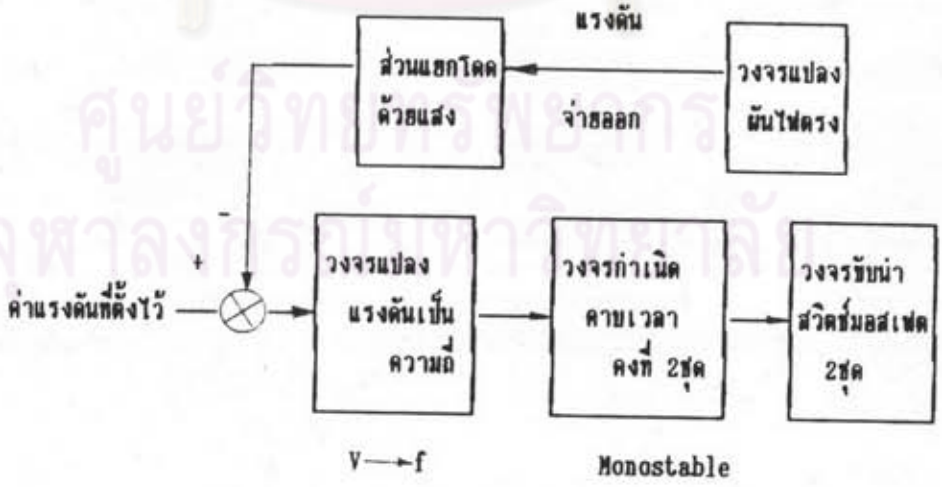
บทที่ 7

## ภาควงจรควบคุมของวงจรกึ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์กระแสศูนย์

จากหลักการของวงจรแปลงผันไฟตรงที่ใช้สวิตช์กระแสศูนย์เมื่อพิจารณาวิธีการควบคุม จะพบว่า ช่วงเวลาในการนำกระแสของสวิตช์มีค่าราว 1.33 $\mu$s ถึง 1.1 $\mu$s จากโหลดต่ำ ๆ ไปถึงโหลดสูงสุด อย่างไรก็ตามเราอาจประมาณให้ค่าสั่งแรงดัน เกต-ซอส มีคาบเวลาคงที่ โดยประมาณให้มีค่า 3/4 ของคาบเวลาเรโซแนนซ์ได้ การควบคุมให้มีการคงค่าแรงดันทางด้านออกของแหล่งจ่ายทำได้โดยการให้ความถี่ของการสวิตช์เปลี่ยนแปลง หรืออาจกล่าวได้ว่า การควบคุมแรงดันทางออกคงค่าไว้ได้โดย เวลาค่าสั่งแรงดันเกต-ซอส ให้นำกระแสคงที่ แปรเวลาแรงดันเกต-ซอส หยุดนำกระแส (Fix on time $V_{gs.on}$ vary off time $V_{gs.off}$)

