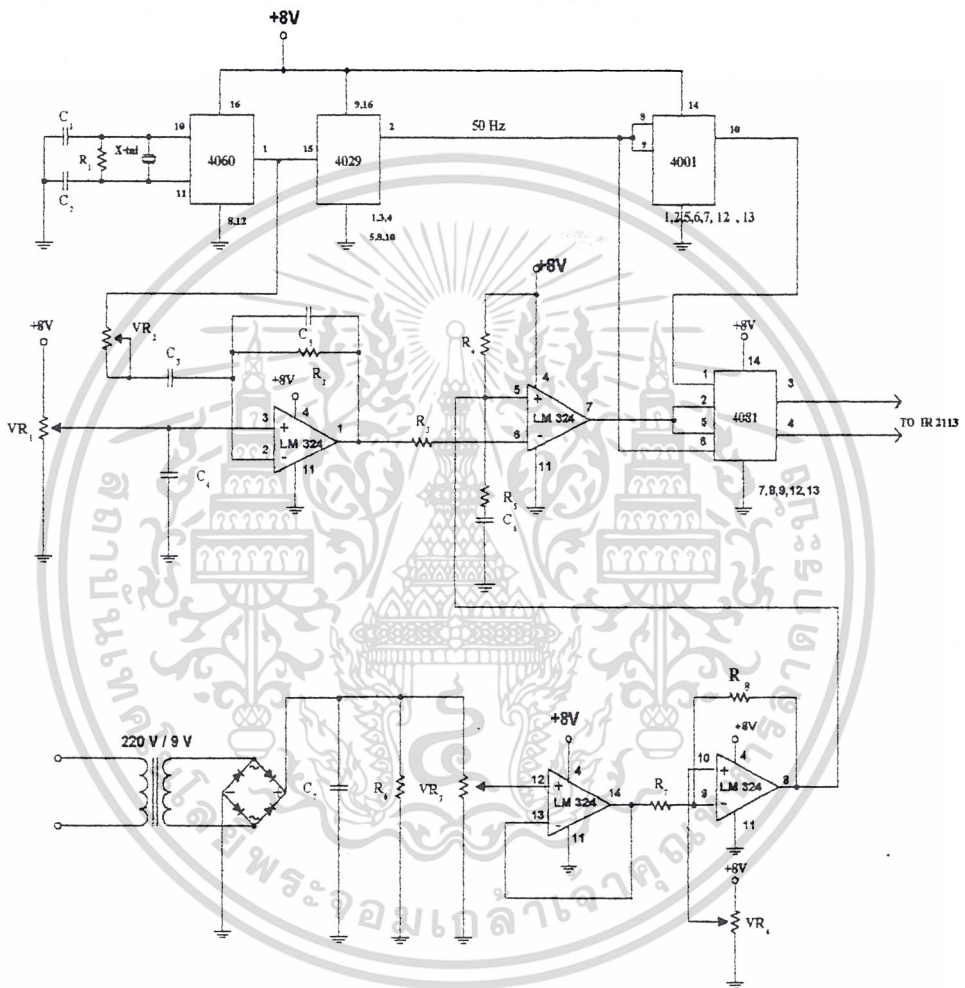
3.2.2.5 วงจรไฟเลี้ยง

วงจรมีหน้าที่สร้างแรงดันระดับ 12 โวลต์ และ 8 โวลต์ เพื่อใช้ในวงจรต่างๆ โดยรับแรงดันมาจากแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ โดยในส่วนแรกจะผ่านไอซี LM317 ทำให้ได้แรงดันระดับ 12 โวลต์ จากนั้น นำระดับแรงดันที่ได้นี้มาผ่านไอซี 7808 ทำให้ได้แรงดันระดับ 8 โวลต์ ดังรูปที่ 18

3.2.2.6 วงจรขับเคลื่อน

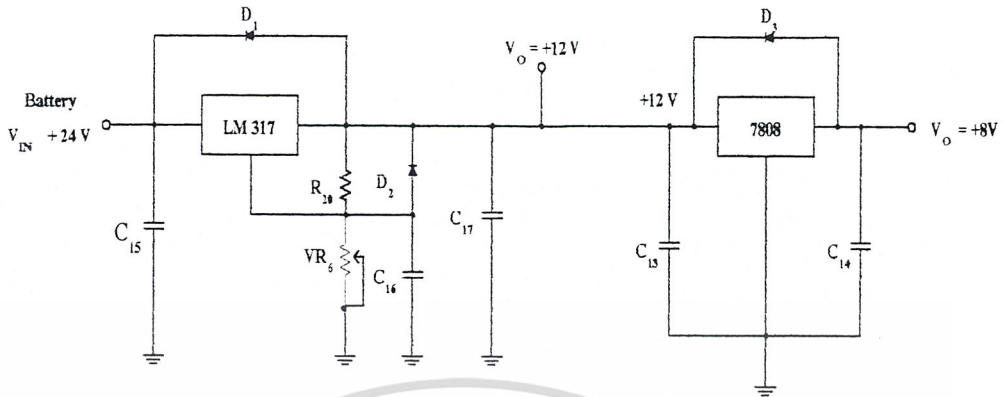
วงจรมีหน้าที่ขับให้ไอซีบีทีในส่วนของวงจรถูกส่งสัญญาณสี่เหลี่ยมตามที่เราต้องการ แต่ถ้าเราจะสร้างวงจรถูกขับเองจะต้องใช้อุปกรณ์หลายชิ้นทำให้ส่วนของวงจรถูกขับมีขนาดใหญ่มาก จึงไม่สะดวกในการนำไปใช้งานและเอาต์พุตของวงจรถูกขับที่ได้จะไม่แน่นอน เพราะจะขึ้นกับการทำงานของอุปกรณ์หลายตัวด้วยกัน และนอกจากนี้ผลของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและสถานะแวดล้อมจะมีผลต่อการทำงานของวงจรถูกขับด้วย ซึ่งอาจทำให้การทำงานของวงจรถูกขับเสื่อมสภาพลงไปด้วย ดังนั้นเราจึงใช้ IR 2113 เป็นตัวขับเคลื่อน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมได้แก่ มีขนาดเล็ก, ให้แรงดันเอาต์พุตที่เหมาะสมกับการนำไปขับไอซีบีที โดย IR 2113 จะมีอินพุตสองอินพุตและเอาต์พุตสองเอาต์พุตเช่นกัน ดังนั้น IR 2113 เพียงตัวเดียวสามารถนำไปขับไอซีบีทีได้ถึง 2 ตัว เพราะให้เอาต์พุต 2 ค่า โดยเอาต์พุตทั้งสองนี้ จะขึ้นอยู่กับอินพุตทั้งสองที่ป้อน ซึ่งลักษณะการต่อ IR 2113 เพื่อนำไปขับเกตสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

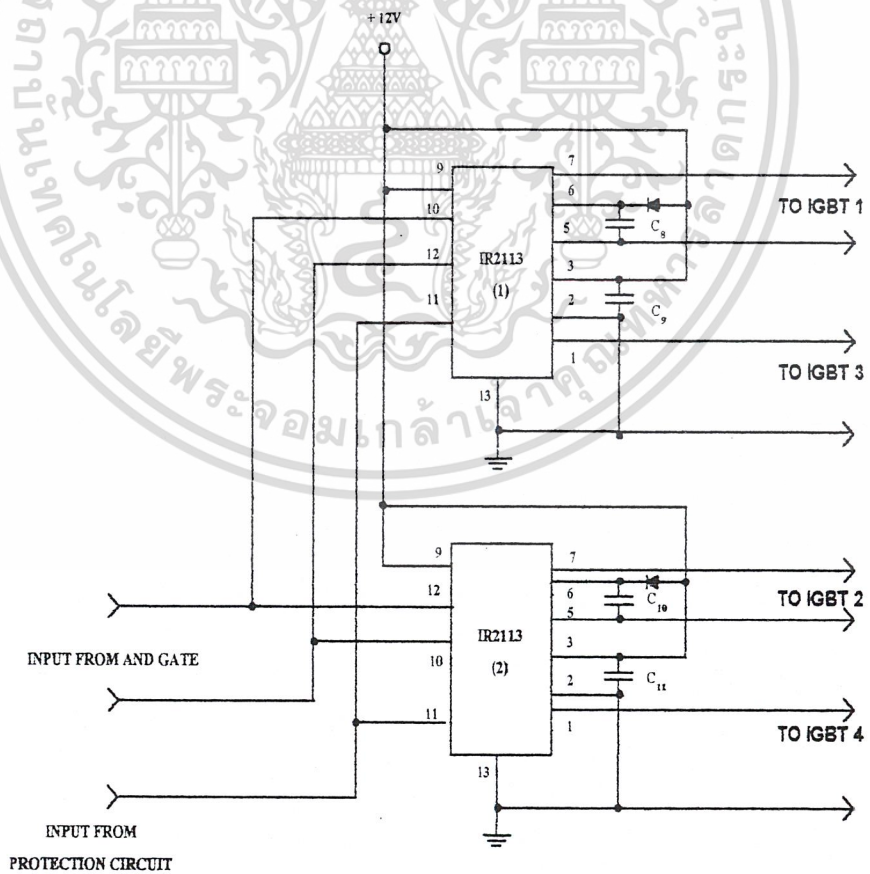


รูปที่ 17 วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม และวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 18 วงจรไฟเลี้ยง



