วงจรขับขาเกตแยกอิสระแบบใหม่สำหรับมอสเฟตและไอจีบีที

A NEW ISOLATED GATE DRIVE FOR POWER MOSFET AND IGBT

โดย

นายเฉลิมชัย นรเศรษฐกมล

นายชัยเจริญ กุณสิทธิ์

นายวิริยะ รัตนานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะ

วัน เดือน ปี 30 ก.ค. 2540

เลขทะเบียน 036966

เลขเรียกหนังสือ TJ8059 ว 417ว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

036966

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2538

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วงจรขับขาเกตแยกอิสระแบบใหม่สำหรับมอสเฟตและไอจีบีที

ผู้จัดทำ

1.นายเฉลิมชัย นรเศรษฐกมล

2.นายชัยเจริญ กุณสิทธิ์

3.นายวิริยะ รัตนานนท์

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขับขาเกตแยกอิสระแบบใหม่สำหรับมอสเฟตและไอจีบีที

A NEW ISOLATED GATE DRIVE FOR POWER MOSFET AND IGBT

โดย

นาย เฉลิมชัย นรเศรษฐกมล 35104086

นาย ชัยเจริญ กุณสิทธิ์ 35104102

นาย วิริยะ รัตนานนท์ 35104394

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. นนทวัฒน์ จุลเดชะ

บทคัดย่อ

วงจรขับขาเกตของมอสเฟตกำลังและไอจีบีทีส่วนใหญ่จะต้องการการแยกอิสระและทำการควบคุมให้แรงดันที่ขาเกตมีการเปลี่ยนแปลงเป็นการควบคุมจังหวะการทำงานของมอสเฟตกำลังและไอจีบีที วงจรขับขาเกตชนิดใหม่ที่จะกล่าวถึงนี้จะอาศัยหม้อแปลงพัลส์ขนาดเล็กร่วมกับความสามารถในการประพฤติตัวเป็นหน่วยความจำของตัวมอสเฟตกำลังเอง โดยหม้อแปลงพัลส์นี้จะทำงานเป็นตัวส่งผ่านพลังงานหรือสัญญาณสองทิศทาง(สัญญาณเกต/สัญญาณเตือนลัดวงจร)ระหว่างไอซีที่ใช้ควบคุมกับวงจรขับขาเกตแยกกราวด์ การส่งพลังงานหรือสัญญาณจะเป็นแบบบวก/ลบซึ่งมีข้อดีคือ สามารถปรับช่วงดิวตี้ไซเคิลได้กว้าง ใช้งานกับความถี่ตั้งแต่1กิโลเฮิร์ตจนถึงหลายร้อยกิโลเฮิร์ต นอกจากนั้นหม้อแปลงพัลส์ยังเป็นตัวแยกกราวด์ของระบบและสามารถใช้งานที่แรงดันสูงๆได้ และเนื่องจากหม้อแปลงพัลส์ทำการส่งผ่านพลังงาน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟช่วยทางด้านทุติยภูมิ ระบบป้องกันการลัดวงจรที่สร้างขึ้นสามารถป้องกันได้ที่กระแสลัดวงจร30แอมป์พร้อมกับสัญญาณเตือนจะถูกส่งผ่านจากทางด้านทุติยภูมิไปยังด้านปฐมภูมิโดยผ่านหม้อแปลงพัลส์ตัวเดียวกัน

ABSTRACT

Power MOSFET and IGBT gate drive often face isolation and voltage fluctuation contrains. The new gate drive described hereunderuses a small pulse transformer combined with the memory effect of the Power MOSFET. This transfomer is operated as a bi-directional energy/signal link(gate control/alarm signal) between a control IC and the floating gate drive. This signal is both positive and negative which has many adventages, a large duty cycle range which can operate with 1kHz to hundreds of kilohertz frequency, providing isolation, high operating voltage and no floating auxiliary supply is required on secondary side because of using the pulse transformer in order to supply energy. When the short circuit protection is operated at 30A short circuit current, an alarm signal is transmitted from secondary to primary through the same pulse transformer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดีตามวัตถุประสงค์ เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆรวมทั้งคำแนะนำที่มีประโยชน์อย่างมากในการดำเนินงาน ตลอดจนอาจารย์ท่านอื่นๆและเพื่อนๆทุกคนที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง จึงขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ/ABSTRACT	I
กิตติกรรมประกาศ	II
สารบัญภาพ	V
บทที่1 บทนำ	1
1.1 จุดเด่นของวงจร	1
1.1.1 วงจรขับขาเกตแบบใช้แหล่งจ่ายไฟแยกกราวด์	2
1.1.2 วงจรขับขาเกตแบบใช้หม้อแปลงพัลส์	2
1.1.3 วงจรขับขาเกตแบบชาร์จปัมพ์	3
1.1.4 วงจรขับขาเกตแบบ bootstrap	4
1.1.5 วงจรขับขาเกตแบบ carrier drive	4
1.2 หลักการพื้นฐาน	7
1.3 ส่วนประกอบเพิ่มเติม	8
1.4 การทำงาน	8
บทที่2 หลักการทำงานของวงจร	12
2.1 วงจรส่วนอินพุต	12
2.1.1 หลักการทำงาน	12
2.1.2 การทำงานของ L298	13
2.1.3 การทำงานของ ดูอัล โมโนสเตเบิ้ล มัลติไวเบรเตอร์ เบอร์ MC14528B	15
2.2 วงจรส่วนเอาท์พุต	16
2.2.1 การทำให้อุปกรณ์กำลัง นำกระแส	17
2.2.2 การทำให้อุปกรณ์กำลัง หยุดนำกระแส	18
2.2.3 ระบบป้องกันการลัดวงจร	19
2.2.4 ระบบป้องการไม่นำกระแสของอุปกรณ์กำลังเนื่องจาก กระแสไดโอดรีคอฟเวอรี่	20
2.2.5 วงจรเตือน	21
บทที่3 การออกแบบหม้อแปลงพัลส์	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 หน้าที่และการทำงานของหม้อแปลงพัลส์ในวงจร 23
3.2 การออกแบบหม้อแปลงพัลส์ 23
3.3 คุณลักษณะของพัลส์ที่ได้จากหม้อแปลงพัลส์ 24
3.4 การคำนวณหาพารามิเตอร์ของหม้อแปลงพัลส์ 27

บทที่4 หม้อแปลงกระแส 30
4.1 หน้าที่ของหม้อแปลงกระแสในวงจร 30
4.2 การออกแบบหม้อแปลงกระแส 30
4.2.1 ขนาดของแกนหม้อแปลงและกระแสแมกนีไตซิ่ง 30
4.2.2 ขั้นตอนในการออกแบบหม้อแปลงกระแส 31
บทที่5 ผลการทดลอง 35
บทที่6 สรุปและวิจารณ์ 38
เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่1.1 แสดงมอสเฟตกำลังด้านแรงดันสูง	1
รูปที่1.2 วงจรขับเกตแบบใช้แหล่งจ่ายไฟแยกกราวด์	2
รูปที่1.3 วงจรขับเกตแบบใช้หม้อแปลงพัลส์	3
รูปที่1.4 วงจรขับเกตแบบชาร์จปั๊มพ์.	3
รูปที่1.5 วงจรขับเกตแบบ bootstrap	4
รูปที่1.6 วงจรขับเกตแบบ carrier drive	5
รูปที่1.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจร	7
รูปที่1.8 แสดงส่วนประกอบของวงจร	8
รูปที่1.9 ลำดับการควบคุมทางด้านปฐมภูมิ	9
รูปที่1.10 แสดงการวิเคราะห์วงจรด้านทุติยภูมิทีละขั้น	10
รูปที่2.1 วงจรส่วนอินพุต	12
รูปที่2.2 วงจรภายในของ L298	13
รูปที่2.3 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณควบคุมการหยุดและนำกระแสของมอสเฟตกำลัง	14
รูปที่2.4 บล็อกไดอะแกรมของMC14528B	15
รูปที่2.5 ตารางแสดงค่าความจริงของMC14529B	15
รูปที่2.6 วงจรรวมทางด้านเอาท์พุต	16
รูปที่2.7 วงจรแสดงการทำให้อุปกรณ์กำลังนำกระแส	17
รูปที่2.8 วงจรแสดงการทำให้อุปกรณ์กำลังหยุดนำกระแส	18
รูปที่2.9 วงจรแสดงการป้องกันการลัดวงจร	19
รูปที่2.10 แสดงการป้องกันไม่ให้ระบบป้องกันการลัดวงจรทำงานขณะอุปกรณ์กำลังนำกระแส	20
รูปที่2.11 วงจรเตือนการลัดวงจร	21
รูปที่3.1 วงจรสมมูลของหม้อแปลงพัลส์	23
รูปที่3.2 แสดงการพันขดลวดทางด้านปฐมภูมิ	24
รูปที่3.3 พัลส์ของสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของหม้อแปลงพัลส์	25
รูปที่3.4 วงจรสมมูลอย่างง่ายของหม้อแปลงพัลส์	25

เอกสารนี้ได้รับการคุ้มครองลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน เว้นแต่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น โดยต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่3.5 วงจรสมมูลทวินินของหม้อแปลงพัลส์ 26
รูปที่4.1 (ก) หม้อแปลงกระแสและวงจรทุติยภูมิ 30
(ข) รูปกราฟของกระด้านปฐมภูมิ 30
(ค) รูปกราฟของกระแสที่เกิดขึ้นบนR_p แสดงถึงผลของกระแส 30
แมกนีไตซิ่งของหม้อแปลง
รูปที่4.2 กราฟแสดงกระแสทุติยภูมิของหม้อแปลงพัลส์ 33
รูปที่5.1 สัญญาณพัลส์ที่หม้อแปลงพัลส์และสัญญาณที่ขาเกต-ซอร์ส 35
รูปที่5.2 พฤติกรรมการลัดวงจรของมอสเฟตกำลังเบอร์ PM4550 2C HITACHI 36
รูปที่5.3 วงจรที่ใช้งานจริง 37

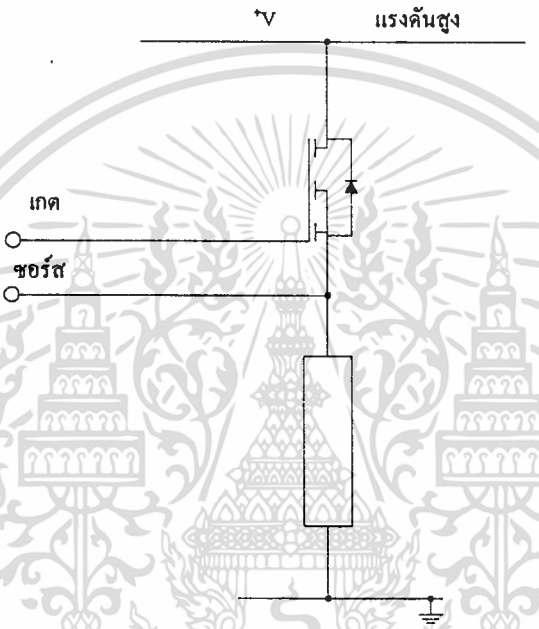
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

1.1 จุดเด่นของวงจร

การขับเกตสำหรับมอสเฟตกำลังหรือไอจีบีทีที่นำมาใช้เป็นสวิตช์ด้านแรงดันสูง (เดรนต่ออยู่กับแหล่งจ่ายแรงดันสูง ดูรูปที่ 1.1) สามารถสรุปลักษณะที่สำคัญได้ดังนี้



รูปที่ 1.1 แสดงมอสเฟตกำลังด้านแรงดันสูง

1. แรงดันเกตต้องมีค่ามากกว่าแรงดันซอร์ส ประมาณ 10-15 โวลต์เนื่องจากการเอามอสเฟตกำลังหรือไอจีบีทีมาใช้เป็นสวิตช์ด้านแรงดันสูง แรงดันเกตควรจะมีค่าสูงกว่าแรงดันที่ขาซอร์สซึ่งเป็นแรงดันที่มีค่าสูงสุดในระบบ

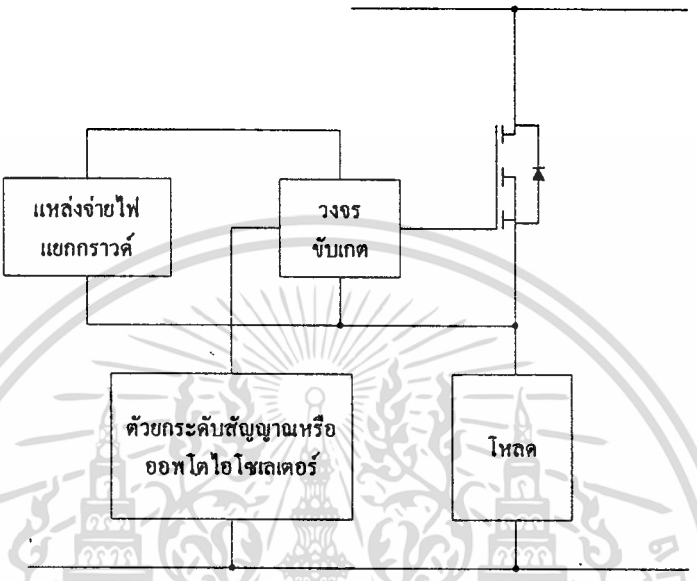
2. แรงดันเกตต้องควบคุมได้จากวงจรทางตรรก ซึ่งมีจุดอ้างอิง(reference) กับกราวด์ดังนั้นสัญญาณควบคุมต้องถูกเลื่อนระดับสัญญาณ(level-shifted)ขึ้นไปจากแหล่งจ่ายแรงดันสูงของอุปกรณ์กำลัง

3. กำลังที่เสียไปในวงจรขับเกตควรมีค่าน้อย ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพรวมของระบบ

เทคนิคที่ใช้ขับเกตในปัจจุบันมีหลายวิธีด้วยกันซึ่งมีข้อดีและข้อเสียสามารถอธิบายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.1 วงจรขับเกตแบบใช้แหล่งจ่ายไฟแยกกราวด์ (*Floating gate drive supply*)



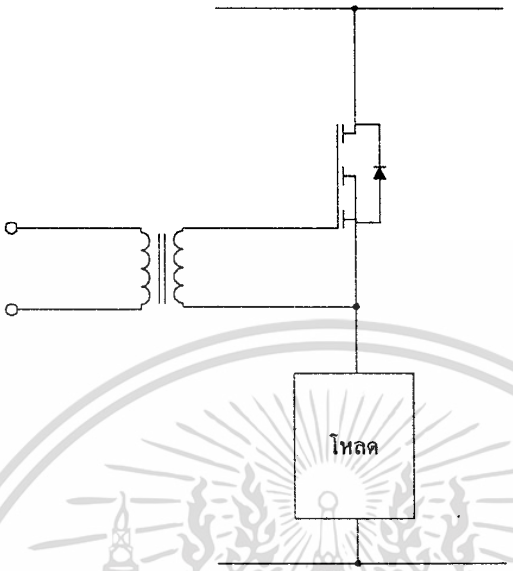
รูปที่ 1.2 วงจรขับเกตแบบใช้แหล่งจ่ายไฟแยกกราวด์

สามารถควบคุมเกตได้ตลอดช่วงความถี่ของการใช้งาน การยกระดับสัญญาณอ้างอิงกับกราวด์สามารถทำได้หลายแบบโดยที่ตัวยกระดับสัญญาณ(level shifter) จะต้องทนแรงดันสูงๆได้ มีการสวิตช์เร็วด้วยเวลาหน่วงที่น้อยที่สุดและกินกำลังน้อย แต่วงจรแบบนี้มีข้อเสียคือราคาแพง เนื่องจากต้องใช้แหล่งจ่ายไฟเป็นตัวแยกอิสระ(ใช้แหล่งจ่ายไฟหนึ่งตัวสำหรับอุปกรณ์แต่ละตัว)ดังนั้น ถ้าใช้อุปกรณ์กำลังหลายตัวต้องใช้แหล่งจ่ายไฟหลายชุด นอกจากนั้นออพโตไอโซเลเตอร์ที่ใช้เมื่อเทียบกับวงจรแล้วมีราคาแพง มีค่าแบนด์วิดธ์จำกัดและไวต่อสัญญาณรบกวน

