

THE LIBRARY
COLLEGE OF EDUCATION
BANGKOK, THAILAND

การออกแบบและสร้าง เครื่องสร้างสัญญาณแอมป์เวลาเชิงเส้นตรง

สำหรับเครื่องบันทึกสัญญาณเอกซ-เรย์/ที

ปริญญาโท

ของ

มณฑล แก้วราตรี

เสนอต่อวิทยาลัยวิชาการศึกษา
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะศึกษาศาสตร์
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

๒ มิถุนายน ๒๕๑๗

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตได้พิจารณาปริญญาโทฉบับนี้แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
ของวิทยาลัยวิชาการศึกษาได้

.....
.....

ประธานกรรมการ
กรรมการ

ประกาศคุณประการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ เพราะผู้เขียนได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จากอาจารย์วิรุทธิ์ มังคละวิรัช และอาจารย์สุรีย์ แซ่ง โสภาค อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้เขียนขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ วาจารย์วิรุทธิ์ มังคละวิรัช หัวหน้ากองอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คุณธนะ นีवलอง คุณสมคิด วุฒิวณิช และเจ้าหน้าที่ของกองอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในการศึกษาทดลองและการใช้เครื่องมือต่างๆ ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

มณูญ แก้วราตรี

สารบัญ

บทที่

หน้า

1	บทนำ	1
	คำนำ	1
	ความมุ่งหมายในการศึกษาเรื่องนี้	3
	ความสำคัญของการศึกษานี้	3
	ขอบเขตของการศึกษานี้	4
	คำนิยามศัพท์เฉพาะ	4
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา	5
2	การพัฒนาและออกแบบวงจร	7
	เกณฑ์ของการพัฒนา	7
	หลักเบื้องต้นของวงจรสร้างสัญญาณแทนเวลา	๘
	ส่วนประกอบสำคัญของวงจรสร้างสัญญาณแทนเวลา	10
	วงจรอินทิเกรเตอร์และวงจรให้ศักดาไฟฟ้าเชิง	13
	วงจรคอมพาราเตอร์	15
	วงจรฟลิป-ฟลอป	17
	วงจรตัวจับ	20
	วงจรภาคจ่ายกำลังไฟ	21

3	การสร้างเครื่องสร้างสัญญาณแทนเวลาเชิงเส้นตรง	24
	ลักษณะของเครื่องสร้างสัญญาณแทนเวลาเชิงเส้นตรง	24
	เรือนเครื่อง	24
	สวิตช์และปุ่มปรับ	24
	วงจรและชิ้นส่วน	27
	แผนวงจรพิมพ์	33
	การทดสอบการทำงานของเครื่องสร้างสัญญาณแทนเวลาเชิง เส้นตรง	36
	การปรับแก้เครื่องสร้างสัญญาณแทนเวลาเชิงเส้นตรง	40
4	บทสรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	41
	บทสรุป	41
	การอภิปรายผล	42
	ข้อเสนอแนะ	43
บรรณาการ	<u>44</u>
ภาคผนวก	47
	ภาคผนวก ก	48
	ภาคผนวก ข	51
	ภาคผนวก ค	54
	ภาคผนวก ง	57

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงการเลือกค่า V_i และ C สำหรับอัตราเร็วการกวาด แต่ละขนาด	14
2	Asynchronous Truth Table ของวงจรไมโคร MC848P	18

บัญชีรูปประกอบ

รูป	หน้า	
2.1	แผนผังวงจรอย่างง่ายของวงจรสร้างสัญญาณแทนเวลา	8
2.2	วงจรอินทิเกรเตอร์อย่างง่าย	9
2.3	แผนผังวงจรของวงจรภาคสร้างสัญญาณแทนเวลา	10
2.4	สัญญาณไฟฟ้าของวงจรต่างๆ ในแผนผังวงจร	12
2.5	วงจรอินทิเกรเตอร์และวงจรให้โอกาสไฟฟ้าเข้า	13
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าเข้าและศักดาไฟฟ้าออก ของวงจรคอมพาราเตอร์	16
2.7	วงจรคอมพาราเตอร์	17
2.8	วงจรฟลิป-ฟลอปและวงจรควบคุม	18
2.9	วงจรตัวจับ	20
2.10	แผนผังวงจรภาคจ่ายกำลังไฟ	21
2.11	การนำวงจรไมโคร $\mu A723$ เป็นวงจรเร็กกูเลเตอร์	22
3.1	ลักษณะเรือนเครื่องของเครื่องสร้างสัญญาณแทนเวลาเชิงเส้นตรง ..	25
3.2	ลักษณะการติดตั้งแผนวงจรและอุปกรณ์ต่างๆบนแผงหน้า	25
3.3	แสดงสวิตช์และปุ่มปรับต่างๆบนแผงหน้า	26
3.4	วงจรภาคสร้างสัญญาณแทนเวลา	26
3.5	วงจรภาคจ่ายกำลังไฟ	29
3.6	แผนวงจรพิมพ์ทางด้านของวงจรภาคสร้างสัญญาณแทนเวลา	34

รูป	หน้า
3.7	
แผนผังจรพิมพ์คานบนและการวางชิ้นส่วน	
ของวงจรภาคสร้างสัญญาณแทนเวลา	34
3.6	
แผนผังจรพิมพ์ค่ากลางของวงจรภาคจ่ายกำลังไฟ	35
3.9	
แผนผังจรพิมพ์คานบนและการวางชิ้นส่วน	
ของวงจรภาคจ่ายกำลังไฟ	35
3.10	
(ก) ผลการทดสอบความแม่นยำและลิเนียร์ตี ของสัญญาณแรมพ์	
ที่มีอัตราเร็วการกวาด 2.5, 1, 0.5 และ 0.25 s/cm ..	36
(ข) ผลการทดสอบความแม่นยำและลิเนียร์ตี ของสัญญาณแรมพ์	
ที่มีอัตราเร็วการกวาด 25, 10 และ 5 s/cm	39

1-1.) คำนำ

ในงานศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์หรืองานเทคนิคต่างๆ การบันทึกเพื่อเก็บข้อมูลด้วยกราฟ นับว่าเป็นวิธีที่สามารถศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลได้ที่ดีที่สุด (Wedlock, 1969 : 22) แต่การสร้างเส้นกราฟให้ถูกต้องนั้นกระทำโดยยาก เครื่องบันทึกสัญญาณเอกซ์-วาย (X - Y Recorder) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับบันทึกสัญญาณต่างๆลงเป็นเส้นกราฟ จะช่วยให้งานบันทึกข้อมูลด้วยกราฟ กระทำได้ง่าย รวดเร็ว และถูกต้องยิ่งขึ้น เครื่องมือนี้จึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์

โดยทั่วไปเครื่องบันทึกสัญญาณเอกซ์-วายธรรมดา มักจะไม่มียุทธกรรมเวลา (Time Base Circuit) สำหรับบันทึกกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นฟังก์ชัน (Function) ของเวลา ในกรณีนี้ถ้าต้องการให้เครื่องบันทึกสัญญาณเอกซ์-วายมีความสามารถที่จะบันทึกสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของเวลาได้ จะต้องใช้เครื่องสร้างสัญญาณแกนเวลาเชิงเส้นตรง (Linear Time Base Generator) ที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เหมาะสมเข้ากับเครื่องบันทึกสัญญาณเอกซ์-วายดังกล่าว สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องสร้างสัญญาณแกนเวลาเชิงเส้นตรงนี้ จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นแปรโดยตรงกับเวลา เครื่องบันทึกสัญญาณเอกซ์-วายที่มีแกนเวลาที่กล่าวถึงนี้ มักเรียกว่า เครื่องบันทึกสัญญาณเอกซ์-วาย/ที (X - Y/T Recorder) เครื่องบันทึกสัญญาณเอกซ์-วาย/ที จะสามารถทำงานบันทึกสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของเวลาได้อย่างแม่นยำ (Accuracy) และเชื่อถือได้ (Reliability) ก็แก่ไหน ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าออกจากเครื่องสร้างสัญญาณแกนเวลาเชิงเส้นตรงดังกล่าว

การสร้างสัญญาณไฟฟ้าออกที่อัตราการเพิ่มแปรผันตรงกัมเวลา หรือที่เรียกกันว่า สัญญาณรอมป์ (Ramp Waveform) นั้น โดยทั่วไปก็อาศัยคุณสมบัติการสะสมประจุไฟฟ้า (Charge) ในตัวเก็บประจุ (Capacitor) ตามตัวเวลา ค่าความเหนี่ยวนำหนึ่งวงจรเวลาของการสะสมประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุนั้น จะอยู่ในรูป เอกซ์โปเนนเชียลฟังก์ชัน (Exponential function) ของเวลา ทำให้ขอบเขตของดีไลเนริตี้ (Linearity) จำกัดไปเฉพาะที่ระนาบเวลาในวงจรแบบเวลาของ เครื่องมือ ที่เกิดสัญญาณเอกซ์-วาย/ที ที่ต้องการ วงจรอัตราการกวาด (Sweep Speed Range) ยาวและหลายขนาด การที่จะเริ่มภา ๕ และ ๖ เมื่อขยายวงจรงอัตราการกวาดขึ้นเห็น จะทำให้ เกิด โหลดกึ่งเอฟเฟกต์ และ ล็อกเจกต์เรท (Loading Effect and Leakage Current) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพ และความแม่นยำของ เครื่องมือที่ผลิตจากหลอด (Postky, 1935 212) นอกอย่างไรก็ตาม จากความก้าวหน้าทางอิเล็กทรอนิกส์ และเทคนิค ในวิชาอิเล็กทรอนิกส์มีจจุบัน ทำให้สามารถที่จะสร้างวงจรแบบเวลา ที่มีดีไลเนริตี้สูง แม้จะขยายวงจรงการกวาดไปมากก็ตาม

ความก้าวหน้าทางวงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาวงจรแบบเวลา ที่มีดีไลเนริตี้สูง นั้น เป็นผลมาจากการพัฒนาวงจรร่วมกันไมโคร เครื่องขนาดกลางวงจรรวม (Analog Computer) แบบ ความเร็วในการประคิณ อดแอมป์ (Op Amp - Operational Amplifier) และ วงจรตรรก (Logic Circuit) ในรูปของวงจรมิโคร (Micro Circuit) นี้ได้แก่ วงจรสร้างสัญญาณรอมป์ที่นิยมใช้ในวงจรกวาด (Sweep Circuit) ต่างๆ ในวงจรสามารถรับกวาดอัตราตามแนวราบของ เครื่องออสซิลโลสโคป โคม่า วงจรอินทิเกรตอิมพีเทรเตอร์ (Miller Integrator) ซึ่งอาศัยการสะสมประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุที่ต่อเป็นแบบ ตัวป้อนกลับทางลบ (Negative Feedback) ในวงจรของออปแอมป์

ก่อนที่จะมีการประคิณ วงจรมิโครได้ อดแอมป์ที่ใช้น้อย มีขนาดเล็ก ราคาย่อมเยา และประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในวงจรของเครื่อง

สร้างสัญญาณแอมพลิจูดหรือความถี่เฉพาะที่ออกไป ไม่ใช้จูนนิ่ง อวเพอเดีย ที่เริ่มวงจร ไมโคร มีขนาดเล็ก ราคาถูก ประสิทธิภาพสูง และพยายามลดราคาของสินค้าอากาศให้ถึงแก่การนำเอา อวเพอเดีย ที่ไม่วงจรไมโคร มาใช้ให้วงจรของเครื่องสร้างสัญญาณ แอมพลิจูด จะทำให้ขนาดและราคาของเครื่องมีลดลง โดยที่ประสิทธิภาพ และความ ทนทานสูงนี้

จากท้าว เส้ากัฏและเหตุผลต่างๆที่โลกดวบางท้าว ถ้าให้วิทยุมีความถี่สูงจะ ทำการรบกวน เพื่อขังนางจรสร้างสัญญาณแอมพลิจูด โดยการกอดแบบและสร้างเครื่อง สร้างสัญญาณแอมพลิจูดเชิงเส้นตรง สำหรับเครื่องบันทึกสัญญาณเอ็กซ์-เรย์/ที ขึ้น

1-2) ความแม่นยำในการศึกษา

เพื่อทำการพัฒนาวงจรสร้างสัญญาณแอมพลิจูด ที่ทำการสร้างสัญญาณไฟฟ้าที่ อัตราการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าเป็นเรขาคณิตตรงกับเวลา โดยให้มีความเร็วการกวาด เป็น 0.25, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10.0, และ 25.0 s/cm มีความแม่นยำ $\pm 2\%$ (เก็บค.เกล) และลิเียริตี้ 0.5% (เก็บค.เกล)

1-3) ความสำคัญของการศึกษา

1. การเข้าใจเร็วของการมีขบวนการเครื่องสร้างสัญญาณแอมพลิจูดเชิงเส้นตรง จะรวมเป็นความเข้าใจในการบันทึกสัญญาณของ เครื่องบันทึกสัญญาณเอ็กซ์-เรย์ธรรมดา ให้สามารถบันทึกสัญญาณที่เริ่มถึงค.ของ เวลาได้
2. เทคนิค วิธีการ และประเภทการที่ได้นั้น อาจนำไปใช้เพื่อการศึกษาวงจร อินทิเกรเตอร์ ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลสัญญาณของเครื่องอวาลอกลอยโฟลวเดอร์
3. ความรู้ต่างๆที่ได้นั้น จะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนวิชา ไฟฟ้าและ วิชาอิเล็กทรอนิกส์ ในระดับป.ทศ.สูงและปริญญาตรีได้

1-4) ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

1. การศึกษาค้นคว้านี้ มุ่งจะใช้ชิ้นส่วนของสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ จำพวกสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) และวงจรมอเตอร์ เป็นสำคัญ
2. การศึกษาค้นคว้านี้ จะทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎีและการทำงานของวงจรมอเตอร์ และออฟแอมป์ เป็นสำคัญ
3. เครื่องสร้างสัญญาณแกนเวลาเชิงเส้นตรงที่สร้างขึ้น มุ่งให้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เหมาะสมกับเครื่องมือวัดสัญญาณเอกซ์ - รAY/ที่ Model 700 Series ของ MFL

1-5) คำนิยามที่เฉพาะ

การออกแบบ หมายถึง การศึกษาค้นคว้าเพื่อกำหนดลักษณะของวงจรไฟฟ้าและส่วนประกอบ

การสร้าง หมายถึง การนำเอาผลที่ได้จากการออกแบบ มาประกอบเป็นชุดเครื่องมือ โดยที่ชุดเครื่องมือนี้สามารถทำงานตามเกณฑ์ที่วางไว้ได้

เครื่องสร้างสัญญาณแกนเวลาเชิงเส้นตรง หมายถึง ชุดเครื่องมือสร้างสัญญาณแกนเวลาที่มีลักษณะของสัญญาณในรูปของศักดาไฟฟ้าออก (Output Voltage) แปรผันโดยตรง กับเวลา ที่สร้างขึ้น

การพัฒนาวงจร หมายถึง ขบวนการศึกษาและปฏิบัติการ ในอันที่จะปรับปรุงเปลี่ยนแปลงวงจรไฟฟ้าที่อาจถึง ให้มีความสามารถในการทำงานได้ตามเกณฑ์ที่วางไว้

1-6) เทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการถ่วง

มิลแมน และทัม(Hillman & Taus, 1966 : 516) ได้กล่าวถึงวิธีการสร้าง วงจรแทนเวลาที่มีศักดาไฟฟ้าออกอยู่ในรูปของศักดาแรมป์ (Ramp Voltage) ว่าอาจกระทำได้โดยวิธีต่างๆ ดังนี้

1. วิธีการสะสมประจุเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Charging)
คือวิธีในวงจร อาร์-ซี ฟิลเตอร์ (R-C Filter) เมื่อให้ศักดาไฟฟ้าเข้า (Input voltage) คงที่ ศักดาไฟฟ้าออก V_0 กรอมคาปาซิเตอร์ C จะอยู่ในรูปเอกซ์โพเนนเชียล ฟังก์ชันของเวลา t ตามสมการ

$$V_0 = V_1(1 - e^{-t/RC})$$

ถ้าให้ $t \ll RC$ ศักดาไฟฟ้าออก V_0 กรอม C จะเป็นศักดา แรมป์ ตามสมการ

$$V_0 = -\frac{V_1 t}{RC}$$

2. วิธีการสะสมประจุโดยให้กระแสคงที่ (Constant Current Charging)
คือ วิธีใช้ แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current Source) สำหรับสะสม ประจุแก่คาปาซิเตอร์ ทำให้ศักดาไฟฟ้ากรอมคาปาซิเตอร์เพิ่มอย่างลิเนียร์ (Linear)

3. วิธีในวงจรกวาดของมิลเลอร์ (Miller Sweep) คือ วิธีใช้ตัวกาปาซิเตอร์ถ่วงเป็นตัวย้อนกลับทางลบ (Negative Feedback) ในวงจรของเครื่องขยาย (Amplifier) ที่มีอัตราขยาย (Gain) สูง เมื่อให้ศักดาไฟฟ้าเข้าคงที่ ศักดาไฟฟ้าออก จะเป็นศักดาแรมป์

มิลแมน และฮาลเกียส(Hillman & Halkias, 1972 : 545) ได้กล่าวถึง วงจรอินทิเกรเตอร์ ในเครื่องเวลาตลอดวงจร ไว้ว ถ้าให้ศักดาไฟฟ้าเข้าแก่ วงจรอินทิเกรเตอร์ เป็นศักดาคงที่ ศักดาไฟฟ้าออกของวงจรจะเป็นศักดาแรมป์ที่ลิเนียร์ที่

รอสกี (Rostky, 1968 - 212) ได้เสนอวิธีสร้างกัทคาแรมป์ สำหรับวงจร
แถบเวลาที่ได้ทราบเร็วการกวาดค่า โดยใช้อุปกรณ์ถึงตัวนำ ขอสเกต (MOSFET)
ช่วยในการจ่ายกระแสไฟกำลัง ทำให้ได้กัทคาแรมป์ที่มีลิเนียร์ที่สูง

ชาร์มา (Sharma, 1972 - 420) ได้ใช้ทรานซิสเตอร์แบบเบสรวม (Common
Base Configuration Transistor) เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟกำลังที่ สำหรับไม่
ประสบปัญหาไฟฟ้าในคาทอเดอ์ที่อยู่ในวงจรคอลเลกเตอร์ (collector) ทำให้กัทคา
ไฟกำลังรอกาตามาเทอ์เป็นอยางลิเนียร์กับเวลา อยางไรก็ตามวิธีนี้ไม่ได้ดีในวงจร
กวาด (Sweep Range) ที่ๆ ในเครื่องออกชนิดไดโอด

สวานนี (Swamy, 1973 - 46) ได้เสนอวิธีการแกไขสัญญาณรูปฟันเลื่อย (Saw-
tooth Waveform) ที่มีลักษณะของเอกซโพเนนเชียลกับของเวลา โดยการใ้
วงจร ลอการิทึม (Logarithm) เข้าไปแกไข เป็นการแปลงเอกซโพเนนเชียลกับ
ให้เป็น ลิเนียร์กับ (Linear Function) ซึ่งจะได้ออกเป็นกัทคาแรมป์ที่
มีลิเนียร์ที่สูง

เซอร์รา (Serra, 1972 - 1439) ได้ทำการสร้างเครื่องสร้างสัญญาณแถบเวลา
โดยใช่วงจรอินทิเกรเตอร์ พบว่าสัญญาณไฟ้าออกของวงจรเป็นกัทคาแรมป์ที่มีลิเนียร์
สูง และสามารถเปลี่ยนอัตราเร็วการกวาดได้โดยการเปลี่ยนค่ากัทคาไฟ้าเข้า

มอริยาสุ (Moriyasu, 1971 - 273) ได้ทำการสร้างเครื่องสร้างสัญญาณแถบ
เวลา สำหรับใช้ในเครื่องออกชนิดไดโอด โดยใช่วงจร ลาร์-ซี ดีลเทอ์ และ
เปลี่ยนค่าอัตราเร็วการกวาดโดยการเปลี่ยนค่า a และ c

ชีวาประสาท (Shivaprasad, 1972 - 1439) ได้ทดลองใ้วงจรบูตสตราป
(Bootstrap) เป็นวงจรสร้างสัญญาณแรมป์ โดยการใ้สิ่งประคิบั้ความ เป็นเกอ
สวิตช์ (Gate switch) สำหรับควบคุมใ้ให้สัญญาณแรมป์ใ้การกวาดค่า

การพัฒนาและออกแบบวงจร

2-1) เกณฑ์ของการพัฒนา

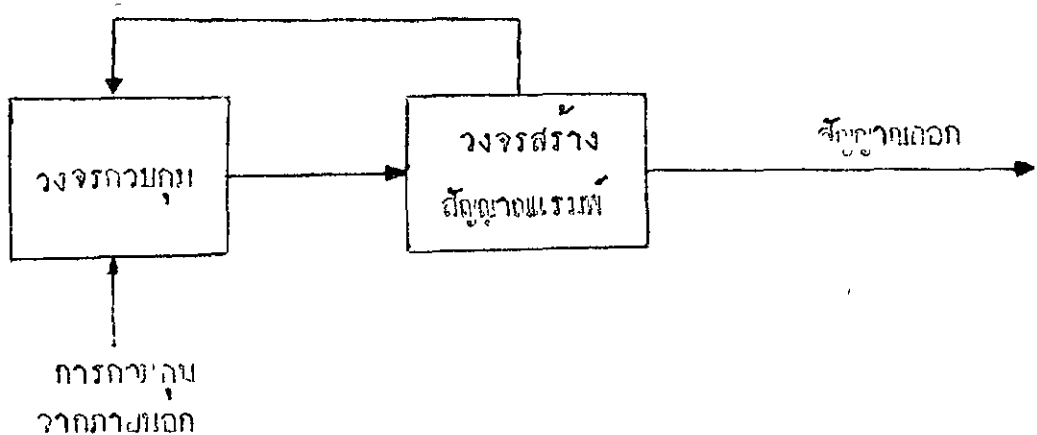
เพื่อให้เครื่องสร้างสัญญาณเวลาเชิงเส้นตรงที่สร้างขึ้น มีคุณสมบัติที่เฉพาะ
 วมกับการใช้งานร่วมกับเครื่องบันทึกสัญญาณแอนะล็อก และอุปกรณ์อื่นๆที่ทำงานผลิต
 ปริมาณเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล จึงกำหนดคุณสมบัติของประการของ เครื่องมือที่ระนาการสร้าง
 ไวดังนี้

1. สัญญาณไฟ้าออกเป็นสัญญาณรamped (Single Ramp Waveform)
 กิ่งแก 0 - 5 v
2. อัตราเร็วการกวาด มี 7 ขนาด คือ 0.25, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0,
 10.0, และ 25.0 s/cm กวาดได้เต็มสเกลบนแถบกระดาษกราฟยาว 25 ซม.
3. มีสวิทช์สำหรับ SWEEP , RESET
4. สามารถควบคุมการทำงานได้จากเครื่องอนุพัลสออกของไมโครคอนโทรลเลอร์
5. สามารถให้สัญญาณไปควบคุมการยกขึ้นลงของปากกา ในเครื่องบันทึกสัญญาณ
 แอนะล็อก
6. ใ้ใช้กับไฟ้ากระแสสลับ 220 v 50 - 60 Hz

ในการพัฒนาและออกแบบวงจรของ เครื่องสร้างสัญญาณเวลาเชิงเส้นตรงที่
 ผู้วิจัยได้แบ่งวงจรของ เครื่องออกเป็น 2 ภาค คือ วงจรภาคสร้างสัญญาณเวลาเชิงเส้น
 วงจรที่อาศัยสัญญาณนาฬิกา กับวงจรภาคควบคุมกำลังไฟ

2-2) หลักเบื้องต้นของวงจรสร้างสัญญาณแอมป์

วงจรแอมป์ คือ วงจรไม่จ่ายให้สามารถสร้างสัญญาณไฟฟ้าออกในรูปของศักดาหรือกระแสไฟฟ้า ที่อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยตรงกับเวลา ซึ่งเรียกกันว่า สัญญาณแอมป์ วงจรยกเวลาเป็นวงจรที่ไม่ใช่ในเครื่องมือที่ต้องการควบคุมเวลาหรือควบคุมการกวาดของสัญญาณ เช่น ในเครื่องออกซิโลสโคป โทรทัศน์ เครื่องบันทึกสัญญาณ เป็นแต่ส่วนประกอบสำคัญของวงจรสร้างสัญญาณแอมป์โดยทั่วไป จะมีวงจรลงส่วนควบกับก็คือ วงจรสร้างสัญญาณแอมป์ กับวงจรเพื่อควบคุมสัญญาณแอมป์ ดังรูป 2.1 วงจรสร้างสัญญาณแอมป์จะเป็นวงจรที่ได้ออกหรือกระแสไฟฟ้าออกที่อัตราการเปลี่ยนแปลงตรงกับเวลา ส่วนวงจรควบคุมสัญญาณแอมป์ จะเป็นวงจรสำหรับควบคุมให้สัญญาณแอมป์เกิดที่สัญญาณแอมป์ เมื่อถึงระดับที่ต้องการ รวมทั้งรับคำสั่งจากภายนอกไปควบคุมสัญญาณแอมป์