รูปที่ 19 การต่อ IR 2113

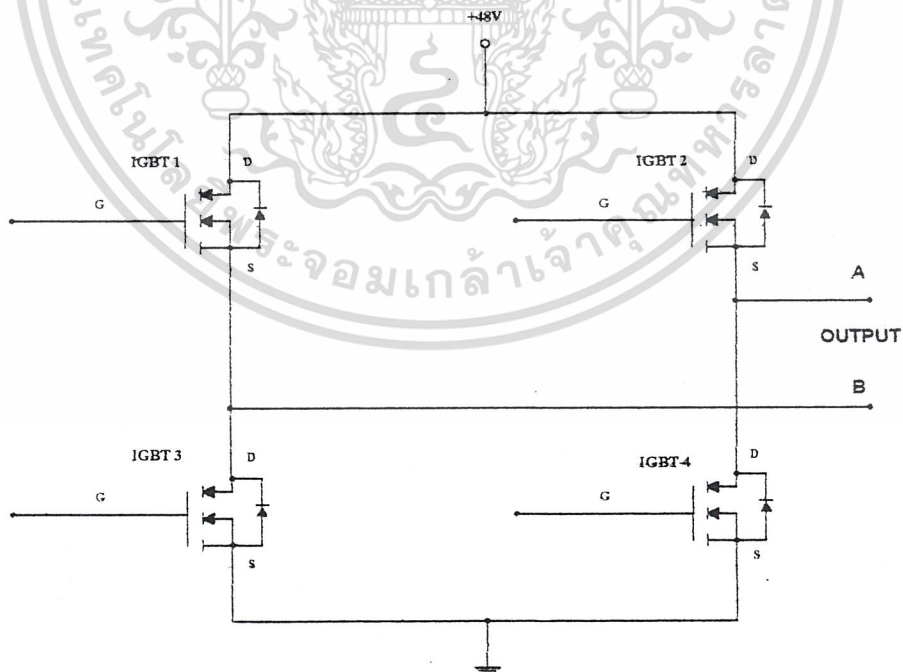
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่า อินพุตของ IR 2113 คือขา 10 และขา 12 โดยมีขา 11 ต่อมาจากวงจรป้องกัน ส่วนเอาต์พุตแรก คือที่ขา 1 โดยมีขา 2 เป็นกราวนด์และเอาต์พุตที่สองคือ ที่ขา 7 โดยมีขา 5 เป็นกราวนด์ ซึ่งกราวนด์ ขา 2 และ กราวนด์ขา 5 นี้จะแยกกัน และเราต้องการให้เอาต์พุตทั้งสองสลับกันทำงาน ดังนั้นจึงต้องให้สัญญาณสี่เหลี่ยมที่เป็นอินพุต ซึ่งป้อนที่ ขา 10 และ ขา 12 ของ IR 2113 เป็นสี่เหลี่ยมที่จากวงจรรักษาแรงดันและคุณสมบัติของ IR 2113 จะให้เอาต์พุตทั้งสองที่ได้มีเวลาไร้ผลสนอง (Dead Time) เพื่อใช้ในกรณีที่ต้องการให้อุปกรณ์ที่ถูกขับสลับกันทำงาน

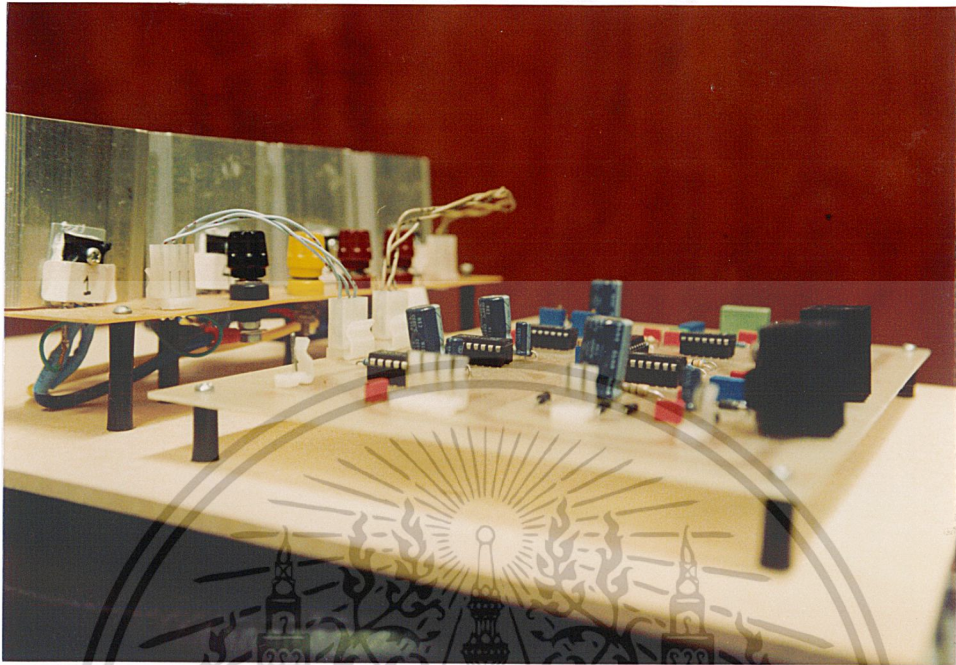
3.2.3 ส่วนของวงจรกำลัง จะประกอบด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่น (Full Bridge Inverter) วงจรกรองสัญญาณ (Filter) , หม้อแปลง (Transformer) โดยจะแยกพิจารณาได้ดังนี้

3.2.3.1 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่น (Full Bridge Inverter)

วงจรนี้จะประกอบด้วย ไอจีบีทีทั้งหมด 4 ตัวดังรูปที่ 20 โดยการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่นนี้ ในครึ่งไซเคิลแรก ไอจีบีทีตัวที่ 1 และตัวที่ 4 จะทำงาน ส่วนในครึ่งไซเคิลหลัง ไอจีบีทีตัวที่ 2 และตัวที่ 3 จะทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 20 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่น หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

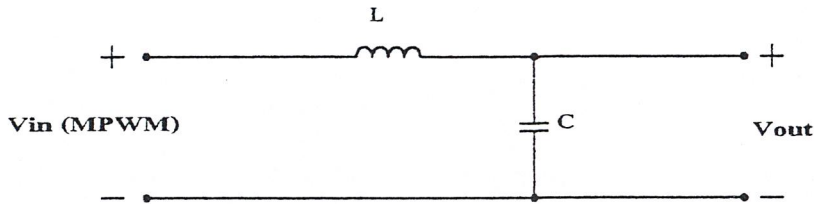


รูปที่ 21 แผงวงจรที่ใช้ในโครงการ

3.2.3.2 วงจรกรองสัญญาณ (Filter)

การเลือกค่าตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุ เพื่อใช้ในวงจรกรองสัญญาณมีความจำเป็นมาก ทั้งนี้เนื่องจากค่าตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุที่เหมาะสม จะทำให้แรงดันที่ออกมาจากวงจรกรองสัญญาณมีค่าไม่สูงจนเกินไป ซึ่งถ้าหากใช้ค่าที่ไม่เหมาะสมแล้ว จะทำให้เกิดโอเวอร์จูนหรือแรงดันค่าสูงอาจทำให้วงจรเกิดความเสียหายได้ และนอกจากนี้จะทำให้เกิดปัญหาในส่วนของควบคุมแรงดันอีกด้วย วงจรกรองสัญญาณจะรับแรงดันที่มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณสี่เหลี่ยม จากนั้นจะผ่านตัวเหนี่ยวนำ (L) ซึ่งในตัวเหนี่ยวนำก็จะมีค่าความต้านทานอยู่ค่าหนึ่ง (R) ซึ่งต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำอยู่ จากนั้นก็จะนำมาผ่านตัวเก็บประจุ (C) ดังวงจรสมมูลข้างล่างและสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจะเป็นสัญญาณไซน์ ซึ่งมีความถี่เท่ากับ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22 แสดงวงจรกรองสัญญาณ

เพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุตที่ค่อนข้างจะคงที่คือ 220 โวลต์ จึงจำเป็นต้องมีส่วนของการควบคุมแรงดัน ซึ่งมีการควบคุมลักษณะวงปิด (Close Loop) คือ มีการป้อนสัญญาณกลับเมื่อค่าแรงดันสุดท้ายมีค่าลดลง ก็จะไปควบคุมให้มีการเพิ่มแรงดันและเมื่อแรงดันเกินก็จะควบคุมให้มีการลดแรงดันซึ่งรายละเอียดของการรักษาแรงดัน ได้กล่าวไว้ในส่วนของวงจรรักษาแรงดัน

สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้มาจากการขับ ไอจีบีทีจะถูกกรองโดยอาศัยหลักการของวงจรกรองที่ผ่านได้เฉพาะความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) กำหนดให้มีการคัทออฟ ที่ความถี่ 50 Hz สัญญาณที่มีความถี่มากกว่า 50 Hz จะไม่สามารถผ่านได้ ส่วนที่เป็นหลักเป็นสัญญาณที่มีความถี่ 50 Hz (Fundamental) ก็จะผ่านไปได้ เราจึงควรเลือกค่าตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุ ที่สอดคล้องกับความถี่คัทออฟ 50 Hz ซึ่งสามารถหาค่าได้ดังนี้

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots (4)$$

เนื่องจากค่าของตัวเก็บประจุที่ใช้กับสัญญาณไฟกระแสสลับค่อนข้างจะหาได้ยากจึงกำหนดค่าจะจงลงไป ส่วนค่าของตัวเหนี่ยวนำเราสามารถหาค่าได้ตามค่าที่เราต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.3 หม้อแปลง

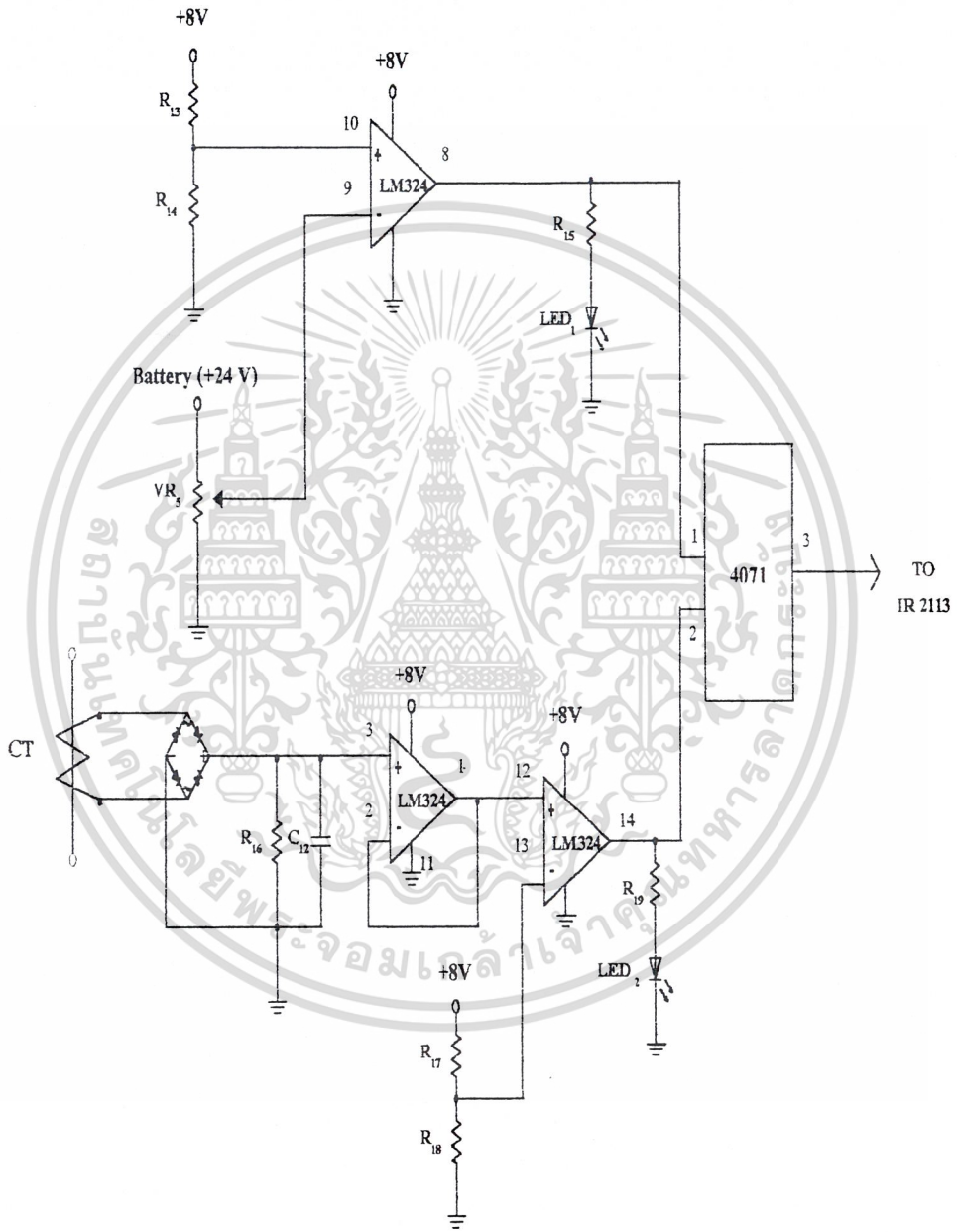
สำหรับหม้อแปลงที่ใช้ในโครงการนี้ เป็นหม้อแปลงแกนทอรอยด์ (Toroid) เพื่อ Step up แรงดันของพัลส์ขึ้นและเมื่อผ่านวงจรกรองสัญญาณแล้วจะได้สัญญาณไซน์ที่มีขนาดเป็น $220\text{ V}_{\text{rms}}$ ซึ่งจะนำสัญญาณนี้ไปใช้งาน

3.2.4. ส่วนของวงจรป้องกัน

ในที่นี้จะใช้ หม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ต่อทางด้านเอาต์พุตที่ภาระ และนำแรงดันทางด้านทุติยภูมิ มาผ่านวงจรเรียงกระแสด้วยไดโอด 4 ตัวและกรองให้เรียบด้วยตัวเก็บประจุ และค่าความต้านทาน จากนั้นนำสัญญาณที่ได้มาผ่านวงจรบัฟเฟอร์ และวงจรยกระดับแรงดัน ซึ่งในส่วนนี้จะมีหลอดไฟแสดงสัญญาณ (LED) แสดงความผิดปกติในกรณีที่เกิดกระแสเกิน หลังจากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้จากวงจรยกระดับแรงดันมาออร์กับสัญญาณที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณแรงดันอ้างอิง (ในส่วนนี้จะมีหลอดไฟแสดงสัญญาณ แสดงความผิดปกติในกรณีที่เบคเตอร์มีแรงดันต่ำเกินไป) โดยใช้ไอซีเบอร์ 4071 ถ้าหากเกิดความผิดปกติขึ้นจะทำให้เกิดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 3 ของไอซีเบอร์ 4071 ซึ่งจะส่งไปที่ IR 2113 ทำให้เกิดการตัดสัญญาณ ไปขับ ไอจีบีที ซึ่งเป็นการตัดการจ่ายไฟให้กับภาระ

วงจรป้องกันจะมีประโยชน์ในการช่วยป้องกันไม่ให้คิ่งกระแสไปจ่ายภาระมากเกินไปจนเกิดการโอเวอร์โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



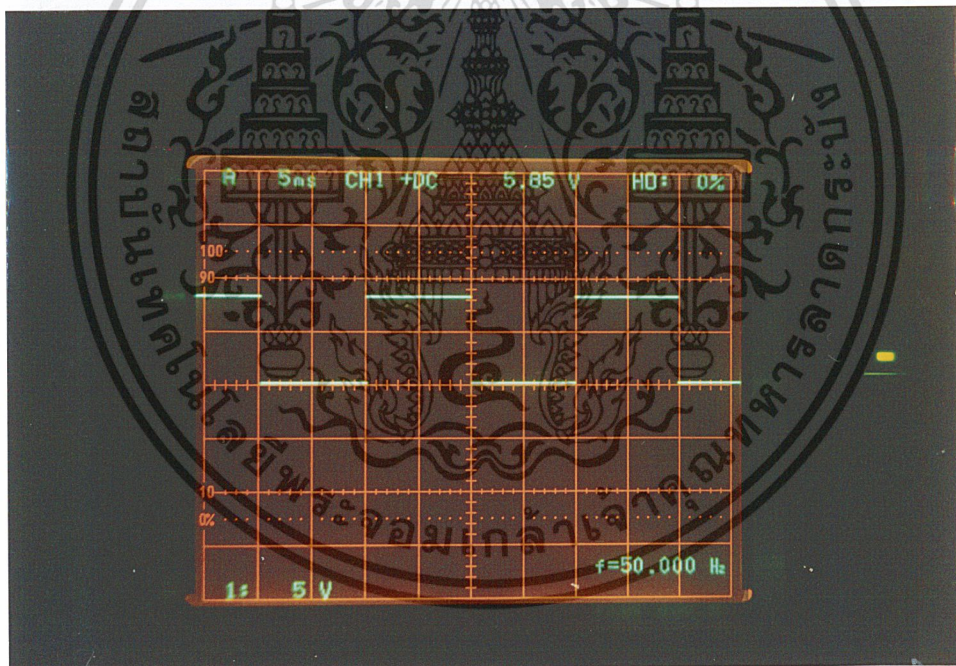
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษา **รูปที่ 23 แสดงการต่อวงจรป้องกัน** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 Hz และ 800 Hz