1.1.2 วงจรขับเกตแบบใช้หม้อแปลงพัลส์ *(Pulse transformer)*

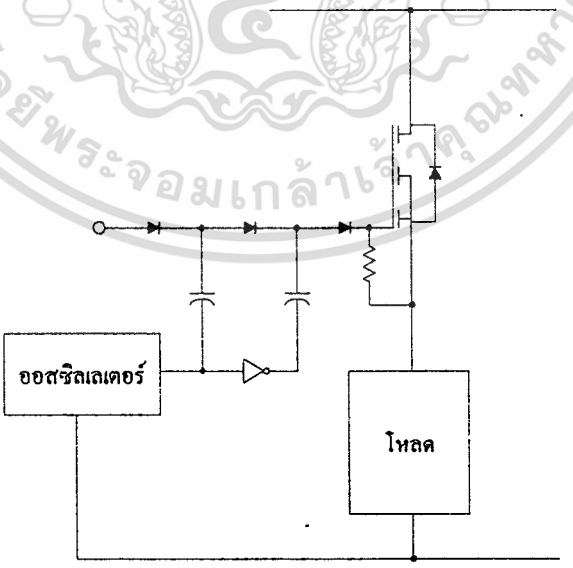
มีข้อดีคือวงจรง่ายและใช้งานได้ดีพอสมควรแต่มีข้อจำกัดหลายประการคือ การทำงานในช่วงดิวตี้ไซเคิลที่กว้างกว่าต้องมีเทคนิคที่ซับซ้อนช่วย เมื่อความถี่ที่ใช้งานลดลงต้องใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 วงจรขับเกตแบบใช้หม้อแปลงพัลส์

1.1.3 วงจรขับเกตแบบ Charge pump

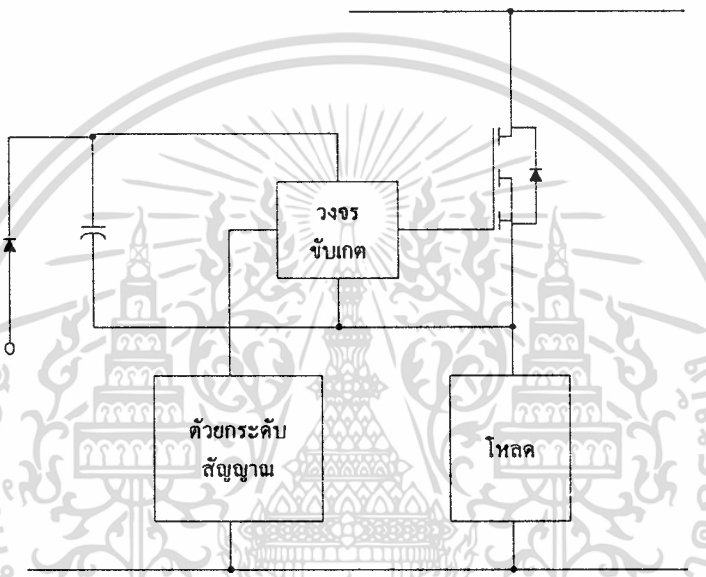


รูปที่ 1.4 วงจรขับเกตแบบ charge pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำมาใช้กับงานที่ให้อุปกรณ์กำลังมีเวลานำกระแสยาวนาน ซึ่งจะถูกควบคุมโดยด้วยกระดับสัญญาณหรือตัวปัมพ์เกต แต่อาจต้องใช้การปัมพ์เกตเพื่อคงค่าแรงดันมากกว่าสองสภาวะเนื่องจากวงจรทวีแรงดันที่ใช้มีประสิทธิภาพไม่ดีพอ

1.1.4 วงจรขับเกตแบบ Bootstrap



รูปที่ 1.5 วงจรขับเกตแบบ bootstrap

เป็นวงจรง่ายและไม่ซับซ้อนเหมือนกับแบบใช้หม้อแปลงพัลส์ ในการใช้งานกับดิวตี้ไซเคิลกว้างๆสามารถควบคุมเวลาในการออนและดิวตี้ไซเคิลได้จากการรีเฟรชตัวเก็บประจุ bootstrap แต่กำลังที่ใช้ในวงจรจะสูญเสียมากถ้าตัวเก็บประจุถูกชาร์จจากแรงดันสูงและต้องมีตัวยกระดับสัญญาณในการใช้งานที่ซับซ้อน

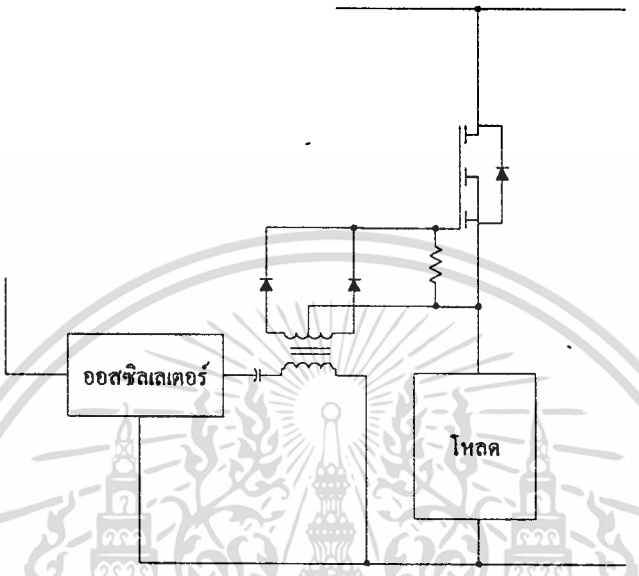
1.1.5 วงจรขับเกตแบบ Carrier drive

สามารถควบคุมเกตด้วยคาบเวลาที่ไม่จำกัดแต่จะถูกจำกัดสมรรถนะในการสวิตชิงสามารถแก้ไขได้โดยเพิ่มวงจรย่อยเข้าไปอีก

จะเห็นได้ว่าวงจรขับเกตที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นมียังมีข้อเสียอยู่หลายประการ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันได้มีการทำวงจรขับเกตออกมาเป็นไอซีขายในท้องตลาดแต่ไม่ค่อยได้รับความไว้วางใจจากผู้ใช้เพราะการแยกกราวด์ของระบบจะใช้เซมิคอนดักเตอร์เป็นตัวแยกระหว่างวงจรควบคุมและวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จรทางด้านอุปกรณ์กำลัง เมื่อใช้งานไปเป็นระยะเวลานานสารเซมิคอนดักเตอร์มีโอกาสเสื่อมได้ทำให้ประสิทธิภาพการแยกอิสระลดลง



รูปที่ 1.6 วงจรขับเกตแบบ carrier drive

สำหรับวงจรที่ออกแบบมาในปริญญานิพนธ์นี้ มีข้อได้เปรียบกว่าวงจรที่ใช้ทั่วไปดังนี้

1) ไม่ต้องมีแหล่งจ่ายไฟช่วย*(No floating auxiliary supply)*

โดยการนำเอาอุปกรณ์กำลังมาทำหน้าที่เป็นสวิตช์ทั้งหมดในวงจรจะได้รับสัญญาณพัลส์จากหม้อแปลง ดังนั้นวงจรขับจึงไม่ต้องการแหล่งจ่ายไฟช่วย มีเพียงแหล่งจ่ายสำหรับวงจรควบคุมเพียงชุดเดียวเท่านั้น

2) มีช่วงความถี่ในการทำงานกว้าง*(High operating frequency range)*

วงจรดังกล่าวสามารถทำงานได้ตั้งแต่ความถี่ต่ำๆ(ประมาณ 1 kHz)จนถึงความถี่หลายร้อยกิโลเฮิร์ต เนื่องจากหม้อแปลงให้กำเนิดพัลส์ที่มีช่วงดิวตี้ไซเคิลแคบมาก ประมาณ 500 นาโนวินาที

3) มีดิวตี้ไซเคิลสูง*(Large duty cycle)*

เช่นเดียวกับข้อ 2 ช่วงของดิวตี้ไซเคิลของวงจรจะมีค่าสูง ค่าต่ำสุดของช่วงเวลาออนและออฟประมาณ 500 นาโนวินาทีซึ่งสามารถทำให้มี ดิวตี้ไซเคิลได้จาก 0.01-0.99 ที่ความถี่ 20kHz แต่ไม่มีค่าสูงสุดของช่วงเวลาออนหรือออฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) สามารถทำให้มีช่วงเวลาในการออนยาวนานได้ (ทำงานที่ความถี่ต่ำๆ)

เนื่องจากการเทิร์นออฟของอุปกรณ์กำลังใช้หลักการคายประจุของตัวเก็บประจุแฝงที่ขาเกตและซอร์ส จึงสามารถทำให้อุปกรณ์กำลังมีช่วงเวลาในการออนได้ยาวนานโดยไม่มีการคายประจุของตัวเก็บประจุแฝง

5) พลังงานที่ใช้ขับมีค่าต่ำทำให้สามารถใช้หม้อแปลงขนาดเล็ก*(Low energy and small transformer requirment)*

พลังงานที่จ่ายโดยหม้อแปลงพัลส์จะประมาณ 4 เท่าของพลังงานที่เก็บสะสมในตัวเก็บประจุแฝงที่ขาเกต(ค่าโดยประมาณต่อ1ไซเคิล) ดังนั้นพลังงานโดยรวมเสียไปในวงจรขับจึงมีค่าน้อยมาก นอกจากนั้นแรงดันทางด้านปฐมภูมิที่จ่ายให้กับหม้อแปลงสำหรับช่วงเวลา 500 นาโนวินาทีนั้นประมาณ 5โวลต์ ทำให้สามารถที่จะรวมเอาหม้อแปลงได้ถึง 3 ตัวลงใน ดีไอแอล **แพคเกจ** ได้

6) กราวด์ของวงจรขับมีการแยกอิสระเป็นอย่างดีและมีการป้องกันการเกิดdV/dtได้อย่างสมบูรณ์ *(Good ground to gate drive isolation and perfect dV/dt immunity)*

เนื่องจากใช้หม้อแปลงพัลส์เป็นตัวแยกอิสระ ดังนั้นเราสามารถที่จะปรับเปลี่ยนค่า ระยะครีพเพจ(creepage distance) และค่า เคลียแรนซ์(clearance) ให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานต่างๆตามความต้องการได้

โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงพัลส์มักจะถูกออกแบบให้มีขนาดที่จะให้ค่าแรงดันปฐมภูมิเท่ากับ5โวลต์ เป็นระยะเวลา 500นาโนวินาที นั่นก็หมายความว่าเราสามารถที่จะออกแบบหม้อแปลงพัลส์โดยใช้แกนทอรอยด์ขนาดเล็กที่มีขดลวดพันอยู่เพียงไม่กี่รอบ ดังนั้นจึงไม่เกิดผลกระทบทางไฟฟ้าระหว่างด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ (The primary-secondary electrostatic effects) **และยังป้องกันการเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เกิดอย่างรวดเร็ว(dV/dt)ได้อย่างสมบูรณ์**

7) อิมพีแดนซ์เอาท์พุตของขาเกตต่ำในระหว่างอยู่ในสถานะออฟ *(Low gate impedance during OFF state)*

ช่วงระหว่างการหยุดนำกระแสของอุปกรณ์กำลัง ค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างขาเกตและซอร์สจะมีค่าต่ำ ซึ่งจะเป็นการหลีกเลี่ยงการเกิดเทิร์นออนอันเนื่องมาจากการเกิดการแปลงแรงดันแบบทันทีทันใดจากภายนอกได้

8) มีการป้องกันการลัดวงจร*(Short circuit protection)*

วงจรด้านทุติยภูมิจะมีการป้องกันการลัดวงจรโดยอัตโนมัติ แต่ระบบการป้องกันนี้จะไม่ทำงานระหว่างที่มีสัญญาณเทิร์นออนเพื่อป้องกันไม่ให้ระบบป้องกันทำงานเนื่องจากกระแสไดโอดรีคอฟเวอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) **มีสัญญาณเตือน** *(Alarm signal)*

เมื่อมีการลัดวงจรเกิดขึ้นจะมีการคายประจุของตัวเก็บประจุอินพุตแฝงของอุปกรณ์กำลังผ่านหม้อแปลงพัลส์ทำให้หม้อแปลงทำงานในโหมดย้อนกลับ(reverse mode) เพื่อส่งสัญญาณเตือนจากทางด้านทุติยภูมิไปยังด้านปฐมภูมิ

1.2 หลักการพื้นฐาน

ประกอบด้วย

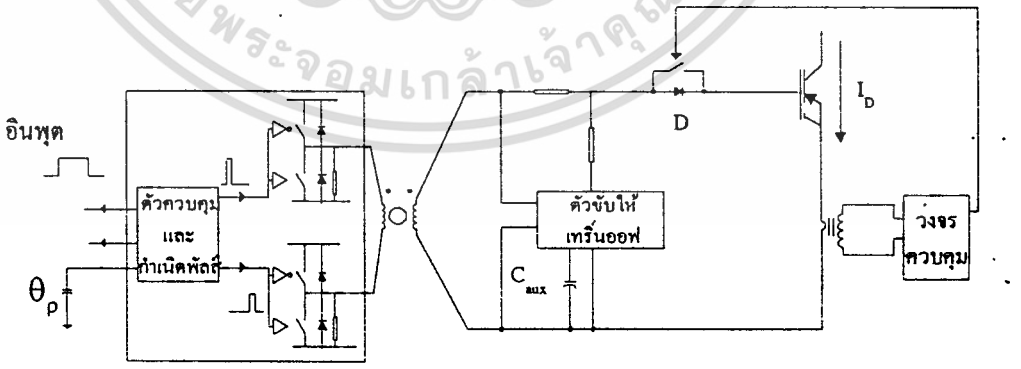
-ใช้ตัวเก็บประจุอินพุตแฝงที่เกิดขึ้นระหว่างขาเกตและซอร์สของมอสเฟตกำลังและไอจีบีทีเพื่อควบคุมให้เกิดการเทิร์นออน

-ตัวเก็บประจุอินพุตแฝงจะช่วยในการจำสถานะให้เทิร์นออนตลอดเวลา

-นำหม้อแปลงพัลส์ *(pulse transformer)* มาใช้เพื่อทำให้เกิดการแยกอิสระระหว่างด้านปฐมภูมิกับด้านทุติยภูมิ และเป็นตัวส่งผ่านพลังงานและสัญญาณ(ได้แก่สัญญาณเทิร์นออน,เทิร์นออฟ และสัญญาณเตือน) โดยที่หม้อแปลงพัลส์จะเป็นตัวส่งผ่านพลังงานสองทิศทางดังนี้

ในขณะที่มีสัญญาณพัลส์ที่ขดปฐมภูมิ หม้อแปลงพัลส์จะส่งผ่านพลังงานไปยังด้านปฐมภูมิและทำการกำหนดสถานะขาเกตของมอสเฟตกำลังและไอจีบีที (การเทิร์นออนหรือเทิร์นออฟ)

ในขณะที่ไม่มีสัญญาณพัลส์ที่ขดปฐมภูมิ และวงจรอยู่ในสถานะคงตัว(steady state)ถ้ามีการลัดวงจร จะมีสัญญาณเตือนส่งผ่านจากทางด้านทุติยภูมิไปยังด้านปฐมภูมิ