รูป 2.1 แผนผังวงจรอย่างง่ายของวงจรสร้างสัญญาณแอมป์

โดยทั่วไปวงจรสร้างสัญญาณแรมป์ ยังคงอาศัยคุณสมบัติการสะสมประจุของคาปาซิเตอร์เป็นสำคัญ แต่ก็ได้มีการปรับปรุงให้การสะสมประจุเป็นไปอย่างมีลิเนียร์ที่คงวิธีการต่างๆที่โลกดาวไวโเบเอกการที่เกี่ยวข้อง สำหรับการศึกษาก่อนหน้านี้ ผู้วิจัยได้เลือกเอาวิธีในวงจรอินทิเกรเตอร์ซึ่งเป็นวงจรที่ได้ออกมาตลอดจนอินทิเกรเตอร์ เป็นวงจรสำหรับสร้างสัญญาณแรมป์

วงจรอินทิเกรเตอร์ ก็คือวงจรที่คาปาซิเตอร์เป็นตัวป้อนกลับทางลบ และก็ได้ให้ความต้านทานเป็นตัวแทนเข้า (Input Component) ของ คอนแวนต์ ในรูป 2.2 ตักกาไฟฟ้าออก V_o จะเป็นผลการอินทิเกรตของตักกาไฟฟ้าเข้า V_i กับเวลา t

ตามสมการ 2.1

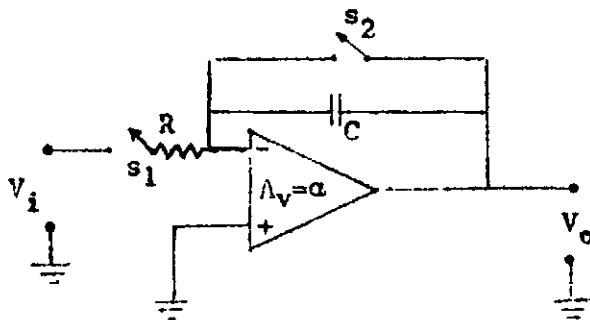
เมื่อให้ตักกาไฟฟ้าเข้า V_i คงที่ ตักกาไฟฟ้าออก V_o จะเป็นตักกาแรมป์ ตาม

สมการ 2.2

$$V_o = - \frac{1}{RC} \int V_i dt \dots\dots\dots (2.1)$$

เมื่อ V_i คงที่

$$V_o = - \frac{V_i t}{RC} \dots\dots\dots (2.2)$$

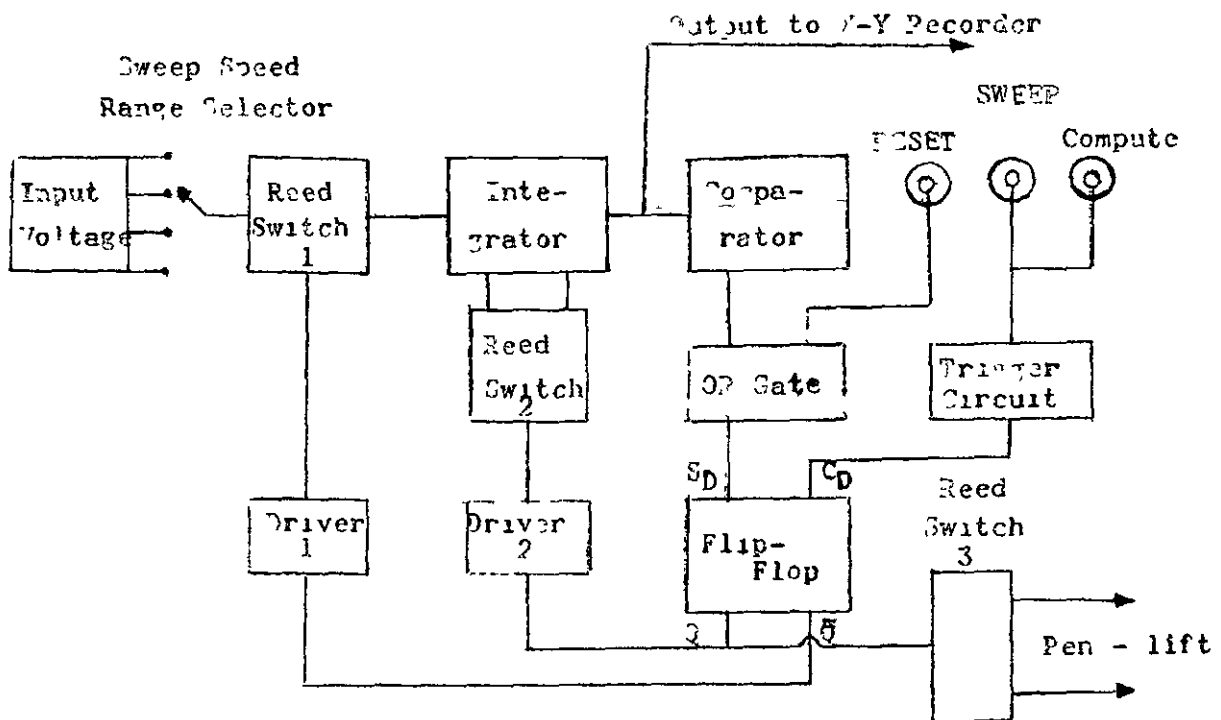


รูป 2.2 วงจรอินทิเกรเตอร์อย่างง่าย

สำหรับการควบคุมสัญญาณเริ่มต้นให้เกิดขึ้น อาจควบคุมโดยโดยใช้วงรี s_1 และ s_2 ที่เป็นส่วนของการหยุดโดยอาจควบคุมด้วยวงรี s_1 เพื่อจำกัดการไหลเข้า เมื่อต้องการให้สัญญาณเริ่มต้นขึ้น ก็คือวงรี s_2 ในทางปฏิบัติการกระทำนี้จะดำเนินการด้วยวิธีการควบคุมทางกล (Mechanical) จึงแสดงว่าการดำเนินการจะไม่สามารถควบคุมการทางานของวงรี s_1 และ s_2 นี้ของวงจรไฟฟ้าประเภทนี้

2-3) ส่วนประกอบสำคัญของวงจรสร้างสัญญาณแยกเวลา

จากหลักเบื้องต้นของวงจรสร้างสัญญาณแยกเวลาและหลักการของวงรี บางประการของเครื่องสร้างสัญญาณแยกเวลาเชิงอิเล็กทรอนิกส์ที่กล่าวถึงไว้ จึงได้ออกแบบแผนผังวงจรของส่วนประกอบสำคัญของวงจรสร้างสัญญาณแยกเวลาของเครื่องมือไว้ ดังรูป 2.3



รูป 2.3 แผนผังวงจรของวงจรสร้างสัญญาณแยกเวลา

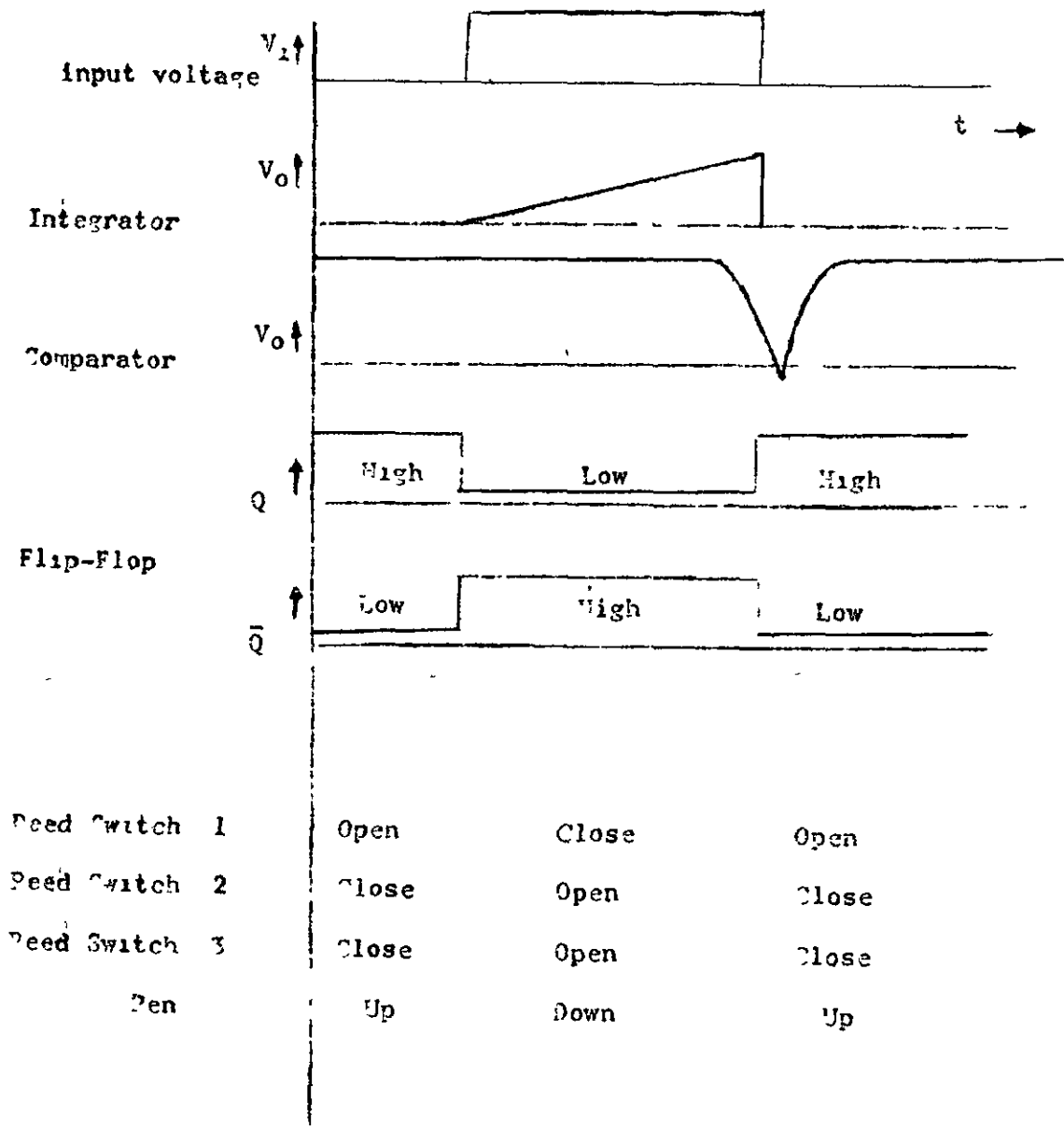
ในรูป 2.3 วงจรอินทิเกรเตอร์เป็นวงจรสร้างศักดาแรมพ์ โดยอาศัยศักดาไฟฟ้าเข้าที่ผ่านวงจรถูกเลือกอัตราเร็วการกวาด (Sweep Speed Range Selector) แล้วรีดสวิทช์ (Reed Switch) 1 จะทำหน้าที่ตัดหรือต่อศักดาไฟฟ้าเข้ามายังวงจรถูกเลือกอินทิเกรเตอร์ ส่วนรีดสวิทช์ 2 จะทำหน้าที่ให้คาปาซิเตอร์ของวงจรถูกเลือกคายประจุ (Discharge) เพื่อตัดศักดาแรมพ์ให้ลงศูนย์ โดยอาศัยการขับ (Drive) จากวงจรถูกขับ (Driver) 1 และวงจรถูกขับ 2

วงจรถูกเปรียบเทียบ (Comparator) เป็นวงจรสำหรับกำหนดกัมมันตภาพ (Amplitude) ของศักดาแรมพ์ เมื่อศักดาแรมพ์จากวงจรถูกเลือกอินทิเกรเตอร์เพิ่มขึ้นถึงศักดาเทียบ (Reference Voltage) ของวงจรถูกเปรียบเทียบ วงจรถูกเปรียบเทียบจะให้สัญญาณพัลส์ (Pulse) ผ่านออร์เกต (OR Gate) ไปกระตุ้นวงจรถูกพลิก-ฟลอป (Flip-Flop)

วงจรถูกพลิก-ฟลอป เป็นวงจรสำหรับควบคุมการทำงานของรีดสวิทช์ทั้งสาม ศักดาไฟฟ้าออกของวงจรถูกพลิก-ฟลอป จะมี 2 ทางและอยู่ในภาวะ (State) ต่างกัน ในขณะที่วงจรถูกเลือกอินทิเกรเตอร์ยังไม่สร้างสัญญาณแรมพ์ ศักดาออกที่ Q จะสูง และ \bar{Q} จะต่ำ ทำให้รีดสวิทช์ 1 ตัดศักดาไฟฟ้าเข้า รีดสวิทช์ 2 ตัดวงจรถูกเลือกอินทิเกรเตอร์ไว้เพื่อให้ศักดาไฟฟ้าออกของวงจรถูกเลือกอินทิเกรเตอร์เป็นศูนย์ เมื่อต้องการให้วงจรถูกเลือกอินทิเกรเตอร์สร้างแรมพ์ วงจรถูกกระตุ้น (Trigger Circuit) จะส่งสัญญาณพัลส์แก่วงจรถูกพลิก-ฟลอป ทำให้ศักดาไฟฟ้าออกของวงจรถูกพลิก-ฟลอปกลับภาวะใหม่ คือ ศักดาออกที่ Q ต่ำ และ \bar{Q} สูง รีดสวิทช์ 1 จะต่อศักดาไฟฟ้าเข้าและ รีดสวิทช์ 2 จะเปิดให้วงจรถูกเลือกอินทิเกรเตอร์ทำงาน เมื่อศักดาแรมพ์เพิ่มถึงศักดาเทียบของวงจรถูกเปรียบเทียบ วงจรถูกเปรียบเทียบจะให้สัญญาณพัลส์ผ่านออร์เกต ไปกระตุ้นวงจรถูกพลิก-ฟลอปให้กลับภาวะเดิม ศักดาแรมพ์ก็จะกลับลงศูนย์ ในกรณีที่ศักดาแรมพ์เพิ่มยังไม่ถึงศักดาเทียบ อาจตัดสัญญาณแรมพ์ให้ลงศูนย์ได้ด้วยการควบคุมจากรีดสวิทช์ RESET

สำหรับสัญญาณไฟฟ้าออกและความสัมพันธ์ของแต่ละวงจรในการทำงานได้แสดงไว้

ในรูป 2.4

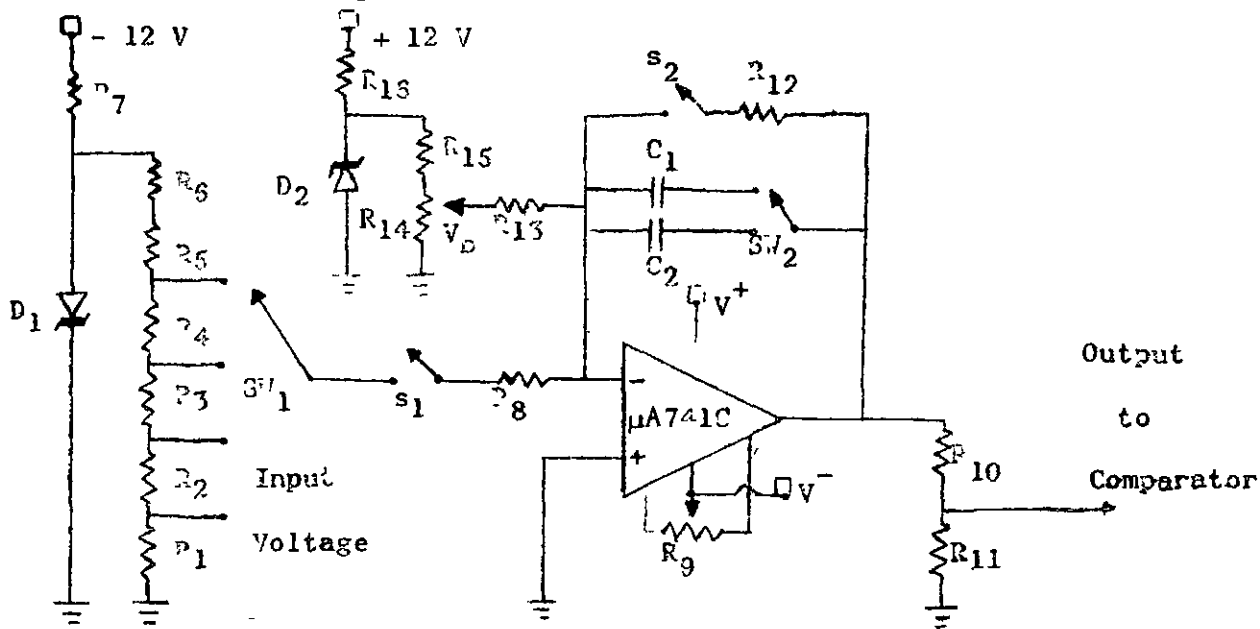


รูป 2.4 แสดงสัญญาณไฟฟ้า (waveform) ของวงจรต่างๆในแถบนี้วงจร

3.1) วงจรอินทิเกรเตอร์และวงจรให้ทิศทางไฟเข้า

วงจรอินทิเกรเตอร์ เป็นวงจรนำร่องสร้างสัญญาณแรมป์ โด่งขึ้นและออกแรมป์ โดยอาศัยหลักการมาจากวงจรอินทิเกรเตอร์อย่างง่ายในรูป 2.2 ในการนี้ได้อิงวงจรไมโคร $\mu A741C$ เป็นตัวออปแอมป์ ใ้รับสัญญาณแรมป์ด้วย s_1 และ s_2

ลักษณะสำคัญของวงจรอินทิเกรเตอร์และวงจรให้ทิศทางไฟเข้าที่โด่งขึ้นและออกแรมป์ไว้ โด่งแ่งไว้ในรูป 2.5



รูป 2.5 วงจรอินทิเกรเตอร์และวงจรให้ทิศทางไฟเข้า

การคำนวณอัตราเร็วการกวาดของสัญญาณแรมป์ จาก สมการ 2.2

$$\text{อัตราเร็วการกวาดของสัญญาณแรมป์} = \frac{V_o}{t} = - \frac{V_i}{RC}$$

นี่ก็ สามารถคำนวณอัตราเร็วการกวาดของสัญญาณแรมป์โดยการเลือกค่า V_i , R หรือ C ในที่นี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีเปลี่ยนค่า V_i และ C เพื่อให้ได้อัตราเร็วการกวาด 7 ขนาด ตามที่ต้องการ(ตาราง 1) โดยใช้สวิช s_1 เลือกทิศทางไฟเข้า และสวิช s_2 เลือกการนำซีเตอร์ C_1 หรือ C_2

ที่	อัตราเร็วการกวาด		R (M Ω)	C ₁ (μ f)	C ₂ (μ f)	V _i (V)
	s/cm	mV/sec				
1	.25	600	12	-	0.1	-.96
2	.5	400	12	-	0.1	-.40
3	1.0	200	12	-	0.1	-.24
4	2.5	80	12	1.0	-	-.96
5	5.0	40	12	1.0	-	-.40
6	10	20	12	1.0	-	-.24
7	25	8	12	1.0	-	-.096

ตาราง 1 การเลือกค่า V_i และ C สำหรับอัตราเร็วการกวาดแต่ละขนาด

การกำหนดขอบเขตของศักดาไฟฟ้าออก จากการทดลองวงจรอินทิเกรเตอร์
โดยวงจรไบโโกรม μ A741C ในแหล่งจ่ายไฟศักดา + 12 V , - 12 V
เมื่อได้ศักดาไฟฟ้าเข้า V_i ไม่เกิน 1 V พบว่าศักดาไฟฟ้าออกจะเต็ม (Saturate)
ที่ 11.5 V ขอบเขตของดิเฟอเรนเชียลอินพุตอยู่ในช่วง 0 - 8 V จึงได้เลือกให้
ขอบเขตของศักดาไฟฟ้าออกอยู่ในช่วง 0 - 5 V แต่เนื่องจากการศักดาไฟฟ้าออก
สำหรับทรานสดูเซอร์อยู่ในช่วง 0 - 1.25 V จึงได้ใช้ R_{10} และ R_{11}
เป็นตัวแบ่งศักดาไฟฟ้าออก

การปรับศักดาไฟฟ้าออกของวงจรไบโโกรม μ A741C เนื่องจากวงจร
ไบโโกรม μ 741C มีไดโอดชั๊ตเป็นออปแอมป์ไพล์ (Ideal Op A p)
ในขณะที่ศักดาไฟฟ้าเข้าเป็นศูนย์ ศักดาไฟฟ้าออกของวงจรไม่เป็นศูนย์ จึงต้องมีการ
ปรับศักดาไฟฟ้าออกให้เป็นศูนย์ วิธีการปรับทำได้โดยใช้ตัวลอปแอมป์โวลต์ เพื่อให้

ออฟเซตนัล (Offset Null) ของ $\mu 741C$ และการให้ศักดาไบอัส (Voltage Bias) โดย V_9 และวางจรีให้ศักดาไบอัสตามลำดับ

วงจรีให้ศักดาไบอัส V_b วงจรีให้ศักดาไบอัสได้แก่วงจรีที่โวลต์ส่วน R_{13} , R_{14} , R_{15} , R_{16} และ D_2 ในรูป 2.5 จากวารทดลองเมื่อให้ $R_{13} = 10 \text{ K}\Omega$ ศักดาไบอัส V_b ที่พอดีจะอยู่ในแนว $.45 - .55 \text{ V}$ จึงได้ใช้ R_{14} เป็นตัวความต้านทานเปลี่ยนค่าโวลต์สำหรับปรับศักดา โดยมี R_{15} เป็นตัวช่วยที่ปรับโวลต์ละเอียดขึ้น และโวลต์ซีเนอร์ ไดโอด (Zener Diode) D_2 เป็นตัวคุมศักดาให้คงที่โดยมี R_{16} เป็นตัวควบคุมกระแสไบอัสซีเนอร์ ไดโอด

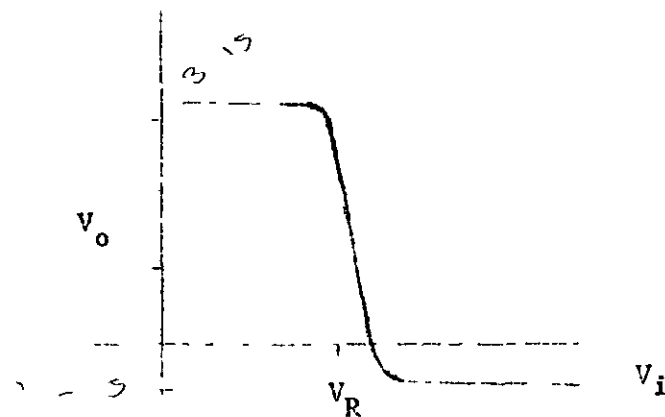
วงจรีให้ศักดาไฟฟ้าเข้า V_i คือวงจรีที่โวลต์ส่วน $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5,$

- R_6 และ D_1 ในรูป 2.5
- $R_1 - R_5$ ทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งศักดาไฟฟ้าเข้า ให้มีขนาดตามที่ต้องการในตาราง 1
- R_6 เป็นตัวช่วยปรับศักดาไฟฟ้าเข้าให้แม่นยำขึ้น
- D_1 เป็นซีเนอร์ไดโอด ช่วยคุมศักดาไฟฟ้าของวงจรีให้คงที่เป็นอิสระจากศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกำลังไฟ

3.2) วงจรีคอมพาราเทอร

วงจรีคอมพาราเทอร เป็นวงจรีสำหรับกำหนดค่าแรงดันของสัญญาณเรฟ. ในขณะ ที่ศักดาเรฟ. ยังเพิ่มไม่ถึงศักดาเทียบของวงจรีคอมพาราเทอรที่ตั้งไว้ ศักดาไฟฟ้าออกของวงจรีคอมพาราเทอร จะไม่เปลี่ยนแปลง วงจรีคอมพาราเทอรจะทำหน้าที่ขยายศักดาไฟฟ้าเข้าที่สูงกว่าศักดาเทียบเท่านั้น โดยที่อัตราขยายของวงจรีคอมพาราเทอรค่อนข้างสูง ดังนั้นเมื่อศักดาเรฟ. ีสูงกว่าศักดาเทียบ ศักดาไฟฟ้าออกของวงจรีคอมพาราเทอรจึงเกือบเป็นสัญญาณกลับ

