หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การสร้างวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง และการขนาน

จากบล็อกไดอะแกรม ของระบบที่ได้จากการขนานวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ในรูปที่ 3.1 สามารถแทนส่วนต่างๆ ในบล็อกไดอะแกรมดังกล่าวด้วยวงจรในทางปฏิบัติที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยรายละเอียดของแต่ละส่วนจะเป็นดังต่อไปนี้

4.1 ชุดวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง

4.1.1 วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง

รูปที่ 4.1 เป็นโครงสร้างของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่ใช้ในทางปฏิบัติ ซึ่งในบทที่ 3 ได้แสดงการออกแบบ ความถี่ที่ใช้ในการทำงาน วงจรเรียงกระแส และวงจรกรองด้านเข้าของชุดวงจร ขนาดของสวิตช์กำลังและไดโอด หม้อแปลงกำลัง วงจรกรองด้านขาออกของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง และค่าความต้านทานที่ใช้ ในการตรวจจับกระแสในตัวเหนี่ยวนำ นอกจากนี้ยังได้แสดงให้เห็นการวางตำแหน่งตัวต้านทานที่ใช้ตรวจจับกระแสในตัวเหนี่ยวนำ (R_s) ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 5 มิลลิโอห์ม ดังในหัวข้อที่ 3.2.7 ในรูปที่ 4.1 ยังแสดงชื่อของสัญญาณที่ใช้ในการตรวจจับของกระแสในตัวเหนี่ยวนำ (I_{Lsense}) สัญญาณนี้จะถูกป้อนให้กับวงจรภาคควบคุม ในรูปที่ 4.2

4.1.1.1 Input noise filter เป็นวงจรกรองที่ใช้เพื่อจำกัดผลของการรบกวนทางสนามแม่เหล็กทั้งเข้า และออกจากวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ให้อยู่ในระดับหนึ่ง โดยจะใช้วงจรผ่านกรองแบบผ่านต่ำ (low-pass filter) [Tarter, 1985] ซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ (L_1, L_2) 10 มิลลิเฮนรี มีการเชื่อมโยงกันด้วยการพันในแกนเดียวกัน และตัวเก็บประจุ (C_x) 1.5 ไมโครฟารัด ทนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ 250 โวลต์ และตัวเก็บประจุ (C_y) 6800 ไมโครฟารัด ทนแรงดันได้ 1000 โวลต์

4.1.1.2 วงจรขับนำเกต เมื่อเลือก POWER MOSFETs เป็นสวิตช์กำลังจึงต้องใช้วงจรขับนำเกตเป็นวงจรขับนำสวิตช์ จากการที่วงจรกำลังเป็นแบบกึ่งบริดจ์ไม่สมมาตร จึงต้องมีวงจรขับนำเกต 2 ชุด (gate drive 1 และ gate drive 2) ที่มีการแยกโดดเชื่อมโยงถึงกันด้วยหม้อแปลงความถี่สูง วงจรขับนำเกตที่ใช้แสดงอยู่ในกรอบสี่เหลี่ยมเส้นประในรูปที่ 4.2 โดยช่วงที่ขับนำ POWER MOSFETs ให้นำกระแสจะมีแรงดันบวกป้อนให้ขับนำให้กับเกต ซอร์ส (V_{gs}) ของสวิตช์กำลังทั้งสองผ่านทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงในขณะที่มีแรงดันบวกที่ด้านปฐมภูมิ โดยแรงดันบวกนี้เป็นผลจากการที่ทรานซิสเตอร์ Q_4 ทำงานเพราะ