### 7.1 วิธีควบคุมการคงค่าแรงดัน

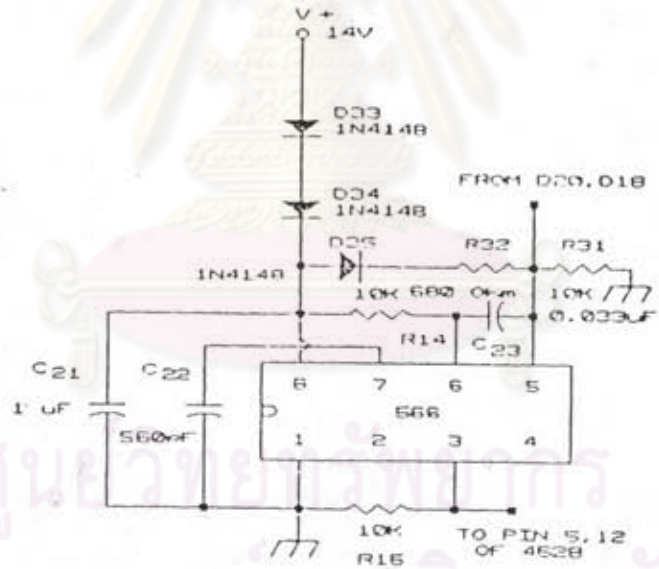



รูปที่ 7.1 แผนภาพเฉพาะส่วนการคงค่าแรงดัน

วิธีควบคุมการคงค่าแรงดันทำได้โดยการวัดแรงดันจ่ายออกผ่านส่วนแยกโคดด้วยแสงและป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันที่ตั้งไว้แรงดันต่างกันนี้จะถูกส่งไปควบคุม วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ ความถี่ที่ได้จะถูกส่งไปวงจรกำเนิดคาบเวลาคงที่ (Monostable) แรงดันที่ได้จากวงจรกำเนิดคาบเวลาคงที่ จะถูกส่งไปวงจรขับน่าสวิตช์มอสเฟต การออกแบบจะพิจารณาเป็นส่วน ๆ ดังนี้

## 7.2 วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ [12]

วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ ในส่วนวงจรนี้จะเลือกใช้ไอซีเบอร์ LM 566 ดังในรูปที่ 7.2




รูปที่ 7.2 วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่

จากคู่มือไอซีเบอร์ LM 566

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$fo = 2(V_o - V_5)/ R_1 C_1 V_o \qquad (7.1)$$

ที่ความถี่ 286 kHz ($R_1$) คือ $R_{14}$ ,($C_1$) คือ $C_{22}$

แรงดันขาเข้า (ขา 5) ควรมีค่าอยู่ในช่วง (3/4) $V_o$ ถึง $V_{cc}$

แรงดันขา 8 มีค่า V+ หักด้วยแรงดันตกคร่อมไดโอดสองตัว แรงดันขา 8 จะมีค่า

$$V_o = 14-(0.7)2$$

$$= 12.6 \quad V$$

แทนค่า (7.1) $286 \times 10^3 = \dfrac{2(12.6 - V_5)}{2 \times 10^3 \times 470 \times 10^{-12} \times 12.6}$

$$V_5 = 12.6 - (286 \times 10^3 \times 2 \times 10^3 \times 470 \times 10^{-12} \times 12.6)/2$$

$$= 12.6 - 1.694 \quad V$$

$$= 11 \quad V$$

ที่ความถี่ 100 kHz $V_5$ จะมีค่า

$$V_5 = 12.6 - (100 \times 10^3 \times 2 \times 10^3 \times 470 \times 10^{-12} \times 12.6)/2$$

$$= 12 \quad V$$

แรงดันควบคุมที่ขา $V_5$ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 11 V - 12 V ความถี่จะเปลี่ยนจาก 286 kHz ซึ่งจะทำให้สวิตช์กำลังทำงานพร้อมกันได้จึงต้องควบคุมให้มีแรงดันตกคร่อม ขา 8 กับ ขา 5 อยู่ในช่วง

$$V_6 - V_5 = 12.6 - 11 \quad V$$

$$= 1.6 \quad V$$

จากรูปที่ 7.2 $R_{32}$ และ $R_{31}$ เป็นวงจรแบ่งแรงดัน แรงดันตกคร่อม $R_{31}$ กับกราวด์จะมีค่า

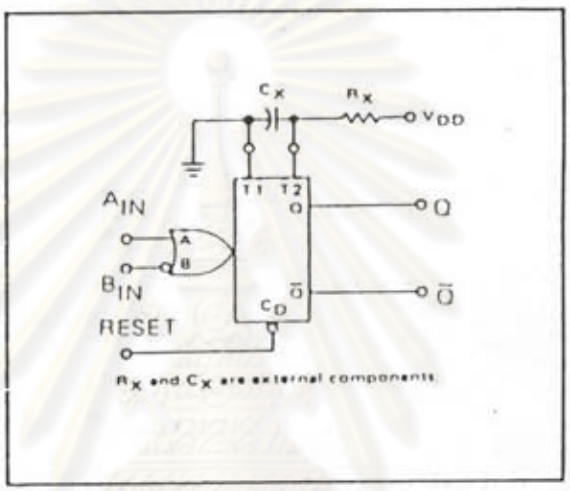
$$V_5 = (V_6 - V_{D26}) \times R_{31} / (R_{31} + R_{32})$$