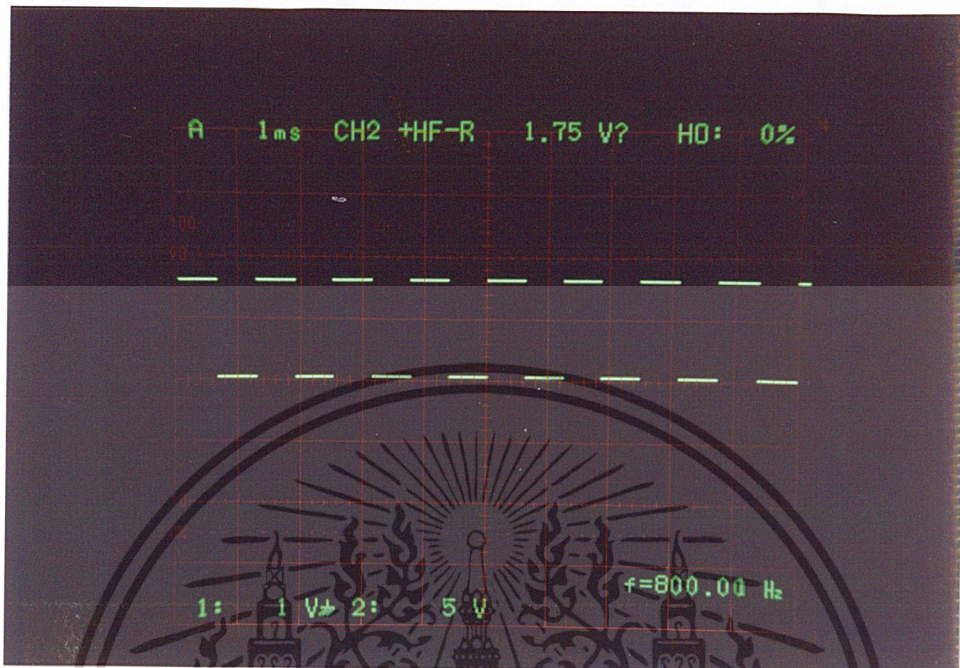
เมื่อต่อวงจรตามรูปที่ 10 จะปรากฏลักษณะของสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 Hz ที่ขา 1 ของไอซีเบอร์ 4046 และจะปรากฏลักษณะสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 400 Hz ที่ขา 2 ของไอซีเบอร์ 4060 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 24-26



รูปที่ 24 แสดงสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีความถี่ 50 Hz

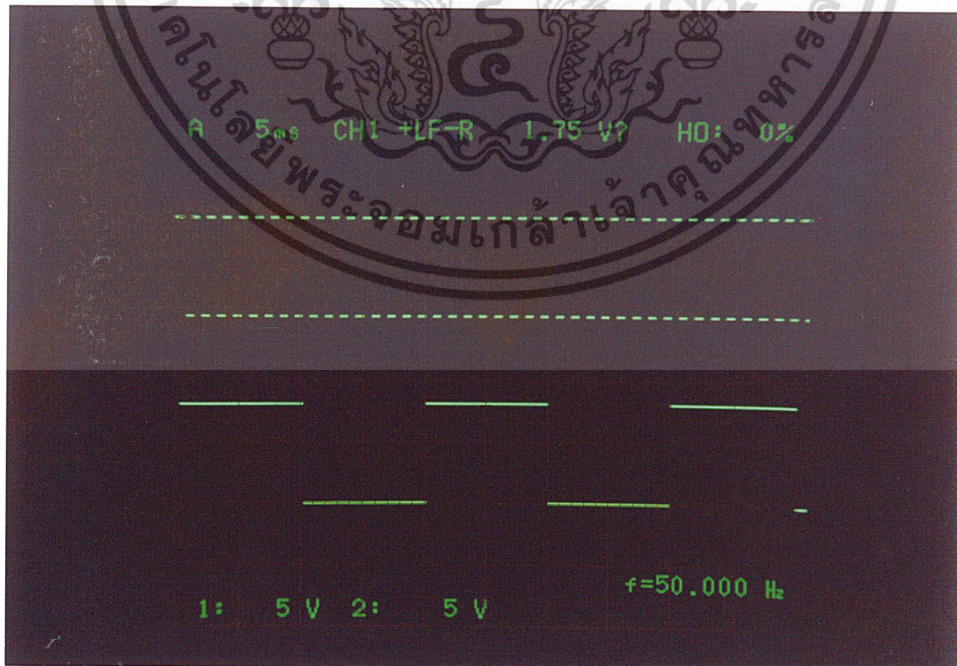
scale 5v / div time 5 ms / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 25 แสดงสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 800 Hz

scale 5 v / div time 1 ms / div



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มิได้ระบุเป็นอย่างอื่นของเอกสารฉบับนี้ที่มีการนำไปใช้