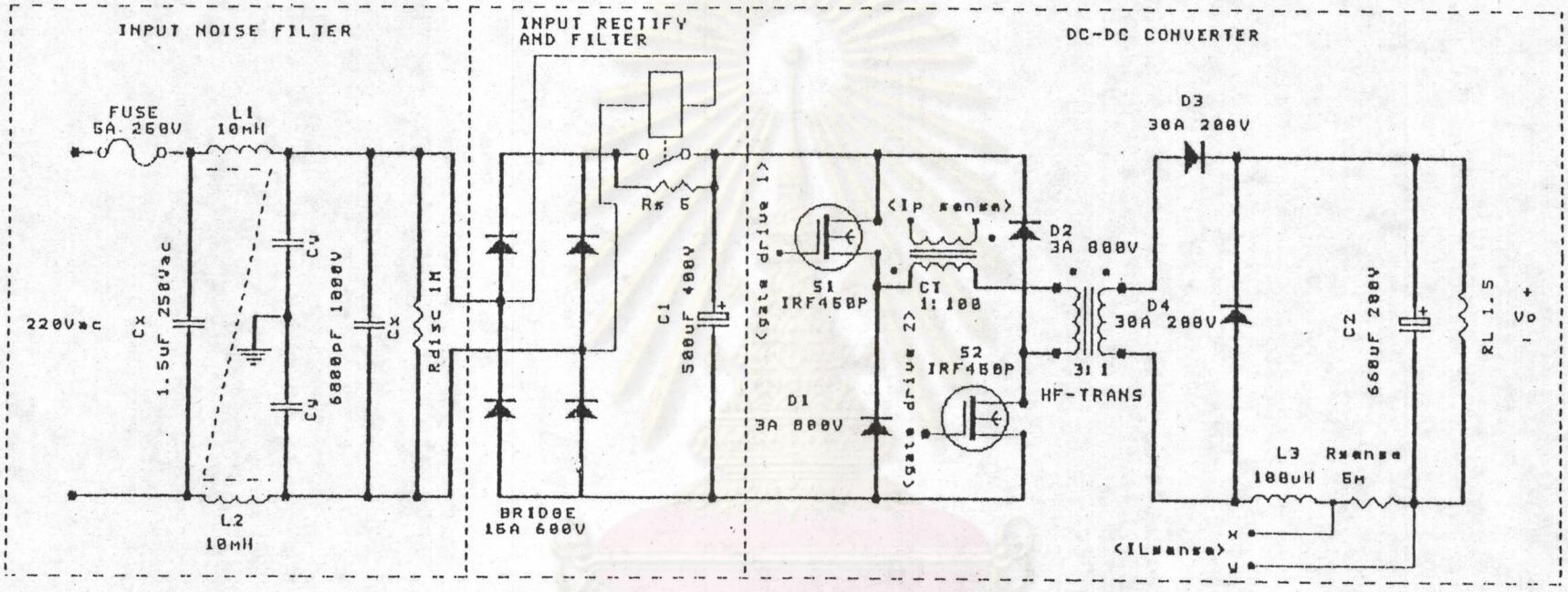
สัญญาณที่มาจากวงจรตรรก และเมื่อทรานซิสเตอร์ Q_4 หยุดทำงาน POWER MOSFETs หยุดนำกระแสโดยกระแสทำแม่เหล็ก (magnitizing current) จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_5 และ Q_6 ทำงาน ตัวเก็บประจุที่เกตซอร์ส (gate-source capacitor) ใน POWER MOSFETs คายประจุผ่านทรานซิสเตอร์ Q_5, Q_6 และตัวเก็บประจุ C_6, C_7 นอกจากนั้น จะจำกัดแรงดันคร่อมเกตซอร์ส (V_{gs}) ไม่ให้เกิน +/- 19 โวลต์ โดยใช้ซีเนอร์ไดโอดขนาด 18 โวลต์ ต่อกลับทางระหว่างเกต และซอร์สของ POWER MOSFETs ทั้งสอง

4.1.2 <u>วงจรภาคควบคุม</u>

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการควบคุมกระแสในตัวเหนี่ยวนำของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ให้มีค่าสูงสุดเท่ากับแรงดันคำสั่งกระแส และมีความถี่คงที่ โดยจะให้สัญญาณออกเป็นสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมการขับนำสวิตช์ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ดังได้กล่าวมาแล้ว วงจรภาคควบคุมนี้ ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้ คือ