จากการทดลองวงจรไบโกร $\mu 710$ คอมพาราเตอร์ เมื่อให้ศักดาไฟฟ้าเข้าทางขั้ว Inverting Input และตั้งศักดาเทียบ 1.25 V ทางขั้ว Noninverting Input ในขณะที่ศักดาไฟฟ้าเข้าต่ำกว่า 1.25 V ศักดาไฟฟ้าออก V_o ของวงจรรวมพาราเตอร์จะคงที่อยู่ที่ 3.15 V เมื่อศักดาไฟฟ้าเข้า (สัญญาณแรมป์) เริ่มสูงกว่าศักดาเทียบ ศักดาไฟฟ้าออกของวงจรรวมพาราเตอร์จะลดลงอย่างรวดเร็วและอีกตัวที่ -0.5 V ดังรูป 2.6



รูป 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าเข้า V_i และศักดาไฟฟ้าออก V_o ของวงจรรวมพาราเตอร์

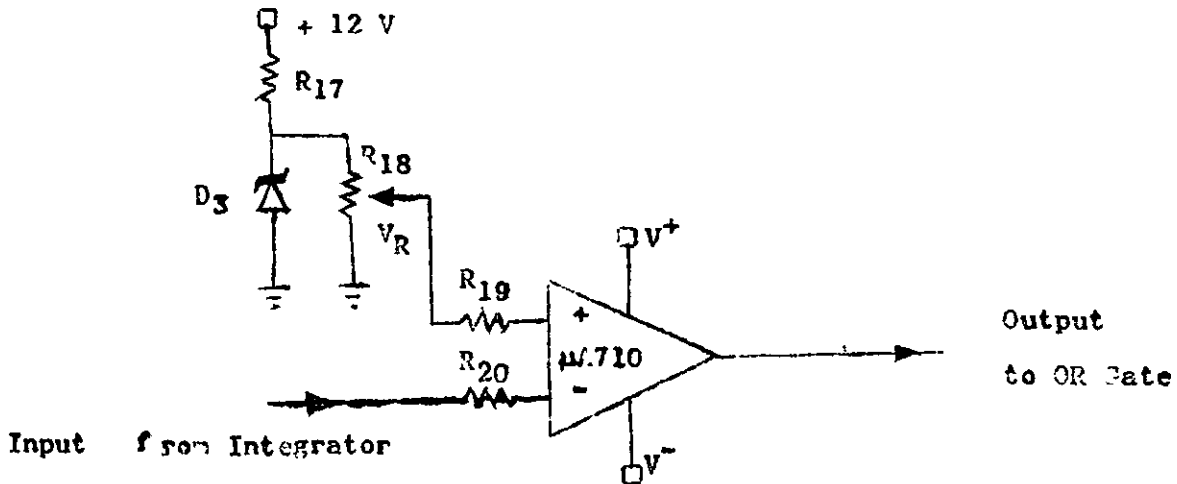
วงจรรวมพาราเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ในรูป 2.7 ได้ใช้วงจรไบโกร $\mu 710$ ซึ่งเป็นวงจรสำเร็จสำหรับคอมพาราเตอร์

R_{19} และ R_{20} เป็นตัวจำกัดกระแส (Limiting Current) ที่ทางเข้า (Input) ของ $\mu 710$ ไม่ให้มากเกินไป เพื่อป้องกันการทำลายเบดของทรานซิสเตอร์ในทางเข้าของวงจรมิโกร $\mu 710$

R_{18} เป็นตัวตั้งระดับของศักดาเทียบ

R_3 เป็น ซีแอมป์ โทโอด คู่กับศักดาไฟฟ้าของวงจร ศักดาเทียบในทางที่

R₁₇ เป็น ตัวคูณกระแสไม้อิส ของ ซีเนอร์ไดโอด



รูป 2.7 วงจรคอมพาราเตอร์

3.3) วงจรลิมิต-ปล่อย

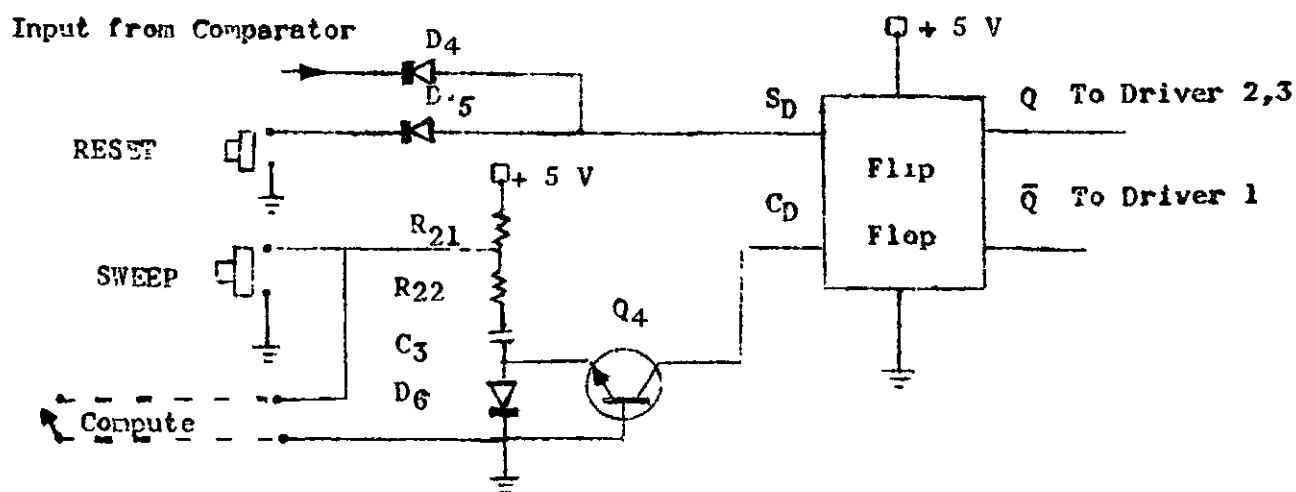
วงจรลิมิต-ปล่อย เป็นวงจรที่ควบคุมรีตริบิวท์ 1, 2, และ 3 โดยการรับค่าเข้ามาจาก วงจรคอมพาราเตอร์ สัญญาณ RST, RST และสัญญาณ Compute ในเครื่องอนุโลกคอมพิวเตอร์ วงจรลิมิต-ปล่อยในนี้ได้ใช้วงจรไมโคร IC848P

จากการทดลองวงจรไมโคร IC848P โดยใช้แหล่งจ่ายไฟเสถียร 5 v พบว่าศักดาของ ทางเข้า S_D และ C_D เมื่อลอย (Floating) อยู่ในภาวะต่ำ (Low State) เท่ากับ 1.1 v ภาวะสูง (High State) เท่ากับ 1.9 v ศักดาของทางออก (Output) Q และ Q̄ เมื่อลอยอยู่ในภาวะต่ำ เท่ากับ 0.45 v ภาวะสูง เท่ากับ 5 v วงจรลิมิต-ปล่อย จะทำงาน เมื่อให้ศักดาไม่ว่าเข้าที่ทาง-เข้าต่ำกว่า 1.5 v สำหรับความเสถียรของศักดาไฟฟ้าที่เข้าทางเข้า S_D, C_D และเข้าทางออก Q, Q̄ จะเป็นไปตาม Asynchronous Truth Table

S_D	C_D	Q	\bar{Q}
High	Low	Low	High
Low	High	High	Low
Low	Low	High	High
High	High	NC	NC

ตาราง 2 Asynchronous Truth Table
ของวงจรมicro MC848P

จากคุณลักษณะของวงจรฟลิป-ฟล็อปที่กล่าวข้างต้น จึงได้ออกแบบวงจรฟลิป-ฟล็อป
และวงจรควบคุมหรือวงจรถอนกำลังแกฟลิปฟล็อป ดังรูป 2.8



รูป 2.8 วงจรฟลิป-ฟล็อปและวงจรถามคุม

ส่วนประกอบสำคัญของวงจรควบคุมการทำงานของวงจรเฟลิม-ฟลอม ในรูป

2.8 มีดังนี้

1) วงจรถอดรูป (OR Gate) เป็นวงจรที่ยอมให้สัญญาณกระตุ้นเข้ามาเข้าไปถึง ทางเข้า S_7 ของเฟลิม-ฟลอม ได้สองทางเป็นอิสระแก่กัน โดยโคโอด D_4 และ D_5 ในขณะที่ยังไม่ได้รับสัญญาณหรือสัญญาณยังไม่ถึงกักคาเทียม คักคาไม่ทำ ออกของวงจรถอดรูปจะคงที่อยู่ที่ในระดับ 3.15 v ซึ่งสูงกว่าศักดาของทางเข้า S_7 ขณะที่อยู่ในภาวะสูง และรวมทั้งฉวิทซ์วงจร เป็นฉวิทซ์แบบปรกติเปิด จึงทำให้ทางเข้า S_7 ลอยอยู่ตลอดเวลาหรือที่ จะรับการกระตุ้นเพื่อเปลี่ยนภาวะ เมื่อ ศักดาแรงพีเอมาถึงกักคาเทียมของวงจรถอดรูป วงจรถอดรูปจะให้ สัญญาณรีดออกมาเป็นพัลส์ลบ (Negative pulse) ซึ่งว่า การถดถอยของรูปไปเปลี่ยน ภาวะของวงจรเฟลิม-ฟลอมได้ ในคำของเกี่ยวกับเมื่อฉวิทซ์วงจร จะทำให้ D_5 นำกระแส (conduct) ทำให้วงจรเฟลิม-ฟลอมเปลี่ยนภาวะได้

2) วงจรสร้างพัลส์กระตุ้น (Trigger circuit) เป็นวงจรฉวิทซ์ compute ในเครื่องอนุบาลอกคอมพิวเทอร์ เป็นฉวิทซ์เปิด-เปิดธรรมดา จึงคงมีวงจรสร้าง สัญญาณสำหรับไปกระตุ้นทางเข้า C_3 ในต้นที่ที่ฉวิทซ์ compute เริ่มปิด (close) และหลังจากนั้นได้รับสัญญาณจะคงหายไป เพื่อยอมให้ ทางเข้า C_3 ลอยอยู่ตลอดเวลาหรือที่ จะเปลี่ยนภาวะได้

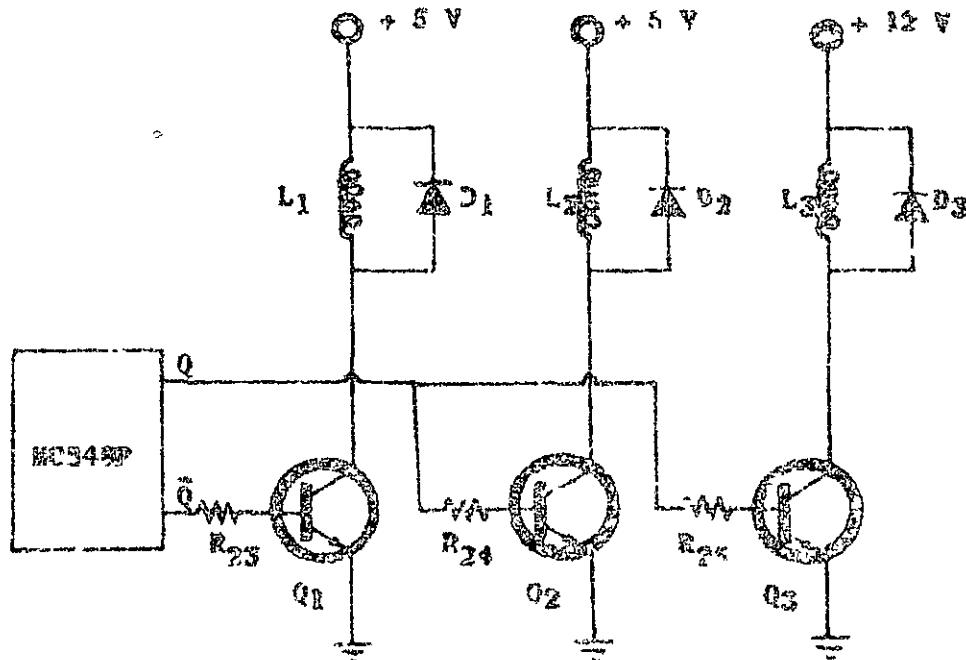
ในการออกแบบวงจรสร้างพัลส์กระตุ้น ได้อาศัยหลักการสะสมและคายประจุ ของคาปาซิเตอร์ C_3 ในรูป 2.8

ในขณะเมื่อฉวิทซ์ compute ในเครื่องอนุบาลอกคอมพิวเทอร์ (หรือฉวิทซ์ OR ในเครื่องสร้างศักดาแถมเวลาเชิงเส้นตรง) เปิด (open) อยู่ C_3 จะสะสมประจุจนเต็ม เมื่อฉวิทซ์ compute (หรือฉวิทซ์ OR) ปิด C_3 จะคายประจุ ทำให้ โคโอด D_6 ถูกไบอัสกลับทาง (Reverse Bias) ศักดากรณ D_6 จะสูง ทำให้เกิดการ ระหว่าง เบสกับอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_4 สูงขึ้นด้วย Q_4 จะนำกระแส

ขอยให้สัญญาณสั่งเข้ามาเข้าไปกระตุ้นฟิล์ม-ฟอโต เมื่อ C_3 คายประจุหมด ทราน-ซิสเตอร์ Q_4 จะไม่นำกระแส จึงทำให้ทางเข้า C_3 ลอย พร้อมกับจะเปลี่ยนกลับไปยังไม่ว่าจะใหม่ได้ สำหรับ R_{21} จะเป็นตัวโหลด (Load) ในกรณีที่สวิตช์ SWEEP หรือ Compute ปิด และ R_{22} เป็นตัวป้องกันมิให้ C_3 คายประจุเร็วเกินไป

3.4) วงจรตัวขับ

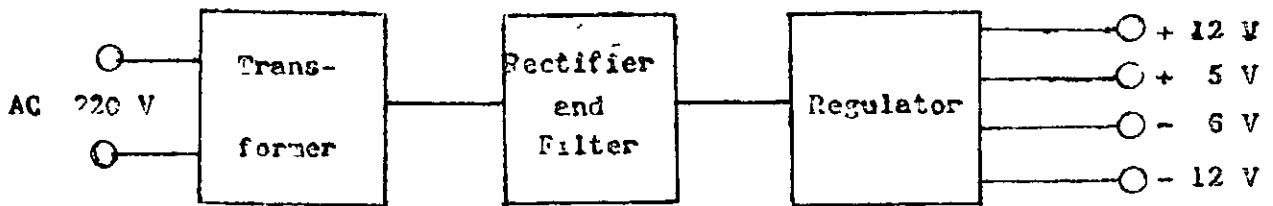
วงจรตัวขับ เป็นวงจรขับให้หลอดสี่หลอดทำงาน โดยวงจรนี้รับกำลังจากวงจรฟิล์ม-ฟอโต และใช้ทรานซิสเตอร์สี่ตัวเป็นตัวขับ วงจรตัวขับที่ได้ออกแบบไว้ปรากฏดังรูป 2.9 R_{23}, R_{24} และ R_{25} จะต้องเลือกค่าให้สอดคล้องกันทำให้ทราน-ซิสเตอร์ไม่นำกระแสเมื่อสวิตช์ออกของฟิล์ม-ฟอโตอยู่ในภาวะต่ำ และจะนำกระแสเมื่อสวิตช์เข้าของฟิล์ม-ฟอโตอยู่ในภาวะสูง



รูป 2.9 วงจรตัวขับ

2-4) วงจรภาคจ่ายกำลังไฟ

วงจรภาคจ่ายกำลังไฟ เป็นวงจรที่หาพบได้แปลงไฟเข้ากระแสสลับ 220 v ไปเป็นไฟกระแสตรงที่มีกักตุนและกำลังการจ่ายตรงตามความต้องการของวงจรสร้างสัญญาณแก่เวลาที่ใช้ตลอดแบบไว้ หน่วยประกอบสำคัญของวงจรภาคจ่ายกำลังไฟที่ออกแบบไว้เป็นไปตามแผนผังวงจรในรูป 2.10



รูป 2.10 แผนผังวงจรของวงจรภาคจ่ายกำลังไฟ

4.1) เรกูเลเตอร์ (Regulator) เป็นวงจรควบคุมกักตุนการจ่าย (voltage supply) ในห้องดีเพื่ออิสระจากการเปลี่ยนแปลงของกักตุนไฟสวิตช์และโหลดที่ใช้ในการใช้ไอซีวงจรไมโคร $\mu A723$ ซึ่งเป็นการเรกูเลต (Regulate) กักตุนการจ่ายของแหล่งจ่ายกำลังไฟเข้า ภายในประกอบด้วย วงจรตัวเก็บเพิ่มเออเรอร์แอมพลิฟายเออร์ (Error Amplifier) และซีรี่พาสทรานซิสเตอร์ (Series Pass Transistor) ในการใช้วงจรไมโคร $\mu A723$ เป็นวงจรเรกูเลเตอร์ของแหล่งจ่ายไฟได้วางกระแสไม่เกิน 150 mA จะแสดงวงจรดังรูป 2.11 โดยมี

R_3 เป็นตัวป้องกันการจ่ายกระแสเกิน (Overcurrent Protection)

R_1 และ R_2 เป็นตัวตั้งโวลตาจการจ่ายที่ต้องการ

c เป็นตัวคอมเพนเซเตอร์ (Compensator) ของเออเรอร์แอมพลิฟายเออร์ ภายในวงจรไมโคร $\mu A723$

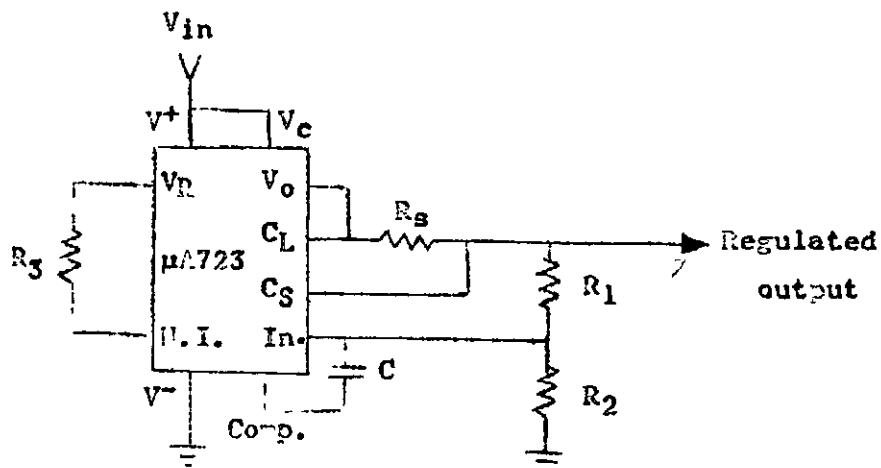
R_3 เป็นตัวจำกัดกระแสจากวงจรศักดาเทียบไปยังทางเข้าของเออเรอร์แอมพลิฟายเออร์

ศักดาไฟฟ้าออก V_o และ R_3 ของวงจรในรูป 2.11 กำหนดไว้ว่าสูตร

$$V_o = V_R \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) \quad V_R = \text{Reference Voltage}$$

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

(จากลักษณะเท็ทของ $\mu A723$)



รูป 2.11 การใช้ $\mu A723$ เป็นวงจรเร็กกูเลเตอร์ที่กดการวาง 7 - 40 v

เนื่องจากศักดาการจ่ายที่ถ่วงถ่วงมี 1 ขนาน คือ +12 v , - 12 v , +5 v และ - 6 v จึงได้วงจรไมโคร $\mu A723$ 2 ตัว สำหรับการจ่ายกำลังไฟศักดา +12 v และ - 12 v และใช้วงจรขงมีเนอร์ ไทโอด ช่วยเป็นตัวจ่ายกำลังไฟ +5 v และ - 6 v

4.2) เรกติไฟเออร์และตัวกรอง (Rectifier and Filter) ใช้
ซิลิคอน ไดโอดเรกติไฟเออร์ (Silicon Diode Rectifier) คือเป็นแบบฟูลเวฟ
เรกติไฟเออร์ (Full - Wa ve Rectifier) และใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวกรอง

4.3) หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นชนิดหม้อแปลงลง (Step-Down Transformer)
ใช้แกนเหล็กซิลิคอน (Silicon Steel) รูป E และ I พื้นที่หน้าตัด $5/8" \times 5/8"$
กำลังสูงสุด 4.4 W. ขดปฐมภูมิ 3270 รอบ ขดทุติยภูมิ มี 2 ขด แต่ละขดมีจำนวน
รอบ 480 รอบ และเป็นชนิดมีแทปกลาง (Center - Tap)

การร่าง เครื่องสร้างสัญญาณเวลาเชิงเส้นตรง

3-4) ลักษณะของ เครื่องสร้างสัญญาณเวลาเชิงเส้นตรง

เครื่องสร้างสัญญาณเวลาเชิงเส้นตรงที่สร้างขึ้น มีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

1.1) เรือนเครื่อง (รูป 3.1)

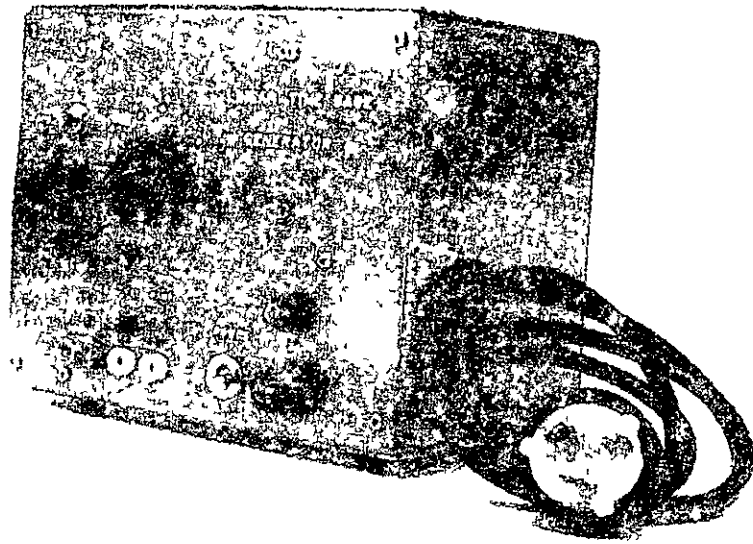
เรือนเครื่องประกอบด้วยแผ่นเหล็กและตัวเรือน ทำด้วยแผ่นอลูมิเนียมประกอบเป็นกล่องสี่เหลี่ยมขนาด $3\frac{1}{2} \times 5\frac{1}{2} \times 7$ ออกแบบในวางเครื่องได้สองแบบ ที่วางได้แบบหน้าขึ้นข้างบนในแนวราบ หรือหันหน้าเข้าหาตัวในแนวตั้ง แผ่นเหล็ก ความหนาเป็นได้ตั้งแต่ 1 มม. และทนต่อปลงไฟได้ ความปลอดภัยทั้งชีวิตและอุปกรณ์ต่างๆ การติดตั้งแผงวงจรและอุปกรณ์ทั้งหมดของเครื่องลงบนแผ่นเหล็กเพียงชนิดเดียวนี้ ทำให้สะดวกในการตรวจสอบและซ่อมบำรุง แผงวงจรภาคสร้างสัญญาณเวลาทั้งแผงวงจรจากจ่ายกำลังไฟไปออกแบบในวางกึ่งวางกัน เพื่อลดการรบกวนจากสัญญาณไฟสลับและเสียงรบกวน แต่ทั้งนี้ควรกระจายกำลังไฟและซ่อมแปลงไปให้ (รูป 3.2)

1.2) สวิทช์และปุ่มปรับ (รูป 3.3)

