

คู่มือ / ใบงาน

ITEM CODE NO. ELT1 EN04/18
(SENSORS & TRANSDUCERS TRAINING SYS)

ชุดทดลองตัวตรวจจับทางแสง

รุ่น G 13/EV

Electronics Technology Equipment for 7 technical College,

Department of Vocational Education (DOVE)

Ministry of Education

Kingdom of Thailand

under

OECF LOAN AGREEMENT NO. TXIX - 6

CONTRACT NO. DOVE - OECF - T4WB4/97

SUMITOMO CORPORATION

TOKYO, JAPAN

COPYRIGHT RESERVED

สารบัญ

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

บทที่ 1

รายละเอียดของโมดูล

รายละเอียดของโมดูล

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

1. ตัวตั้งค่าสัญญาณอ้างอิง
2. ตัวควบคุม PID
3. แอมป์ขยายค่าความผิดพลาด
4. เพาเวอร์แอมป์
5. ตัวปรับสภาพสัญญาณ
 - 5.1 ตัวปรับสภาพสัญญาณ โฟโตรีซิสเตอร์
 - 5.2 ตัวปรับสภาพสัญญาณ โฟโตไดโอด
 - 5.3 ตัวปรับสภาพสัญญาณ โฟโตทรานซิสเตอร์

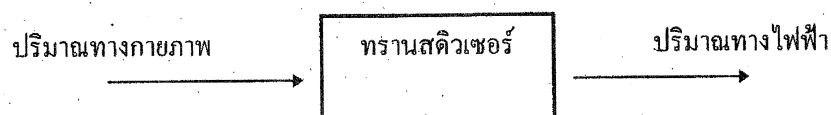
เราจะพิจารณาการทำงานของบล็อกต่างๆ ในการทดลอง โมดูล G13 ใช้ไฟ 12VPC 0.5A และ 30 VDC 0.5A โมดูล TY13/EV (รูปที่ 1.2) ประกอบด้วยตัวแอกชูเอเตอร์ (หลอดแรงเพียง 3 watt) ,ทรานสดิวเซอร์แสง (โฟโตไดโอด , โฟโตทรานซิสเตอร์, โฟตรีซิสเตอร์) และ แอคชูเอเตอร์ กำหนดสัญญาณรบกวนการต่อระหว่างโมดูล TY13/EV และโมดูล G13 ใช้สายเคเบิล 8 หัว socket เพาเวอร์แอมป์ต่อกับแอกชูเอเตอร์ด้วยสาย 2 เส้น การต่อระหว่าง 2 ส่วนจะต่อผ่านสายเคเบิลเข้าที่ด้านขวาของโมดูล G13 (เรียกว่า หน่วยกระบวนการแสง)

บทที่ 2

ทรานสดิวเซอร์แสง

2.1 หลักการพื้นฐานของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากรูปแบบหนึ่งให้ไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง หลังจากนั้นจะกล่าวถึงทรานสดิวเซอร์ที่เปลี่ยนจากพลังงานรูปแบบอื่นๆ มาเป็นปริมาณทางไฟฟ้าเท่านั้น เช่น ความดันทาน ,แรงดัน และกระแส เป็นต้น ทรานสดิวเซอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้ตามสัญญาณที่ออกที่เอาท์พุท คือ สัญญาณแบบอนาล็อกและสัญญาณแบบดิจิตอล โดยปกติการแปลงปริมาณนี้จะมีการสูญเสียเกิดขึ้นและนี่คือปัญหาหนึ่งที่เราจะพิจารณากัน



รูป 2.1

คุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์ที่สำคัญมีดังนี้

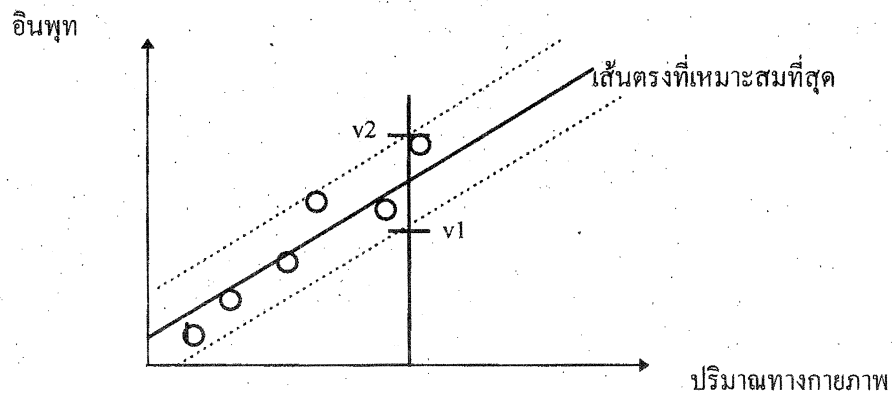
- ย่านการทำงาน
เป็นค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของปริมาณทางกายภาพที่ทรานสดิวเซอร์สามารถวัดได้
- ตัวคูณ
เป็นอัตราส่วนระหว่างอินพุทและเอาท์พุท

- **ค่าความผิดพลาดเชิงเส้น**
เป็นความเบี่ยงเบนไปจากเส้นอัตราส่วนระหว่างอินพุตและเอาต์พุต สามารถวัดได้เป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเอาต์พุตสูงสุด
- **ความถูกต้อง**
เป็นค่าความเบี่ยงเบนสูงสุดระหว่างค่าที่วัดและค่าประสิทธิภาพที่สามารถแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของ f.s.d.
- **ความเร็วของผลตอบสนอง**
ความเร็วของปริมาณเอาต์พุตจะติดตามการเปลี่ยนแปลงอินพุต
- **เสถียรภาพ**
อัตราส่วนคงที่ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตภายใต้สภาพการทำงาน
- **ความสามารถในการทำซ้ำ**
เป็นค่าความผิดพลาดภายในของตัวทรานสดิวเซอร์เองเมื่อทำการวัดซ้ำๆ

2.1.1 ความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์ส่วนใหญ่เป็นชนิดเชิงเส้น การวัดความไม่เป็นเชิงเส้นเป็นสำคัญ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอาต์พุตวัดได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอินพุตเมื่อนำมาพิจารณาและวาดเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุด โดยวาดเส้นตรงขนานกันและให้ครอบคลุมชุดข้อมูลทั้งหมดโดยให้มีระยะห่างที่เท่ากัน เส้นตรงกลางคือ เส้นตรงที่เหมาะสมที่สุด เปอร์เซ็นต์ของความไม่เป็นเชิงเส้นจะหาได้จากสมการ

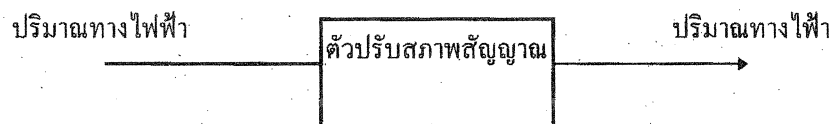
$$\text{Line } [\%] = \pm \frac{1}{2} \cdot 100 \left| \frac{V_2 - V_1}{v.f.s.} \right|$$



รูป 2.2

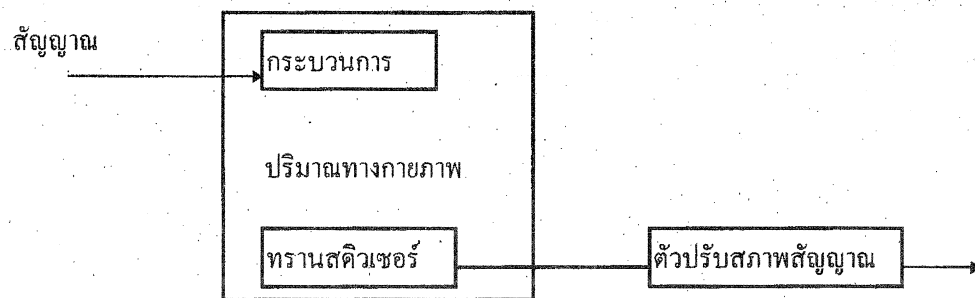
2.1.2 ตัวปรับสภาพสัญญาณ

โดยปกติปริมาณเอาต์พุตทางไฟฟ้าของทรานสดิวเซอร์ไม่สามารถนำเอาค่ามาประมวลผลได้โดยตรง ตัวอย่างเช่น ย่านแรงดันเอาต์พุตมีขนาดต่ำมากๆ จึงจำเป็นต้องมีการปรับสภาพสัญญาณตัวปรับสภาพสัญญาณเป็นเครื่องมือที่ทำการปรับปรุงพลังงานทางไฟฟ้าจากอินพุตให้ไปเป็นปริมาณทางไฟฟ้าที่เอาต์พุตโดยให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานต่อไป (รูป 2.3)



รูป 2.3

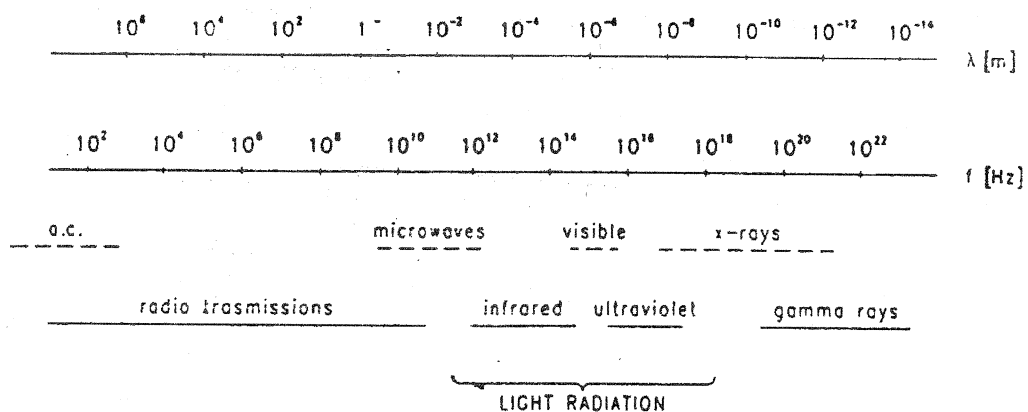
ปกติส่วนมากแล้วทรานสดิวเซอร์จะอยู่รวมกับกระบวนการอยู่แล้ว ดังรูป 2.4



รูป 2.4

2.2 ทรานสดิวเซอร์แสง

ทรานสดิวเซอร์แสง เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้การแปลงรังสีของแสงให้กลายมาเป็นปริมาณทางไฟฟ้า (ความต้านทาน, กระแส) และสามารถใช้ในอุตสาหกรรม ในการทำการวัดตำแหน่งความเร็วเชิงมุมและอื่นๆ รังสีของแสงสามารถวัดได้โดยใช้สเปกตรัมของแสง รูป 2.5 แสดง สเปกตรัมของแสง



รูป 2.5

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

ตัวแปร	สัญลักษณ์	นิยาม	หน่วย
พลังงานรังสี	Q _e		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	สัญลักษณ์	นิยาม	หน่วย	สัญลักษณ์
พลังงานแสง	Q _v		ลูเมน/วินาที	lm.s
การไหลของแสง	F	$F = Q_v/t$	ลูเมน	lm
ความเข้มแสง	I	$I = F/w$	ลูเมน/สเตอเรเดียน = แคนเดล่า	cd
การส่องสว่าง	E	$E = F/A$	ลูเมน/ตารางเมตร = ลักซ์	lx

รูป 2.7

เมื่อมีการกระทบของแสงบนสารจะเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ขึ้น ปรากฏการณ์ Photoelectric Effect คือ การสั่นของอิเล็กตรอนจากพลังงานแสงจะตกกระทบบนผิวโลหะและสารกึ่งตัวนำจนให้อิเล็กตรอนแตกตัวอิสระและสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้ดังนี้

1. Photoconductive Effect

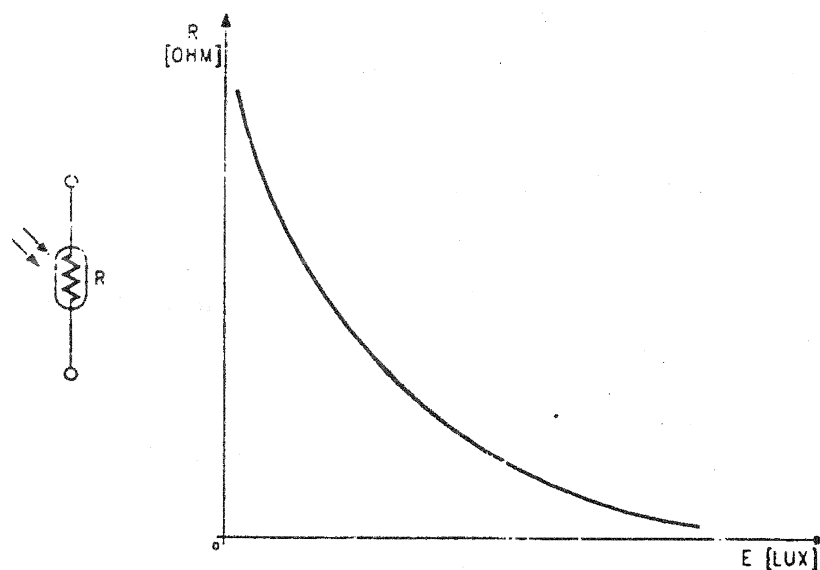
ความนำของสารกึ่งตัวนำ ขึ้นอยู่กับ ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ

2. Photoelectric effect บนรอยต่อ (Photovoltaic Effect)

กระแสที่เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ P-N ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง ถ้ารอยต่อไม่มีไบอัสแรงดันจะเกิดขึ้นคร่อมรอยต่อ (Photovoltaic effect) เป็นอุปกรณ์นำปรากฏการณ์แรกไปใช้ คือ โฟโตรีซิสเตอร์ขณะปรากฏการณ์ที่สองคือ (โฟโต้ไดโอด, โฟโตทรานซิสเตอร์และโฟโต้อิเล็กทรอนิกส์)

2.2.1 โฟโตรีซิสเตอร์

โฟโตรีซิสเตอร์ คือ อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดพาสซีบ (passive) ที่ไม่มีรอยต่อ รูป 2.8 แสดงกราฟคุณลักษณะของโฟโตรีซิสเตอร์กับสัญลักษณ์



รูป 2.8

เมื่อแสงมีความเข้มเพิ่มขึ้นความต้านทานจะลดต่ำลง ในสภาพที่ไม่มีแสงเลยความต้านทานจะวัดได้เป็น $M\Omega$ ถ้ามีความเข้มแสงมาก ความต้านทานจะต่ำวัดได้ประมาณ $10\ \Omega$ สารที่ใช้ทำโฟโตรีซิสเตอร์ เช่น crystal of cadmium sulphide หรือ lead สำหรับตัวตรวจจับนี้ภายใต้ย่านการทำงานของดวงตามนุษย์ และ crystal of cadmium selenide สำหรับตัวตรวจจับภายใต้ย่านอินฟราเรด

ตัวแปรของโฟโตรีซิสเตอร์ที่สำคัญมีดังนี้

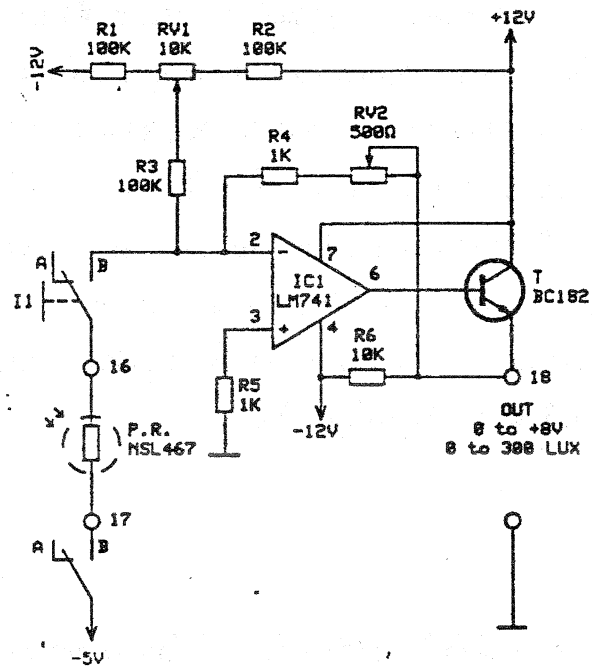
- ความยาวคลื่นที่ให้ความไวที่สูงสุด
- พลังงานสูงสุดที่กระจาย
- แรงดันขุดสูงสุด

