คู่มือ / ใบงาน

ITEM CODE NO. **ELT1 EN04/18**

(SENSORS & TRANSDUCERS TRAINING SYS)

ชุดทดลองตัวตรวจจับทางแสง

รุ่น G 13/EV

Electronics Technology Equipmentfor 7 technical College,

Department of Vocational Education (DOVE)

Ministry of Education

Kingdom of Thailand

under

OECF LOAN GREEMENT NO. TXIX - 6

CONTRACT NO. DOVE - OECF - T4WB4/97

SUMITOMO CORPORATION

TOKYO, JAPAN

COPYRIGHT RESERVED

สารบาญ

	หน้า
บทที่ 1	
รายละเอียดของโมดูล	3
บทที่ 2	
ทรานสดิวเซอร์แสง	4
บทที่ 3	
ระบบควบคุมอัตโนมัติ	25
บทที่ 4	
ระบบควบคุมของแสง	48
ภาคผนวก A	
การปรับเทียบ	62
ภาคผนวก B	
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก C	
“data sheet”	

บทที่ 1
รายละเอียดของโมดูล

รายละเอียดของโมดูล

โมดูล G13 กับ TY13/EV สามารถใช้ทำการเรียนการสอน เรื่อง ทรานสดิวเซอร์แสงและระบบควบคุมเกี่ยวกับแสงได้ โมดูล G13 ประกอบด้วยบล๊อกย่อย 7 บล็อก (ดูจากรูป 1.1)

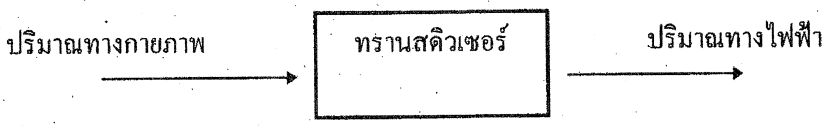
1. ตัวตั้งค่าสัญญาณอ้างอิง
2. ตัวควบคุม PID
3. แอมป์ขยายค่าความผิดพลาด
4. เพาเวอร์แอมป์
5. ตัวปรับสภาพสัญญาณ
    - 5.1 ตัวปรับสภาพสัญญาณ โฟโต้รีซิสเตอร์
    - 5.2 ตัวปรับสภาพสัญญาณ โฟโต้ไดโอด
    - 5.3 ตัวปรับสภาพสัญญาณ โฟโต้ทรานซิสเตอร์

เราจะพิจารณาการทำงานของบล็อคต่างๆ ในการทดลอง โมดูล G13 ใช้ไฟ 12VPC 0.5A และ 30 VDC 0.5A โมูล TY13/Ev (รูปที่ 1.2) ประกอบด้วยตัวแอคชูเอเตอร์ (หลอดแรงเพียง 3 watt) ,ทรานสดิวเซอร์แสง (โฟโต้ไดโอด , โฟโต้ทรานซิสเตอร์, โฟโต้รีซีสเตอร์) และ แอคชูเอเตอร์กำเนิดสัญญาณรบกวนการต่อระหว่างโมดูล TY13/EV และโมดูล G13 ใช้สายเคเบิล 8 หัว socket เพาเวอร์แอมป์ต่อกับแอคชูเตอร์ด้วยสาย 2 เส้น การต่อระหว่าง 2 ส่วนจะต่อผ่านสายเคเบิลเข้าที่ด้านขวาของโมดูล G13 (เรียกว่า หน่วยกระบวนการแสง)

บทที่2
ทรานสดิวเซอร์แสง

2.1 หลักการพื้นฐานของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากรูปแบบหนึ่งให้ไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง หลังจากนี้จะกล่าวถึงทรานสดิวเซอร์ที่เปลี่ยนจากพลังงานรูปแบบอื่นๆ มาเป็นปริมาณทางไฟฟ้าเท่านั้น เช่น ความต้านทาน ,แรงดัน และกระแส เป็นต้น ทรานสดิวเซอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้ตามสัญญาณที่ออกที่เอาท์พุท คือ สัญญาณแบบอนาล็อกและสัญญาณแบบดิจิตอล โดยปกติการแปลงปริมาณนี้จะมีการสูญเสียเกิดขึ้นและนี่คือปัญหาหนึ่งที่เราจะพิจารณากัน



รูป 2.1

คุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์ที่สำคัญมีดังนี้

- **ย่านการทำงาน**
  เป็นค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของปริมาณทางกายภาพที่ทรานสดิวเซอร์สามารถวัดได้

- **ตัวคูณ**
  เป็นอัตราส่วนระหว่างอินพุทและเอาท์พุท

- **ค่าความผิดพลาดเชิงเส้น**
  เป็นความเบี่ยงเบนไปจากเส้นอัตราส่วนระหว่างอินพุทและเอาท์พุท สามารถวัดได้เป็นเปอร์เซนต์ของค่าเอาท์พุทสูงสุด

- **ความถูกต้อง**
  เป็นค่าความเบี่ยงเบนสุงสุดระหว่างค่าที่วัดและค่าประสิทธิผลสามารถแสดงเป็นเป็นเปอร์เซนต์ของ f.s.d.

- **ความเร็วจองผลตอบสนอง**
  ความเร็วของปริมาณเอาท์พุทจะติดตามการเปลี่ยนแปลงอินพุท

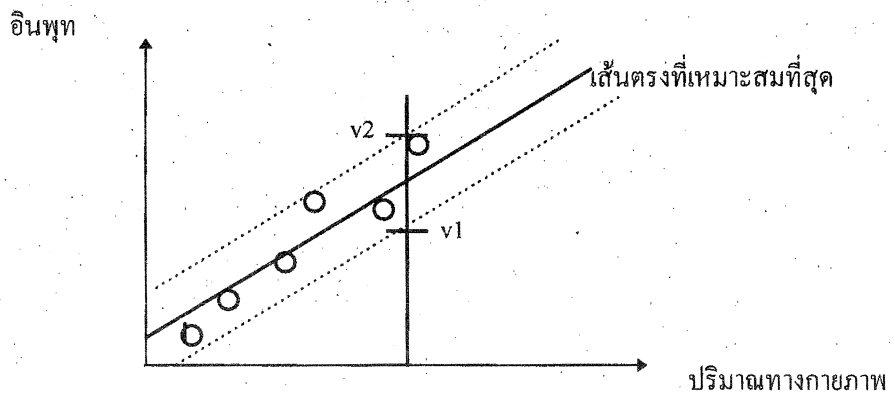
- **เสถียรภาพ**
  อัตราส่วนคงที่ระหว่างอินพุทและเอาท์พุทภายใต้สภาพการทำงาน

- **ความสามารถในการทำซ้ำ**
  เป็นค่าความผิดพลาดภายในของตัวทรานสดิวเซอร์เองเมื่อทำการวัดซ้ำๆ

2.1.1 ความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์ส่วนใหญ่เป็นชนิดเชิงเส้น การค□
เซนต์ ความเป็นเชิงเส้นเป็นสำคัญ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอาท์พุทวัดได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอินพุทเมื่อนำมาพิจารณาและวาดเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุด โดยวาดเส้นตรงขนานกันและให้ครอบคลุมชุดข้อมูลทั้งหมดโดยให้มีระยะห่างที่เท่ากัน เส้นตรงกลางคือ เส้นตรงที่เหมาะสมที่สุด เปอร์เซนต์ของความเป็นเชิงเส้นจะหาได้จากสมการ

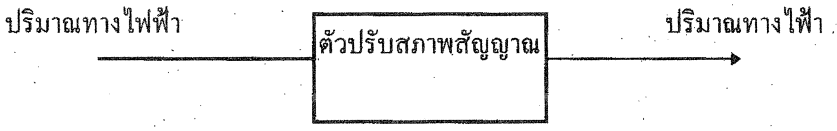
$$\text{Line [\%]} = \pm_{1/2} \cdot \cdot 100 \left| \frac{V2-V1}{v.f.s.} \right|$$



รูป 2.2

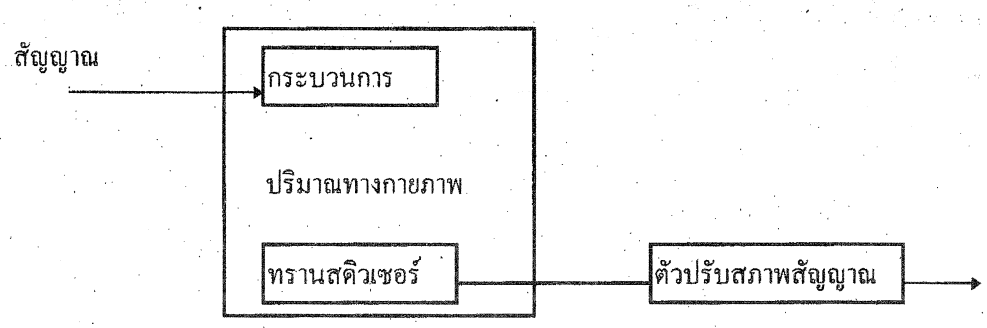
2.1.2 ตัวปรับสภาพสัญญาณ

โดยปกติปริมาณเอาท์พุททางไฟฟ้าของทรานสดิวเซอร์ไม่สามารถนำเอาค่ามาประมวลผลได้โดยตรง ตัวอย่างเช่น ย่านแรงดันเอาท์พุทมีขนาดต่ำมากๆ จึงจำเป็นต้องมีการปรับสภาพสัญญาณตัวปรับสภาพสัญญาณเป็นเครื่องมือที่ทำการปรับปรุงพลังงานทางไฟฟ้าจากอินพุทให้ไปเป็นปริมาณทางไฟฟ้าที่เอาท์พุทโดยให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานต่อไป (รูป 2.3)



รูป 2.3

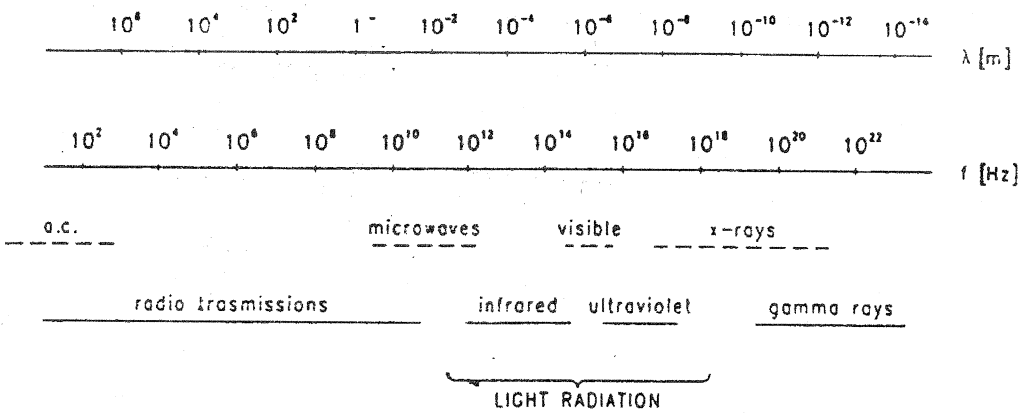
ปกติส่วนมากแล้วทรานสดิวเซอร์จะอยู่รวมกับกระบวนการอยู่แล้ว ดังรูป 2.4



รูป 2.4

2.2 ทรานสดิวเซอร์แสง

ทรานสดิวเซอร์แสง เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้การแปลงรังสีของแสงให้กลายมาเป็นปริมาณทางไฟฟ้า (ความต้านทาน,กระแส) และสามารถใช้ในอุตสาหกรรม ในการทำการวัดตำแหน่งความเร็วเชิงมุมและอื่นๆ รังสีของแสงสามารถวัดได้โดยใช้สเปคตรัมของแสง รูป 2.5 แสดง สเปคตรัมของแสง



รูป 2.5

ตารางในรูป 2.6 แสดงหน่วยที่ใช้ในการวัดตามมาตรฐาน ในการศึกษาถึงการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของแสง Photometry จะศึกษาปรากฏการณ์ทางแสงซึ่งจะมีหน่วยที่แตกต่างไปจากหน่วยมาตรฐานขณะที่จะอ้างอิงคุณสมบัติของดวงตามนุษย์ ส่วนหนึ่งคือการไหลของแสงจะตรวจนับการไหลของรังสีแสง จากความไวของเส้นกราฟ สายตาที่เป็นฟังก์ชันกับความยาวของคลื่นที่แตกต่างกัน รูป 2.7 แสดงหน่วยที่ใช้เมื่อหน่วยการไหลเปลี่ยนหน่วยอื่นๆ จะเปลี่ยนด้วย

ตัวแปร	สัญญลักษณ์	นิยาม	หน่วย
พลังงานรังสี	Qe		จูล
การไหลของรังสี	P	P = Q/T	จูล/วินาที = วัตต์
ความเข้มของรังสี	J	I = P/w	วัตต์/สเตอเรเดียน
รังสี	H	H = P/A	วัตต์/ตารางเมตร

รูป 2.6

ตัวแปร	สัญญลักษณ์	นิยาม	หน่วย	สัญญลักษณ์
พลังงานแสง	Qv		ลูเมน/วินาที	lm.s
การไหลของแสง	F	F = Qv/t	ลูเมน	lm
ความเข้มแสง	I	I = F/w	ลูเมน/สเตอเรเดียน = แคนเดล่า	cd
การส่องสว่าง	E	E = F/A	ลูเมน/ตารางเมตร = ลักษ์	lx

รูป 2.7

เมื่อมีการกระทบของแสงบนสสารจะเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ขึ้น ปรากฏการณ์ Photoelectric Effect คือ การสั่นของอิเลคตรอนจากพลังงานแสงจะตกกระทบบนผิวโลหะและสารกึ่งตัวนำจนให้อิเลคตรอนแตกตัวอิสระและสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้ดังนี้

1. Photoconductive Effect

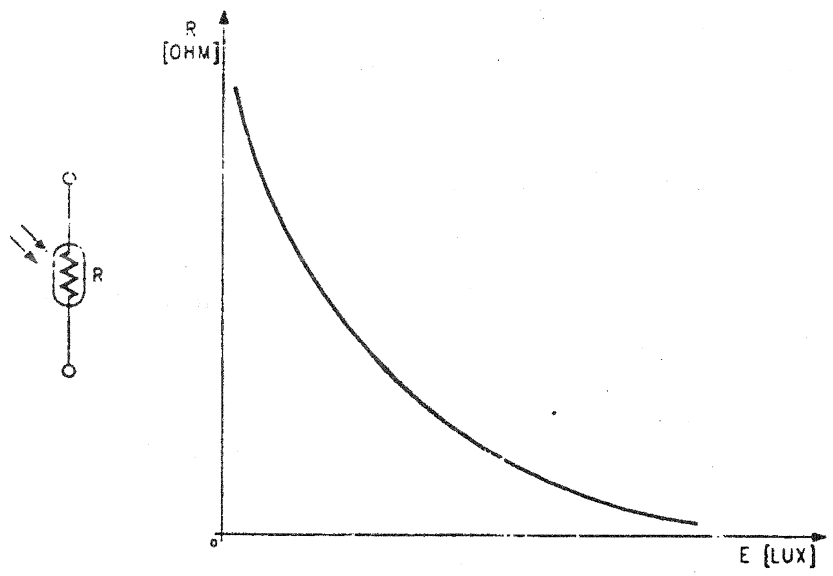
   ความนำของสารกึ่งตัวนำ ขึ้นอยู่กับ ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ

2. Photoelectic effect บนรอยต่อ (Photovoltaic Effect)

   กระแสที่เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ P-N ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง ถ้ารอยต่อไม่มีไบอัสแรงดันจะเกิดขึ้นคร่อมรอยต่อ (Photovoltaic effect) เป็นอุปกรณ์นำปรากฏการณ์แรกไปใช้ คือ โฟโต้รีซีสเตอร์ขณะปรากฏการณ์ที่สองคือ (โฟโต้ไดโอด, โฟโต้ทรานซิสเตอร์และโฟโต้อิเลคตริค)

2.2.1 โฟโต้รีซีสเตอร์

โฟโต้รีซีสเตอร์ คือ อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดพาสซีบ (passive) ที่ไม่มีรอยต่อ รูป 2.8 แสดงกราฟคุณลักษณะของโฟโต้รีซีสเตอร์กับสัญญลักษณ์



รูป 2.8

เมื่อแสงมีความเข้มเพิ่มขึ้นความต้านทานจะลดต่ำลง ในสภาพที่ไม่มีแสงเลยความต้านทานจะวัดได้เป็น MΩ ถ้ามีความเข้มแสงมาก ความต้านทานจะต่ำวัดได้ประมาณ 10 Ω สารที่ใช้ทำโฟโต้รีซีสเตอร์ เช่น crystal of cadmium sulphide หรือ lead สำหรับตัวตรวจจับนี้ภายใต้ย่านการทำงานของดวงตามนุษย์ และ crystal of cadmium selenide สำหรับตัวตรวจจับภายใต้ย่านอินฟาเรด

ตัวแปรของโฟโต้รีซีสเตอร์ที่สำคัญมีดังนี้

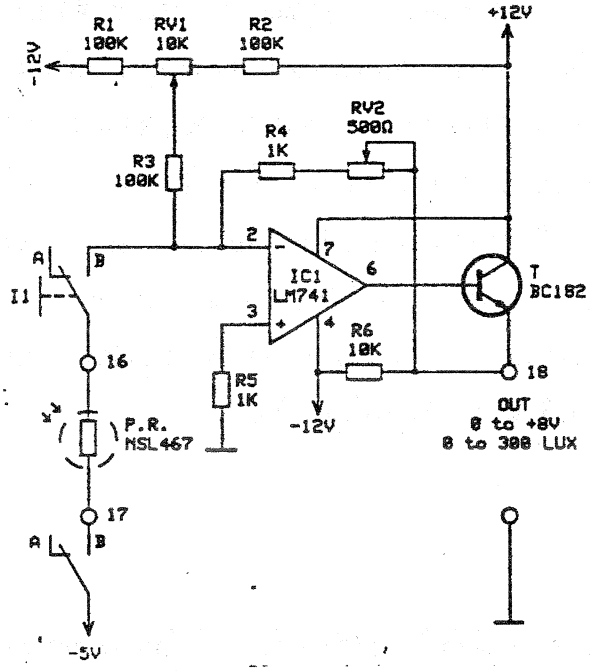
- ความยาวคลื่นที่ให้ความไวที่สูงสุด
- พลังงานสูงสุดที่กระจาย
- แรงดันยอดสูงสุด