$$= (12.6 - 0.7) \times 10k / (10k + 680)$$

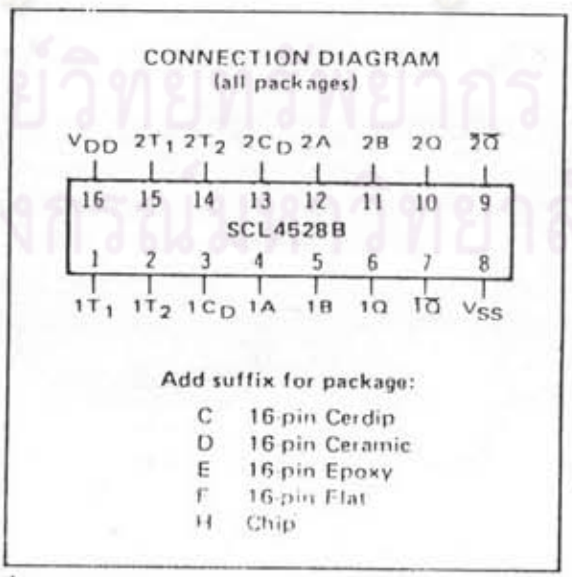
$$= 11.14 \quad V$$

## 7.3 วงจรกำเนิดคาบเวลาคงที่ 2 ชุด [13]

วงจรในส่วนนี้จะเลือกใช้ไอซี CMOS เบอร์ 4528 ภายในจะประกอบด้วยวงจรกำเนิดคาบเวลาคงที่ 2 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 7.3 และ 7.4 ตามลำดับ




รูปที่ 7.3 แสดงแผนภาพวงจรกำเนิดคาบเวลาคงที่ชุดเดียว



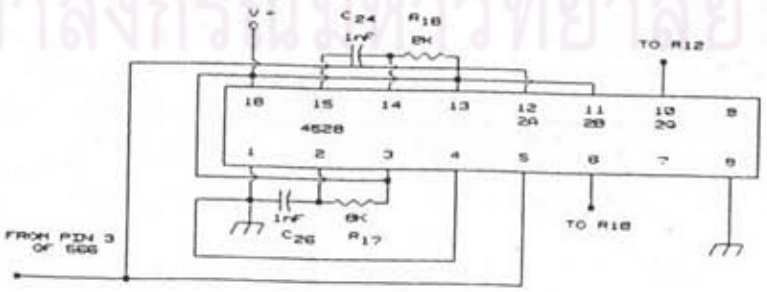

รูปที่ 7.4 แสดงการต่อขาภายนอกของไอซี 4528

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| $C_D$ | A | B | Q | $\bar{Q}$ |
| L | X | X | L | H |
| X | H | X | L | H |
| X | X | L | L | H |
| H | ↑ | H | ⎍ | ⎌ |
| H | L | ↓ | ⎍ | ⎌ |

H = High Level (Steady State)
L = Low Level (Steady State)
↑ = Transition, Low-to-High
↓ = Transition, High-to-Low
X = Irrelevant (Inc. Transitions)
⎍ = One High-Level Pulse
⎌ = One Low-Level Pulse

ตารางที่ 7.1 แสดงสภาวะด้านออกของไอซี 4528 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะด้านเข้า