4.1.2.1 <u>วงจรตรรก</u> จากข้อกำหนดหน้าที่ และส่วนประกอบของวงจรตรรกตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.1.1.2.1 จึงได้ออกแบบวงจรตรรกโดยใช้อุปกรณ์ตรรกจำพวก CMOS ดังรูปที่ 4.2 วงจรตรรกที่ใช้ในการควบคุมวงจรขับนำเกตสำหรับ POWER MOSFETs เมื่อ POWER MOSFETs ทั้งสองนำกระแส สัญญาณออกจากวงจรตรรกจะมีค่าเป็น 1 (สัญญาณออกจาก NAND 9) ป้อนให้กับวงจรขับนำเกต โดยสัญญาณออกจาก NAND 9 เป็น 1 เมื่อสัญญาณออกจาก NAND 7 และสัญญาณออกจากวงจรป้องกันกระแสเกินมีค่าเป็น 1 พร้อมกัน ซึ่งสัญญาณออกจาก NAND 7 มีค่าเป็น 1 ก็ต่อเมื่อสัญญาณนาฬิกาจากวงจรควบคุมรวม และสัญญาณออกจากอาร์-เอส ฟลิป-ฟลอป (Q) ประกอบด้วย NAND 2 และ NAND 3 มีค่าเป็น 1 และในกรณีที่สัญญาณออกจากฟลิป-ฟลอป นั้น มีค่าเป็น 0 เมื่อสัญญาณที่มาจากวงจรเปรียบเทียบกระแสเปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 ขณะที่สัญญาณนาฬิกาอยู่ที่ 1 หรือกรณีที่สัญญาณออกจากวงจรป้องกันกระแสเกินมีค่าเป็น 0 จะทำให้สัญญาณออกจากวงจรตรรก NAND 9 มีค่าเป็น 0 ทำให้ POWER MOSFETs หยุดนำกระแส นอกจากนั้น POWER MOSFETs จะหยุดนำกระแสทุก ๆ คาบเมื่อสัญญาณนาฬิกาเป็น 0

4.1.2.2 <u>วงจรขยายสัญญาณกระแสในตัวเหนี่ยวนำ</u> ทำหน้าที่ขยายสัญญาณกระแสในตัวเหนี่ยวนำในรูปของแรงดันที่ได้จากการใช้ความต้านทาน 5 มิลลิโอห์ม ในการวัด สำหรับค่ากระแสเฉลี่ยในตัวเหนี่ยวนำ 20 แอมแปร์ มีแรงดันตกคร่อม 0.1 โวลต์ กำลังสูญเสีย 2 วัตต์ โดยแรงดันคร่อมความต้านทานนี้มีขนาดเล็กจึงขยายแรงดันด้วยวงจรขยายผลต่าง ดังรูปที่ 4.2 โดยใช้ออปแอมป์ LF 351 N ความต้านทาน 200 กิโลโอห์ม ในการป้อนกลับ และความต้านทานขาเข้า 2.2 กิโลโอห์ม ซึ่งค่าแรงดันของสัญญาณกระแสในตัวเหนี่ยวนำ สามารถปรับค่าได้โดยใช้ความต้านทานแบบปรับค่าได้ (P_2) 10 กิโลโอห์ม และสัญญาณนี้จะป้อนให้กับวงจรเปรียบเทียบกระแส



รูปที่ 4.1 โครงสร้างวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่ใช้ทางปฏิบัติ