โฟโตรีซิสเตอร์ที่ใช้ในโมดูล TY13/EV มีคุณลักษณะดังนี้คือ

- ความต้านทาน (10.76 Lux) : $100\ k\Omega$
- ความต้านทาน (1076 Lux) : $2400\ \Omega$
- ความต้านทานในที่ ไม่มีแสง : $100\ k\Omega$
- แรงดันขุดสูงสุด : $250V$
- พลังงานสูงสุดที่กระจาย : $100\ mW$
- ความไวสูงสุด : $0.55\ \mu m$

2.2.2 ตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับโฟโตทรานซิสเตอร์

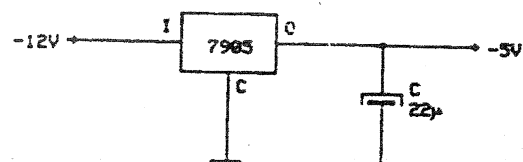
จากรูป 2.9 สวิตช์ I1 อยู่ที่ตำแหน่ง A ทรานซิสเตอร์ไม่ต่อเราสามารถวิเคราะห์ได้โดยปราศจากอิทธิพลของอุปกรณ์อื่นๆ



รูป 2.9

ในทางปฏิบัติมันสามารถเกิดขึ้นได้โดยใช้มัลติมิเตอร์วัดระหว่างขั้ว 16 และ 17 สำหรับการวัดโดยตรงจากค่าความต้านทานของโฟโตรีซิสเตอร์ เมื่อสวิตช์ I1 อยู่ที่ตำแหน่ง B โฟโตรีซิสเตอร์ต่อกับวงจร

หมายเหตุ แรงดันเท่ากับ -5vdc ต่อกับโฟโตรีซิสเตอร์และดึงแรงดัน -12vdc จากวงจรในรูป 2.10

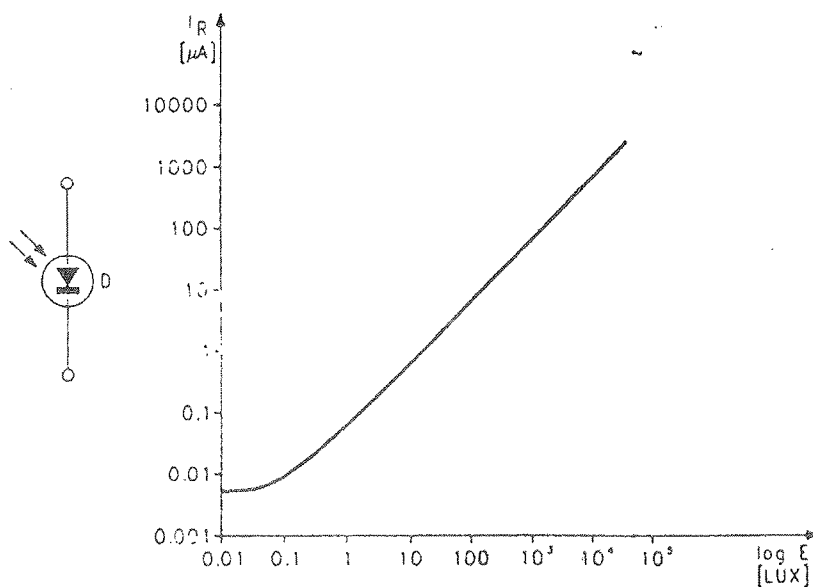


รูป 2.10

แอมป์ขยาย IC1 ต่อเป็นอินเวอร์สแอมป์ สัญญาณอินพุตประกอบด้วยแรงดันคงที่ (-2Vdc) ขณะอินพุตกลับจั่วกับกราวด์เสมือน ความต้านทานของทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อกระแสที่ไหลย้อนกลับเปลี่ยนแปลง ($R4$ และ $RV2$ เปลี่ยน) $R1$, $R2$, $R3$ และ $RV1$ ใช้ปรับออฟเซตให้กับ IC1 และแรงดันที่เกิดขึ้นในทางที่มีทรานซิสเตอร์ T ใช้ขยายกระแสที่เอาต์พุตของ IC1 เมื่อกระแสมีค่าต่ำ IC1 จะปรับเอาต์พุตจนกระทั่งแรงดันของขา emitter ของทรานซิสเตอร์ (จุดที่สัญญาณมีการป้อนกลับ) ไม่ถึงระดับที่ทำให้แอมป์ทำงานในช่วงเชิงเส้น (แรงดันของอินพุตอินเวอร์สเท่ากับแรงดันของขาอินพุตที่ไม่อินเวอร์ส) เอาต์พุตของตัวปรับสภาพสัญญาณจะปรับได้ที่แสง 300Lux จะสอดคล้องกับค่าแรงดันเอาต์พุต 8 โวลต์

2.3 โฟโตไดโอด

โฟโตไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่มีโครงสร้างคล้ายกับไดโอดธรรมดาที่มีรอยต่อ P-N สำหรับชนิดที่ใช้จะป้อนแรงดัน reverse bias ในสภาพตอนไม่มีแสงโฟโตไดโอดทำงานคล้ายไดโอดเฉพาะในสภาพที่มีแสงกระแสย้อนกลับจะเพิ่มขึ้น รูป 2.11 แสดงกราฟคุณลักษณะกับสัญลักษณ์



รูป 2.11

กระแสย้อนกลับของโฟโตไดโอดสามารถวัดได้เป็นหน่วย nA และ mA เท่านั้นสารที่ใช้ทำเช่น silocon, germanim gallium arsemide และอื่นๆ ตัวอย่างซิลิกอนโฟโตไดโอด มีความไวสูงสุดที่ความยาวคลื่นช่วง 0.8 และ 0.9 μm ขณะที่ germanium โฟโตไดโอดอยู่ที่ 1.6 และ 1.8 μm ในย่านอินฟราเรด คุณลักษณะสามารถปรับปรุงได้โดยใช้โครงสร้าง P-I-N ถ้าโฟโตไดโอดไม่มีการไบอัสและไม่มีโหลดเมื่อแสงแรงดันจะกำเนิดขึ้นทั้งจากรังสีแสงและสารกึ่งตัวนำ (Photovoltaic effect) ถ้ามีโหลดให้กับโฟโตไดโอด โฟโตไดโอดสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ และนี่คือหลักการของ เซลล์สุริยะ (Photovoltaic cell)

คุณลักษณะของโฟโตไดโอดที่สำคัญมีดังนี้คือ

- แรงดันย้อนกลับสูงสุดที่สามารถจ่ายได้
- พลังงานกระจายสูงสุด
- ความเร็วสูงสุดในการสวิตช์ (เวลาขาขึ้นและเวลาขาลง)

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

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

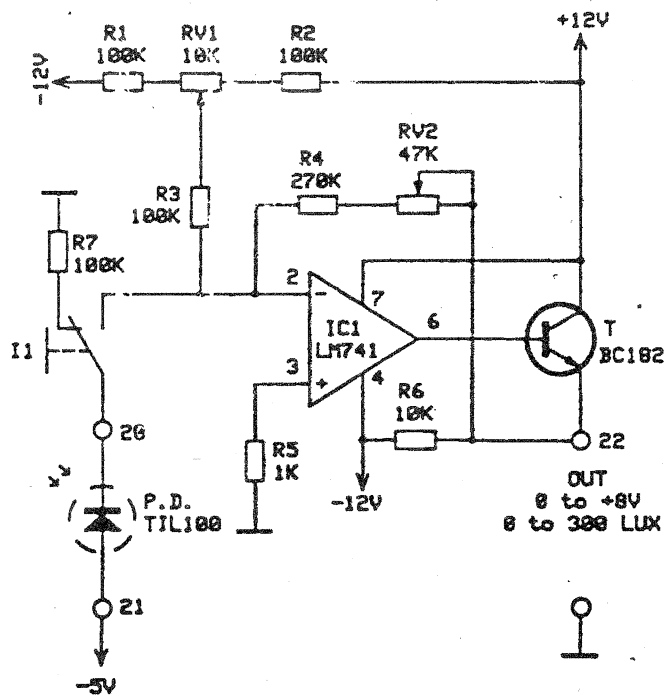
2.2.4 ตัวรับสภาพสัญญาณสำหรับโฟโตไดโอด

จากรูป 2.12 เมื่อสวิตช์ I1 อยู่ในตำแหน่ง A ทรานซิสเตอร์จะไม่ต่อกับวงจรโดยปกติสามารถใช้มัลติมิเตอร์แรงดันตกคร่อมขั้ว 20 กับกราวด์ได้เลย แรงดันที่วัดได้คือแรงดันที่ตกคร่อม R7 ของโฟโตไดโอดในความเป็นจริงโฟโตไดโอดจะเปลี่ยนแปลงกระแสย้อนกลับที่รอยต่อเมื่อมีแสงตกกระทบบัวมัน เมื่อสวิตช์ I1 อยู่ที่ตำแหน่ง B โฟโตไดโอดจะต่อกับวงจรแอมป์ขยาย

หมายเหตุ แรงดันไฟ -5vdc ต่อกับโฟโตริซีเซเตอร์และเอาแรงดัน -12vdc จากวงจร

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

ปรับแรงดันศูนย์ของ IC1 และไบอัสให้กับโฟโต้ไดโอด ทรานซิสเตอร์ T ใช้ขยายกระแสเอาต์พุตของ IC1 และทำหน้าที่อื่นๆ คล้ายกับโฟโต้ทรานซิสเตอร์ IC1 จะปรับเอาต์พุตจนกระทั่งแรงดันที่ขา emitter ของทรานซิสเตอร์ T (จุดที่มีการป้อนกลับ) ไม่ถึงระดับที่แอมป์ขยายทำงานในช่วงเชิงเส้น (แรงดันของขาอินพุต อินเวอร์สเท่ากับแรงดันที่ขาอินพุตนอนอินเวอร์ส) เอาต์พุตของตัวปรับสภาพสัญญาณจะปรับเทียบที่ความเข้มแสง 300Lux และให้แรงดันเอาต์พุต

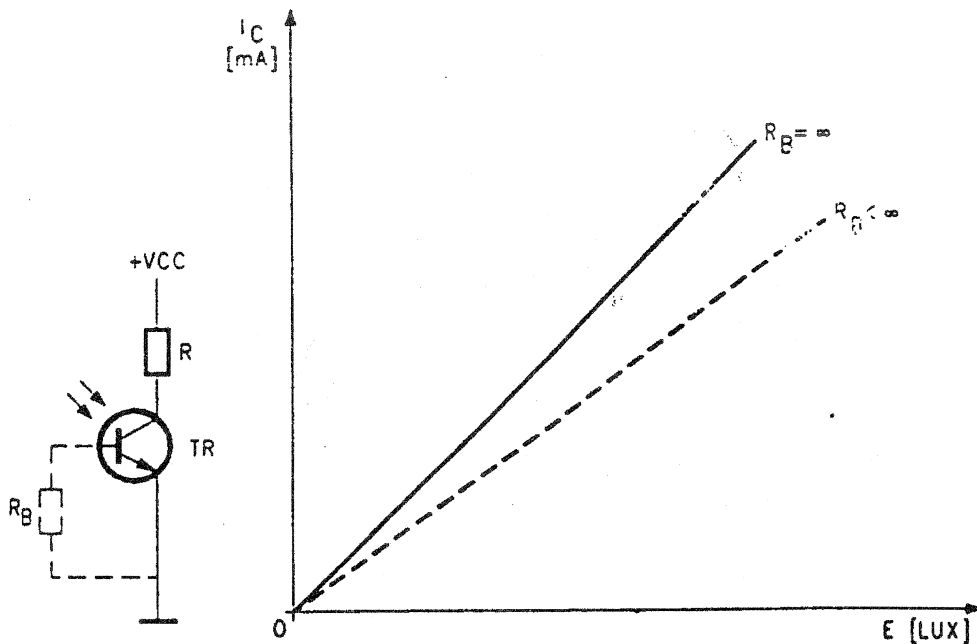


รูป 2.12

2.2.5 โฟโต้ทรานซิสเตอร์

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

- กระแสในที่มืดสูงสุด
- ความไวสูงสุดของความยาวคลื่น
- ความเร็วในการสวิตช์ (เวลาขาขึ้นและเวลาขาลง)
- กระแส แรงดัน และพลังงานสูงสุดที่จ่ายได้



รูป 2.13

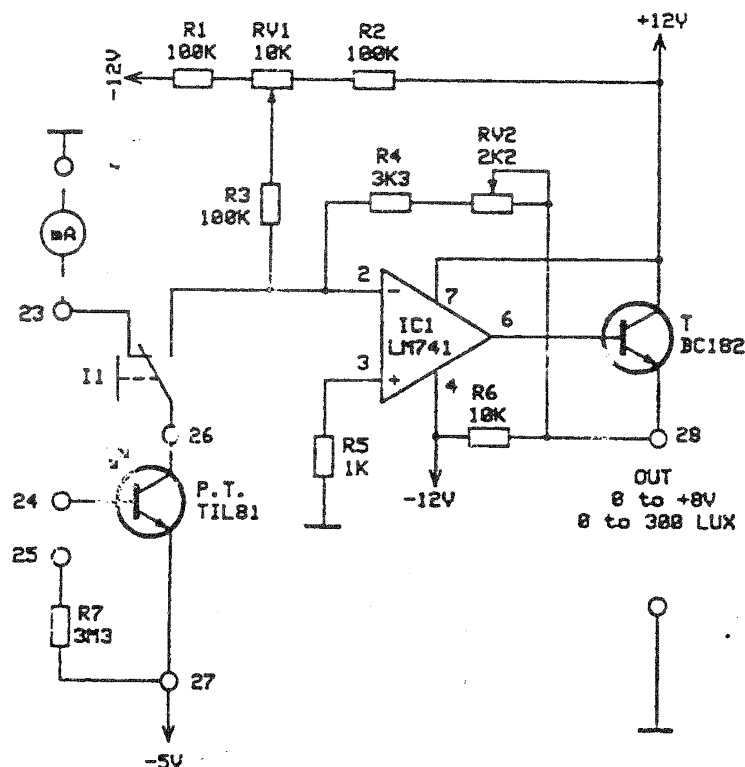
โฟโตทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในโมดูลนี้มีคุณลักษณะดังนี้

- กระแสในที่มืด : $20 \mu\text{A}$
- เวลาขึ้นลง : $8 \mu\text{s}$
- เวลาขาขึ้น : $6 \mu\text{s}$
- V_{ce0} สูงสุด : 30 VPC

2.2.6 ตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับโฟโตทรานซิสเตอร์

จากรูป 2.14 สวิตช์ II อยู่ในตำแหน่ง A ทรานซิสเตอร์ไม่ได้ต่อกับวงจรทำให้เราพิจารณาทรานซิสเตอร์โดยไม่ได้มีอิทธิพลจากวงจรอยู่ โดยปกติสามารถใช้มัลติมิเตอร์ต่อระหว่างขั้ว 23

และกราวด์กระแสที่เกิดขึ้นโดยตรงจากโฟโตรีซิสเตอร์ได้จากปรากฏการณ์ photovoltaic effect



รูป 2.14

เมื่อสวิทช์ I1 อยู่ที่ตำแหน่ง B โฟโตรีซิสเตอร์จะต่อกับวงจรขยาย

หมายเหตุ แรงดันไฟ -5vdc ต่อกับโฟโตรีซิสเตอร์และเอาแรงดัน -12vdc จากวงจรรูป 2.10 แอมป์ขยาย IC1 ต่อแบบอินเวอร์สแอมป์ ในกรณีนี้สัญญาณประกอบด้วยกระแสย้อนกลับของโฟโตรีซิสเตอร์ร่วมกับกระแสจากโหนดของอินพุตโหนด R1, R2, R3 และ RV1 จะใช้ปรับแรงดันศูนย์ของ IC1 และไบอัสให้กับโฟโตรีซิสเตอร์ T ใช้ขยายกระแสเอาท์พุทของ IC1 และทำหน้าที่อื่นๆ คล้ายกับโฟโตรีซิสเตอร์ IC1 จะปรับเอาท์พุทจนกระทั่งแรงดันที่ขา emitter ของทรานซิสเตอร์ T (จุดที่มีการป้อนกลับ) ไม่ถึงระดับที่แอมป์ขยายทำงานในช่วงเชิงเส้น (แรงดันของขาอินพุต อินเวอร์สเท่ากับแรงดันที่ขาอินพุตนอนอินเวอร์ส) เอาท์พุทของตัวปรับสภาพสัญญาณจะปรับเทียบที่ความเข้มแสง 300Lux และให้แรงดันเอาท์พุท