โฟโต้รีซีสเตอร์ที่ใช้ในโมดูล TY13/EV มีคุณลักษณะดังนี้คือ

- ความต้านทาน (10.76 Lux) : 100 kΩ
- ความต้านทาน (1076 Lux) : 2400 Ω
- ความต้านทานในที่ไม่มีแสง : 100 kΩ
- แรงดันยอดสุงสุด : 250V
- พลังงานสูงสุดที่กระจาย : 100 mW
- ความไวสูงสุด : 0.55 μm

2.2.2 ตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับโฟโต้ทรานซิสเตอร์

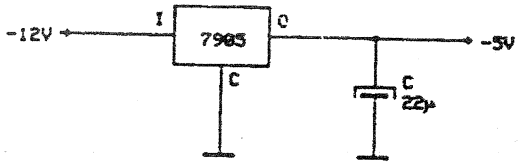
จากรูป 2.9 สวิทซ์ I1 อยู่ที่ตำแหน่ง A ทรานซิสเตอร์ไม่ต่อเราสามารถวิเคราะห์ได้โดยปราศจากอิทธิพลของอุปกรณ์อื่นๆ



รูป 2.9

ในทางปฏิบัติมันสามารถเกิดขึ้นได้โดยใช้มัลติมิเตอร์วัดระหว่างขั้ว 16 และ 17 สำหรับการวัดโดยตรงจากค่าความต้านทานของโฟโต้รีซีสเตอร์ เมื่อสวิทซ์ I1 อยู่ที่ตำแหน่ง B โฟโต้รีซีสเตอร์ต่อกับวงจร

<u>หมายเหตุ</u> แรงดันเท่ากับ -5vdc ต่อกับโฟโต้รีซีสเตอร์และดึงแรงดัน -12vdc จากวงจรในรูป 2.10

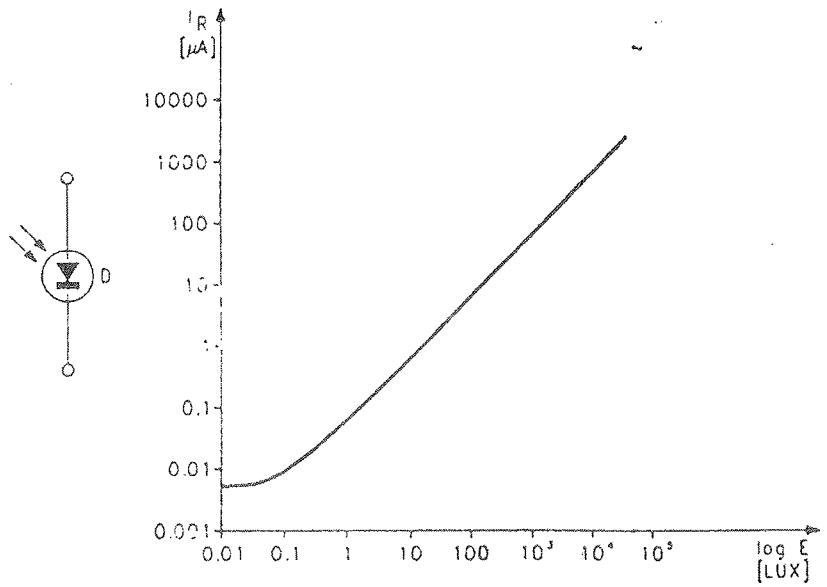


รูป 2.10

แอมป์ขยาย IC1 ต่อเป็นอินเวอร์สแอมป์ สัญญาณอินพุทประกอบด้วยแรงดันคงที่ (-2vdc) ขณะอินพุทกลับขั้วกับกราวน์เสมือน ความต้านทานของทรานสดิวเซอร์เปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อกระแสที่ไหลย้อนกลับเปลี่ยนแปลง (R4 และ RV2 เปลี่ยน) R1, R2, R3 และ RV1 ใช้ปรับออฟเซ็ทให้กับ IC1 และแรงดันที่เกิดขึ้นในทางที่มือ ทรานซิสเตอร์ T ใช้ขยายกระแสที่เอาท์พุทของ IC1 เมื่อกระแสมีค่าต่ำ IC1 จะปรับเอาท์พุทจนกระทั่งแรงดันของขา emitter ของทรานซีสเตอร์ (จุดที่สัญญาณมีการป้อนกลับ) ไม่ถึงระดับที่ทำให้แอมป์ทำงานในช่วงเชิงเส้น (แรงดันของอินพุทอินเวอร์สเท่ากับแรงดันของขาอินพุทที่ไม่อินเวอร์ส) เอาท์พุทของตัวปรับสภาพสัญญาณจะปรับได้ที่แสง 300Lux จะสอดคล้องกับค่าแรงดันเอาท์พุท 8 โวลต์

2.3 โฟโต้ไดโอด

โฟโต้ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่มีโครงสร้างคล้ายกับไดโอดธรรมดาที่มีรอยต่อ P-N สำหรับชนิดที่ใช้จะป้อนแรงดัน reverse bias ในสภาพตอนไม่มีแสงโฟโต้ไดโอดทำงานคล้ายไดโอดเฉพาะในสภาพที่มีแสงกระแสย้อนกลับจะเพิ่มขึ้น รูป 2.11 แสดงกราฟคุณลักษณ์กับสัญญลักษณ์



รูป 2.11

กระแสย้อนกลับของโฟโต้ไดโอดสามารถวัดได้เป็นหน่วย nA และ mA เท่านั้นสารที่ใช้ทำเช่น silocon, germanim gallium arsemide และอื่นๆ ตัวอย่างซิลิกอนโฟโต้ไดโอด มีความไวสูงสุดที่ความยาวคลื่นช่วง 0.8 และ 0.9 μm ขณะ germanium โฟโต้ไดโอดอยู่ที่ 1.6 และ 1.8 μm,ในย่านอินฟาเรด คุณลักษณะสามารถปรับปรุงได้โดยใช้โครงสร้าง P-I-N ถ้าโฟโต้ไดโอดไม่มีการไบอัสและไม่มีโหลดเมื่อแสงแรงดันจะกำเนิดขึ้นทั้งจากรังสีแสงและสารกึ่งตัวนำ (Photovoltaic effect) ถ้ามีโหลดให้กับโฟโต้ไอโอด โฟโต้ไดโอดสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ และนี่คือหลักการของ เซลสุริยะ (Photovoltaic cell)

คุณลักษณะของโฟโต้ไอโอดที่สำคัญมีดังนี้คือ

- แรงดันย้อนกลับสูงสุดที่สามารถจ่ายได้
- พลังงานกระจายสูงสุด
- ความเร็วสูงสุดในการสวิทซ์ (เวลาขาขึ้นและเวลาขาลง)

โฟโต้ไดโอดที่ใช้ในโมดูล TY13/EV คือ P-I-N Silocon มีคุณลักษณะดังนี้

- แรงดันย้อนกลับสูงสุด : 32 VPC
- ความไวสูงสุด : 0.9 μm
- กระแสจ่ายได้สูงสุดเมื่อไม่มีแสง : 30nA
- กระแสย้อนกลับเมื่อมีแสงเท่ากับ 1mW/cm^2 : 50 μA
- แรงดันตอนไม่มีโหลด (1000 lux) : 350 mV
- เวลาขาขึ้นและเวลาขาลง : 50 ns

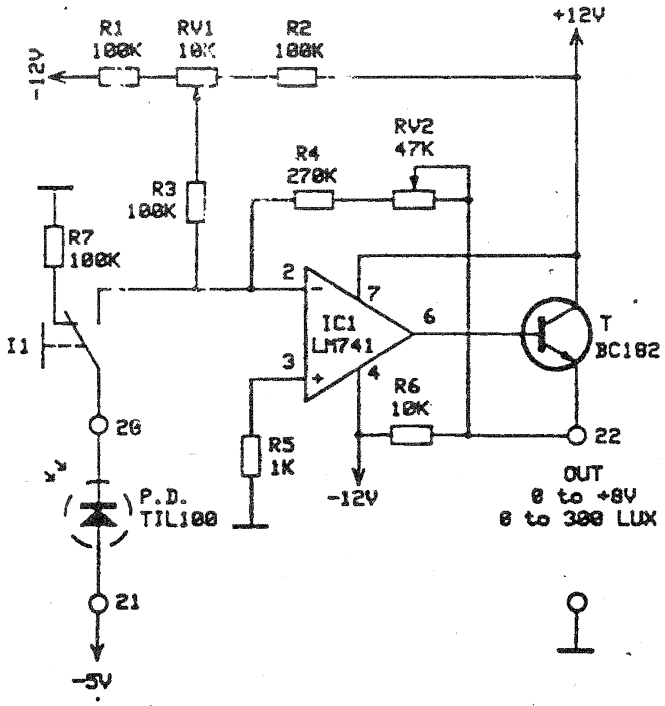
2.2.4 ตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับโฟโต้ไดโอด

จากรูป 2.12 เมื่อสวิทซ์ I1 อยู่ในตำแหน่ง A ทรานสดิวเซอร์จะไม่ต่อกับวงจรโดยปกติสามารถใช้มัลติมิเตอร์แรงดันตกคร่อมขั่ว 20 กับกราวด์ได้เลย แรงดันที่วัดได้คือแรงดันที่ตกคร่อม R7 ของโฟโต้ไดโอดในความเป็นจริงโฟโต้ไดโอดจะเปลี่ยนแปลงกระแสย้อนกลับที่รอยต่อเมื่อมีแสงตกกระทบตัวมัน เมื่อสวิทซ์ I1 อยู่ที่ตำแหน่ง B โฟโต้ไดโอดจะต่อกับวงจรแอมป์ขยาย

หมายเหตุ แรงดันไฟ -5vdc ต่อกับโฟโต้รีซีสเตอร์และเอาแรงดัน -12vdc จากวงจร

รูป 2.10 แอมป์ขยาย IC1 ต่อแบบอินเวอร์สแอมป์ ในกรณีนี้สัญญาณประกอบด้วยกระแสย้อนกลับของโฟโต้ไอโอดร่วมกับกระแสจากโหนดของอินพุทโหนด R1, R2, R3 และ RV1 จะใช้

ปรับแรงดันศูนย์ของ IC1 และไบอัสให้กับโฟโต้ไดโอด ทรานซิสเตอร์ T ใช้ขยายกระแสเอาท์พุทของ IC1 และทำหน้าที่อื่นๆ คล้ายกับโฟโต้รีซีสเตอร์ IC1 จะปรับเอาท์พุทจนกระทั่งแรงดันที่ขา emitler ของทรานซีสเตอร์ T (จุดที่มีการป้อนกลับ) ไม่ถึงระดับที่แอมป์ขยายทำงานในช่วงเชิงเส้น (แรงดันของขาอินพุท อินเวอร์สเท่ากับแรงดันที่ขาอินพุทนอนอินเวอร์ส) เอาท์พุทของตัวปรับสภาพสัญญาณจะปรับเทียบที่ความเข้มแสง 300Lux และให้แรงดันเอาท์พุท

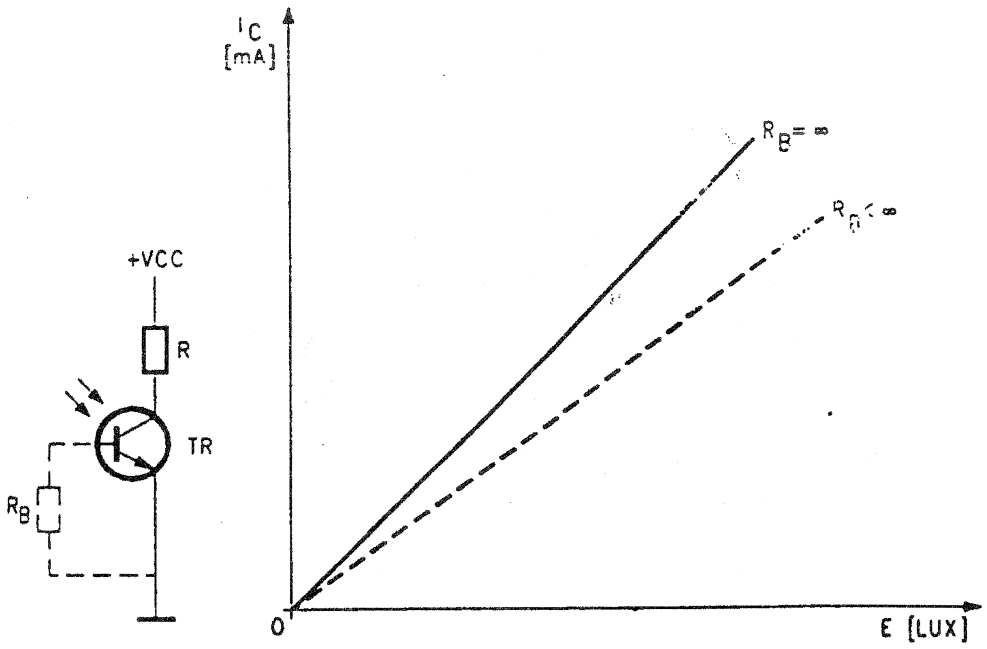


รูป 2.12

2.2.5 โฟโต้ทรานซิสเตอร์

โฟโต้ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีโครงสร้างคล้ายกับทรานซิสเตอร์ปกติแต่มีความสามารถทางแสงเพิ่มขึ้นส่วนมากเป็นชนิด NPN เมื่อจ่ายไปให้กับขั้ว Collector และ Emitter เป็นไฟบวกและให้ขา Base ลอยหรือต่อกับขา emitter และตัวต้านทาน ในกรณีที่สองนีค่าความไวของโฟโต้ทรานซิสเตอร์สามารถปรับได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวทานต้านที่ใช้ในสภาพมืดกระแสในขา Collector (IC) จะน้อยและเพิ่มขึ้นเมื่อมีแสงมากขึ้น รูป 2.13 แสดงกราฟคุณลักษณะและสัญญลักษณ์กราฟจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงกระแส IC A และการเปลี่ยนแปลงของแสง E ตัวแปรที่สำคัญของโฟโต้ทรานซิสเตอร์มีดังนี้คือ

- กระแสในที่ฝืดสูงสุด
- ความไวสูงสุดของความยาวคลื่น
- ความเร็วในการสวิทซ์ (เวลาขาขึ้นและเวลาขาลง)
- กระแส แรงดัน และพลังงานสูงสุดที่จ่ายได้



รูป 2.13

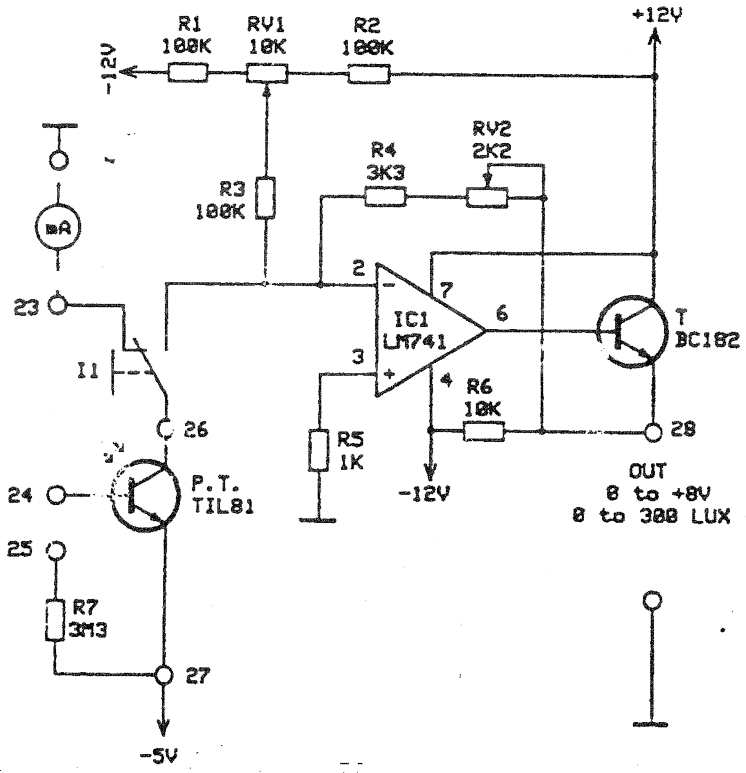
โฟโต้ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในโมดูลนี้มีคุณลักษณะดังนี้

- กระแสในที่มือ : 20 μA
- เวลาขึ้นลง : 8 μS
- เวลาขาลง : 6 μS
- Vceo สูงสุด : 30 VPC

2.2.6 ตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับโฟโต้ทรานซิสเตอร์

จากรูป 2.14 สวิทซ์ I1 อยู่ในตำแหน่ง A ทรานสดิวเซอร์ไม่ได้ต่อกับวงจรทำให้เราพิจารณาทรานสดิวเซอร์โดยไม่ได้มีอิทธิพลจากวงจรอยู่ โดยปกติสามารถใช้มัลติมิเตอร์ต่อระหว่างขั้ว 23

และกราวน์วัดกระแสที่เกิดขึ้นโดยตรงจากโฟโต้ทรานซิสเตอร์ได้จากปรากฏการณ์ photovoltaic effect