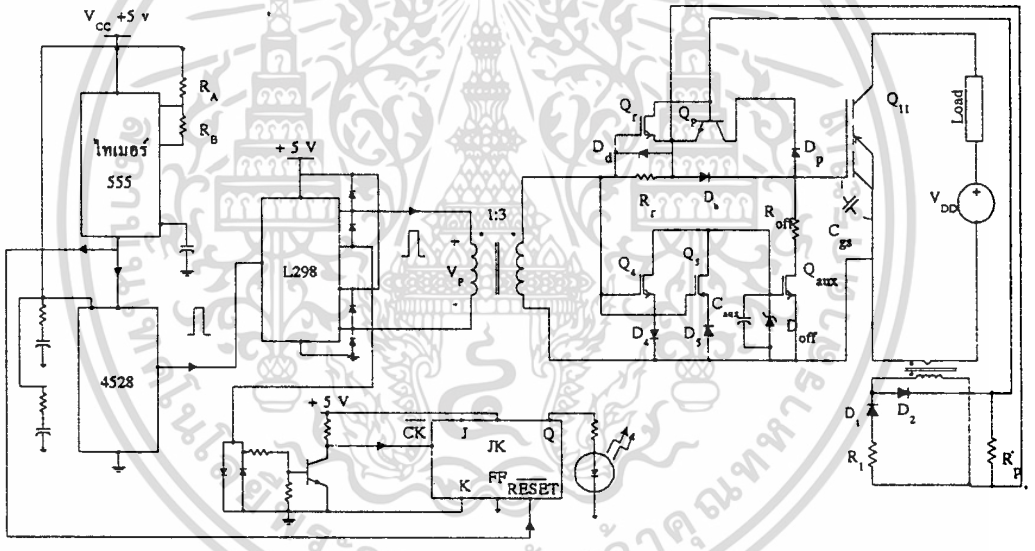


รูปที่1.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ส่วนประกอบเพิ่มเติม

จากแนวความคิดเบื้องต้นที่ผ่านมา แสดงได้ดังวงจรรูปที่1.8 โดยอุปกรณ์กำลัง: Q_{11} สามารถเป็นได้ทั้งไอจีบีทีหรือ มอสเฟตกำลัง โดยมีตัวเก็บประจุที่อินพุต ของ Q_{11} เป็นตัวจำสถานะขณะออน ตัวเก็บประจุ C_{aux} จะเป็นตัวจำสถานะออฟ และรักษาอิมพีแดนซ์ระหว่างขาเกตกับขาซอร์สให้มีค่าต่ำ ส่วนระบบป้องการลัดวงจรและระบบป้องกันการไม่นำกระแสของอุปกรณ์กำลังเนื่องจากกระแสไดโอดรีคอฟเวอรี่ทำได้โดยใช้ Q_pและQ_r ถ้าหากว่าความถี่ที่กำลังปฏิบัติงานอยู่นั้นมีค่าต่ำกว่า 1 kHz ควรจะมีการกระตุ้นให้วงจรกลับสู่สภาวะเดิมโดยการเพิ่มสัญญาณพัลส์บวกหรือลบเข้าไป



รูปที่1.8 แสดงส่วนประกอบของวงจร

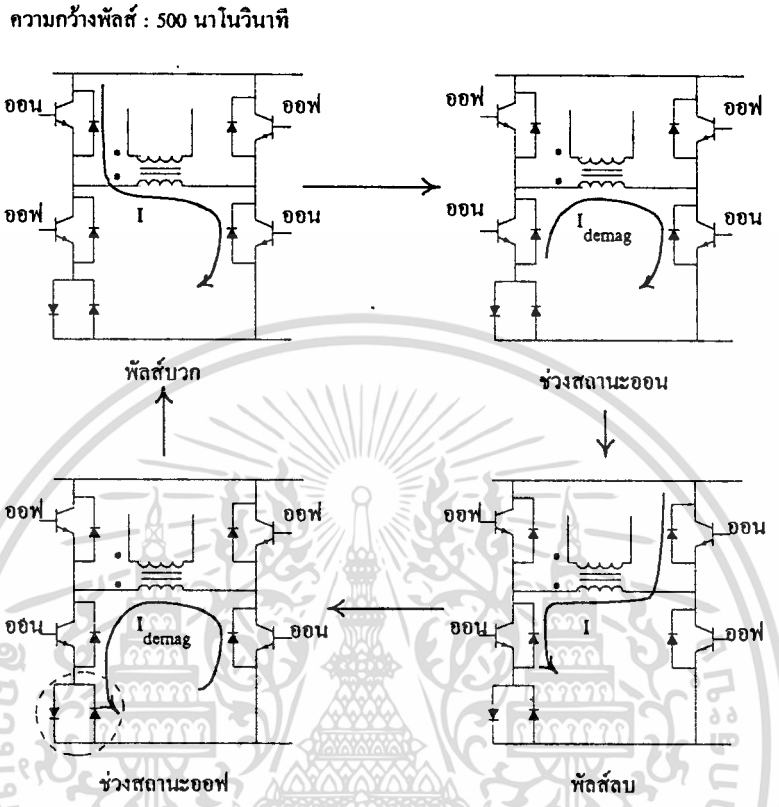
1.4 การทำงาน

รูปที่1.7 แสดงให้เห็นถึงบล็อกไดอะแกรมของวงจร ซึ่งประกอบด้วย ตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์ทางด้านปฐมภูมิ ,หม้อแปลงพัลส์, วงจรทางด้านทุติยภูมิที่แยกอิสระจากด้านปฐมภูมิซึ่งจะปฏิบัติงานโดยปราศจากแหล่งจ่ายไฟช่วย

ก) วงจรด้านปฐมภูมิ(primary circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเด่นของวงจรด้านปฐมภูมิคือ สามารถที่จะรับรู้กระแสที่ส่งกลับมาจากด้านทุติยภูมิได้ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรขึ้นโดยมีลำดับการทำงานดังแสดงในรูปที่1.9



รูปที่1.9 ลำดับการควบคุมทางด้านปฐมภูมิ

จากรูปที่ 1.9 เป็นการทำงานในสภาวะปกติมีลำดับในการทำงานดังนี้ สัญญาณของกระแสพัลส์ที่เป็นบวกจะเป็นสัญญาณเพื่อให้อุปกรณ์กำลังเทิร์นออนจากนั้นจะเป็นการทำงานเพื่อคายกระแสดีแมกนีไตซิ่ง (demagnetizing current) สัญญาณพัลส์ที่เป็นลบจะเป็นสัญญาณให้อุปกรณ์กำลังเทิร์นออฟซึ่งสังเกตเห็นได้ว่าแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดรับรู้สัญญาณ(sense diode) จะเป็นบวกเสมอตลอดในขณะที่มีสัญญาณเทิร์นออฟและขณะคายกระแสดีแมกนีไตซิ่งของหม้อแปลงพัลส์

ไดโอดที่ใช้เป็นตัวรับสัญญาณจะอยู่ทางด้านล่างซีกซ้ายสองตัว ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมกระแสดีแมกนีไตซิ่งเพื่อใช้ในการตรวจจับสัญญาณในการเกิดการลัดวงจรขึ้นทางด้านทุติยภูมิ

การทำงานขณะเกิดการลัดวงจร

เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้น จะมีการคายประจุออกมาของตัวเก็บประจุอินพุตแฝง C_{gs} ผ่านด้านทุติยภูมิ จะทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ที่เป็นลบของกระแสที่ขดทุติยภูมิที่จุดเริ่มต้นของการไหลของกระแสดีแมกนีไตซิ่ง โดยการกำหนดไซเคิลการทำงานที่วงจรด้านอินพุตของหม้อแปลงพัลส์จะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

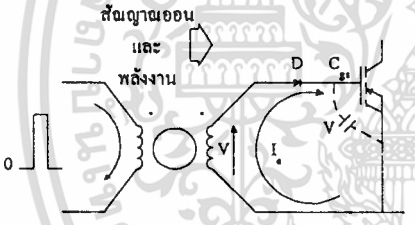
ให้เกิดกระแสไหลผ่านไดโอดรับรู้สัญญาณ สามารถนำแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดนี้ไปใช้เป็นสัญญาณเตือนบอกให้วงจรอินพุตรู้ว่าเกิดการลัดวงจรขึ้น

ข) วงจรด้านทุติยภูมิ(secondary circuit)

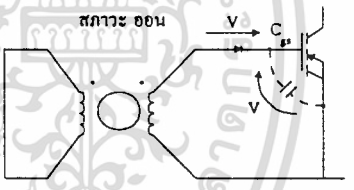
รูปที่ 1.10ก.-1.10ฉ. แสดงถึงการวิเคราะห์วงจรทางด้านทุติยภูมิเป็นขั้นๆ อธิบายได้ดังนี้

สัญญาณพัลส์เทิร์นออน(Turn-on pulse)

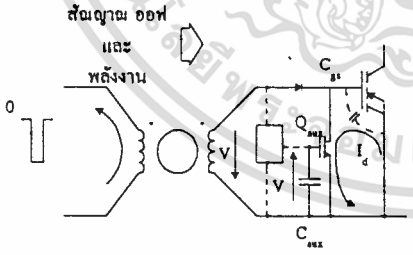
รูปที่1.10ก.แสดงกระแสชาร์จประจุ(charge current:I_g) ของตัวเก็บประจุอินพุตแฝงของมอสเฟตกำลัง(หรือไอจีบีที)เมื่อมีสัญญาณพัลส์ที่เป็นบวกเข้ามาที่ด้านปฐมภูมิ ดังนั้นจะทำให้มีแรงดันตกคร่อมขาเกตและขาซอร์สมีค่าประมาณบวก15โวลต์ เนื่องจากตัวเก็บประจุอินพุตแฝงของมอสเฟตกำลัง(หรือไอจีบีที)ทำการชาร์จประจุ เมื่อสัญญาณพัลส์ดังกล่าวหายไป จะทำให้แรงดันของหม้อแปลงด้านทุติยภูมิมีค่าประมาณเป็นศูนย์ และเนื่องจากมีไดโอดดังนั้นจะป้องกันไม่ให้ C_{gs} คายประจุออกมาได้ จึงทำให้อุปกรณ์กำลังรักษาสถานะการ นำกระแสได้ ดังรูป 1.10ข.



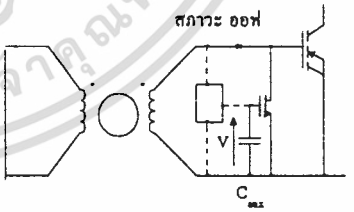
รูปที่ 1.10 ก



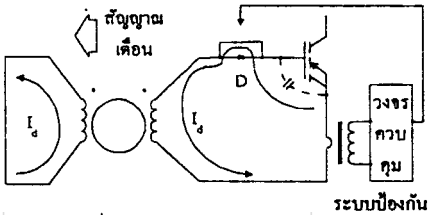
รูปที่ 1.10 ข



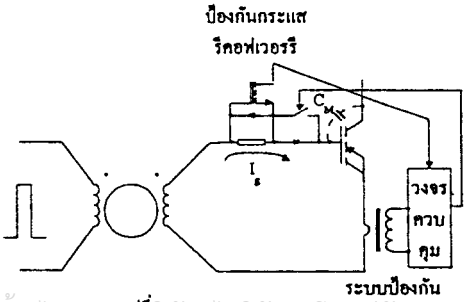
รูปที่ 1.10 ค



รูปที่ 1.10 ง



รูปที่ 1.10 จ



รูปที่ 1.10 ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่1.10 แสดงการวิเคราะห์วงจรด้านทุติยภูมิทีละขั้น

สัญญาณพัลส์เทิร์นออฟ(Turn-off pulse)

เมื่อมีสัญญาณพัลส์ลบเข้ามาที่ขดปฐมภูมิ(ดูรูปที่1.10ค) จะทำให้ตัวเก็บประจุอินพุตของอุปกรณ์กำลังคายประจุออกมาเนื่องจากตัวเก็บประจุช่วย (auxiliary capacitor:C_{aux}) ทำให้ Q_{aux}นำกระแส เมื่อสัญญาณพัลส์หายไป ตัวเก็บประจุC_{aux} ไม่สามารถที่จะคายประจุได้ จึงทำให้สภาวะการหยุดนำกระแสยังคงอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างขาเกตและขาซอร์สของอุปกรณ์กำลังยังมีค่าต่ำด้วย ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดเทิร์นออนขึ้นเองได้ (ดูรูปที่1.10ง.)

การป้องกันกระแสลัดวงจร(Short circuit protection)

เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นจะใช้หม้อแปลงกระแส (current transformer) เป็นตัวตรวจจับกระแส โดยเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นนั้น วงจรจะทำการตัดตัวไดโอด:D ออก ทำให้ตัวเก็บประจุอินพุตสามารถคายประจุออกผ่านไปยังหม้อแปลงพัลส์ได้ ดังนั้นสัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นทางด้านทุติยภูมิจะถูกส่งผ่านไปยังด้านปฐมภูมิ เป็นสัญญาณเตือนเพื่อบอกว่าเกิดการลัดวงจรขึ้นที่ด้านทุติยภูมิ (ดูจากรูปที่1.10จ.)

การป้องกันการไม่นำกระแสเนื่องจากเกิดกระแสไดโอดรีคอฟเวอรี่

ปกติแล้วเมื่อนำเอาอุปกรณ์กำลังไปทำเป็นสวิตช์ ขณะที่สวิตช์เปลี่ยนสภาวะจากออฟเป็นออนจะเกิดกระแสไดโอดรีคอฟเวอรี่ซึ่งเป็นกระแสที่มีค่าใกล้เคียงกับกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นขณะเกิดการเทิร์นออนเสมอ ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะทำให้เกิดกระแสไหลผ่านตัวอุปกรณ์กำลังเพียงพอที่จะทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรทำงาน ดังนั้นในช่วงเวลารีคอฟเวอรี่จึงจำเป็นเป็นต้องไม่ให้ระบบป้องกันการลัดวงจรทำงาน

เนื่องจากปรากฏการณ์มิลเลอร์ *(Miller effect)* จะทำให้กระแสI_g (จากรูปที่1.10ฉ.) ยังคงอยู่จนกว่าแรงดันตกคร่อมขาคอลเลคเตอร์หรือขาเดรนจะตกลงเป็นศูนย์ ดังนั้นในช่วงที่มีกระแสI_gจะทำให้เกิดสัญญาณไปควบคุมไม่ให้ระบบป้องกันการลัดวงจรทำงานจนกว่ากระแสI_gหายไปนั่นคือกระแสไดโอดรีคอฟเวอรี่จะหายไปด้วย หลังจากนั้นระบบป้องกันการลัดวงจรจะทำงานได้ตามปกติเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรขึ้น