จากตารางที่ 7.1 เราจะเลือกให้สภาวะชุดก่าเนิดคาบเวลาคงที่ชุดที่ 1 มีการเปลี่ยนสภาวะเมื่อสัญญาณนาฬิกา (clock pulse) เปลี่ยนสถานะจากศักย์ไฟฟ้าต่ำไปศักย์ไฟฟ้าสูง (transition low - to - high) และให้ชุดที่ 2 มีการเปลี่ยนสภาวะเมื่อสัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนสถานะจากศักย์ไฟฟ้าสูงไปศักย์ไฟฟ้าต่ำ (transition high - to - low) ทำให้ได้สัญญาณควบคุมวงจรขับน่าสวิตช์มอสเฟต 2 ชุดที่มีเฟสต่างกัน 180 องศาทางไฟฟ้า และมีคาบเวลาคงที่ดังแสดงการต่อวงจรดังในรูปที่ 7.5

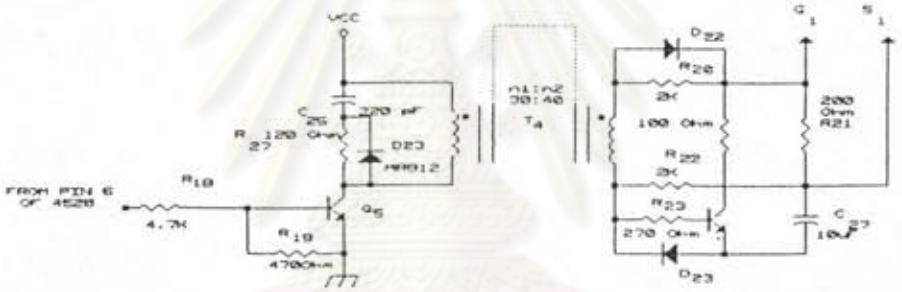



รูปที่ 7.5 แสดงการต่อวงจรภายนอกของไอซี 4528

รูปที่ 7.5 จะต่อความต้านทานและตัวเก็บประจุโดยใช้กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เทียบกับ $R_x$, $C_x$, $V_{DD}$ โดยที่ $R_x$ ต้องมีค่ามากกว่า 1k ohms เลือก $R_x$ = 8k ohms จะได้ CX = 100 pF ซึ่งทำให้มีคาบเวลาคงที่ $1 \times 10^{-6}$ s

## 7.4 วงจรขับน่าสวิตช์มอสเฟต

วงจรในส่วนนี้จะต้องออกแบบให้มีการแยกโดดทางไฟฟ้าระหว่างสวิตช์กับวงจรขับโดยใช้หม้อแปลง ซึ่งข้อดีของหม้อแปลงคือ ใช้ไฟเลี้ยงในวงจรชุดเดียวกันกับวงจรควบคุมส่วนอื่น ๆ ได้ และมีการประวิงเวลาต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 7.6