รูป 2.14

เมื่อสวิทซ์ I1 อยู่ที่ตำแหน่ง B โฟโต้ไอโอดจะต่อกับวงจรขยาย

<u>หมายเหตุ</u> แรงดันไฟ -5vdc ต่อกับโฟโต้รีซีสเตอร์และเอาแรงดัน -12vdc จากวงจรรูป 2.10 แอมป์ขยาย IC1 ต่อแบบอินเวอร์สแอมป์ ในกรณีนี้สัญญาณประกอบด้วยกระแสย้อนกลับของโฟโต้ไอโอดร่วมกับกระแสจากโหนดของอินพุทโหนด R1, R2, R3 และ RV1 จะใช้ปรับแรงดันศูนย์ของ IC1 และไบอัสให้กับโฟโต้ไดโอด ทรานซิสเตอร์ T ใช้ขยายกระแสเอาท์พุทของ IC1 และทำหน้าที่อื่นๆ คล้ายกับโฟโต้รีซีสเตอร์ IC1 จะปรับเอาท์พุทจนกระทั่งแรงดันที่ขา emitler ของทรานซีสเตอร์ T (จุดที่มีการป้อนกลับ) ไม่ถึงระดับที่แอมป์ขยายทำงานในช่วงเชิงเส้น (แรงดันของขาอินพุท อินเวอร์สเท่ากับแรงดันที่ขาอินพุทนอนอินเวอร์ส) เอาท์พุทของตัวปรับสภาพสัญญาณจะปรับเทียบที่ความเข้มแสง 300Lux และให้แรงดันเอาท์พุท

2.3 แบบฝึกหัด

แหล่งจ่ายแสงไฟ

แหล่งจ่ายแสงไฟจำเป็นต่อการทดลองในการทดลองนี้ใช้แสงไฟจากหลอด 24V จะผลิตความเข้มแสง 1/3 แรงเทียน หลอดไส้ขนาดนี้จะใส่ได้ทันทีในโมดูลสามารถเคลื่อนที่ใกล้หรือไกลจากตัวตรวจจับได้ หลังจากนี้เราจะไม่พิจารณาถึงผลกระทบต่อเกิดจากการสะท้อน ภายในโมดูล (ภายในจะทาด้วยสีดำ) แหล่งแสงไฟจะกระจายไปโดยรอบ เป็นรูปทรงกลมจากรูป 2.7 เราจะได้สมการ

$$F = 4.T1.I \text{ (lumen)}$$

$$E = \frac{F}{A} = \frac{4.T1.I}{4.T1.R} = \frac{I}{R} \text{ (lux)}$$

ตำแหน่งที่มีอยู่บนตัวโมดูล TY13/EV จะหาความเข้มแสงเทียบกับระยะทางดังแสดงได้ดังรูป 2.15

ระยะทางของตัวตรวจจับ(cm)	ความเข้มแสง(LUX)	สเกลระยะทาง (cm)
3	3330	0
4	1875	1
5	1200	2
6	830	3
7	612	4
8	468	5
9	370	6
10	300	7
11	248	8
12	208	9
13	177	10
14	153	11
15	133	12
16	117	13
17	104	14
18	93	15
19	83	16
20	75	17
21	68	18
22	62	19
23	57	20

รูป 2.15

การหากราฟคุณลักษณะของโฟโต้รีซีสเตอร์

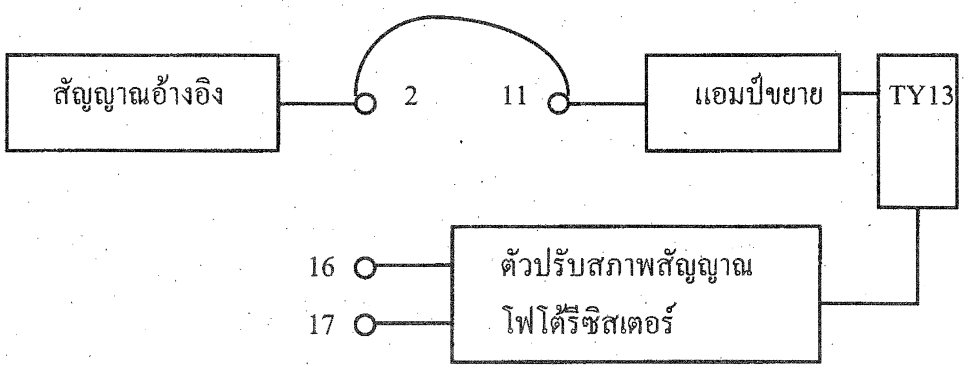
<u>การทดลองที่ 1</u> เรื่อง การหากราฟคุณลักษณะของโฟโต้รีซีสเตอร์

<u>จุดประสงค์</u>

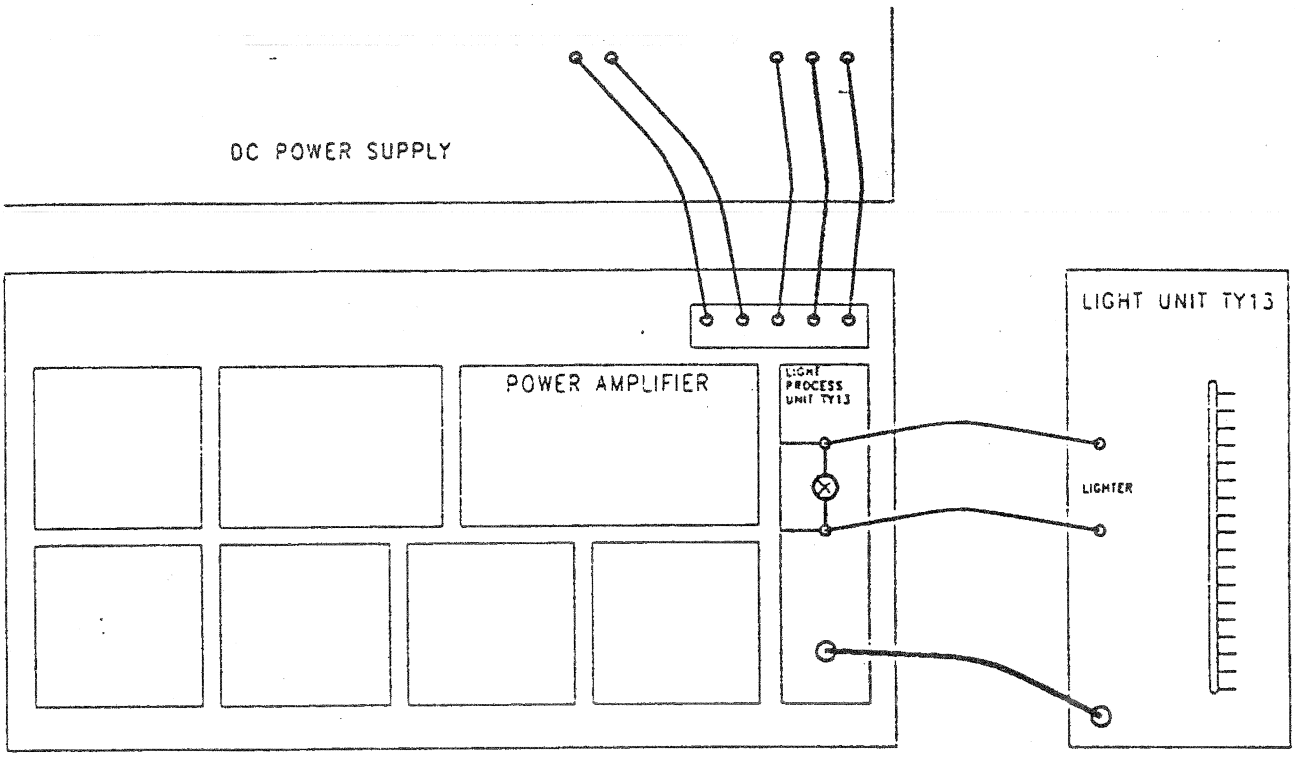
1. เพื่อหากราฟคุณลักษณะของโฟโต้รีซีสเตอร์ที่ความเข้มแสงต่างๆ
2. เพื่อหาสมการเชิงเส้นตรงของโฟโต้รีซีสเตอร์

<u>วิธีทำ</u>

1. ต่อวงจรตามรูป 2.16 และต่อโมดูล G13 กับ โมดูล TY13/EV ตามรูป 2.17
2. ตั้งสวิทซ์ของตัวปรับสภาพสัญญาณโฟโต้รีซีสเตอร์ไปที่ตำแหน่ง A
3. ตั้งมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานและวัดคร่อมขั้ว 16 และ 17
4. ตั้งหลอดไฟไปที่ตำแหน่งห่างจากตัวตรวจจับแสงมากที่สุด
5. ตั้งโพแทนชิโอมิเตอร์ที่บล็อคตั้งค่าสัญญาณอ้างอิงให้มีค่ามากที่สุด (300 Lux) และปรับโพแทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุม PID ไปที่มากที่สุดเช่นกัน
6. ปรับระยะของหลอดไฟเข้าหาตัวตรวจจับเป็นระยะและวัดค่าความต้านทานใส่ค่าที่ได้ลงในตาราง 2.1
7. วาดกราฟโดยให้ความเข้มแสงเป็นแกน X และความต้านทานอยู่ในแกน Y
8. ลากเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุด
9. ย้ายมัลติมิเตอร์ออกจากขั้ว 16 และ 17 และตั้วสวิทซ์ไปที่ตำแหน่ง B และปรับมัลติมิเตอร์ให้วัดแรงดันไฟตรงและนำไปวัดที่ขั้วกับกราวน์
10. ทำการหาสมการเชิงเส้นตรงดูได้จาก 2.1.1



รูปที่ 2.16



รูปที่ 2.17

บันทึกผล

Lux	ohm	voltage

ตาราง2.1

สรุป

การหากราฟคุณลักษณะของโฟโต้ไดโอด

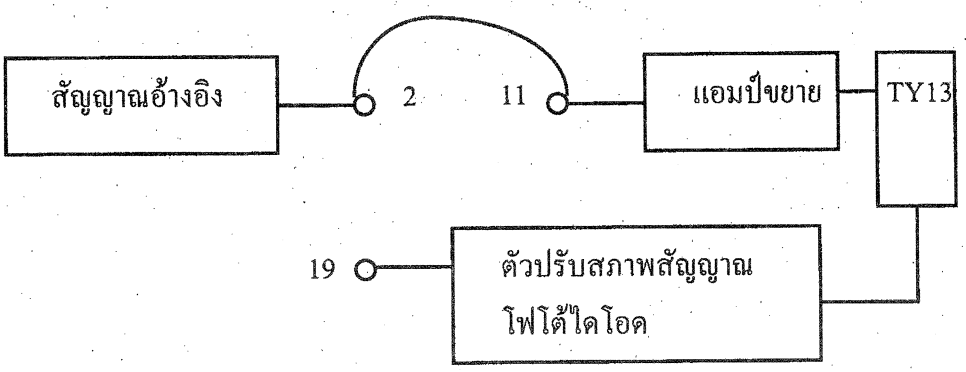
<u>การทดลองที่</u> 2 เรื่อง การหากราฟคุณลักษณะของโฟโต้ไดโอด

<u>จุดประสงค์</u>

1. เพื่อหากราฟคุณลักษณะของโฟโต้ไดโอดที่ความเข้มแสงต่างๆ
2. เพื่อหาสมการเชิงเส้นตรงของโฟโต้ไดโอด

<u>วิธีทำ</u>

1. ต่อวงจรตามรูป 2.18 และต่อโมดูล G13 กับ โมดูล TY13/EV ตามรูป 2.17
2. ตั้งสวิทซ์ของตัวปรับสภาพสัญญาณโฟโต้ไดโอดไปที่ตำแหน่ง A
3. ตั้งมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานและวัดคร่อมขั้ว 16 และ 17
4. ตั้งหลอดไฟไปที่ตำแหน่งห่างจากตัวตรวจจับแสงมากที่สุด
5. ตั้งโพแทนชิโอมิเตอร์ที่บล็อคตั้งค่าสัญญาณอ้างอิงให้มีค่ามากที่สุด (300 Lux) และปรับโพแทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุม PID ไปที่มากที่สุดเช่นกัน
6. ปรับระยะของหลอดไฟเข้าหาตัวตรวจจับเป็นระยะและวัดค่าความต้านทานใส่ค่าที่ได้ลงในตาราง 2.2
7. วาดกราฟโดยให้ความเข้มแสงเป็นแกน X และความต้านทานอยู่ในแกน Y
8. ลากเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุด
9. ย้ายมัลติมิเตอร์ออกจากขั้ว 19 และ ตั้งสวิทซ์ไปที่ตำแหน่ง B และปรับมัลติมิเตอร์ให้วัดแรงดันไฟตรงและนำไปวัดที่ขั้ว 19 กับกราวน์
10. ทำการหาสมการเชิงเส้นตรงดูได้จาก 2.1.1



รูปที่ 2.18

บันทึกผล

Lux	แรงดันเอาท์พุท(19)	แรงดันเอาท์พุท(22)

ตาราง2.2

สรุป

การหากราฟคุณลักษณะของโฟโต้ทรานซิสเตอร์

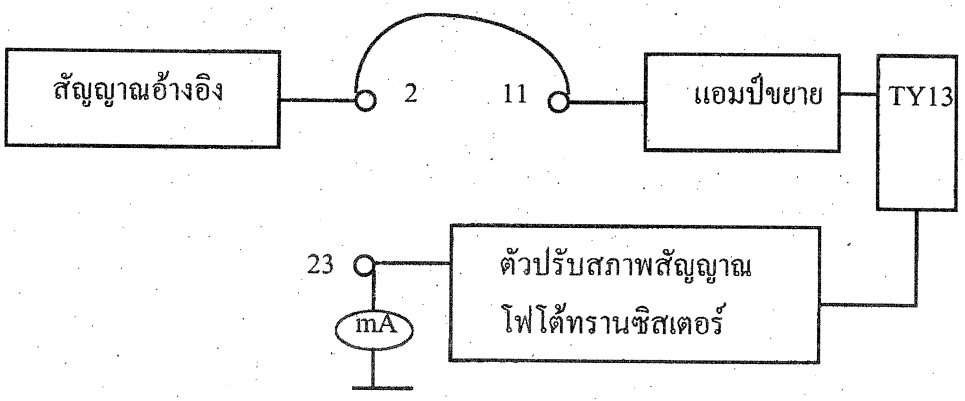
<u>การทดลองที่ 2</u> เรื่อง การหากราฟคุณลักษณะของโฟโต้ทรานซิสเตอร์

<u>จุดประสงค์</u>

1. เพื่อหากราฟคุณลักษณะของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ที่ความเข้มแสงต่างๆ
2. เพื่อหาสมการเชิงเส้นตรงของโฟโต้ทรานซิสเตอร์

<u>วิธีทำ</u>

1. ต่อวงจรตามรูป 2.19 และต่อโมดูล G13 กับ โมดูล TY13/EV ตามรูป 2.17
2. ตั้งสวิทซ์ของตัวปรับสภาพสัญญาณโฟโต้ไดโอดไปที่ตำแหน่ง A
3. ตั้งมัลติมิเตอร์วัดความต้านทานและวัดร่วมขั้ว 23 และ กราวน์
4. ตั้งหลอดไฟไปที่ตำแหน่งห่างจากตัวตรวจจับแสงมากที่สุด
5. ตั้งโพแทนชิโอมิเตอร์ที่บล็อคตั้งค่าสัญญาณอ้างอิงให้มีค่ามากที่สุด (300 Lux) และปรับโพแทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุม PID ไปที่มากที่สุดเช่นกัน
6. ปรับระยะของหลอดไฟเข้าหาตัวตรวจจับเป็นระยะและวัดค่าความต้านทานใส่ค่าที่ได้ลงในตาราง 2.3
7. วาดกราฟโดยให้ความเข้มแสงเป็นแกน X และความต้านทานอยู่ในแกน Y
8. ลากเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุด
9. ย้ายมัลติมิเตอร์ออกจากขั้ว 23 และ ตั้งสวิทซ์ไปที่ตำแหน่ง B และปรับมัลติมิเตอร์ให้วัดแรงดันไฟตรงและนำไปวัดที่ขั้ว 28 กับกราวน์
10. ทำการหาสมการเชิงเส้นตรงดูได้จาก 2.1.1



รูปที่ 2.19

บันทึกผล

Lux	กระแส(μA)	แรงดัน

ตาราง2.3

สรุป

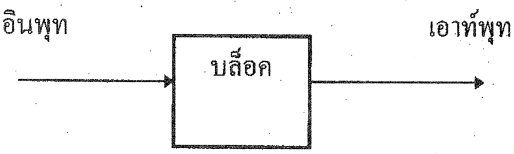
บทที่ 3
ระบบควบคุมอัตโนมัติ

3.1 หลักการพื้นฐาน

ก่อนทำการทดลองระบบควบคุมแสงเรามาทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบควบคุมพื้นฐานกันก่อนกระบวนการในที่นี้คือ การเปลี่ยนแปลงทางภายภาพและ/หรือ สสาร และ/หรือ พลังงานที่ถ่ายโอน ตัวอย่างเช่นกระบวนการทางอุตสาหกรรม โรงกลั่นน้ำมัน, หล่อเหล็ก, โรงจักรไอน้ำ อื่นๆ กระบวนการที่มีความซับซ้อนประกอบด้วยส่วนต่างๆ พื้นฐานที่เราจะกล่าวถึงหลังจากนี้ ควบคุมหมายถึง ควบคุมพฤติกรรมที่แสดงออกตามแต่กระบวนการ ควบคุมอัตโนมัติหมายถึงควบคุมพฤติกรรมโดยปราศจากการทำงานของคน พฤติกรรมต่างๆ จะแสดงออกโดยการควบคุมของระบบควบคุม ควบคุมแบบ Manula คือการควบคุมโดยคน โดยการตัดสินใจของคน ควบคุมอัตโนมัติ ใช้เพื่อให้ระบบสามารถควบคุมตัวมันเองได้ อินพุทหรือค่าอ้างอิงคือตัวกระตุ้น เพื่อให้ระบบควบคุมทำงาน เอาท์พุทเป็นตัวแปรของกระบวนการที่จะควบคุม ระบบคือ กระบวนการรวมกับระบบควบคุม

3.1.1 บล็อคไดอะแกรม

เมื่อศึกษาเรื่องระบบควบคุม จำเป็นที่ต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับบล็อกไดอะแกรมแต่ละกระบวนการจะมีบล็อคไดอะแกรมไม่เหมือนกันแต่ทั้งหมดใช้บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานจะกล่าวถึงหลังจากนี้การแสดงแสดงด้วยกราฟิกนี้เรียกว่า ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรม รูป 3.1 แสดงฟังก์ชันบล็อคที่มีอินพุทและเอาท์พุท