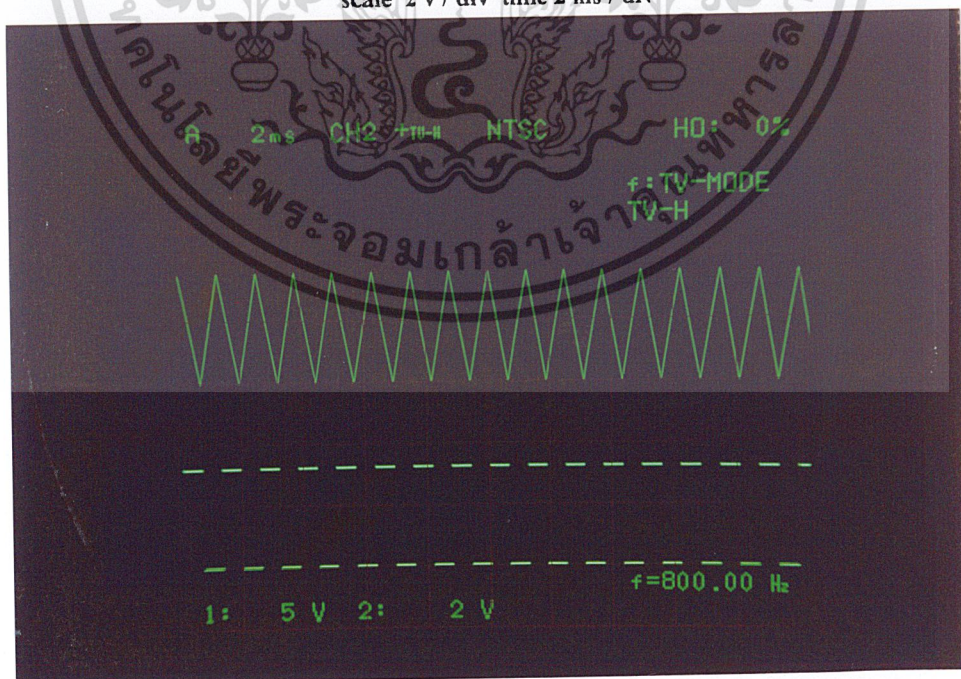
scale 5 v / div time 5 ms / div

4.2 ส่วนของวงจรควบคุม

4.2.1 วงจรอินทิเกรต

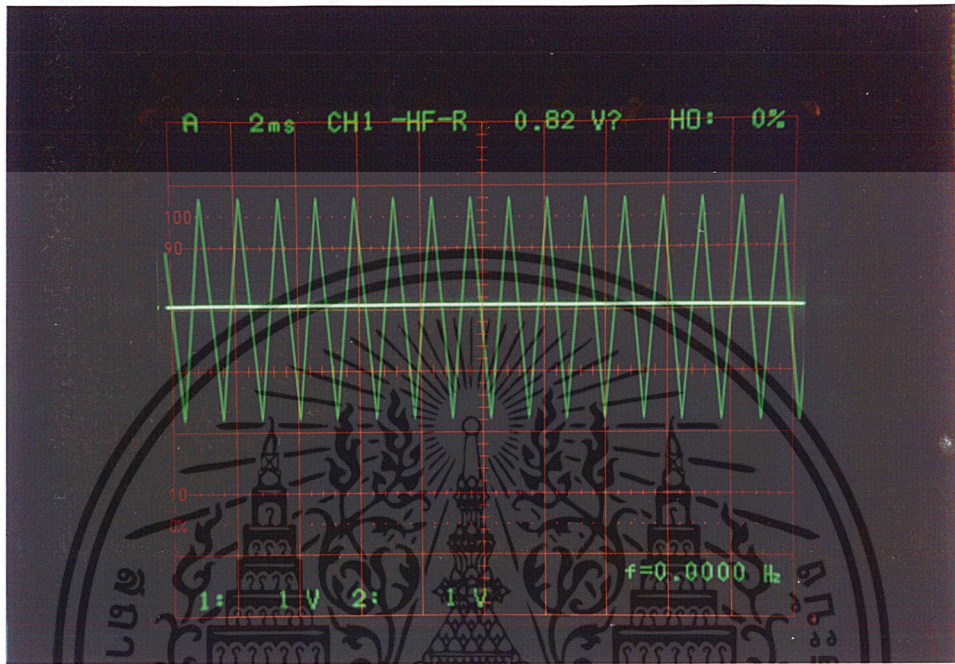


รูปที่ 27 แสดงเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรต
scale 2 v / div time 2 ms / div



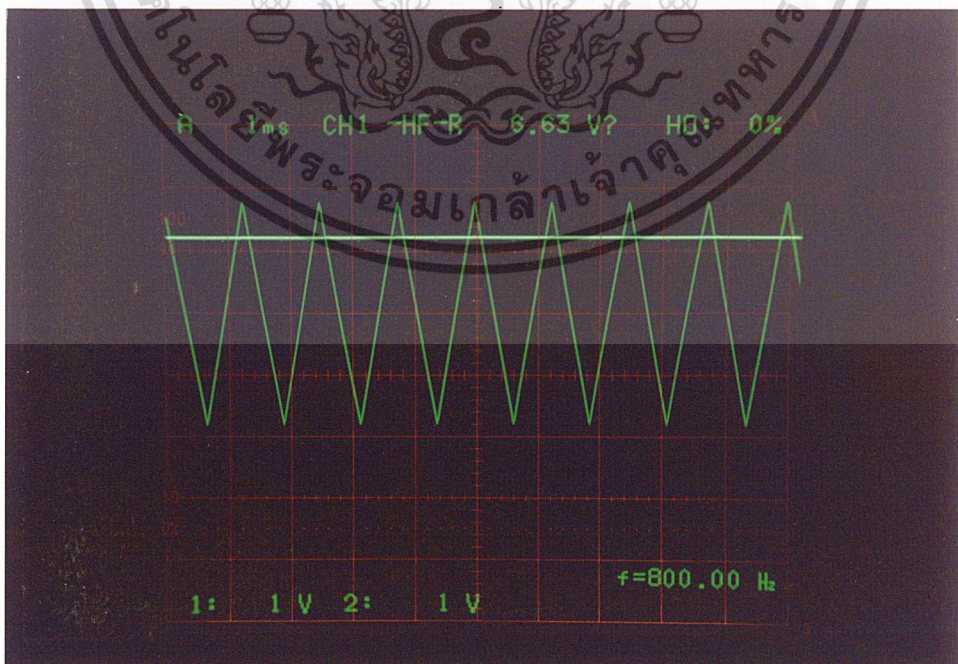
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 28 แสดงเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรตเปรียบเทียบกับอินพุต (สี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 800 Hz) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น scale 2 v / div time 2 ms / div

4.2.2 ส่วนของวงจรรักษาแรงดัน



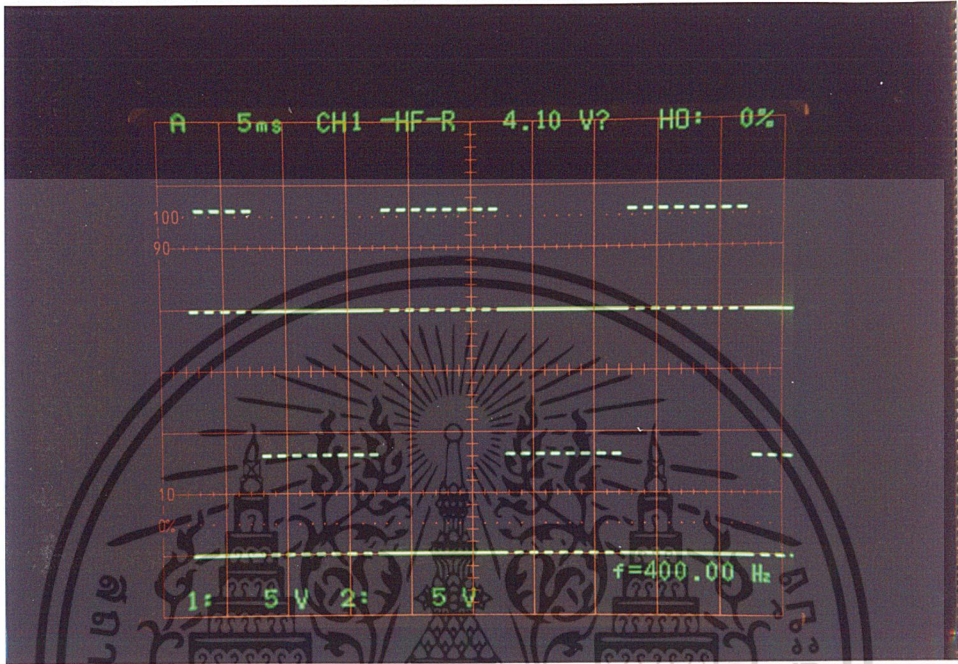
รูปที่ 29 แสดงการจำลองตั้งค่า Vref ณ ที่กลางสัญญาณสามเหลี่ยม 800 Hz

scale 1 v / div time 2 ms / div

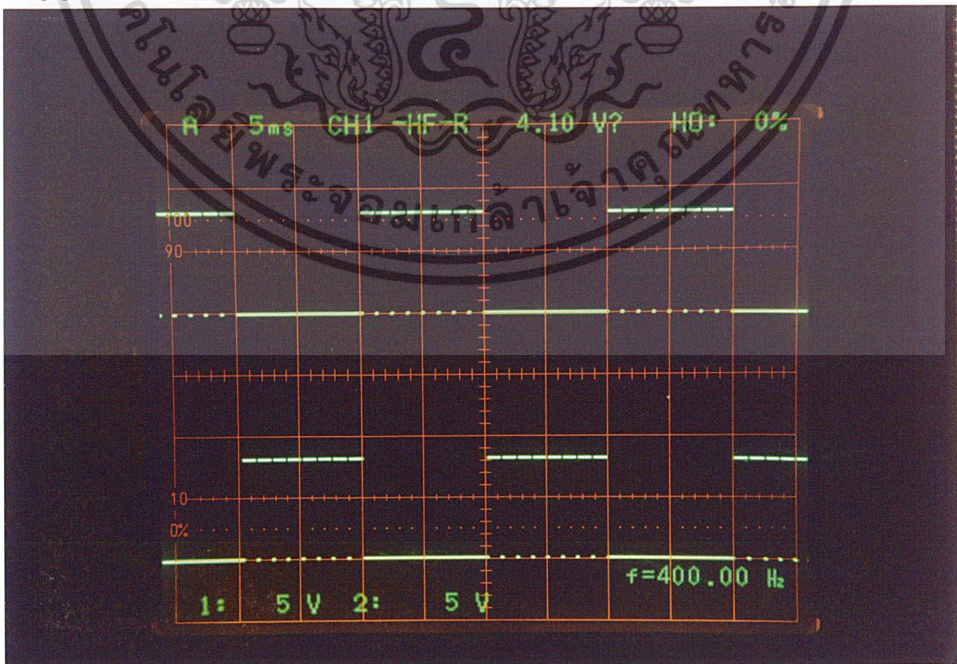


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 30 แสดงการจำลองตั้งค่า Vref เปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม 800 Hz
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ที่ระดับแรงดันเอาต์พุตมีค่า 0 โวลต์ scale 1 v / div time 1 ms / div