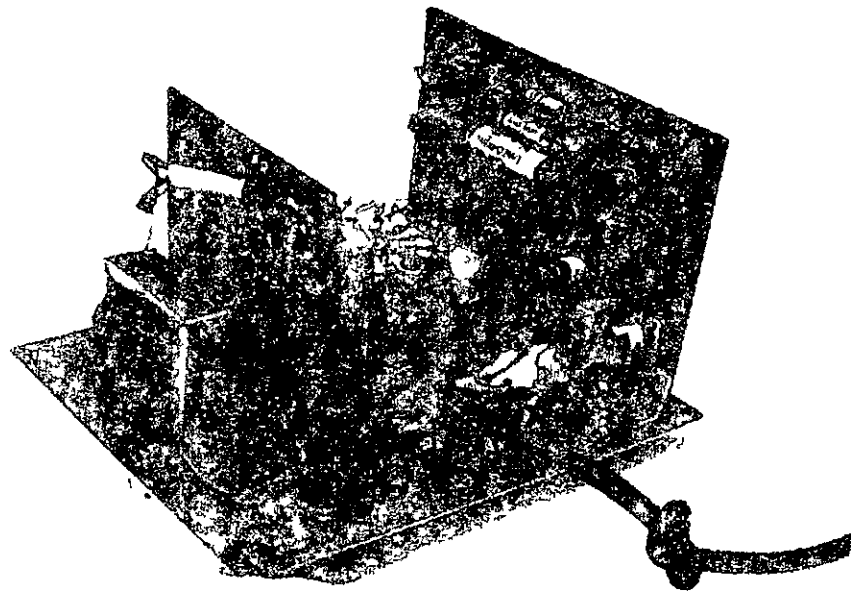
สวิทช์และปุ่มปรับตั้งอยู่บนเรือนเครื่อง ใต้ลักษณะให้ติดตั้งอยู่บนแผ่นเหล็กของเครื่อง มีสวิทช์และปุ่มปรับต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

สวิทช์ ON - OFF เป็นสวิทช์แบบโยกตัก 2 ขา ทำหน้าที่เปิดปิดกระแสสลับให้กับเครื่อง

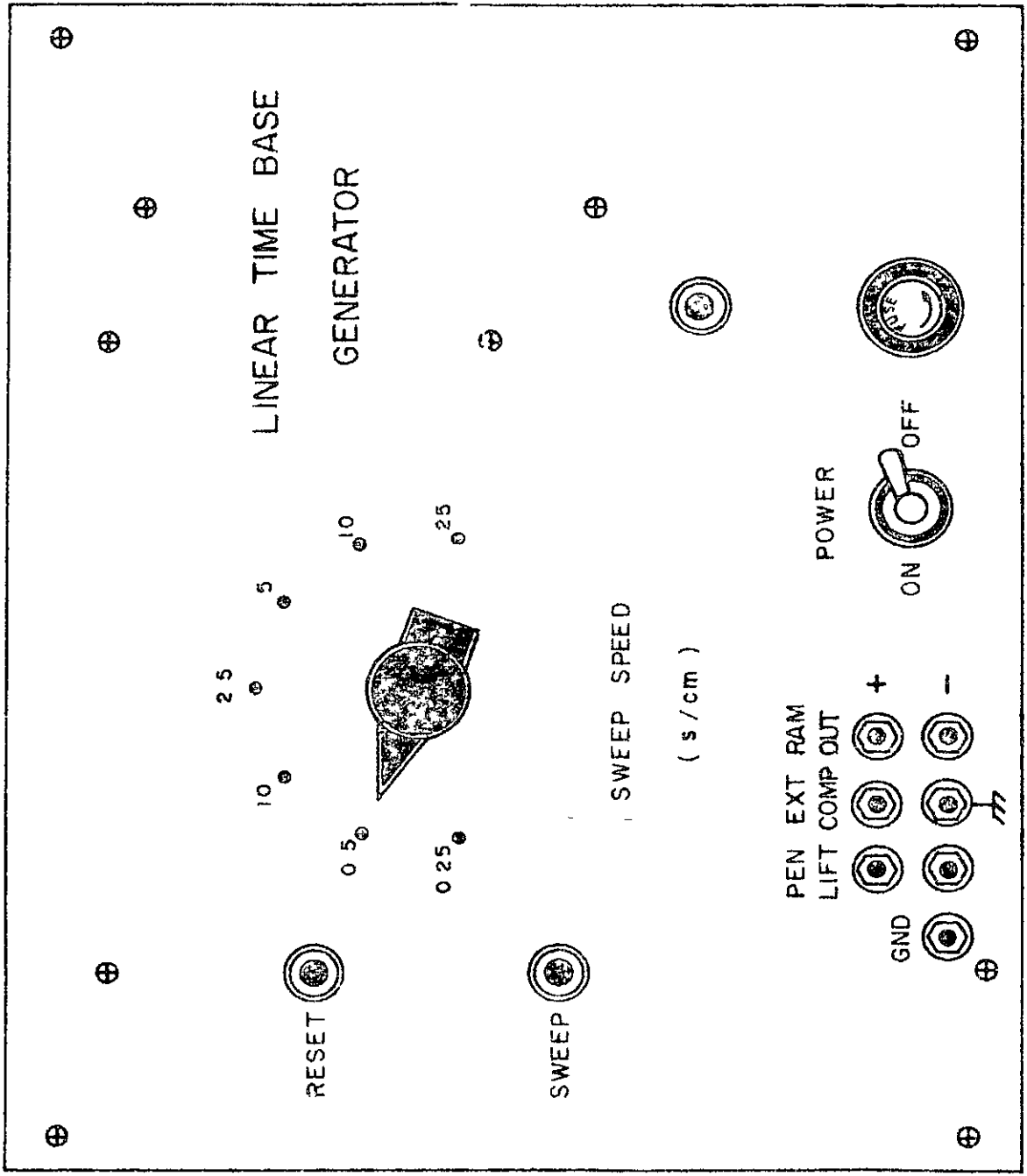
หลอดไฟ เป็นหลอดนีออน แสดงการจ่ายกำลังไฟสู่กระแสสลับให้กับเครื่อง



รูป 3.1 ลักษณะเรือนเครื่องของเครื่องสร้างสัญญาณเวลาเชิงเส้นตรง



รูป 3.2 ลักษณะการติดตั้งแผงวงจรและอุปกรณ์ต่าง ๆ บนแผ่นหน้า

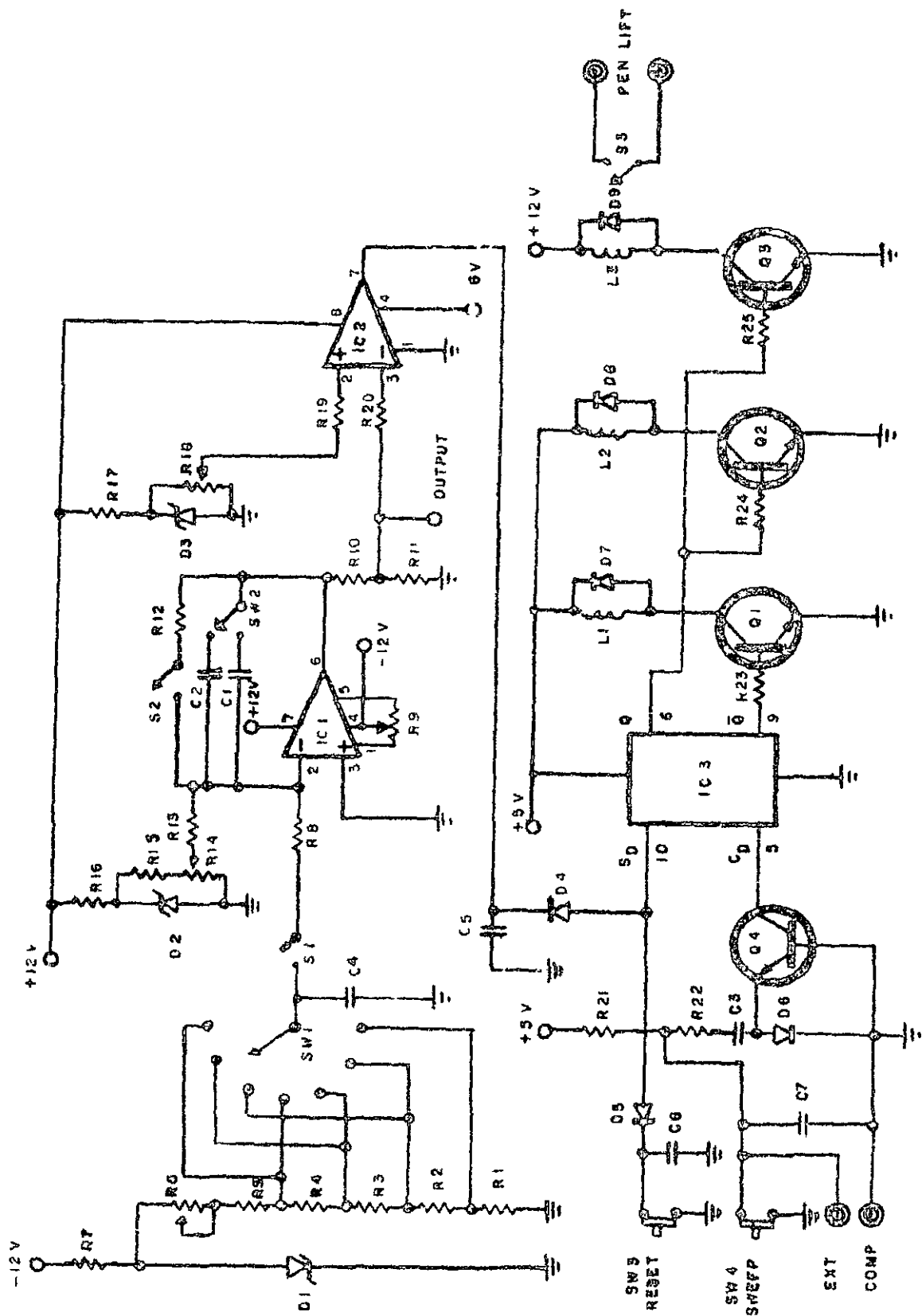


รูป 3.3 แสดงวิธีทวนและปุ่มปรับที่หน้าแผงควบคุมเวลา

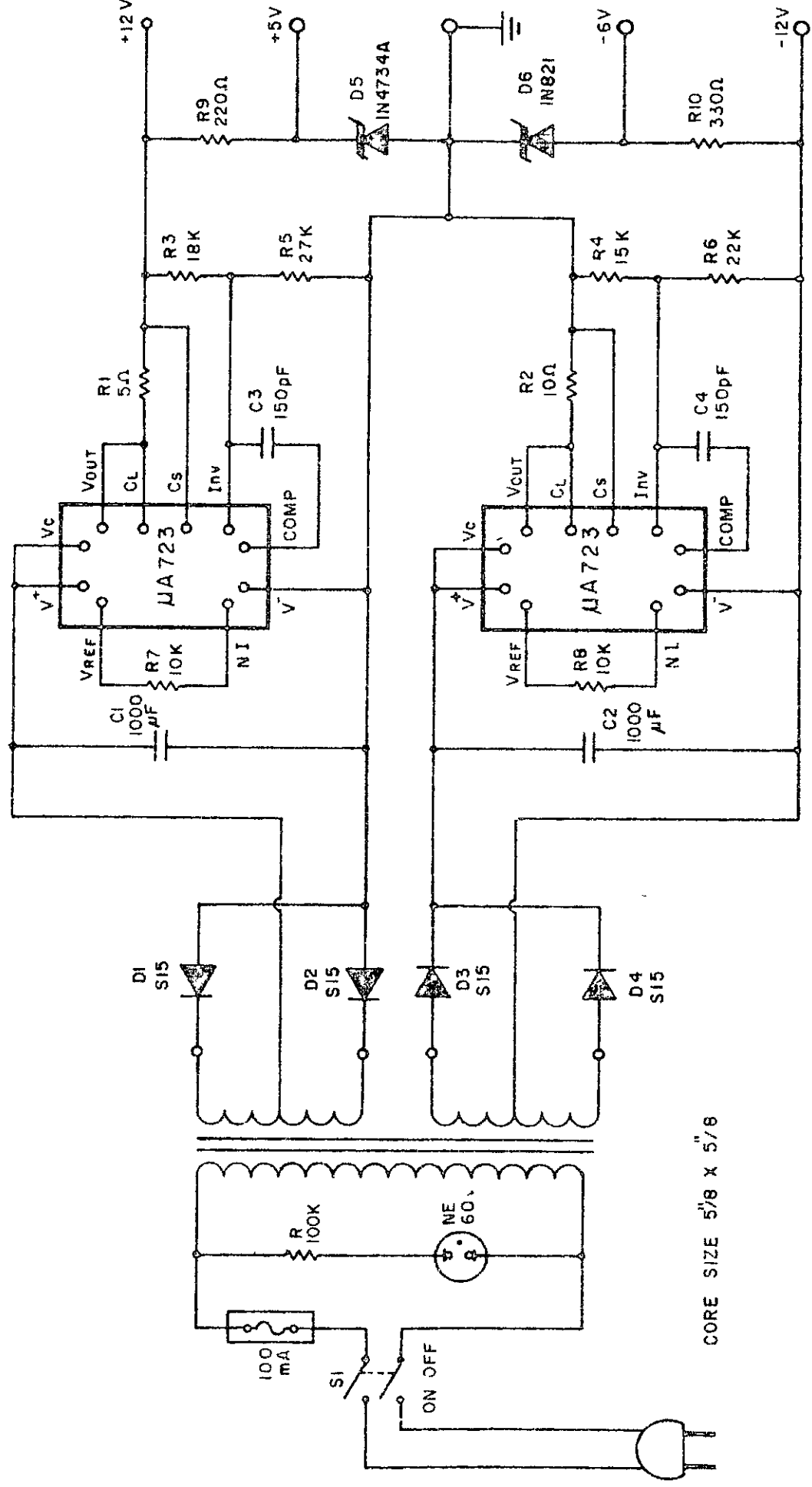
- FUSE เป็นที่ใส่ฟิวส์ขนาด 50 - 100 mA
- สวิตช์ SWEEP SPEED เป็นสวิตช์สำหรับเลือกอัตราเร็วการกวาดของสัญญาณแรงดัน คิดเป็น s/cm เลือกได้ 7 ขนาด
- สวิตช์ RESET เป็นสวิตช์แบบปรกติเปิด ใช้เมื่อต้องการรีเซ็ตสัญญาณแรงดันเพื่อตั้งเครื่องใหม่
- สวิตช์ SWEEP เป็นสวิตช์แบบปรกติเปิด ใช้เมื่อต้องการให้สัญญาณแรงดันทำงาน
- ขั้วเสียบ (Banana Jack) RAH OUT เป็นขั้วเสียบใช้เสียบการแรงดันจากไม้มิงเครื่องบันทึกสัญญาณ มี 2 ขั้ว คือขั้วบวกและขั้วลบ
- ขั้วเสียบ EXT. CO. P. เป็นขั้วเสียบเพื่อถ่วงการไหลให้มีการควบคุมการทำงานของเครื่องจากเครื่องอนุบาลคอมพิวเตอร์
- ขั้วเสียบ PPM LIFT เป็นขั้วเสียบเพื่อต่อให้สัญญาณจากตัวเครื่องไปควบคุมการยกขึ้นลงของปากกาในเครื่องบันทึกสัญญาณ
- ขั้วเสียบ GND เป็นขั้วเสียบเพื่อต่อกับดิน (Ground) ของเครื่องร่วมกับดินของเครื่องบันทึกสัญญาณ

1.3) วงจรมัดและนับเวลา

วงจรมัดและนับเวลาของเครื่องวัดสัญญาณแบบเวลาเชิงเส้นตรงได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ก้อนภาคสร้างสัญญาณแบบเวลาและภาคจ่ายกำลังไฟ ในรูป 3.4 และ 3.5



รูป 3.4 วงจรภาคสร้างสัญญาณแทนเวลา



CORE SIZE 5/8 X 5/8

รูป 3.5 วงจรภาคจ่ายกำลังไฟ

ชิ้นส่วนต่างๆของวงจรตามหมายเลขอ้างอิง (Reference No) ในรูป
3.4 และ รูป 3.5 มีดังรายการต่อไปนี้

1.3.1) วงจรภาคสร้างสัญญาณเวลา

<u>Reference No</u>	<u>Description</u>	
R1	220 Ω 1/2 W	1 % fixed carbon resistor
R2	332 Ω 1/4 W	1 % " " "
R3	549 Ω 1/4 W	1 % " " "
R4	1.1 k Ω 1/4 W	1 % " " "
R5	10 k Ω 1/8W	5 % " " "
R6	2 k Ω	20-turn potentiometer
R7	1 k Ω 1/8W	5 % fixed carbon resistor
R8	12 k Ω 1/2 W	1 % " " "
R9	10 k Ω	20-turn potentiometer
R10	3 k Ω 1/8W	5 % fixed carbon resistor
R11,R12	1 k Ω 1/8W	5 % " " "
R13	10 k Ω 1/8W	5 % " " "
R14	1 k Ω	20-turn potentiometer
R15	10 k Ω 1/8W	5 % fixed carbon resistor
R16	1 k Ω 1/8W	5 % " " "
R17	320 Ω 1/4 W	5 % " " "
R18	10 k Ω	20-turn potentiometer

<u>Reference No</u>		<u>Description</u>
R19,R20	10 k Ω 1/8W	5 % fixed carbon resistor
R21	100 k Ω 1/8W	5 % " " "
R22,P23,R24,R25	10 k Ω 1/8W	5 % " " "
C1	1 μ F 50 V	1 % Mylar capacitor
C2	0.1 μ F 50 V	1 % " "
C3	1000 pF 25 V	Disc ceramic capacitor
C4	.1 μ F 25 V	" " "
C5,C6,C7	.01 μ F 25 V	" " "
D1,D2,D3	1N ζ 21	Zener Diode
D5,D6,D7,D8,	1N914A	Switching Diode
IC 1	μ A741 C	High performance operational amplifier
IC 2	μ A710	Differential Voltage Comparator
IC 3	MC848 P	Flip-Flop
Q1,Q2,Q3,Q4	MPS3706	NPN silicon transistor
S1,S2, ,and L1,L2	PRME A005	Reed Switch
SW1 and SW2		2-Pol. 7-Pos. Range selector switch
SW3,SW4		Normally open Switch
S3 and L3	SIGMA 1000G	Reed Switch

1.3.2) วงจรทากายกำลังไฟ

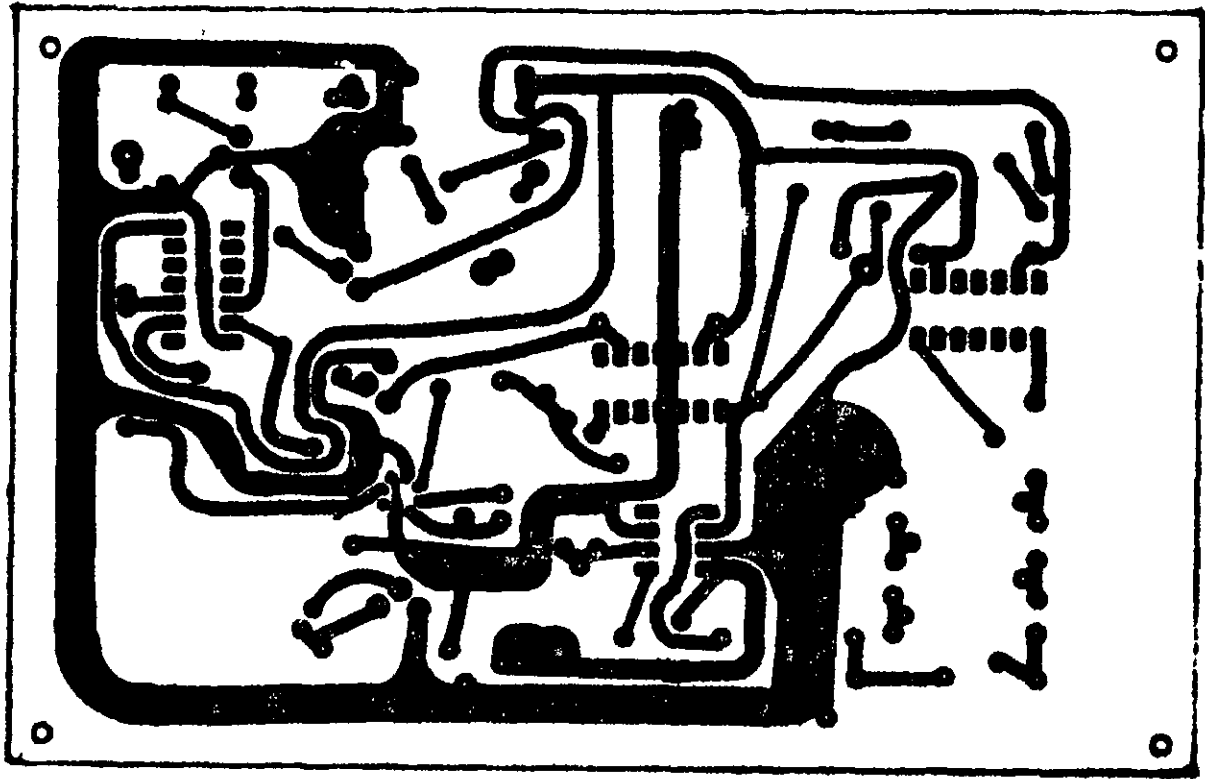
<u>Reference No</u>	<u>Description</u>		
R1	5 Ω $\frac{1}{4}$ W	5 %	fixed carbon resistor
R2	10 Ω $\frac{1}{4}$ W	5 %	" " "
R3	18 k Ω 1/8W	5 %	" " "
R4	15 k Ω 1/8W	5 %	" " "
R5	27 k Ω 1/8W	5 %	" " "
R6	22 k Ω 1/8W	5 %	" " "
R7,R8	10 k Ω 1/8W	5 %	" " "
R9	220 Ω $\frac{1}{4}$ W	5 %	" " "
R10	330 Ω $\frac{1}{4}$ W	5 %	" " "
C1,C2	1000 μ F 50 V		Electrolytic capacitor
C3,C4	150 pF 50 V		Disc ceramic capacitor
D1,D2,D3,D4	S15		Silicon rectifier
D5	1N4734A		Zener Diode
D6	1N821		Zener Diode

1.4) แผงวงจรใหม่

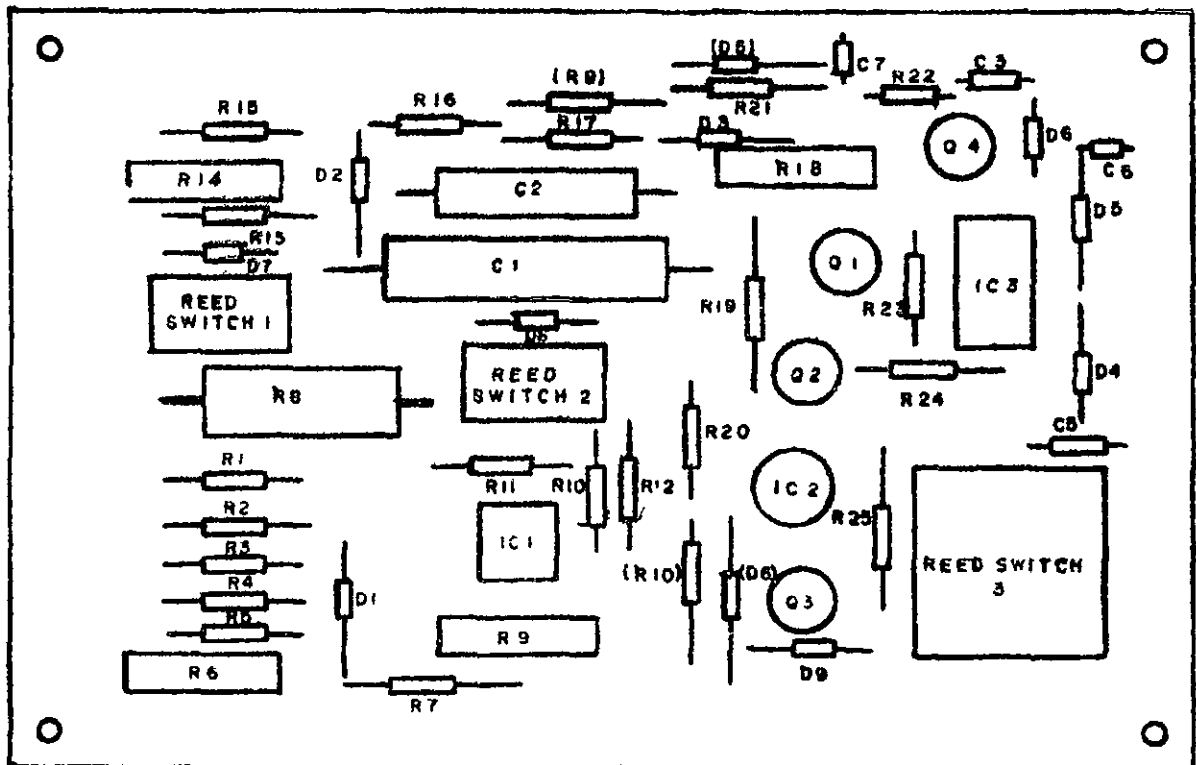
แผงวงจรใหม่สำหรับการทดสอบตัวประกอบต่าง ๆ ของวงจร ได้ทำเป็น 2 แบบ คือ แผงวงจรพิมพ์ของวงจรถูกสร้างขึ้นด้วยเทคนิคการแกะสลักด้วยเลเซอร์ และแผงวงจรพิมพ์ของวงจรถูกจ่ายกำลังไฟ ทั้งนี้เพื่อลดการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และเพื่อให้ง่ายต่อการวางแผงวงจรลงบนแผ่นเครื่องไมโคร