2.3 แบบฝึกหัด

แหล่งจ่ายแสงไฟ

แหล่งจ่ายแสงไฟจำเป็นต้องการทดลองในการทดลองนี้ใช้แสงไฟจากหลอด 24V จะผลิตความเข้มแสง 1/3 แรงเทียน หลอดไส้ขนาดนี้จะใส่ได้ทันทีในโมดูลสามารถเคลื่อนที่ใกล้หรือไกลจากตัวตรวจจับได้ หลังจากนั้นเราจะไม่พิจารณาถึงผลกระทบต่อการเกิดจากการสะท้อน ภายในโมดูล (ภายในจะทาสีดำ) แหล่งแสงไฟจะกระจายไปโดยรอบ เป็นรูปทรงกลมจากรูป 2.7 เราจะได้สมการ

$$F = 4 \cdot T \cdot I \cdot I \text{ (lumen)}$$

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

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

การหากราฟคุณลักษณะของโฟโตรีซิสเตอร์

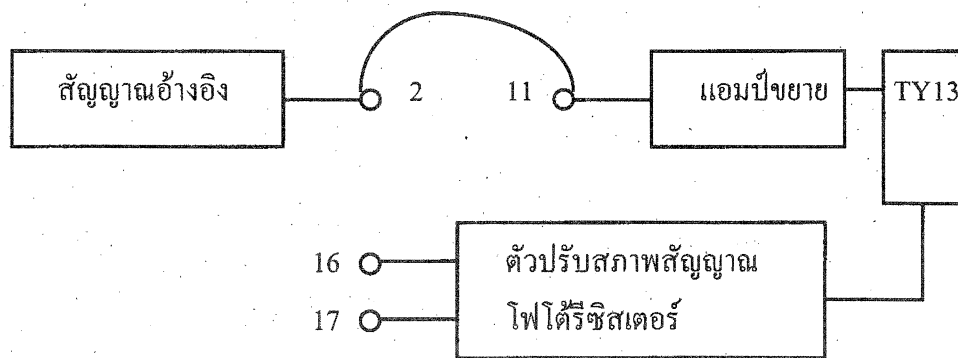
การทดลองที่ 1 เรื่อง การหากราฟคุณลักษณะของโฟโตรีซิสเตอร์

จุดประสงค์

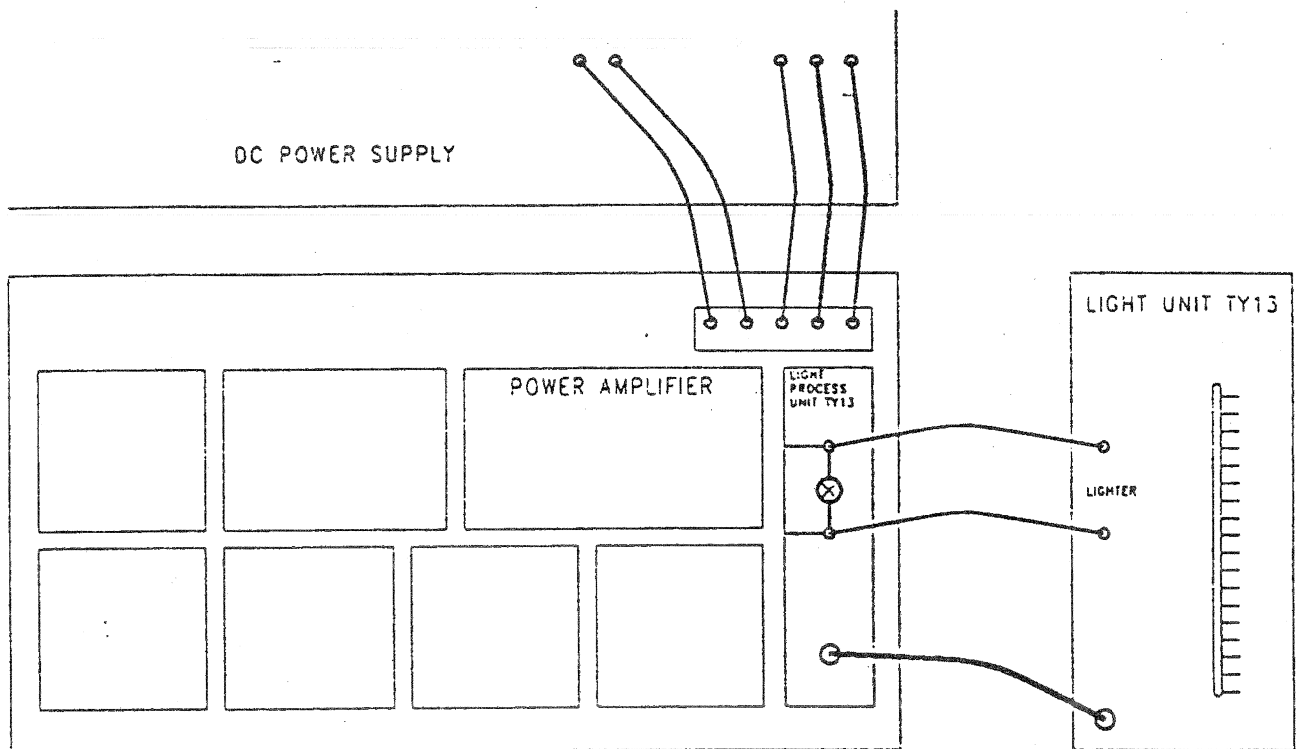
1. เพื่อหากราฟคุณลักษณะของโฟโตรีซิสเตอร์ที่ความเข้มแสงต่างๆ
2. เพื่อหาสมการเชิงเส้นตรงของโฟโตรีซิสเตอร์

วิธีทำ

1. ต่อวงจรตามรูป 2.16 และต่อโมดูล G13 กับ โมดูล TY13/EV ตามรูป 2.17
2. ตั้งสวิตช์ของตัวปรับสภาพสัญญาณโฟโตรีซิสเตอร์ไปที่ตำแหน่ง A
3. ตั้งมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานและวัดคร่อมขั้ว 16 และ 17
4. ตั้งหลอดไฟไปที่ตำแหน่งห่างจากตัวตรวจจับแสงมากที่สุด
5. ตั้งโพเทนชิโอมิเตอร์ที่บล็อคดีคค่าสัญญาณอ้างอิงให้มีค่ามากที่สุด (300 Lux) และปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุม PID ไปที่มากที่สุดเช่นกัน
6. ปรับระยะของหลอดไฟเข้าหาตัวตรวจจับเป็นระยะและวัดค่าความต้านทานใส่ค่าที่ได้ลงในตาราง 2.1
7. วาดกราฟโดยให้ความเข้มแสงเป็นแกน X และความต้านทานอยู่ในแกน Y
8. ลากเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุด
9. ย้ายมัลติมิเตอร์ออกจากขั้ว 16 และ 17 และตั้งสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง B และปรับมัลติมิเตอร์ให้วัดแรงดันไฟตรงและนำไปวัดที่ขั้วกับกราวด์
10. ทำการหาสมการเชิงเส้นตรงได้จาก 2.1.1



รูปที่ 2.16



รูปที่ 2.17

บันทึกผล

Lux	ohm	voltage

ตาราง2.1

สรุป

การหากราฟคุณลักษณะของโฟโต้ไดโอด

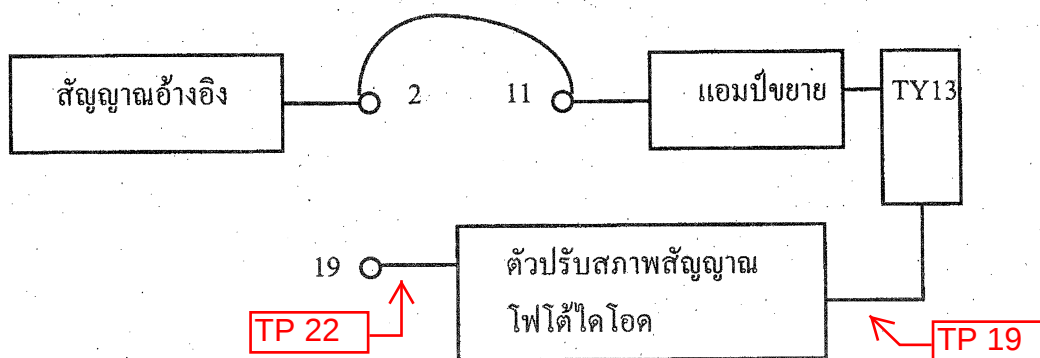
การทดลองที่ 2 เรื่อง การหากราฟคุณลักษณะของโฟโต้ไดโอด

จุดประสงค์

1. เพื่อหากราฟคุณลักษณะของโฟโต้ไดโอดที่ความเข้มแสงต่างๆ
2. เพื่อหาสมการเชิงเส้นตรงของโฟโต้ไดโอด

วิธีทำ

1. ต่อวงจรตามรูป 2.18 และต่อโมดูล G13 กับ โมดูล TY13/EV ตามรูป 2.17
2. ตั้งสวิทช์ของตัวปรับสภาพสัญญาณโฟโต้ไดโอดไปที่ตำแหน่ง A
3. ตั้งมัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานและวัดคร่อมขั้ว 16 และ 17
4. ตั้งหลอดไฟไปที่ตำแหน่งห่างจากตัวตรวจจับแสงมากที่สุด
5. ตั้งโพเทนชิโอมิเตอร์ที่บล็อคตั้งค่าสัญญาณอ้างอิงให้มีค่ามากที่สุด (300 Lux) และปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุม PID ไปที่มากที่สุดเช่นกัน
6. ปรับระยะของหลอดไฟเข้าหาตัวตรวจจับเป็นระยะและวัดค่าความต้านทานใส่ค่าที่ได้ลงในตาราง 2.2
7. วาดกราฟโดยให้ความเข้มแสงเป็นแกน X และความต้านทานอยู่ในแกน Y
8. ลากเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุด
9. ขยับมัลติมิเตอร์ออกจากขั้ว 19 และ ตั้งสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง B และปรับมัลติมิเตอร์ให้วัดแรงดันไฟตรงและนำไปวัดที่ขั้ว 19 กับกราวด์
10. ทำการหาสมการเชิงเส้นตรงดูได้จาก 2.1.1



รูปที่ 2.18

บันทึกผล

Lux	แรงดันเอาต์พุต(19)	แรงดันเอาต์พุต(22)

ตาราง2.2

สรุป

การหากราฟคุณลักษณะของไฟโด้ทรานซิสเตอร์

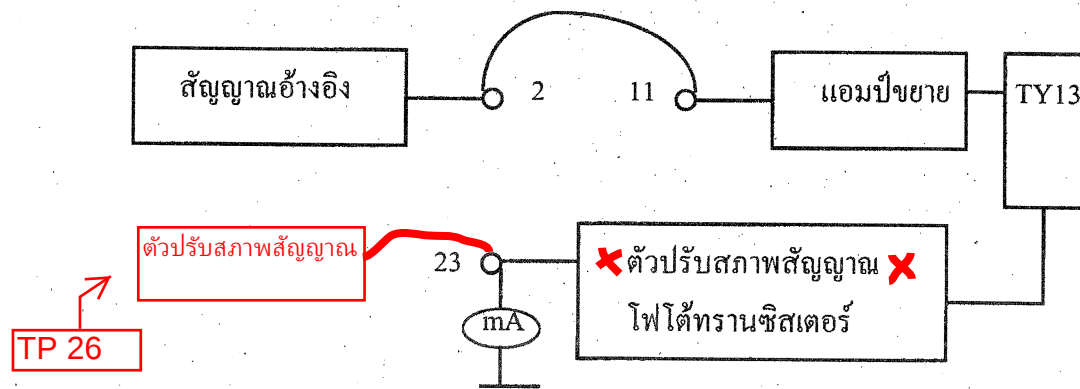
การทดลองที่ 2 เรื่อง การหากราฟคุณลักษณะของไฟโด้ทรานซิสเตอร์

จุดประสงค์

1. เพื่อหากราฟคุณลักษณะของไฟโด้ทรานซิสเตอร์ที่ความเข้มแสงต่างๆ
2. เพื่อหาสมการเชิงเส้นตรงของไฟโด้ทรานซิสเตอร์

วิธีทำ

1. ต่อวงจรตามรูป 2.19 และต่อโมดูล G13 กับ โมดูล TY13/EV ตามรูป 2.17
2. ตั้งสวิทช์ของตัวปรับสภาพสัญญาณไฟโด้ไคโอดไปที่ตำแหน่ง A
3. ตั้งมัลติมิเตอร์วัด ศาสมันต์ ภาวนและวัด ครึ่ง วัฏ 23 และ กราฟ
4. ตั้งหลอดไฟไปที่ตำแหน่งห่างจากตัวตรวจจับแสงมากที่สุด
5. ตั้งโพเทนชิโอมิเตอร์ที่บล็อคตั้งค่าสัญญาณอ้างอิงให้มีค่ามากที่สุด (300 Lux) และปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุม PID ไปที่มากที่สุดเช่นกัน
6. ปรับระยะของหลอดไฟเข้าหาตัวตรวจจับเป็นระยะและวัดค่าความต้านทานในค่าที่ได้ลงในตาราง 2.3
7. วาดกราฟโดยให้ความเข้มแสงเป็นแกน X และความต้านทานอยู่ในแกน Y
8. ลากเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุด
9. ย้ายมัลติมิเตอร์ออกจากขั้ว 23 และ ตั้งสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง B และปรับมัลติมิเตอร์ให้วัดแรงดันไฟตรงและนำไปวัดที่ขั้ว 28 กับกราฟ
10. ทำการหาสมการเชิงเส้นตรงดูได้จาก 2.1.1



รูปที่ 2.19

บันทึกผล

Lux	กระแส(μA)	แรงดัน

ตาราง 2.3

สรุป

บทที่ 3

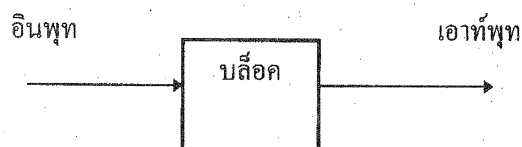
ระบบควบคุมอัตโนมัติ

3.1 หลักการพื้นฐาน

ก่อนทำการทดลองระบบควบคุมแสงเรามาทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบควบคุมพื้นฐานกัน ก่อนกระบวนการในที่นี่คือ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและ/หรือ สสาร และ/หรือ พลังงานที่ถ่ายโอน ตัวอย่างเช่นกระบวนการทางอุตสาหกรรม โรงกลั่นน้ำมัน, หล่อเหล็ก, โรงจักรไอน้ำ อื่นๆ กระบวนการที่มีความซับซ้อนประกอบด้วยส่วนต่างๆ พื้นฐานที่เราจะกล่าวถึงหลังจากนี้ ควบคุม หมายถึง ควบคุมพฤติกรรมที่แสดงออกตามแต่กระบวนการ ควบคุมอัตโนมัติหมายถึงควบคุมพฤติกรรมโดยปราศจากการทำงานของคน พฤติกรรมต่างๆ จะแสดงออกโดยการควบคุมของระบบควบคุม ควบคุมแบบ Manula คือการควบคุมโดยคน โดยการตัดสินใจของคน ควบคุมอัตโนมัติ ใช้เพื่อให้ระบบสามารถควบคุมตัวมันเองได้ อินพุตหรือค่าอ้างอิงคือตัวกระตุ้น เพื่อให้ระบบควบคุมทำงาน เอาท์พุตเป็นตัวแปรของกระบวนการที่จะควบคุม ระบบคือ กระบวนการรวมกับระบบควบคุม

3.1.1 บล็อกไดอะแกรม

เมื่อศึกษาเรื่องระบบควบคุม จำเป็นที่ต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับบล็อกไดอะแกรมแต่ละกระบวนการจะมีบล็อกไดอะแกรมไม่เหมือนกันแต่ทั้งหมดใช้บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานจะกล่าวถึงหลังจากนี้การแสดงแสดงด้วยกราฟิกนี้เรียกว่า ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรม รูป 3.1 แสดงฟังก์ชันบล็อกที่มีอินพุตและเอาท์พุต