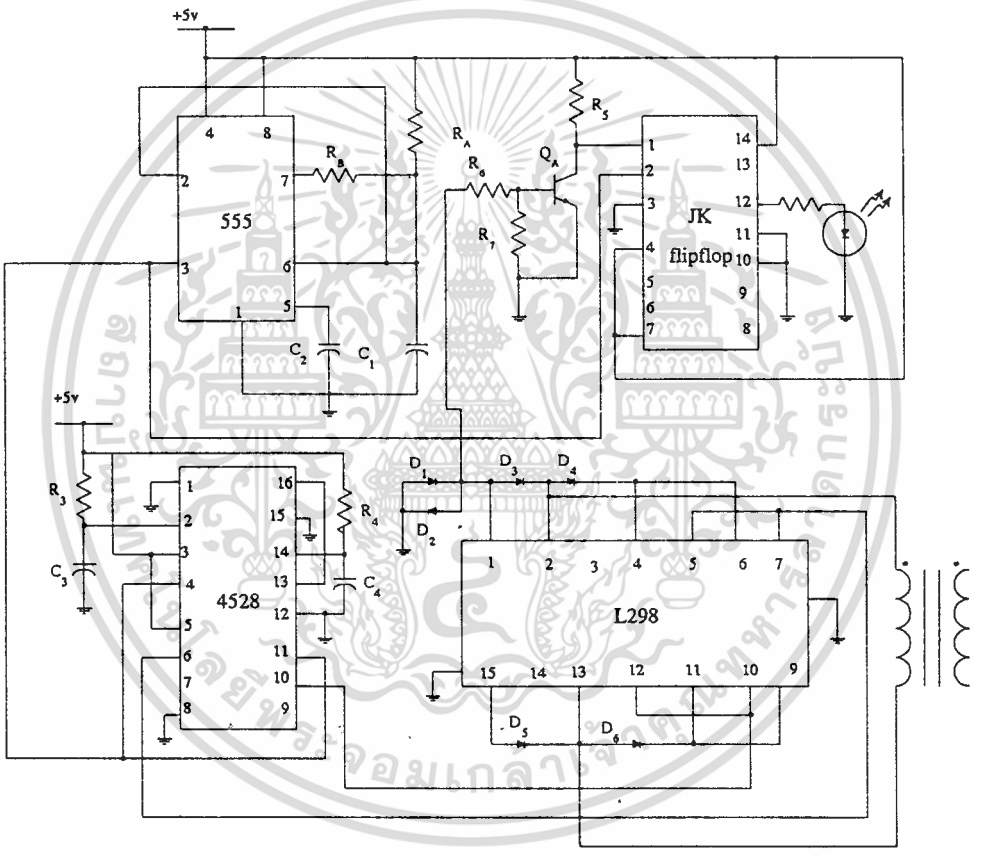
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2

หลักการทำงานของวงจร

2.1 วงจรส่วนอินพุต (Input Circuit)

วงจรส่วนอินพุตประกอบด้วย ไทเมอร์ 555, โมโนสเตเบิ้ล มัลติไวเบรเตอร์ เบอร์4528, L298 และไดโอด



รูปที่2.1 วงจรส่วนอินพุต

2.1.1 หลักการทำงาน

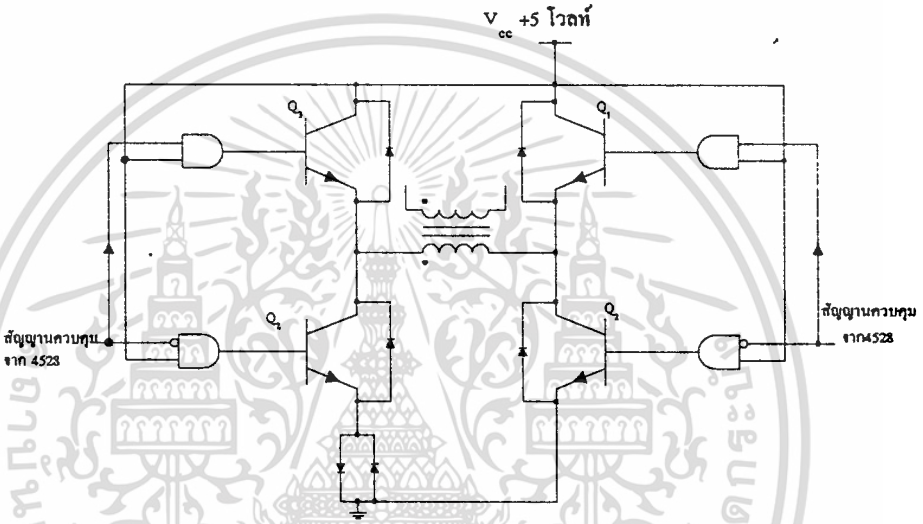
ไทเมอร์ 555 จะเป็นตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์ออกมาเพื่อนำสัญญาณพัลส์นี้ไปกำหนดลำดับการทำงานของอุปกรณ์กำลัง

4528 มีหน้าที่ในการสร้างสัญญานพัลส์บวกและลบช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อใช้ในการควบคุมให้อุปกรณ์กำลังเทิร์นออนและเทิร์นออฟตามลำดับ โดยจะมีสองเอาท์พุต สามารถกำหนดให้เอาท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ในรูปแบบอื่นใด ก่อนได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้เขียนเท่านั้น

พุตหนึ่งทริกสัญญาณพัลส์ที่ขอบขาขึ้นของไทเมอร์555 เพื่อสร้างสัญญานพัลส์บวกในช่วงเวลาสั้นๆ(500 นาโนวินาที) ส่วนอีกเอาท์พุตหนึ่งก็ทริกสัญญาณที่ขอบขาลงของสัญญาณจากไทเมอร์555เพื่อสร้างสัญญานพัลส์ลบช่วงเวลาสั้นๆ(500 นาโนวินาที) เอาท์พุตจาก 4528 จะนำไปต่อกับ L298 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขับกระแสจ่ายให้หม้อแปลงพัลส์

L298จะรับสัญญานพัลส์จาก 4528 ทำหน้าที่ขับกระแสจ่ายให้หม้อแปลงพัลส์ มีวงจรภายในซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่2.2 วงจรภายในของ L298

สัญญานพัลส์จาก 4528จะกำหนดลำดับการทำงานของL298 ดังนี้

ทรานซิสเตอร์Q1 : รับสัญญาณจากขา10 ของ โมโนสเตเบิ้ล 4528 ซึ่งเป็นเอาท์พุตที่ให้สัญญาณจากการทริกสัญญาณที่ขอบขาลงของไทเมอร์555

ทรานซิสเตอร์Q2 :รับสัญญาณจากการอินเวิร์สสัญญาณพัลส์ที่ส่งมาจากขา 10 ของ 4528

ทรานซิสเตอร์Q3 : รับสัญญาณจากขา6 ของ โมโนสเตเบิ้ล 4528 ซึ่งเป็นเอาท์พุตที่ให้สัญญาณจากการทริกสัญญาณที่ขอบขาขึ้นของไทเมอร์555

ทรานซิสเตอร์Q4: รับสัญญาณจากการอินเวิร์สสัญญาณพัลส์ที่ส่งมาจากขา 6 ของ 4528

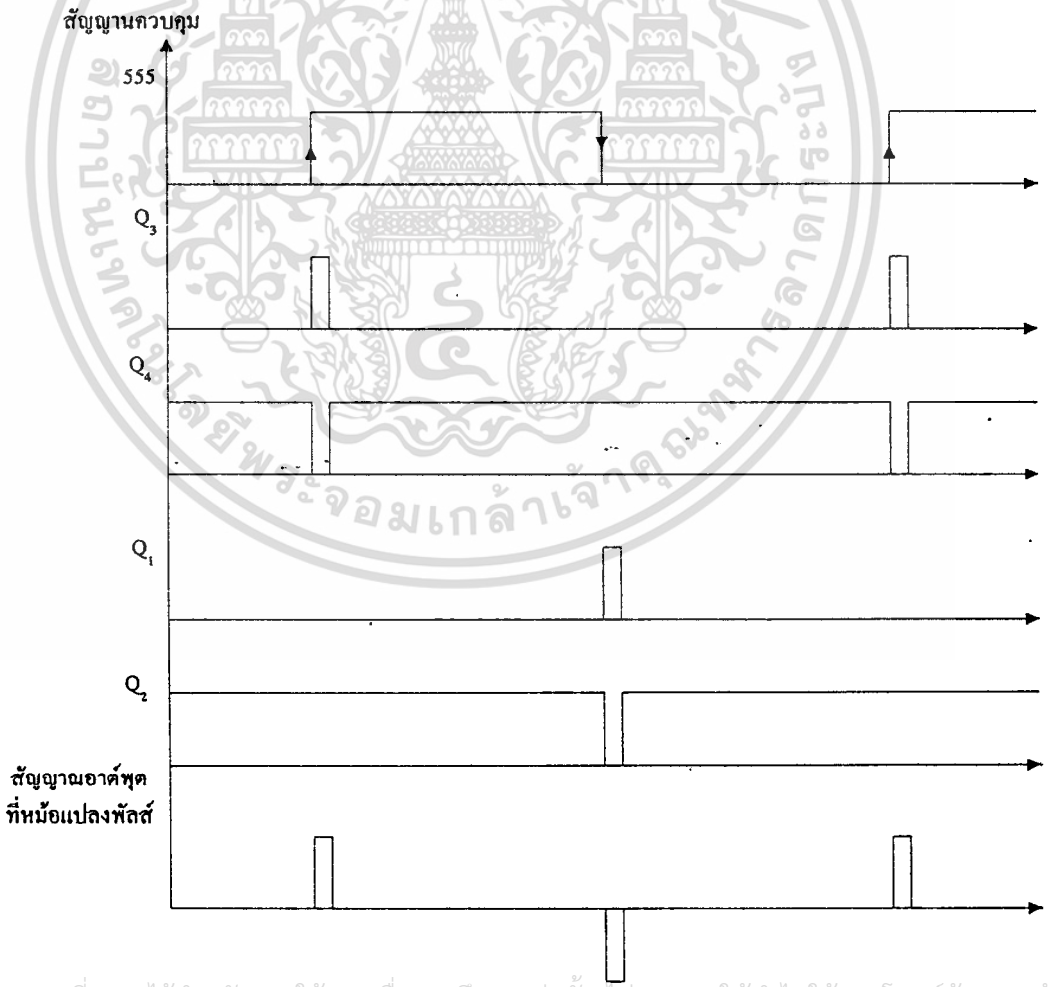
2.1.2 การทำงานของ L298

จากกราฟสัญญานควบคุมทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวภายใน L298 ที่ได้รับจาก 4528 ในช่วงขอบขาขึ้นของสัญญานพัลส์ที่ได้จาก ไทเมอร์ 555 ทรานซิสเตอร์Q2 และQ3 จะทำงานทำให้กระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลผ่านจากทรานซิสเตอร์Q3 ผ่านขดลวดของหม้อแปลงมายังทรานซิสเตอร์Q2 ทำให้ครบรอบการทำงาน ได้สัญญาณพัลส์บวกออกมา หลังจากนั้นทรานซิสเตอร์Q3จะหยุดนำกระแสแต่ทรานซิสเตอร์Q2 ยังคงนำกระแสอยู่ ในช่วงเวลานี้จะมีการคายพลังงานจากขดลวดของหม้อแปลงในรูปของกระแสดีแมกนีไตซ์โดยอาศัยไดโอดวนกระแสคายพลังงานผ่านไดโอดของทรานซิสเตอร์Q4 ไปยังทรานซิสเตอร์Q2

ในช่วงขอบขาลงของสัญญาณพัลส์ที่ได้จาก ไทเมอร์ 555 ทรานซิสเตอร์Q4 และ Q1จะทำงานโดยกระแสไหลจากทรานซิสเตอร์Q1 ผ่านขดลวดหม้อแปลงไปยังทรานซิสเตอร์Q4 ทำให้ได้สัญญาณพัลส์ลบออกมา หลังจากนั้นทรานซิสเตอร์Q2 จะหยุดนำกระแสแต่ทรานซิสเตอร์Q1 ยังคงนำกระแสอยู่ จึงมีการคายพลังงานออกมาเช่นเดียวกับการทำงานในช่วงแรก โดย ไดโอดของทรานซิสเตอร์Q2 จะเป็น ไดโอดวนกระแส มีการคายพลังงานในรูปกระแสดีแมกนีไตซ์ผ่านทรานซิสเตอร์Q4



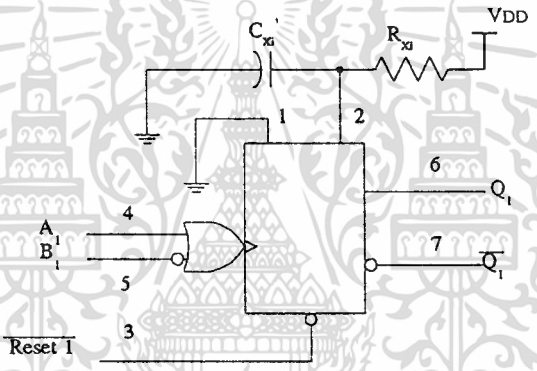
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่2.3 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณควบคุมการหยุดและนำกระแสของมอสเฟตกำลัง

การทำงานจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ทำให้ได้สัญญาณออกมาตามต้องการ และการกำหนดความถี่ในการทำงาน สามารถกำหนดได้จากความถี่ของไทเมอร์555

2.1.3 การทำงานของ ดูอัล โมโนสเตเบิ้ล มัลติไวเบรเตอร์ เบอร์ MC14528B

MC14528B เป็นโมโนสเตเบิ้ล มัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งสามารถทริกสัญญาณได้ทั้งที่ขอบขาขึ้นและขอบขาลงของสัญญาณอินพุตและให้สัญญาณเอาท์พุตออกมาเป็นพัลส์ ซึ่งความกว้างของสัญญาณพัลส์ดังกล่าวสามารถปรับได้โดยเปลี่ยนค่า C_x และ R_x ซึ่งเป็นส่วนประกอบภายนอกที่ต่อเข้าไป ดังแสดงในรูป



รูปที่2.4 บล็อกไดอะแกรม ของ MC14528B

การกำหนดให้ MC14528B สามารถทริกสัญญาณที่ขอบขาขึ้นหรือขาลงนั้น จะต้องกำหนดสถานะการทำงานดังรูปที่2.5

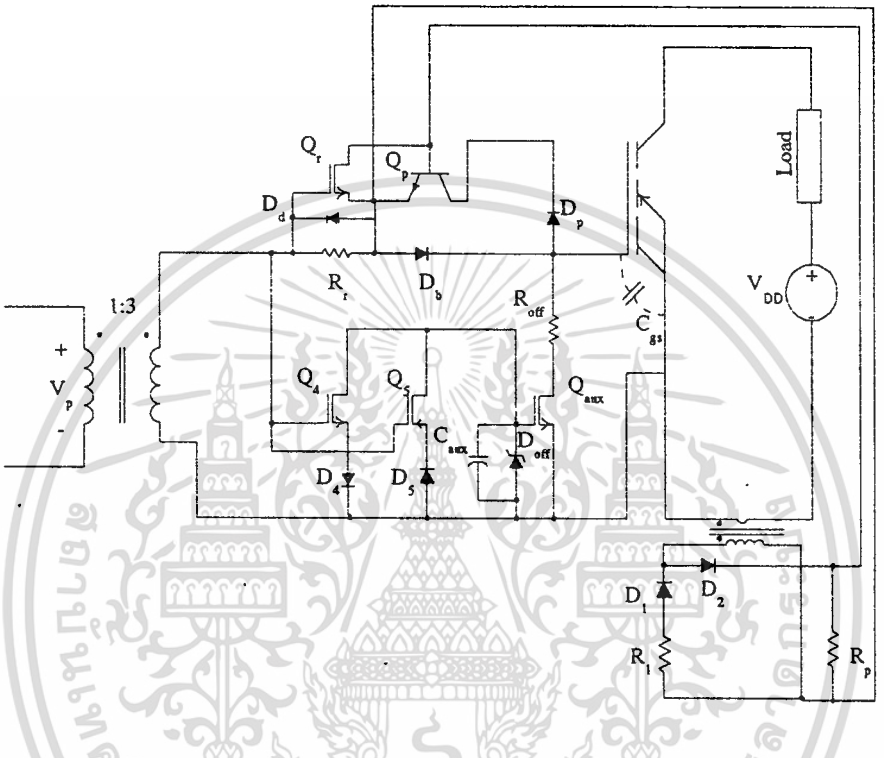
อินพุต			เอาท์พุต	
$\overline{\text{Reset}}$	A	B	Q	$\overline{Q}$
H	⌐	H	⌐	⌐
H	L	⌐	⌐	⌐