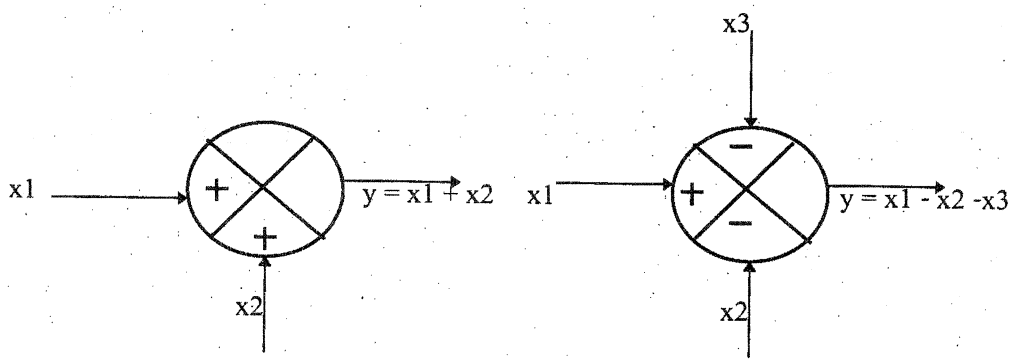


รูป 3.1

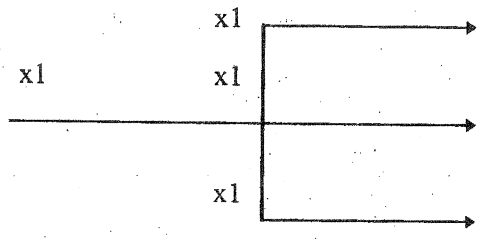
บล็อคไดอะแกรมจะมีเอาท์พุทที่เป็นฟังก์ชันของอินพุท โดยปกติจะเรียกว่าทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน สามารถเขียนได้เป็นอัตราส่วนของเอาท์พุทต่ออินพุท

$$F = \frac{V}{E}$$

เมื่อ E คือสัญญาณอินพุท (ตัวแปร S คือ transform) และ U คือสัญญาณเอาท์พุท (มีตัวแปร S ด้วย) การบวกหรือการลบจะแทนด้วยวงกลมและมีเครื่องหมาย + หรือ - กำกับอยู่ (รูป 3.2) จำนวนของอินพุทสามารถใส่ได้ตามต้องการ



รูป 3.2



รูป 3.3

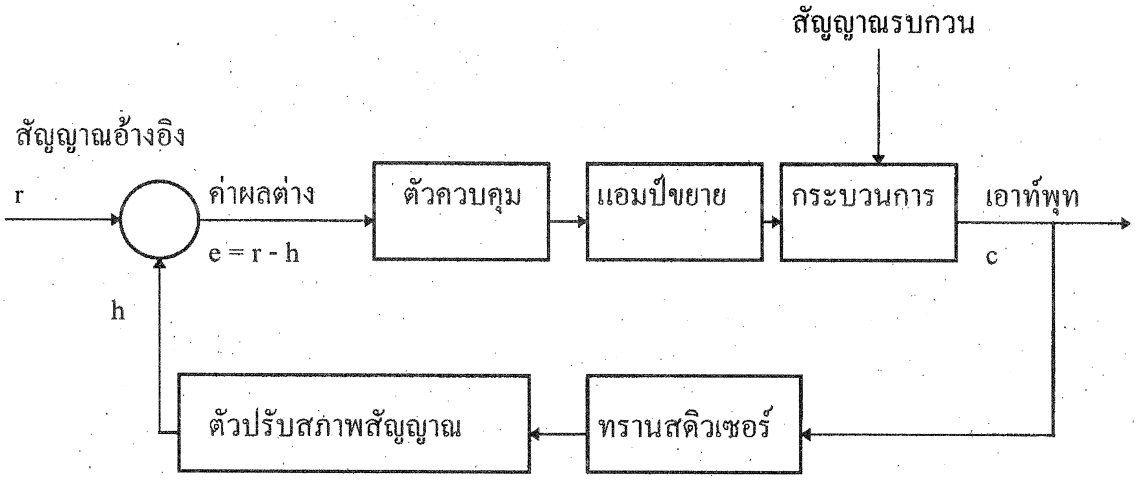
ถ้าสัญญาณเหมือนกันสามารถใช้เหมือนตัวแปรอินพุทซึ่งใส่ได้ตามต้องการมากเท่าหนึ่งบล็อค กิ่งก้านของจุดดูได้ในรูป 3.3 จากจุดเริ่มต้นของบล็อคที่แสดงในระบบสามารถมีจำนวนน้อยหรือมากได้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของกระบวนการ การคำนวณทางบล็อกไดอะแกรม เรียกว่า พีชคณิตของบล็อกไดอะแกรม

3.1.2 การแบ่งประเภทของระบบควบคุม

ระบบควบคุมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่คือ

- ระบบเปิด
- ระบบปิดหรือระบบป้อนกลับ

ระบบเปิด หมายถึง สัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นไม่ขึ้นอยู่กับเอาท์พุทแต่ในระบบปิด สัญญาณควบคุมขึ้นอยู่กับสัญญาณเอาท์พุทผลต่างที่เกิดขึ้นระหว่างสัญญาณเอาท์พุทกับสัญญาณอ้างอิงจะผลิตสัญญาณควบคุมไปควบคุมระบบทำให้ระบบลดค่าความผิดพลาดลง รูป 3.4 แสดงบล็อคไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับค่าลบ



รูป 3.4

ความหมายของบล็อคและสัญญาณมีดังนี้

- ตัวควบคุม คือ กลุ่มของอุปกรณ์ที่ต้องการจะกำเนิดสัญญาณควบคุมไปควบคุมกระบวนการ
- ทรานสดิวเซอร์และตัวปรับสภาพสัญญาณ คือ อุปกรณ์ที่สามารถแปลงสัญญาณเอาท์พุทที่จะควบคุมให้มีปริมาณและคุณภาพเหมาะสมในการควบคุม
- สัญญาณผลต่าง คือ สัญญาณผลต่างระหว่างสัญญาณอ้างอิงและสัญญาณย้อนกลับมาจากตัวปรับสภาพสัญญาณ
- สัญญาณรบกวน คือ สัญญาณอินพุทที่ไม่ต้องการที่จะมีผลต่อสัญญาณเอาท์พุท

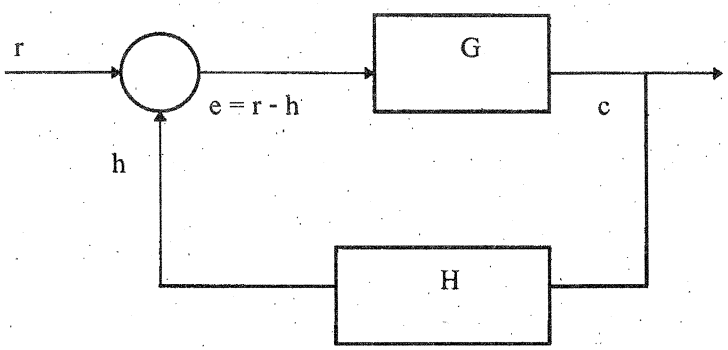
ข้อดีของระบบปิดเมื่อเปรียบเทียบระบบเปิดคือ

- ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแแปรต่ำ
- ทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดี

ข้อดีเหล่านี้มีความสำคัญมากเพราะว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร และสัญญาณรบกวนเป็นปริมาณที่ไม่สามารถคาดเดาไว้ล่วงหน้า

3.1.3 รูปแบบ Canonical ของระบบป้อนกลับ

ให้รูปบล็อคไดอะแกรมตามรูป 3.5 รูปแบบนี้เรียกกันโดยทั่วไปว่ารูปแบบ Canonical ของระบบป้อนกลับ แต่ละระบบป้อนกลับมีความซับซ้อนแตกต่างกันแต่สามารถยุบรวบให้อยู่ในรูปแบบ Canonical ได้



รูป 3.5

3.1.4 ระบบเชิงเส้น (สมการอนุพันธ์)

ระบบจะสมมุติให้เป็นเชิงเส้น (สมการอนุพันธ์เชิงเส้นตรง) เช่น ถ้ามีอินพุท X1 (+) จะให้เอาท์พุท Y1 (+) และอินพุท X2 (+) จะให้เอาท์พุท Y2 (+) เมื่ออินพุท C1.X1(+)+C2X2(+) จะผลิตสัญญาณเอาท์พุทเท่ากับ C1.Y1(+) + C2.(Y2(+) สำหรับทุก ๆ คู่ของ X1 (+) และ X2(+) จะให้ทุกๆ คู่ของค่าคงที่จำนวนจริง C1 และ C2 หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าสมการเชิงเส้นตรงจะมีคุณสมบัติของทฤษฎีซุปเปอร์โพซิชั่นโดยปกติ ไม่มีระบบทางกายภาพใดๆ ที่เขียนสมการเชิงเส้นตรงได้โดยที่มีค่าสัมประสิทธิ์โดยแน่นอนได้ อย่างไรก็ตามหลายๆ ระบบ ทำได้เมื่อกำหนดย่านการทำงานให้แน่นอน คำตอบของสมการอนุพันธ์เชิงเส้นกับค่าสัมประสิทธิ์ที่คงที่แสดงได้ด้วยผลตอบสนองของระบบซึ่งจะแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ

- ผลตอบสนองอิสระ
- ผลตอบสนองกระทำ

ผลตอบสนองของระบบเป็นคำตอบของสมการเชิงอนุพันธ์เมื่อ ตัวแปรอินพุทเท่ากับศูนย์ ผลตอบสนองกระทำเป็นคำตอบของสมการเชิงอนุพันธ์ เมื่อทุกๆ สภาพเริ่มต้นเท่ากับศูนย์ ผลรวมของทั้งสองผลตอบสนอง เรียกว่า ผลตอบสนองรวมของระบบ ผลตอบสนองของระบบจะพิจารณาได้ 2 ลักษณะคือ

- ผลตอบสนองทรานเซียล
- ผลตอบสนองคงตัว

ทั้งสองผลตอบสนองนี้ ใช้อธิบายระบบบ่อยมาก

3.1.5 การแปลงลาปลาซ

เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาทางวิศวกรรม โดยทำการแทนฟังก์ชันของตัวแปรเชิงเวลาด้วยฟังก์ชันเชิงความถี่ การแปลงลาปลาซคือการแปลงฟังก์ชันเชิงเวลาไปเป็นฟังก์ชันเชิงความถี่ของตัวเลขเชิงซ้อน คณิตศาตร์ที่ใช้ในวิธีการแปลงนี้มีประโยชน์มากในการแก้ปัญหาทางสมการเชิง

เส้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์คงที่ เมื่อแก้ปัญหาในเทอมของฟังก์ชันเชิงซ้อน การแปลงวิธีนี้จะอินเวอร์สกลับไปที่ฟังก์ชันเชิงเวลาได้ (อินเวอร์สลาปลาซ)

3.1.6 ฟังก์ชัน Canonical

ฟังก์ชันข้างล่างนี้จะใช้บ่อยในระบบควบคุม

- ฟังก์ชัน impluse
- ฟังก์ชัน step
- ฟังก์ชัน ramp

แต่ละฟังก์ชันมีความสำคัญเพราะจำผลตอบสนองที่ได้จากกระบวนการเมื่อมีอินพุทเป็นฟังก์ชันข้างบนแล้วเราจะนำมาพิจารณาถึงพฤติกรรมของกระบวนการได้ดังนี้

- ความไว
- ความถูกต้อง
- ความเร็วในการตอบสนอง
- เสถียรภาพ

3.1.7 ความไวของระบบควบคุม

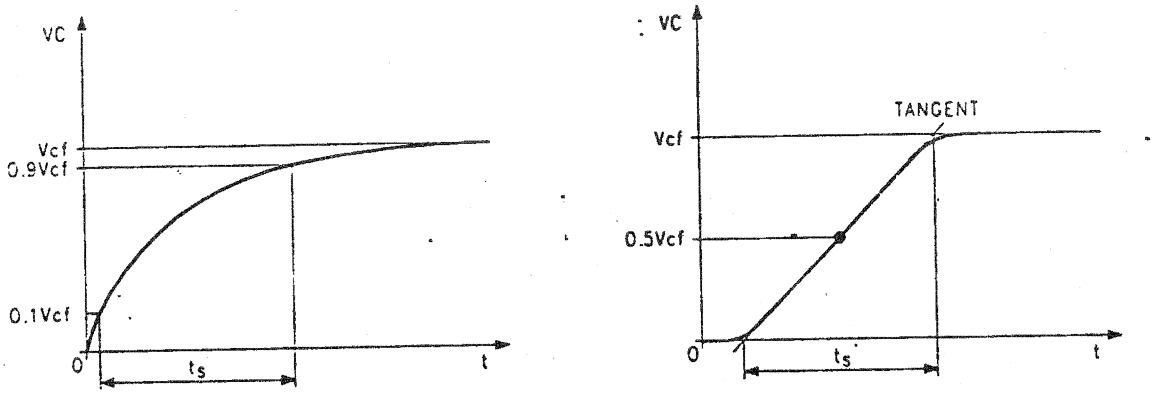
ความไวสามารถนิยามได้โดยตรงการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของอินพุทจะเป็นสาเหตุให้ปริมาณเอาท์พุทมีการเปลี่ยนแปลงหรือค่าความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดการกระตุ้นพฤติกรรมการควบคุมขึ้น

3.1.8 ความถูกต้องของระบบควบคุม

ความถูกต้องจะประมาณได้โดยดูที่ผลการควบคุมว่าได้ผลใกล้เคียงค่าสัญญาณอ้างอิงหรือไม่ผลต่างระหว่างสัญญาณเอาท์พุทและค่าสัญญาณอ้างอิงคือ ผลต่างความผิดพลาด ความถูกต้องและความผิดพลาดสามารถวัดได้ในสภาวะคงตัวและในสภาวะทรานเชี้ยล ในสถานะแรกเรียกว่าความผิดพลาดคงตัวส่วนในสถานะหลัง เรียกความผิดพลาดไดนามิก

3.1.9 ความเร็วของผลตอบสนอง (เชิงเวลา)

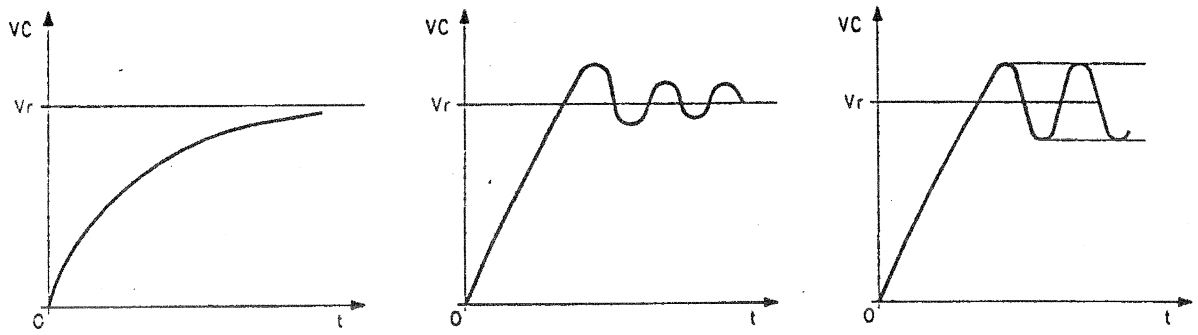
ความเร็วของผลตอบสนองเป็นความเร็วของระบบในการไปให้ถึงจุดอ้างอิงใหม่ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าคงตัวเวลาว่ามีมากหรือน้อยซึ่งแต่ละกระบวนการมีไม่เท่ากัน ผลตอบสนองเชิงเวลานี้วัดได้สองอย่างดังรูป 3.6



รูป 3.6

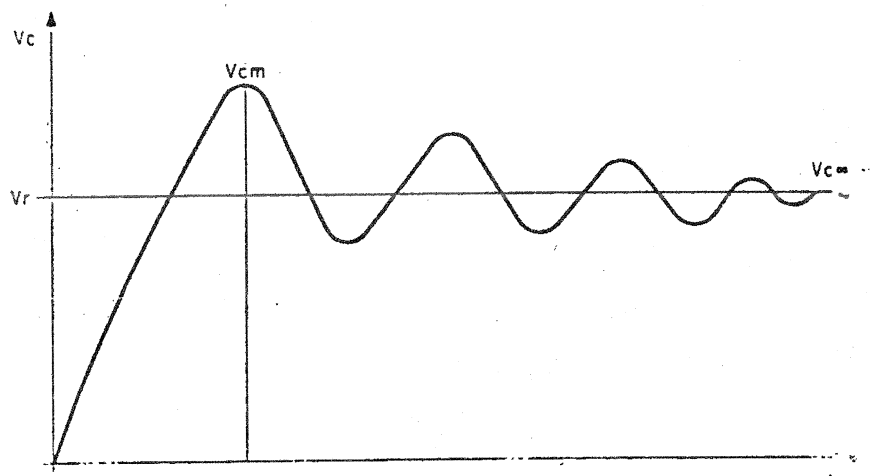
3.1.10 เสถียรภาพของระบบควบคุม

เสถียรภาพ คือ ความสามารถของระบบในการไปให้ถึงค่าอ้างอิงที่เปลี่ยนแปลงไปโดยมีช่วงเวลาที่ยอมรับได้แต่เมื่อระบบไม่สามารถทำได้เราเรียกว่า ความไม่มีเสถียรภาพ (unstable) รูป 3.7 แสดงผลตอบสนองทั้งสามแบบคือ aperiodic, dampled periodic และ permanent periodic