การออกแบบแผงวงจรใช้เทคนิคนี้ ในขั้นแรกได้ทดลองทำแผงวงจรชนิดโดยใช้ เมาท์บอร์ด (Circuit stick) แล้วทำการทดลองการต่าง ๆ ของวงจรหนึ่งแบบ เมื่อได้ปรับปรุงเบ็ดเตล็ดของวงจรแล้วทำการทำแผงวงจรด้วยเทคนิคนี้ น่าพอใจ จึงได้อาศัยลักษณะการออกแบบวงจรเทคนิคนี้มาเป็นแบบมาตรฐาน (master) เพื่อทำไปตามเป็นแผงวงจรใหม่

เนื่องจากมีชิ้นส่วนต่าง ๆ ของวงจร เช่น วงจรไมโครและทรานซิสเตอร์ เป็นชิ้นส่วนที่อาจเสียหายโดยอุบัติเหตุ จึงได้ใช้ขาเสียบ (socket) ทำไปพร้อมกับไมโครชิป และระมัดระวังการขมบวม

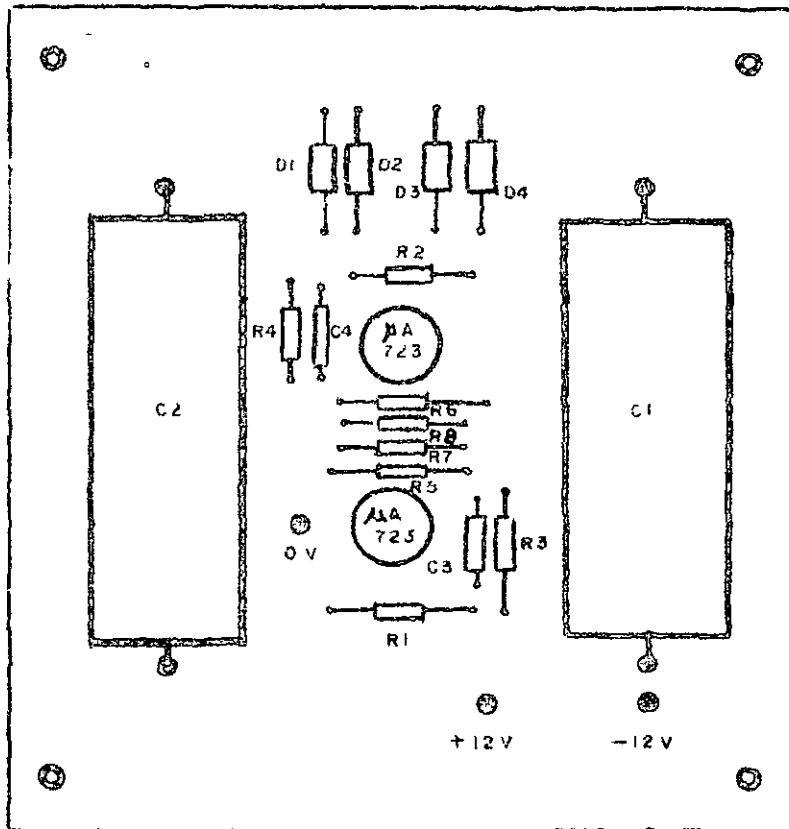
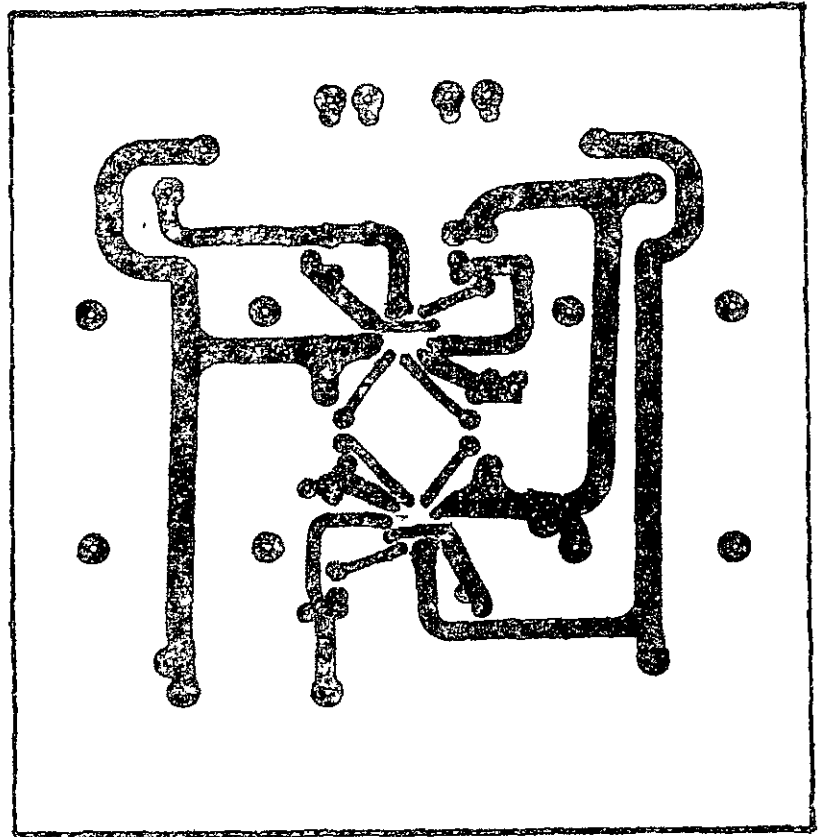


รูป 3.6 แผงวงจรพิมพ์ด้านล่างของวงจรภาคสร้างสัญญาณแกนเวลา



รูป 3.7 แผงวงจรพิมพ์ด้านบนและการวางชิ้นส่วนของวงจรภาคสร้างสัญญาณแกนเวลา

รูป 3.8
 แผนวงจรพิมพ์ด้านล่าง
 ของวงจรภาคจ่ายกำลังไฟ



รูป 3.9
 แผนวงจรพิมพ์ด้านบน
 และการวางชิ้นส่วน
 ของวงจรภาคจ่ายกำลังไฟ

3-2) การทดสอบการทำงานของเครื่องสร้างสัญญาณแอมพลิจูดเวลาเชิงเส้นตรง

เครื่องสร้างสัญญาณแอมพลิจูดเวลาเชิงเส้นตรงที่สร้างขึ้น ให้ทำการทดสอบการทำงาน
กับเครื่องบันทึกสัญญาณแอมพลิจูดเวลา Model 2000 Recorder ของ Houston

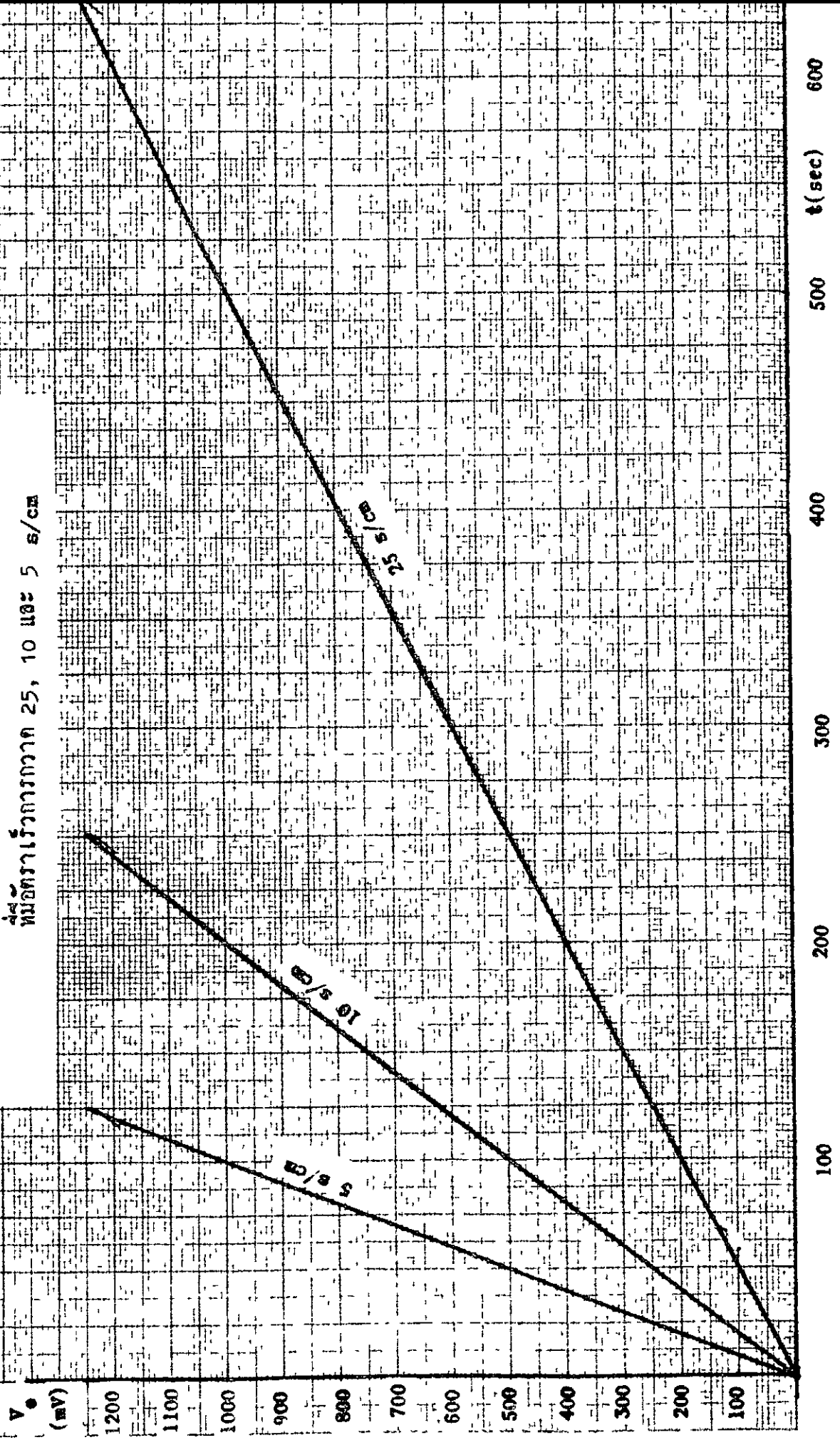
Instrument ซึ่งที่เครื่องสร้างสัญญาณแอมพลิจูดเวลาที่มีความแม่นยำ $\pm 1\%$ และลิเนียร์ที่
0.25 μ โดยการให้สัญญาณแอมพลิจูดจากเครื่องสร้างสัญญาณแอมพลิจูดเวลาเชิงเส้นตรง
เข้าทางแอมพลิจูดของเครื่องบันทึกสัญญาณดังกล่าว

หลังจากอบอุ่นเครื่อง (warm up) เครื่องสร้างสัญญาณแอมพลิจูดเวลาเชิงเส้นตรงและเครื่อง
บันทึกสัญญาณแอมพลิจูดเป็นเวลา 1 ชม. แล้ว ปรากฏผลการทดสอบดังรูป 3.10 (ก) และ (ข)
ซึ่งสรุปผลการทดลองไว้ดังนี้

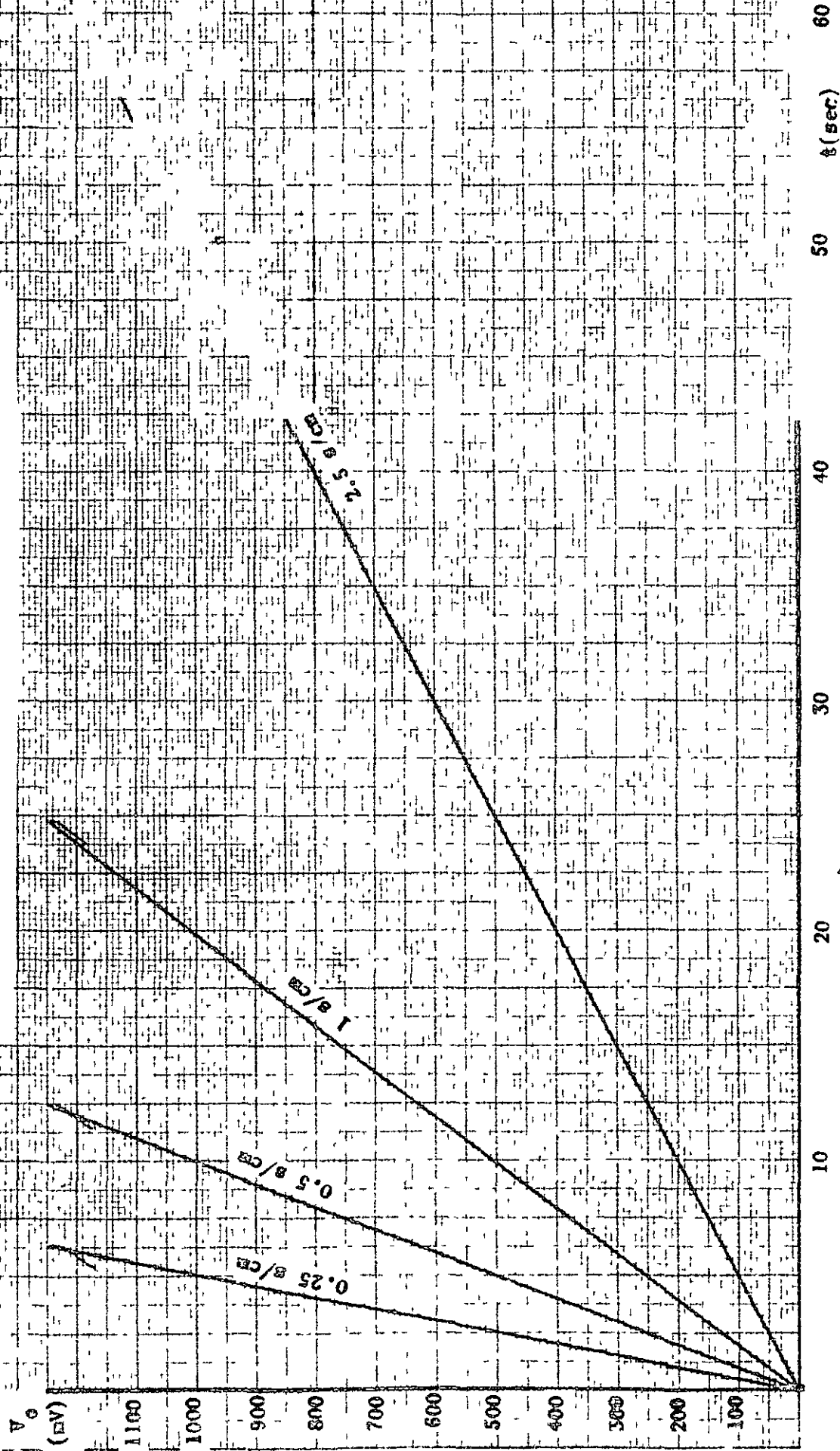
1) อัตราเร็วการกวาด	25 s/cm	หรือ	2 mV/s
ความแม่นยำ	$\pm 1.6 \%$		
ลิเนียร์	0.4 $\%$		
2) อัตราเร็วการกวาด	10 s/cm	หรือ	5 mV/s
ความแม่นยำ	$\pm 0.5 \%$		
ลิเนียร์	0.2 $\%$		
3) อัตราเร็วการกวาด	5 s/cm	หรือ	10 mV/s
ความแม่นยำ	$\pm 0.1 \%$		
ลิเนียร์	0.1 $\%$		
4) อัตราเร็วการกวาด	2.5 s/cm	หรือ	20 mV/s
ความแม่นยำ	$\pm 0.5 \%$		
ลิเนียร์	0.1 $\%$		

- 5) อัตราเร็วการกวาด 1 s/cm หรือ 50 $\mu\text{V/s}$
 ความแม่นยำ $\pm 1.0\%$
 ลื่นียริติ 0.1 %
- 6) อัตราเร็วการกวาด 0.5 s/cm หรือ 100 $\mu\text{V/s}$
 ความแม่นยำ $\pm 0.1\%$
 ลื่นียริติ 0.1 %
- 7) อัตราเร็วการกวาด 0.25 s/cm หรือ 200 $\mu\text{V/s}$
 ความแม่นยำ $\pm 1.0\%$
 ลื่นียริติ 0.1 %

รูป 3.10 (ก) ผลการทดสอบความแม่นยำและอเนกปริมาตรของสัญญาณแอมพลี
 หนึ่งหน่วยต่อเวลาการกวาด 25, 10 และ 5 s/cm



รูป 3.10 (ข) ผลการทดสอบความแม่นยำและดีเบริทของสัญญาณแรมท
 ทมอัตราเร็วการกวาด 2.5, 1, 0.5 และ 0.25 s/cm



3-3) การปรับแรงแจ้ง (Calibration) เครื่องสร้างสัญญาณเวลาเชิงเส้นตรง

เครื่องสร้างสัญญาณเวลาเชิงเส้นตรงที่สร้างขึ้นโดยนักการปรับแรงแจ้ง โดย
 เปรียบกับเครื่องบันทึกสัญญาณแอนะล็อก—วาม Model 2000 Recorder ของ Houston
 Instrument การปรับแรงแจ้งโดยปรับแรงแจ้งจากจุดเครื่อง 1 ซม. จุดปรับแรงแจ้ง
 ใดๆ มีดังนี้

3.1) การปรับออฟเซต (ปรับ R_6 รูป 3.4)

จากผลการทดลองพบว่า การปรับแรงแจ้งที่ถูกต้อง จะต้องให้ศักด้าวรอก
 ของวงจรอินทิเกรเตอร์ในขณะที่ยังไม่มีสัญญาณแรกเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด โดยที่ไม้มาก
 หรือ น้อยกว่า $\pm 100 \mu V$ การปรับออฟเซตที่เท่านี้ให้ศักด้าวรอกเปลี่ยนแปลงไป
 ประมาณ 10 mV จะทำให้ความแม่นยำของสัญญาณแรกที่มีอัตราเร็วการกวาด 25 s/cm
 กลายเคลื่อนไปประมาณ 5%

3.2) การปรับศักด้าวรอกไฟไบอัส (ปรับ R_{15} รูป 3.4)

จากผลการทดลองพบว่า ศักด้าวรอกไฟไบอัสที่พอดก้อยู่ในช่วง 0.48 ถึง
 0.52 v ความคลาดเคลื่อนจากการปรับศักด้าวรอกไฟไบอัสประมาณ 100 mV จะทำให้
 ความแม่นยำของสัญญาณแรกที่มีอัตราเร็วการกวาด 25 s/cm กลายเคลื่อนไปประมาณ 5%

3.3) การปรับศักด้าวรอกไฟเข้า (ปรับ R_6 รูป 3.4)

ศักด้าวรอกไฟเข้าจะเกิดโดยตรงต่ออัตราเร็วการกวาดของสัญญาณแรก
 ดังนั้นการปรับให้ถูกต้องควรที่ใกล้ค่าจริงไว้ ในตาราง 1

3.4) การปรับศักด้าวรอกไฟเทียบ (ปรับ R_{18} รูป 3.4)

ศักด้าวรอกเทียบจะเป็นตัวกำหนดอันพลิจดของสัญญาณแรก นำมาปรับเครื่อง
 สร้างสัญญาณเวลาเชิงเส้นตรง เครื่องนี้ ใกล้ค่าแท้ไว้ 1.25 v

บทสรุป อภิปรายผลและขอเสนอแนะ

4-1) บทสรุป

การออกแบบและสร้าง เครื่องสร้างสัญญาณแกนเวลาเชิงเส้นตรงนี้ มีความมุ่งหมาย เพื่อทำการพัฒนาวงจรสร้างสัญญาณแกนเวลาที่สามารถสร้างสัญญาณไฟฟ้าที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงกักคาไฟฟ้าเป็นปฏิภาคตรงกับเวลา โดยให้อัตราเร็วการกวาดเป็น 0.25, 0.5, 1, 2.5, 5, 10 และ 25 s/cm มีความแม่นยำ $\pm 2\%$ (เต็มสเกล) และลิเนียร์ที่ 0.5 % (เต็มสเกล) โดยวิธีขั้นส่วนของสารกึ่งตัวนำและวงจรมิคโรเป็นส่วนประกอบสำคัญ

วิธีดำเนินการ เพื่อพัฒนาวงจรสร้างสัญญาณแกนเวลา แบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

- 1) การพัฒนาและออกแบบวงจรอินทิเกรเตอร์ โดยใช่วงจรมิคโร $\mu A741C$ ออปแอมป์ เป็นส่วนประกอบสำคัญ ให้สามารถสร้างสัญญาณเรมพ์ที่มีลิเนียร์ที่สูงในขณะที่มีอัตราเร็วการกวาดคา
- 2) การพัฒนาและออกแบบวงจรสำหรับควบคุมการสร้างสัญญาณเรมพ์ โดยให้สามารถควบคุมได้จากเครื่องอนาลอกคอมพิวเทอร์
- 3) การพัฒนาและออกแบบวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าแก่วงจรทั้งหมด
- 4) การออกแบบและสร้างแผนวงจรพิมพ์ที่เหมาะสม เพื่อบรรจุชิ้นส่วนของวงจรทั้งหมด
- 5) การออกแบบและสร้างเรือนเครื่อง เพื่อบรรจุชิ้นส่วนและอุปกรณ์ทั้งหมดของเครื่อง

จากผลการพัฒนา ทำให้ได้เครื่องสร้างสัญญาณแกนเวลาที่มีคุณลักษณะสำคัญ
ดังต่อไปนี้

- 1) ใส้ชิ้นส่วนของสารกึ่งตัวนำทั้งหมดรวมทั้งวงจรไมโคร
- 2) สามารถให้สัญญาณแรมพ์ ที่มีอัตราเร็วการกวาดเป็น 0.25, 0.5, 1, 2.5, 5, 10 และ 25 s/cm มีความแม่นยำ $\pm 1.6\%$ ลิเนียร์ที่ 0.4%
- 3) สามารถทำงานไ้จากการควบคุมจากเครื่องอนาคคอกคอมพิวเตอร์ และสวิทช์ SWEEP, RESET ในตัวเครื่อง
- 4) ไข้ไ้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 - 60 Hz

4-2) การอภิปรายผล

ในการพัฒนาเครื่องสร้างสัญญาณแกนเวลาเชิงเส้นครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ประสบปัญหา
และปรากฏการณ์ ที่น่าสนใจดังนี้

- 1) การปรับออฟเซตโวลเตจและการปรับคักคาไฟไบอัสของวงจรไมโคร $\mu A741C$ จะมีผลต่อความแม่นยำของสัญญาณแรมพ์ โดยเฉพาะสัญญาณแรมพ์ที่มีอัตราเร็วการกวาดค่า (25 s/cm) ความผิดพลาดเนื่องจากการปรับออฟเซตโวลเตจเพียง 10 mV หรือคักคาไฟไบอัสเพียง 100 mV จะทำให้ความแม่นยำของสัญญาณแรมพ์ที่มีอัตราเร็วการกวาด 25 s/cm ผิดพลาดไปประมาณ 5% และของสัญญาณแรมพ์ที่มีอัตราเร็วการกวาดอื่นๆ ประมาณ 2%
- 2) ลิเนียร์ตีของสัญญาณแรมพ์ ไม่ขึ้นอยู่กับค่าคักคาของสัญญาณแรมพ์ จะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการกวาด จึงทำให้สัญญาณแรมพ์ขนาด 25 s/cm มีลิเนียร์ตีค่ากว่าสัญญาณแรมพ์ขนาดอื่นๆ
- 3) การอุ่นเครื่อง จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วการกวาด จากการทดลอง สำหรับสัญญาณแรมพ์ขนาด 25 s/cm เมื่ออุ่นเครื่อง 5 นาที กับเมื่ออุ่นเครื่อง 1 ชม. จะทำให้อัตราเร็วการกวาดเปลี่ยนไปประมาณ 5% ส่วนสัญญาณแรมพ์ขนาดอื่นๆเปลี่ยนแปลงค่ากว่า 1%