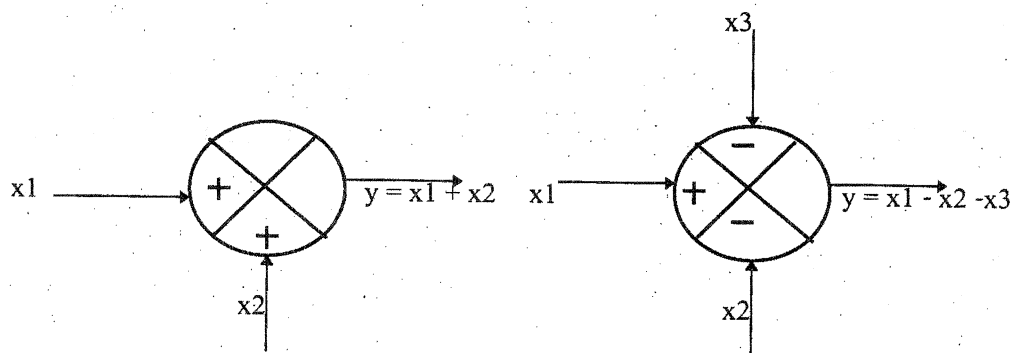


รูป 3.1

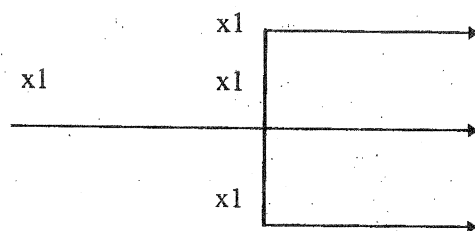
บล็อกไดอะแกรมจะมีเอาต์พุตที่เป็นฟังก์ชันของอินพุต โดยปกติจะเรียกว่าทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน สามารถเขียนได้เป็นอัตราส่วนของเอาต์พุตต่ออินพุต

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

เมื่อ E คือสัญญาณอินพุต (ตัวแปร S คือ transform) และ V คือสัญญาณเอาต์พุต (มีตัวแปร S ด้วย) การบวกหรือการลบจะแทนด้วยวงกลมและมีเครื่องหมาย + หรือ - กำกับอยู่ (รูป 3.2) จำนวนของอินพุตสามารถใช้ได้ตามต้องการ



รูป 3.2



รูป 3.3

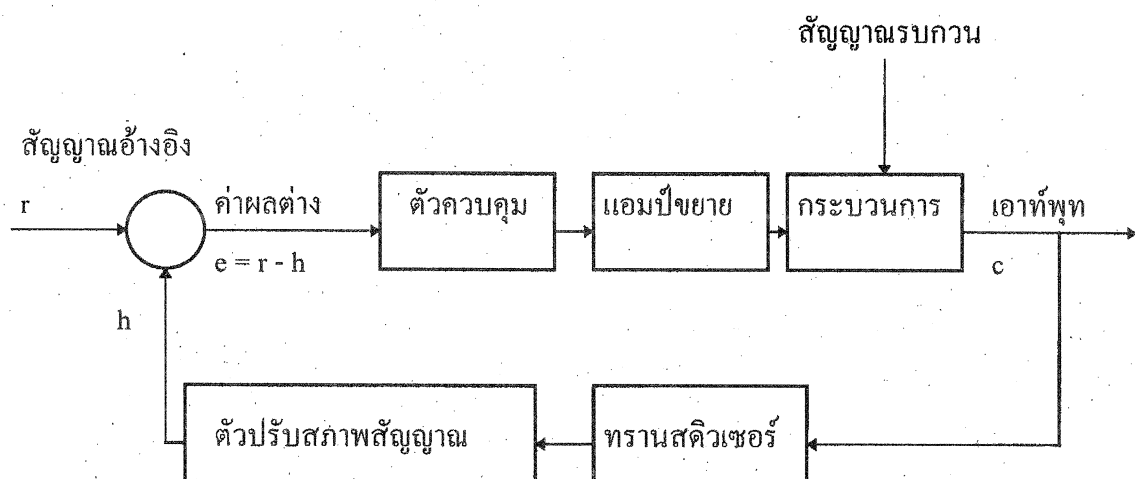
ถ้าสัญญาณเหมือนกันสามารถใช้เหมือนตัวแปรอินพุตซึ่งใส่ได้ตามต้องการมากเท่าหนึ่งบล็อก ถึงก้านของจุดคูณได้ในรูป 3.3 จากจุดเริ่มต้นของบล็อกที่แสดงในระบบสามารถมีจำนวนน้อยหรือมากได้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของกระบวนการ การคำนวณทางบล็อกไดอะแกรม เรียกว่า พีชคณิตของบล็อกไดอะแกรม

3.1.2 การแบ่งประเภทของระบบควบคุม

ระบบควบคุมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่คือ

- ระบบเปิด
- ระบบปิดหรือระบบป้อนกลับ

ระบบเปิด หมายถึง สัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นไม่ขึ้นอยู่กับเอาต์พุตแต่ในระบบปิด สัญญาณควบคุมขึ้นอยู่กับสัญญาณเอาต์พุตผลต่างที่เกิดขึ้นระหว่างสัญญาณเอาต์พุตกับสัญญาณอ้างอิงจะผลิตสัญญาณควบคุมไปควบคุมระบบทำให้ระบบลดค่าความผิดพลาดลง รูป 3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับค่าลบ



รูป 3.4

ความหมายของบล็อกและสัญญาณมีดังนี้

- ตัวควบคุม คือ กลุ่มของอุปกรณ์ที่ต้องการจะกำเนิดสัญญาณควบคุมไปควบคุมกระบวนการ
- ทรานสดิวเซอร์และตัวปรับสภาพสัญญาณ คือ อุปกรณ์ที่สามารถแปลงสัญญาณเอาต์พุตที่จะควบคุมให้มีปริมาณและคุณภาพเหมาะสมในการควบคุม
- สัญญาณผลต่าง คือ สัญญาณผลต่างระหว่างสัญญาณอ้างอิงและสัญญาณย้อนกลับมาจากตัวปรับสภาพสัญญาณ
- สัญญาณรบกวน คือ สัญญาณอินพุตที่ไม่ต้องการที่จะมีผลต่อสัญญาณเอาต์พุต

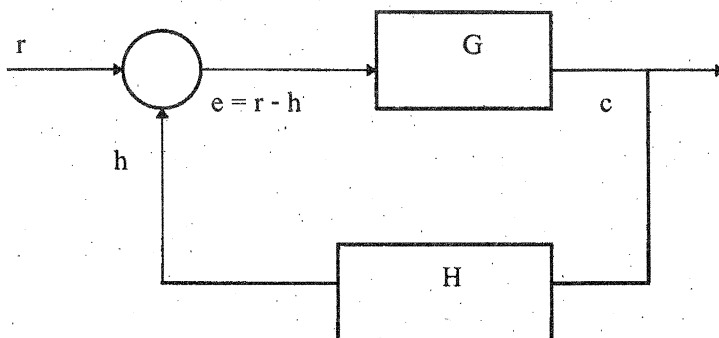
ข้อดีของระบบปิดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเปิดคือ

- ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่ำ
- ทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดี

ข้อดีเหล่านี้มีความสำคัญมากเพราะว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร และสัญญาณรบกวนเป็นปริมาณที่ไม่สามารถคาดเดาไว้ล่วงหน้า

3.1.3 รูปแบบ Canonical ของระบบป้อนกลับ

ให้รูปบล็อกไดอะแกรมตามรูป 3.5 รูปแบบนี้เรียกกันโดยทั่วไปว่ารูปแบบ Canonical ของระบบป้อนกลับ แต่ละระบบป้อนกลับมีความซับซ้อนแตกต่างกันแต่สามารถยุบรวบให้อยู่ในรูปแบบ Canonical ได้



รูป 3.5

3.1.4 ระบบเชิงเส้น (สมการอนุพันธ์)

ระบบจะสมมติให้เป็นเชิงเส้น (สมการอนุพันธ์เชิงเส้นตรง) เช่น ถ้ามีอินพุต $X1 (+)$ จะให้เอาต์พุต $Y1 (+)$ และอินพุต $X2 (+)$ จะให้เอาต์พุต $Y2 (+)$ เมื่ออินพุต $C1.X1(+) + C2.X2(+)$ จะผลิตสัญญาณเอาต์พุตเท่ากับ $C1.Y1(+) + C2.(Y2(+))$ สำหรับทุก ๆ คู่ของ $X1 (+)$ และ $X2(+)$ จะให้ทุก ๆ คู่ของค่าคงที่จำนวนจริง $C1$ และ $C2$ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าสมการเชิงเส้นตรงจะมีคุณสมบัติของทฤษฎีซูเปอร์โพสิชันโดยปกติ ไม่มีระบบทางกายภาพใดๆ ที่เขียนสมการเชิงเส้นตรงได้โดยที่มีค่าสัมประสิทธิ์โดยแน่นอนได้ อย่างไรก็ตามหลายๆ ระบบ ทำได้เมื่อกำหนดย่านการทำงานให้แน่นอน คำตอบของสมการอนุพันธ์เชิงเส้นกับค่าสัมประสิทธิ์ที่คงที่แสดงได้ด้วยผลตอบสนองของระบบซึ่งจะแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ

- ผลตอบสนองอิสระ
- ผลตอบสนองกระทำ

ผลตอบสนองของระบบเป็นคำตอบของสมการเชิงอนุพันธ์เมื่อ ตัวแปรอินพุตเท่ากับศูนย์ ผลตอบสนองกระทำเป็นคำตอบของสมการเชิงอนุพันธ์ เมื่อทุกๆ สภาพเริ่มต้นเท่ากับศูนย์ ผลรวมของทั้งสองผลตอบสนอง เรียกว่า ผลตอบสนองรวมของระบบ ผลตอบสนองของระบบจะพิจารณาได้ 2 ลักษณะคือ

- ผลตอบสนองทรานเซียนต์
- ผลตอบสนองคงตัว

ทั้งสองผลตอบสนองนี้ ใช้อธิบายระบบบ่อยมาก

3.1.5 การแปลงลาปลาซ

เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาทางวิศวกรรม โดยทำการแทนฟังก์ชันของตัวแปรเชิงเวลาด้วยฟังก์ชันเชิงความถี่ การแปลงลาปลาซคือการแปลงฟังก์ชันเชิงเวลาไปเป็นฟังก์ชันเชิงความถี่ของตัวแปรเชิงซ้อน คณิตศาสตร์ที่ใช้ในวิธีการแปลงนี้มีประโยชน์มากในการแก้ปัญหาทางสมการเชิง

เส้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์คงที่ เมื่อแก้ปัญหาในเทอมของฟังก์ชันเชิงซ้อน การแปลงวิธีนี้จะอินเวอร์สกลับไปที่ฟังก์ชันเชิงเวลาได้ (อินเวอร์สลาปลาซ)

3.1.6 ฟังก์ชัน Canonical

ฟังก์ชันข้างล่างนี้จะใช้บ่อยในระบบควบคุม

- ฟังก์ชัน impulse
- ฟังก์ชัน step
- ฟังก์ชัน ramp

แต่ละฟังก์ชันมีความสำคัญเพราะจำผลตอบแทนที่ได้จากระบบการเมื่อมีอินพุตเป็นฟังก์ชันข้างบนแล้วเราจะนำมาพิจารณาถึงพฤติกรรมของระบบการได้ดังนี้

- ความไว
- ความถูกต้อง
- ความเร็วในการตอบสนอง
- เสถียรภาพ

3.1.7 ความไวของระบบควบคุม

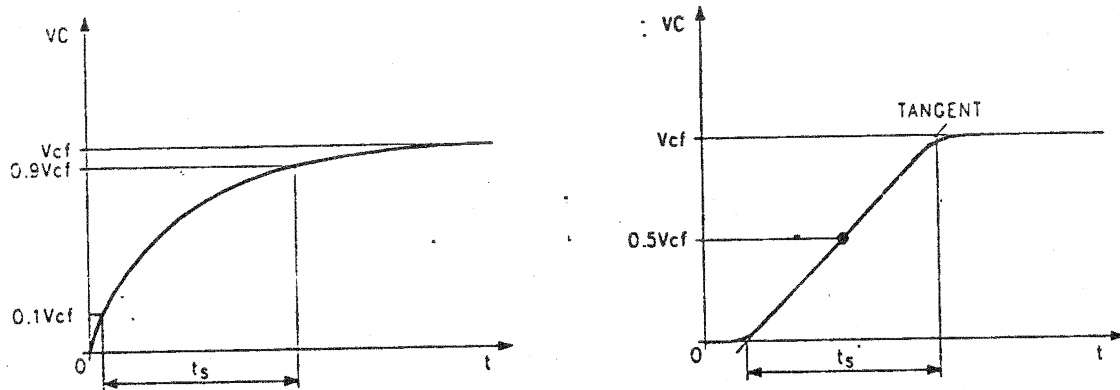
ความไวสามารถนิยามได้โดยตรงการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของอินพุตจะเป็นสาเหตุให้ปริมาณเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงหรือค่าความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดการกระตุ้นพฤติกรรมควบคุมขึ้น

3.1.8 ความถูกต้องของระบบควบคุม

ความถูกต้องจะประมาณได้โดยดูที่ผลการควบคุมว่าได้ผลใกล้เคียงค่าสัญญาณอ้างอิงหรือไม่ผลต่างระหว่างสัญญาณเอาต์พุตและค่าสัญญาณอ้างอิงคือ ผลต่างความผิดพลาด ความถูกต้องและความผิดพลาดสามารถวัดได้ในสภาวะคงตัวและในสภาวะทรานเซียนต์ ในสถานะแรกเรียกว่า ความผิดพลาดคงตัวส่วนในสถานะหลัง เรียกความผิดพลาดไดนามิก

3.1.9 ความเร็วของผลตอบสนอง (เชิงเวลา)

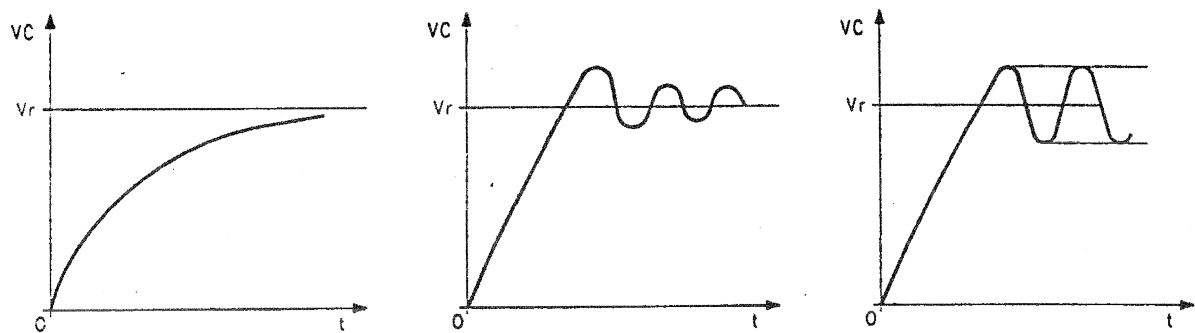
ความเร็วของผลตอบสนองเป็นความเร็วของระบบในการไปให้ถึงจุดอ้างอิงใหม่ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าคงตัวเวลามีมากหรือน้อยซึ่งแต่ละกระบวนการมีไม่เท่ากัน ผลตอบสนองเชิงเวลานี้วัดได้สองอย่างดังรูป 3.6



รูป 3.6

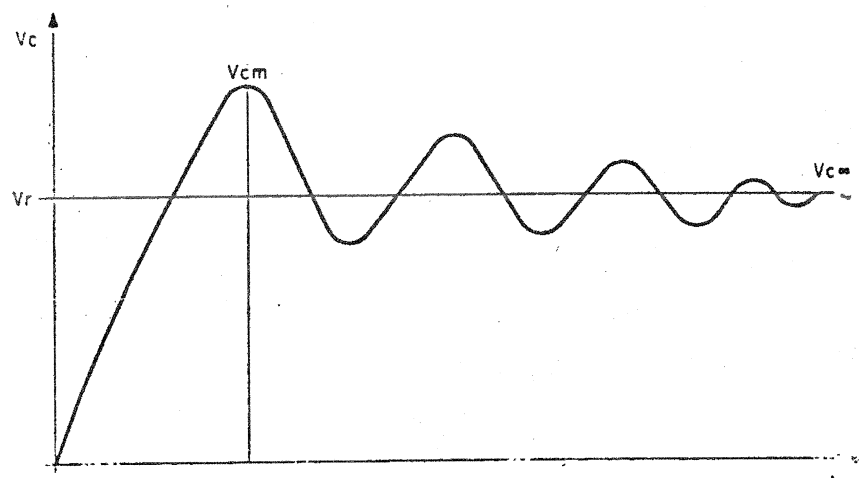
3.1.10 เสถียรภาพของระบบควบคุม

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



รูป 3.7

จากรูป 3.8 V_{cm} คือ ค่าสูงสุดของผลตอบสนองและ V_{∞} คือ ผลตอบสนองที่สภาวะคงตัว อัตราส่วนของทั้งสองค่านี้มีความสำคัญตามสมการ



$$Se = \frac{V_{cm} - V_{c\infty}}{V_{c\infty}}$$

3.1.11 การวิเคราะห์ระบบควบคุม

จุดประสงค์หลักของการวิเคราะห์ระบบควบคุมคือเนื้อหาคุณลักษณะตามนี้

- ผลตอบสนองทรานแซล
- ผลตอบสนองคงตัว
- เสถียรภาพ

วิธีการหามีมากมายดังเช่น

- Root locus 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 โดยรวมเอาทั้งผลตอบสนองทรานแซิลและผลตอบสนองคงตัว