รูป 3.7

จากรูป 3.8 V_{cm} คือ ค่าสูงสุดของผลตอบสนองและ $V_{c\infty}$ คือ ผลตอบสนองที่สภาวะคงตัว อัตราส่วนของทั้งสองค่านี้มีความสำคัญตามสมการ



$$Se = \frac{Vcm - Vc\infty}{Vc\infty}$$

3.1.11 การวิเคราะห์ระบบควบคุม

จุดประสงค์หลักของการวิเคราะห์ระบบควบคุมคือเนื้อหาคุณลักษณะตามนี้

- ผลตอบสองทรานเซี้ยล
- ผลตอบสนองคงตัว
- เสถียรภาพ

วิธีการหามีมากมายดังเช่น

- Root loms plot (s domain)
- Bode diagram (w-domain)
- Nyquist diagram (w-domain)
- Nichols chart (w-domain)

3.2 การออกแบบระบบควบคุม

จุดประสงค์หลักของการออกแบบระบบควบคุม คือ การกำหนดคุณลักษณะที่ต้องการ ในเทอมของความเร็วของผลตอบสนอง ความถูกต้องและเสถียรภาพ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

- คุณลักษณะเชิงความถี่
- คุณลักษณะเชิงเวลา

คุณลักษณะเชิงความถี่ จะพิจารณาดังนี้

- gain margin
- phase margin
- bandwidth
- cutoff rate
- resonance amplitude peak

- resonance frequency

คุณลักษณะเชิงเวลาจะนิยามในเทอมของผลตอบสนองของ unit step โดยรวมเอาทั้งผลตอบสนองทรานเชี้ยลและผลตอบสนองคงตัว

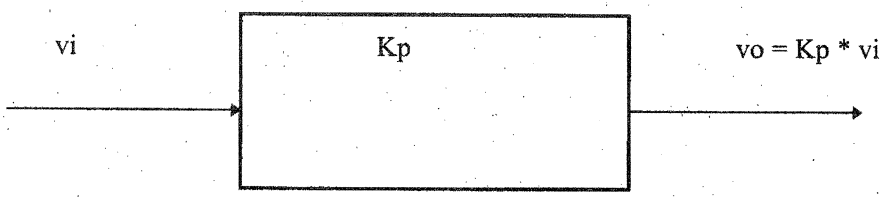
โดยที่ผลตอบสนองคงตัวจะบอกความถูกต้องของระบบขณะที่ผลตอบสนองทรานเชี้ยลจะบอกความเร็วของระบบและเสถียรภาพ ดังเช่น

- over shoot
- delay time
- rise time
- setting itme
- dominant time contstant

พิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบในการปรับเปลี่ยน จำเป็นที่จะต้องมีฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมมาปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของระบบ เรียกว่า ตัวควบคุม ตัวควบคุมสามารถเลือกแบบแอคตีบได้ (แอมป์,อินทีเกรต ฯลฯ) หรือแบบพาสซีพ (lag network และ lead network) ตัวควบคุมมารตฐานที่ใช้ควบคุมทำให้ระบบมีผลตอบสนองเป็นไปตามที่เราต้องการ มีดังนี้คือ ตัวควบคุมแบบ PID และตัวควบคุมแบบปิดเปิด

3.2.1 ตัวควบคุมแบบ P

จะทำให้เกนเพิ่มขึ้นหรือลดลง



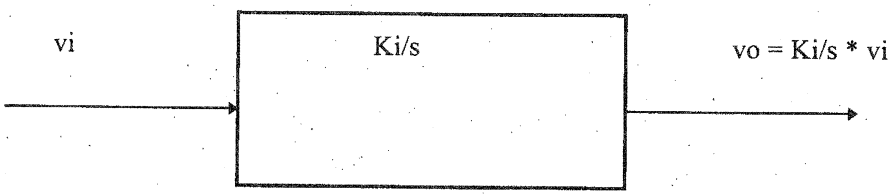
รูป 3.9

3.2.2 ตัวควบคุมแบบ I

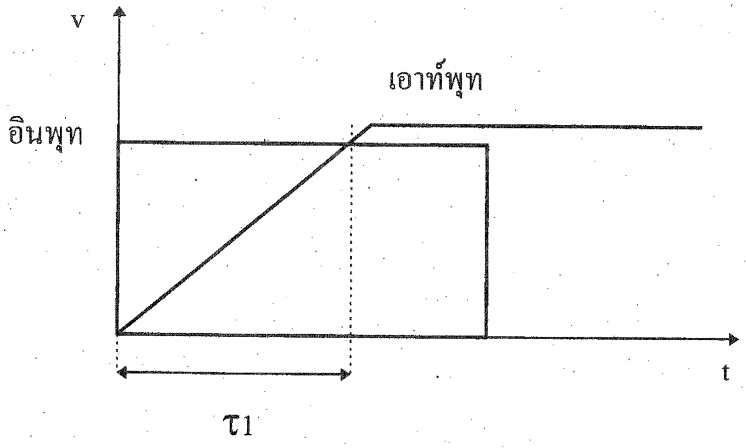
จะทำหน้าที่เป็นอินทิเกรเตอร์

$$W(S) = \frac{KI}{S} = \frac{1}{\tau I.S}$$

เมื่อ τI เป็นค่าคงที่เวลาของอินทีเกรเตอร์ เอาท์พุทของอินพุทแบบ step จะแสดงด้วยดีเลย์แบบเชิงเส้นหลังจากคาบเวลาเท่ากับ ค่าเวลาคงตัวของอินทีเกรเตอร์ เอาท์พุทจะมีค่าเท่ากับค่าอินพุท



รูป 3.10



รูป 3.11

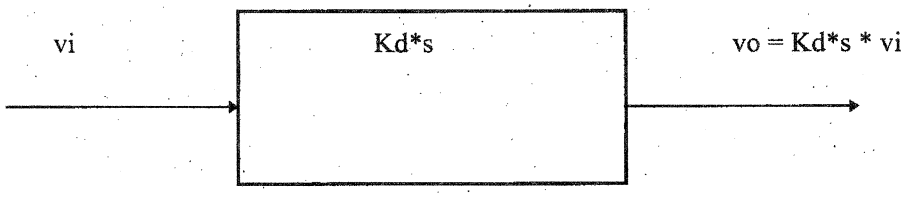
หมายเหตุ หลังจากเท่ากับค่าอินพุทแล้ว ค่าเอาท์พุทยังคงเพิ่มขึ้นที่อัตราความเร็วเดิมจนกระทั่งค่าอินพุทจะเท่ากับศูนย์

3.2.3. ตัวควบคุมแบบ D

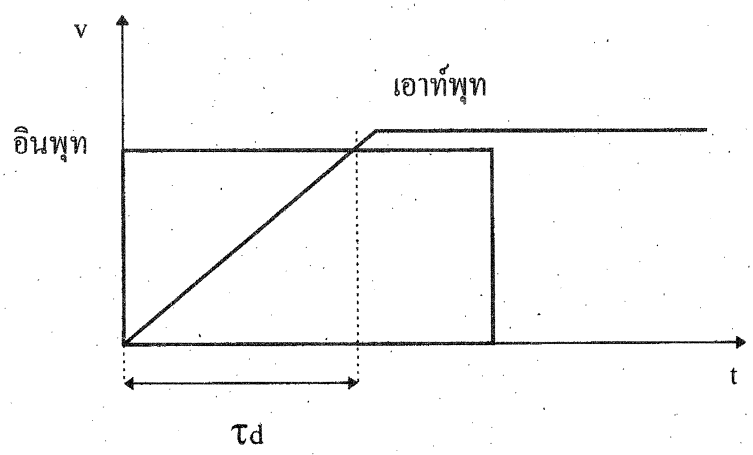
จะทำหน้าที่เป็นดิฟเฟอเรเชียล ค่าเอาท์พุทจะตอบสนองต่ออินพุทแบบ ramp ที่เท่ากับค่าที่อินพุทจะมีหลังจากเวลาเท่ากับค่าเวลาคงตัวของ ดิฟเฟอเรนเชียล ฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$W(S) = S.kD = S.\tau D$$

เมื่อ τD คือ ค่าเวลาคงตัวของดิฟเฟอเรเชียล ดูรูป 3.13



รูป 3.12

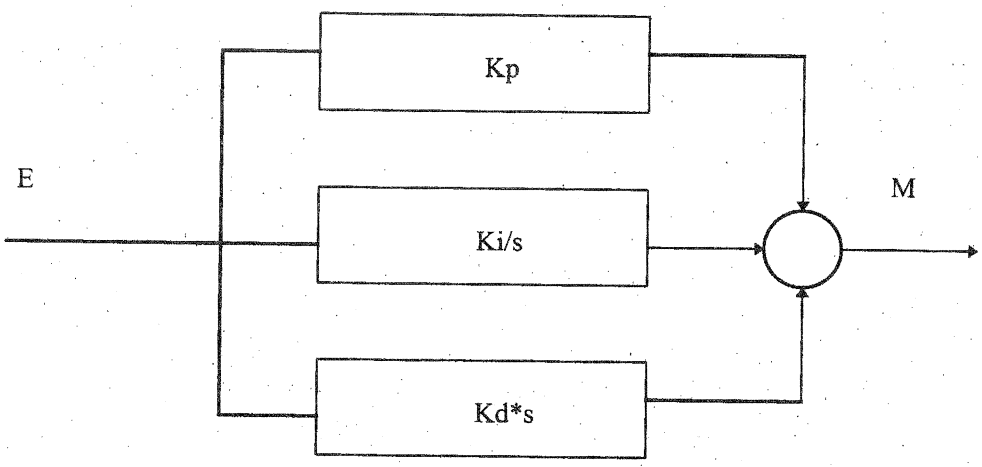


รูป 3.13

ค่าเอาท์พุทจะเท่ากับค่าอินพุทหลังจากเวลา τD และยังคงต่อเนื่องไปจนกระทั่งความชันของอินพุทเปลี่ยนแปลง

3.2.4 ตัวควบคุมแบบ PID

เป็นตัวควบคุมที่มีพฤติกรรมแบบตัวควบคุม P ตัวควบคุม I และตัวควบคุม D รวมกัน ดังรูป 3.14

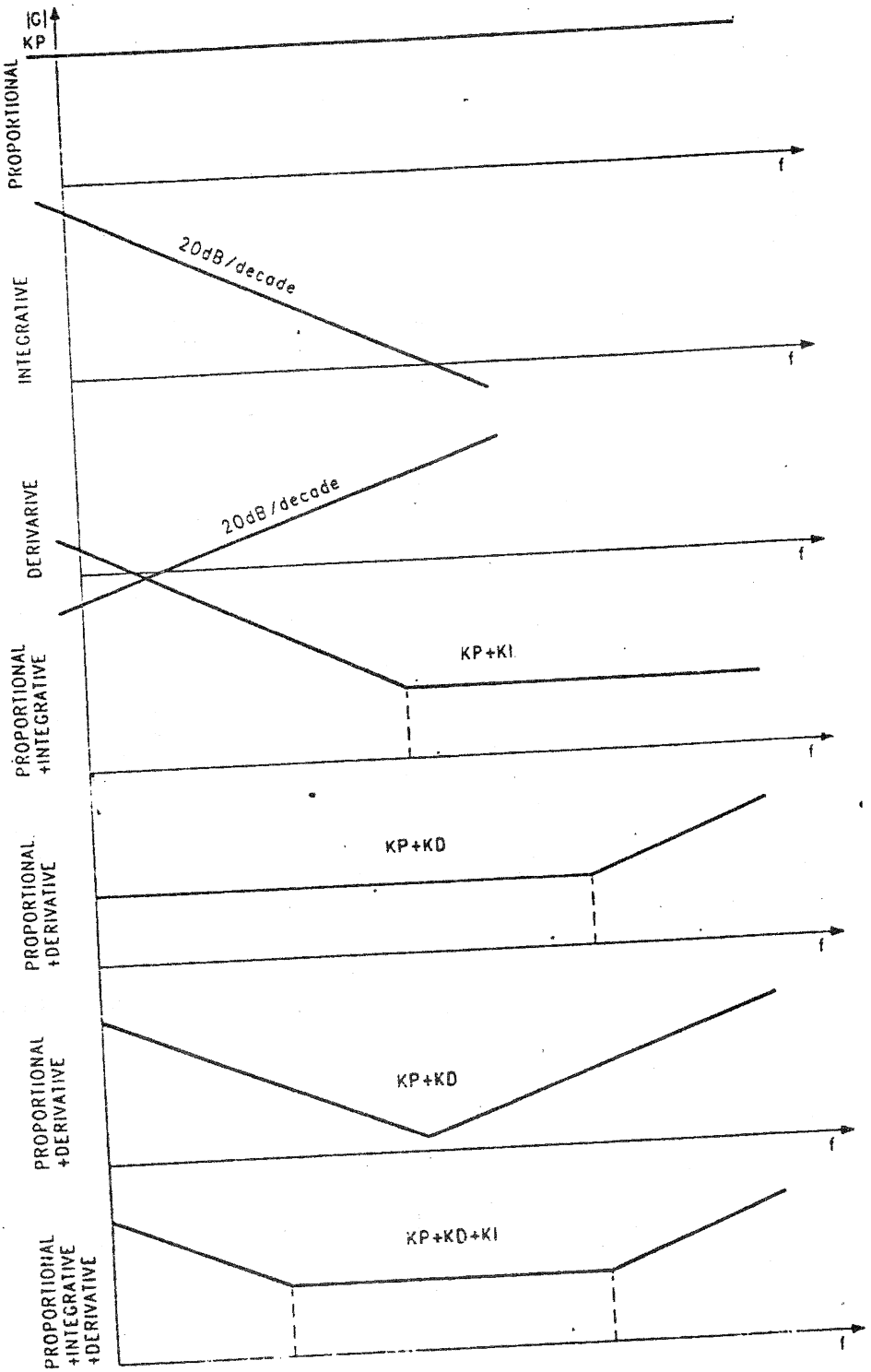


รูป 3.14

ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม คือ

$$W(S) = kP + \frac{kI}{S} + KD.S$$

$$W(S) = \frac{KP.S + KI + KD.S^2}{S}$$

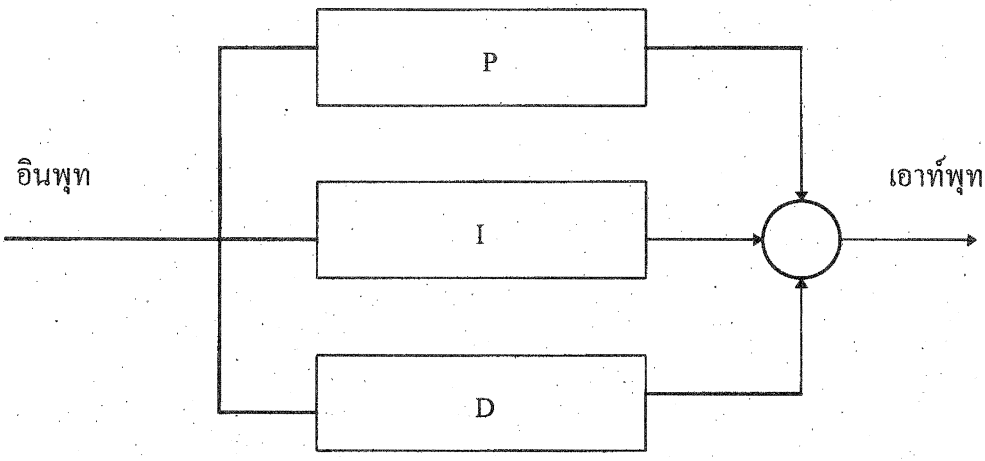


BODE diagrams for different kind of controllers

รูป 3.15

3.3 ตัวควบคุมแบบ PID

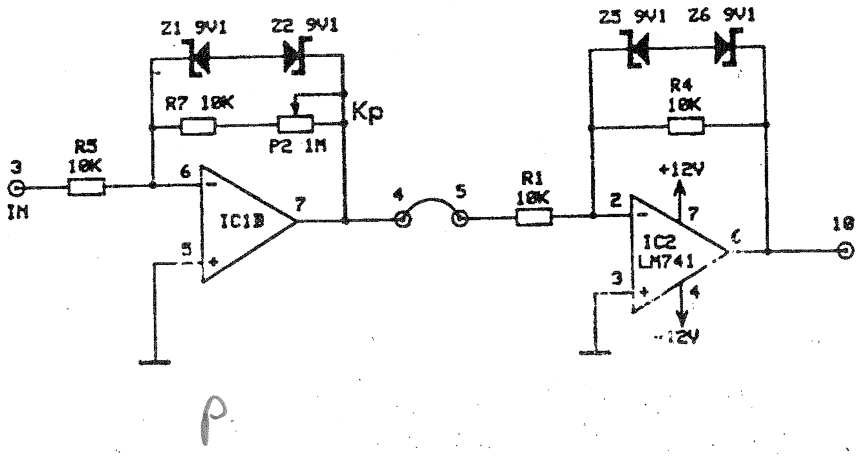
ตัวควบคุมแบบ PID มีสัญญลักษณ์ดังรูป 3.16 และจะแยกอธิบายตัวควบคุมที่ลงตัว เริ่มจากตัวควบคุมแบบ P ในรูป 3.17