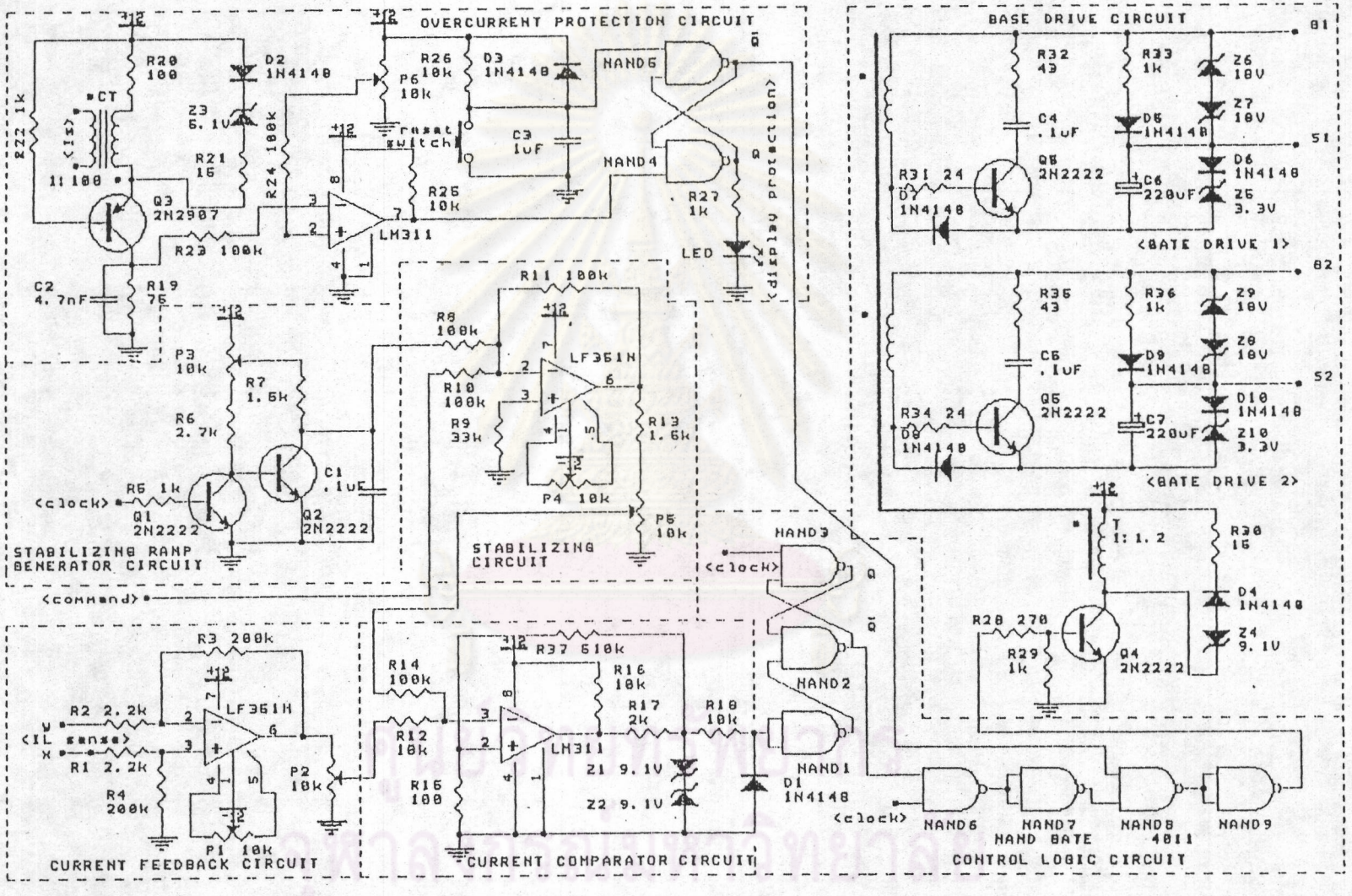
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.3 <u>วงจรเปรียบเทียบกระแส</u> ทำหน้าที่เปรียบเทียบค่าอ้างอิงกระแสในตัวเหนี่ยวนำกับกระแสในตัวเหนี่ยวนำที่วัดได้จากหัวข้อ 4.1.2.2 เพื่อไปควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ในรูปที่ 4.2 สัญญาณกระแสในตัวเหนี่ยวนำอ้างอิงมีค่าเป็นบวก และสัญญาณกระแสในตัวเหนี่ยวนำที่วัดได้มีค่าเป็นลบ จะป้อนเข้าขาลบของวงจรชมิตต์ทริกเกอร์ ส่วนขาบวกของชมิตต์ทริกเกอร์นั้นไม่มีสัญญาณป้อนให้ สัญญาณออกจากวงจรชมิตต์ทริกเกอร์จะเป็น 1 ถ้าผลต่างของขาบวก และขาลบมีค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของฮิสเตอริซิส เกิดเมื่อสัญญาณของกระแสในตัวเหนี่ยวนำที่วัดได้ มีค่ามากกว่าสัญญาณอ้างอิงของกระแสในตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งสัญญาณที่ออกจากวงจรเปรียบเทียบนี้จะป้อนให้กับวงจรตรรก