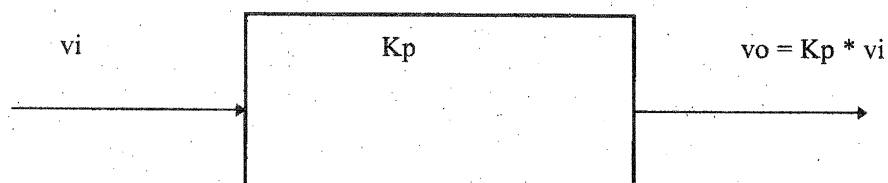
โดยที่ผลตอบสนองคงตัวจะบอกความถูกต้องของระบบขณะที่ผลตอบสนองทรานแซิลจะบอกความเร็วของระบบและเสถียรภาพ ดังเช่น

- over shoot
- delay time
- rise time
- setting time
- dominant time constant

พิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบในการปรับเปลี่ยน จำเป็นที่จะต้องมีการมีฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมมาปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของระบบ เรียกว่า ตัวควบคุม ตัวควบคุมสามารถเลือกแบบแอคทีฟได้ (แอมป์, อินทิเกรต ฯลฯ) หรือแบบพาสซีฟ (lag network และ lead network) ตัวควบคุมมาตรฐานที่ใช้ควบคุมทำให้ระบบมีผลตอบสนองเป็นไปตามที่เราต้องการ มีดังนี้คือ ตัวควบคุมแบบ PID และตัวควบคุมแบบปิดเปิด

3.2.1 ตัวควบคุมแบบ P

จะทำให้เกนเพิ่มขึ้นหรือลดลง



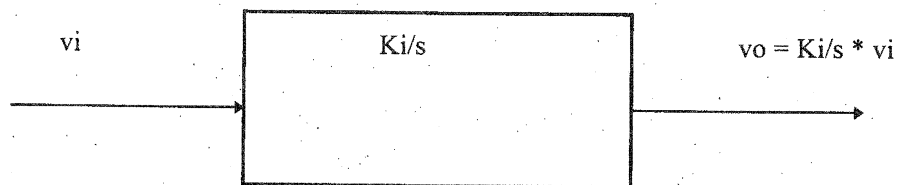
รูป 3.9

3.2.2 ตัวควบคุมแบบ I

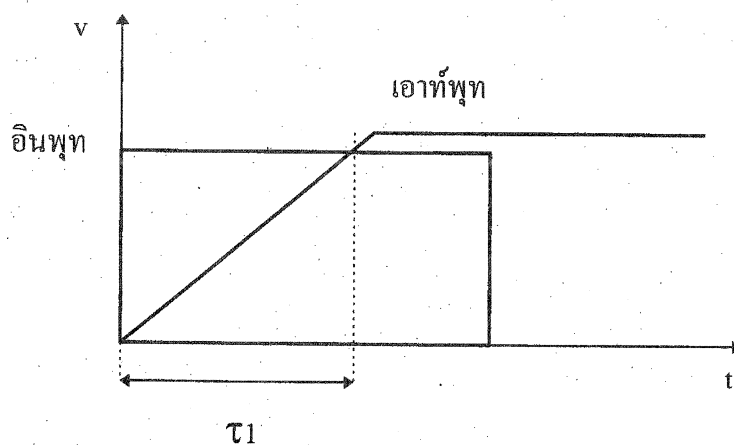
จะทำหน้าที่เป็นอินทิเกรเตอร์

$$W(S) = \frac{KI}{S} = \frac{1}{\tau_I S}$$

เมื่อ τ_I เป็นค่าคงที่เวลาของอินทิเกรเตอร์ เอาต์พุตของอินพุตแบบ step จะแสดงด้วยดีเลย์แบบเชิงเส้นหลังจากคาบเวลาเท่ากับ ค่าเวลาคงตัวของอินทิเกรเตอร์ เอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับค่าอินพุต



รูป 3.10



รูป 3.11

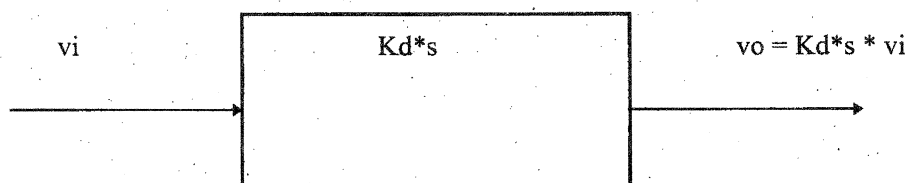
หมายเหตุ หลังจากเท่ากับค่าอินพุตแล้ว ค่าเอาต์พุตยังคงเพิ่มขึ้นที่อัตราความเร็วเดิมจนกระทั่งค่าอินพุตจะเท่ากับศูนย์

3.2.3. ตัวควบคุมแบบ D

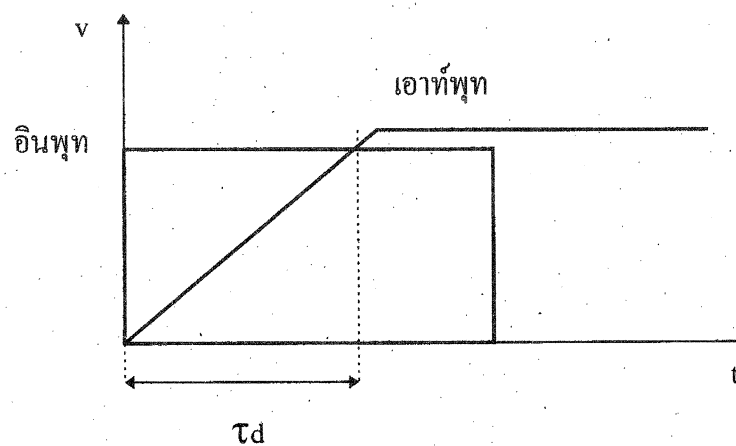
จะทำหน้าที่เป็นดิฟเฟอเรนเชียล ค่าเอาต์พุตจะตอบสนองต่ออินพุตแบบ ramp ที่เท่ากับค่าที่อินพุตจะมีหลังจากเวลาเท่ากับค่าเวลาคงตัวของ ดิฟเฟอเรนเชียล ฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$W(s) = s.kD = s.TD$$

เมื่อ TD คือ ค่าเวลาคงตัวของดิฟเฟอเรนเชียล ดูรูป 3.13



รูป 3.12

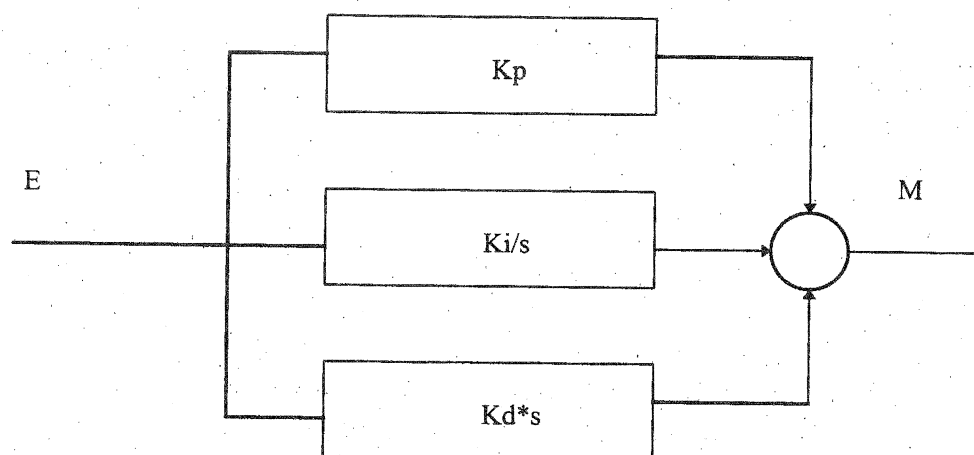


รูป 3.13

ค่าเอาต์พุตจะเท่ากับค่าอินพุตหลังจากเวลา τ_D และยังคงต่อเนื่องไปจนกระทั่งความชันของอินพุตเปลี่ยนแปลง

3.2.4 ตัวควบคุมแบบ PID

เป็นตัวควบคุมที่มีพฤติกรรมแบบตัวควบคุม P ตัวควบคุม I และตัวควบคุม D รวมกัน ดังรูป 3.14

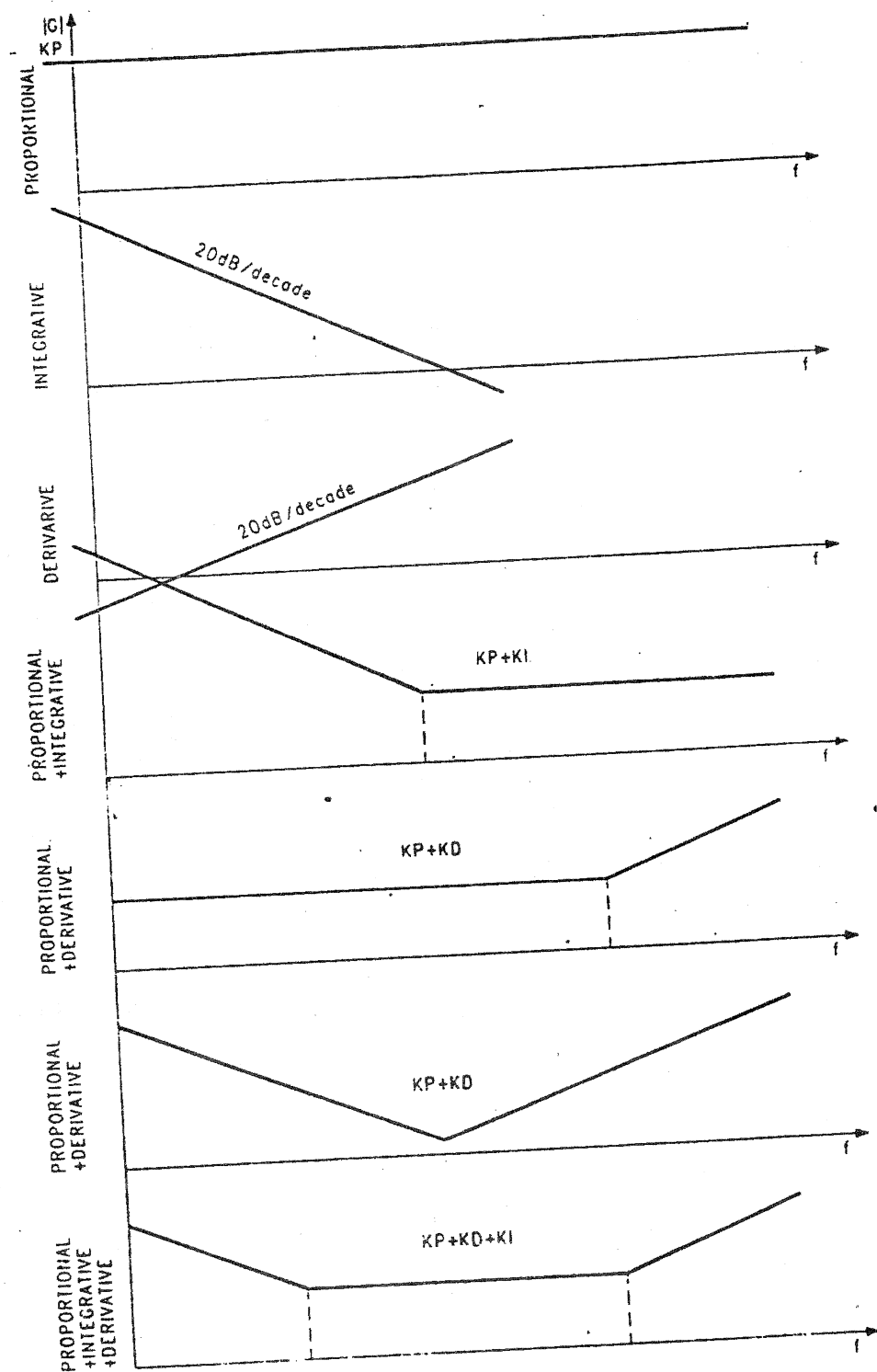


รูป 3.14

ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม คือ

$$W(S) = \frac{K_P + \frac{K_I}{S} + K_D \cdot S}{S}$$

$$W(S) = \frac{K_P \cdot S + K_I + K_D \cdot S^2}{S}$$

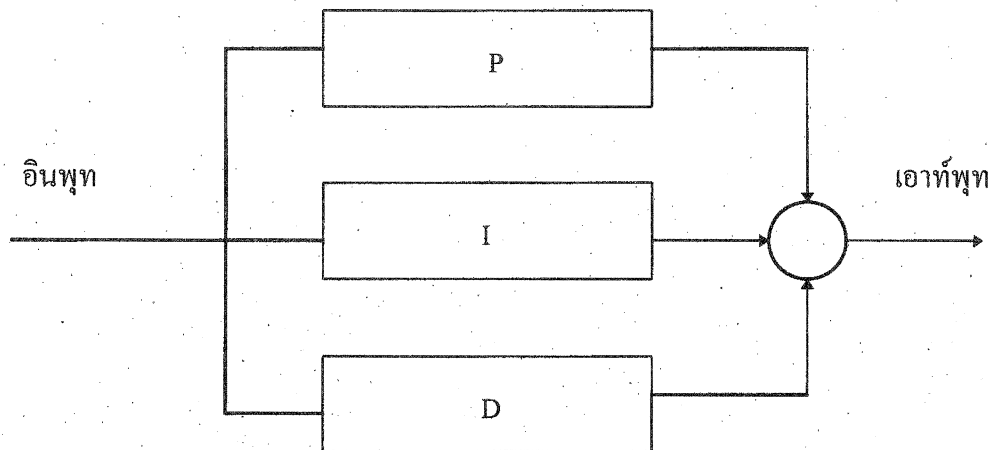


Bode diagrams for different kind of controllers

3.15

3.3 ตัวควบคุมแบบ PID

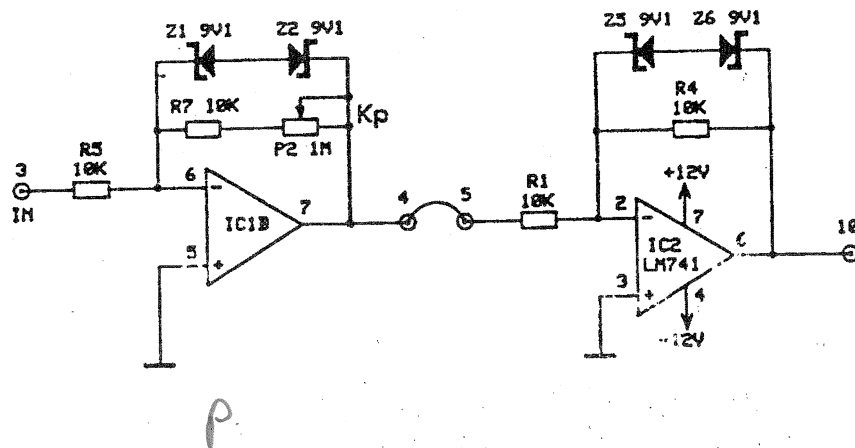
ตัวควบคุมแบบ PID มีสัญลักษณ์ดังรูป 3.16 และจะแยกอธิบายตัวควบคุมที่ลงตัว เริ่มจาก ตัวควบคุมแบบ P ในรูป 3.17