รูป 3.16

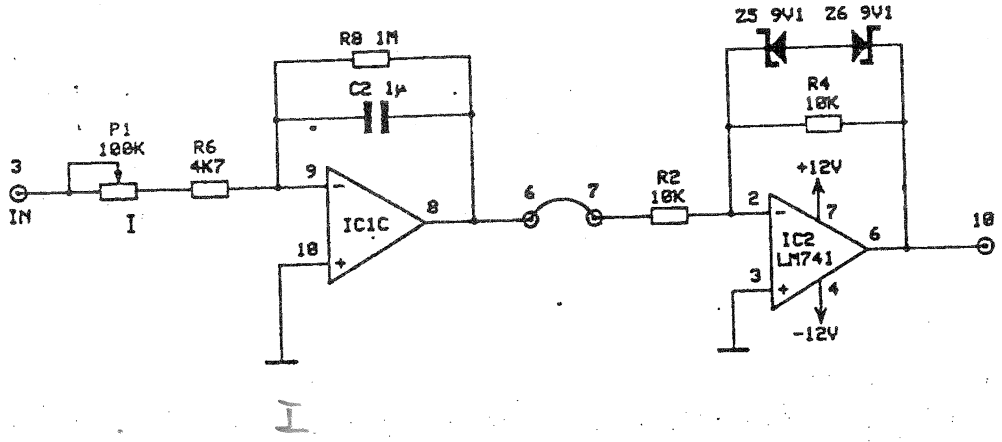
ตัวควบคุมแบบ P จะประกอบด้วย ออปแอมป์ โดยต่อแบบอินเวอร์สแอมป์ โดยมีเกต (ค่าคงที่ของอัตราส่วนของตัวควบคุมแบบ P) ที่เป็นอัตราส่วนระหว่าง ค่าความต้านทาน R7 กับ P2 และ R5 ตามสมการนี้

$$kP = \frac{(R7+P2)}{R5}$$



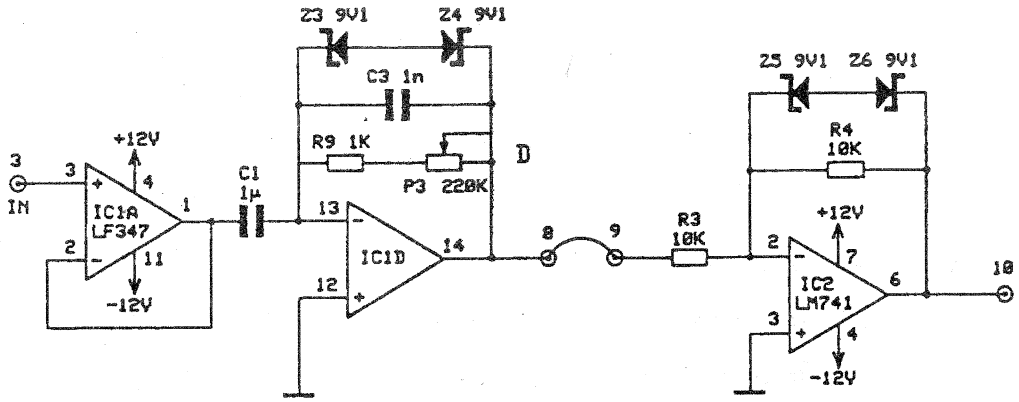
รูป 3.17

ค่าเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบ P จะมีมุมเฟสเปลี่ยนไป 180° (อินเวอร์สแอมป์) เทียบกับอินพุทแต่ไม่เป็นปัญหาขณะนี้เอาท์พุทของตัวควบคุมแบบ PID จะมีออปแอมป์อีกตัวทำหน้าที่กลับขั้วให้เท่ากับศูนย์อีกทีซีเนอร์ไดโอด Z1 และ Z2 จะป้องกันเอาท์พุทของออปแอมป์ไม่ให้เกิดสภาวะอิ่มตัว ในความเป็นจริงเมื่อแรงดันเอาท์พุทมากกว่าคุณลักษณะของไดโอด (ในกรณี 9.1V) จะมีอิมพีแอนท์คร่อมจำกัดเกนของออปแอมป์ตัวควบคุมแบบ I แสดงในรูป 3.18 จะประกอบด้วยออปแอมป์ต่อเป็นอินทีเกรต โดยมีค่าคงที่เวลาเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความต้าน R6 กับ P1 และค่าความจุประจุ C2 การปรับ P1 จะทำให้ค่าคงที่เวลาเปลี่ยนแปลงการกลับเฟสจะเหมือนกับตัวควบคุมแบบ P



รูป 3.18

ตัวควบคุมแบบ D (ดูรูป 3.19) จะประกอบด้วยออปแอมป์โดยมีค่าคงที่เวลาเป็นอัตราส่วนของค่าความต้านทาน R8 และ P3 กับค่าความประจุ C1 เมื่อทำการปลับเปลี่ยนค่า P3 จะทำให้ค่าเวลาคงตัวของตัวควบคุมแบบ D เปลี่ยนไปค่าความจุประจุ C3 จะลดอิทธิพลของสัญญาณรบกวนความถี่สูง การกลับเฟสจะเหมือนกับตัวควบคุมแบบ P



รูป 3.19

41-47

3.4 แบบฝึกหัด

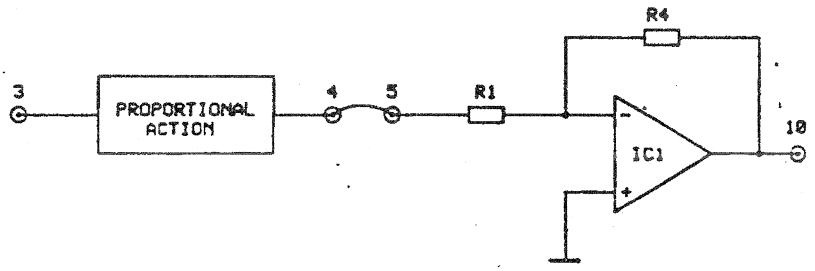
การทดลองที่ 3.4.1 เรื่อง ตรวจสอบคุณลักษณะรูปร่างแรงดันเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบ P และวัดค่าเกตของตัวควบคุมแบบ P

อุปกรณ์การทดลอง

- ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
- ออสซิโลสโคป

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูป 3.20
2. ตั้งโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ D ให้มีค่ามากที่สุด
3. ต่อไฟเลี้ยงให้กับโมดูล $\pm$12vdc
4. ต่อสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 100 Hz มีแอมปลิจูด 100 mv ระหว่างขั้วที่ 10 กับกราวน์
5. ต่อในงบวัดสัญญาณที่ขั้ว 17
7. ตั้งค่าเกนของออปแอมป์ IC1 ให้มีค่าน้อยที่สุดโดยโพเทนชิโอมิเตอร์
8. เปรียบเทียบผลต่างระหว่างสัญญาณเอาท์พุทและสัญญาณอินพุท
9. เปรียบเทียบรูปร่างของแรงดันเอาท์พุทและอินพุท
10. คำนวณค่าเกน kp ของตัวควบคุมแบบ P (kp คืออัตราส่วนระหว่างแอมปลิจูดของแรงดันเอาท์พุทและแรงดันอินพุท)
11. ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ P และวัดค่าแรงดันเอาท์พุทและ kp
12. ปรับรูปร่างของสัญญาณอินพุทใหม่จากรูปสี่เหลี่ยมไปรูป sine และสังเกตุดูความแตกต่าง

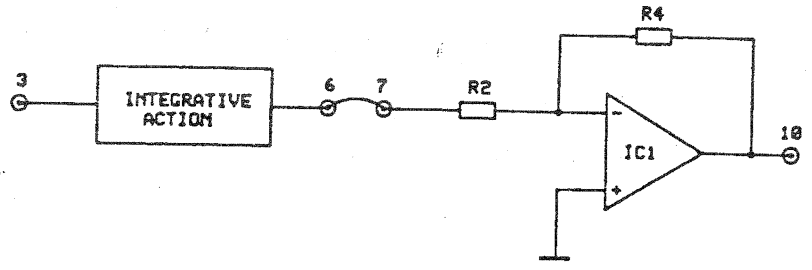


รูป 3.20

การทดลองที่ 3.4.2 เรื่อง ตรวจสอบคุณลักษณะรูปร่างของตัวควบคุมแบบ I และวัดค่าเวลาคงตัว

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูป 3.21
2. ต่อไฟเลี้ยงให้กับโมดูล ±12vdc
3. จ่ายสัญญาณอินพุทรูปร่างสี่เหลี่ยมความถี่ 100 Hz, แอมปลิจูด 2V เข้าที่ขั้ว 10
4. ต่อไฟวงเข้าที่ขั้วที่ 10
5. ต่อสายไฟในรบอีกเส้นเข้าที่ขั้ว 17
6. ตั้งในเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ I ไปที่ค่าน้อยที่สุด
7. เปรียบเทียบรูปร่างของสัญญาณเอาท์พุทและสัญญาณอินพุท
8. คำนวณค่าเวลาคงตัว KI ของตัวควบคุมแบบ I ตามรูป 3.2.1
9. คำนวณค่าเวลาคงตัว KI (KI คือเวลาที่สัญญาณเอาท์พุทมีแอมปลิจูดเท่ากับสัญญาณอินพุท)
10. เปลี่ยนค่าเวลาคงตัวโดยใช้โพเทนชิโอมิเตอร์และสังเกตุดูการเปลี่ยนแปลงที่สัญญาณเอาท์พุท
11. เปลี่ยนความถี่ของสัญญาณอินพุทและดูการเปลี่ยนแปลงที่สัญญาณเอาท์พุท
12. เปลี่ยนรูปร่างสัญญาณอินพุทจากสี่เหลี่ยมไปเป็น sine
13. สังเกตความเปลี่ยนแปลงที่สัญญาณเอาท์พุท



รูป 3.21

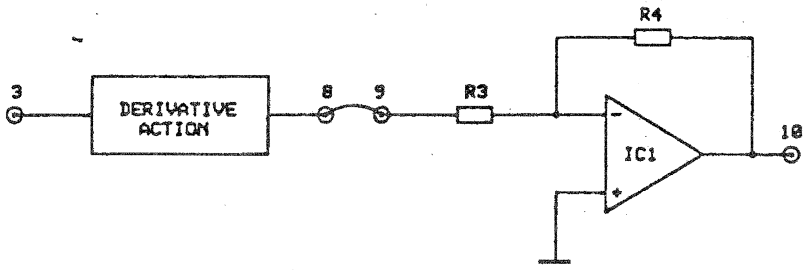
การทดลองที่ 3.4.3 เรื่อง ตรวจสอบคุณลักษณะรูปร่างของตัวควบคุมแบบ D และวัดค่าคงตัวเวลา

อุปกรณ์การทดลอง

- ฟังก์ชันเอนเนอเรเตอร์
- ออสซิงไลสโคป

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูป 3.22
2. ต่อไฟเลี้ยงให้กับโมดูล $\pm$12vdc
3. จ่ายสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่ 100 Hz มีแอมปลิจูด 0.5V เข้าที่ขั้ว 10
4. ต่อสายโพรปเข้าที่ขั้ว 10
5. ต่อสายโพรปอีกเส้นเข้าที่ขั้ว 17
6. ตั้งค่าโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ D ไปที่ค่าน้อยที่สุด
7. เปรียบเทียบรูปร่างของสัญญาณเอาท์พุทและสัญญาณอินพุท
8. คำนวณค่าเวลาคงตัว KD ของตัวควบคุมแบบ D จากค่าของอุปกรณ์ดังรูป 3.22
9. คำนวณค่าเวลาคงตัว KD จากรูปผลตอบสนอง (KD คือเวลาที่แรงดันเอาท์พุทเท่ากับแรงดันอินพุท)
10. ปรับค่าเวลาคงตัวและสังเกตุดูผลตอบสนองสัญญาณเอาท์พุท
11. เปลี่ยนความถี่ของสัญญาณอินพุทและสังเกตุดูการเปลี่ยนแปลงที่เอาท์พุท
12. เปลี่ยนรูปร่างของสัญญาณอินพุทไปเป็น sine ที่มีความถี่และแอมปลิจูดเท่าเดิม
13. สังเกตุความเปลี่ยนแปลงต่างๆ



รูป 3.22

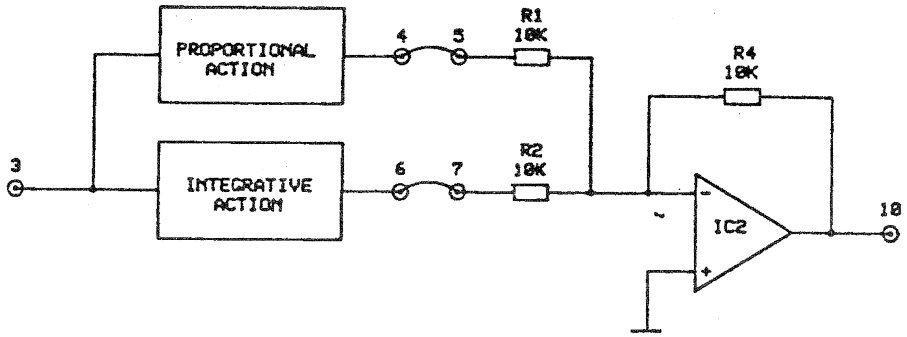
การทดลองที่ 3.4.4 เรื่อง ตรวจสอบรูปร่างของแรงดันเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบ PI

อุปกรณ์การทดลอง

- ฟังก์ชันเอนเนอเรเตอร์
- ออสซิงไลสโคป

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูป 3.23
2. จ่ายสัญญาณอินพุทรูปสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz แอมปลิจูด 2V เข้าที่ขั้ว 10
3. ต่อสายโพรบเข้าที่ขั้ว 10
4. ต่อสายโพรบอีกเส้นเข้าที่ขั้ว 17
5. ตั้งโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ P (kP) ให้มีค่าน้อยที่สุด
6. ตั้งค่าโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ I (KI) ให้มีค่าน้อยที่สุดด้วย
7. เปรียบเทียบรูปร่างแรงดันเอาท์พุท
8. ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ของทั้งตัวควบคุมแบบ P และ I จากต่ำสุดถึงสูงสุดสังเกตุความเปลี่ยนแปลง
9. เปลี่ยนความถี่สัญญาณอินพุทและสังเกตุความเปลี่ยนแปลง



รูป 3.23

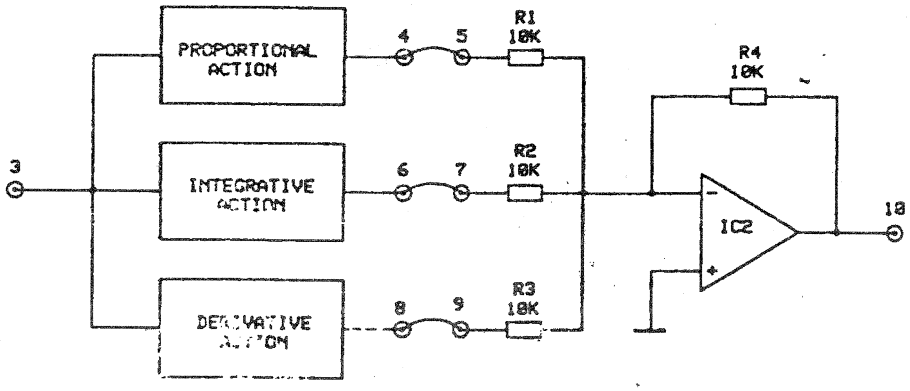
การทดลองที่ 3.4.5 เรื่อง ตรวจสอบรูปร่างของแรงดันเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบ PID

อุปกรณ์การทดลอง

- ฟังก์ชันเอนเนอเรเตอร์
- ออสซิงไลสโคป

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูป 3.24
2. จ่ายสัญญาณอินพุทรูปสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz แอมปลิจูด 2V เข้าที่ขั้ว 10
3. ต่อสายโพรบเข้าที่ขั้ว 10
4. ต่อสายโพรบอีกเส้นเข้าที่ขั้ว 17
5. ตั้งโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ P (kP) ให้มีค่าน้อยที่สุด
6. ตั้งค่าโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ I (KI) ให้มีค่าน้อยที่สุดด้วย
7. ตั้งค่าโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ D (KD) ให้มีค่าน้อยที่สุดด้วย
8. เปรียบเทียบรูปร่างแรงดันเอาท์พุท
9. ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ของทั้งตัวควบคุมแบบ P และ I จากต่ำสุดถึงสูงสุดสังเกตุความเปลี่ยนแปลง
10. เปลี่ยนความถี่สัญญาณอินพุทและสังเกตุความเปลี่ยนแปลง


PROPORTIONAL ACTION
INTEGRATIVE ACTION
DERIVATIVE ACTION
3
4
5
6
7
8
9
R1 10K
R2 10K
R3 10K
R4 10K
IC2
10

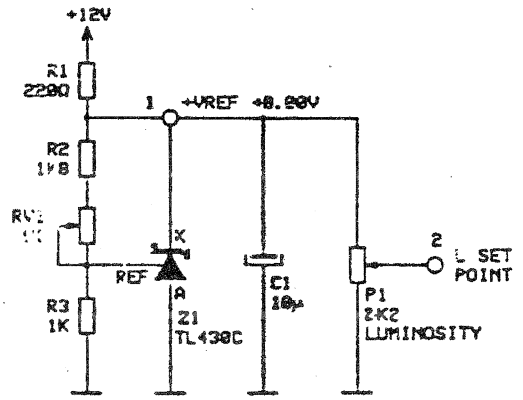
รูป 3.24

บทที่ 4
ระบบควบคุมเกี่ยวกับแสง

4.1 รายละเอียดเกี่ยวกับบล็อคไดอะแกรม

4.1.1 สัญญาณอ้างอิง

บล็อคตั้งค่าสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณอินพุท บล็อคนี้มีวงจรดังรูป 4.1 อุปกรณ์ Z1 มีหน้าที่ปรับแรงดันอ้างอิงในความเป็นจริงจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขาคาโทรด k จนกระทั่งแรงดันอ้างอิงของ REF ไม่เท่ากับแรงดันอ้างอิงภายในตัวควบคุม แรงดันอ้างอิงนี้จะเท่ากับ 2.7V ขณะแรงดัน REF ขึ้นอยู่กับแรงดันที่ขั้วคาโทรด (k) และค่าความต้านทาน R2, R3, RV1 โดยใช้ตัวทานต้านปรับค่าได้ RV1 ค่าแรงดันที่ตกคร่อมสามารถเปลี่ยนแปลงได้จนกระทั่งมันถึงค่าแรงดันที่ต้องการคร่อมขาคาโทรด ค่าความต้านทาน R1 จะทำให้แรงดันตกคร่อมระหว่างแรงดันไฟเลี้ยง (± 12vdc) และแรงดันที่ต้องการที่ขาคาโทรด แรงดันที่เกิดขึ้นที่ Z1 กับโพเทนชิโอมิเตอร์ P1 จะปรับได้ด้วยปุ่ม LUMIMOSTTY