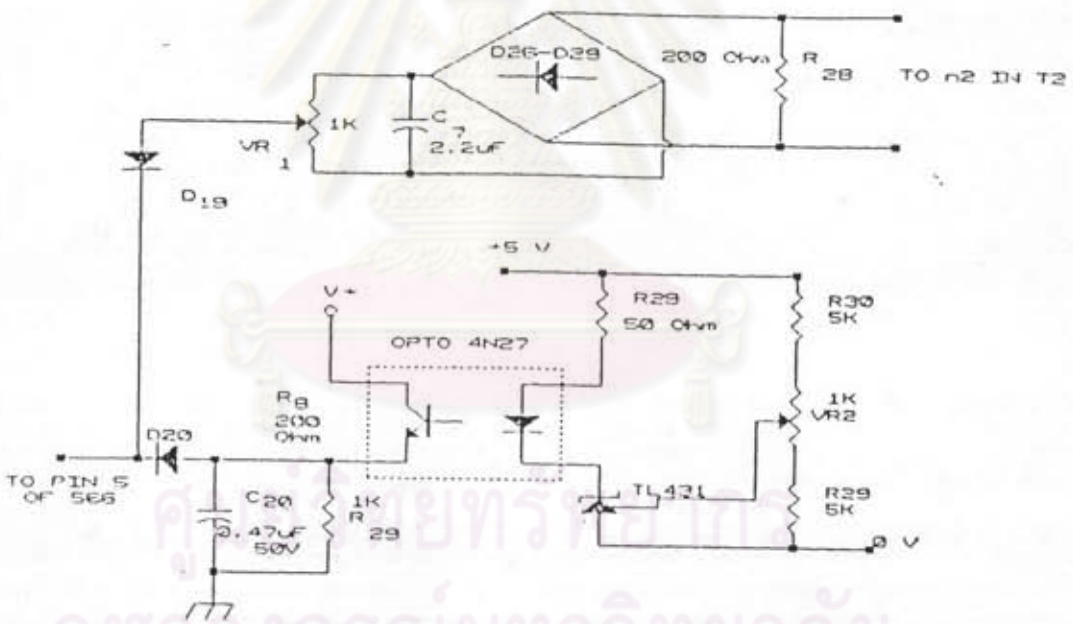



รูปที่ 7.6 วงจรขับน่าสวิตช์มอสเฟต

จากรูปที่ 7.6 แสดงวงจรขับน่าสวิตช์มอสเฟตโดยมีแรงดันจากวงจรกำเนิดคาบเวลาคงที่มาสั่งให้ $Q_5$ ทำงานโดยมี $R_{19}$, $R_{18}$ เป็นชุดแบ่งแรงดัน ค่าของ $R_{18}$ ต้องมีค่าตามพิกัดที่เพียงพอแก่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ส่วน $R_{19}$ ต้องเลือกให้มีกระแสแยกไหลเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์เพียงพอ และช่วยให้ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแสเร็วถ้าค่า $R_{19}$ มีค่าไม่ใหญ่เกินไป $C_{25}$, $R_{17}$ และ $D_{23}$ คือชุดสนับเบอร์ (snubber) ให้กับทรานซิสเตอร์ $Q_5$ เพื่อลดการสูญเสียในช่วงสวิตช์ลง หม้อแปลงใช้แกน E-I 16 พันด้วยลวดเบอร์ 27 SWG ทั้งขดปฐมภูมิและทุติยภูมิโดยมีจำนวนรอบ 30 รอบ และ 40 รอบ ตามลำดับ การเลือกองค์ประกอบวงจรในส่วนด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงจะเลือกค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยทำความเข้าใจ

กลไกการทำงานคือในช่วง $Q_6$ นำกระแสทางด้านปฐมภูมิ ทางด้านทุติยภูมิจะเกิดศักย์ไฟฟ้าทำให้ $D_{22}$ นำกระแสผ่าน $R_{21}$ ผ่าน $R_{22}$ ครบวงจร วงรอบที่ 1 และจะมีกระแสประจุให้ตัวเก็บประจุ $C_{27}$ รับการประจุผ่านไดโอด $D_{23}$ แรงดันตกคร่อม $R_{23}$ จะไปสั่ง $G_3 - S_3$ ให้สวิตช์มอสเฟตนำกระแสและเมื่อ $Q_6$ หยุดนำกระแสทางด้านทุติยภูมิ จะมีกระแสทำแม่เหล็กไหลผ่าน $R_{22}$, $R_{21}$, $R_{20}$ ครบวงจรวงรอบที่ 1 ประจุที่ตัวเก็บประจุ $C_{27}$ จะคายประจุผ่าน $R_{22}$, $R_{23}$ ผ่านเบสของ $Q_7$ ทำให้ $Q_7$ นำกระแสดึงประจุจาก $G_3 - S_3$ ผ่าน $R_{33}$ และ $C_{27}$ ทำให้ $G_3 - S_3$ มีไฟลบมาป้อนในช่วงสั่งหยุดองค์ประกอบต่าง ๆ ในวงจรส่วนนี้ทั้งหมดได้จากการทดลอง