รูป 3.16

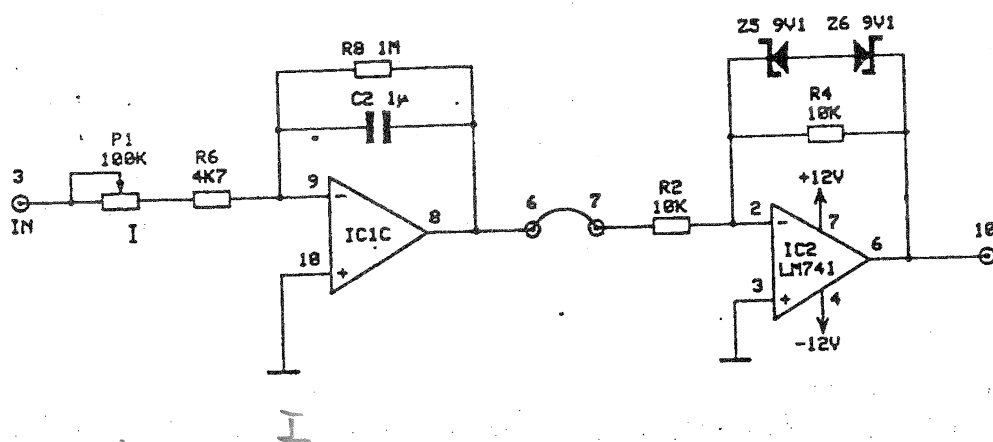
ตัวควบคุมแบบ P จะประกอบด้วย ออปแอมป์ โดยต่อแบบอินเวอร์สแอมป์ โดยมีเกด (ค่าคงที่ของ อัตราส่วนของตัวควบคุมแบบ P) ที่เป็นอัตราส่วนระหว่าง ค่าความต้านทาน R7 กับ P2 และ R5 ตามสมการนี้

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



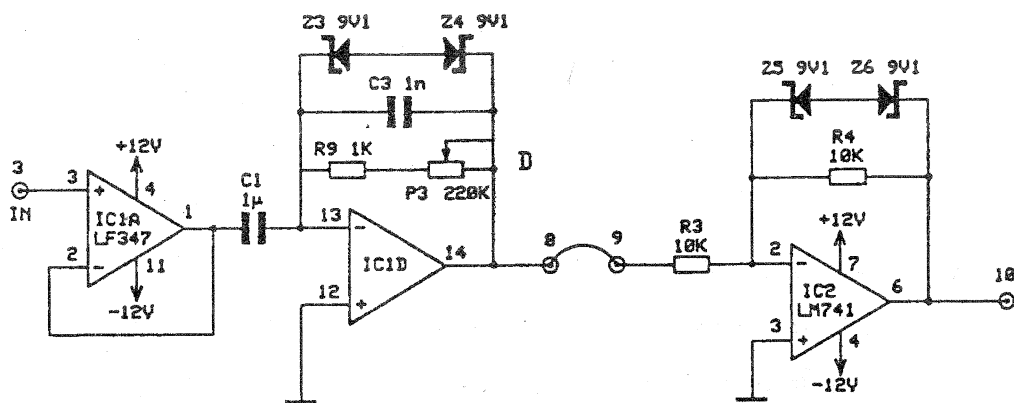
รูป 3.17

ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ P จะมีมุมเฟสเปลี่ยนไป 180° (อินเวอร์สแอมป์) เทียบกับอินพุตแต่ไม่เป็นปัญหานี้เอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ PID จะมีออปแอมป์อีกตัวทำหน้าที่กลับขั้วให้เท่ากับศูนย์อีกทีซีเนอริโคไดโอด Z1 และ Z2 จะป้องกันเอาต์พุตของออปแอมป์ไม่ให้เกิดสถานะอิ่มตัว ในความเป็นจริงเมื่อแรงดันเอาต์พุตมากกว่าคุณลักษณะของไดโอด (ในกรณี 9.1V) จะมีอิมพีแดนซ์ที่คร่อมจำกัดเกนของออปแอมป์ตัวควบคุมแบบ I แสดงในรูป 3.18 จะประกอบด้วยออปแอมป์ต่อเป็นอินทิเกรต โดยมีค่าคงที่เวลาเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความต้าน R6 กับ P1 และค่าความจุประจุ C2 การปรับ P1 จะทำให้ค่าคงที่เวลาเปลี่ยนแปลงการกลับเฟสจะเหมือนกับตัวควบคุมแบบ P



รูป 3.18

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



รูป 3.19

41-47

3.4 แบบฝึกหัด

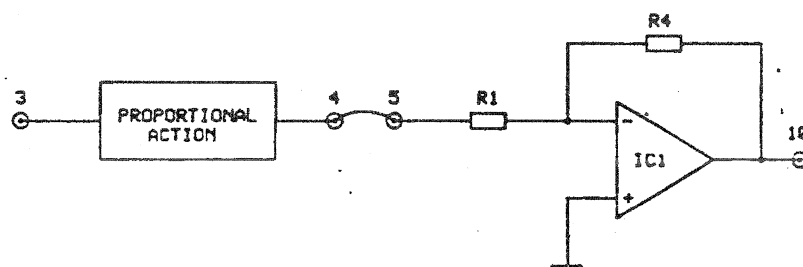
การทดลองที่ 3.4.1 เรื่อง ตรวจสอบคุณลักษณะรูปร่างแรงดันเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ P และ
วัดค่าเกตของตัวควบคุมแบบ P

อุปกรณ์การทดลอง

- ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
- ออสซิโลสโคป

วิธีการทดลอง

1. ต่อดังตามรูป 3.20
2. ตั้งโพเทนชิโอเมเตอร์ของตัวควบคุมแบบ D ให้มีค่ามากที่สุด
3. ต่อไฟเลี้ยงให้กับโมดูล $\pm 12\text{Vdc}$
4. ต่อสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 100 Hz มีแอมพลิจูด 100 mv ระหว่างขั้วที่ 10 กับกราวด์
5. ต่อในขั้วสัญญาณที่ขั้ว 17
7. ตั้งค่าเกนของออปแอมป์ IC1 ให้มีค่าน้อยที่สุดโดยโพเทนชิโอเมเตอร์
8. เปรียบเทียบผลต่างระหว่างสัญญาณเอาต์พุตและสัญญาณอินพุต
9. เปรียบเทียบรูปร่างของแรงดันเอาต์พุตและอินพุต
10. คำนวณค่าเกน k_p ของตัวควบคุมแบบ P (k_p คืออัตราส่วนระหว่างแอมพลิจูดของแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุต)
11. ปรับโพเทนชิโอเมเตอร์ของตัวควบคุมแบบ P และวัดค่าแรงดันเอาต์พุตและ k_p
12. ปรับรูปร่างของสัญญาณอินพุตใหม่จากรูปสี่เหลี่ยมไปรูป sine และสังเกตความแตกต่าง

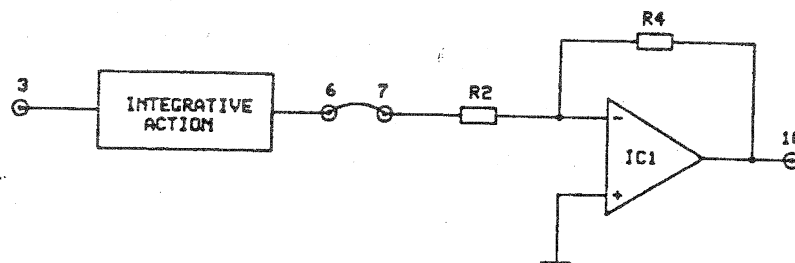


รูป 3.20

การทดลองที่ 3.4.2 เรื่อง ตรวจสอบคุณลักษณะรูปร่างของตัวควบคุมแบบ I และวัดค่าเวลาคงตัว

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูป 3.21
2. ต่อไฟเลี้ยงให้กับโมดูล $\pm 12\text{vdc}$
3. จ่ายสัญญาณอินพุตรูปร่างสี่เหลี่ยมความถี่ 100 Hz, แอมพลิจูด 2V เข้าที่ขั้ว 10
4. ต่อไฟวงเข้าที่ขั้วที่ 10
5. ต่อสายไฟในรบบอีกเส้นเข้าที่ขั้ว 17
6. ตั้งในเทรนซิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ I ไปที่ค่าน้อยที่สุด
7. เปรียบเทียบรูปร่างของสัญญาณเอาต์พุตและสัญญาณอินพุต
8. คำนวณค่าเวลาคงตัว K_I ของตัวควบคุมแบบ I ตามรูป 3.2.1
9. คำนวณค่าเวลาคงตัว K_I (K_I คือเวลาที่สัญญาณเอาต์พุตมีแอมพลิจูดเท่ากับสัญญาณอินพุต)
10. เปลี่ยนค่าเวลาคงตัวโดยใช้โพเทนซิโอมิเตอร์และสังเกตดูการเปลี่ยนแปลงที่สัญญาณเอาต์พุต
11. เปลี่ยนความถี่ของสัญญาณอินพุตและดูการเปลี่ยนแปลงที่สัญญาณเอาต์พุต
12. เปลี่ยนรูปร่างสัญญาณอินพุตจากสี่เหลี่ยมไปเป็น sine
13. สังเกตความเปลี่ยนแปลงที่สัญญาณเอาต์พุต



รูป 3.21

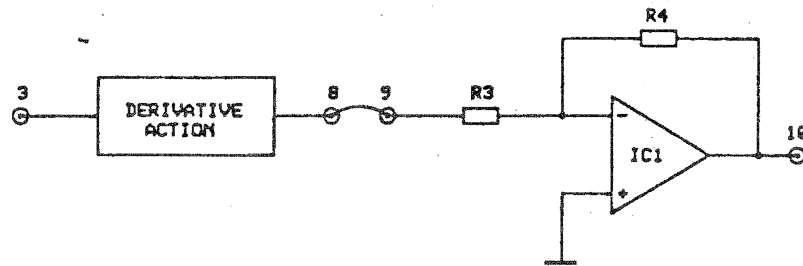
การทดลองที่ 3.4.3 เรื่อง ตรวจสอบคุณลักษณะรูปร่างของตัวควบคุมแบบ D และวัดค่าคงตัวเวลา

อุปกรณ์การทดลอง

- ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
- ออสซิลโลสโคป

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูป 3.22
2. ต่อไฟเลี้ยงให้กับโมดูล $\pm 12\text{Vdc}$
3. จ่ายสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่ 100 Hz มีแอมพลิจูด 0.5V เข้าที่ขั้ว 10
4. ต่อสายโพรปเข้าที่ขั้ว 10
5. ต่อสายโพรปอีกเส้นเข้าที่ขั้ว 17
6. ตั้งค่าโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ D ไปที่ค่าน้อยที่สุด
7. เปรียบเทียบรูปร่างของสัญญาณเอาต์พุตและสัญญาณอินพุต
8. คำนวณค่าเวลาคงตัว KD ของตัวควบคุมแบบ D จากค่าของอุปกรณ์ดังรูป 3.22
9. คำนวณค่าเวลาคงตัว KD จากรูปผลตอบแทน (KD คือเวลาที่แรงดันเอาต์พุตเท่ากับแรงดันอินพุต)
10. ปรับค่าเวลาคงตัวและสังเกตดูผลตอบแทนสัญญาณเอาต์พุต
11. เปลี่ยนความถี่ของสัญญาณอินพุตและสังเกตดูการเปลี่ยนแปลงที่เอาต์พุต
12. เปลี่ยนรูปร่างของสัญญาณอินพุตไปเป็น sine ที่มีความถี่และแอมพลิจูดเท่าเดิม
13. สังเกตดูความเปลี่ยนแปลงต่างๆ



รูป 3.22

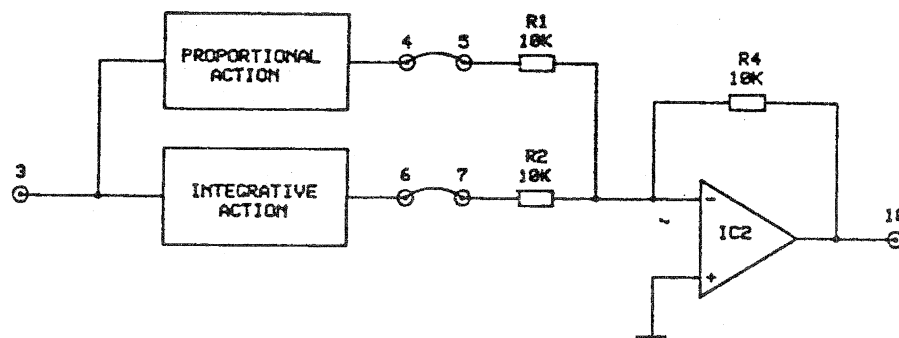
การทดลองที่ 3.4.4 เรื่อง ตรวจสอบรูปร่างของแรงดันเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ PI

อุปกรณ์การทดลอง

- ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
- ออสซิลโลสโคป

วิธีการทดลอง

1. ต่อกับวงจรตามรูป 3.23
2. จ่ายสัญญาณอินพุตรูปสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz แอมพลิจูด 2V เข้าที่ขั้ว 10
3. ต่อสายโพรบเข้าที่ขั้ว 10
4. ต่อสายโพรบอีกเส้นเข้าที่ขั้ว 17
5. ตั้งโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ P (kP) ให้มีค่าน้อยที่สุด
6. ตั้งค่าโพเทนชิโอมิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ I (KI) ให้มีค่าน้อยที่สุดด้วย
7. เปรียบเทียบรูปร่างแรงดันเอาต์พุต
8. ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ของทั้งตัวควบคุมแบบ P และ I จากต่ำสุดถึงสูงสุดสังเกตความเปลี่ยนแปลง
9. เปลี่ยนความถี่สัญญาณอินพุตและสังเกตความเปลี่ยนแปลง



รูป 3.23

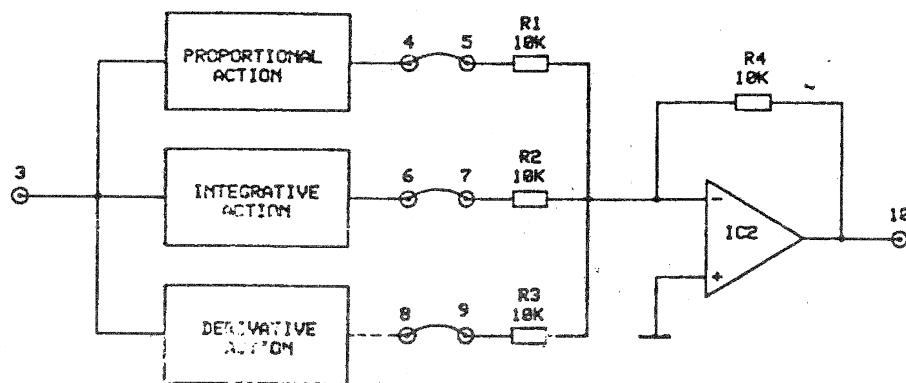
การทดลองที่ 3.4.5 เรื่อง ตรวจสอบรูปร่างของแรงดันเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ PID

อุปกรณ์การทดลอง

- ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
- ออสซิลโลสโคป

วิธีการทดลอง

1. ต้องจตามรูป 3.24
2. จ่ายสัญญาณอินพุตรูปสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz แอมพลิจูด 2V เข้าที่ขั้ว 10
3. ต่อสายโพรบเข้าที่ขั้ว 10
4. ต่อสายโพรบอีกเส้นเข้าที่ขั้ว 17
5. ตั้งโพเทนชิโอเมเตอร์ของตัวควบคุมแบบ P (kP) ให้มีค่าน้อยที่สุด
6. ตั้งค่าโพเทนชิโอเมเตอร์ของตัวควบคุมแบบ I (KI) ให้มีค่าน้อยที่สุดด้วย
7. ตั้งค่าโพเทนชิโอเมเตอร์ของตัวควบคุมแบบ D (KD) ให้มีค่าน้อยที่สุดด้วย
8. เปรียบเทียบรูปร่างแรงดันเอาต์พุต
9. ปรับโพเทนชิโอเมเตอร์ของทั้งตัวควบคุมแบบ P และ I จากต่ำสุดถึงสูงสุดสังเกตความเปลี่ยนแปลง
10. เปลี่ยนความถี่สัญญาณอินพุตและสังเกตความเปลี่ยนแปลง



រូប 3.24.