4) สัญญาณรบกวน (Noise) จะมีผลต่อลิเนียร์ตีของสัญญาณแรมซ์ขนาด 25 s/cm การใส่คาปาซิเตอร์ (C_4 ในรูป 3.4) เพื่อลดสัญญาณรบกวน จะทำให้ลิเนียร์ตีดีขึ้น ประมาณ 50 %

5) สัญญาณรบกวนจากการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างอื่น เช่น หัวแรงไฟฟ้า จะทำให้วงจรพลิก-ฟลอปเปลี่ยนภาวะง่ายมาก การใส่คาปาซิเตอร์ (C_5, C_6 และ C_7 ในรูป 3.4) เพื่อลดสัญญาณรบกวนดังกล่าว ทำให้การทำงานของวงจรควบคุมดีขึ้น

4-3) ข้อเสนอแนะ

เครื่องสร้างสัญญาณแกนเวลาเชิงเส้นตรงที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ อาจมีความสามารถ และประสิทธิภาพในการทำงานสูงกว่านี้ หากได้มีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงในส่วน ประกอบบางประการต่อไปนี้

1) การใส่ตัวความต้านทานที่มีค่าถูกต้องและมีค่าความผิดพลาด (error) น้อยในวงจรแบ่งศักดาของวงจรให้กักคา.ไฟฟ้าเขา. อาจช่วยให้ความแม่นยำในการกวาดของสัญญาณแรมพ์สูงขึ้น เพราะในการออกแบบครั้งนี้ ความต้านทานบางตัวมีค่าไม่ตรงตามที่คำนวณ และเป็นความต้านทานที่มีค่าความผิดพลาด 1 %

2) การทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Input Impedance) ของวงจรอินทิเกรเตอร์สูงขึ้น เช่นการขึ้นสวอนอีโวลูทอนิกส์ประเภท FET อาจช่วยลดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากกระแสออฟเซตที่ป้อนเข้า $\mu A741C$ ซึ่งจะทำให้ลิเนียร์ตีของสัญญาณแรมพ์ดีขึ้น

3) การควบคุมอุณหภูมิของวงจรไมโคร $\mu A741C$ โดยวิธีระบายความร้อนหรือวิธีอื่นๆ อาจช่วยให้ระบบการทำงานของวงจรไมโคร $\mu A741C$ เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นผลให้ความแม่นยำและลิเนียร์ตีของสัญญาณแรมพ์ดีขึ้น

4) จำนวนอัตราเร็วการกวาดของสัญญาณแรมพ์ อาจเพิ่มให้มากกว่า 7 ขนาดไค โดยการเพิ่มตัวความต้านทานและตัวคาปาซิเตอร์ที่เป็น PC time constant ในวงจรอินทิเกรเตอร์

บรรณานุกรม

REFERENCES

- Boophy, James J., Basic Electronic for Scientists, McGraw - Hill, New York, 1966, 471 pp.
- Melen, Roger, and Garland, Harry, Understanding IC Operational Amplifiers, The Bobbs - Merrill, Indianapolis, 1971, 128 pp.
- Millman, Jacob and Halkias, Christos C., Integrated Electronics, McGrawhill - Kogakusha, Tokyo, 1972, 911 pp.
- Millman, Jacob and Taub, Herbert, Pulse, Digital and Switching Waveforms, McGraw - Hill, New York, 1965, 958 pp.
- Moriyasu, H., "Time Base Generator with Automatic Control" Electrical & Electronics Abstract 73 : 1970, 273 pp.
- Rostky, George, Electronic Circuit Designed Handbook, United States of America, 1968, 317 pp.
- Serra, A., "New time base and A.F.C. circuit" Electrical & Electronics Abstract 75 : 1972, p. 1439
- Sharma, K.L., "A linear ramp voltage generator using transistor" Electrical & Electronic Abstract 74 : 1971, p. 460
- Shvaprasad, A.P., "The simulated PNP switch makes the bootstrap sweep

generator free running", Electrical & Electronic Abstract, 76 :
1973, p.898

Smith, Langford F., Radio Designer's Handbook, ILIFFE & Sons, London,
1953, 1482 pp.

Stern, Lothar, Fundamental of Integrated Circuits, Hayden Book Co., New
York, 1968, 198 pp.

Wedlock, John, Electronic Instrument, McGraw - Hill, New York, 1969,
213 pp.

ကာကွယ်ရေး

ภาคผนวก ก

การคำนวณวงจรภาคสร้างสัญญาณแกนเวลา

การหาค่าศักดาไฟฟ้าเข้าของวงจรอินทิเกรเตอร์

จากอัตราเร็วการกวาดของสัญญาณแรมพีที่ต้องการ คือ 0.25, 0.5, 1, 2.5, 5, 10 และ 25 ns/cm โดยให้วาคไปบนกระดาษกราฟขาว 25 ซม. เมื่อกำหนดให้ ศักดาแรมพีสูงสุดที่ 5 V ก็สามารถคิดอัตราเร็วการกวาดเป็น nV/s ได้ เท่ากับ 800, 400, 200, 80, 40, 20, และ 8 nV/s ตามลำดับ

ดังนั้นเมื่ออัตราเร็วการกวาด = $\frac{V_o}{t} = \frac{V_i}{RC}$ จึงสามารถคำนวณหาศักดาไฟฟ้าเข้า V_i ที่ต้องการ ดังต่อไปนี้

1) เมื่อเลือก ให้ $R = 12 \text{ k}\Omega$ $C = 0.1 \text{ }\mu\text{F}$ และ $V_o = 5 \text{ V}$ จะได้อาค V_i สำหรับอัตราเร็วการกวาด 800, 400 และ 200 nV/s เป็น 0.96, 0.48 และ 0.24 V ตามลำดับ

2) เมื่อเลือกให้ $R = 12 \text{ k}\Omega$ $C = 1.0 \text{ }\mu\text{F}$ และ $V_o = 5 \text{ V}$ จะได้อาค V_i สำหรับอัตราเร็วการกวาด 80, 40, 20 และ 8 nV/s เป็น 0.96, 0.48, 0.24 และ 0.096 V ตามลำดับ

นั่นคือ ศักดาไฟฟ้าเข้าที่ตองการมี 4 ขนาด คือ 0.96, 0.48, 0.24 และ 0.096 V

การหาค่า R1-R6 (รูป 3.4)

R1-R6 เป็นตัวแบ่งศักดาไฟฟ้าเข้า ให้ได้ตามที่ค่าแรมไว้

โดยที่ ศักดาที่มีเนอร์ V_z ของ D1 (IN821) = 6 V จึงสามารถคำนวณหาอัตราส่วนของ R1-R6 ได้ดังนี้

$$\frac{R_1}{R} = \frac{.096}{6}, \frac{R_2}{R} = \frac{.24}{6}, \frac{R_3}{R} = \frac{.48}{6}, \frac{R_4}{R} = \frac{.96}{6}$$

เมื่อ $R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6$

เพราะฉะนั้น $R_1 : R_2 : R_3 : R_4 = 1 : 1.5 : 2.5 : 5$

เมื่อเลือก ให้ $R_1 = 220$

$\therefore R_2 = 330 \Omega, R_3 = 550 \Omega, R_4 = 1.1 k\Omega$ และ $R_5 + R_6 = 11.2 k\Omega$

การหาค่า R_{14}, R_{15} (รูป 3.4)

R_{14} และ R_{15} เป็นตัวแบ่งศักดาสำหรับไฟโอสวางจรไมโคร $\mu A741C$

จากการทดลอง ศักดาไบอัสที่เหมาะสมจะไม่เกิน $0.6 V$ จึงเลือกให้ $R_{14} = 1 k\Omega$

และ $R_{15} = 10 k\Omega$

การหาค่า R_7, R_{16} และ R_{17} (รูป 3.4)

R_7, R_{16} และ R_{17} เป็นตัวความต้านทานสำหรับคุมกระแสไบอัสของซีเนอร์ไดโอด
ที่ใช้ การหาค่าความต้านทานสำหรับคุมกระแสไบอัสของซีเนอร์ไดโอด เพื่อให้ซีเนอร์ไดโอด
ทำงานอยู่ใน breakdown region นั้น หาได้จากสูตร

$$R = \frac{V_C - V_Z}{I_L + I_{zk}} \dots \dots (1)$$

เมื่อ $R =$ ค่าตัวความต้านทานที่คุมกระแสไบอัส

$V_C =$ ศักดาของแหล่งจ่ายไฟ = $12 V$

$V_Z =$ ศักดาซีเนอร์ (Zener Voltage) สำหรับ $1N821 = 6 V$

$I_{zk} =$ กระแสซีเนอร์ขึ้นค่า สำหรับ $1N821 = 0.6 mA$

$I_L =$ กระแสที่นานโหลด $R_L = \frac{V_Z}{R_L}$

จากสมการ (1) และ R_L ในวงจรที่มี R_7, R_{16} และ R_{17} เป็น 13.4, 11

และ $10 k\Omega$ ตามลำดับ จึงสามารถคำนวณได้ว่า $R_7 = 1 k\Omega, R_{16} = 1 k\Omega$

และ $R_{17} = 820 \Omega$

การหาค่า R_{23} , R_{24} และ R_{25} (รูป 3.4)

R_{23} , R_{24} และ R_{25} เป็นตัวกำหนดกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ ให้มีขนาดพอเหมาะ ที่จะทำให้อักรีสวิตช์ในวงจรคอลเลกเตอร์ทำงาน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$I_b = \frac{I_k}{h_{FE}} \dots\dots\dots(2)$$

$$V_b = I_b R_b + V_{BE} \dots\dots(3)$$

เมื่อ I_b = กระแสเบสในขณะที่ทรานซิสเตอร์นำกระแส

I_c = กระแสในคอลเลกเตอร์ ที่พอดีในการขับเคลื่อนให้ทำงาน
ซึ่งรีดิวท์ทั้งสามต้องการ = 12.5 mA

h_{FE} = อัตรารายยกระแสตรง (D C Current Gain)

สำหรับ MPS3706 = 30

V_b = ศักยภาพไฟฟ้าเข้าที่เบส ซึ่งก็คือศักยภาพไฟฟ้าออกจากวงจรฟิลิป-ฟลอป
ในขณะที่อยู่ในภาวะสูง = 5 V

V_{BE} = ศักการะหว่าง เบสและอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส

สำหรับ MPS3706 = 0.7 V

R_b = ความต้านทานที่กำหนดกระแสเบส ซึ่งได้แก่ R_{23} , R_{24} หรือ R_{25}

จากสมการ(2)และ(3) หาก R_{23} , R_{24} และ R_{25} ได้ประมาณ 10 k Ω

ภาคผนวก ข

การคำนวณวงจรภาคจ่ายกำลังไฟ

การหาลำดับและทิศทางของการจ่ายของแหล่งจ่ายกำลังไฟ

ในวงจรภาคสร้างสัญญาณแกมเวลาที่ออกแบบไว้ ทิศทางการศึกษาและกระแสการจ่าย โดยประมาณดังนี้

- 1) แหล่งจ่ายกำลังไฟ + 12 V จ่ายกระแสรวม 60.1 mA ก็คือ
 - สำหรับ $\mu A741C$ 20 mA
 - สำหรับ $\mu A710$ 15 mA
 - สำหรับวงจรให้ศักดาไบอัส ซึ่งใช้ซีเนอร์ D_2 (1N821) เป็นตัวจ่าย 6 mA
 - สำหรับวงจรตั้งศักดาเทียบในคอมพาราเตอร์ ซึ่งใช้ซีเนอร์ D_3 (1N821) เป็นตัวจ่าย 6.6 mA
 - สำหรับวงจรตัวขับ รีลีสวิตช์ 3 12.5 mA
- 2) แหล่งจ่ายกำลังไฟ - 12 V จ่ายกระแสรวม 26 mA ก็คือ
 - สำหรับ $\mu A741C$ 20 mA
 - สำหรับวงจรให้ศักดาไฟฟ้าเข้า ซึ่งใช้ซีเนอร์ D_1 เป็นตัวจ่าย 6 mA
- 3) แหล่งจ่ายกำลังไฟ + 5 V จ่ายกระแสรวม 27.5 mA ก็คือ
 - สำหรับ IC848P 15 mA
 - สำหรับวงจรตัวขับรีลีสวิตช์ 1 และ 2 12.5 mA (ทำงานไม่พร้อมกัน)
- 4) แหล่งจ่ายกำลังไฟ - 6 V จ่ายกระแสรวม 15 mA ก็คือ
 - สำหรับ $\mu A710$ 15 mA

จากการที่ได้ใช้ D_5 (1N4734A) เป็นตัวจ่ายกำลังไฟศักดา + 5 V และ D_6 (1N821) เป็นตัวจ่ายกำลังไฟศักดา - 6 V ทำให้สามารถลดจำนวนทิศทางการจ่ายเหลือเพียง + 12 V และ - 12 V ซึ่งรวมจ่ายกระแสเป็น 90 mA และ 50 mA ตามลำดับ (โดยประมาณ)

การหาค่า R_9 และ R_{10} (รูป 3.5)

R_9 และ R_{10} เป็นตัวกั้นกระแสไบอัสของ D_5 (1N4734A) และ D_6 (1N821) ตามลำดับ การหาค่า R_9 และ R_{10} จึงใช้วิธีเกี่ยวกับการหาค่า R_7 , R_{16} และ R_{17} ที่ใกล้เข้ามาแล้วในภาควงจรสร้างสัญญาณแทนเวลา โดยวิธีเดียวกันนี้จึงสามารถคำนวณหาค่า $R_9 = 220 \Omega$ และ $R_{10} = 330 \Omega$ (โดยประมาณ)

การหาค่า R_3 , R_5 และ R_7 (รูป 3.5)

R_3 และ R_5 เป็นตัวตั้งศักดาการจ่าย + 12 V หากำไ้จากสมการ

$$\frac{R_5}{R_3 + R_5} = \frac{V_R}{12} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ $V_R = 7.20 \text{ V}$ (จากการวัด $\mu\text{A} 723^{\text{th}}$)

R_7 เป็นตัวจำกัดกระแสจากวงจรศักดาเทียบไปยังทางเข้าของเออเรียร์แอมพลิฟายเออร์ หากำไ้จากสมการ

$$R_7 = \frac{R_3 R_5}{R_3 + R_5} \dots\dots\dots(2)$$

จากสมการ(1)และ(2) สามารถคำนวณหาค่า R_3 , R_5 และ R_7 ได้เท่ากับ 18, 27 และ 10 $\text{k}\Omega$ ตามลำดับ (โดยประมาณ)

การหาค่า R_4 , R_6 และ R_8 (รูป 3.5)

R_4 และ R_6 เป็นตัวตั้งศักดาการจ่าย - 12 V หากำไ้จากสมการ(1) เช่นกัน แต่เนื่องจาก ศักดาเทียบ V_R ของ $\mu\text{A} 723^{\text{th}}$ = 7.15 V จึงได้เลือกค่า $R_4 = 15 \text{ k}\Omega$ และ $R_6 = 22 \text{ k}\Omega$ ส่วน R_8 คำนวณตามสมการ(2) ได้เท่ากับ 10 $\text{k}\Omega$ (โดยประมาณ)

การหาค่า R_1 และ R_2 (รูป 3.5)

R_1 และ R_2 เป็นตัวป้องกันการจ่ายกระแสเกิน ของวงจรไมโคร $\mu A 723$

จากลักษณะภายในของวงจรไมโคร $\mu A 723$ ตัวความต้านทานที่ทำหน้าที่ป้องกันการจ่ายกระแสเกิน R_S ต่อกรอมอยู่ระหว่างเบสและอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ป้องกันการจ่ายกระแสเกิน ซีร์ฟาสทรานซิสเตอร์ จะตัดกำลังไฟทันทีเมื่อศักดาประหวางเบสและอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ป้องกันการจ่ายกระแสเกิน เท่ากับ $0.6 V$

การคำนวณหาค่า R_S โดยประมาณ อาจหาได้จากสมการ

$$I_L R_S = 0.6 \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ R_1 เป็นตัวป้องกันการจ่ายกระแสเกินของ $\mu A 723^1$ ซึ่งมี $I_L = 90 mA$ จึงคำนวณได้ 5Ω (โดยประมาณ)

และ R_2 เป็นตัวป้องกันการจ่ายกระแสเกิน $\mu A 723^2$ ซึ่งมี $I_L = 50 mA$ จึงคำนวณได้ 10Ω (โดยประมาณ)

หมายเหตุ $\mu A 723^1$ คือ $\mu A 723$ ที่เรีอกุเลขศักดิ์ดาการจ่าย $+12 V$
 $\mu A 723^2$ คือ $\mu A 723$ ที่เรีอกุเลขศักดิ์ดาการจ่าย $-12 V$

ภาคผนวก ก

การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

การหาศักดาไฟฟ้าออกของขดทุติยภูมิ

จาก $V_m = V_{dc} + \frac{I_{dc}}{4fC}$ (Millman & Halkias, 1972 : 133)

เมื่อ V_{dc} = ศักดาไฟฟ้าตรงก่อนเข้าวงจรเร็กกูเลเตอร์ กำหนดให้สูงกว่าศักดาการจ่ายจริง 6 v จึงเท่ากับ 18 v

I_{dc} = กระแสการจ่าย (I_L) กำหนดให้สูงกว่าในจริง ให้เป็น 20 mA

f = ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz

C = ค่าคาปาซิเตอร์ที่เป็นตัวกรอง = 1000 μ F

V_m = ศักดาสูงสุดของไฟฟ้าสลับ (Peak Voltage)

$\therefore V_m = 18.6 \text{ V}$

และ $V_{rms} = V_m/1.41 = 13 \text{ V}$

เมื่อรวมกับศักดาไฟฟ้าตก (Voltage Drop) กรอม ไคโอดิโกลไฟลายเออร์

= 1 v ศักดาไฟฟ้าออก (V_{rms}) ของขดทุติยภูมิ 14 v

การหาค่าพลังงานการจ่ายของขดทุติยภูมิ

1. กำลังไฟฟ้าที่หองการ $12 \text{ V} \cdot 120 \text{ mA} = 1.4 \text{ W}$

กำลังไฟฟ้าที่เสียไปในเรกติฟายเออร์ $1 \text{ V} \cdot 120 \text{ mA} = 0.1 \text{ W}$

กำลังไฟฟ้าที่เสียไปในเร็กกูเลเตอร์ $6 \text{ V} \cdot 120 \text{ mA} = 0.7 \text{ W}$

กำลังการจ่ายของขดทุติยภูมิ 2 ขด = $2 \cdot 2.2 = 4.4 \text{ W}$

การหากระแสขาทางชดปรุณภูมิ

โไฟประสิทธิภาพของหมอบแปลง = 75 % โดยประมาณ

$$\text{กำลังไฟกานปรุณภูมิ} = \frac{W_s}{\sqrt{\eta}} = \frac{4.4}{\sqrt{.75}} = 5.3 \text{ W}$$

$$\text{กระแสขาทางชดปรุณภูมิ} = \frac{W_p}{E_p} = \frac{5.3}{220} = 25 \text{ mA}$$

การหาขนาดเงินที่หน้าคักของแกน

$$\text{พ.ท. หน้าคักของแกน} = \sqrt{\frac{W}{5.5}} = \sqrt{\frac{4.4}{5.5}} = .38 \text{ sq. in.}$$

$$\text{เดืออกใจแกนขนาด} \quad 5/8" + 5/8" = .39 \text{ sq. in.}$$

การหาจำนวนรอบของชดลวก

1. ชดปรุณภูมิ

$$\begin{aligned} \text{จำนวนรอบ}(N_p) &= \frac{E_p \times 10^8}{4fBA} = \frac{220 \times 10^8}{4 \times 50 \times 84000 \times .39} \\ &= 3270 \quad \text{รอบ} \end{aligned}$$

2. ชดทศิณภูมิ

$$\begin{aligned} \text{จำนวนรอบ} &= \frac{E_s \cdot N_p}{E_p \cdot \sqrt{\eta}} = \frac{14 \times 3270}{220 \times \sqrt{.75}} \\ &= 240 \quad \text{รอบ} \end{aligned}$$

$$\therefore N_{s1} = 480 \quad \text{รอบ}$$

$$N_{s2} = 480 \quad \text{รอบ}$$

การหาขนาดของเส้นลวด

1. ชกปฐมภูมิ กระแสเข้า = 25 mA
 ในกระแสเข้า 1 A ทอพ.ท.หน้าตัดของเส้นลวด 600 circular mils
 ∴ พ.ท.หน้าตัดของเส้นลวด 15 circular mils
 เลือกใช้ลวด No 42 S.W.G. ซึ่งมีพ.ท.หน้าตัด 16 circular mils
2. ชกทุติยภูมิ กระแสออกในแต่ละขั้วของแต่ละขด 60 mA
 ในกระแสเข้า 1 A ทอพ.ท.หน้าตัดของเส้นลวด 600 circular mils
 ∴ พ.ท.หน้าตัดของเส้นลวด 36 circular mils
 เลือกใช้ลวด No 37 S.W.G. ซึ่งมีพ.ท.หน้าตัด 46.42 circular mils

หมายเหตุ

- V_{rms} = ค่า RMS (Root Mean Square) ของศักดาไฟฟ้าสลับ
- E_p = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเข้าทางชกปฐมภูมิ
- E_s = แรงเคลื่อนไฟฟ้าออกทางชกทุติยภูมิ
- B = ความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็ก ในแกนของหม้อแปลงไฟฟ้า
- A = พื้นที่หน้าตัดของแกนหม้อแปลงไฟฟ้า
- η = ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า
- N_p = จำนวนรอบของชกลวดคานปฐมภูมิ
- N_s = จำนวนรอบของชกลวดคานทุติยภูมิ
- W_p = กำลังไฟฟ้าคานปฐมภูมิ
- W_s = กำลังไฟฟ้าคานทุติยภูมิ

ภาคผนวก ง

ลักษณะสำคัญของวงจรมอเตอร์ไซค์

LINEAR INTEGRATED CIRCUITS

DESCRIPTION

The μ A741 is a high performance operational amplifier with high open loop gain, internal compensation, high common mode range and exceptional temperature stability. The μ A741 is short circuit protected and allows for nulling of offset voltage.