## 7.5 วงจรควบคุมการคงค่าแรงดันและวงจรป้องกันกระแสเกิน




รูปที่ 7.7 วงจรควบคุมการคงค่าแรงดันและวงจรป้องกันกระแสเกิน

วงจรคงค่าแรงดันจะใช้ TL431 ซึ่งเป็นตัวอ้างอิงที่มีความละเอียดและตั้งค่าได้ [14] มีความต้านทานผลวัตด้านออกต่ำ(low dynamic output impedance) ประมาณ 0.22 ohms วงจรในส่วนนี้ตัวอ้างอิง TL 431 จะมีระดับแรงดันอ้างอิง 2.5 V เมื่อมีแรงดันเข้าที่ขาควบคุมถึงระดับ 2.5 V ความต้านทานผลวัตของขาอาโนด และคาโทด ของ TL 431 จะต่ำมาก

ประมาณ 0.22 ohms LED ของ OPTO (4N27) จะนำกระแสทำให้ทรานซิสเตอร์ใน OPTO นำกระแส $R_{20}$ จะมีแรงดันตกคร่อม $C_{20}$ จะมีไว้เพื่อลดการรบกวน จะเลือกใช้ค่า 0.47 $\mu$F ถ้าใช้ค่ามากกว่านี้วงจรควบคุมการคงค่าจะมีการตอบสนองช้า

วงจรป้องกันกระแสเกินจะถูกออกแบบให้มีแรงดันตกคร่อม $C_7$ มีค่าแรงดันตั้งต้นที่ $R_{20}$ ประมาณ 15 V หม้อแปลง $T_2$ จะแปลงกระแสลง 100 เท่า แรงดันตกคร่อม $R_{20}$ จะมีค่า

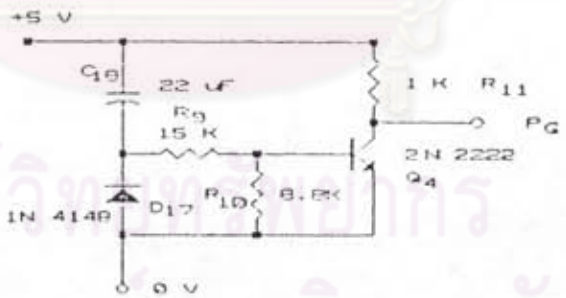
$V_{R20}$ = ($I_{T2\ sprim}$ / 100 ) x $R_{20}$

$R_{20}$ = 15/(2.5 / 100) ohms

= 600 ohms

$D_{19}$, $D_{20}$ จะทำหน้าที่ผสมระดับแรงดันควบคุมจากวงจรทั้งสองส่วน ถ้า $D_{19}$ นำกระแส $D_{20}$ จะหยุดนำกระแส แรงดันทางออกของวงจรแปลงผันจะมีระดับแรงดันลดลง เป็นการจำกัดกระแส เพื่อป้องกันอันตรายกับวงจรกำลัง

7.6 <u>แหล่งจ่าย PG</u>




รูปที่ 7.8 วงจรแหล่งจ่าย PG

ในช่วงการทำงานเริ่มแรกของแหล่งจ่ายกำลังเพื่อให้ระดับแรงดันด้านออกมีค่าถูกต้อง จึงต้องมีการหน่วงเวลาแหล่งจ่าย PG (power good) ออกไป มีค่าประมาณ