4.2.3 เกตแบบแอนด์

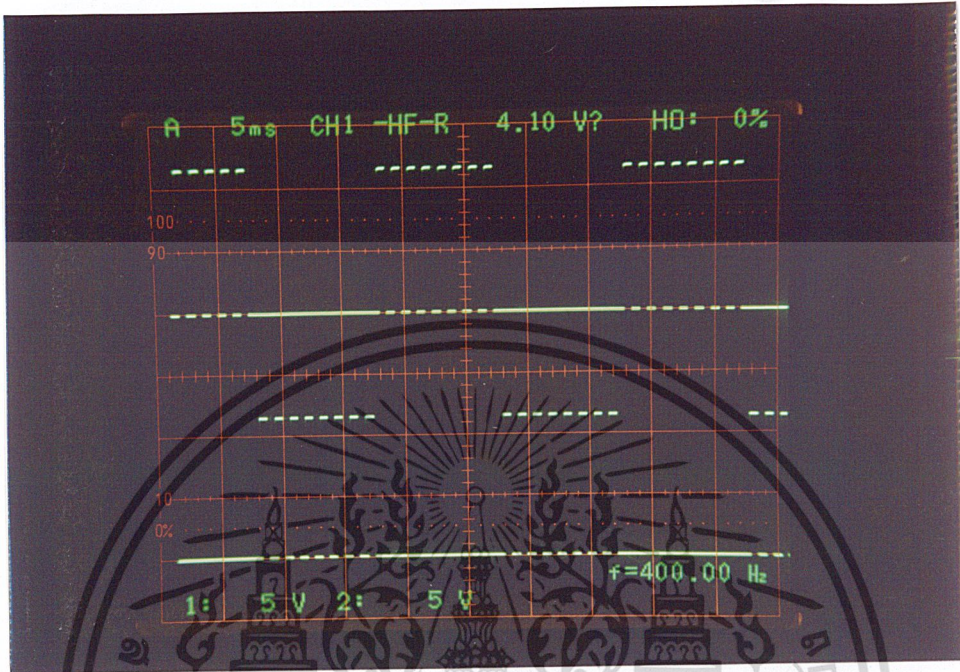


รูปที่ 31 แสดงเอาต์พุตของเกตแบบแอนด์ ที่ขา 3 และ 4 ซึ่งป้อนเข้า IR 2113 ที่จำลองตั้งค่า Vref ณ กึ่งกลาง สัญญาณสามเหลี่ยม 800 Hz scale 5 v / div time 5 ms / div

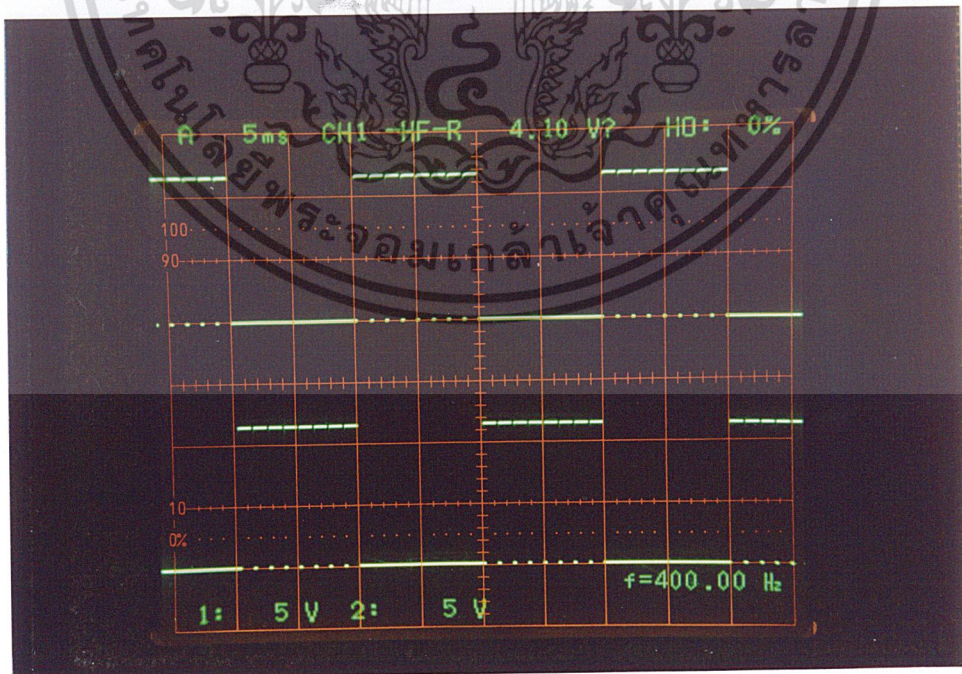


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตไปใช้ในประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 32 แสดงเอาต์พุตของเกตแบบแอนด์ ที่ขา 3 และ 4 ซึ่งป้อนเข้า IR 2113
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำข้อมูลไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบรรณาธิการ
 ที่จำลองระดับแรงดันเอาต์พุต มีค่า 0 โวลต์ scale 5 v / div time 5 ms / div

4.2.4 วงจรจับเกต

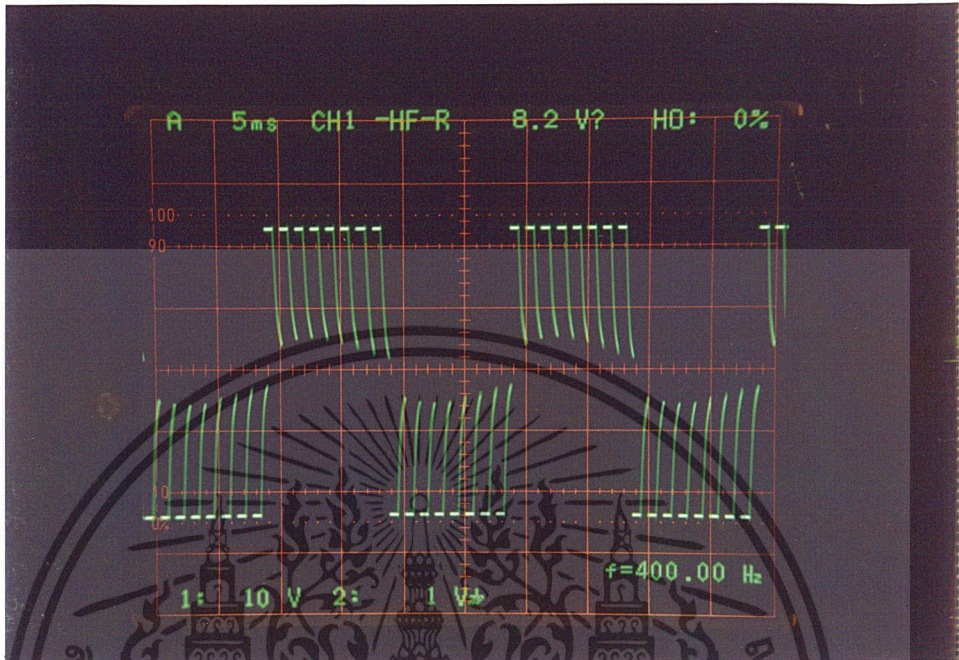


รูปที่ 33 แสดงเอาต์พุตของ IR 2113 ทั้ง 2 เอาต์พุตเปรียบเทียบกับ ที่จำลองตั้งค่า Vref ณ ที่กลางสัญญาณ ตามเหลี่ยม 800 Hz scale 5 v / div time 5 ms / div

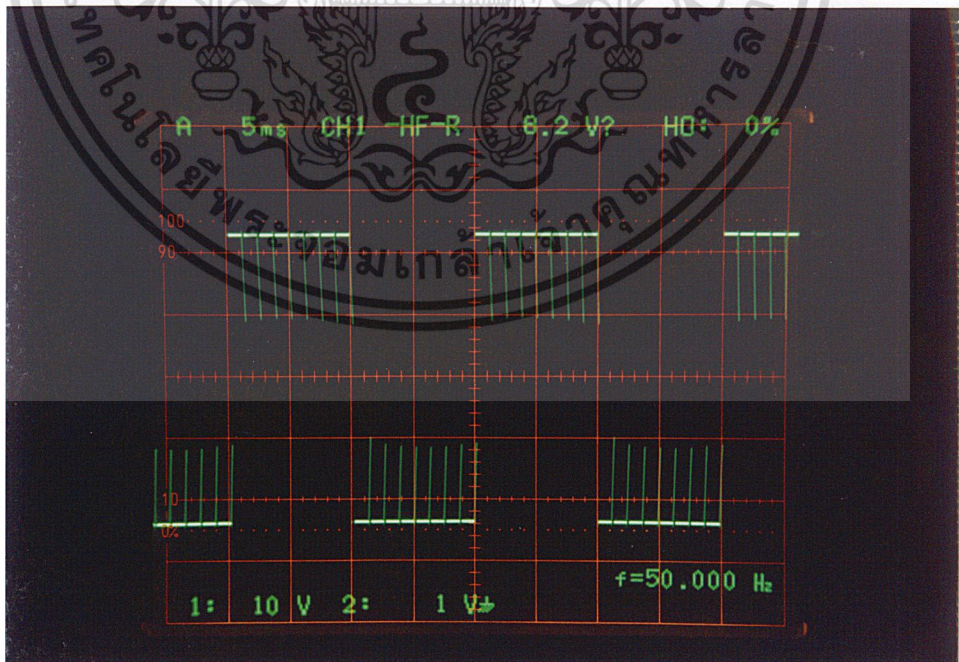


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 34 แสดงเอาต์พุตของ IR 2113 ทั้ง 2 เอาต์พุตเปรียบเทียบกับใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีที่จำลอง ณ ระดับแรงดันเอาต์พุตมีค่า 0 โวลต์ scale 5 v / div time 5 ms / div