รูปที่2.5 ตารางแสดงค่าความจริง ของMC14528B

รายละเอียดต่างๆของ ดูอัล โมโนสเตเบิ้ล มัลติไวเบรเตอร์ เบอร์ MC14528B นั้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วงจรทางส่วนเอาท์พุต



รูปที่2.6 วงจรรวมทางด้านเอาท์พุต

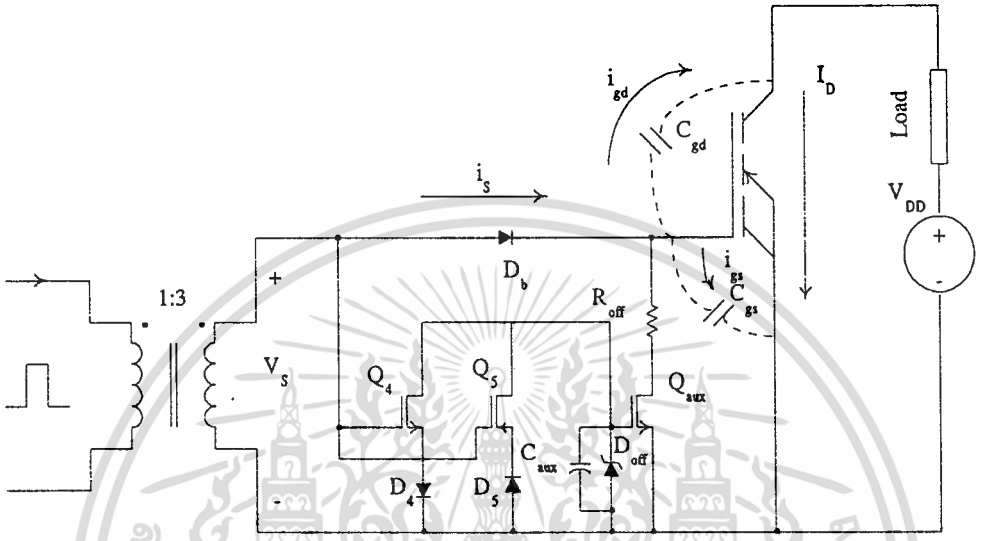
การทำงานของวงจรทางด้านเอาท์พุต ประกอบด้วยการทำงานต่างๆ ดังนี้

1. การทำให้อุปกรณ์กำลัง นำกระแส
2. การทำให้อุปกรณ์กำลัง หยุดนำกระแส
3. มีระบบป้องกันการลัดวงจร
4. มีระบบป้องกันการไม่นำกระแสเนื่องจากกระแสไดโอดรีคอฟเวอรี่

ซึ่งจะทำการแยกอธิบายแต่ละส่วนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การทำให้อุปกรณ์กำลัง นำกระแส(เทิร์น-ออน)



รูปที่2.7 วงจรแสดงการทำให้อุปกรณ์กำลัง นำกระแส

- อุปกรณ์กำลังจะนำกระแสได้โดยป้อนสัญญาณพัลส์บวกช่วงสั้นๆ ขนาด500นาโนวินาที ของอินพุตที่หม้อแปลงพัลส์ โดยอาศัยหลักการของตัวเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นในตัวอุปกรณ์กำลัง ระหว่างขาเกตและขาซอร์ส

- เมื่อมีพัลส์บวกเข้ามาที่หม้อแปลง จะทำให้มอสเฟต Q_4 นำกระแส ทำให้ตัวเก็บประจุ C_{aux} คายประจุออกมาจนแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_{aux} มีค่าเป็น"ศูนย์" ส่งผลทำให้มอสเฟต Q_{aux} ไม่นำกระแสตลอดช่วงที่มีพัลส์เป็นบวก

พัลส์บวกที่ผ่านเข้ามานี้ จะเข้าไปชาร์จตัวเก็บประจุแฝง C_{gs} จนมีแรงดันสูงพอที่จะทำให้อุปกรณ์กำลัง นำกระแสได้

จะเห็นว่าเมื่อสัญญาณพัลส์บวกหายไป ตัวเก็บประจุแฝง C_{gs} จะคายประจุไม่ได้ เนื่องจากมีไดโอด D_b บล็อกไว้ ทำให้แรงดันคร่อมขาเกตและซอร์สเป็นบวกตลอดเวลา

การคำนวณหากระแสขับขาเกตของอุปกรณ์กำลังขณะทำให้เทิร์นออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่2.7 ให้

C_{gs} คือ ตัวเก็บประจุแฝงระหว่างขาเกตและขาซอร์สของอุปกรณ์กำลัง

C_{gd} คือ ตัวเก็บประจุแฝงระหว่างขาเกตและขาเดรนของอุปกรณ์กำลัง

V_s คือ แรงดันสูงสุดของพัลส์บวกที่หม้อแปลงด้านทุติยภูมิ

$$I_s = I_{gd} + I_{gs}$$

$$I_s = C_{gd}\frac{d\left(V_s - V_{ds(on)} - V_{diode(on)}\right)}{dt} + C_{gs}\frac{d\left(V_s - V_{diode(on)}\right)}{dt}$$

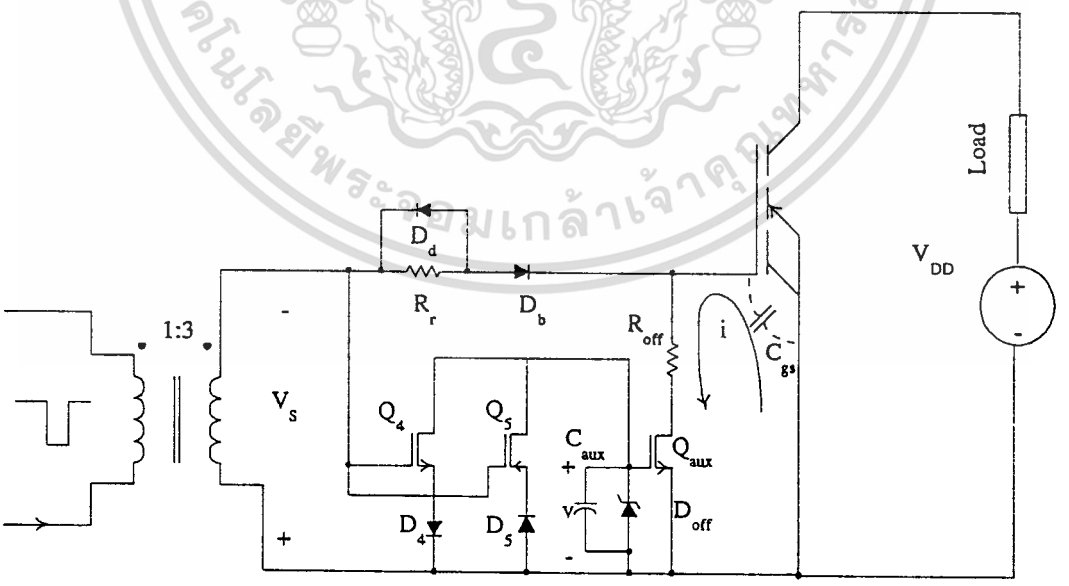
ให้ $V_{ds(on)}$ และ $V_{diode(on)}$ มีค่าประมาณ 0 โวลท์

$$\therefore \quad I_s = \left(C_{gs} + C_{gs}\right)\frac{dV_s}{dt}$$

$$= \left(C_{gd} + C_{gs}\right)\frac{V_s}{t_r}$$

เมื่อ t_r คือ เวลาขาขึ้นของแรงดันที่ขาเกตและขาซอร์ส มีค่าประมาณ 500 นาโนวินาที

2.2.2 การทำให้อุปกรณ์กำลัง หยุดนำกระแส(เทิร์น-ออฟ)



รูปที่2.8 วงจรแสดงการทำให้อุปกรณ์กำลัง หยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

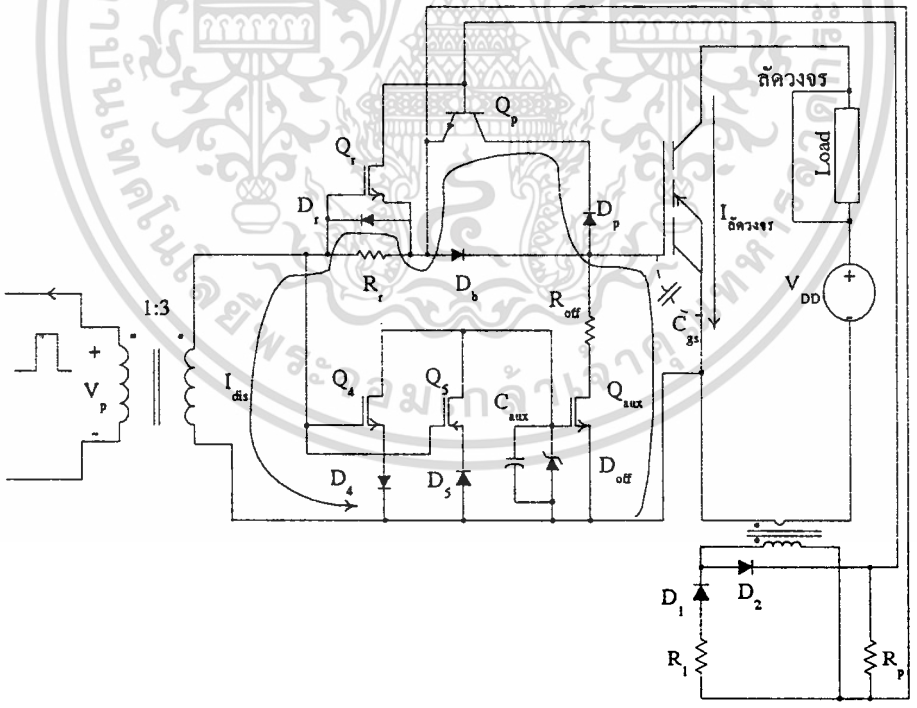
การหยุดนำกระแสของอุปกรณ์กำลัง ทำได้โดยการคายประจุของตัวเก็บประจุแฝง C_{gs} มีการทำงานดังนี้

- ส่วนสำคัญที่ทำให้อุปกรณ์กำลังเทิร์นออฟ คือ C_{aux} และมอสเฟต Q_{aux} เมื่อมีพัลส์ลบช่วงสั้นๆ(ขนาด 500 นาโนวินาที) ถูกป้อนเข้ามาที่หม้อแปลงพัลส์ มีผลทำให้มอสเฟต Q_5 ทำงานนำกระแสไปชาร์จตัวเก็บประจุ C_{aux} จนมีแรงดันคร่อมขาเกตและซอร์สของมอสเฟต Q_{aux} ทำให้มอสเฟตนำกระแส

- เมื่อมอสเฟต Q_{aux} นำกระแส จะทำให้ตัวเก็บประจุแฝง C_{gs} คายประจุผ่าน R_{off} ทำให้อุปกรณ์กำลังหยุดนำกระแสได้ จะเห็นได้ว่า เมื่อยังไม่มีสัญญาณพัลส์บวกเข้ามาที่หม้อแปลงพัลส์ ตัวเก็บประจุC_{aux} จะไม่สามารถคายประจุได้ ทำให้อุปกรณ์กำลังรักษาสถานะการนำกระแสได้ตลอดเวลาจนกว่าจะมีสัญญาณควบคุมจากอินพุตให้อุปกรณ์กำลัง นำกระแส

สำหรับซีเนอร์ไดโอดD_{off} มีไว้เพื่อป้องกันแรงดันคร่อมC_{aux} ไม่ให้มีค่าสูงมากเกินไปจนทำให้มอสเฟต Q_{aux} เสียหายได้

2.2.3 ระบบป้องกันการลัดวงจร



รูปที่2.9 วงจรแสดงการป้องกันการลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

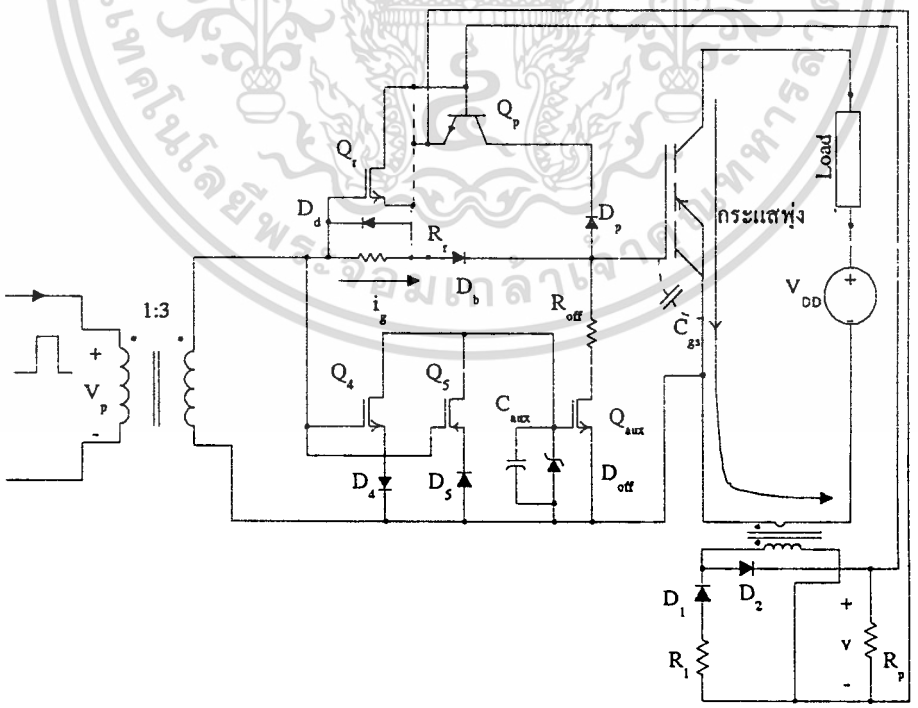
036966

เมื่อมีการลัดวงจรที่โหลด จะทำให้มีกระแสจำนวนมหาศาลไหลผ่านอุปกรณ์กำลัง ทำให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องทำให้อุปกรณ์กำลังหยุดนำกระแสโดยเร็วที่สุด ซึ่งทำได้โดยการคายประจุของตัวเก็บประจุแฝงC_{gs}

- การป้องกัน ทำได้โดยใช้หม้อแปลงกระแสคอยตรวจจับกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำลัง เมื่อมีกระแสลัดวงจรขึ้น หม้อแปลงกระแสจะกำเนิดพัลส์กระแสขึ้นที่ด้านทุติยภูมิเพียงพอที่จะทำให้เกิดแรงดันคร่อมR_p จนทำให้ทรานซิสเตอร์Q_p นำกระแสได้ ดังนั้นตัวเก็บประจุ C_{gs} สามารถคายประจุผ่านQ_p ทำให้อุปกรณ์กำลังหยุดนำกระแสได้ทันก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้น

2.2.4 ระบบป้องกันการไม่นำกระแสของอุปกรณ์กำลังเนื่องจากกระแสไดโอดรีคอฟเวอรี่

เนื่องจากขณะที่อุปกรณ์กำลังเริ่มนำกระแสนั้น จะเกิดกระแสพุ่งไหลผ่านอุปกรณ์กำลัง มีค่าเพียงพอที่จะทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรทำงาน ซึ่งส่งผลให้อุปกรณ์กำลังอาจจะนำกระแสไม่ได้เนื่องจากตัวเก็บประจุแฝงC_{gs}สามารถคายประจุผ่านทรานซิสเตอร์Q_p ได้ ดังนั้นจึงต้องป้องกันไม่ให้ระบบป้องกันการลัดวงจรทำงานในช่วงที่มีสัญญาณพัลส์บวกควบคุมให้นำกระแส