$T_{delay}$ = $R_9$ x $C_{19}$

$= 15 \times 10^{3} \times 22 \times 10^{-6}$ s

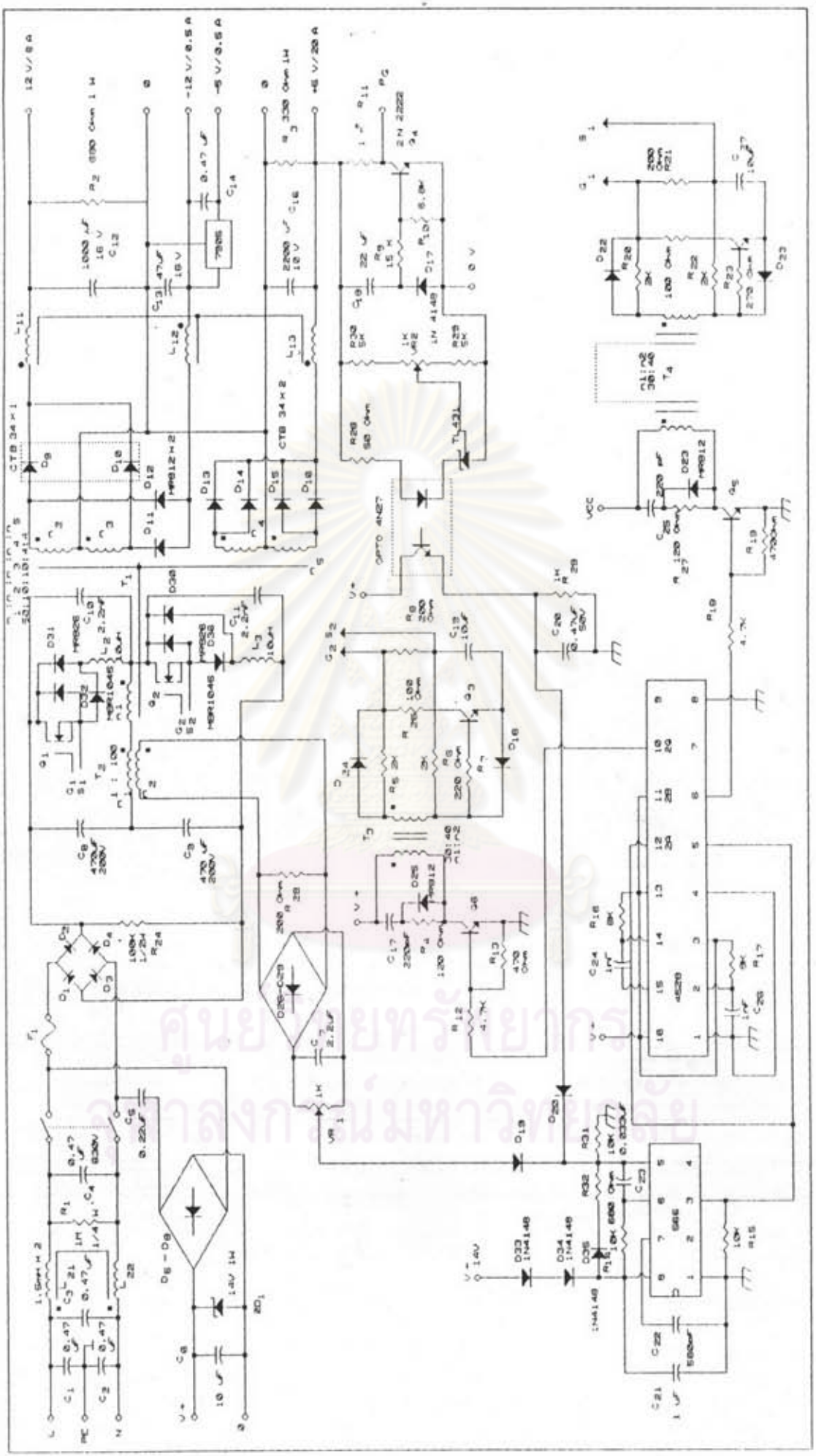
$= 330$ ms

$R_{11}$ ที่ต่อไว้เพื่อให้แรงดัน PG เป็นศูนย์ในช่วง $C_{10}$ ยังมีการประจุและจ่ากัดกระแสจ่าออก PG ไม่เกิน 5 มิลลิแอมป์ $D_{17}$ ต่อไว้คายประจุ $C_{10}$ ในช่วงปิดสวิตช์ผ่าน $R_3$ ที่ต่อคร่อมแหล่งจ่าย 5 V

## 7.7 วงจรสมบูรณ์

วงจรสมบูรณ์ ของวงจรกึ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์กระแสศูนย์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 7.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.9 วงจรกำเนิดจักรไฟฟ้าชนิดดิจิตอลแสดงผล