FEATURES

- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OFFSET VOLTAGE NULL CAPABILITY
- EXCELLENT TEMPERATURE STABILITY
- HIGH INPUT VOLTAGE RANGE
- NO LATCH-UP

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

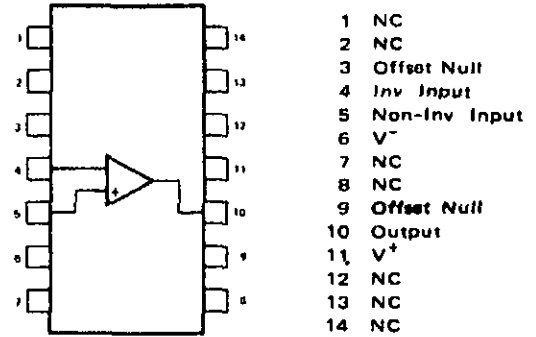
	μ A741C	μ A741
Supply Voltage	$\pm 18V$	$\pm 22V$
Internal Power		
Dissipation (Note 1)	500mW	500mW
Differential Input Voltage	$\pm 30V$	$\pm 30V$
Input Voltage (Note 2)	$\pm 15V$	$\pm 15V$
Voltage between Offset Null and V^-	$\pm 0.5V$	$\pm 0.5V$
Operating Temperature		
Range	$0^\circ C$ to $+70^\circ C$	$-55^\circ C$ to $+125^\circ C$
Storage Temperature		
Range	$-65^\circ C$ to $+150^\circ C$	$-65^\circ C$ to $+150^\circ C$

Lead Temperature (Solder, 60 sec)	$300^\circ C$	$300^\circ C$
Output Short Circuit Duration (Note 3)	Indefinite	Indefinite

- Notes
- 1 Rating applies for case temperatures to $125^\circ C$ derate linearly at $5mW/^\circ C$ for ambient temperatures above $+75^\circ C$
 - 2 For supply voltages less than $\pm 15V$ the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage
 - 3 Short circuit may be to ground or either supply. Rating applies to $+125^\circ C$ case temperature or $+75^\circ C$ ambient temperature

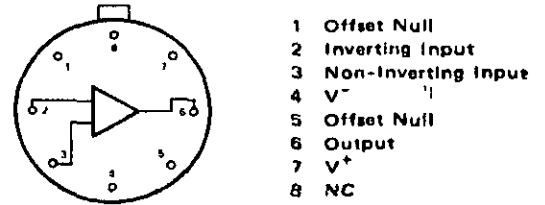
PIN CONFIGURATIONS

A PACKAGE (Top View)



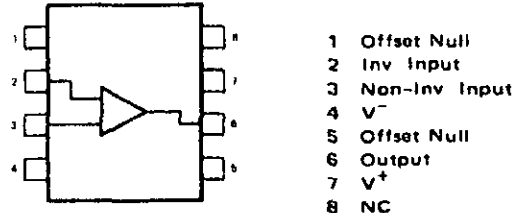
ORDER PART NO μ A741CA

T PACKAGE



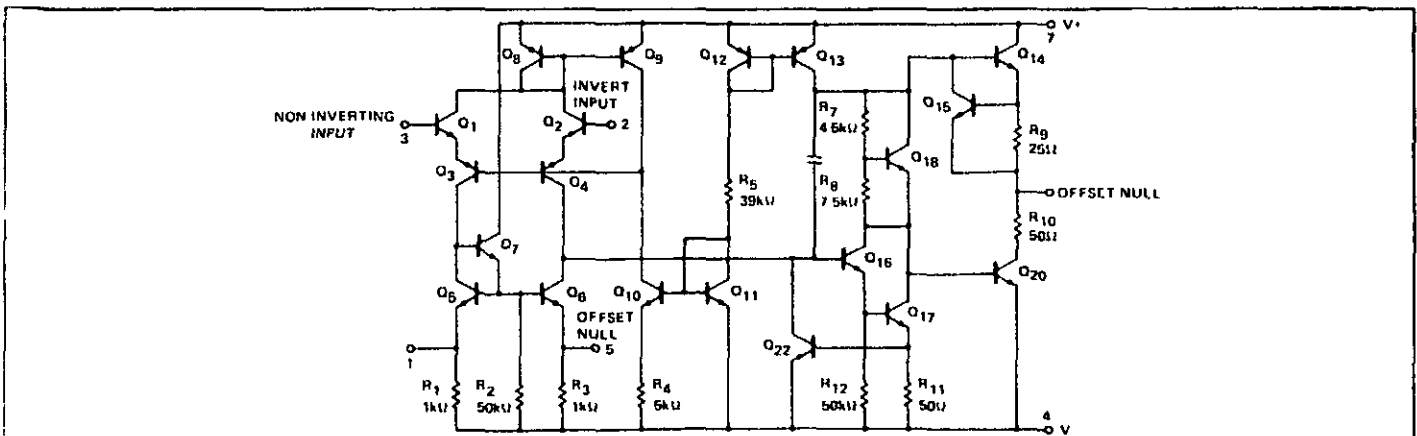
ORDER PART NOS μ A741T/ μ A741CT

V PACKAGE



ORDER PART NO μ A741CV

EQUIVALENT CIRCUIT



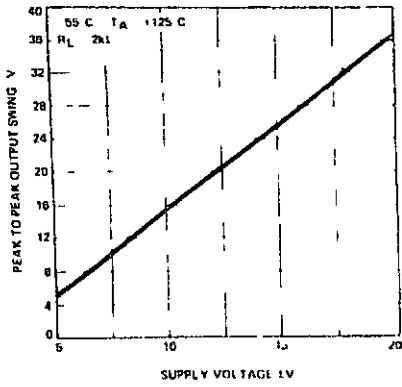
SIGNETICS ■ μ A741 – HIGH PERFORMANCE OPERATIONAL AMPLIFIER

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise specified)

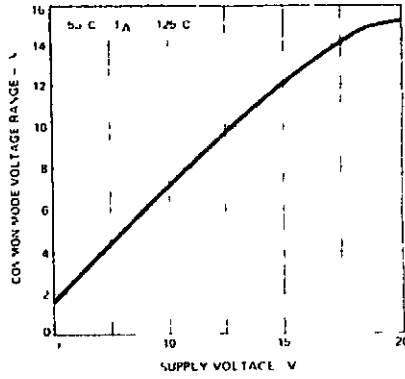
PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNITS	TEST CONDITIONS
μA741C					
Input Offset Voltage		2.0	6.0	mV	$R_S < 10k\Omega$
Input Offset Current		20	200	nA	
Input Bias Current		80	500	nA	
Input Resistance	0.3	2.0		M Ω	
Input Capacitance		1.4		pF	
Offset Voltage Adjustment Range		± 15		mV	
Input Voltage Range	± 12	± 13		V	
Common Mode Rejection Ratio	70	90		dB	$R_S < 10k\Omega$
Supply Voltage Rejection Ratio		10	150	$\mu V/V$	$R_S < 10k\Omega$
Large-Signal Voltage Gain	20,000	200,000			$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Voltage Swing	± 12 ± 10	± 14 ± 13		V V	$R_L > 10k\Omega$ $R_L > 2k\Omega$
Output Resistance		75		Ω	
Output Short Circuit Current		25		mA	
Supply Current		1.4	2.8	mA	
Power Consumption		50	85	mW	
Transient Response (unity gain)					$V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L < 100pF$
Risetime		0.3		μs	
Overshoot		5.0		%	
Slew Rate		0.5		V/ μs	$R_L > 2k\Omega$
The following specifications apply for $0^\circ C < T_A < +70^\circ C$					
Input Offset Voltage			7.5	mV	
Input Offset Current			300	nA	
Input Bias Current			800	nA	
Large Signal Voltage Gain	15,000				$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Voltage Swing	± 10	± 13		V	$R_L > 2k\Omega$
μA741					
Input Offset Voltage		1.0	5.0	mV	$R_S < 10k\Omega$
Input Offset Current		10	200	nA	
Input Bias Current		80	500	nA	
Input Resistance	0.3	2.0		M Ω	
Input Capacitance		1.4		pF	
Offset Voltage Adjustment Range		± 15		mV	
Large-Signal Voltage Gain	50,000	200,000			$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Resistance		75		Ω	
Output Short Circuit Current		25		mA	
Supply Current		1.4	2.8	mA	
Power Consumption		50	85	mW	
Transient Response (unity gain)					$V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L < 100pF$
Risetime		0.3		μs	
Overshoot		5.0		%	
Slew Rate		0.5		V/ μs	$R_L > 2k\Omega$
The following specifications apply for $-55^\circ C < T_A < +125^\circ C$					
Input Offset Voltage		1.0	6.0	mV	$R_S < 10k\Omega$
Input Offset Current		7.0	200	nA	$T_A = +125^\circ C$
		20	500	nA	$T_A = -55^\circ C$
Input Bias Current		0.03	0.5	μA	$T_A = +125^\circ C$
		0.3	1.5	μA	$T_A = -55^\circ C$
Input Voltage Range	± 12	± 13		V	
Common Mode Rejection Ratio	70	90		dB	$R_S < 10k\Omega$
Supply Voltage Rejection Ratio		10	150	$\mu V/V$	$R_S < 10k\Omega$
Large Signal Voltage Gain	25,000				$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Voltage Swing	± 12 ± 10	± 14 ± 13		V V	$R_L > 10k\Omega$ $R_L > 2k\Omega$
Supply Current		1.5	2.5	mA	$T_A = +125^\circ C$
		2.0	3.3	mA	$T_A = -55^\circ C$
Power Consumption		45	75	mW	$T_A = +125^\circ C$
		45	100	mW	$T_A = -55^\circ C$

TYPICAL CHARACTERISTIC CURVES

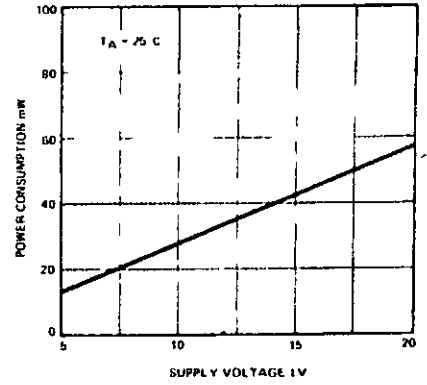
OUTPUT VOLTAGE SWING AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE



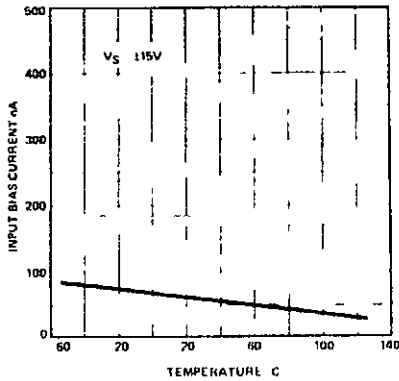
INPUT COMMON MODE VOLTAGE RANGE AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE



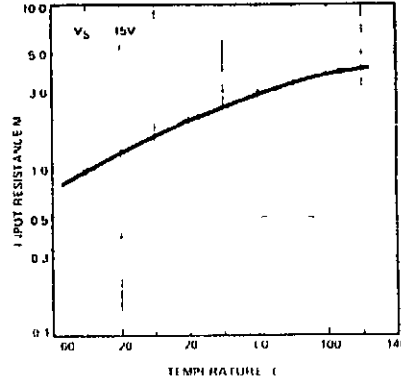
POWER CONSUMPTION AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE



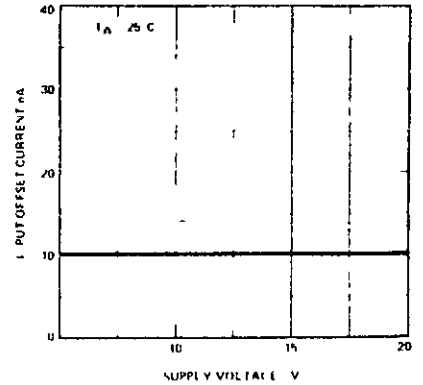
INPUT BIAS CURRENT AS A FUNCTION OF AMBIENT TEMPERATURE



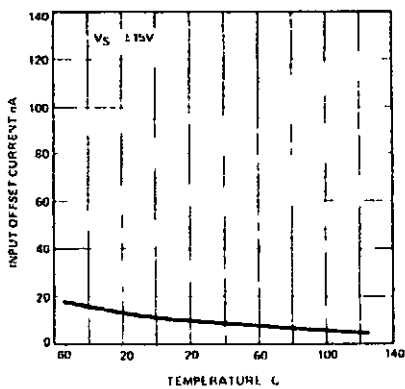
INPUT RESISTANCE AS A FUNCTION OF AMBIENT TEMPERATURE



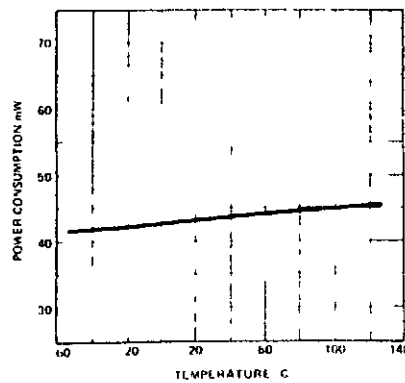
INPUT OFFSET CURRENT AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE



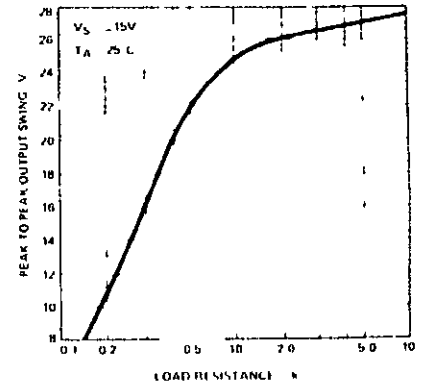
INPUT OFFSET CURRENT AS A FUNCTION OF AMBIENT TEMPERATURE



POWER CONSUMPTION AS A FUNCTION OF AMBIENT TEMPERATURE



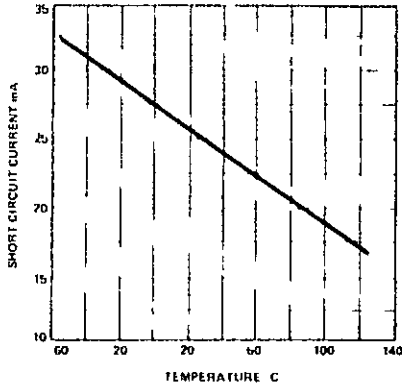
OUTPUT VOLTAGE SWING AS A FUNCTION OF LOAD RESISTANCE



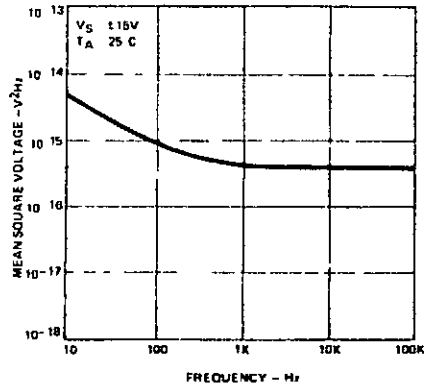
SIGNETICS ■ μ A741 – HIGH PERFORMANCE OPERATIONAL AMPLIFIER

TYPICAL CHARACTERISTIC CURVES (Cont'd)

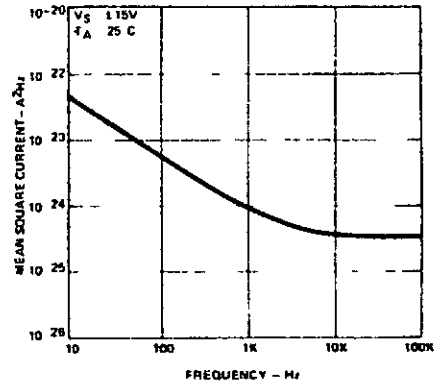
OUTPUT SHORT-CIRCUIT CURRENT AS A FUNCTION OF AMBIENT TEMPERATURE



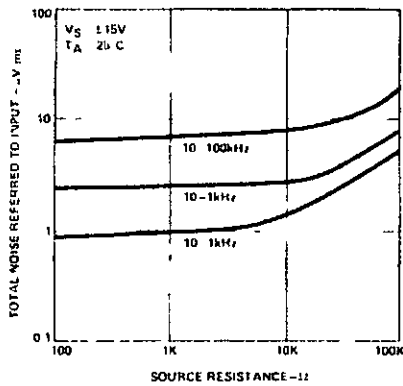
INPUT NOISE VOLTAGE AS A FUNCTION OF FREQUENCY



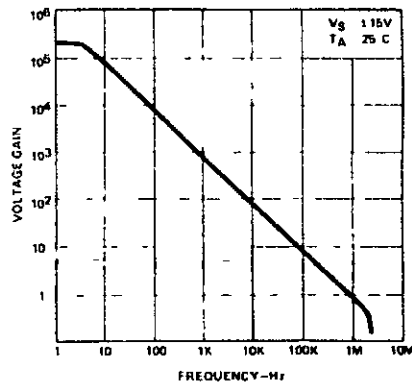
INPUT NOISE CURRENT AS A FUNCTION OF FREQUENCY



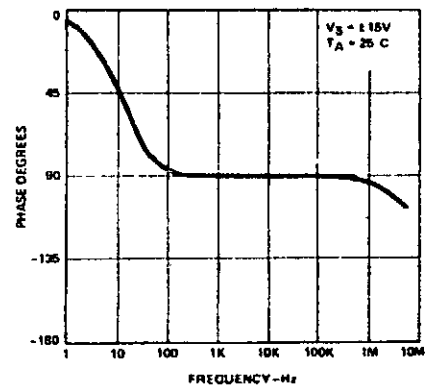
BROADBAND NOISE FOR VARIOUS BANDWIDTHS



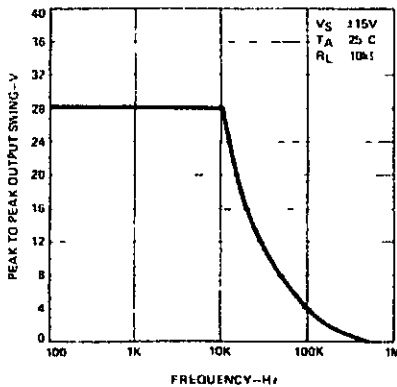
OPEN LOOP VOLTAGE GAIN AS A FUNCTION OF FREQUENCY



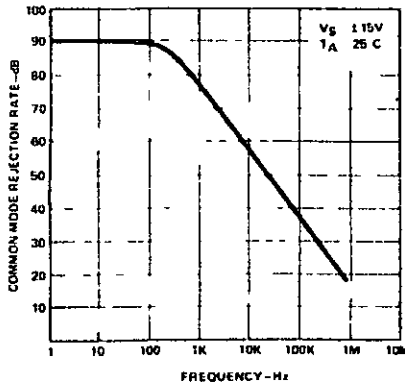
OPEN LOOP PHASE RESPONSE AS A FUNCTION OF FREQUENCY



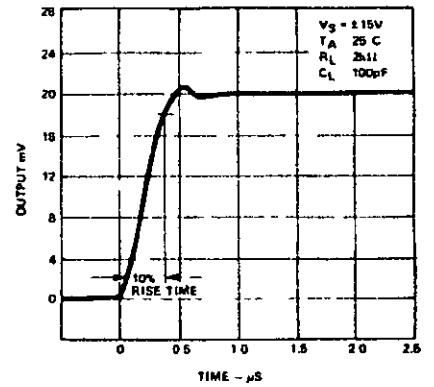
OUTPUT VOLTAGE SWING AS A FUNCTION OF FREQUENCY



COMMON MODE REJECTION RATIO AS A FUNCTION OF FREQUENCY



TRANSIENT RESPONSE



LINEAR INTEGRATED CIRCUITS

DESCRIPTION

The $\mu A710$ is a High Speed Differential Voltage Comparator featuring low offset voltage, high sensitivity and a wide input voltage range. It is ideally suited for use as a pulse height discriminator, an analog comparator or a digital line receiver. The output structure of the $\mu A710$ is compatible with DTL, TTL and Utlogic integrated circuits.

The $\mu A710$ is specified for operation over the MIL temperature range of -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$. The $\mu A710\text{C}$ is specified for operation over the commercial/industrial temperature range of 0°C to $+75^{\circ}\text{C}$.

FEATURES

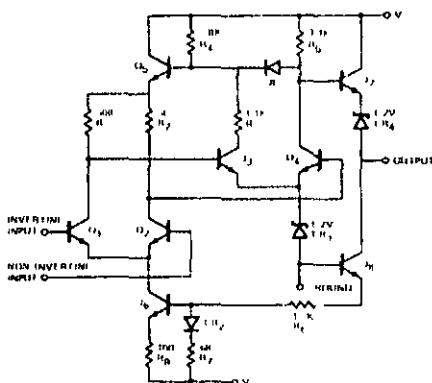
- FAST RESPONSE - 40ns
- HIGH SENSITIVITY - 17V/mv
- LOW OFFSET VOLTAGE TEMPERATURE COEFFICIENT - $35\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
- HIGH INPUT VOLTAGE RANGE - $\pm 5\text{V}$

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

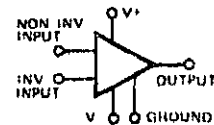
Positive Supply Voltage	+14.0V
Negative Supply Voltage	-7.0V
Peak Output Current	10mA
Differential Input Voltage	$\pm 5.0\text{V}$
Input Voltage	$\pm 7.0\text{V}$
Internal Power Dissipation (Note 4)	
TO-99	300mW
TO-91	200mW
Operating Temperature Range	
$\mu A710$	-55°C to $+125^{\circ}\text{C}$
$\mu A710\text{C}$	0°C to $+75^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range	-65°C to $+150^{\circ}\text{C}$
Lead Temperature (Soldering, 60 sec)	300°C

Maximum Ratings are limiting values above which serviceability may be impaired.

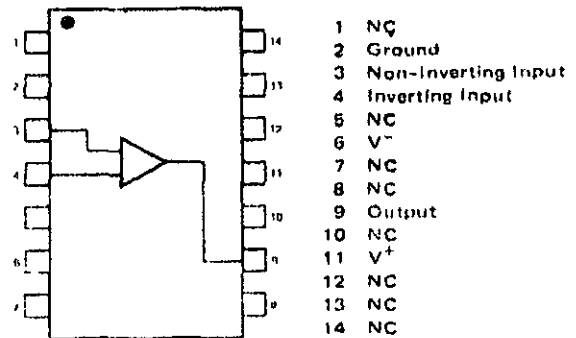
BASIC CIRCUIT SCHEMATIC



PIN CONFIGURATION

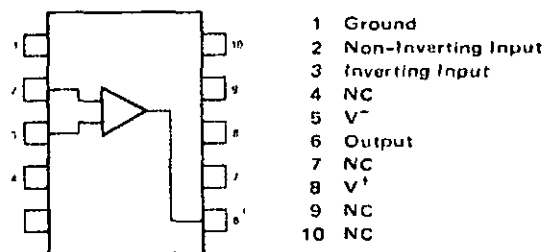


A PACKAGE (Top View)



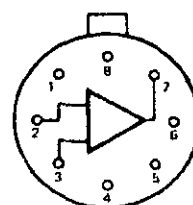
ORDER PART NOS $\mu A710A/\mu A710CA$

G PACKAGE



ORDER PART NOS $\mu A710G/\mu A710CG$

T PACKAGE



ORDER PART NOS $\mu A710T/\mu A710CT$

SIGNETICS • μ A710 – DIFFERENTIAL VOLTAGE COMPARATOR

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 1)

(Standard Conditions $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V^+ = 12\text{V}$, $V^- = -6\text{V}$ unless otherwise specified)

PARAMETERS	TEST CONDITIONS	MIN		TYP		MAX		UNITS
		μ A710	μ A710C	μ A710	μ A710C	μ A710	μ A710C	
Input Offset Voltage	$R_S \leq 200\Omega$ Note 3			0.6	1.6	2.0	5.0	mV
Input Offset Current	Note 3			0.75	1.8	3.0	5.0	μ A
Input Bias Current				1.3	1.6	2.0	2.5	μ A
Voltage Gain		1250	1000	1700	1500			
Output Resistance				200	200			Ω
Output Sink Current	$\Delta V_{in} \geq 5\text{mV}$, $V_{out} = 0$	2.0	1.6	2.5				mA
Response Time	Note 2			40	40			ns
Except as noted the following specifications apply over the temperature ranges of $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ for the S5710 $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +75^\circ\text{C}$ for the N5710								
Input Offset Voltage	$R_S \leq 200\Omega$ Note 3					3.0	6.5	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage	$R_S = 50\Omega$ $T_A = +25^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$ $R_S = 50\Omega$ $T_A = +25^\circ\text{C}$ to -55°C $R_S = 50\Omega$ $T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+75^\circ\text{C}$			3.5		10		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	$T_A = +125^\circ\text{C}$ Note 3 $T_A = -55^\circ\text{C}$ $T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+75^\circ\text{C}$			0.25		3.0		μ A
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current	$T_A = +25^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$ $T_A = +25^\circ\text{C}$ to -55°C $T_A = +25^\circ\text{C}$ to $+75^\circ\text{C}$ $T_A = +25^\circ\text{C}$ to 0°C			5.0		30		nA/ $^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = -55^\circ\text{C}$ $T_A = 0^\circ\text{C}$			1.5		7.0		μ A
Input Common Mode Voltage Range	$V^- = -7\text{V}$	± 5.0	± 5.0					V
Common Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 200\Omega$	80	70	100	98			dB
Differential Input Voltage Range		± 5.0	± 5.0					V
Voltage Gain		1000	800					
Positive Output Level	$\Delta V_{in} \geq 5\text{mV}$ $0 \leq I_{out} \leq 5\text{mA}$	2.5	2.5	3.2	3.2	4.0	4.0	V
Negative Output Level	$\Delta V_{in} \geq 5\text{mV}$	-1.0	-1.0	-0.5	-0.5	0	0	V
Output Sink Current	$T_A = +125^\circ\text{C}$, $\Delta V_{in} \geq 5\text{mV}$, $V_{out} = 0$ $T_A = -55^\circ\text{C}$, $\Delta V_{in} \geq 5\text{mV}$, $V_{out} = 0$ $T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+75^\circ\text{C}$, $\Delta V_{in} \geq 5\text{mV}$, $V_{out} = 0$	0.5		1.7	2.3			mA
Positive Supply Current	$V_{out} \leq 0$			5.2	5.2	9.0	9.0	mA
Negative Supply Current				4.6	4.6	7.0	7.0	mA
Power Consumption				90	90	150	150	mW

(Recommended Operating Supply Voltages $V^+ = 12\text{V}$, $V^- = -6\text{V}$)

NOTES

- All voltages are referenced to pin F
- The response time specified is measured with a 100mV input step and a 5mV overdrive
- Input Offset Voltage and Input Offset Current are specified for output voltage levels of

μ A710	μ A710C
1.8V at -55°C	1.5V at 0°C
1.4V at $+25^\circ\text{C}$	1.4V at $+25^\circ\text{C}$
1.0V at $+125^\circ\text{C}$	1.2V at $+75^\circ\text{C}$
- Rating applies for temperatures up to μ A710 – $+125^\circ\text{C}$
 μ A710C – $+75^\circ\text{C}$

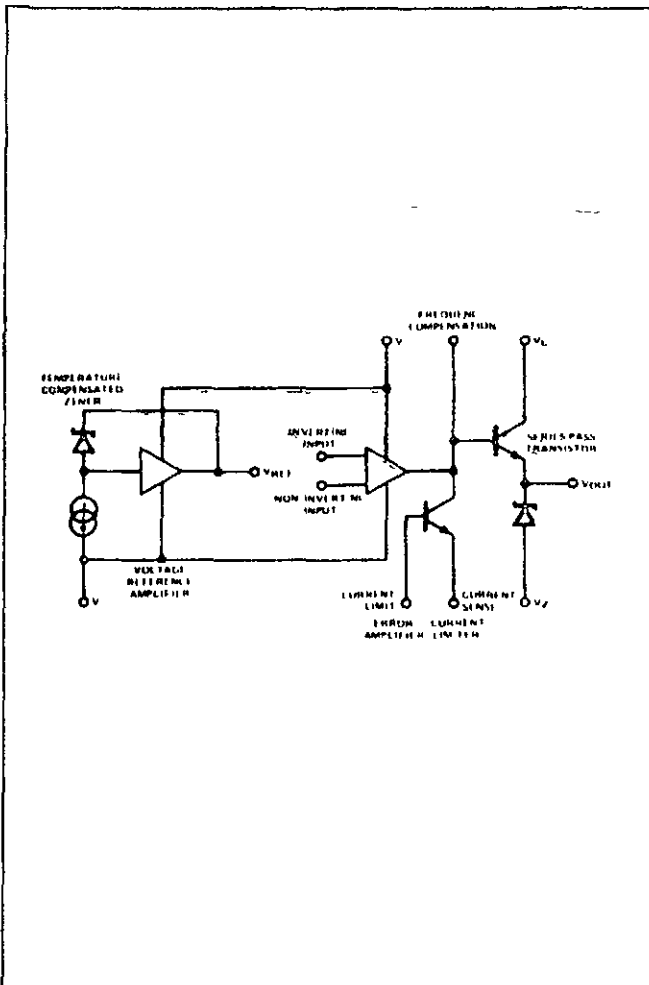
DESCRIPTION

The $\mu A723$ is a Monolithic Precision Voltage Regulator capable of operation in positive or negative supplies as a series, shunt, switching or floating regulator. The $\mu A723$ contains a temperature compensated reference amplifier, error amplifier, series pass transistor, and current limiter, with access to remote shutdown.