4.1.2.4 <u>วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยชดเชย</u> ทำหน้าที่สร้างสัญญาณฟันเลื่อยชดเชย เพื่อให้กระแสในตัวเหนี่ยวนำเข้าสู่ภาวะอยู่ตัวเร็วที่สุด โดยสัญญาณนี้สร้างโดยให้มีการประจุตัวเก็บประจุ C_1 0.1 ไมโครฟารัด ผ่านความต้านทาน R_7 1.5 กิโลโอห์ม สำหรับการรีเซตสัญญาณฟันเลื่อยนี้ โดยประจุใน C_1 จะคายประจุผ่านทรานซิสเตอร์ Q_2 เพื่อให้สัญญาณฟันเลื่อยเกิดขึ้นในเวลาเดียวกับการนำกระแสของสวิตช์กำลัง จึงใช้สัญญาณนาฬิกาจากภาคควบคุมรวม ในการควบคุมการสร้างสัญญาณฟันเลื่อยชดเชย ดังรูปที่ 4.2

4.1.2.5 <u>วงจรลบ และวงจรจำกัดกระแส</u> ทำหน้าที่นำสัญญาณคำสั่งกระแสที่ได้จากภาคควบคุมรวมลบด้วยสัญญาณฟันเลื่อยชดเชย โดยใช้วงจรลบแบบกลับเฟส ที่มีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง ใช้ออปแอมป์ LF 351 N โดยให้ความต้านทานป้อนกลับ และความต้านทานขาเข้ามีค่า 100 กิโลโอห์ม เท่ากัน แรงดันที่ออกจากวงจรลบนี้จะถูกจำกัดค่าด้วยความต้านทาน 1.6 กิโลโอห์ม ต่ออนุกรมกับความต้านทานปรับค่าได้ (P_5) 10 กิโลโอห์ม ซึ่งใช้เป็นวงจรจำกัดกระแส การจำกัดกระแสทำโดยการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ ซึ่งเป็นการจำกัดกระแสโดยการจำกัดแรงดันคำสั่งกระแสดังรูปที่ 4.2

4.1.2.6 <u>วงจรป้องกันกระแสเกิน</u> เนื่องจากการควบคุมในชุดวงจรเป็นการควบคุมกระแสในตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะจำกัดเพียงค่ากระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกำลัง ส่วนกระแสด้านปฐมภูมินั้น ซึ่งก็คือกระแสในสวิตช์กำลังอาจมีค่าเกินพิกัดของสวิตช์ได้ เมื่อมีการอิ่มตัวของหม้อแปลง หรือมีการลัดวงจรระหว่างรอบของหม้อแปลง ดังนั้นเพื่อป้องกันการเสียหายที่เกิดกับสวิตช์กำลัง จึงทำการป้องกันโดยการวัดกระแสสวิตช์ผ่านทางหม้อแปลงกระแส (CT) มีลักษณะวงจรดังรูปที่ 4.2 เมื่อสวิตช์กำลังนำกระแสผ่านทางหม้อแปลงกระแส ทรานซิสเตอร์ Q_3 จะทำงาน และมีกระแสไหลผ่านความต้านทาน R_{19} 75 โอห์ม แต่เมื่อสวิตช์กำลังหยุดนำกระแส ทรานซิสเตอร์ Q_3 จะหยุดทำงาน และกระแสทำแม่เหล็กในหม้อแปลงกระแสจะถูกรีเซตก่อนที่สวิตช์กำลังจะนำกระแสในคาบถัดไป อยู่ในรูปของกำลังสูญเสียในความต้านทาน R_{21} 15 โอห์ม กระแสสวิตช์ที่วัดได้ คือแรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_{19} หลังจากนั้นนำสัญญาณกระแสสวิตช์ที่วัดได้เปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง โดยใช้ความ