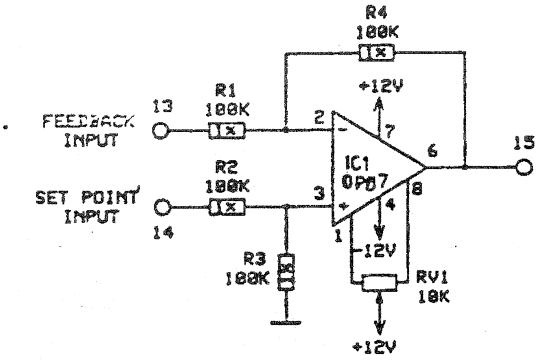


รูป 4.1

แรงดันนี้ คือ สัญญาณอ้างอิงสำหรับระบบควบคุม ตัวเก็บประจุ C1 ใช้สำหรับกรองแรงดันอินพุทหรือแรงดันเอาท์พุทที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

4.1.2 แอมป์ผลต่าง

แอมป์ผลต่าง (รูป 4.2) เป็นบล็อคประกอบด้วยค่าอินพุท สัญญาณอ้างอิง และสัญญาณเอาท์พุทโดยมีออปแอมป์ทำหน้าที่หาผลต่างของทั้งสองสัญญาณ ตัวต้านทานปรับค่าได้ RV1 ทำหน้าที่ปรับออฟเซทของออปแอมป์



รูป 4.2

4.1 ตัวควบคุม PID

4.1.3 เพาเวอร์แอมป์

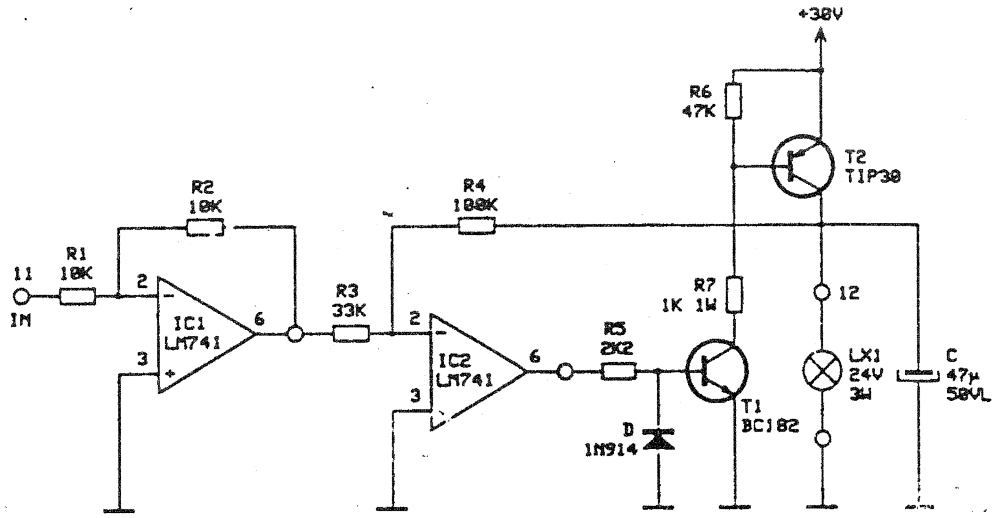
เพาเวอร์แอมป์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเอาท์พุทของตัวควบคุม PID ให้สามารถขับตัวแอกชูเตอร์ได้ รูปไดอะแกรมของเพาเวอร์แอมป์ ในโมดูล G13 ลด (รูป 4.3) ตัวแอคชูเตอร์คือ หลอดไส้ 24vdc ขณะที่ไฟเลี้ยงตัวควบคุม PID2 เท่ากับ 8 vdc อัตราส่วนของทั้งสองสัญญาณเท่ากับ 3.75 ออปแอมป์ IC2 ต่อแบบอินเวอร์สแอมป์ ในกรณีนี้แรงดันเกนคือ

$$G = \frac{-R_f}{R_i}$$

เมื่อ R_f คือ ตัวต้านทานป้อนกลับ (ตัวต้านทานระหว่างเอาท์พุทและอินเวอร์อินพุท) และ R_i คือตัวต้านทานที่ต่อระหว่างอินพุทและขาอินเวอร์ส ในกรณีนี้ คือ

$$G = \frac{-R4}{R3} = \frac{-100k}{33k} \approx -3$$

รูปวงจรรวมมีตัวทรานซิสเตอร์สองตัว ออปแอมป์จะปรับสัญญาณเอาท์พุทจนกระทั่งแรงดันคร่อมจุด 12 มีค่าเท่ากับสัญญาณอินพุท (ขั้ว 6) คูณกับค่าเกนของออปแอมป์



รูป 4.3

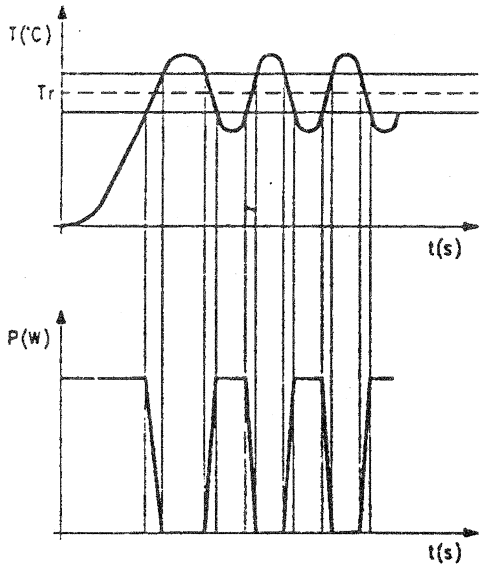
โดยการเพิ่มขึ้นของแรงดันคร่อมขั่ว 6 กระแสอินพุท คร่อม T1 จะเพิ่มขึ้น และขาคอลเลคเตอร์จะเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนกันแรงดันที่คร่อมขาเบส T2 จะตกลงและทำให้กระแสที่ขาคอลเลคเตอร์ของ T2 ลดลงเช่นกัน ซึ่งจะทำให้แรงดันคร่อมจุด 12 เพิ่มขึ้น

ตัวเก็บประจุ C1 จะทำให้เสถียรภาพของระบบดีขึ้นตัวต้านทาน R6 และ R7 จะไปไบอัส T2 ไดโอด D1 จำกัดแรงดันด้านลบเมื่อสามารถจ่ายให้กับขาเบสของ T1 (เฉพาะทรานซิสเตอร์ตอนเริ่มต้นสำหรับการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านหลอดไฟและอื่นๆ)

4.2 ระบบควบคุมแบบ P

สัญญาณเอาท์พุทที่ได้เป็นอัตราส่วนกับสัญญาณอินพุท ซึ่งสามารถปรับเกนได้แต่ในความเป็นจริงแล้วถ้าค้าสัญญาณอินพุทมีขนาดใหญ่มาก หรือเกนมีขนาดใหญ่มาก จะเกิดสภาวะอิ่มตัวขึ้น

และจะทำให้เกิดสถานที่ไม่เป็นเชิงเส้นขึ้นจึงจำเป็นจะต้องกำหนดช่องทางการทำงานให้เพื่อป้องกันเหตุการณ์ดังกล่าวดังรูปที่ 4.4 สัญญาณผลต่างที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่จ่ายจากตัวปรับสภาพสัญญาณของทรานสดิวเซอร์และสัญญาณอ้างอิงจะขยายด้วยเกน kp



รูป 4.4

นอกช่วงอัตราขยาย ตัวควบคุมจะปิด/เปิด หมายถึงว่าจะไม่มีสัญญาณใดๆ ส่งออกไปที่แอคชูเอเตอร์ (พื้นที่ไม่มีอัตราขยาย) ขณะที่ภายในช่วงขยายจะมีการขยายเกิดขึ้น เมื่ออยู่ในสภาพคงตัว (ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงานหนึ่งตัว) พลังงานจะกลับมาจากแอมป์ไปเข้าที่แอคชูเอเตอร์ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ไปที่โหลดและที่ตัวแอคชูเอเตอร์

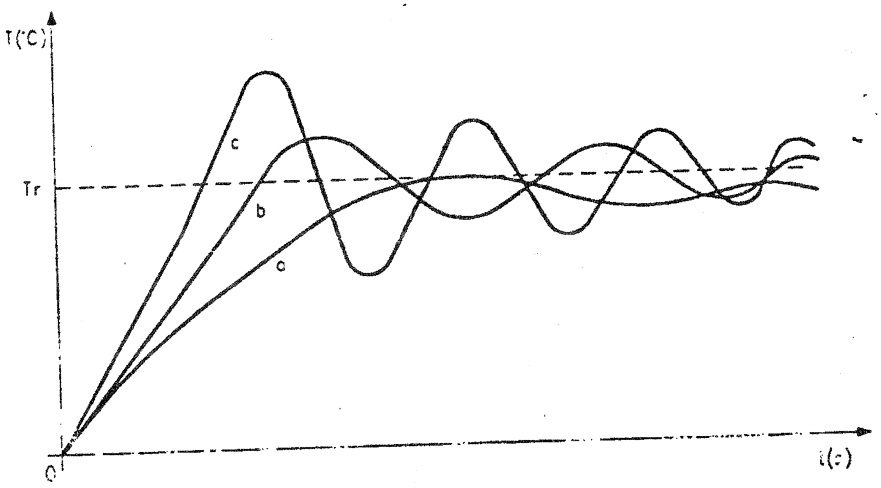
หมายเหตุ สำหรับตัวควบคุมชนิด P นี้ สัญญาณผลต่างจะไม่เท่ากับศูนย์แต่ขึ้นอยู่กับค่าเกน kp และค่าของช่วงอัตราขยายซึ่งสามารถอธิบายได้โดยผลต่างของแรงดันเอาท์พุทกับศูนย์ พฤติกรรมของแสงเป็นฟังก์ชันของเวลาขึ้นอยู่กับการเลือกช่วงอัตราขยาย

รูป 4.5 แสดงพฤติกรรมของแสงที่แตกต่างกัน

a) Bp มากเกินไป

b) Bp เหมาะสม

c) Bp น้อยเกินไป



รูป 4.5

4.3 ระบบควบคุมด้วย PI และ PID

ข้อดีของระบบควบคุมชนิด P คือมันสามารถทำให้สัญญาณอินพุทค่าใกล้เคียงกับสัญญาณเอาท์พุทที่ต้องการได้ส่วนข้อดีของระบบควบคุมชนิด I คือจะทำให้ความผิดพลาดในสภาวะคงตัวน้อยลงแรงดันเอาท์พุทจะได้จากการอินทีเกรตแรงดันอินพุท แต่มันจะทำให้เกิดอิเนอเชียของระบบสูงขึ้น ดังนั้นระบบมีเสถียรภาพเลวลง (เกิดออสซิเลท) สำหรับกรณีนี้จำเป็นที่จะต้องเพิ่มตัวควบคุมชนิด D ขึ้นเพื่อทำให้ระบบมีความเร็วมากขึ้น

4.4 การตั้งค่าตัวควบคุม

เมื่อใช้ตัวควบคุม PID ควบคุมกระบวนการ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือเราจะหาตัวแปร kP, kI และ kD ได้อย่างไร เพื่อที่จะทำให้ระบบควบคุมควบคุมกระบวนการได้ตามที่ต้องการ โดยทั่วๆ ไป ปัญหานี้จะแก้ไขได้โดยบล็อกค่า kP ก่อนและบล็อค kI ตามมาและเลือก kD หลังสุด ขั้นตอนการเลือกสามารถแบ่งออกได้เป็นสองวิธีคือ

a) ดูจากพฤติกรรมที่ขอบของเสถียรภาพของระบบควบคุมป้อนกลับ

b) ผลตอบสนองเชิงเวลาของกระบวนการเมื่อมีอินพุทเป็น step

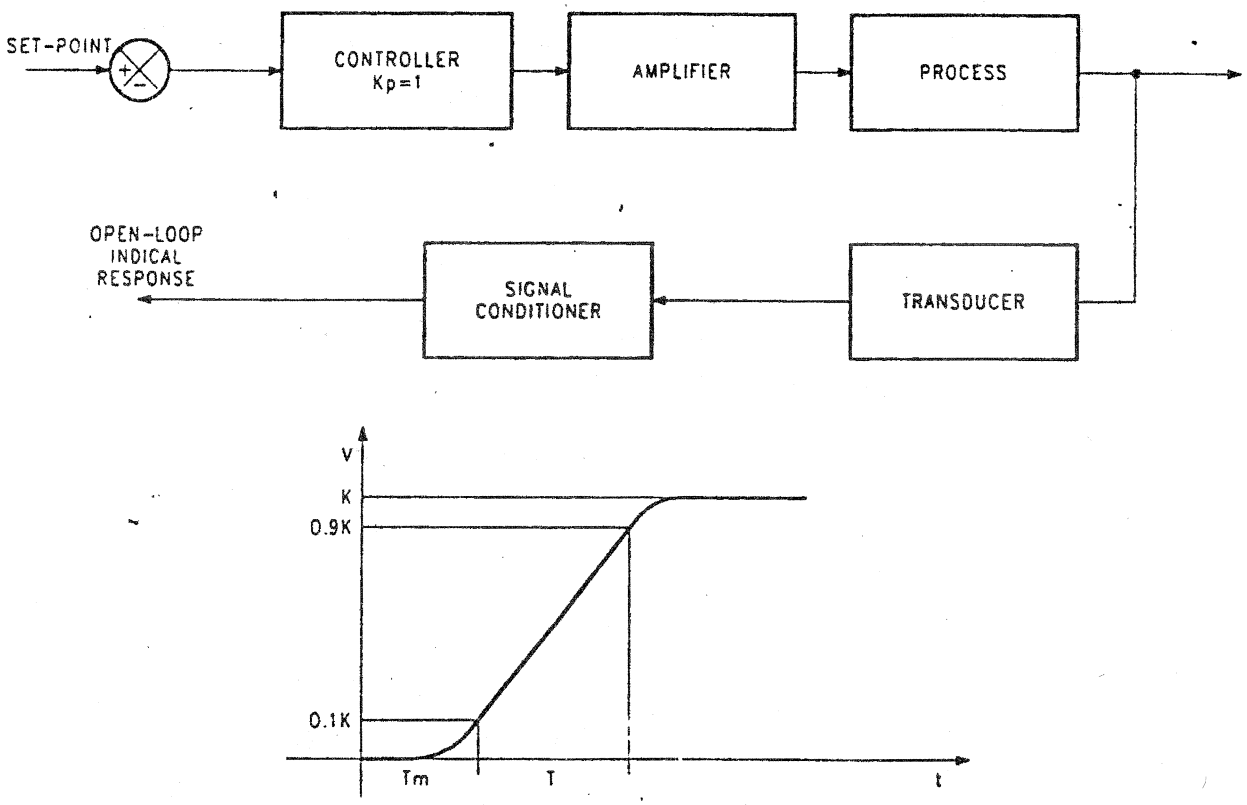
ขั้นตอนของข้อแรกจะต้องทำให้กระบวนการมีการออสซิเลท จึงจะต้องแน่ใจว่าการออสซิเลทไม่ทำอันตรายต่อกระบวนการวิธีการนี้เรียกกันว่า Ziegler-Nichols โดยมีขั้นตอนดังนี้

- นำเอาตัวควบคุมแบบ I และ D ออกก่อน
- เพิ่มค่า kP จากน้อยที่สุดจนกระทั่งระบบป้อนกลับอยู่ที่ขอบเสถียรภาพ
- วัดค่า kPc ของ kP ที่ทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพ
- ตรวจจับคาบเวลา Tc ของคาบออสซิเลทที่เกิดขึ้นในระบบเหนือขอบของเสถียรภาพแล้วนำมาเปรียบเทียบกับตารางข้างล่าง

ตัวควบคุม	KP	KP/KI	KD/KP
P	0.5*KPc		
PI	0.45*KPc	0.85*Tc	
PID	0.6*KPc	0.5*Tc	0.12*Tc

ขั้นตอนของข้อมูลท้ายจะวัดผลตอบสนองรูปเปิดของกระบวนการ Ziegler และ Nichols พัฒนาวิธีการนี้ด้วยดูรูป 4.6

- ลูปเปิด
- ตั้งค่า kP เท่ากับหนึ่งหน่วย
- นำเอาตัวควบคุมแบบ I และ D ออก
- ตั้งสัญญาณอินพุทหนึ่งหน่วยและวิเคราะห์ผลตอบสนองของเอาท์พุทของตัวปรับสภาพสัญญาณที่แสดงในรูปที่ 4.6 เมื่อมีตัวพื้นฐานดังนี้
- k = แกน
- Tm = dead time
- T = ค่าเวลาคงตัว



รูป 4.6

กับวิธีการนี้ Ziegler และ Nichole พัฒนาตารางการหา kP, τI , τD ของแต่ละตัวควบคุมตามตารางนี้

ตัวควบคุม	KP	KP/KI	KD/KP
P	$\frac{1}{K} * \frac{T}{Tm}$		
PI	$\frac{0.9}{K} * \frac{T}{Tm}$		
PID	$\frac{1.2}{K} * \frac{T}{Tm}$		