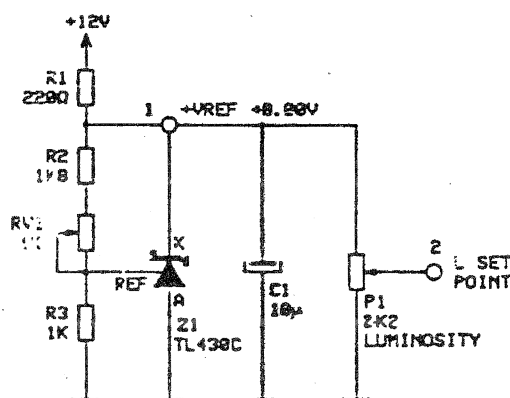
บทที่ 4

ระบบควบคุมเกี่ยวกับแสง

4.1 รายละเอียดเกี่ยวกับบล็อกไดอะแกรม

4.1.1 สัญญาณอ้างอิง

บล็อกตั้งค่าสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณอินพุต บล็อกนี้มีวงจรดังรูป 4.1 อุปกรณ์ Z1 มีหน้าที่ปรับแรงดันอ้างอิงในความเป็นจริงจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขาคาโทรด k จนกระทั่งแรงดันอ้างอิงของ REF ไม่เท่ากับแรงดันอ้างอิงภายในตัวควบคุม แรงดันอ้างอิงนี้จะเท่ากับ 2.7V ขณะแรงดัน REF ขึ้นอยู่กับแรงดันที่ขาคาโทรด (k) และค่าความต้านทาน R2, R3, RV1 โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ RV1 ค่าแรงดันที่ตกคร่อมสามารถเปลี่ยนแปลงได้จนกระทั่งมันถึงค่าแรงดันที่ต้องการคร่อมขาคาโทรด ค่าความต้านทาน R1 จะทำให้แรงดันตกคร่อมระหว่างแรงดันไฟเลี้ยง ($\pm 12\text{Vdc}$) และแรงดันที่ต้องการที่ขาคาโทรด แรงดันที่เกิดขึ้นที่ Z1 กับโพเทนชิโอมิเตอร์ P1 จะปรับได้ด้วยปุ่ม LUMIMOSTTY

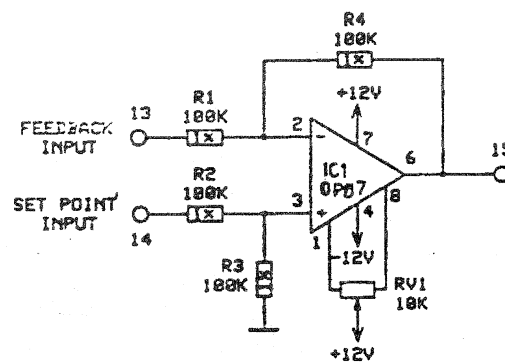


รูป 4.1

แรงดันนี้ คือ สัญญาณอ้างอิงสำหรับระบบควบคุม ตัวเก็บประจุ C1 ใช้สำหรับกรองแรงดันอินพุต หรือแรงดันเอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

4.1.2 แอมป์ผลต่าง

แอมป์ผลต่าง (รูป 4.2) เป็นบล็อกประกอบด้วยค่าอินพุต สัญญาณอ้างอิง และสัญญาณเอาต์พุต โดยมีออปแอมป์ทำหน้าที่หาผลต่างของทั้งสองสัญญาณ ตัวต้านทานปรับค่าได้ RV1 ทำหน้าที่ปรับออฟเซตของออปแอมป์



รูป 4.2

4.1 ตัวควบคุม PID

4.1.3 เพาเวอร์แอมป์

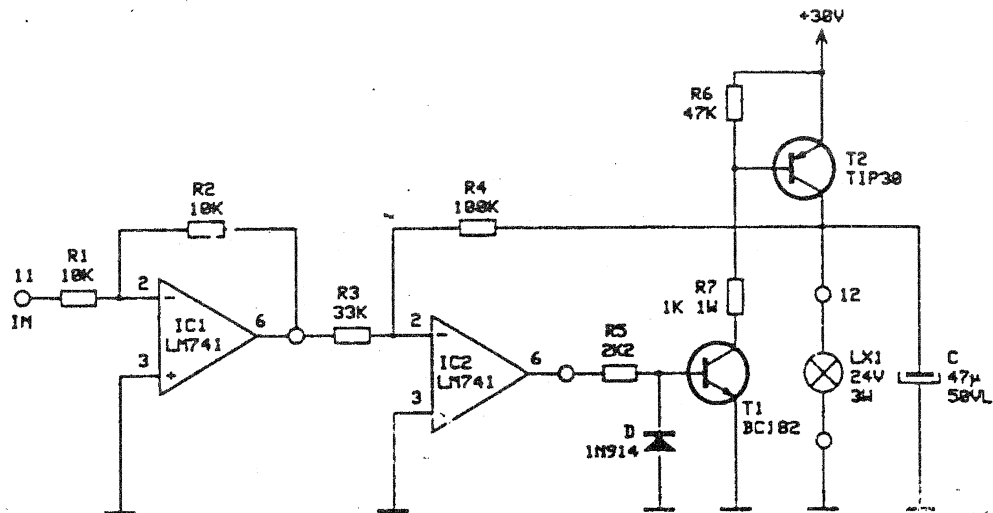
เพาเวอร์แอมป์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม PID ให้สามารถขับตัวแอกชูเตอร์ได้ รูปไดอะแกรมของเพาเวอร์แอมป์ ในโมดูล G13 ลด (รูป 4.3) ตัวแอกชูเตอร์คือ หลอดไส้ 24vdc ขณะที่ไฟเลี้ยงตัวควบคุม PID2 เท่ากับ 8 vdc อัตราส่วนของทั้งสองสัญญาณเท่ากับ 3.75 ออปแอมป์ IC2 ต่อแบบอินเวอร์สแอมป์ ในกรณีนี้แรงดันเกนคือ

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

เมื่อ R_f คือ ตัวต้านทานป้อนกลับ (ตัวต้านทานระหว่างเอาต์พุตและอินเวอร์สอินพุต) และ R_i คือตัวต้านทานที่ต่อระหว่างอินพุตและขาอินเวอร์ส ในกรณีนี้ คือ

$$G = \frac{-R_4}{R_3} = \frac{-100k}{33k} \approx -3$$

รูปวงจรนี้มีตัวทรานซิสเตอร์สองตัว ออปแอมป์จะปรับสัญญาณเอาต์พุตจนกระทั่งแรงดันคร่อมจุด 12 มีค่าเท่ากับสัญญาณอินพุต (ข้อ 6) คูณกับค่าเกนของออปแอมป์



รูป 4.3

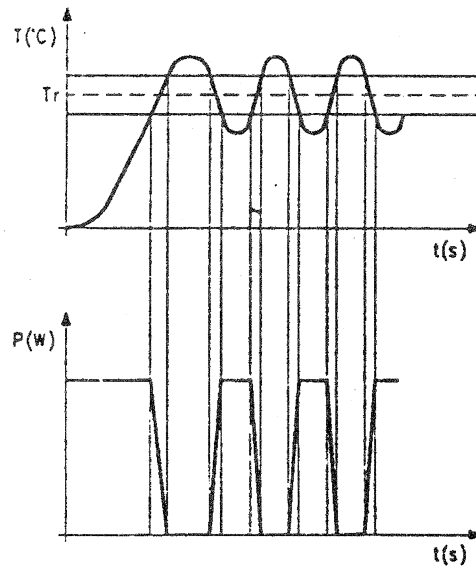
โดยการเพิ่มขึ้นของแรงดันคร่อมข้อ 6 กระแสอินพุต ทรอม T1 จะเพิ่มขึ้น และขาคอลเลคเตอร์จะเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนกับแรงดันที่ทรอมขาเบส T2 จะตกลงและทำให้กระแสที่ขาคอลเลคเตอร์ของ T2 ลดลงเช่นกัน ซึ่งจะทำให้แรงดันคร่อมจุด 12 เพิ่มขึ้น

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

4.2 ระบบควบคุมแบบ P

สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เป็นอัตราส่วนกับสัญญาณอินพุต ซึ่งสามารถปรับเกนได้แต่ในความเป็นจริงแล้วถ้าค่าสัญญาณอินพุตมีขนาดใหญ่มาก หรือเกนมีขนาดใหญ่มาก จะเกิดสถานะอิ่มตัวขึ้น

และจะทำให้เกิดสถานะที่ไม่เป็นเชิงเส้นขึ้นจึงจำเป็นต้องกำหนดช่องทางการทำงานให้เพื่อป้องกันเหตุการณ์ดังกล่าวดังรูปที่ 4.4 สัญญาณผลต่างที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่จ่ายจากตัวปรับสภาพสัญญาณของทรานสดิวเซอร์และสัญญาณอ้างอิงจะขยายด้วยเกน k_p



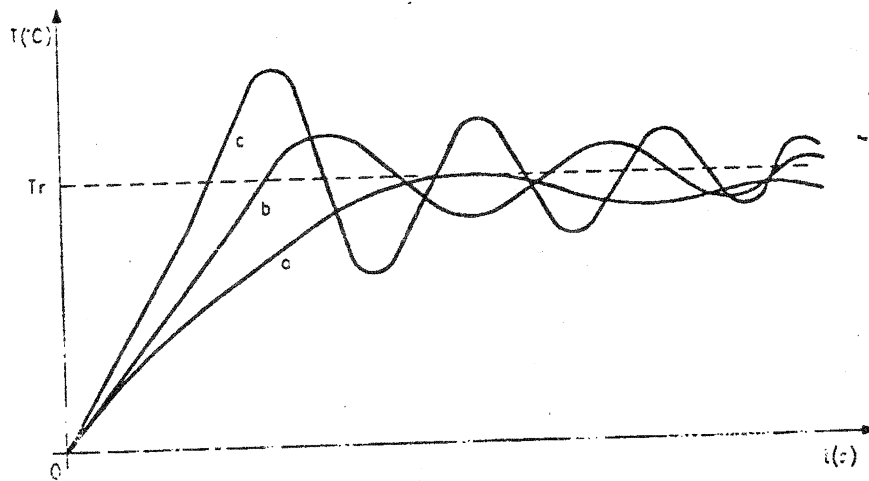
รูป 4.4

นอกช่วงอัตราขยาย ตัวควบคุมจะปิด/เปิด หมายถึงว่าจะไม่มีสัญญาณใดๆ ส่งออกไปที่แอกชูเอเตอร์ (พื้นที่ไม่มีอัตราขยาย) ขณะที่ภายในช่วงขยายจะมีการขยายเกิดขึ้น เมื่ออยู่ในสภาพคงตัว (ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงานหนึ่งตัว) พลังงานจะกลับมาจากแอมป์ไปเข้าที่แอกชูเอเตอร์ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ไปที่โหลดและที่ตัวแอกชูเอเตอร์

หมายเหตุ สำหรับตัวควบคุมชนิด P นี้ สัญญาณผลต่างจะไม่เท่ากับศูนย์แต่ขึ้นอยู่กับค่าเกน k_p และค่าของช่วงอัตราขยายซึ่งสามารถอธิบายได้โดยผลต่างของแรงดันเอาต์พุตกับศูนย์ พฤติกรรมของแสงเป็นฟังก์ชันของเวลาขึ้นอยู่กับการเลือกช่วงอัตราขยาย

รูป 4.5 แสดงพฤติกรรมของแสงที่แตกต่างกัน

- B_p มากเกินไป
- B_p เหมาะสม
- B_p น้อยเกินไป



รูป 4.5

4.3 ระบบควบคุมด้วย PI และ PID

ข้อดีของระบบควบคุมชนิด P คือมันสามารถทำให้สัญญาณอินพุตค่าใกล้เคียงกับสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการได้ ส่วนข้อดีของระบบควบคุมชนิด I ก็จะทำให้ความผิดพลาดในสภาวะคงตัวน้อยลง แรงดันอินพุตจะได้ออกมาจากการอินทิเกรตแรงดันอินพุต แต่มันจะทำให้เกิดโอเวอร์ชูตของระบบสูงขึ้น ดังนั้นระบบมีเสถียรภาพเลวลง (เกิดออสซิลเลท) สำหรับกรณีนี้จำเป็นที่จะต้องเพิ่มตัวควบคุมชนิด D ขึ้นเพื่อทำให้ระบบมีความเร็วมากขึ้น

4.4 การตั้งค่าตัวควบคุม

เมื่อใช้ตัวควบคุม PID ควบคุมกระบวนการ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือเราจะหาตัวแปร k_P , k_I และ k_D ได้อย่างไร เพื่อที่จะทำให้ระบบควบคุมควบคุมกระบวนการได้ตามที่ต้องการ โดยทั่วไปปัญหานี้จะแก้ไขได้โดยบล็อกค่า k_P ก่อนและบล็อก k_I ตามมาและเลือก k_D หลังสุด ขั้นตอนการเลือกสามารถแบ่งออกได้เป็นสองวิธีคือ

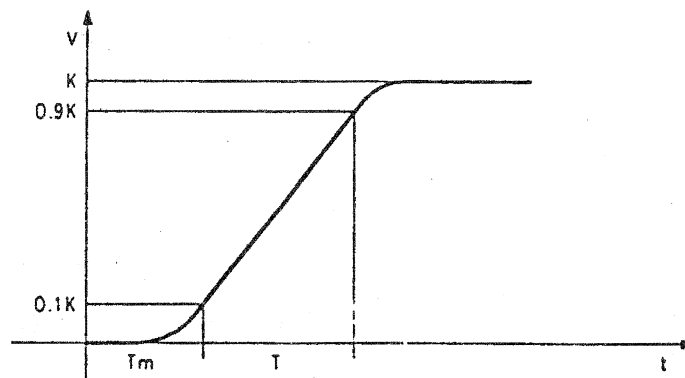
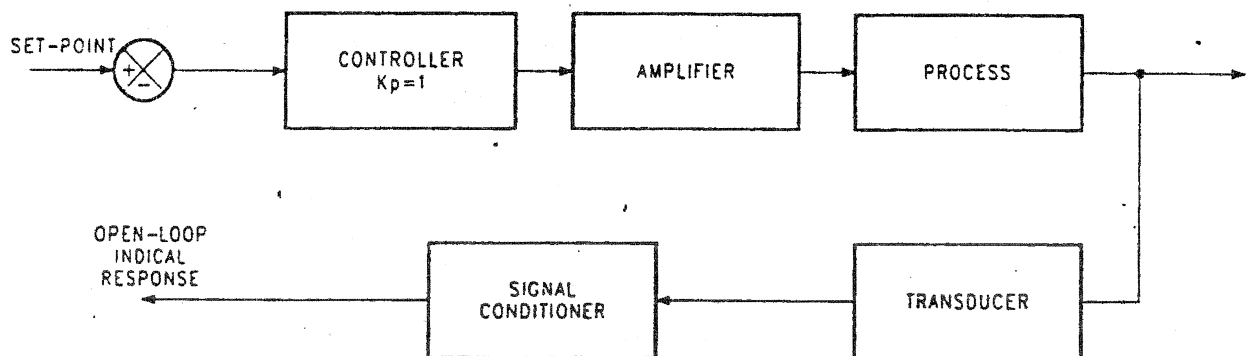
- a) ดูจากพฤติกรรมที่ขอบของเสถียรภาพของระบบควบคุมป้อนกลับ
- b) ผลตอบสนองเชิงเวลาของกระบวนการเมื่อมีอินพุตเป็น step
- ขั้นตอนของข้อแรกจะต้องทำให้กระบวนการมีการออสซิลเลท จึงจะต้องแน่ใจว่าการออสซิลเลทไม่ทำอันตรายต่อกระบวนการวิธีการนี้เรียกกันว่า Ziegler-Nichols โดยมีขั้นตอนดังนี้

- นำเอาตัวควบคุมแบบ I และ D ออกก่อน
- เพิ่มค่า K_P จากน้อยที่สุดจนกระทั่งระบบป้อนกลับอยู่ที่ขอบเสถียรภาพ
- วัดค่า K_{Pc} ของ K_P ที่ทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพ
- ตรวจจับคาบเวลา T_c ของคาบออสซิลเลทที่เกิดขึ้นในระบบเหนือขอบของเสถียรภาพแล้วนำมาเปรียบเทียบกับตารางข้างล่าง

ตัวควบคุม	K_P	K_P/K_I	K_D/K_P
P	$0.5 \cdot K_{Pc}$		
PI	$0.45 \cdot K_{Pc}$	$0.85 \cdot T_c$	
PID	$0.6 \cdot K_{Pc}$	$0.5 \cdot T_c$	$0.12 \cdot T_c$

ขั้นตอนของข้อมูลท้ายจะวัดผลตอบสนองรูปเปิดของกระบวนการ Ziegler และ Nichols พัฒนาวีธีการนี้ด้วยรูป 4.6

- รูปเปิด
- ตั้งค่า K_P เท่ากับหนึ่งหน่วย
- นำเอาตัวควบคุมแบบ I และ D ออก
- ตั้งสัญญาณอินพุตหนึ่งหน่วยและวิเคราะห์ผลตอบสนองของเอาต์พุตของตัวปรับสภาพสัญญาณที่แสดงในรูปที่ 4.6 เมื่อมีตัวพื้นฐานดังนี้
- k = แแกน
- T_m = dead time
- T = ค่าเวลาคงตัว



รูป 4.6

กับวิธีการนี้ Ziegler และ Nichole พัฒนารายการหา K_P , T_I , T_D ของแต่ละตัวควบคุมตามตารางนี้