รูปที่ 4.2 วงจรควบคุมของชุดวงจร

ต้านทานปรับค่าได้ P_6 10 กิโลโอห์ม ในการปรับค่าแรงดันอ้างอิง เมื่อกระแสสวิตช์ที่วัดได้มีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิงแรงดันออกของวงจรเปรียบเทียบ จะเป็น 0 เพื่อเซตให้สัญญาณ Q ของ อาร์-เอส ฟลิป-ฟลอปประกอบ NAND 4 และ NAND 5 เป็น 0 ซึ่งจะทำให้วงจรขับนำเกตไม่มีสัญญาณไปขับนำสวิตช์กำลัง ส่วนสัญญาณออก Q ของ อาร์-เอส ฟลิป-ฟลอป จะเป็น 1 จะไปขับนำให้ไดโอด LED นำกระแสเพื่อแสดงให้ทราบ ภาวะที่สวิตช์กำลังมีค่ากระแสเกิน สัญญาณ Q นี้จะคงค่าที่ 0 ตลอดจนมีการรีเซตด้วยสวิตช์ วงจรขับนำเกตจึงจะมีสัญญาณไปขับนำสวิตช์กำลัง

4.2 ภาคควบคุมรวม

4.2.1 วงรตั้งค่า

ทำหน้าที่สร้างสัญญาณตั้งค่าแรงดันออก อยู่ในรูปของแรงดัน 5.8 โวลต์ โดยใช้ค่าความต้านทาน และซีเนอร์ไดโอด 5.7 โวลต์ ดังรูปที่ 4.3

4.2.2 วงจรจัดแจงสัญญาณป้อนกลับแรงดัน

ทำหน้าที่ลดขนาดแรงดันออกให้มีค่าลดลงประมาณ 5 เท่า โดยใช้ความต้านทานปรับค่าได้ (P_2) 10 กิโลโอห์ม ดังรูปที่ 4.3 แรงดันออกที่ถูกลดขนาดลงจะถูกใช้เป็นแรงดันที่แทนแรงดันออก เพื่อไปเปรียบเทียบกับแรงดันตั้งค่า