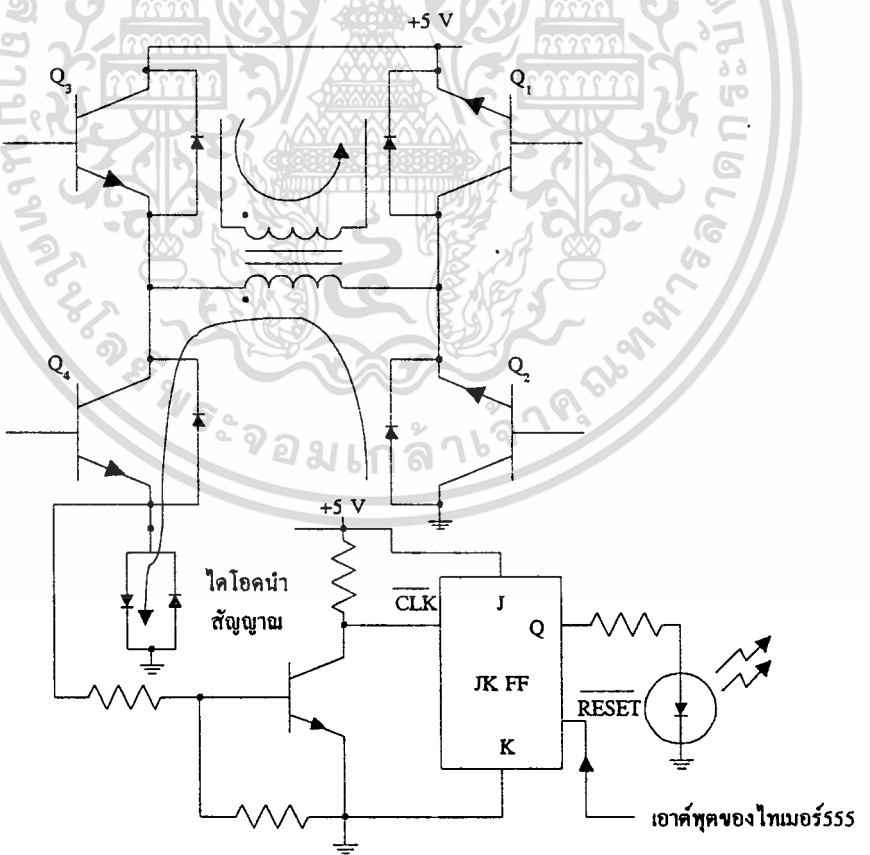
รูปที่2.10 แสดงการป้องกันไม่ให้ระบบป้องกันการลัดวงจรทำงานขณะอุปกรณ์กำลังกำลังนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่ตัวเก็บประจุแฝงC_{gs} ทำการชาร์จประจุอยู่ จะทำให้มีกระแสi_g ไหลผ่านR_r จนมีแรงดันตกคร่อมทำให้มอสเฟตQ_rทำงานซึ่งส่งผลให้แรงดันคร่อมขาเบสและอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์Q_p มีค่าเป็นศูนย์ตลอดเวลาที่C_{gs} ชาร์จประจุ นั่นแสดงว่าระบบป้องกันการลัดวงจรจะไม่ทำงานในช่วงเวลานี้

2.2.5 วงจรเตือน(Alarm circuit)

วงจรเตือนมีจุดประสงค์เพื่อบอกผู้ใช้งานเมื่อมีการลัดวงจรที่โหลดด้านเอาท์พุตโดยขณะที่เกิดการลัดวงจร จะมีกระแสที่เกิดจากการคายประจุของตัวเก็บประจุแฝงC_{gs}(ตัวเก็บประจุที่อยู่ในอุปกรณ์กำลัง) ไหลจากวงจรด้านเอาท์พุตผ่านขดลวดของหม้อแปลง ทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ของกระแสที่ด้านปฐมภูมิ มีทิศทางแสดงดังรูป



รูปที่2.11 วงจรเตือนการลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงาน

จากไซเคิลการทำงานของ L298 การลัดวงจรจะเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงที่อุปกรณ์กำลังนำกระแส ซึ่งในช่วงนี้ทรานซิสเตอร์Q_4 ใน L298 จะนำกระแสอยู่ ดังนั้นกระแสจากการคายประจุจากตัวเก็บประจุแฝงในด้านปฐมภูมิ จะไหลผ่านวงจรเตือน ผ่านไดโอดนำสัญญาณ ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_A ทำงาน ส่งสัญญาณให้กับขาคล็อกของ เจเค-ฟลิปฟลอบ ซึ่ง เจเค-ฟลิบฟลอบนี้จะมีเอาท์พุตที่ต่อกับไดโอดเปล่งแสง(LED)อยู่ ดังนั้นถ้าเกิดการลัดวงจรขึ้น จะทำให้ไดโอดเปล่งแสงสว่างขึ้น

จะเห็นได้ว่าในช่วงที่วงจรทำงาน โดยกำเนิดสัญญาณพัลส์ลบ เพื่อให้อุปกรณ์กำลังหยุดนำกระแส(turn off) และมีกระแสดีแมกนีไตซ์ ซึ่งกระแสนี้จะไหลผ่านไดโอดนำสัญญาณ ทำให้วงจรเตือนทำงาน ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้วงจรเตือนทำงานในช่วงนี้ จะทำการต่อขา"รีเซ็ท"ของเจเค-ฟลิปฟลอบ เข้ากับสัญญาณพัลส์จากเอาท์พุตของไทเมอร์555 จะเห็นได้ว่าช่วงที่เอาท์พุตของไทเมอร์555มีสถานะเป็น"ศูนย์"ทำให้วงจรเตือนไม่ทำงาน เนื่องจาก เจเค-ฟลิบฟลอบจะถูกรีเซ็ท ในช่วงนี้จะไม่มีการลัดวงจรเกิดขึ้นที่อุปกรณ์กำลัง เพราะอุปกรณ์กำลังจะหยุดนำกระแสเมื่อเอาท์พุตของไทเมอร์555เป็นศูนย์ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องให้วงจรเตือนทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

การออกแบบหม้อแปลงพัลส์

3.1 หน้าที่และการทำงานของหม้อแปลงพัลส์ในวงจร

- ทำการส่งผ่านสัญญาณควบคุมลำดับการทำงานของอุปกรณ์กำลังทั้งพัลส์บวกและพัลส์ลบจากด้านอินพุตไปยังด้านเอาท์พุต

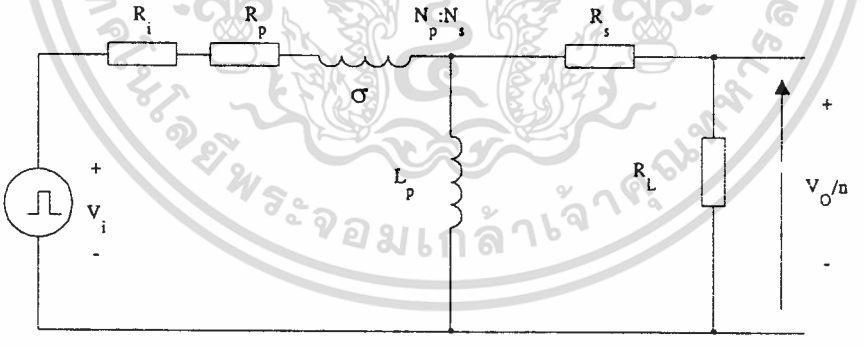
- ทำการส่งผ่านพัลส์กระแสที่เกิดจากการคายประจุของตัวเก็บประจุแฝงC_{gs} ขณะเกิดการลัดวงจรขึ้นที่โหลดจากวงจรด้านเอาท์พุตไปยังด้านอินพุตเพื่อใช้เป็นสัญญาณเตือน

- เป็นตัวแยกทางไฟฟ้าระหว่างวงจรด้านเอาท์พุตออกจากวงจรด้านอินพุตได้อย่างอิสระ ดังนั้น สำหรับการนำเอาอุปกรณ์กำลังหลายๆตัวมาใช้เป็นสวิตช์ สามารถใช้แหล่งจ่ายไฟอิสระเพียงแค่ชุดเดียว

- กำลังที่หม้อแปลงพัลส์ส่งผ่านนั้นจะมีค่าน้อยมาก จึงสามารถเลือกใช้แกนหม้อแปลงที่มีขนาดเล็กๆได้

3.2 การออกแบบหม้อแปลงพัลส์

หม้อแปลงพัลส์ในทางปฏิบัติสามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังนี้



รูปที่3.1 วงจรสมมูลของหม้อแปลงพัลส์

เมื่อ R_i คือ ความต้านทานอินพุตของหม้อแปลง...(โอห์ม)

R_p คือ ความต้านทานของขดลวดปฐมภูมิ...(โอห์ม)

R_s คือ ความต้านทานของขดลวดทุติยภูมิ...(โอห์ม)

R_L คือ ความต้านทานของโหลด

σ คือ ค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหล(leakage inductance)...(เฮนรี่)

L_p คือ ค่าความเหนี่ยวนำดีแมกนีไตซิ่ง...(เฮนรี่)

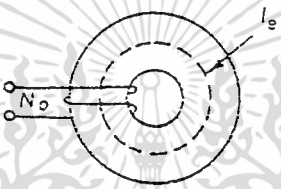
n คือ อัตราส่วนรอบของหม้อแปลง...($n = N_s/N_p$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเหนี่ยวนำดีแมกนีไตซิ่ง

สามารถวัดได้จากทางด้านปฐมภูมิขณะเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$L_p = \frac{\mu_o \mu_r A_e N_p^2}{l_e} \quad \text{เฮนรี} \qquad \text{.....(3.1)}$$



รูปที่3.2 แสดงการพันขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

เมื่อ μ_0 คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กของอากาศ เท่ากับ $4\pi\times10^{-7}$ ...(เฮนรี่/เมตร)

μ_r คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์

A_e คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนหม้อแปลง...(ตารางเมตร^2)

N_p คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ...(รอบ)

l_e คือ ความยาวของทางเดินวงจรแม่เหล็ก...(เมตร)

ให้

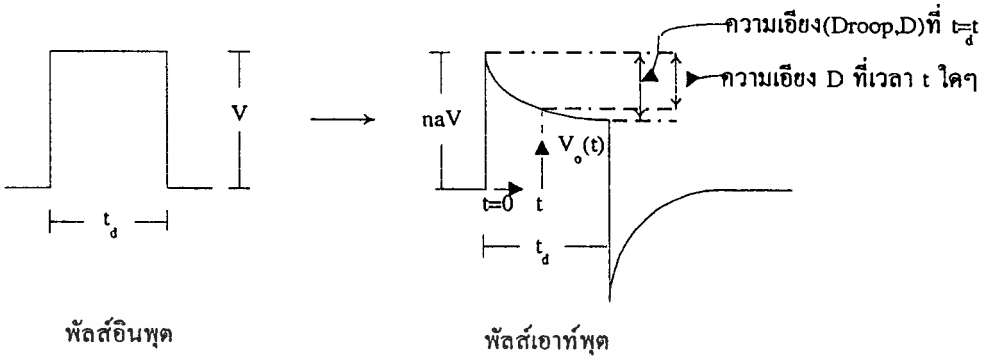
$$A_L = \frac{\mu_r \mu_o A_e}{l_e} \qquad \text{.....(3.2)}$$

ดังนั้น $$L_p = N_p^2 A_L \qquad \text{.....(3.3)}$$

3.3 คุณลักษณะของพัลส์ที่ได้จากหม้อแปลงพัลส์

พัลส์ที่วงจรอินพุตส่งให้หม้อแปลงพัลส์นั้นจะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม แต่ลักษณะพัลส์ที่ได้ออกมาจากหม้อแปลงจะเป็นดังรูป

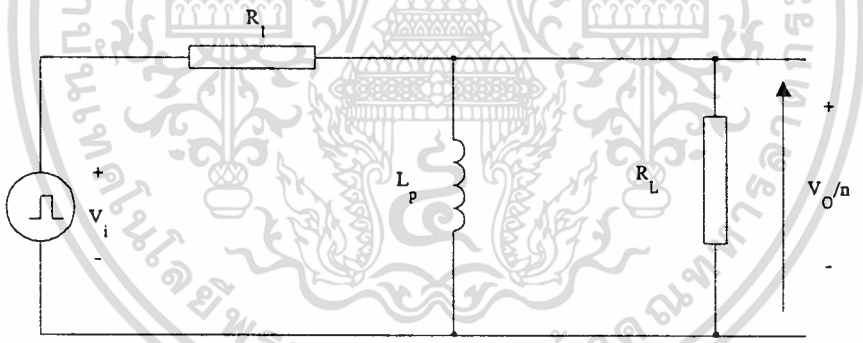
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.3 พัลส์ของสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของหม้อแปลงพัลส์

สามารถพิจารณาได้ดังนี้

เนื่องจากค่าเหนี่ยวนำรั่วไหล σ มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ $R_i + R_p$ ดังนั้น จากวงจรรูปที่ 3.1 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้ดังนี้



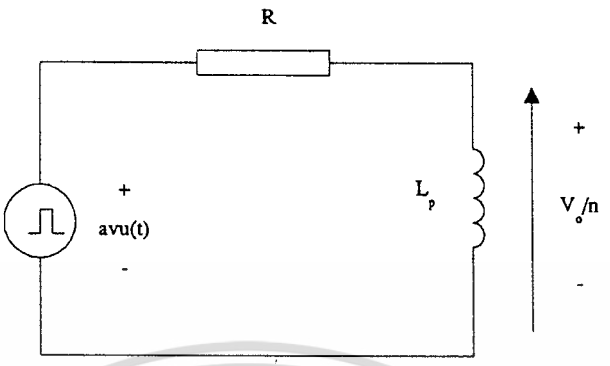
รูปที่3.4 วงจรสมมูลอย่างง่ายของหม้อแปลงพัลส์

เมื่อ $R_1 = R_i + R_p$

$R_2 = R_s + R_L$

โดยใช้ทฤษฎีทวินิน แปลงวงจรรูปที่3.4 ให้ อยู่ในรูปที่3.5 ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.5 วงจรสมมูลทวินินของหม้อแปลงพัลส์

โดยที่

$$a = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad , \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

จะได้

$$\frac{V_o(t)}{n} = a\,V_p e^{-\frac{t}{\tau}} \qquad ;\tau = \frac{L_p}{R}$$

$$V_o(t) = na\,V_p e^{-\frac{Rt}{L_p}} \qquad \text{.....(3.4)}$$

จากรูปที่3.3 ที่เวลา $t = 0$, $V_o = naV_p$

จะได้ความเอียง(droop) ที่เวลา t ใดๆ เท่ากับ $D = V_o(t=0) - V_o(t)$

$$D = na\,V_p\left(1 - e^{-\frac{Rt}{L_p}}\right) \qquad \text{.....(3.5)}$$

ถ้า t_d คือ ความกว้างของพัลส์(ประมาณ 500 นาโนวินาที)

ที่ $t = t_d$ จะได้สมการ

$$\frac{L_p}{R} = \frac{t_d}{\ln\left[1 \Big/ \left(1 - \frac{D}{na\,V_p}\right)\right]} \qquad \text{.....(3.6)}$$

ถ้า $t << L_p/R$ แล้วจะได้ $Rt/L_p << 1$

ดังนั้นจากสมการที่(3.5) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$1-e^{-\frac{Rt}{L_p}}=\frac{e^{Rt/L_p}-1}{e^{Rt/L_p}}\approx\frac{Rt}{L_p} \qquad \left(;e^{Rt/L_p}\approx\frac{1+\frac{Rt}{L_p}}{1+\frac{Rt}{L_p}}\right)$$

$$D\approx na\,V_p\frac{Rt_d}{L_p}$$

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับ naV_p

$$\%D=\frac{Rt_d}{L_p}\times 100$$

หรือ

$$L_p=\frac{Rt_d}{\%D}\times 100 \qquad \text{.....(3.7)}$$

3.4 การคำนวณหาพารามิเตอร์ของหม้อแปลงพัลส์

ต้องการออกแบบหม้อแปลงพัลส์ที่ความถี่ f = 1 kHz กระแสขับขาเกตสูงสุดเท่ากับ 2 แอมป์ ความกว้างพัลส์ t_d = 500 นาโนวินาที