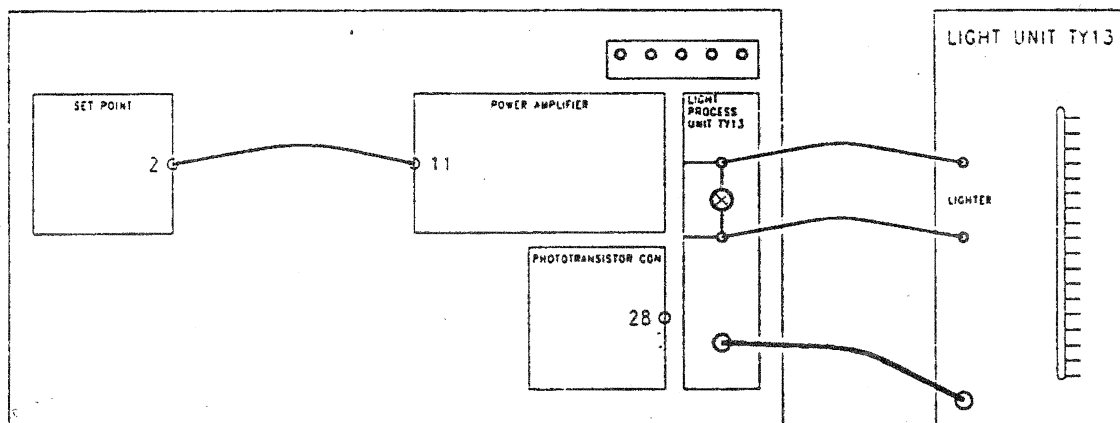
ตัวควบคุม	K_P	K_P/K_I	K_D/K_P
P	$\frac{1}{K} * \frac{T}{T_m}$		
PI	$\frac{0.9}{K} * \frac{T}{T_m}$		
PID	$\frac{1.2}{K} * \frac{T}{T_m}$		

4.5 การทดลอง

การทดลองที่ 4.5.1 เรื่อง ระบบควบคุมอัตโนมัติของแสงรูปเปิด

วิธีทดลอง

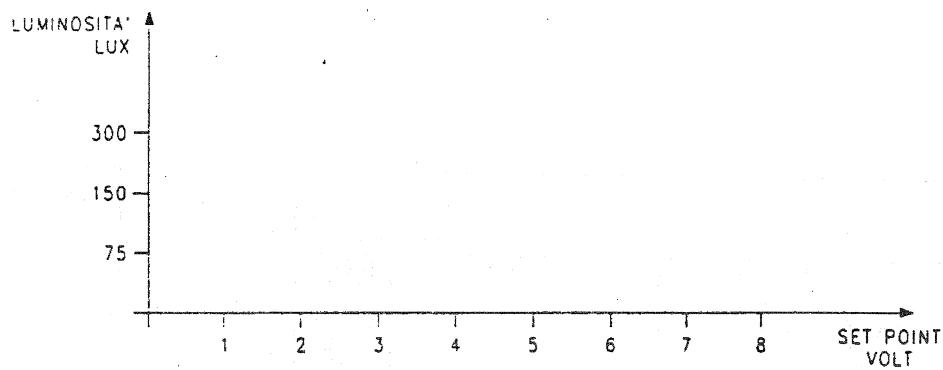
- ต่อดวงจรตามรูป 4.7
- ต่อโมดูล G13 เข้ากับโมดูล TY13/EV ตามรูป 2.17
- ตั้งโมดูล TY13 ให้มีระยะห่างที่ 300 Lux และสวิตช์ตัวปรับสภาพสัญญาณ (PHOTORESISTOR, PHOTOPIEPE, PHOTOTRANSISTOR CONHDITIONER) ไปที่ตำแหน่ง B
- กับสัญญาณอ้างอิงที่ 4 โวลต์ แรงดันนี้สอดคล้องกับแสง 150 lux
- วัดแรงดันเอาต์พุตของตัวปรับสภาพสัญญาณของ phototransistor แรงดันนี้จะต้องใกล้ 4 โวลต์
- ปรับระยะไปที่ 370 Lux
- ทำการวัดค่าของแรงดันเอาต์พุตของตัวปรับสภาพสัญญาณของ 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

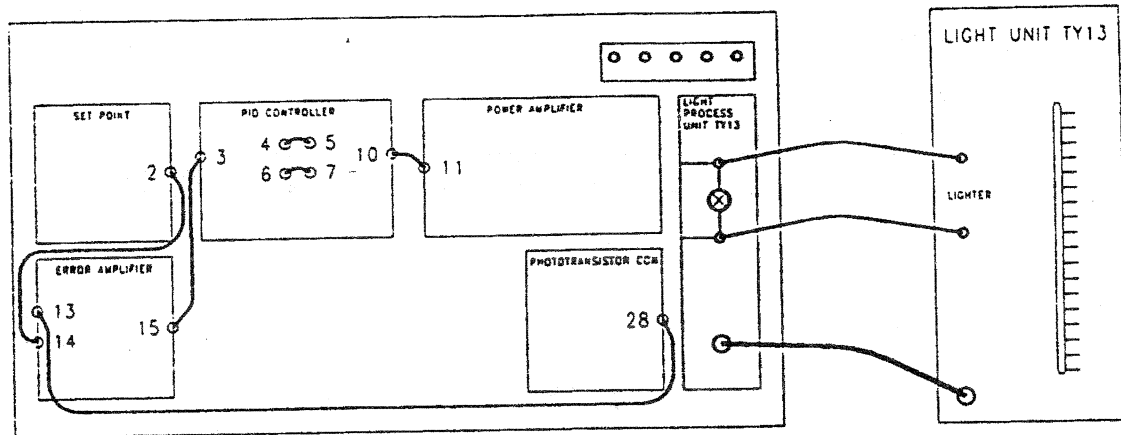


รูป 4.8

การทดลองที่ 4.5.2 เรื่อง ระบบควบคุมอัตโนมัติของแสงแบบลูปปิด

วิธีทดลอง

- ต่อดังตามรูป 4.9
- ต่อโมดูล G13 กับโมดูล TY13/EV ตามรูป 2.17
- ตั้งระยะที่ 300 Lux และสวิตช์สัญญาณของตัวปรับสภาพสัญญาณไปที่ตำแหน่ง B
- ตั้งค่าในเทนิโอเมเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID โดยให้ค่าสูงสุดแก่ตัวควบคุมแบบ P และน้อยที่สุดแก่ตัวควบคุมแบบ I
- ให้สัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 4 โวลต์ซึ่งจะสอดคล้องกับแสง 150 lux
- วัดแรงดันเอาต์พุตของตัวปรับสภาพสัญญาณของ phototransistor แรงดันนี้จะประมาณ 4 โวลต์
- ปรับระยะไปที่ 370 Lux
- ทำการวัดแรงดันเอาต์พุตของตัวปรับสภาพสัญญาณของ phototransistor
- บันทึกผลลงในตารางที่ ๕ และทำซ้ำการทดลองตามรูป ๕.9



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		

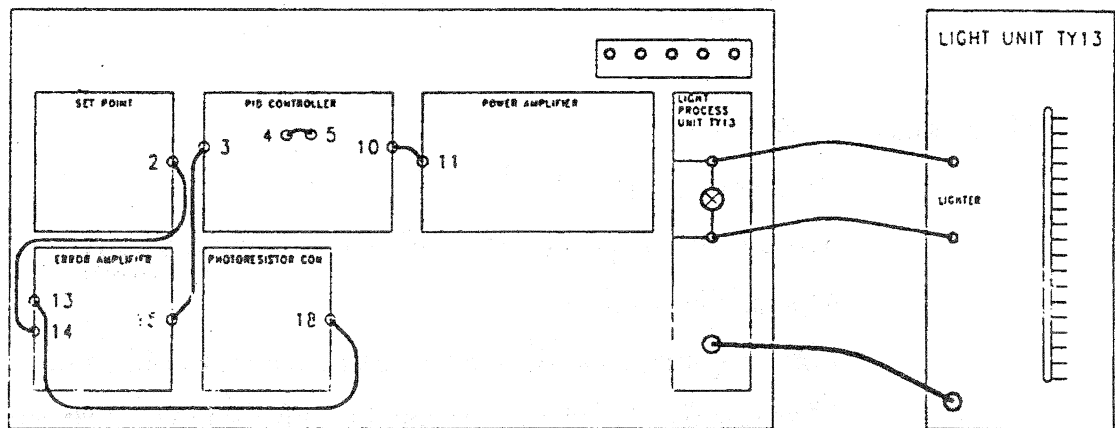
ตาราง 4.2

การทดลองที่ 4.5.3 เรื่อง ระบบควบคุมอัตโนมัติของแสงแบบลูปปิดผลกระทบต่อตัวควบคุมแบบ

PID

วิธีการทดลอง

- ต่อดวงจรตามรูป 4.10
- ตั้งค่าระยะของโมดูล TY13/EV ไปที่ 300 Lux และสวิตช์ตัวปรับสภาพสัญญาณไปที่ตำแหน่ง B
- ใช้ตัวควบคุมแบบ P อย่างเดียว (ต่อเฉพาะขั้ว 4 และ 5) และให้ค่าต่ำสุด
- ให้สัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 4 โวลต์ และวัดแรงดันที่ขั้ว 15 (เอาต์พุตของแอมป์ผลต่าง) สอดคล้องกับผลต่างระหว่างค่าอ้างอิงและสัญญาณเอาต์พุต
- เพิ่มเกนของตัวควบคุมแบบ P โดยอย่าทำให้ระบบออสซิลเลท
- วัดแรงดันเอาต์พุตของแอมป์ผลต่างและตรวจสอบว่าผลต่างเปลี่ยนแปลงเป็นฟังก์ชันของเกนอย่างไร
- เพิ่มตัวควบคุมแบบ I เข้าไปโดยต่อกับขั้ว 6 และ 7 และตั้งค่าโพเทนชิโอเมเตอร์ให้มีค่าน้อยที่สุดวัดค่าผลต่าง
- ตั้งค่าโพเทนชิโอเมเตอร์ของตัวควบคุมแบบ I ให้มีค่าครึ่งหนึ่งและให้ค่าโพเทนชิโอเมเตอร์ของตัวควบคุมแบบ P ให้น้อยที่สุด
- หมายเหตุ ตัวควบคุมแบบ I ทำให้ผลต่างลดลงได้อย่างไร
- หมายเหตุ ตัวควบคุมแบบ I ทำให้ระบบมีเสถียรภาพเลวลงอย่างไร
- เพิ่มตัวควบคุมแบบ D เข้าไปในระบบสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงว่าระบบกลับมา มีเสถียรภาพเหมือนเดิม

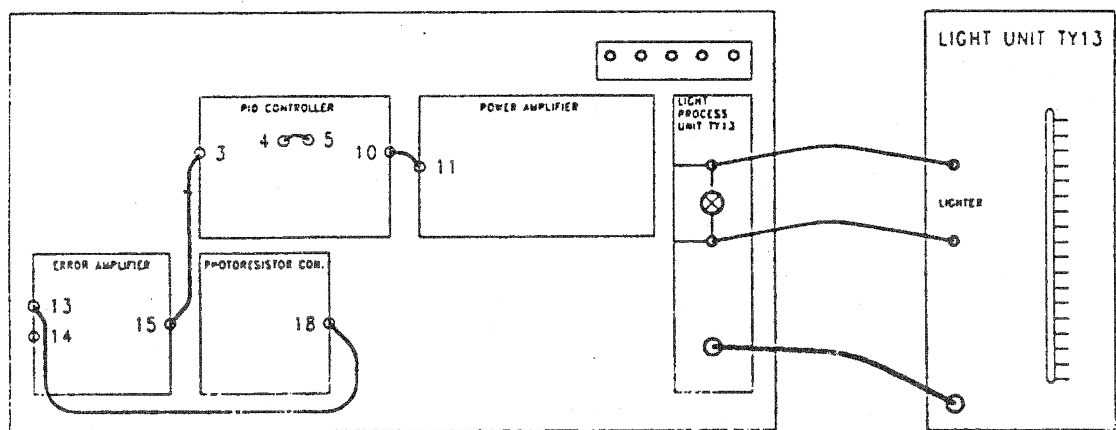


รูป 4.10

การทดลองที่ 4.5.4 เรื่อง การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ของตัวควบคุมแบบ PID

วิธีการทดลอง

- ต้องจตามรูป 4.11
- ตั้งระยะของโมดูล TY13/EV ให้อยู่ที่ 300 Lux และสวิตช์ตัวปรับสภาพสัญญาณไปที่ตำแหน่ง B
- ตั้งฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ไปที่สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมมีความถี่ 100 Hz แอมพลิจูด +4 โวลต์ และว้ายไปที่ขั้ว 14 กับกราวด์
- ต่อสายโพรบที่เอาต์พุตของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
- ตั้งค่าตัวควบคุม PID (อย่างไรก็ได้)
- ต่อสายโพรบอีกเส้นเข้าที่ขั้ว 28 และ ดูผลตอบสนองที่เอาต์พุต
- เปลี่ยนค่าเกนของตัวควบคุมแบบ PID และสังเกตผลตอบสนอง
- ทำการปรับค่าเกนของตัวควบคุมแบบ P, I, D, PI, PD, ID และ PID และสังเกตดูผลตอบสนอง



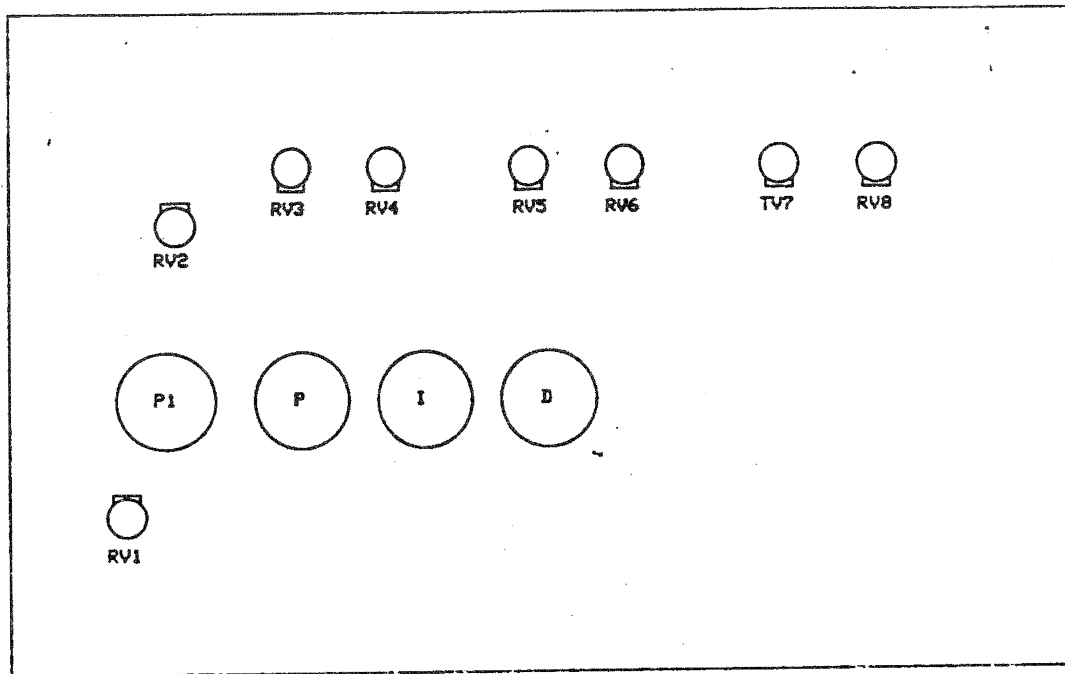
រូប 4.11

ภาคผนวก A

การเปรียบเทียบ

ในการเปรียบเทียบ โมดูล G13 มีขั้นตอนดังนี้คือ

- ไม่ต่อโมดูล G13 กับ โมดูล TY13/EV(สำหรับการปรับแต่ละบล็อก)
- ตัวต้านทานปรับค่ามีตำแหน่งดังนี้



รูป A

บล็อกสัญญาณอ้างอิง

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

บล็อกแอมป์ผลต่าง

- ต่อโมดูล G13 กับแหล่งจ่ายไฟทั้งหมดที่มี
- ถัดวงจรขั้ว 13 กับ 14 และปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ RV2 จนกระทั่งแรงดันของขั้ว 15 เท่ากับศูนย์โวลต์

บล็อกปรับสภาพสัญญาณ PHOTORESISTOR

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

APPENDIX B
BIBLIOGRAPHY

- * Transducer interfacing handbook
Analog Device Inc. - Norwood, Massachusetts
 - * 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
National 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