4.3 ส่วนของวงจรกำลัง



รูปที่ 35 แสดงเอาต์พุตจากวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่น ที่จำลองตั้งค่า Vref ณ กึ่งกลาง สัญญาณตามเหลี่ยม 800 Hz scale 10 V / div time 5 ms / div



รูปที่ 36 แสดงเอาต์พุตจากวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่นที่จำลองระดับแรงดัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เอาต์พุต มีค่า 0 โวลต์ scale 10 V / div time 5 ms / div
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบจ่ายภาระต่างๆ

ตารางที่ 1 การบันทึกผลการทดสอบจ่ายภาระต่างๆในกรณี Open Loop

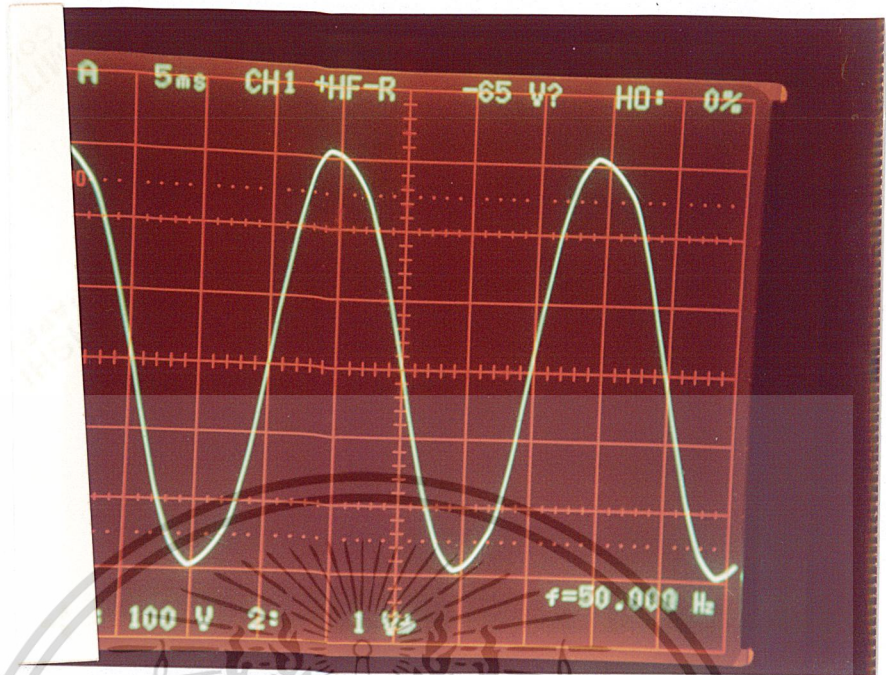
การทดลอง	ภาระ	แรงดันที่ เอาต์พุต(V)	กระแสที่ Primary ของหม้อแปลง(A)
1	ไร้ภาระ	237	9.5
2	หลอดไฟ 100 w	135	5.5
3	หลอดไฟ 100 w และบัลลาสต์*	121	4

ตารางที่ 2 การบันทึกผลการทดสอบจ่ายภาระต่างๆในกรณี Close Loop

การทดลอง	ภาระ	แรงดันที่ เอาต์พุต(V)	กระแสที่ Primary ของหม้อแปลง(A)
1	ไร้ภาระ	234	9.4
2	หลอดไฟ 100 w	215	8.5
3	หลอดไฟ 100 w และบัลลาสต์*	203	6.6

* บัลลาสต์ขนาด กระแส 0.37 A แรงดัน 220 V ตัวประกอบกำลัง 0.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 37 เอตพัต ณ สภาวะไร้อะ

scale 100 V / div time 5 ms / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในโครงการ ไอจีบีทีอินเวอร์เตอร์ได้ทดลองโดยใช้ไอจีบีทีเป็นอุปกรณ์สวิตชิง ในส่วนของ วงจรได้ประยุกต์มาจากวงจรอินเวอร์เตอร์ทั่วไป ที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สวิตชิง เหตุผล ที่เลือกใช้ไอจีบีทีเพราะ ไอจีบีทีเป็นอุปกรณ์ที่พัฒนามาจากทรานซิสเตอร์และมอสเฟตโดยจะนำเอา ข้อดีของทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีการสูญเสียกำลังงานขณะใช้งานต่ำ รวมกับข้อดีของมอสเฟต ซึ่งมีความเร็วในการสวิตช์ได้เร็วส่วนของวงจรขับเคลื่อนของไอจีบีที ได้ใช้ IR 2113 เป็นตัวขับ โครงการนี้ออกแบบไว้ที่ 220 โวลต์ 50 Hz โดยสัญญาณที่ได้จะเป็นรูปคลื่นไซน์

5.1 วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีความถี่ 50 Hz และ 800 Hz

ในส่วนนี้จากการทดสอบพบว่า สัญญาณเอาต์พุตสี่เหลี่ยมที่ได้ มีความถี่ 50 Hz และ 800 Hz เท่ากับที่ออกแบบไว้พอดี เนื่องจากคริสตอลมีความผิดพลาดน้อยมากยิ่งผ่านวงจรหารความถี่ ก็ยิ่งลดความผิดพลาดลงอีกด้วย

5.2 วงจรควบคุม

- วงจรอินทิเกรต จะรับอินพุตสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 800 Hz จากวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมทำให้ได้เอาต์พุตเป็นรูปสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 800 Hz ซึ่งจากการทดลองพบว่า ลักษณะของรูปคลื่น สัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้เป็นที่น่าพอใจแต่ยังมีปัญหาอยู่ที่การอัดและการคายประจุของตัวเก็บประจุ ซึ่งจะทำให้การตอบสนองของวงจรช้าไปอยู่บ้าง

- วงจรรักษาแรงดัน จะรับสัญญาณจากเอาต์พุตที่จ่ายให้กับภาระ แล้วนำมาผ่านการแปลงแรงดันลงด้วยหม้อแปลงจากนั้นจะนำมาผ่านการกรองสัญญาณด้วยความต้านทานและตัวเก็บประจุ จากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้ป้อนให้กับวงจรขับ โดยผ่านวงจรบัฟเฟอร์ก่อน ซึ่งในส่วนนี้ผลการทดลองที่ได้เป็นที่น่าพอใจ

- วงจรเปรียบเทียบ จะรับสัญญาณจากวงจรอินทิเกรตนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณที่มาจากวงจรรักษาแรงดัน

- เกตแบบแอนด์ เกตแบบแอนด์ตัวแรกจะรับสัญญาณอินพุตจากสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 Hz และสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรเปรียบเทียบมากระทำกัน (Operate) เกตแบบแอนด์อีกตัวจะรับสัญญาณอินพุตจากอินเวอร์เตอร์ของสัญญาณสี่เหลี่ยม 50 Hz และสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ จะได้เอาต์พุตของเกตแบบแอนด์ ซึ่งจะนำไปเป็นอินพุตของ IR 2113 ใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีของวงจร ไฟเลี้ยง จะทำการสร้างแรงดันขนาด 8 โวลต์ และขนาด 12 โวลต์ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรขับเคลื่อน ได้ใช้ IR 2113 เป็นตัวขับเคลื่อน เนื่องจากมีขนาดเล็ก ให้แรงดันเอาต์พุตที่เหมาะสมกับการนำไปขับ ไอจีบีที โดย IR 2113 จะมีอินพุต 2 อินพุต และเอาต์พุต 2 เอาต์พุตเช่นกัน ดังนั้น IR 2113 เพียงตัวเดียวสามารถนำไปขับ ไอจีบีทีได้ถึง 2 ตัว