ดิวตี้ไซเคิล $k = t_d.f = 500\times10^{-9}\times1000 = 0.0005$

แรงดันเอาท์พุตสูงสุด V_o = 15 โวลท์

อัตราส่วนรอบ $n = N_s:N_p = 3:1$ ดังนั้นแรงดันอินพุต = 5 โวลท์

ใช้แกนทอรอยด์เบอร์ 6×3×2 ใช้สาร 2E1 มี $\mu_r = 7000$, $B_{max} = 0.4$ T, $A_e = 2.81\ mm^2$, $l_e = 13.1$ mm

จากสมการที่(3.2)

$$A_L=\frac{(7000)(4\pi\times10^{-7})(2.81\times10^{-6})}{(13.1\times10^{-3})}$$

$$= 1.881\times10^{-6} \qquad \text{เฮนรี่ / รอบ}^2$$

ใช้ N_p = 10 รอบ

จากสมการที่3.3

$$L_p=N_p^2A_L=(10^2)(1.887\times10^{-6})$$

$$= 188.7\ \mu H$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่(3.7)

$$\%D = \frac{R\,t_d}{L_p} \times 100$$

กำหนด R ≈ 30 โอห์ม

$$\%D = \frac{(30)(500 \times 10^{-9})}{(188.7 \times 10^{-6})} \times 100 \quad = \ 8\%$$

หาการอิ่มตัวของแกนทอรอยด์

ออกแบบให้หม้อแปลงมีประสิทธิภาพเท่ากับ 75%

$$\therefore\ P_o = 0.75P_{in}$$

$$P_o = 0.75V_{in}\, I_{in}$$

เมื่อ V_{in} = ค่าเฉลี่ยของแรงดันอินพุต

I_{in} = ค่าเฉลี่ยของกระแสอินพุตขณะที่ $V = V_{in}$

จาก

$$V_{in} = \frac{N_p \Delta B\, A_e}{t_d}$$

$$P_o = 0.75 \frac{N_p \Delta B\, A_e}{t_d} \cdot I_{in} \qquad \text{.....(3.8)}$$

จากวงจรทางด้านเอาท์พุต จะได้พลังงานที่หม้อแปลงพัลส์จ่ายให้วงจรเอาท์พุต มีค่าประมาณ 4 เท่า ของพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุแฝง

ให้ C_{gs} ประมาณ 1 นาโนฟารัด

$$P_o = (4)\frac{1}{2} C_{gs} V_o^2 f$$

$$= (2)(10^{-9})(15^2)(10^3) \quad = \ 4.5 \times 10^{-4} \quad W$$

$$I_{in} = n I_{max} \quad = (3)(2) \ = \ 6A$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่(3.8)

$$\Delta B = \frac{P_o t_d}{(0.75) N_p A_e I_{in}}$$

$$= \frac{(4.5 \times 10^{-4})(500 \times 10^{-9})}{(0.75)(10)(2.81 \times 10^{-6})(6)} = 1.8\ \mu T$$

แต่ แกนทอรอยด์ที่ใช้มี $\Delta B_{max} = 0.4T$

เนื่องจากว่า $\Delta B < \Delta B_{max}$ ทำให้แกนทอรอยด์ที่ใช้ไม่อิ่มตัว เมื่อนำมาใช้เป็นหม้อแปลงพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

หม้อแปลงกระแส

4.1 หน้าที่ของหม้อแปลงกระแสในวงจร

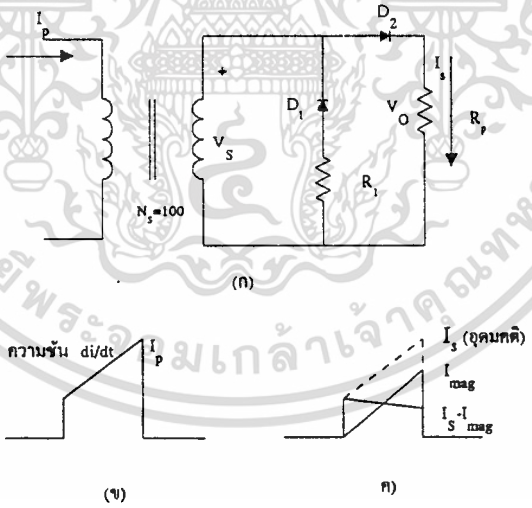
- ทำหน้าที่วัดค่ากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำลัง เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปใช้ในระบบป้องกันการลัดวงจรเพื่อจำกัดกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้น

- แยกระหว่างวงจรด้านที่วัดกระแสและวงจรควบคุมการลัดวงจรได้อย่างอิสระ

4.2 การออกแบบหม้อแปลงกระแส

4.2.1 ขนาดของแกนหม้อแปลงและกระแสแมกนีไตซิ่ง

การเลือกขนาดของแกนที่ใช้พันหม้อแปลงเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการออกแบบหม้อแปลงกระแส เนื่องจากจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมระหว่างสมรรถนะของหม้อแปลงในอุดมคติและสมรรถนะในทางปฏิบัติอันได้แก่ ขนาด ราคา และจำนวนรอบที่ใช้



รูปที่ 4.1 (ก) หม้อแปลงกระแสและวงจรทุติยภูมิ
(ข) รูปกราฟของกระแสด้านปฐมภูมิ
(ก) รูปกราฟของกระแสที่เกิดขึ้นบน R_P แสดงถึงผลของกระแสแมกนีไตซิ่งของหม้อแปลง

จากรูปจะเห็นได้ว่ากระแสแมกนีไตซิ่งที่เกิดขึ้น จะมีผลทำให้รูปร่างของกระแสทางด้านทุติยภูมิเปลี่ยนแปลงไปจากพัลส์กระแสทางด้านปฐมภูมิ โดยทำให้พัลส์กระแส (I_S) ลดลงเมื่อเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านไป ซึ่งถ้าหากว่านำเอาค่าสูงสุดของ I_p มาใช้งานแล้วจะทำให้สัญญาณที่ได้มีความผิดพลาดมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบให้มีกระแสแมกนีไตซิ่งมีค่าน้อยๆ

กระแสแมกนีไตซิ่งจะมีค่าแปรผกผันกับค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงกระแสจึงสามารถลดกระแสแมกนีไตซิ่งได้โดยการออกแบบให้หม้อแปลงมีค่าความเหนี่ยวนำสูงๆโดยพิจารณาจากสมการ

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r N_s^2 A_e}{l_e} \qquad \text{.....(4.1)}$$

เมื่อ μ_0 คือ ค่าความซึมซาบของอากาศมีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$ (เฮนรี/เมตร)

μ_r คือ ค่าความซึมซาบแมเหล็กสัมพัทธ์ (จำนวนเท่าของ μ_0)

N_s คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ (รอบ)

A_e คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนทอรอยด์ (มม^2.)

l_e คือ ความยาวของทางเดินฟลักซ์แม่เหล็กบนแกนทอรอยด์ (มม.)

เมื่อต้องการเพิ่มค่าความเหนี่ยวนำจึงต้องเลือกวัสดุที่ใช้ทำแกนมีค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์,μ_r สูงๆและใช้จำนวนรอบทางด้านทุติยภูมิมากๆ

ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อกระแสแมกนีไตซิ่งอีกอย่างหนึ่งคือ ขนาดของแรงดันด้านทุติยภูมิ ซึ่งจากวงจรรูปที่ 4.1(ก) จะมีค่าเท่ากับแรงดันของสัญญาณ V_O และแรงดันตกคร่อมไดโอด D_2 ขณะนำกระแส (ประมาณ 0.6 V) ค่าแรงดันทุติยภูมินี้ควรให้มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากถ้าแรงดันมากจะทำให้กระแสแมกนีไตซิ่งมีค่าสูงตามไปด้วย

เมื่อเลือกใช้แกนทอรอยด์ที่มีขนาดเล็กมากๆ จากสมการที่ 4.1 เพื่อให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำสูงๆจึงต้องพันขดลวดให้ได้จำนวนรอบมากๆ แต่ถ้ามีค่าสูงเกินไป (เกิน 200 รอบขึ้นไป) ตัวเก็บประจุระหว่างขดลวดจะมีผลต่อวงจรและได้ผลตอบสนองที่ความถี่สูงๆ (พัลส์กระแสแคบๆ) เลวลง ดังนั้นการเลือกแกน ควรจะให้เหมาะสมทั้งราคาและสมรรถนะที่ได้ สำหรับจำนวนรอบที่เหมาะสมควรใช้ประมาณ 100 รอบ ขึ้นไป โดยพันบนแกนทอรอยด์ให้ได้ภายในชั้นเดียว

4.2.2 ขั้นตอนในการออกแบบหม้อแปลงกระแส

ต้องการออกแบบหม้อแปลงกระแสตามรูปที่ 4.1 ก โดยต้องการจำกัดกระแสทางด้านปฐมภูมิที่ I_p=30 แอมป์

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวนค่า แอมแปร์-รอบ ของกระแสด้านปฐมภูมิ

เนื่องจากต้องการจำกัดกระแสที่ 30 แอมป์ โดยที่ใช้จำนวนรอบของปฐมภูมิ 1 รอบ (คล้องผ่านแกนทอรอยด์) ดังนั้นจะได้ค่า แอมแปร์-รอบเป็น 30 แอมแปร์-รอบ

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดจำนวนรอบและกระแสของขดลวดทุติยภูมิ

ใช้จำนวนรอบทุติยภูมิ N_S=100 รอบ

ดังนั้นจะได้กระแสทางด้านทุติยภูมิ $I_S = 30/100 = 0.3$ A

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดแรงดันด้านทุติยภูมิ

เนื่องจากแรงดัน V_O ที่ได้จะนำไปขับทรานซิสเตอร์เพื่อคายประจุของตัวเก็บประจุแฝง C_{gs} ดังนั้น เลือก

$$V_S = V_D + V_O = 0.6+0.6 = 1.2 \text{ V}$$

$\therefore$ จะได้ $R_p = V_O/I_S = 1.2/0.3 = 4\,\Omega$

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบกระแสแมกนีไตซิ่ง

ใช้แกนทอรอยด์ เบอร์ 6 x 3 x 2 มี A_e=2.81 mm^2 ,l_e=13.1 mm

ทำจากสาร 2E1 มี ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก μ_r = 7000 เท่า และ B_{max} =0.4 T

คำนวนค่าความเหนี่ยวนำได้จากสมการที่ 4.1

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r N_s^2 A_e}{l_e}$$

$$L = \frac{(7000)(4\pi \times 10^{-7})(100^2)(2.81 \times 10^{-6})}{13.1 \times 10^{-3}}$$

$$L = 18.87 \text{ mH}$$

$\therefore$ คำนวนค่าความชัน dI/dt ของกระแสแมกนีไตซิ่ง ได้จาก

$$e = -L\frac{dI}{dt}$$

$$\left|\frac{dI}{dt}\right| = \frac{e}{L}$$

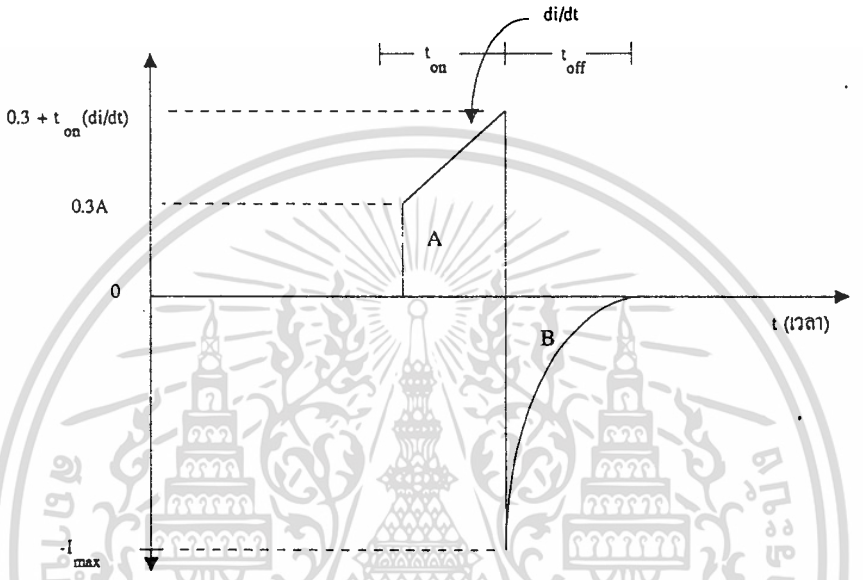
เมื่อ $e = V_S = 1.2$ V

$$\left|\frac{dI}{dt}\right| = \frac{1.2}{18.87 \times 10^{-3}} = 63.6 \quad \text{A / S}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หา R_1,

จากวงจรรูปที่ 4.1 ไดโอด D_1 มีไว้เพื่อให้กระแสทุติยภูมิไหลผ่านหม้อแปลงได้สองทิศทาง ทำให้กระแสเฉลี่ยของหม้อแปลงเท่ากับศูนย์ หม้อแปลงจะไม่อิ่มตัว



รูปที่4.2 กราฟแสดงกระแสทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส

ในการทำงานของระบบ ป้องกันการลัดวงจรนั้น จะออกแบบให้ตัวเก็บประจุแฝงคายประจุภายในเวลา 500 นาโนวินาทีและเนื่องจากในช่วงที่มีสัญญาณพัลส์บวกช่วงสั้นๆ(ประมาณ นาโนวินาที) ผ่านเข้ามาที่หม้อแปลงพัลส์นั้นระบบป้องกันการลัดวงจรจะไม่ทำงาน ดังนั้นต้องกำหนดความกว้างของพัลส์กระแสเผื่อในช่วงเวลานี้ด้วย

$$\therefore\ t_{on} = 500+500 = 1000 \text{ นาโนวินาที}$$

ส่วน t_{off} นั้น เป็นเวลาน้อยที่สุดที่จะมีได้ในลำดับการทำงานของอุปกรณ์กำลังซึ่งจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ (t_{off} ยิ่งน้อยความถี่ที่ใช้งานได้จะยิ่งสูง)

ดังนั้น เลือก

$$t_{off} = 500 \text{ นาโนวินาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 ต้องการให้กระแสเฉลี่ยคร่อมหม้อแปลงเท่ากับศูนย์

$\therefore$ พ.ทใต้กราฟ A = พ.ทใต้กราฟ B .....(4.2)

โดยประมาณให้พื้นที่ใต้กราฟ B เป็นรูปสามเหลี่ยม ,จะได้สมการที่ (4.2) เป็น

$$\frac{1}{2}\left[0.3+\left(0.3+\frac{dI}{dt}\times t_{on}\right)\right]t_{on} = \frac{1}{2}(t_{off})I_{max}$$

$$\frac{1}{2}(0.3+0.3+63.6\times 1000\times 10^{-9})\times 1000\times 10^{-9} = (\frac{1}{2})(500\times 10^{-9})I_{max}$$

$$\therefore\ I_{max} = 1.2 \text{ แอมแปร์}$$

จะได้ $R_1 = |-V_S|/I_{max} = 1.2/1.2 = 1\ \Omega$

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบการอิ่มตัวของแกนทอรอยด์

ขณะที่หม้อแปลงทำงานกำเนิดพัลส์กระแสขึ้นมานั้น จะต้องไม่ให้หม้อแปลงอิ่มตัวเพื่อให้ระบบป้องกันการลัดวงจรทำงานไม่ผิดพลาด