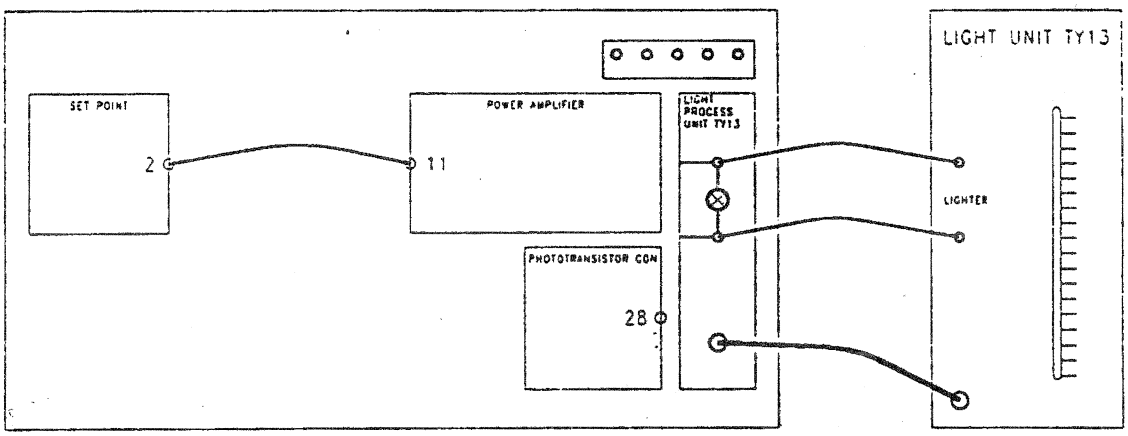
55-61

4.5 การทดลอง

การทดลองที่ 4.5.1 เรื่อง ระบบควบคุมอัตโนมัติของแสงลูปเปิด

วิธีทดลอง

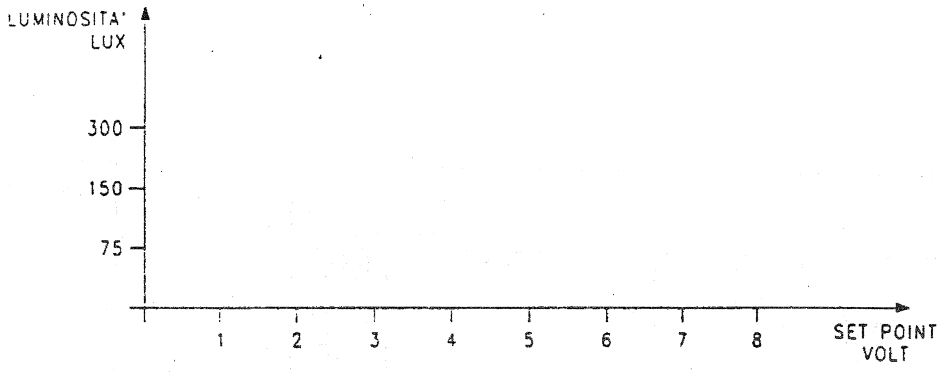
- ต่อวงจรตามรูป 4.7
- ต่อโมดูล G13 เข้ากับโมดูล TY13/EV ตามรูป 2.17
- ตั้งโมดูล TY13 ให้มีระยะห่างที่ 300 Lux และสวิทซ์ตัวปรับสภาพสัญญาณ (PHOTORESISTOR, PHOTOPIOPE, PHOTOTRANSISTOR CONHDITIONER) ไปที่ตำแหน่ง B
- กับสัญญาณอ้างอิงที่ 4 โวลต์ แรงดันนี้สอดคล้องกับแสง 150 lux
- วัดแรงดันเอาท์พุทของตัวปรับสภาพสัญญาณของ phototransistor แรงดันนี้จะต้องใกล้ 4 โวลต์
- ปรับระยะไปที่ 370 Lux
- ทำการวัดซ้ำของแรงดันเอาท์พุทของตัวปรับสภาพสัญญาณของ phototransistor
- ทำการวัดซ้ำโดยใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดอื่นๆ ในโมดูล TY13
- บันทึกผลการทดลองและทำการวาดกราฟตารางที่ 4.1 และรูป 4.8 ตามลำดับ



รูป 4.7

SET-POINT	300 lux	370 lux
1 volt		
2 volt		
3 volt		
4 volt		
5 volt		
6 volt		
7 volt		
8 volt		

ตาราง 4.1

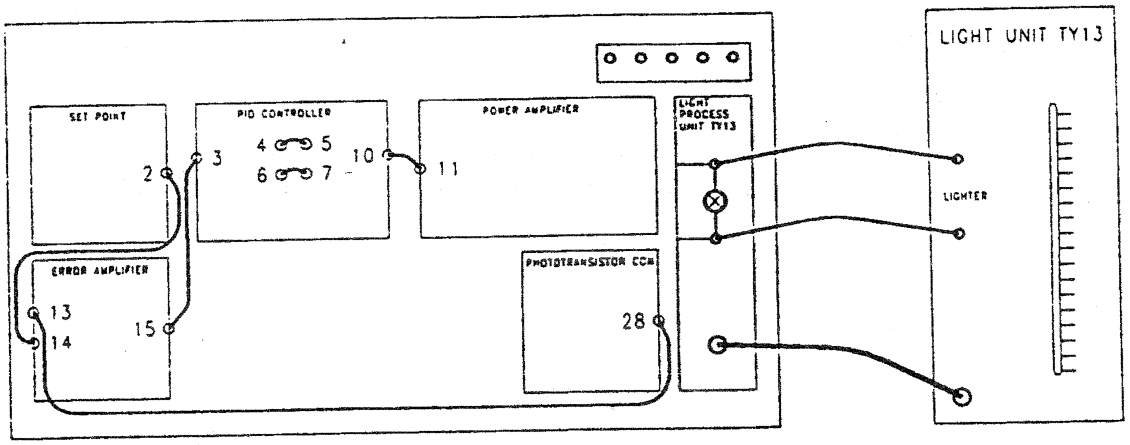


รูป 4.8

การทดลองที่ 4.5.2 เรื่อง ระบบควบคุมอัตโนมัติของแสงแบบลูปปิด

วิธีทดลอง

- ต่อวงจรตามรูป 4.9
- ต่อโมดูล G13 กับโมดูล TY13/EV ตามรูป 2.17
- ตั้งระยะที่ 300 Lux และสวิทซ์สัญญาณของตัวปรับสภาพสัญญาณไปที่ตำแหน่ง B
- ตั้งค่าในเทนธิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID โดยให้ค่าสูงสุดแก่ตัวควบคุมแบบ P และน้อยที่สุดแก่ตัวควบคุมแบบ I
- ให้สัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 4 โวลต์ซึ่งจะสอดคล้องกับแสง 150 lux
- วัดแรงดันเอาท์พุทของตัวปรับสภาพสัญญาณของ phototransistor แรงดันนี้จะประมาณ 4 โวลต์
- ปรับระยะไปที่ 370 Lux
- ทำการวัดแรงดันเอาท์พุทซ้ำสองตัวปรับสภาพสัญญาณของ phototransistor
- บันทึกผลลงในตารางที่๔ และทำการวาดกราฟตามรูป ๔.9



รูป 4.9

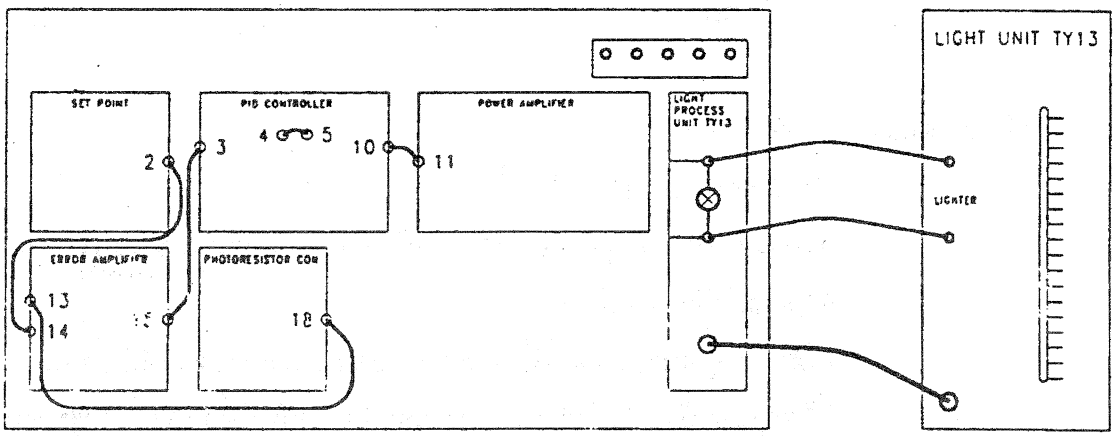
SET-POINT	300 lux	370 lux
1 volt		
2 volt		
3 volt		
4 volt		
5 volt		
6 volt		
7 volt		
8 volt		

ตาราง 4.2

การทดลองที่ 4.5.3 เรื่อง ระบบควบคุมอัตโนมัติของแสงแบบลูปปิดผลกระทบต่อตัวควบคุมแบบ PID

วิธีการทดลอง

- ต่อวงจรตามรูป 4.10
- ตั้งค่าระยะของโมดูล TY13/EV ไปที่ 300 Lux และสวิทช์ตัวปรับสภาพสัญญาณไปที่ตำแหน่ง B
- ใช้ตัวควบคุมแบบ P อย่างเดียว (ต่อเฉพาะขั้ว 4 และ 5) และให้ค่าต่ำสุด
- ให้สัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 4 โวลต์ และวัดแรงดันที่ขั้ว 15 (เอาท์พุทของแอมป์ผลต่าง) สอดคล้องกับผลต่างระหว่างค่าอ้างอิงและสัญญาณเอาท์พุท
- เพิ่มเกนของตัวควบคุมแบบ P โดยอย่าทำให้ระบบออสซิเลท
- วัดแรงดันเอาท์พุทของแอมป์ผลต่างและตรวจสอบว่าผลต่างเปลี่ยนแปลงเป็นฟังก์ชันของเกนอย่างไร
- เพิ่มตัวควบคุมแบบ I เข้าไปโดยต่อกับขั้ว 6 และ 7 และตั้งค่าโพเทนธิโอมิเตอร์ให้มีค่าน้อยที่สุดวัดค่าผลต่าง
- ตั้งค่าโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ I ให้มีค่าครึ่งหนึ่งและให้ค่าโพเทนธิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ P ให้น้อยที่สุด
- หมายเหตุ ตัวควบคุมแบบ I ทำให้ผลต่างลดลงได้อย่างไร
- หมายเหตุ ตัวควบคุมแบบ I ทำให้ระบบมีเสถียรภาพเลวลงอย่างไร
- เพิ่มตัวควบคุมแบบ D เข้าไปในระบบสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงว่าระบบกลับมามีเสถียรภาพเหมือนเดิม

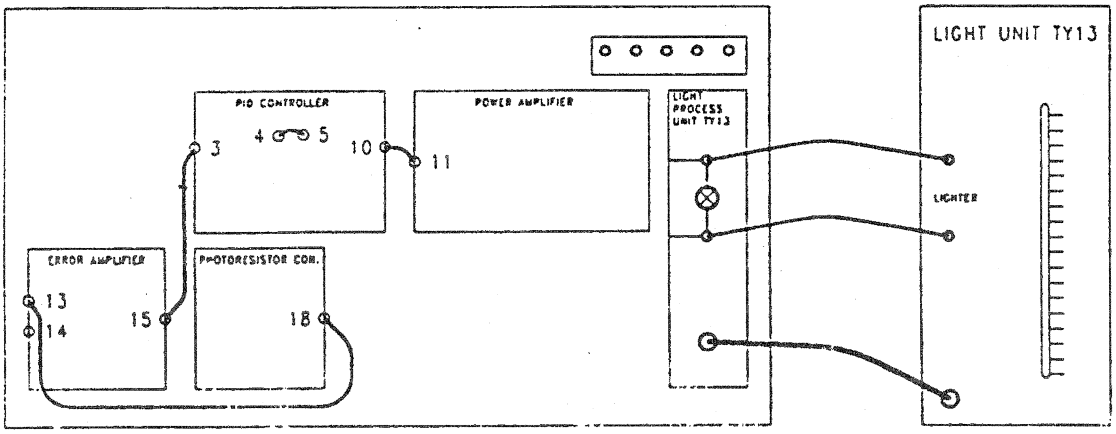


รูป 4.10

การทดลองที่ 4.5.4 เรื่อง การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ของตัวควบคุมแบบ PID

<u>วิธีการทดลอง</u>

- ต่อวงจรตามรูป 4.11
- ตั้งระยะของโมดูล TY13/EV ให้อยู่ที่ 300 Lux และสวิทซ์ตัวปรับสภาพสัญญาณไปที่ตำแหน่ง B
- ตั้งฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ไปที่สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมมีความถี่ 100 Hz แอมปลิจูด +4 โวลต์ และว่ายไปที่ขั้ว 14 กับกราวน์
- ต่อสายโพรบที่เอาท์พุทของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
- ตั้งค่าตัวควบคุม PID (อย่างไรก็ได้)
- ต่อสายโพรบอีกเส้นเข้าที่ขั่ว 28 และ ดูผลตอบสนองที่เอาท์พุท
- เปลี่ยนค่าเกนของตัวควบคุมแบบ PID และสังเกตผลตอบสนอง
- ทำการปรับค่าเกนของตัวควบคุมแบบ P, I, D, PI, PD, ID และ PID และสังเกตดูผลตอบสนอง


LIGHT UNIT TY13
PID CONTROLLER
4
5
3
10
11
POWER AMPLIFIER
LIGHT PROCESS unit TY13
LIGHTER
ERROR AMPLIFIER
13
14
15
PHOTORESISTOR CON.
18

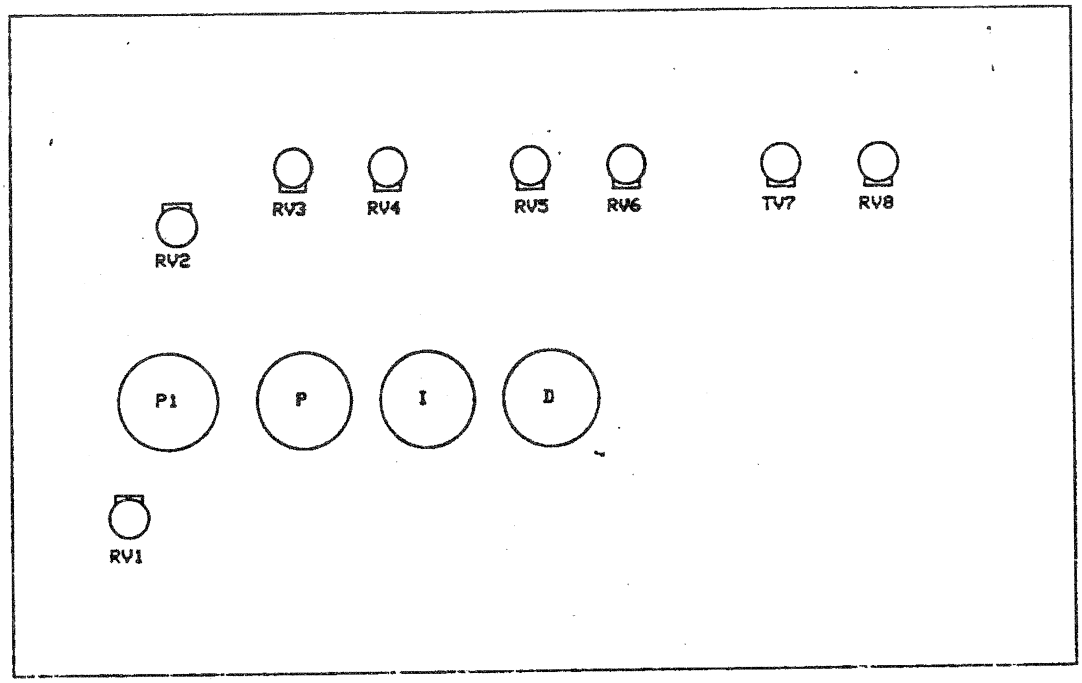
รูป 4.11

ภาคผนวก A

การเปรียบเทียบ

ในการเปรียบเทียบโมดูล G13 มีขั้นตอนดังนี้คือ

- ไม่ต่อโมดูล G13 กับโมดูล TY13/EV(สำหรับการปรับแต่ละบล็อก)
- ตัวต้านทานปรับค่ามีตำแหน่งดังนี้



รูป A

บล็อคสัญญาณอ้างอิง

- ต่อโมดูล G13 กับแหล่งจ่ายไฟทั้งหมดที่มี
- ปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ RV1 จนกระทั่งแรงดันที่ขั้ว 1 ถึงค่าแรงดัน 8 โวลต์

บล็อคแอมป์ผลต่าง

- ต่อโมดูล G13 กับแหล่งจ่ายไฟทั้งหมดที่มี
- ลัดวงจรขั้ว 13 กับ 14 และปรับตัวทานต้านปรับค่าได้ RV2 จนกระทั่งแรงดันของขั้ว 15 เท่ากับศูนย์โวลต์

บล็อคปรับสภาพสัญญาณ PHOTORESISTOR

- ต่อโมดูล G13 กับแหล่งจ่ายไฟทั้งหมดที่มี
- ต่อโมดูล G13 กับโมดูล TY13/EV ตามวงจรตามรูป 2.17
- ตั้งระยะไว้ที่ 300 Lux
- ต่อขั้ว 2 กับขั้ว 11 และปรับค่าสัญญาณอ้างอิงให้มีค่าเท่ากับศูนย์เข้าที่ออปแอมป์ (ขั้ว 11)
- ปรับ RV3 จนกระทั่งแรงดันที่ขั่ว 18 เท่ากับศูนย์โวลต์
- ปรับแรงดันอ้างอิงให้มีค่าเท่ากับ 8 โวลต์
- ปรับ RV4 จนกระทั่งแรงดันเอาท์พุทคร่อมขั้ว 18 เท่ากับ 8 โวลต์

APPENDIX B

BIBLIOGRAPHY

* Transducer interfacing handbook

Analog Device Inc. - Norwood, Massachussetts

* E. Cometta

"Misura della temperatura"

ed. Delfino, Milano

* C. Torresan

"Automazione degli impianti chimici e termici"

ed. Hoepli, Milano

* DC Motors - Speed controls - Servo systems

Electro Craft Co. - Hopkins, Minn.

* Linear Application Data Book

Natonal Semiconductor Corporation - Santa Clara, California

* R. Mialich, G. Rossi

"Elettronica Industriale - Sistemi e Automazione"

ed. Calderini, Bologna

* G. Figini

"Servomeccanismi, Teoria della regolazione Automatica"

Ed. Delfino

* A. Lepschy , A. Ruberti

"Lezioni di Controlli Automatici"

Ed. Siderea

* L. Pallottini

"Sistemi ed Automazione"

Ed. Cupido

* C. Torresan

"Automazione di Impianti Chimici e Termici"

Ed. Hoepli

* A. Cupido

"Elettronica Industriale"

Ed. Cupido

* R. Cresta

"Elettronica Industriale"

Ed. Hoepli