5.3 วงจรกำลัง

- วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่น จะประกอบไปด้วย ไอจีบีทีทั้งหมด 4 ตัว โดยในครึ่งไซเคิลแรก ไอจีบีทีตัวที่ 1 และ 4 จะทำงาน และในครึ่งไซเคิลหลัง ไอจีบีทีตัวที่ 2 และ 3 จะทำงาน สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่นนี้ จะมีลักษณะเป็นสัญญาณที่มีความถี่ 50 Hz (ภายในแต่ละครึ่งไซเคิลจะเป็นรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยมจำนวน 8 ลูก) และจะมีลักษณะเนื้อพัลส์ขึ้นอยู่กับรูปคลื่นสัญญาณที่ได้จาก IR 2113 ที่ผ่านเกตแบบแอนด์ อินพุตของเกตแบบแอนด์คือสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz และอินเวอร์ตสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz จะไปแอนด์กับสัญญาณจากวงจรรักษาแรงดัน ซึ่งสัญญาณนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะของภาระ

- วงจรกรองสัญญาณ จะนำเอาต์พุตที่จ่ายให้ภาระมาผ่านการกรองสัญญาณด้วยวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) สัญญาณเอาต์พุตที่ได้หลังจากผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำแล้ว จะเป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่เท่ากับ 50 Hz

5.4 การทดสอบจ่ายภาระต่างๆ

- จากการทดสอบจ่ายภาระต่างๆ พบว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้เป็นรูปคลื่น ไซน์ที่มีความถี่ 50 Hz ขนาดแรงดัน 220 โวลท์ โดยมีความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไม่เกิน $\pm 10\%$ ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

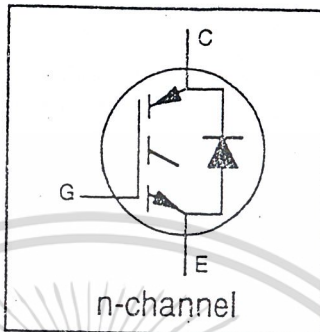
IRGPH40MD2

INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR
WITH ULTRAFAST SOFT RECOVERY

Short Circuit Rated
Fast CoPack IGBT

MODE Features

Short circuit rated -10 μ s @125°C, V_{GE} = 15V
Switching-loss rating includes all "tail" losses
HEXFRED™ soft ultrafast diodes
Optimized for medium operating frequency (1 to 10kHz)

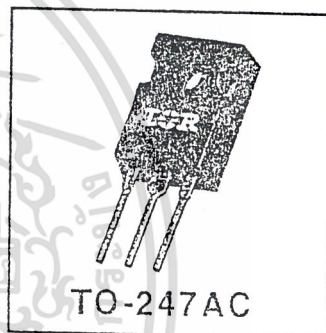


V _{CES} = 1200V
V _{CE(sat)} ≤ 3.4V
@V _{GE} = 15V, I _C = 18A

Description

Mo-packaged IGBTs are a natural extension of International Rectifier's well known IGBT line. They provide the convenience of an IGBT and an ultrafast recovery diode in one package, resulting in substantial benefits to a host of high-voltage, high-current, applications.

These new short circuit rated devices are especially suited for motor control and other applications requiring short circuit withstand capability.



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
V _{CES}	1200	V
I _C @ T _C = 25°C	31	A
I _C @ T _C = 100°C	18	
I _{CM}	62	
I _{LM}	62	
I _F @ T _C = 100°C	8.0	
I _{FM}	62	μs
t _{sc}	10	
V _{GE}	± 20	V
P _D @ T _C = 25°C	160	W
P _D @ T _C = 100°C	65	
T _J	-55 to +150	°C
T _{STG}		
	300 (0.063 in. (1.6mm) from case)	
	10 lbf•in (1.1 N•m)	

Thermal Resistance

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
R _{θJC}	—	—	0.77	°C/W
R _{θcC}	—	—	1.7	
R _{θCS}	—	0.24	—	
R _{θJA}	—	—	40	g (oz)
M	—	6 (0.21)	—	

IRGPH40MD2



Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	
$V_{(BR)CES}$	1200	—	—	V	$V_{GE} = 0V, I_C = 250\mu A$	
$\Delta V_{(BR)CES}/\Delta T_J$	—	1.1	—	V/°C	$V_{GE} = 0V, I_C = 1.0mA$	
$V_{CE(on)}$	Collector-to-Emitter Saturation Voltage	—	2.3	3.4	V	$V_{GE} = 15V$ $I_C = 18A$ $I_C = 31A$ $I_C = 18A, T_J = 150^\circ\text{C}$
		—	3.0	—		
		—	2.8	—		
$V_{GE(th)}$	3.0	—	5.5		$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$	
$\Delta V_{GE(th)}/\Delta T_J$	—	-14	—	mV/°C	$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$	
g_{fe}	4.0	10	—	S	$V_{CE} = 100V, I_C = 18A$	
I_{CES}	Zero Gate Voltage Collector Current	—	—	250	μA	$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 1200V$ $V_{GE} = 0V, V_{CE} = 1200V, T_J = 150^\circ\text{C}$
		—	—	3500		
V_{FM}	Diode Forward Voltage Drop	—	2.6	3.3	V	$I_C = 8A$ $I_C = 8A, T_J = 150^\circ\text{C}$
		—	2.3	3.0		
I_{GES}	Gate-to-Emitter Leakage Current	—	—	± 100	nA	$V_{GE} = \pm 20V$

Switching Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	
Q_g	—	50	75	nC	$I_C = 18A$ $V_{CC} = 400V$	
Q_{ge}	—	11	21			
Q_{gc}	—	15	30			
$t_{d(on)}$	—	67	—	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_C = 18A, V_{CC} = 800V$	
t_r	—	89	—			
$t_{d(off)}$	—	340	930	ns	$V_{GE} = 15V, R_G = 10\Omega$ Energy losses include "tail" and diode reverse recovery.	
t_f	—	510	930			
E_{on}	—	2.1	—	mJ	$V_{GE} = 15V, R_G = 10\Omega, V_{CPK} < 1000V$	
E_{off}	—	5.9	—			
E_{is}	—	8.0	13			
t_{sc}	10	—	—	μs	$V_{CC} = 720V, T_J = 125^\circ\text{C}$ $V_{GE} = 15V, R_G = 10\Omega, V_{CPK} < 1000V$	
$t_{d(on)}$	—	64	—	ns	$T_J = 150^\circ\text{C}$ $I_C = 18A, V_{CC} = 800V$ $V_{GE} = 15V, R_G = 10\Omega$ Energy losses include "tail" and diode reverse recovery.	
t_r	—	74	—			
$t_{d(off)}$	—	550	—			
t_f	—	1200	—	mJ	Measured 5mm from package	
E_s	—	16	—			
L_s	—	13	—	nH		
C_{es}	—	1400	—	pF	$V_{GE} = 0V$ $V_{CC} = 30V$ $f = 1.0MHz$	
C_{oes}	—	100	—			
C_{rs}	—	15	—			
t_{rr}	Diode Reverse Recovery Time	—	63	95	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$
		—	106	160		
I_{rr}	Diode Peak Reverse Recovery Current	—	4.5	8.0	A	$I_F = 8A$ $V_R = 200V$
		—	6.2	11		
Q_r	Diode Reverse Recovery Charge	—	140	380	nC	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$
		—	335	880		
$di_{(rec)M}/dt$	Diode Peak Rate of Fall of Recovery During t_b	—	133	—	A/ μs	$di/dt = 200A/\mu s$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$
		—	85	—		

Notes: ① Repetitive rating; $V_{GE}=20V$, pulse width limited by max. junction temperature.

② $V_{CC}=80\%(V_{CES}), V_{GE}=20V, L=10\mu H, R_G=10\Omega$

③ Pulse width 5.0 μs , single shot.

④ Pulse width $\leq 80\mu s$; duty factor $\leq 0.1\%$.

Refer to Section D - page D-13 for Package Outline 3 - JEDEC Outline TO-247AC

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ท่านอาจารย์ สุภกิจ จูตะวิริยะ ที่ได้คอยดูแลเอาใจใส่ และ สนับสนุนค้ำจุนงบประมาณตลอดการทำงานที่ผ่านมามาจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งเอื้อเฟื้อข้อมูลและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ

ขอขอบคุณ พ่อ แม่ พี่ น้อง ที่คอยเป็นกำลังใจ

ขอขอบคุณ หนู่ม , ริด , น้อย ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการยื่นขอ

ขอขอบคุณ ตี , พลุศ ที่ช่วยให้คำปรึกษาเรื่องคอมพิวเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] MOHAN , UNDELAND , ROBBIN , “Power Electronics” , New York , John Wiley & Sons ,
Inc. , 2nd Edition , 1995 , Chapter 25
- [2] MUHAMMATH H. RACHID , “Power Electronics Circuit , Devices and Applications”
New Jersey , Prentice-Hall International Edition , 1993 , Chapter 10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้