FEATURES

- POSITIVE OR NEGATIVE SUPPLY OPERATION
- SERIES, SHUNT, SWITCHING OR FLOATING OPERATION
- .01% LINE AND LOAD REGULATION
- OUTPUT VOLTAGE ADJUSTABLE FROM 2 TO 37 VOLTS
- OUTPUT CURRENT TO 150mA WITHOUT EXTERNAL PASS TRANSISTOR

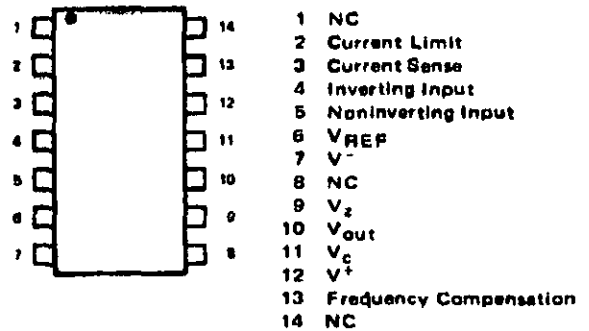
EQUIVALENT CIRCUIT



LINEAR INTEGRATED CIRCUITS

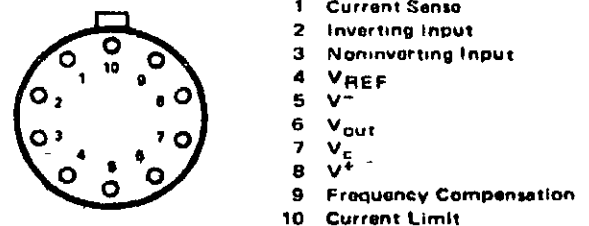
PIN CONFIGURATION

A PACKAGE (Top View)



ORDER PART NOS $\mu A723A/\mu A723CA$

L PACKAGE



ORDER PART NOS $\mu A723L/\mu A723CL$

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

	$\mu A723$	$\mu A723C$
Pulse Voltage from V^+ to V^- (50ms)	50V	
Continuous Voltage from V^+ to V^-	40V	40V
Input Output Voltage Differential	40V	40V
Maximum Output Current	150mA	150mA
Current from V_{REF}	15mA	
Current from V_z		25mA
Internal Power Dissipation (Note 1)	800mW	800mW
Operating Temperature Range	-55 to +125°C	0 to 70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature	300°C	300°C

SIGNETICS • μ A723/723C – PRECISION VOLTAGE REGULATOR

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified – Note 1)

PARAMETER (See definitions)	MIN	TYP	MAX	UNITS	CONDITIONS
μA723C					
Line Regulation (Note 2)		0.01 0.1	0.1 0.5	% V_{out} % V_{out}	$V_{in} = 12\text{V to } V_{in} = 15\text{V}$ $V_{in} = 12\text{V to } V_{in} = 40\text{V}$
Load Regulation (Note 2)		0.03	0.2	% V_{out}	$I_L = 1\text{mA to } I_L = 50\text{mA}$
Ripple Rejection		74 86		dB dB	$f = 50\text{ Hz to } 10\text{ kHz } C_{REF} = 0$ $f = 50\text{ Hz to } 10\text{ kHz } C_{REF} = 5\mu\text{F}$
Short Circuit Current Limit		65		mA	$R_{sc} = 10\Omega, V_{out} = 0$
Reference Voltage	6.80	7.15	7.50	V	
Output Noise Voltage		20 25		$\mu\text{V rms}$ $\mu\text{V rms}$	$BW = 100\text{ Hz to } 10\text{ kHz } C_{REF} = 0$ $BW = 100\text{ Hz to } 10\text{ kHz } C_{REF} = 5\mu\text{F}$
Long Term Stability			0.1	%/1000 hrs	
Standby Current Drain		2.3	4.0	mA	$I_L = 0, V_{in} = 30\text{V}$
Input Voltage Range	9.5		40	V	
Output Voltage Range	2.0		37	V	
Input-Output Voltage Differential	3.0		38	V	
The Following Specifications Apply Over the Operating Temperature Ranges					
Line Regulation			0.3	% V_{out}	$V_{in} = 12\text{V to } V_{in} = 15\text{V}$
Load Regulation			0.6	% V_{out}	$I_L = 1\text{mA to } I_L = 50\text{mA}$
Average Temperature Coefficient of Output Voltage		0.003	0.015	%/ $^\circ\text{C}$	
μA723					
Line Regulation (Note 2)		0.01 0.02	0.1 0.2	% V_{out} % V_{out}	$V_{in} = 12\text{V to } V_{in} = 15\text{V}$ $V_{in} = 12\text{V to } V_{in} = 40\text{V}$
Load Regulation (Note 2)		0.03	0.15	% V_{out}	$I_L = 1\text{mA to } I_L = 50\text{mA}$
Ripple Rejection		74 86		dB dB	$f = 50\text{ Hz to } 10\text{ kHz } C_{REF} = 0$ $f = 50\text{ Hz to } 10\text{ kHz } C_{REF} = 5\mu\text{F}$
Short Circuit Current Limit		65		mA	$R_{sc} = 10\Omega, V_{out} = 0$
Reference Voltage	6.95	7.15	7.35	V	
Output Noise Voltage		20 25		$\mu\text{V rms}$ $\mu\text{V rms}$	$BW = 100\text{ Hz to } 10\text{ kHz } C_{REF} = 0$ $BW = 100\text{ Hz to } 10\text{ kHz } C_{REF} = 5\mu\text{F}$
Long Term Stability		0.1		%/1000 hrs	
Standby Current Drain		2.3	3.5	mA	$I_L = 0, V_{in} = 30\text{V}$
Input Voltage Range	9.5		40	V	
Output Voltage Range	2.0		37	V	
Input-Output Voltage Differential	3.0		38	V	
The Following Specifications Apply Over the Operating Temperature Ranges					
Line Regulation			0.3	% V_{out}	$V_{in} = 12\text{V to } V_{in} = 15\text{V}$
Load Regulation			0.6	% V_{out}	$I_L = 1\text{mA to } I_L = 50\text{mA}$
Average Temperature Coefficient of Output Voltage		0.002	0.015	%/ $^\circ\text{C}$	

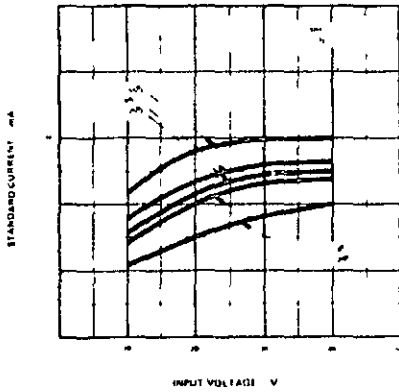
NOTES

1 Unless otherwise specified, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{in} = V^+ = V_C = 12\text{V}$, $V_- = 0\text{V}$, $V_{out} = 5\text{V}$, $I_L = 1\text{mA}$, $R_{sc} = 0$, $C_1 = 100\text{pF}$, $C_{REF} = 0$ and divider impedance as seen by error amplifier $\leq 10\text{k}\Omega$ when connected as shown in Figure 3

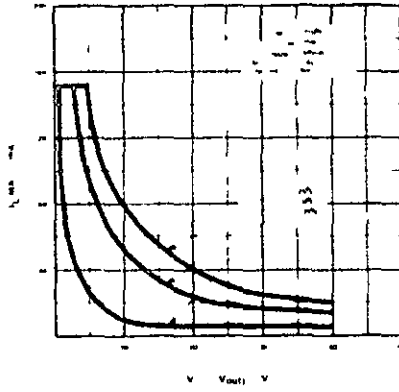
2 The load and line regulation specifications are for constant junction temperature. Temperature drift effects must be taken into account separately when the unit is operating under conditions of high dissipation.

TYPICAL CHARACTERISTIC CURVES

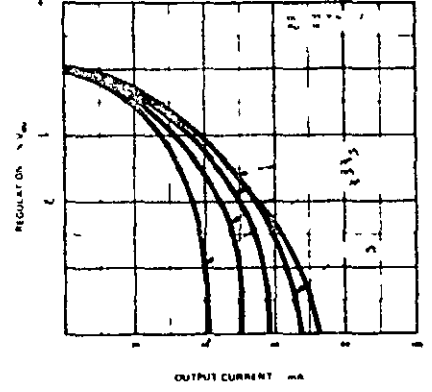
STANDBY CURRENT DRAIN AS A FUNCTION OF INPUT VOLTAGE



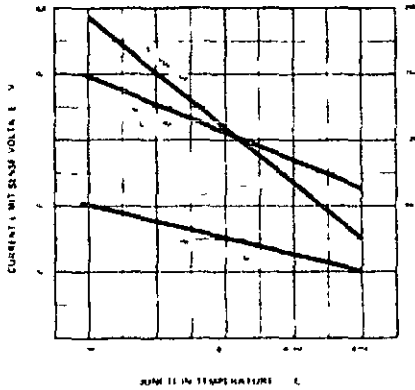
MAXIMUM LOAD CURRENT AS A FUNCTION OF INPUT-OUTPUT VOLTAGE DIFFERENTIAL



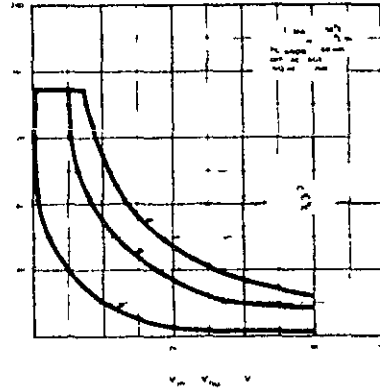
LOAD REGULATION CHARACTERISTICS WITH CURRENT LIMITING



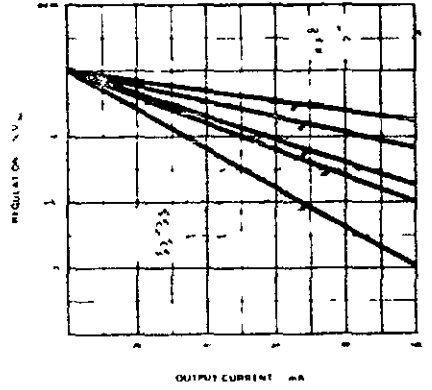
CURRENT LIMITING CHARACTERISTICS AS A FUNCTION OF JUNCTION TEMPERATURE



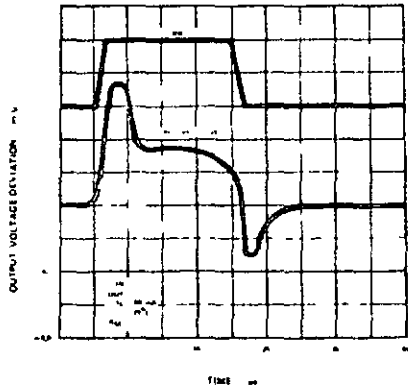
MAXIMUM LOAD CURRENT AS A FUNCTION OF INPUT OUTPUT VOLTAGE DIFFERENTIAL



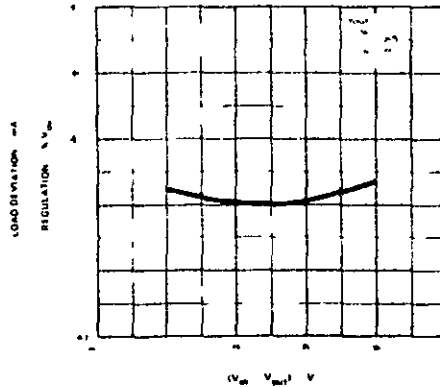
LOAD REGULATION CHARACTERISTICS WITHOUT CURRENT LIMITING



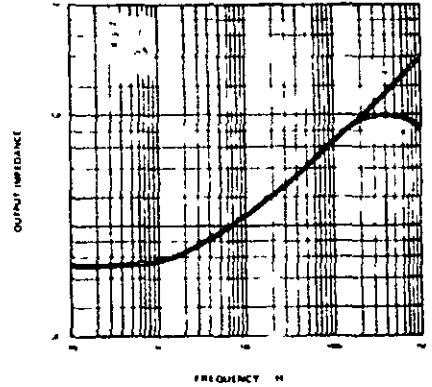
LOAD TRANSIENT RESPONSE



LINE REGULATION AS A FUNCTION OF INPUT-OUTPUT VOLTAGE DIFFERENTIAL

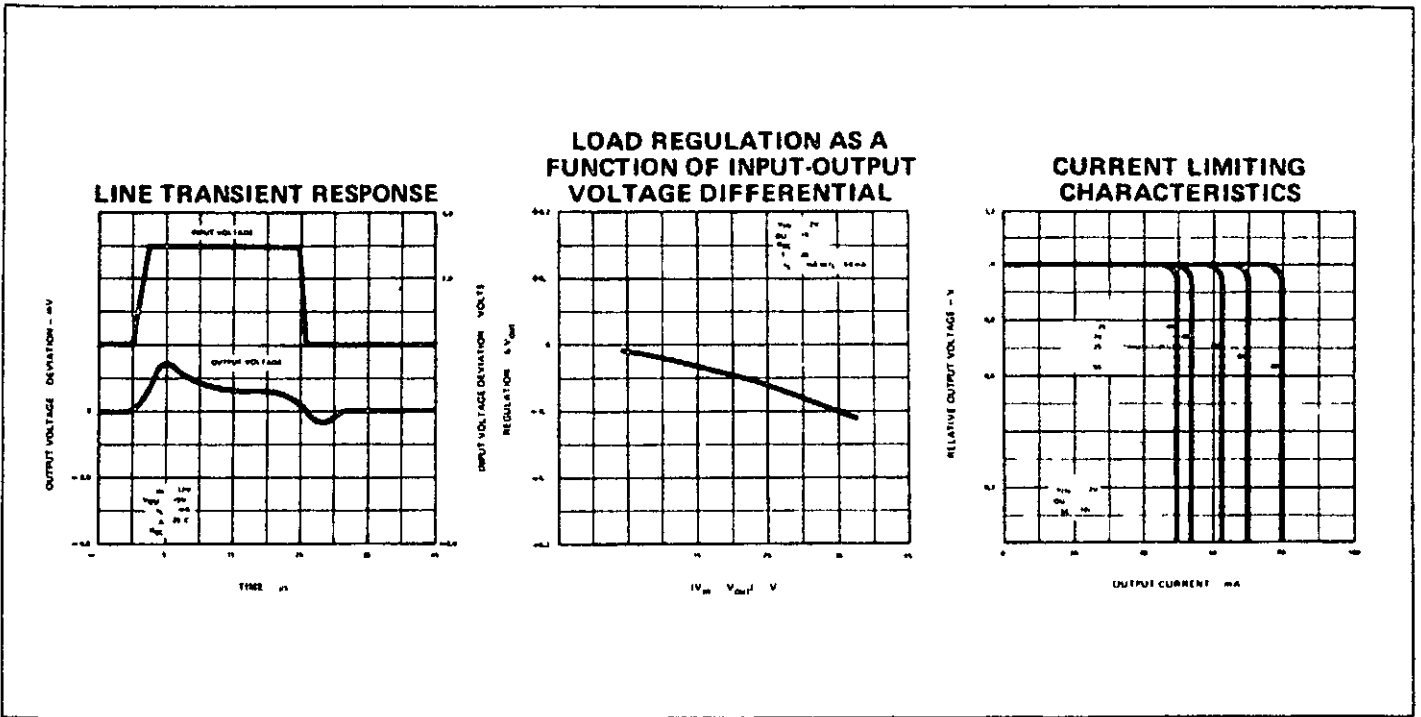


OUTPUT IMPEDANCE AS A FUNCTION OF FREQUENCY



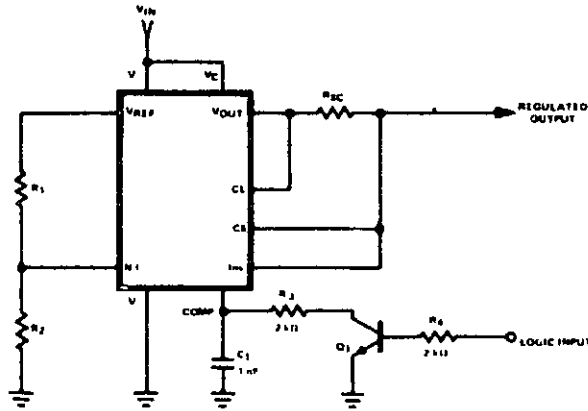
SIGNETICS ■ $\mu A723/723C$ – PRECISION VOLTAGE REGULATOR

TYPICAL CHARACTERISTIC CURVES (Cont'd)



BASIC $\mu A723$ REGULATOR APPLICATIONS

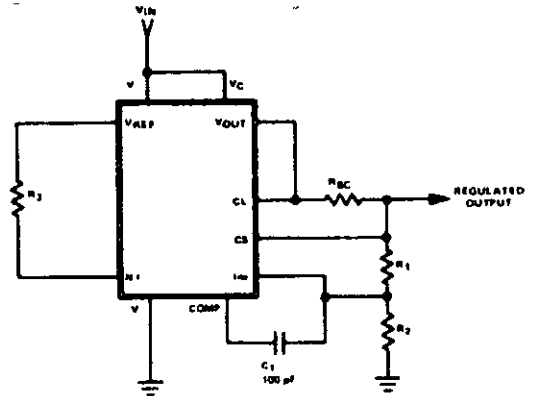
REMOTE SHUTDOWN REGULATOR WITH CURRENT LIMITING ($V_{out} = 2$ to 7 Volts)



$$V_{out} = \left[V_{REF} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right]$$

FIGURE 1

HIGH VOLTAGE REGULATOR ($V_{out} = 7$ to 37 Volts)



$$V_{out} = \left[V_{REF} \times \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right]$$

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \text{ for minimum temperature drift}$$

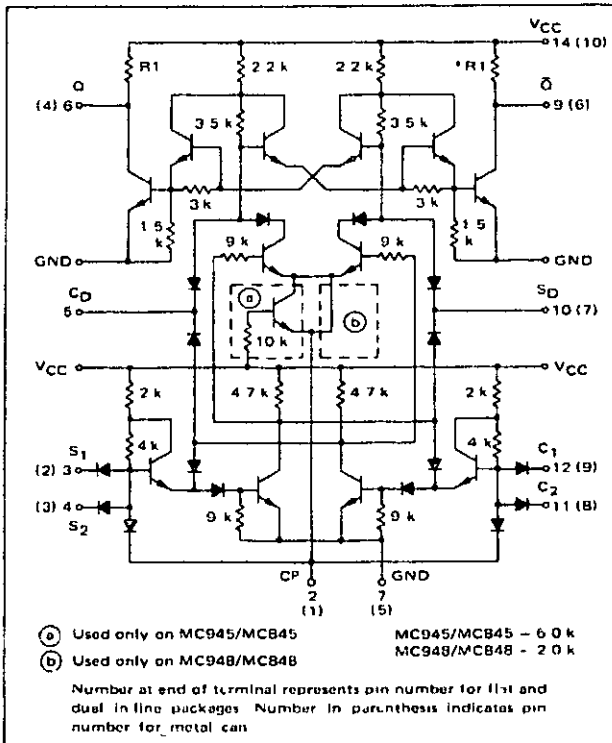
R_3 may be eliminated for minimum component count

FIGURE 2

CLOCKED FLIP FLOPS

MDTL MC930/830 series

MC945F, G · MC845F, P, G
MC948F, G · MC848F, P, G



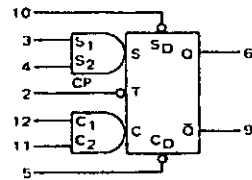
These clocked flip flops consist of two directly coupled flip flops operating on the master slave principle. The input information is stored in the master flip flop when the clock voltage is high and is transferred to the slave when the clock voltage is low.

This clocked flip flop can be operated in either the RS or JK mode. For JK operation the Q output is connected to a clear input and the \bar{Q} output is connected to a set input. Asynchronous inputs direct set (S_D) and direct clear (C_D) override the synchronous inputs. No matter what other inputs are applied to the flip flop the direct set and clear inputs prevail.

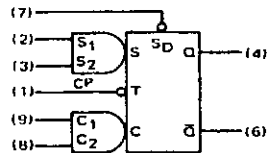
The outputs are buffered thereby reducing the possibility of circuit disturbance from external line noise.

The output pull up resistor of the MC948/MC848 has been changed from that utilized in the MC945/MC845 in order to improve the propagation delay versus capacitance characteristics.

MC945F/MC845F P
MC948F/MC848F, P



MC945G/MC845G
MC948G/MC848G



SYNCHRONOUS TRUTH TABLE

		t_n		t_{n+1}
S_1	S_2	C_1	C_2	Q
0	X	0	X	Q_n
0	X	X	0	Q_n
X	0	0	X	Q_n
X	0	X	0	Q_n
0	X	1	1	0
X	0	1	1	0
1	1	0	X	1
1	1	X	0	1
1	1	1	1	U

- 0 - Low State (more negative)
- 1 - High State (more positive)
- X - State of the input does not affect the state of the circuit
- U - Indeterminate State

JK TRUTH TABLE

(Connect S_2 to \bar{Q} , C_2 to Q)

		t_n		t_{n+1}
S_1	C_1	J	K	Q
0	0	0	0	Q_n
1	0	0	1	1
0	1	1	0	0
1	1	1	1	\bar{Q}_n

ASYNCHRONOUS TRUTH TABLE

S_D	C_D	Q	\bar{Q}
1	1	NC	NC
0	1	1	0
1	0	0	1
0	0	1	1

Asynchronous inputs direct set (S_D) and direct clear (C_D) override the synchronous inputs they are independent of all other inputs.

Input Loading Factor

- S and C 2/3
- S_D , C_D , T 2

Output Loading Factor

- MC945 - 10
- MC845 - 12
- MC948 - 9
- MC848 - 11

Total Power Dissipation

- MC945/MC845 - 60 mW typ/pkg
- MC948/MC848 - 70 mW typ/pkg

Propagation Delay Time < 40 ns typ