จาก $B = \dfrac{V t_{on}}{N_s A_e}$

$$B = \frac{1.2\times 1000\times 10^{-9}}{100\times 2.81\times 10^{-6}} = 4.26 \text{ mT}$$

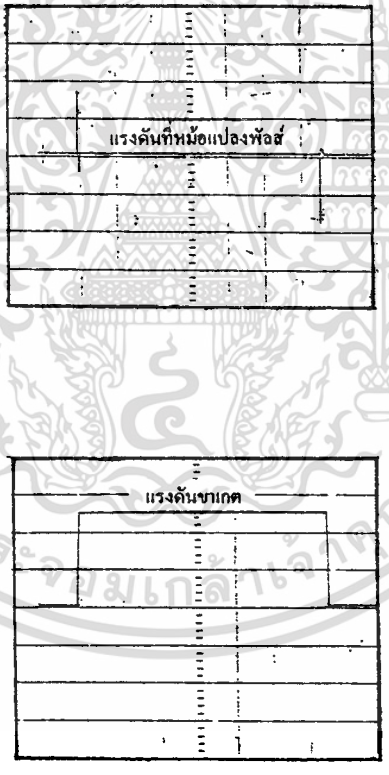
ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า B ที่ ได้นั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ B_{max} ของแกนทอรอยด์ ($B_{max} = 0.4$ T) ดังนั้นแกนทอรอยด์จะไม่อิ่มตัวตลอดช่วงการทำงานของหม้อแปลงกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5

ผลการทดลอง

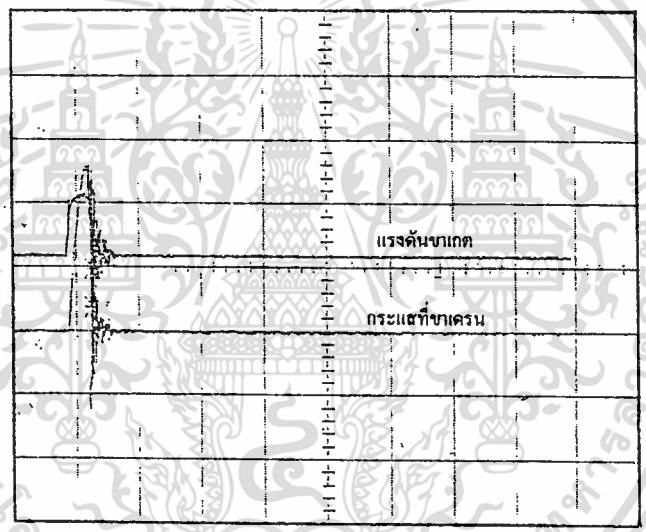
วงจรที่ใช้งานจริงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.3 ซึ่งได้ทำการทดลองนำไปขับเกตของมอสเฟตกำลังเบอร์ PM4550 2C HITACHI วงจรทางด้านอินพุตของหม้อแปลงพัลส์จะกำเนิดพัลส์ควบคุมขนาดความกว้าง 500 นาโนวินาที สามารถควบคุมมอสเฟตกำลังเทริ์นออนและเทริ์นออฟได้ที่ความถี่ 1 kHz ดังจะเห็นได้จากกราฟแรงดันที่ขาเกตของ PM4550 2C ในรูปที่ 5.1 ซึ่งจะมีจังหวะการทำงานเป็นไปตามสัญญาณควบคุม



รูปที่5.1 สัญญาณพัลส์ที่หม้อแปลงพัลส์และสัญญาณที่ขาเกต-ซอร์ส

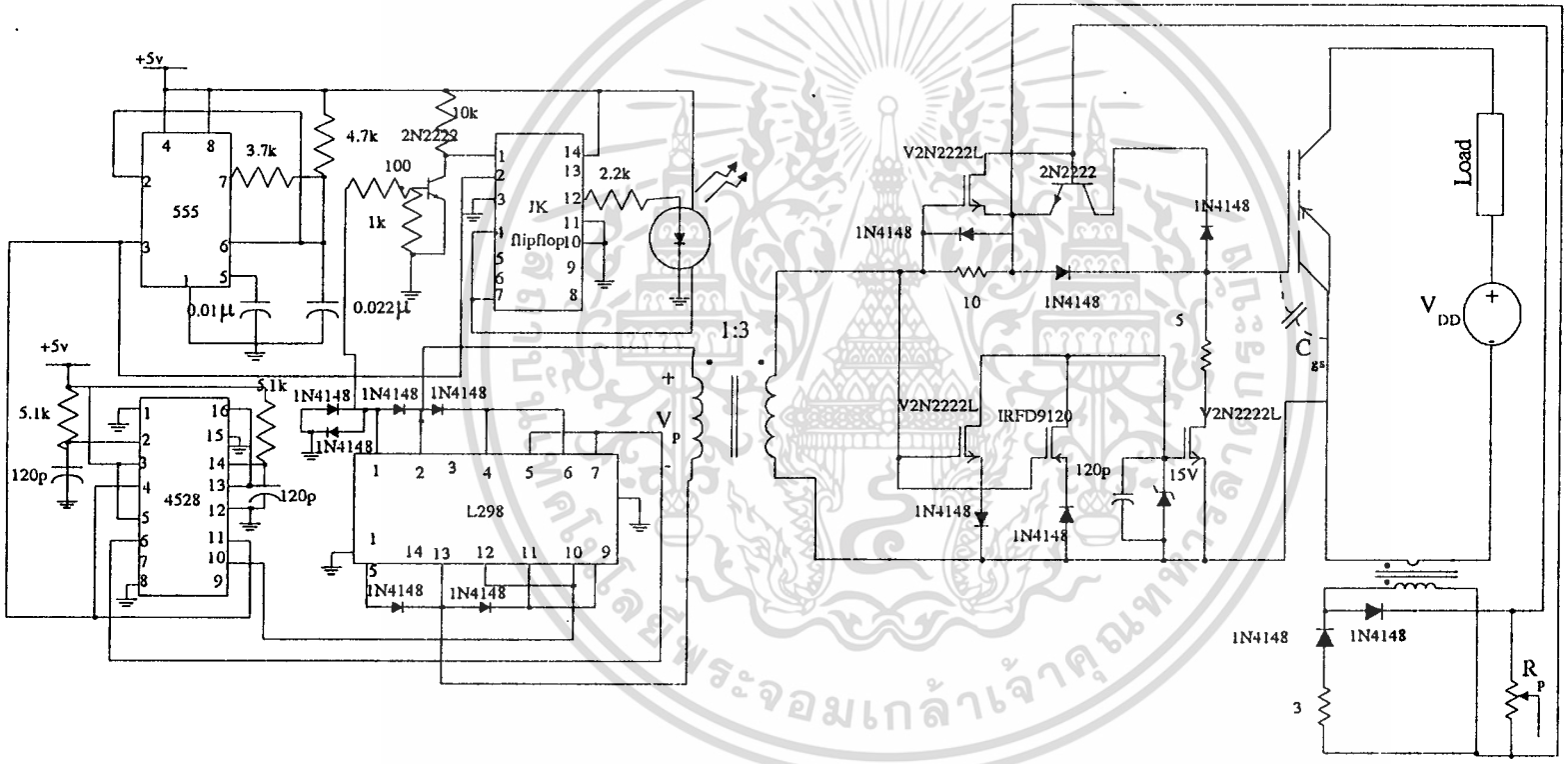
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของระบบป้องกันการลัดวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรซึ่งจำกัดไว้ที่ 30 แอมป์ ระบบป้องกันจะทำงานหลังจากที่มอสเฟตกำลังเกิดการเทิร์นออนหน่วงไปประมาณ 500 นาโนวินาทีซึ่งในช่วงเวลานี้เป็นการป้องกันการไม่นำกระแสของมอสเฟตกำลังจากการเกิดกระแสไดโอดรีคอฟเวอรี่ หลังจากนั้นระบบป้องกันจะเริ่มทำงานคายประจุจากตัวเก็บประจุแฝงมอสเฟตกำลังจึงหยุดนำกระแส ทำให้กระแสที่ขาเดรนลดลงจนเป็นศูนย์



รูปที่5.2 พฤติกรรมการลัดวงจรของมอสเฟตกำลังเบอร์ PM4550 2C HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่6.3 วงจรที่ใช้งานจริง

บทที่6

สรุปและวิจารณ์

วงจรขับขาเกตแบบแยกอิสระที่ทำขึ้นนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำงานร่วมกับมอสเฟต และไอจีบีที โดยจะมี การแยกอิสระระหว่างวงจรควบคุมด้านอินพุตและวงจรควบคุมด้านเอาท์พุต โดยใช้หม้อแปลงพัลส์ ซึ่งมีข้อดีคือ ทำให้วงจรมีราคาถูกเนื่องจากไม่สิ้นเปลืองแหล่งจ่ายไฟเมื่อนำมาใช้ขับมอสเฟตกำลังหรือไอจีบีทีหลายตัว พลังงานที่จ่ายให้กับวงจรขับมีค่าเพียงเล็กน้อย ประมาณ 4 เท่าของพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเก็บประจุแฝง จึงสามารถใช้หม้อแปลงพัลส์ที่มีขนาดเล็กได้ การกำหนดความถี่การทำงานสามารถทำได้โดย เปลี่ยนความถี่ของไทเมอร์555 ซึ่งเป็นตัวกำเนิดพัลส์ที่ใช้ควบคุมลำดับการทำงานของอุปกรณ์กำลัง พัลส์ที่ใช้ควบคุมมีขนาดความกว้างของพัลส์แคบมาก(500นาโนวินาที) ทั้งพัลส์บวกที่ใช้ควบคุมให้อุปกรณ์กำลังนำกระแส และพัลส์ลบที่ใช้ควบคุมให้อุปกรณ์กำลังหยุดนำกระแส จึงสามารถประยุกต์ใช้กับความถี่หลายร้อยกิโลเฮิร์ตได้

วงจรทางด้านเอาท์พุตได้ถูกออกแบบให้สามารถจำสถานะการนำกระแส และหยุดนำกระแสของอุปกรณ์กำลังได้ โดยถ้ามีสัญญาณควบคุมให้อุปกรณ์กำลังนำกระแส(พัลส์บวก) เมื่ออุปกรณ์กำลังนำกระแสแล้ว จะมีแรงดันตกคร่อมขาเกตและขาซอร์สเป็นค่าบวกคงที่ตลอดเวลา จึงสามารถที่จะทำให้เกิดการนำกระแสได้ตลอดช่วงจนกว่าจะมีสัญญาณควบคุม(พัลส์ลบ)ให้หยุดนำกระแส การหยุดนำกระแสจะมีตัวเก็บประจุช่วยในการจำสถานะโดยที่จะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่ขาเกตและขาซอร์สของอุปกรณ์กำลังมีค่าต่ำตลอดช่วงการหยุดนำกระแส ทำให้อุปกรณ์กำลังนำกระแสเองไม่ได้นอกจากจะมีสัญญาณพัลส์บวกเข้ามาที่หม้อแปลงพัลส์

ในการนำมอสเฟตกำลังหรือไอจีบีทีไปใช้เป็นสวิตช์กำลัง เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นที่โหลดจะทำให้เกิดกระแสจำนวนมหาศาลไหลผ่านตัวสวิตช์ ซึ่งทำให้อุปกรณ์กำลังเสียหายได้ จึงต้องออกแบบให้วงจรทางด้านเอาท์พุตมีระบบป้องกันการลัดวงจร โดนใช้หม้อแปลงกระแสตรวจจับกระแสที่ไหลผ่านตัวอุปกรณ์กำลัง เมื่อเกิดกระแสเกินขีดจำกัดความสามารถ ระบบป้องกันจะทำงานโดยการคายประจุของตัวเก็บประจุแฝงเพื่อให้อุปกรณ์กำลังหยุดนำกระแสได้ทันก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้น การคายประจุของตัวเก็บประจุแฝงนั้น จะคายประจุผ่านหม้อแปลงพัลส์เพื่อที่จะส่งพัลส์กระแสไปทางด้านเอาท์พุต เมื่อพัลส์กระแสที่ได้ ไหลผ่านวงจรเตือนซึ่งใช้ฟลิบฟลอบช่วยในการจำสถานะ ซึ่งสามารถนำเอาท์พุตของฟลิบฟลอบนี้ไปประยุกต์ใช้งานได้เช่น อาจจะนำไปอินเทอรัพต์ไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้ควบคุมวงจรบอกให้ผู้ใช้รู้ว่า เกิดการลัดวงจรขึ้น นอกจากนั้น การออกแบบระบบป้องกันการลัดวงจรจะเกิดปัญหา เนื่องจากเกิดกระแสไดโอดรีคอฟเวอรี่ไหลผ่านตัวอุปกรณ์ขณะที่ตัวอุปกรณ์กำลังจะนำกระแส ซึ่งกระแสนี้มีค่าใกล้เคียงกับกระแสลัดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จร ทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรทำงาน ทำให้อุปกรณ์กำลังไม่สามารถนำกระแสได้ จึงต้องการป้องกันไม่ให้ระบบป้องกันการลัดวงจรทำงาน ขณะเกิดกระแสไดโอดรีคอฟเวอรี่ ซึ่งจากวงจรทางด้านเอาท์พุตตลอดช่วงที่มีสัญญาณพัลส์บวกเข้ามาที่หม้อแปลงพัลส์ ระบบป้องกันการลัดวงจรจะไม่ทำงาน(ในช่วง500นาโนวินาทีของสัญญาณพัลส์บวก) เมื่อพัลส์บวกหายไป ระบบป้องกันการลัดวงจรจะสามารถทำงานได้ตามปกติ

หม้อแปลงกระแสที่ใช้ทำให้เกิดการแยกอิสระระหว่างกระแสทางวงจรที่ใช้อุปกรณ์กำลังเป็นสวิตช์และกระแสที่ใช้ควบคุมวงจรป้องกันการลัดวงจร ทั้งยังมีขนาดเล็ก จ่ายพลังงานขับทรานซิสเตอร์ขนาดเล็กๆเพียงตัวเดียว การออกแบบจะพยายามลดจำนวนอุปกรณ์ลงไปให้น้อยที่สุดแต่มีประสิทธิภาพสูงสุดทั้งยังราคาถูก อุปกรณ์ที่ใช้สามารถหาได้ง่าย การใช้งานง่าย สามารถขับอุปกรณ์กำลังตัวใหญ่ได้โดยใช้วงจรเดิม ถึงแม้ในปัจจุบันจะมีการผลิตวงจรขับเกตเป็นไอซีออกมาขายแต่มีประสิทธิภาพในเรื่องของการแยกอิสระระหว่างวงจรควบคุมกับวงจรทางด้านขาเดรนไม่ดีนักเนื่องจากเมื่อใช้งานไปเป็นระยะเวลานานๆ จะทำให้สารที่ใช้ทำเป็นฉนวนนั้นเสื่อมลงแต่วงจรที่ใช้ออกแบบนี้ใช้อากาศเป็นตัวแยกอิสระจึงไม่มีการเสื่อมเมื่อใช้งานไปนานๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] J.M.Bourgeois SGS -Thomson.,Microelectronic, Z.I.Peynier Rousset,1300 Rousset Cedex, France, "*A New Isolated Gate Drive for Power MOSFETs and IGBTs*",EPE FIRENZE,1991,P.1-187-P.1-192.

[2] M.A.Nadkarni, S.Ramesh Bhat.,"*Pulse Transformer Design and Fabrication*", McGraw-Hill,Newdelhi,1985,P.4-P.157.

[3] Abraham L. Pressman,"*Switching Power Supply Design*",McGraw-Hill International,Edition Engineering series.,P.3.177-P.3.192.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้