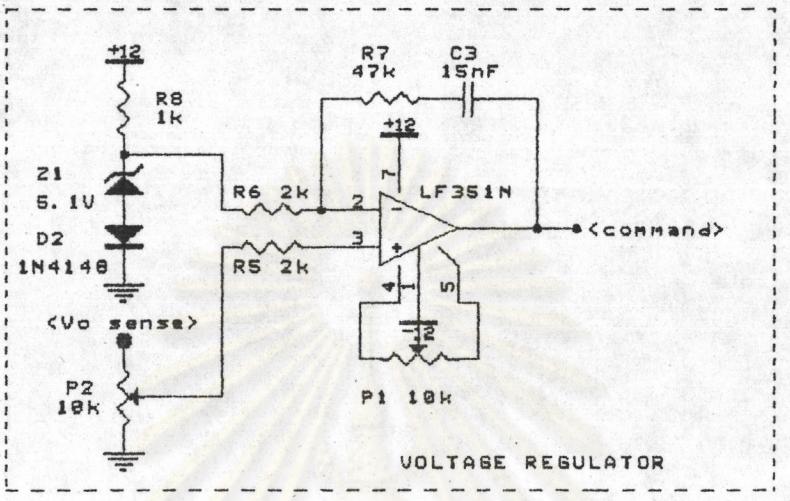
4.2.3 วงจรเปรียบเทียบ และคุมค่าแรงดัน

ทำหน้าที่คงค่าแรงดันออกให้เท่ากับค่าที่กำหนดโดยสัญญาณตั้งค่า การจัดแจงสัญญาณออกจากวงจรเปรียบเทียบ และคุมค่าแรงดันออก ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงของกระแสในตัวเหนี่ยวนำให้มีค่าที่เหมาะสม จะทำให้สัญญาณแรงดันออกจากวงจรจัดแจงสัญญาณป้อนกลับแรงดันมีค่าเท่ากับแรงดันค่าตั้งของวงจรตั้งค่า โดยที่สัญญาณทั้งสองนี้จะมีขั้วเหมือนกัน วงจรเปรียบเทียบ และคุมค่าแรงดันจะใช้ออปแอมป์ LF 351 N และการป้อนกลับจะเป็นแบบ PI โดยใช้ความต้านทาน (R_7) และตัวเก็บประจุ (C_1) ที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีในหัวข้อที่ 3.2.2 มีวงจรดังรูปที่ 4.3

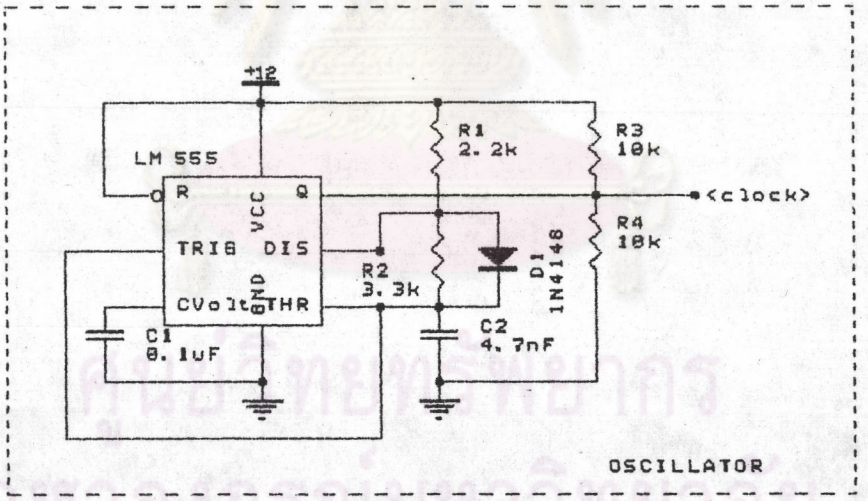
4.2.4 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

ทำหน้าที่สร้างสัญญาณนาฬิกาความถี่คงที่ เพื่อป้อนให้กับวงจรควบคุมของชุดวงจร โดยมีวัฏจักรสูงสุดเท่ากับ 0.45 ถูกกำหนดโดยค่าความต้านทาน R_1, R_2 และตัวเก็บประจุ C_2 ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งการสร้างสัญญาณนาฬิกาจะใช้วงจรประมวล LM 555 สัญญาณออกของ LM 555 จะอยู่ที่ขา 3 (Q) จะมีค่าเป็น 1 ขณะที่ตัวเก็บประจุ C_2 ถูกประจุจากแรงดัน 4 โวลต์ เป็น 8 โวลต์ โดยกระแสที่ไหลผ่านความต้านทาน R_1 และไดโอด D_1 เมื่อแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C2 มีค่าถึง 8 โวลต์ สัญญาณออกจะเปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 และคงค่าที่ 0 ตัวเก็บประจุ C_2 จะคายประจุผ่านความต้านทาน R_2 และสัญญาณออกจะเปลี่ยนจาก 0

เป็น 1 ใหม่ เมื่อแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_2 มีค่า 4 โวลต์



รูปที่ 4.3 วงจรเปรียบเทียบ และควบคุมแรงดัน



รูปที่ 4.4 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา