สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องส่งสัญญาณชนิดสองสาย

นายอดิเทพ ชัยสังข์

ปพ
อ125ค
2534

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

ล12521838

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Two-Wire Transmitter

Mr.Aditep Chaisang

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the

Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ ระบบส่งสัญญาณชนิดสองสาย

โดย นายอดิเทพ ชัยสังข์

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.วิชิต ศิริโชติ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต

(อ.ดร.เสน่ห์ เอกะวิภาต) หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ

ประธานกรรมการ

(อ.สุวรรณ คูสำราญ)

กรรมการ

(อ.อนุชิต จารุวนาวัฒน์)

กรรมการ

(อ.วิชิต ศิริโชติ)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ระบบส่งสัญญาณชนิดสองสาย
นักศึกษา	นายอดิเทพ ชัยสังข์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.วิชิต คิริโชติ
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2534

บทคัดย่อ

เครื่องส่งสัญญาณชนิดสองสายนี้ เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยส่งสัญญาณโวลเตจจากเครื่องมือวัดต่างให้ได้ระยะทางไกลๆโดยไม่มีการคลาดเคลื่อน โดยอาศัยการส่งสัญญาณในรูปของกระแสไฟฟ้า โดยสัญญาณอินพุทจะถูกนำไปขยายโดยวงจรนอนอินเวอร์ติ้งแอมปลิไฟเออร์ จากนั้นทำการแปลงเป็นสัญญาณกระแสด้วยวงจรเปลี่ยนโวลเตจเป็นกระแส โดยในโครงงานนี้จะมีวงจรเปรียบเทียบแรงดันคอยตรวจวัดระดับสัญญาณเพื่อทำการควบคุมได้ด้วย โดยอินพุทที่ได้จากทรานดิวเซอร์จะอยู่ในช่วง0-60มิลลิโวลต์ขยายแล้วมีค่า0-1โวลต์เมื่อแปลงเป็นกระแสจะมีค่า 4-20 มิลลิแอมป์

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ลาดกระบัง กทม. 10520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Two-Wire Transmitter
Name	Mr.Aditep Chaisang
Special Project Advisor	Mr.Wichit Sirichoat
Department	Applied Physics
Academic Year	1991

Abstract

This special project is about developing two-wire transmitter which is very useful for measuring signal in industrial control. The signal will be transmitted in current form . Input voltage signal is amplified by noninverting amplifier. After that, voltage to current converter converts votage signal into current signal. The transmitter has a comparator to compare signal for controlling. The transmitter is set for transducer with 0-60 mV. The output current is between 4-20 mA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยความช่วยเหลือ เอาใจใส่อย่างยิ่งของท่านอาจารย์ วิชิต ศิริโชติ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้สละเวลาอันมีค่าคอยแนะนำ ให้คำปรึกษาชี้แนวทางที่มีประโยชน์ในการทำงาน นอกจากนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาต่างๆ ให้แก่ผู้เขียนตลอดระยะเวลาสี่ปีที่ผ่านมาจนสามารถนำไปปฏิบัติทำงานชิ้นนี้จนสำเร็จลงได้ นอกจากนี้ต้องขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยแนะนำช่วยเหลือเป็นกำลังใจในการทำงาน ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

และที่สำคัญที่สุดผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณที่ได้ส่งเสียเลี้ยงดู จนผู้เขียนประสบความสำเร็จในชีวิตทางการศึกษาครั้งนี้

25 มีนาคม 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย 4

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... 5

กิตติกรรมประกาศ..... 6

สารบัญตาราง..... 9

สารบัญรูปภาพ..... 10

บทที่

1.บทนำ.....12

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....13

1.2 ขอบเขตของโครงงาน.....13

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ.....13

2.การวัดทางอุตสาหกรรมและคุณสมบัติพื้นฐานของออปแอมป์.....14

2.1 การวัดทางอุตสาหกรรม.....14

2.2 คุณสมบัติพื้นฐานของออปแอมป์.....17

3.ทฤษฎีของวงจรที่ใช้.....31

3.1 วงจร Noninverting Amplifier.....31

3.2 วงจร Voltage to Current Converter.....33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจร Comparator.....44

4. การดำเนินงาน.....48

4.1 วงจร Noninverting Amplifier.....49

4.2 วงจร Voltage to Current Converter.....49

4.3 วงจร Comparator.....50

5. ผลการทดลองและสรุป.....53

5.1 ผลการทดลอง.....53

5.2 สรุปการทำงาน.....58

เอกสารอ้างอิง.....59

ภาคผนวก ก OP-AMP 741.....60

ภาคผนวก ข OP-AMP OP-07.....63

ภาคผนวก ค RERAY HE 700 SERIES.....65

ประวัติผู้เขียน.....67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1 กลุ่มของออปแอมป์.....30

ตาราง 5.2 ผลการทดลองวงจร Noninverting Amplifier.....53

ตาราง 5.3 ผลการทดลองวงจร Voltage to Current Converter.....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูป 2.1 หลักการของ Thermocouple.....15

รูป 2.2 หลักการทำงานของ Manometer.....16

รูป 2.3 Block Diagram แสดงวงจรภาคต่างๆของออปแอมป์.....17

รูป 2.4 สัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์.....18

รูป 2.5 วงจรภายในออปแอมป์ 741.....20

รูป 2.6 ลักษณะการทำงานของออปแอมป์.....21

รูป 2.7 ความสัมพันธ์ระว่างอินพุทและเอาท์พุทของออปแอมป์.....22

รูป 2.8 การปรับ Offset.....25

รูป 2.9 การตอบสนองความถี่ของออปแอมป์.....27

รูป 3.1 วงจร Noninverting Amplifier.....31

รูป 3.2 วงจร V to C อย่างง่าย.....33

รูป 3.3 การใช้ TR ช่วยขับกระแส.....34

รูป 3.4 วงจร V to C 36

รูป 3.5 Transfer curve ของ V to C 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.6 วงจร V to C แบบกราวด์โหลด.....41

รูป 3.7 การพิจารณาแบบ Superposition.....41

รูป 3.8 วงจร V to C แบบกราวด์โหลด.....42

รูป 3.9 a) OP-AMP ที่ใช้เป็น Comparator

b) Transfer Characteristic.....45

รูป 3.10 a) Comparator with positive trip point

b) Transfer Characteristic of a)

c) Comparator with negative trip point

d) Transfer Characteristic of c).....46

รูป 4.1 แผนผังการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณชนิดสองสาย.....48

รูป 4.2 วงจร Noninverting Amplifier ที่ใช้ในโครงงาน.....49

รูป 4.3 วงจร Voltage to Current Converter ที่ใช้ในโครงงาน.....50

รูป 4.4 วงจร Comparator ที่ใช้ในโครงงาน.....51

รูป 4.5 วงจรรวมของเครื่องส่ง.....52

รูป 5.1 กราฟของผลการทดลองระหว่างอินพุทและเอาท์พุทของวงจร

Noninverting Amplifier.....55

รูป 5.2 กราฟของผลการทดลองระหว่างอินพุทและเอาท์พุทของวงจร

Voltage to Current Converter.....57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันประเทศของเรามีการขยายตัวทางอุตสาหกรรมในอัตราที่รวดเร็วมากมีการตั้งโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นอย่างมากมายซึ่งการจะพัฒนาประเทศในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อรองรับการขยายตัวทางอุตสาหกรรมนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้บุคลากรในประเทศของเรา มีความรู้ มีความสามารถ ในการรับเทคโนโลยีจากต่างประเทศอยู่เสมอ เทคโนโลยีที่สำคัญอีกด้านหนึ่งในระบบอุตสาหกรรมก็คือ ระบบการวัดคุมอุปกรณ์ต่างๆที่มีมากมายในงานอุตสาหกรรม ในโรงงานนั้นโดยทั่วไปแล้วส่วนควบคุมกับส่วนทำงานจะแยกออกจากกันเป็นระยะทางที่ไกลพอสมควร จึงต้องมีระบบการส่งสัญญาณระหว่างส่วนควบคุมกับส่วนทำงานมาเชื่อมต่อ

ในปัจจุบันมีเครื่องมือที่ใช้ในการส่งสัญญาณ หรือที่เรียกว่า Transmission System ได้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง แต่เกือบทั้งหมดต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง เป็นการสูญเสียเงินตราต่างประเทศปีหนึ่งๆเป็นจำนวนมิใช่น้อย ทางภาควิชาและนักศึกษาจึงได้ร่วมมือกันพัฒนา Tranmission System ในการวัดทางอุตสาหกรรมขึ้นเองโดยใช้เทคโนโลยี วัสดุอุปกรณ์ ที่มีอยู่ทั่วไปในประเทศ ซึ่งจะมีราคาถูกกว่าและมีประสิทธิภาพไม่ด้อยไปกว่าของต่างประเทศ

สำหรับระบบ Two Wire Tranmission System ที่พัฒนาขึ้นมานี้นั้นจะมีหลักการคร่าวๆคือ ส่วนอินพุทจะรับสัญญาณจากอุปกรณ์ที่ใช้วัดข้อมูลหรือ Tranducer นำไปขยายให้มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยวงจร Noninverting Amplifier จากนั้นจะนำไปผ่านวงจร Voltage To Current Converter เพื่อแปลงสัญญาณโวลเตจให้เป็นสัญญาณกระแสจากนั้นผ่านสัญญาณที่ได้เข้าไปใน Tranmission Line โดยที่ปลายทางจะมีมิเตอร์เป็นตัวอ่านค่าสัญญาณที่วัดได้ นอกจากนี้ยังมีวงจร Comparator คอยตรวจวัดระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดับสัญญาณที่ออกมาจากภาคขยายด้วยซึ่งส่วนนี้สามารถนำไปใช้ในการแจ้งเตือนหรือตั้งค่าต่างๆได้ เช่น นำไปต่อกับกริ่งไฟฟ้าหรือสวิทช์ เป็นต้น

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาวิจัยการทำงานของ Tranmision System ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม

2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนา Tranmission System ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมขึ้นใช้เองในประเทศ

1.2 ขอบเขตของโครงงาน

1. วัดสัญญาณโวลเตจในช่วง 4-20 mV
2. การส่งสัญญาณจะใช้เทคนิคแปลงโวลเตจเป็นกระแสไฟฟ้า
3. มีตัวตรวจวัดระดับสัญญาณที่แจ้งเตือนและควบคุมได้
4. มีภาคแสดงผลในตัวอุปกรณ์

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เป็นการพัฒนาเครื่องมือวัดคุมทางอุตสาหกรรมขึ้นใช้เองภายในประเทศ
2. เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นในประเทศ เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในการรับเทคโนโลยีใหม่ๆหรือพัฒนาให้ก้าวหน้ามากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การวัดทางอุตสาหกรรมและทฤษฎีพื้นฐานของออปแอมป์

2.1 การวัดทางอุตสาหกรรม

การวัดค่าต่างๆในงานอุตสาหกรรมนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 4 ข้อใหญ่ๆคือ

1. การวัดอุณหภูมิ
2. การวัดความดัน
3. การวัดระดับ
4. การวัดอัตราการไหล

การวัดค่าต่างๆเหล่านี้สามารถวัดได้จากอุปกรณ์ Tranducer แบบต่างๆเพื่อเปลี่ยนค่าที่วัดได้ให้เป็นค่าสัญญาณที่เหมาะสมในการประมวลผลเพื่ออ่านค่าต่อไป

2.1.1 การวัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นหน่วยมูลฐานสำคัญและใช้มากที่สุดค่าหนึ่งในงานอุตสาหกรรม หน่วยของอุณหภูมิที่ใช้กันมากคือ เซลเซียส (Celcius) , เคลวิน (Kelvin) , ฟาเรนไฮน์ (FAhrenheit) สำหรับ Tranducer ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิมีอยู่หลายรูปแบบเช่น

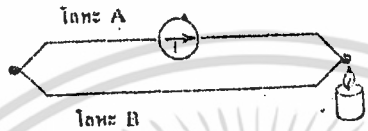
-Thermocouple ใช้หลักการที่ว่าเมื่อโลหะ 2 ชนิด นำปลายของแต่ละชนิดมาต่อกัน เมื่อมีอุณหภูมิแตกต่างระหว่างปลายทั้งสองข้างจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น

-RTD หรือ Resistance Temperature Detector อาศัยหลักการที่ว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปค่าความต้านทานของลวดโลหะก็จะเปลี่ยนไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Thermistor เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเหมือน RTD แต่ Thermister จะทำจากคาร์บอนและสารกึ่งตัวนำแทนที่จะเป็นโลหะ

นอกจากนี้แล้วยังมีอุปกรณ์แบบอื่นๆอีกหลายแบบ



รูป 2.1 หลักการของ Thermocouple

2.1.2 การวัดความดัน

ความดันเป็นตัวแปรที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง มีอุปกรณ์การวัดเช่น

-มาโนมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดความดันโดยวิธีตรงและเป็นเครื่องมือวัดความดันชนิดแรกทำงานโดยอาศัยหลักการของความสมดุลย์ของแรงโน้มถ่วง

-เบลโลว์ จะเปลี่ยนความดันเป็นการเคลื่อนที่ของเครื่องมือวัด

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์แบบต่างๆอีก เช่น เกจ แบบต่างๆ เป็นต้น

2.1.3 การวัดระดับ

วิธีการวัดระดับแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

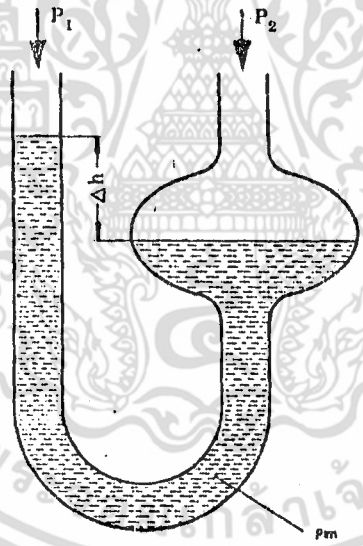
-การวัดโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-การวัดโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์เข้าช่วย เช่น หลักการของแรงและความดัน , หลักการทางไฟฟ้า , หลักการเดินทางของเสียง , หลักการแผ่รังสีและการดูดกลืนพลังงานของสาร เป็นต้น

2.1.4 การวัดอัตราการไหล

การวัดอัตราการไหลส่วนใหญ่จะไม่ใช่การวัดโดยตรง แต่จะวัดจากค่าตัวแปร (Parameter) อื่นๆ เช่น ความเร็วในการไหล เป็นต้น



$$\Delta P = P_1 P_2 - \Delta h \cdot \rho m \cdot g$$

รูป 2.2 หลักการทำงานของ Manometer

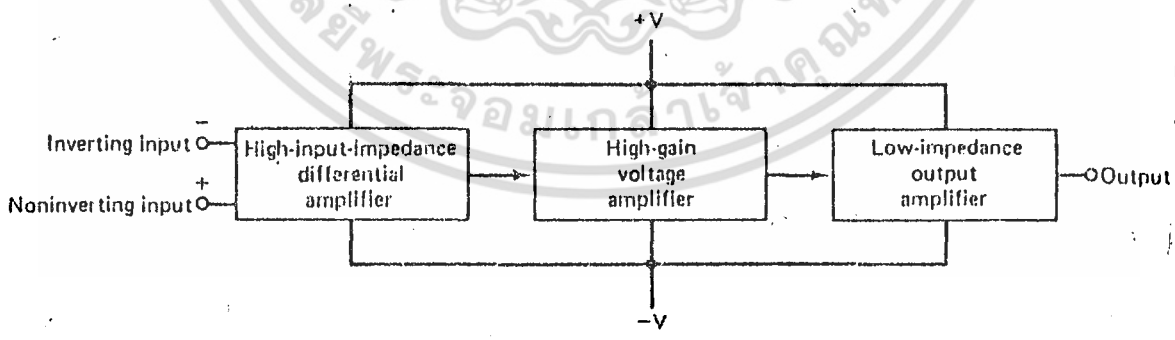
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติของออปแอมป์

ออปแอมป์ คือ อุปกรณ์ชนิดหนึ่งซึ่งถูกออกแบบมาให้หามารถทำงานได้หลายรูปแบบ และยังเน้นความสะดวกในการนำไปใช้งานอีกด้วย โดยสามารถประกอบเป็นวงจรได้โดยการต่อร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัวเท่านั้น ในอดีตออมแอมป์จะประกอบขึ้นจากอุปกรณ์หลายตัวที่ถูกนำมาบรรจุไว้ในภาชนะชิ้นเดียวกัน ซึ่งนอกจากจะทำให้ออปแอมป์มีขนาดใหญ่แล้ว ยังอาจมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำด้วย แต่ปัจจุบัน เราสามารถซื้อออมแอมป์ในรูปแบบของวงจรรวม (IC) ได้ตามท้องตลาด และจากคุณสมบัติ IC ออปแอมป์ที่ได้พัฒนาขึ้นทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย

2.2.1 คุณสมบัติทั่วไป

โดยทั่วไปแล้ว เราสามารถกล่าวได้ว่า ไอซีออปแอมป์ คือ อุปกรณ์โซลิดเสตท (Solid State) ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถตรวจวัดระดับสัญญาณไฟตรง และ ไฟสลับได้ และ



รูป 2.3 แผนผังวงจรภาคต่างๆของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังสามารถจำไปใช้ขยายสัญญาณได้อีกด้วย ไอซีออปแอมป์พื้นฐานจะต้องประกอบด้วยวงจรภายในภาคต่างๆ ดังนี้ คือ:

1. ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ หรือ วงจรขยายผลต่าง (Differential Amplifier) ที่มีอินพุทอิมพิแดนซ์สูงมาก

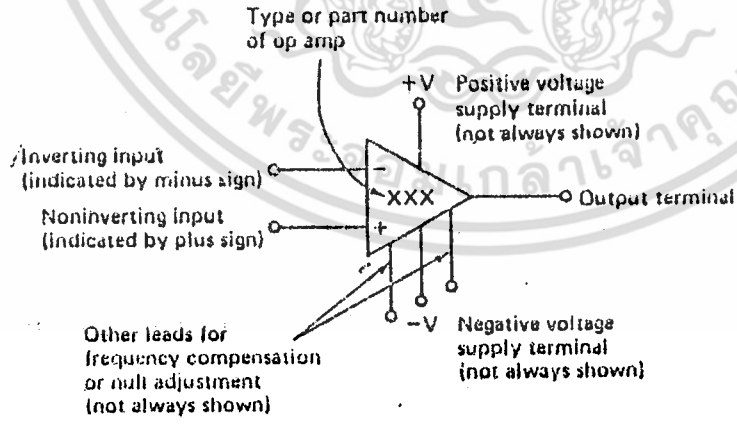
2. วงจรขยายแรงดันซึ่งมีอัตราขยายสูงมาก

3. วงจรขยายภาคเอาท์พุทที่มี เอาท์พุทอิมพิแดนซ์ต่ำมาก

รูป 2.3 แสดงบล็อคไดอะแกรมของวงจรภายในภาคต่างๆ ของออปแอมป์ดังกล่าว และจากรูปจะสังเกตุว่า แรงดันไฟตรงที่จ่ายให้แก่ออปแอมป์มักประกอบด้วยไฟบวกและลบ เพื่อให้เอาท์พุทสามารถสวิงได้ทั้งซีกบวกและลบเทียบกับกราวด์

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่กล่าวมา ทำให้เราสามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญบางประการของออปแอมป์ในอุดมคติ ดังนี้

1. เนื่องจากอินพุทอิมพิแดนซ์ของออปแอมป์มีค่าสูงเป็นอนันต์ กระแสเข้าที่อินพุทจะต่ำจนเกือบเท่าศูนย์ หรืออีกนัยหนึ่ง ไม่มีกระแสอินพุทเข้าสู่ออปแอมป์เลย



รูป 2.4 สัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราขยายขณะเปิดลูป A (ขณะที่ยังไม่มีการป้อนกลับ) จะมีค่าสูงมาก ซึ่งหมายความว่า แรงดันระหว่างขั้วอินพุทควรมีค่าใกล้ศูนย์ (เนื่องจาก $\frac{V_{out}}{A} = V_{in}$)

3. เอาท์พุทอิมพิแดนซ์มีค่าต่ำมากจนไม่ทำตัวเป็นโหลดต่อภาคเอาท์พุทของวงจรขยาย

รูป 2.4 แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์ ซึ่งประกอบด้วยขั้วอินพุท 2 ขั้ว ขั้วสำหรับแหล่งจ่ายไฟ 2 ขั้วเอาท์พุท 1 ขั้ว แขั้วสำหรับปรับออฟเซ็ท หรือการชดเชยความถี่อีก 2 ขั้ว

ขั้วอินพุททั้งสองของออปแอมป์มีลักษณะต่างกันดังนี้ คือ สำหรับขั้วลบ เมื่อป้อนไฟตรงหรือไฟสับเข้าไป ในขณะที่ขั้วบวกต่อกับจุดอ้างอิงจุดหนึ่ง สัญญาณที่ออกมาที่เอาท์พุทจะกลับเฟสกับบอินพุท 180° ส่วนการป้อนสัญญาณที่ขั้วบวก เอาท์พุทจะมีเฟสตรงกับอินพุท ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเครื่องหมายที่อันพุท คือ การแสดงเฟสของเอาท์พุทเทียบกับอินพุท ส่วนขั้วสำหรับปรับออฟเซ็ท หรือชดเชยความถี่นั้นโดยมากมักจะไม่ถูกแสดง ในวงจรทั่วไป

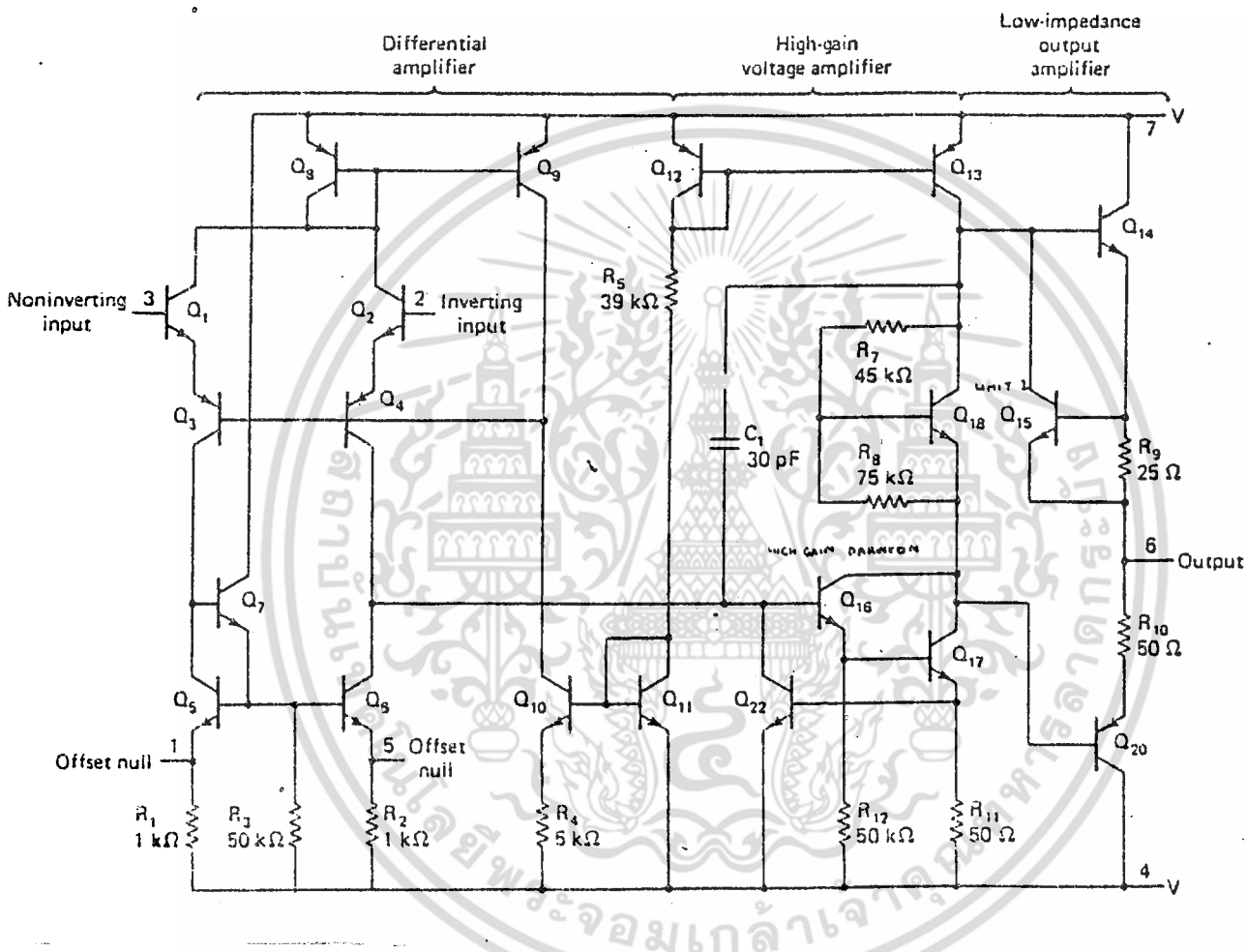
ในการนำออปแอมป์ไปใช้งานจริงนั้น เราอาจไม่จำเป็นต้องศึกษาให้ลึกซึ้งถึงวงจรภายใน แต่อย่างไรก็ตาม ในรูป 2.5 จะแสดงวงจรภายในของออปแอมป์เบอร์ 741 ซึ่งผู้สนใจสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมจากสเป็ค หรือ รายละเอียดของผู้ผลิต

จากวงจรในรูป 2.5 พบว่า ไอซีออปแอมป์จะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์หลายตัว และมีตัวเก็บประจุน้อยมาก โดยมีเหตุผลที่ว่า ตัวเก็บประจุจะกันเนื้อที่ค่อนข้างมาก และยังกันไม่ให้สัญญาณไฟตรงผ่านได้อีกด้วย แต่ตัวเก็บประจุ 30 pF ที่ต่อไว้ในวงจรนั้น มีหน้าที่ในการช่วยชดเชยความถี่เท่านั้น ซึ่งเราจะได้ศึกษาในบทต่อไป

หากนำวงจรในรูป 2.5 มาเปรียบเทียบกับรูป 2.3 จะสามารถแยกวงจรออกเป็น 3 ภาค ได้เช่นกัน โดยมีทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ทำหน้าที่เป็นดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ ทรานซิสเตอร์ Q_{16},Q_{17} ซึ่งถูกต่อแบบดาร์ลิงตันทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแรงดันที่มีอัตราขยายสูงมาก ส่วนภาคเอาท์พุทจะประกอบด้วย Q_{14} และ Q_{20} ทรานซิสเตอร์ Q_{15} นั้นมีไว้สำหรับจำกัดกระแสและป้องกันออปแอมป์เสียหาย เมื่อเอา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่พุทถูกลัดวงจร ส่วนอุปกรณ์ตัวอื่นๆจะมีหน้าที่ในการจัดไบอัส และช่วยในการขยายสัญญาณสำหรับออบแอมป์

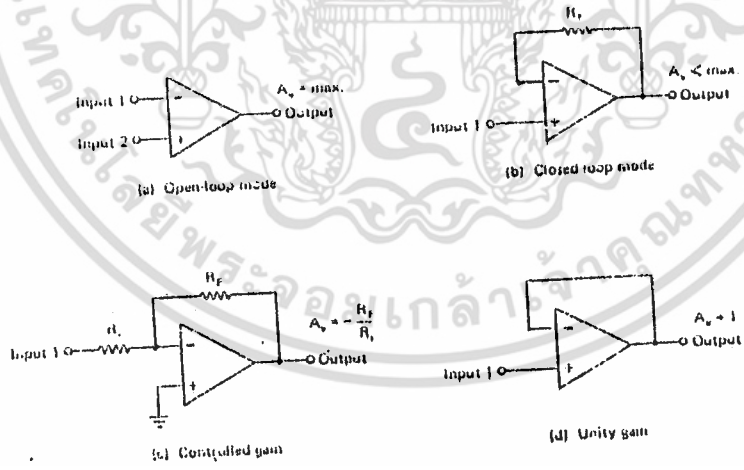


รูป 2.5 วงจรภายในออปแอมป์เบอร์ 741

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ลักษณะการทำงาน

ออบแอมป์ในอุดมคติจะมีอัตราขยายเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติ อัตราขยายอาจมีค่าสูงสุดเพียง 10000 หรือ 1000000 เท่านั้น ซึ่งเรียกว่า อัตราขยายขณะเปิดลูป (Av) ดังรูป 2.6 ก ในขณะที่เกิดความแตกต่างของแรงดันเพียงเล็กน้อยระหว่างขั้วอินพุททั้งสอง เอาท์พุทจะสามารถให้สัญญาณสูงขึ้นหลายเท่า (ตามค่าของอัตราขยาย Av) หากแต่จะถูกจำกัดด้วยขนาดของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่เราป้อนให้แก่ออปแอมป์ด้วย แต่ถึงเช่นนั้นก็ดี เอาท์พุทก็จะไม่สามารถมีค่าสูงสุดเท่ากับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงได้จริง ทั้งนี้เกิดจากแรงดันที่ตกคร่อม Q_{14}, R_9 หรือ R_{10}, Q_{20} ในรูป 2.5 ทำให้แรงดันเอาท์พุทสูงสุดอาจมีค่าประมาณ 90% ของแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเท่านั้น



รูป 2.6 ลักษณะการทำงานของออปแอมป์

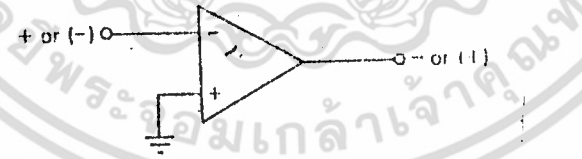
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติข้างต้น เราสามารถนำออปแอมป์ในขณะเปิดลูปไปใช้งานเป็นคอมพาราเตอร์ (COMPARATOR) หรือวงจรเปรียบเทียบแรงดันได้ โดยเอาท์พุทจะเปลี่ยนทันทีเมื่อมีความแตกต่างของแรงดันเกิดขึ้นระหว่างขั้วอินพุทของออปแอมป์

แต่ทว่า การทำงานของออปแอมป์ยังไม่สิ้นสุดเพียงเท่านั้น นอกจากนี้ จะพบว่าการใช้ออปแอมป์ในลักษณะของลูปปิด (มีการป้อนกลับ) จะทำให้ออปแอมป์มีประโยชน์สูงมากขึ้น ดังรูป 2.6 b การป้อนกลับในรูปใช้ตัวต้านทาน Rf เพียงตัวเดียว ซึ่งมีผลให้วงจรมีเสถียรภาพสูงมากขึ้น และมีสัญญาณกวนน้อยลง ในขณะเดียวกัน อัตราขยายแรงดันจะ 'ลดลง' ด้วย

วงจรในรูป 2.6 c แสดงการใช้ออปแอมป์โดยมีการป้อนสัญญาณเอาท์พุทกลับมายังอินพุท นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมอัตราขยายแรงดัน (ในขณะปิดลูป) ได้โดยอาศัยตัวต้านทาน 2 ตัวเท่านั้นทำให้อัตราขยายแรงดัน A_v มีค่าดังสมการ :

$$A_v = -\frac{R_f}{R_1}$$



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทและเอาท์พุท

โดยที่เครื่องหมายลบแสดงถึงการกลับเฟสของเอาท์พุทเทียบกับอินพุท ส่วนวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6d แสดงการป้อนกลับในกรณีที่ $A_v = 1$ คุณสมบัติที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ คือ คุณสมบัติทั่วไปของออปแอมป์ที่จะนำไปใช้ในบทต่อๆ ไป และนอกจากนี้ คุณสมบัติอีกประการหนึ่งที่ควรศึกษาคือ เรื่องความสัมพันธ์ของขั้วต่างๆ ระหว่างอินพุทและเอาท์พุทของออปแอมป์ ซึ่งสรุปไว้แล้วในรูป 2.7 คือ

1. ถ้าขั้วลบมีศักดาเป็นบวกสูงกว่าขั้วบวก เอาท์พุทเป็นลบ
2. ถ้าขั้วลบมีศักดาเป็นบวกต่ำกว่าขั้วบวก เอาท์พุทเป็นบวก

2.2.3 คุณสมบัติและพารามิเตอร์บางชนิดของออปแอมป์

1. อินพุทอิมพิแดนซ์

ในทางอุดมคติควรมีค่าเท่ากับอนันต์ แต่ในความเป็นจริง อินพุทอิมพิแดนซ์จะมีค่าประมาณ 1 เมกกะโอห์ม (1×10^6 โอห์ม) ค่าอินพุทอิมพิแดนซ์นี้ยิ่งมีค่ามากขึ้นเท่าใด ออปแอมป์ตัวนั้นจะทำงานได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ เมื่อนำออปแอมป์ไปใช้งานในย่านความถี่สูง ควรระวังผลจากอินพุทคาปาซีแตนซ์ของวงจรด้วย ซึ่งมักมีค่าประมาณ 2 พิโคฟารัด (2×10^{-12} ฟารัด) เมื่อขั้วอินพุทขั้วหนึ่งต่อกับกราวด์

2. เอาพุทอิมพิแดนซ์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ออปแอมป์ในอุดมคติจะมีเอาท์พุทอิมพิแดนซ์เป็นศูนย์ แต่ในความเป็นจริง ค่านี้อาจมีได้ตั้งแต่ 25 ถึงหลายพันโอห์มขึ้นไป แต่อย่างไรก็ตาม เรามักสมมุติให้เอาท์พุทอิมพิแดนซ์ในวงจรมีค่าเป็นศูนย์ เพื่อง่ายต่อการคำนวณ และวิเคราะห์

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่มีอินพุทอิมพิแดนซ์สูง และมีเอาท์พุทอินพิแดนซ์ต่ำ ออปแอมป์จึงเปรียบเสมือนเป็นอุปกรณ์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอิมพิแดนซ์แมทชิ่ง (Impedance Matching) ที่ดีตัวหนึ่ง

3. กระแสไบอัสด้านอินพุท

เนื่องจากอินพุทอิมพิแดนซ์ของออปแอมป์ไม่เป็นอนันต์ ดังนั้น จึงมีกระแสค่าน้อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(มีหน่วยเป็น นาโน (10^{-9}) ถึง ไมโคร (10^{-6}) แอมแปร์) ไหลผ่านขั้วอินพุททั้งสอง ซึ่งค่าเฉลี่ยของกระแสดังกล่าวถูกเรียกว่าเป็น 'กระแสไบอัสด้านอินพุท' กระแสจะก่อให้เกิดความไม่สมดุลในวงจรภายใน ซึ่งจะเป็นผลกระทบต่อภาคเอาท์พุทด้วย ดังนั้น กระแสนี้ควรถูกกำจัดให้มีค่าต่ำสุด (อาจทำได้โดยการใช้ออปแอมป์ที่มีอินพุทเป็น FET)

4. แรงดันออฟเซ็ท (Offset) ที่เอาท์พุท

แรงดันออฟเซ็ทที่เอาท์พุทเกิดขึ้นจากกระแสไบอัสด้านอินพุท ซึ่งในทางอุดมคติเมื่อแรงดันอินพุทระหว่างขั้วทั้งสองมีค่าเท่ากัน แรงดันที่เอาท์พุทควรเป็นศูนย์ แต่โดยทั่วไปมักไม่เป็นเช่นนั้น คือ มักมีแรงค่าหนึ่งปรากฏที่เอาท์พุทขณะที่อินพุทเป็นศูนย์ ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้โดย การป้อนแรงดัน หรือ กระแสออฟเซ็ทที่อินพุท แล้วปรับจนได้ V_{out} = 0 โวลท์

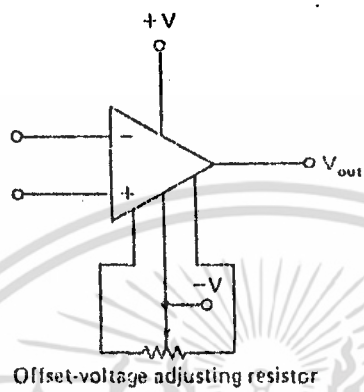
5. กระแสออฟเซ็ทที่อินพุท

ในการปรับแรงดันออฟเซ็ทที่เอาท์พุทให้มีค่าเป็นศูนย์ กระแสอินพุททั้งสองขั้วควรมีค่าเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติ จะพบว่า เราต้องจ่ายกระแสให้แก่อินพุทขั้วหนึ่งมากกว่าอีกขั้วหนึ่งเสมอ เพื่อทำให้แรงดันเอาท์พุทมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งกระแสออฟเซ็ทนี้อาจมีค่าประมาณ 20 มิลลิแอมป์

6. แรงดันออฟเซ็ทที่อินพุท

ในอุดมคติ แรงดันเอาท์พุทจะเท่ากับศูนย์ก็ต่อเมื่อแรงดันระหว่างขั้วอินพุทมีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน แต่ในทางปฏิบัติ ความไม่สมดุลภายในวงจรมักทำให้เราต้องป้อนแรงดันค่าหนึ่งแก่อินพุทใดๆเสมอ เพื่อทำให้แรงดันเอาท์พุทเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ลาดกระบัง กทม. 10520

รูป 2.8 การปรับออฟเซ็ท

7. การปรับออฟเซ็ทให้เป็นศูนย์ (Offset Nulling)

ในการปรับแรงดันเอาท์พุทให้เป็นศูนย์ หรือ การปรับแรงดันออฟเซ็ทที่อินพุทให้เป็นศูนย์นั้น เราอาจใช้ขั้ว Offset Nulling ที่ผู้ผลิตได้เตรียมไว้ให้แล้ว โดยให้ศึกษาข้อมูลรายละเอียดของออปแอมป์เบอร์นั้นๆ รูป 2.8 แสดงวงจรที่ใช้ในการตั้งค่าศูนย์ให้แก่ออปแอมป์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบวงจรให้เรียบร้อยและเช็คอุปกรณ์ที่ต้องนำมาต่อ

2. ลดระดับสัญญาณอินพุทจนเหลือศูนย์ ถ้ามีตัวต้านทานต่ออนุกรมกับอินพุทอยู่ ให้ตรวจสอบดังนี้

ก) ถ้าตัวต้านทานนั้นมีค่าสูงกว่าอิมพิแดนซ์ของแหล่งกำเนิดสัญญาณอินพุทตั้งแต่ 1% ขึ้นไป ปล่อยตัวต้านทานไว้เช่นเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) หากตัวต้านทานดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากัน ให้นำแหล่งกำเนิดสัญญาณอินพุทนั้นออก แล้วต่อตัวต้านทานที่มีขนาดเท่ากับอินพุทอิมพิแดนซ์ของแหล่งกำเนิดอินพุทเข้าแทน

ค) ต่อโหลดเข้ายังขั้วเอาท์พุท

ง) ป้อนไฟตรงให้วงจร

จ) วัดแรงดันที่เอาท์พุทด้วย โวลท์มิเตอร์ หรือ ออสซิลโลสโคป (แรงดันเอาท์พุทอาจมีค่าต่ำเพียงไม่กี่มิลลิโวลต์ ดังนั้น ควรใช้อุปกรณ์สำหรับวัดที่เหมาะสม)

ฉ) ปรับตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้จน V_{out} มีค่าเป็นศูนย์

ช) ถอดอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้าไป แล้วต่อวงจรดังเดิม แต่ห้ามแตะต้องตัวต้านทานปรับค่าได้

8. ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่ออุปกรณ์โซลิดสเตททุกชนิด รวมทั้งออปแอมป์ ดังนั้น ผลกระทบจากอุณหภูมิจะทำให้กระแสและแรงดันออฟเซ็ทเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเราเรียกการเปลี่ยนแปลงอันเกิดขึ้นจากอุณหภูมิว่า 'ดริฟท์' ดังนั้น ในขณะทำงาน ควรตรวจสอบด้วยว่าออปแอมป์จะมีเปอร์เซนต์การผิดพลาดมากน้อยเพียงใด หากอุณหภูมิเปลี่ยนไป

9. การชดเชยความถี่

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับออปแอมป์ที่ใช้ในย่านความถี่สูงก็คือ การออสซิลเลท (Oscillation) ซึ่งเกิดจากอัตราขยายที่มีค่าค่อนข้างสูงของออมแอมป์เอง และยังเกิดจากการเลื่อนเฟส (Phase Shift) ณ จุดต่างๆ ภายในวงจร เป็นผลให้เราไม่สามารถควบคุมอัตราขยายของออปแอมป์มีขนาดลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น

10. อัตราสลูว์ (Slew Rate)

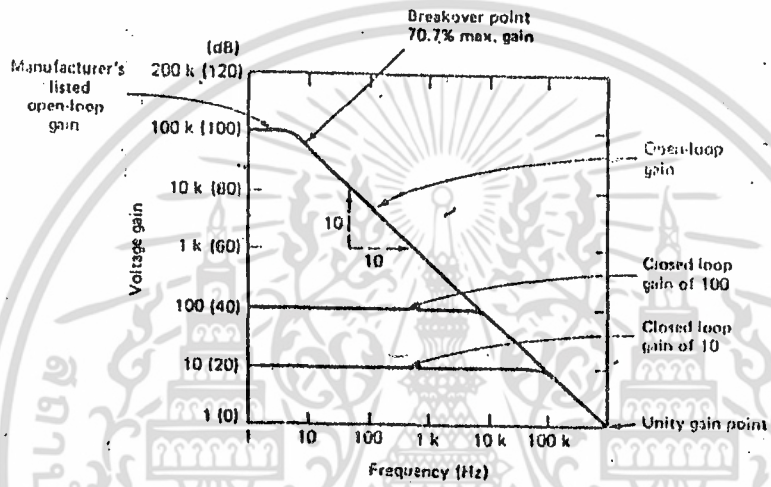
อัตราสลูว์ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาท์พุทเทียบกับเวลา ดังสมการ

$$\text{อัตราสลูว์} = \frac{\text{การเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาท์พุท}}{\text{การเปลี่ยนแปลงเวลา}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\Delta V_{out}(max)}{\Delta t}$$

11. การตอบสนองต่อความถี่



รูปที่ 2.9 การตอบสนองความถี่ของออปแอมป์

อัตราขยายของออปแอมป์จะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น ดังแสดงในรูป 2.9 จะพบว่า อัตราขยายที่ผู้ผลิตแสดงไว้ในดาต้าชีท (Data Sheet) จะเป็นอัตราขยายที่ความถี่ 0 เฮิรท์ซ หรือไฟตรง (ซึ่งแสดงให้เห็นความถี่สูงสุดของออปแอมป์) ในการทำงานแบบลูปเปิด จะเห็นได้ว่า วงจรมีเสถียรภาพต่ำมาก นั่นคือ เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นสิบเท่า อัตราขยายจะลดลง 10 เท่าทันที

โดยทั่วไป แบนด์วิดธ์ของวงจรจะหมายถึงช่วงความถี่ที่อัตราขยายมีค่า 70.7% ของอัตราขยายสูงสุด จากตัวอย่างในรูป แบนด์วิดธ์ของออปแอมป์ขณะเปิดลูป จะมีค่าประ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาณ 10 เฮิรท์ซ ดังนั้น หากต้องการให้วงจรที่ออกแบบขึ้นสามารถทำงานได้ที่ความถี่อินพุทสูงๆ จะต้องเป็นสัญญาณจากเอาท์พุทกลับมายังอินพุท (การป้อนกลับแบบลบ) ซึ่งจะทำให้อัตราขยายของลูปปิดลดลง แต่ในขณะเดียวกัน ความถี่ที่อัตราขยายเท่ากับ 70.7% ของอัตราขยายสูงสุดก็จะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเท่ากัน ส่วนจุดที่มีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (Unity-Gain Point) จะแสดงความถี่สูงสุดของออปแอมป์เมื่ออัตราขยายมีค่าเป็นหนึ่ง

12. ผลคูณของอัตราขยายและแบนด์วิดธ์

จากที่ได้อธิบายมาในหัวข้อที่แล้วว่า เมื่ออัตราขยายลดลงเท่าใด ความถี่ก็จะสูงขึ้นด้วยจำนวนเท่าของค่านั้นด้วย ซึ่งแสดงว่า ผลคูณระหว่างอัตราขยายและแบนด์วิดธ์จะมีค่าคงที่เสมอไป และเราสามารถหาค่านั้นได้จากจุดซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (ค่านี้จะหาได้จากดาต้าชีท) ผลคูณนี้มีประโยชน์อย่างมากในการประมาณความถี่สูงสุดที่วงจรสามารถทำงานได้ ตัวอย่างเช่น หากเราพบว่าความถี่ที่อัตราขยายมีค่าเท่ากับหนึ่ง มีค่าเป็น 1 เมกกะเฮิรท์ซ (ดังแสดงในรูป 2.9) และอัตราขยายของวงจรที่ออกแบบมีค่าเท่ากับ 100 ดังนั้น ความถี่สูงสุดที่เราประมาณไว้ควรมีค่าอยู่ในราว

$$BW\ (\text{แบนด์วิดธ์}) = \frac{1,000,000}{100} = 10\ \text{กิโลเฮิรท์ซ}$$

13. อัตราการลดสัญญาณชนิดคอมมอนโหมด (CMRR)

Common-Mode Rejection Ratio เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของออปแอมป์ที่ได้มาจากภาคอินพุทที่เป็นดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ หมายความว่า หากสัญญาณที่เข้ามายังขั้วอินพุททั้งสองมีเฟสตรงกัน และยังมีขนาดเท่ากัน (สัญญาณแบบนี้เรียกว่าอยู่ในคอมมอนโหมด) สัญญาณทั้งสองนี้จะถูกกำจัดทิ้งไป ดังนั้น เอาท์พุทจะเป็นศูนย์ ส่วนสัญญาณที่มีขนาดต่างกันและมีเฟสต่างกันจะเรียกว่าอยู่ในดิฟเฟอเรนเชียลโหมด

14. หน่วยเดซิเบล (dB)

การคำนวณอัตราขยายของวงจรใดๆสามารถหาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_v = \frac{X_{out}}{X_{in}}$$

โดยที่ X อาจเป็นแรงดัน หรือ กระแสก็ได้ และโดยทั่วไปนิยมหาอัตราขยายจากสมการ

$$dB = 20 \log A_v$$

ค่าใช้งานต่างๆที่ควรเข้าใจ

การนำไอซีออปแอมป์ไปใช้งาน ผู้ใช้ควรศึกษาดาต้าชีทของบริษัทผู้ผลิตให้ละเอียดเสียก่อนเพื่อป้องกันออปแอมป์ชำรุดหรือเสียหาย ค่าต่างๆที่ควรรู้ได้แก่

ก) แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง $\pm$ V (Supply Voltage)

ข) กำลังที่สูญเสียในตัวไอซี (Power Dissipation) ซึ่งแสดงกำลังสูงสุดที่ที่อุปกรณ์สามารถปลดปล่อยออกมาโดยที่อุณหภูมิไม่สูงจนทำให้ไอซีพัง

ค) แรงดันสูงสุดระหว่างขั้วอินพุท (Differrential Input Voltage)

ง) ความสามารถในการทนภาวะลัดวงจรที่เอาท์พุท (Output Short-circuit Duration)

จ) อุณหภูมิที่ใช้งาน (Operating Temperature)

ฉ) อุณหภูมิที่ใช้เก็บอุปกรณ์ (Storage-Temperature)

ช) อุณหภูมิของขาอุปกรณ์ (Lead Temperature) แสดงอุณหภูมิที่ไอซีสามารถทนได้ในขณะถูกบัดกรี

ฌ) แรงดันสูงสุดที่อินพุทแต่ละขั้ว (Input Voltage)

ชนิดของออปแอมป์และภาชนะรูปแบบต่างๆ

ออปแอมป์ได้ถูกค้นพบขึ้นเป็นเวลานานพอสมควรแล้ว แต่ทว่า การนำออปแอมป์ใน

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามมิให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของไอซี ซึ่งสามารถใช้งานได้ดีนั้นเพิ่งจะเริ่มต้นในปี ค.ศ. 1963 เท่านั้น นำโดยการเสนอออปแอมป์เบอร์ ไมโครA 702 ของบริษัท Fairchild Semiconductor จนกระทั่งปัจจุบัน ออปแอมป์ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาจนมีความสามารถสูงกว่าเดิมมาก แต่อย่างไรก็ตาม เรายังแบ่งชนิดของออปแอมป์ได้เป็นกลุ่มตระกูล ดังตาราง 2.1

กลุ่ม	ลักษณะการใช้งาน	คุณสมบัติพิเศษ
1	ใช้กับงานทั่วไป	ใช้งานได้ในช่วงความถี่ DC จนถึง 1MHz
2	ใช้กับสัญญาณ DC ได้ดี	มีค่าอินพุทอิมพิแดนซ์สูง ทำให้กระแสไบอัสต่ำ
3	ใช้กับสัญญาณ AC ได้ดี	มีแบนวิดธ์กว้างและอัตราสลูว์มีค่าสูง
4	ใช้กับแรงดันสูงและวงจรที่ต้องใช้กำลังมาก	สามารถใช้บังโหลดได้โดยตรง
5	ชนิดที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว	เช่น ออปแอมป์ชนิดที่สามารถโปรแกมได้เป็นต้น

ตาราง 2.1 กลุ่มของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

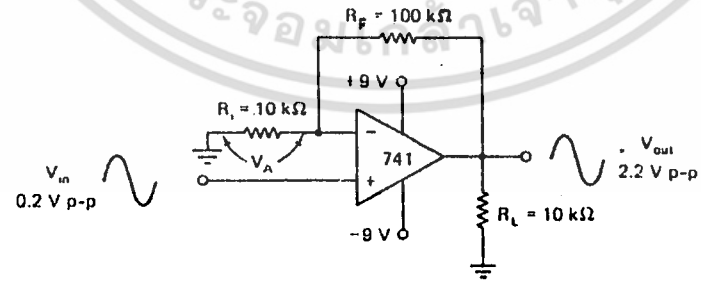
ทฤษฎีของวงจรที่ใช้ในโครงงาน

3.1 วงจรขยายไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)

วงจรขยายไม่กลับเฟสหรือนอนอินเวอร์ติ้งแอมปิไฟเออร์จะแตกต่างจากอินเวอร์ติ้งแอมป์ ในแง่ของอัตราขยายและเฟสของเอาท์พุท แต่อย่างไรก็ตามอัตราขยายแรงดันของวงจรก็ยังถูกควบคุมจากอุปกรณ์ภายนอกเช่นเดิม โดยเราจะวิเคราะห์วงจรเพื่อหาค่าขยายสำหรับวงจรนี้

รูปที่ 3.1 แรงดันอินพุทจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วบวก (ในขณะที่สัญญาณอินพุทในวงจรชนิดอินเวอร์ติ้งจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วลบ) และมีแรงดัน V_A ซึ่งเกิดจากการแบ่งแรงดันเอาท์พุทตกคร่อมความต้านทาน R_1 จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่ว่า ศักดาที่ขั้วอินพุทลบจะถูกบังคับให้มีขนาดเข้าใกล้ศักดาที่อินพุทบวกเสมอ จะได้ว่า

$$V_{in} = V_A$$



$$A_v = \frac{R_F}{R_1} + 1 \quad \therefore \quad V_{out} = \left(\frac{R_F}{R_1} + 1\right) V_{in}$$

รูปที่ 3.1 การต่อวงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ติ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเราสามารถเขียนค่าขยายแรงดัน A_v ได้เท่ากับ

$$A_v = V_{out}/V_A$$

และเนื่องจาก V_A เกิดจากการแบ่งแรงดันของ V_{out} จะได้

$$V_A = [R_{in}/(R_F + R_{in})] V_{out}$$

จัดสมการใหม่จะได้

$$V_{out}/V_A = (R_F + R_{in})/ R_{in}$$

หรือ $$A_v = V_{out}/V_A = R_F/R_{in} + 1$$

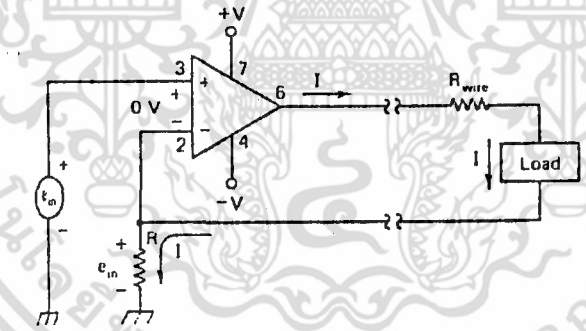
นั่นคือ $$V_{out} = [(R_F/R_{in}) + 1] V_{in}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 Voltage to Current Converter

การแสดงผลในรูปของสัญญาณ Voltage มีปัญหาต่าง ๆ มากมาย ความต้านทานที่อนุกรมอยู่ระหว่างสัญญาณที่เอาท์พุท กับ โหลด จะขึ้นอยู่กับระยะทาง,สายที่ใช้,อุณหภูมิ และการเชื่อมต่อกันของจุดต่าง ๆ การสูญหายของสัญญาณไปเพียงไม่กี่มิลลิโวลต์ระหว่างความต้านทานที่อนุกรมอยู่นี้ ถือได้ว่ามีผลทำให้ความถูกต้องของการวัดมีเปอร์เซ็นผิดพลาด

การส่งสัญญาณเป็นกระแสไฟฟ้า เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาสัญญาณสูญหายโดยเฉพาะเอาท์พุทที่อนุกรมอยู่กับโหลด การแปลงสัญญาณจากโวลเตจให้เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า แล้วส่งสัญญาณกระแสไฟฟ้าไปที่โหลด โหลดจะรับสัญญาณได้ทั้งหมด จะไม่มีการสูญเสียจากความต้านทานของสายส่ง หรือ จุดเชื่อมต่อที่ไม่สมบูรณ์



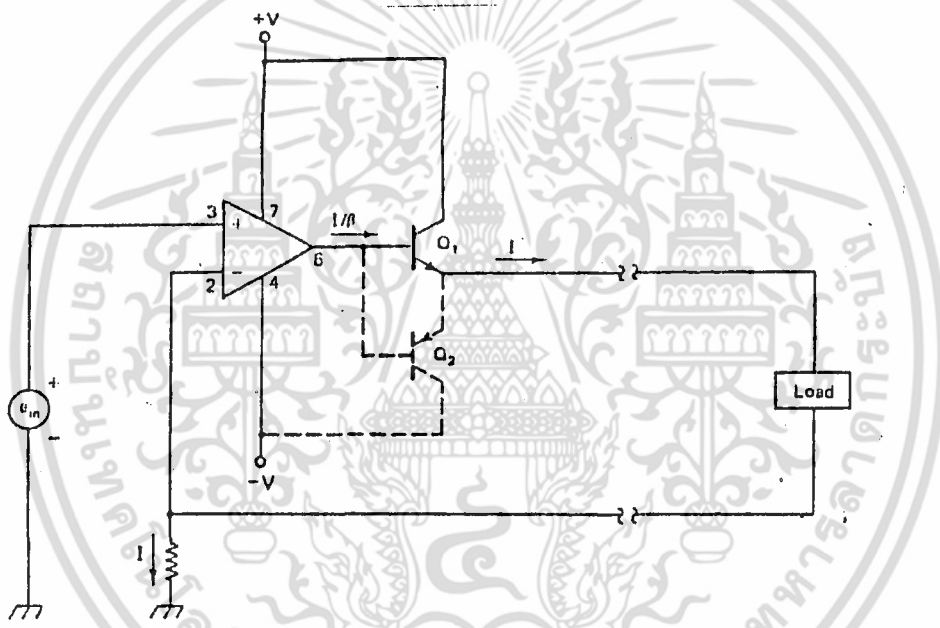
รูปที่ 3.2 วงจร V to C เบื้องต้น

รูปแบบของการแปลง Voltage ให้เป็น Current นั้น จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของโหลดว่าต่อกับกราวด์หรืออยู่เหนือกราวด์ ถ้าเป็นไปได้ควรจะใช้วิธี Floating Load เพราะสามารถใช้ค่า CMRR ที่ตัวรับในการลดสัญญาณรบกวนได้ อย่างไรก็ตามการต่อแบบกราวด์โหลดก็มีข้อดีคือ วงจรจะสามารถไปเชื่อมต่อกับภาคแสดงผลทั่ว ๆ ไปได้ทันที เพราะภาคแสดงผลโดยทั่วไปจะต่อกับกราวด์เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 Floating Load

รูปแบบอย่างง่ายๆของการแปลงสัญญาณแบบนี้ดังแสดงในรูป 3.2 จะเห็นว่าเป็นการต่อแบบ Noninverting Amplifier การส่งสัญญาณกับโหลดที่ระยะห่าง ๆ นั้น สัญญาณจะถูกขับจากด้านบนของ Negative Feedback Loop พิจารณาวงจรนี้จะเห็นว่า



รูปที่ 3.3 การใช้ทรานซิสเตอร์มาช่วยขับกระแส

Op-Amp จะทำงานแบบ Closed-Loop โวลเตจที่ขั้ว Noninverting จะมีค่าเท่ากับที่ขั้ว Inverting และ Voltage ค่านี้จะตกคร่อมค่าความต้านทาน R กระแสที่ไหลผ่าน R คือ

$$I = e_{in}/R$$

เมื่อไม่มีกระแสไหลเข้าหรือออกจาก Inverting กระแส I จะเป็นกระแสที่เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นใน Loop หรือที่เรียกว่า Current Loop

มีข้อควรสังเกตหลายข้อด้วยกันสำหรับวงจรในรูป 3.2 ความต้านทานภายใน Loop ($R_{loop} = R_{wire} + R_{load}$) จะไม่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าใน Loop แต่ Voltage ที่เอาท์พุทของ Op-Amp จะขึ้นกับ R_{loop}

$$V_{out} = (1+ R_{loop}/R)e_{in} < V_{sat} \quad (3.2.1)$$

เราสามารถเลือก R_{loop} ให้น้อยพอที่จะทำให้ Op-Amp ไม่ถึงจุด Saturate

ข้อที่สอง ตัว Op-Amp ต้องสามารถจ่ายกระแสที่ต้องการใช้ได้ มาตรฐานในการส่งสัญญาณทั่ว ๆ ไป ต้องการกระแสในช่วง 20 mA ซึ่ง Op-Amp ที่ใช้ในงานทั่วไป (General Purpose Op-Amp) สามารถทำงานได้ อย่างไรก็ตามเราสามารถจะเพิ่มทรานซิสเตอร์เข้าไปช่วยขับกระแสได้ (ดูรูป 3.2) โดยจะเข้าไปช่วยขับใน Negative Feedback Loop นอกจากนี้ Op-Amp จะสามารถชดเชยค่า Offset, ค่า Bias และ ความไม่เป็นเชิงเส้นด้วย ถ้าสัญญาณมีการกลับไปกลับมา บวกและลบ เราต้องเพิ่ม Q_2 ซึ่งเป็น PNP ทรานซิสเตอร์เข้าไปเป็นคอมพลีเมนต์ของ Q_1 เพื่อขับกระแสค่าลบ

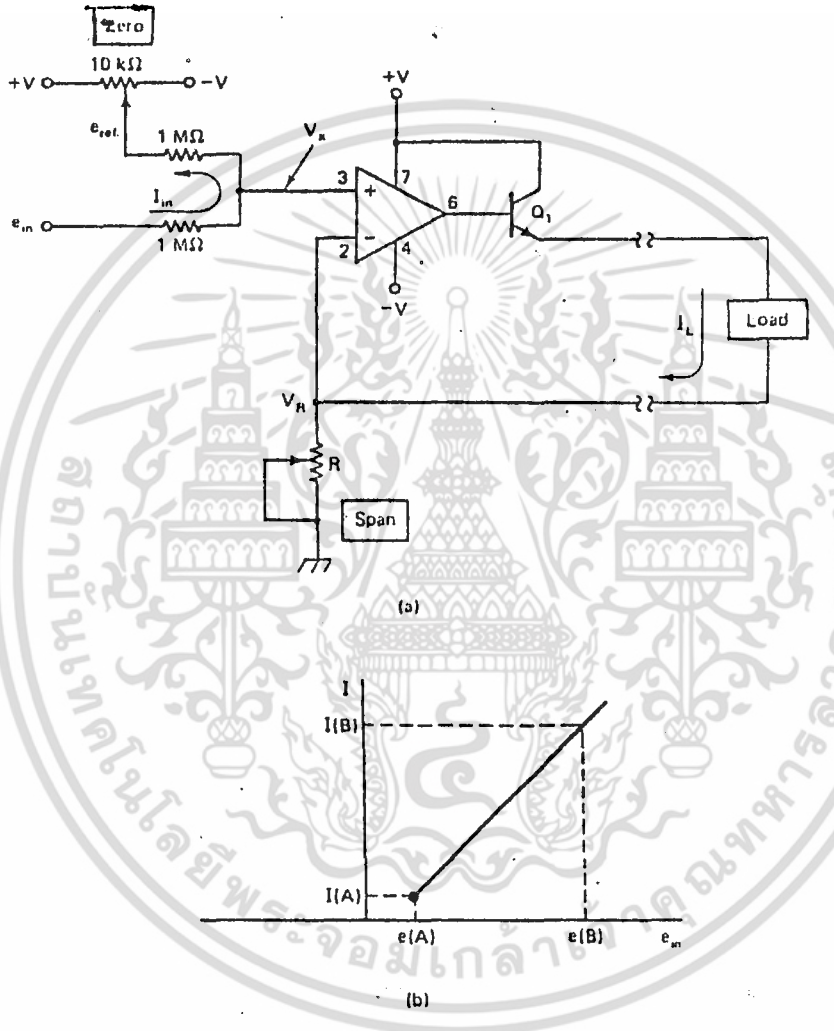
ข้อที่สาม กระแสที่ไหลผ่าน Load จะไหลกลับมาตามสายผ่านเข้าสู่ Op-Amp และ R โดยจะไม่สามารถไหลผ่านลงกราวด์ได้โดยตรง จะเรียกว่าเป็น Floating Signal จะเห็นว่าจะใช้สายสองเส้นในการส่งสัญญาณ ในกรณีที่กระแสไหลในทิศทางตรงข้าม ซึ่งหมายถึงสัญญาณจะไหลในทิศทางตรงกันข้ามด้วย เราสามารถที่จะใช้ Differential หรือ Instrumentation Amplifier ต่อกับ Load เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างสายส่งได้

ข้อที่สี่ ในกรณีที่โหลด Open จะเป็นการทำให้ส่วน Negative Feedback ถูกตัดออกไปทำให้ Op-Amp อยู่ในสถานะอิ่มตัว ในทางตรงข้ามเมื่อ shorted โหลด จะทำให้วงจรกลายเป็น Voltage Follower

ข้อสุดท้าย การต่อแบบ Noninverting จะ Buffer Voltage Source

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถสร้าง Voltage to Current Converter โดยใช้วงจร Inverting Amplifier อย่างไรก็ตามกระแสใน Current Loop ก็จะถูกส่งมาจาก Voltage Source



รูปที่ 3.4 a) วงจร V to C b) Transfer Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรดังในรูป 3.18 พิจารณาได้ดังนี้ เมื่อ

$$e_{in} = 0$$

$$I_L = 0$$

สัญญาณที่ปรากฏที่โหลดก็คือ กระแสจะมีค่าเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตามเมื่อ Current Loop Opened หรือมีค่าเท่ากับการส่งสัญญาณถูกตัด

$$I_L = 0$$

กระแสก็จะตกลงไปเป็นศูนย์ โหลดจะตอบสนองเมื่อ

$$e_{in} = 0$$

จะถูกส่งออกไป เพราะฉะนั้นจะทำให้ Load ไม่มีกระแสไหล

$I_L = 0$ และที่ อินพุท $e_{in} = 0$

เราสามารถกำหนดสภาวะเช่นนั้นได้โดยการปรับ Offset โดยปรับให้ได้ (หรือออกมาใกล้เคียง)

$$e_{in} = 0 \text{ หรือ } e_{in} = \text{minimum}$$

$$I_L = I(0) > 0$$

วงจร Voltage to Current Converter แสดงให้ดูในรูป 3.4 วงจร Non Inverting Amplifier ในรูปที่ 3.2 จะนำมาใช้ทำเป็น Noninverting Summer กระแสเอาท์พุทที่ได้จากวงจรนี้จะถูกกำหนดโดยค่าอินพุทโวลเตจ e_{in} และค่า Reference Voltage e_{ref} ความต้านทานขนาด 1 เมกกะโอห์ม ทั้งสองตัวจะผ่านค่าโวลเตจ ออกมาค่าหนึ่งจากแหล่งกำเนิดพลังงาน เพื่อจ่ายให้แก่ส่วนอื่น ๆ ของวงจร

Input Voltage to Output Current Transfer Curve แสดงให้ดูในรูป 3.4b โดยจะมีความเป็นเชิงเส้นที่แน่นอนเมื่อให้อินพุทโวลเตจมีค่า e(A) กระแสที่โหลดจะมีค่า I(A) และเมื่ออินพุทโวลเตจมีค่า e(b) กระแสจะมีค่า I(B) เพราะฉะนั้นเราจะทราบค่า R จาก

$$R = [e(B)-e(A)]/2[I(B)-I(A)] \qquad (3.2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ $e_{ref} = 2RI(B) - e(B)$ (3.2.3)

เราสามารถ Derive สมการได้ดังนี้ จากรูป 3.4 จะเห็นว่าเป็นวงจรแบบ Negative Feedback

$$V_x = V_r$$

$$I_L = V_x/R \quad (3.2.4)$$

พิจารณาในลูปของ e_{in} และ e_{ref} จะได้ว่า

$$e_{in} - I_{in}(1*10^6 \text{ ohm}) - I_{in}(1*10^6 \text{ ohm}) - e_{ref} = 0$$

$$I_{in} = (e_{in} - e_{ref})/2*10^6 \text{ ohm}$$

และระหว่าง e_{in} กับ V_x จะพบว่า

$$e_{in} - I_{in}(1*10^6 \text{ohm}) - V_x = 0$$

$$V_x = [e_{in} - e_{in} - e_{ref}(1*10^6 \text{ ohm})]/(2*10^6 \text{ ohm})$$

$$= (e_{in} + e_{ref})/2$$

นำสมการ (3.2.5) แทนใน (3.2.4) จะได้ว่า

$$I_L = (e_{in} + e_{ref})/2R$$

พิจารณาตามรูปที่ (3.3)

ที่จุด A $I(A) = [e(A) + e_{ref}]/2R$

ที่จุด B $I(B) = [e(B) + e_{ref}]/2R$

หรือได้ว่า $2RI(B) = e(B) + e_{ref}$

$$2RI(A) = e(A) + e_{ref}$$

นำสมการทั้งสองมาหักล้างกันจะได้

$$2R[I(B) - I(A)] = e(B) - e(A)$$

หรือ

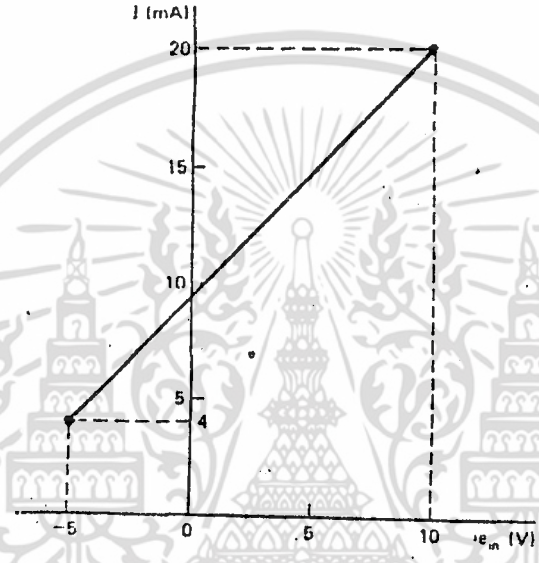
$$R = [e(B) - e(A)]/2[I(B) - I(A)]$$

และจะได้ว่า $e_{ref} = 2RI(B) - e(B)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง ออกแบบวงจร Voltage to Current Converter เพื่อให้จ่ายกระแส 4 mA เมื่ออินพุทโวลเตจมีค่า -5 V และ 20 mA ที่อินพุทโวลเตจ 10 V

Transfer Curve แสดงให้ดูในรูป 3.5 และวงจรในรูป 3.4 a ต้องหาว่าจะใช้ R และ e_{ref} เท่าไหร่



รูปที่ 3.5 Transfer Curve

e(A) = -5 V I(A) = 4 mA

e(B) = 10 V I(B) = 20 mA

$$R = [e(B) - e(A)]/2[I(B)-I(A)]$$

$$= [10\ V-(-5)\ V/2(20\ mA-4\ mA)$$

$$= 469\ ohm$$

เวลานำไปใช้งานควรใช้ความต้านทาน 430 โอห์ม อนุกรมกับความต้านทานปรับค่าได้ 100 โอห์ม

$$e_{ref} = 2RI(B) - e(B)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 2(469\ \text{ohm})(20\ \text{ohm}) - 10\ \text{V}$$

$$= 8.8\ \text{V}$$

3.2.1 Grounded Load

เมื่อต้องการขับกระแสเข้าไปในโหลดที่ต่ออยู่กับกราวด์ จะต้องใช้ Difference Amplifier ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ความต้านทาน R_1, R_2, R_3 และ R_4 มีค่าเดียวกันให้เกนมีค่าเท่ากับหนึ่ง ความต้านทาน R_5 อยู่ระหว่างเอาท์พุทของวงจรกับโหลด และ R_4 จะต่ออยู่กับโหลดด้วย

การวิเคราะห์วงจรขั้นแรกต้องหาว่า V_{out} ก่อน วิธีง่าย ๆ ก็คือใช้ Superposition กับวงจรสมมูลย์ในรูป 3.7

$$V_{out} = V_L + e_2 - e_1$$

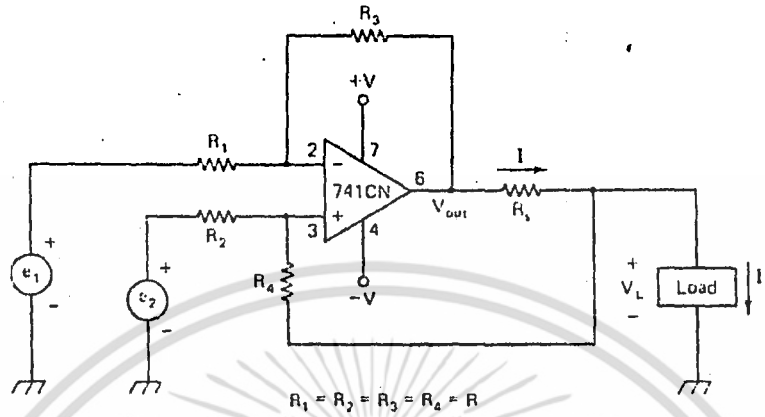
และจากรูป 3.8

$$V_{R5} = V_{out} - V_L$$

$$= (V_L + e_2 - e_1) - V_L$$

$$= e_2 - e_1$$

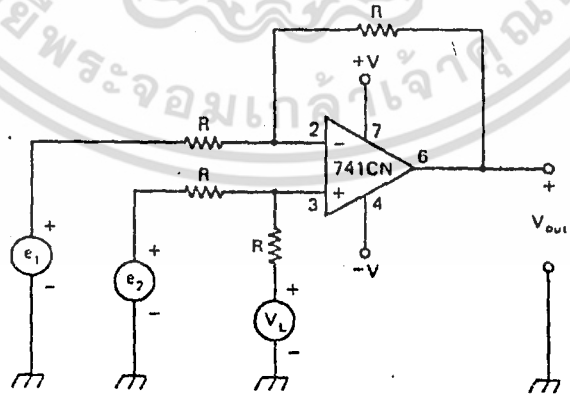
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจร Vto C แบบกราวด์โหลด

กระแสที่โหลดผ่าน R_L มีค่า

$$I_{RL} = V_{out}/R_L$$



รูปที่ 3.7 การพิจารณาโดยใช้ Superposition

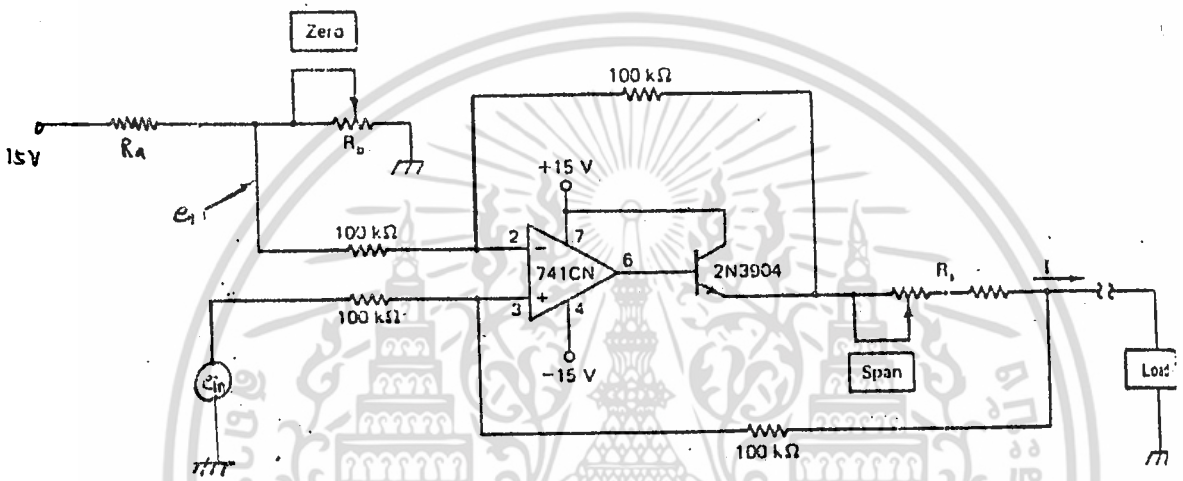
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_L = I_{Rs} = (e_2 - e_1)/R_s$$

ในแบบ Grounded Load มีข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่งคือ V_{out} จะต้องน้อยกว่า V_{sat}

$$V_{sat} > IR_{load} + e_2 - e_1 \qquad (3.2.7)$$

อีกข้อหนึ่งก็คือ เอาท์พุทของ Op-Amp จะสามารถนำทรานซิสเตอร์มาต่อเพื่อช่วยขับกระแสอีกได้ โดยจะมีลักษณะเหมือน ๆ กับในวงจรรูป 3.3



รูปที่ 3.3 วงจร V to C แบบกราวด์โหลด

ตัวอย่าง

(a) ออกแบบวงจร Current to Voltage Converter ที่ให้กระแสเอาท์พุท 4 mA ที่อินพุทโวลเตจ 0 V และ 20 mA ที่เอาท์พุท 1.0 V แบบกราวด์โหลด

(b) เมื่อกระแสมีค่า 20 mA และซัพพลายมีค่า +15,-15 V จงหา Maximum Load Resistance

วิธีทำ (a) วงจรนี้ดังแสดงในรูป 3.3

$$I_L = (e_2 - e_1)/R_s \qquad e_2 = e_{in}$$

หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_L R_s = e_{in} - e_1$$

At $e_{in} = 0$ V, $I_L = 4$ mA

$$(4\text{mA})R_s = -e_1$$

At $e_{in} = 1.0$ V, $I_L = 20$ mA

$$(20\text{mA})R_s = 1.0\text{ V} - e_1$$

แทนสมการ (3.2.8) ใน (3.2.9)

$$(20\text{mA})R_s = 1.0\text{ V} + (4\text{mA})R_s$$

$$(16\text{mA})R_s = 1.0\text{ V}$$

$$R_s = 1.0\text{ V}/16\text{ mA} = 62.5\text{ ohm}$$

ใช้ R ค่า 22 โอห์ม อนุกรม กับ Potentiometer 100 ohm และเมื่อนำ R_s ไปแทนใน (3.2.8)

$$(4\text{mA})(62.5\text{ ohm}) = -e_1$$

$$e_1 = -0.25\text{ V}$$

(b) $$V_{sat} > I_L R_{load} + e_2 - e_1$$

แต่ควรจะพิจารณา Voltage ที่ตกคร่อม Base-Emitter Junction ด้วย (2N3904 มีค่าเท่ากับ 0.6 V)

$$V_{sat} > I_L R_{load} + e_2 - e_1 + 0.6\text{ V}$$

$$R_L < (V_{sat} - e_2 + e_1 - 0.6)/I_L$$

$$< 13\text{ V} - 1.0\text{ V} - 0.25\text{ V} - 0.6\text{ V}$$

$$< 553\text{ ohm}$$

ความต้านทาน R_L ที่มากกว่านี้ จะทำให้ Op-Amp ถึงจุดอิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 Comparator

เมื่อเราต้องการเปรียบเทียบแรงดันสองค่า ว่าแรงดันไหนจะมีขนาดเล็กใหญ่กว่ากัน เราสามารถตรวจสอบได้ด้วยวงจร Comparator วงจรจะประกอบด้วยสัญญาณอินพุทสองสัญญาณที่ต้องการเปรียบเทียบ (Noninverting และ Inverting) และสัญญาณเอาท์พุทอีกสัญญาณหนึ่ง เมื่อสัญญาณที่ Noninverting ใหญ่กว่าสัญญาณที่ Inverting Comparator จะสร้างเอาท์พุทค่าสูง (High Output Voltage) และเมื่อสัญญาณที่ Noninverting Input น้อยกว่าที่ Inverting Input Comparator จะสร้างโวลเตจเอาท์พุทค่าต่ำ (Low Output Voltage) ดังนั้นเมื่อมีคำถามว่า "อินพุทที่ Noninverting ใหญ่กว่าที่ Inverting รึ ?" จะตอบว่าใช่เมื่อเอาท์พุทเป็นค่าสูง และไม่ใช่เมื่อเอาท์พุทเป็นค่าต่ำ

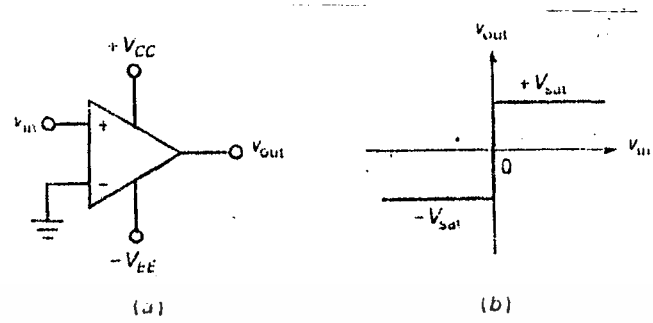
3.3.1 Basic Circuit

วิธีที่ง่ายที่สุดในการสร้างวงจร Comparator คือไม่ต้องมีการต่อ Feedback เมื่อต่อขั้ว Inverting Input ลงกราวด์ โวลเตจอินพุท V_{in} เพียงแต่ในระดับของมิลลิโวลต์ก็เพียงพอที่จะทำให้ Op-Amp ถึงจุดอิ่มตัว ให้ A เป็น Differrential Voltage Gain ของ Op-Amp ดังนั้นค่าอินพุทโวลเตจที่สามารถจะทำให้ Op-Amp อิ่มตัวมีค่า

$$V_{in} = V_{sat}/A$$

เช่น เมื่อมีไฟเลี้ยง I=15 V สัญญาณเอาท์พุทจะมีค่าประมาณ -13.5 V และ +13.5 V ในออปแอมป์ 741 c จะมีเกนขยายโวลเตจขณะเปิดลูป 100,000 เท่า ดังนั้นอินพุทโวลเตจที่สามารถจะทำให้เกิดภาวะอิ่มตัว ซึกบวกจะมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.9 a) Op-Amp ที่ใช้เป็น Comparator

b) Transfer Characteristic

V_{in} = 13.5 V/100,000 = 135μV

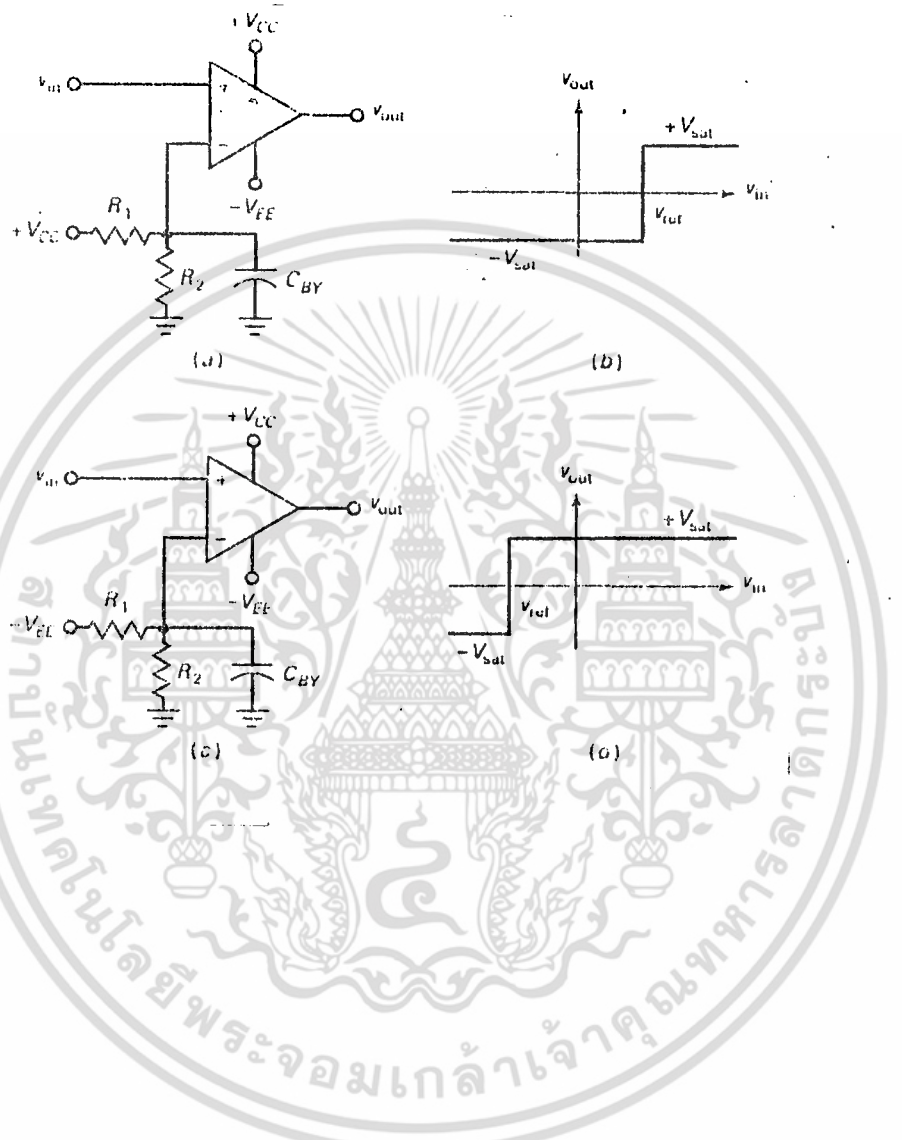
ซึ่งค่านี้ถือว่าน้อยมากทำให้กราฟในรูป 3.9 b ไม่เห็นการค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงสถานะของ V_{out} กับ V_{in} เพราะฉะนั้นถือได้ว่าสัญญาณที่เข้ามาจะพิสูจน์ได้ทันทีว่ามีค่าเอาท์พุทสูง (High Output Voltage หรือ อิ่มตัวซีกบวก) หรือมีเอาท์พุทค่าต่ำ (Low Output Voltage หรือ อิ่มตัวซีกลบ) คือ อินพุทโวลเตจเพียง +135 μV จะทำให้ Op-Amp อิ่มตัวซีกบวก และเพียงค่า -135 μV เมื่อเกิดอิ่มตัวซีกลบ

3.3.2 Moving the Trip Point

Trip point ของ Comparator(อาจจะเรียกว่า Threshold, Reference) หรือกล่าวได้ว่าเป็นจุดอ้างอิงที่จะทำให้ Comparator ทำงาน สำหรับในวงจรในรูป 3.9 จุดอ้างอิงในการทำงานคือศูนย์ มีความหมายว่า ถ้าอินพุทมากกว่าศูนย์ เอาท์พุทจะเป็นค่าสูง และถ้าอินพุทน้อยกว่าศูนย์ เอาท์พุทจะมีค่าต่ำ เรียกวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบนี้ว่า Zero-Crossing Detector



รูป 3.10 a) Comparator With Positive Trip Point

b) Transfer Characteristic of a)

c) Comparator With Negative Trip Point

d) Transfer Characteristic of c)

ในวงจรรูป 3.10 a จะต่อแรงดันอ้างอิงเข้าที่ขั้ว Inverting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{ref} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{cc}$$

เมื่อ V_{in} มากกว่า V_{ref} สัญญาณเอาท์พุทจะมีค่าสูง

V_{in} น้อยกว่า V_{ref} สัญญาณเอาท์พุทจะมีค่าต่ำ

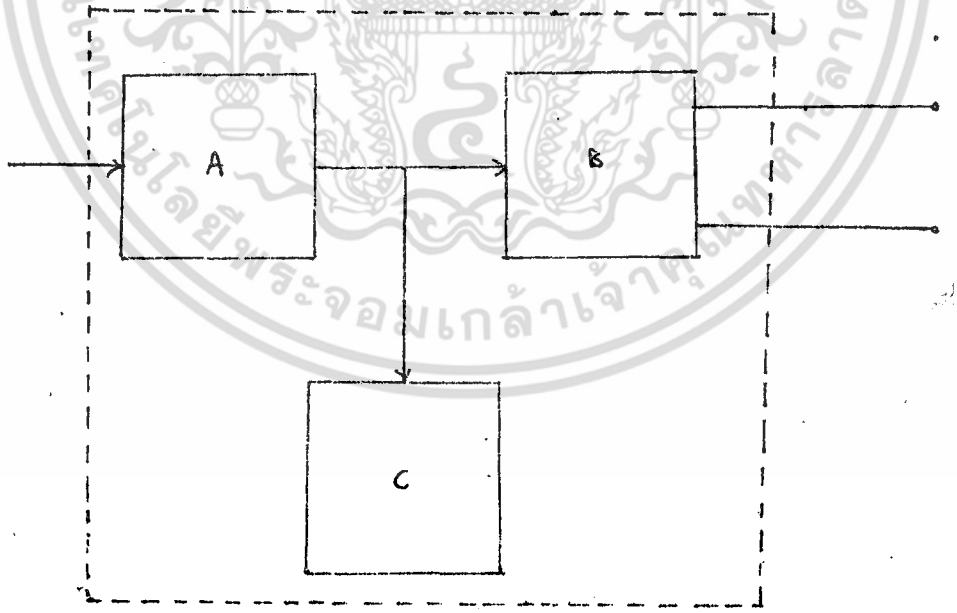
สำหรับวงจรรูป 3.10 c จะเป็นการต่อแบบ Negative Trip Point จะเห็นได้ว่าเราสามารถกำหนดจุดอ้างอิงในการเปรียบเทียบสัญญาณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การดำเนินงาน

ในบทนี้จะเป็นการแสดงวงจรที่ได้สร้างขึ้นมา พิจารณารูปที่ 4.1 เป็นแผนผังของ Two-Wire Transmitter ที่สร้างขึ้นมา Block A คือวงจร Noninverting Amplifier ขยายสัญญาณจากส่วนอินพุท Block B รับสัญญาณที่ขยายแล้วไปทำการแปลงจาก Voltage ให้เป็น Current สำหรับ Block C หรือ Comparator นั้น จะใช้เป็นตัวควบคุมสัญญาณคอยแจ้งเตือน เช่น เมื่อสัญญาณอินพุทมีค่าถึงจุดหนึ่งให้ Comptor ทำงานโดยต่อเชื่อมกับกริ่งไฟฟ้าก็จะมีเสียงกริ่งเตือน เป็นต้น

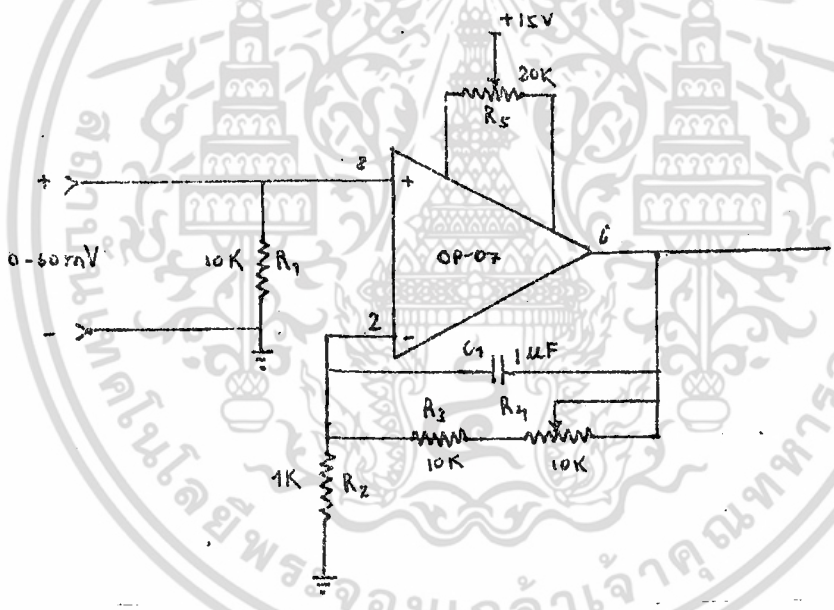


รูป 4.1 แผนผังการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณชนิดสองสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 Noninverting Amplifier

วงจรที่สร้างขึ้นมาแสดงให้ดูดังรูปที่ 4.2 R_1=10K จะเป็นตัวลด Input Impedance ลงให้มากกว่า Impedance ของ Source เหลือประมาณ 1000 เท่า นอกจากนี้ยังช่วยลดการลบกวนจากคลื่นไฟฟ้าแม่เหล็กที่เกิดจาก Spray Capacitance อีกด้วย R_5 เป็นตัวปรับ Offset C_1 ต่อขนานกับ R_3,R_4 จะทำหน้าที่เป็น Low Past Filter คอยกรองสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเลื่อนเฟส อินพุทจะอยู่ในช่วง 0-50 mV และเอาท์พุทอยู่ในช่วง 0-20 mA อัตราขยายมีค่า $A_v=(1+\frac{R_3+R_4}{R_2})$



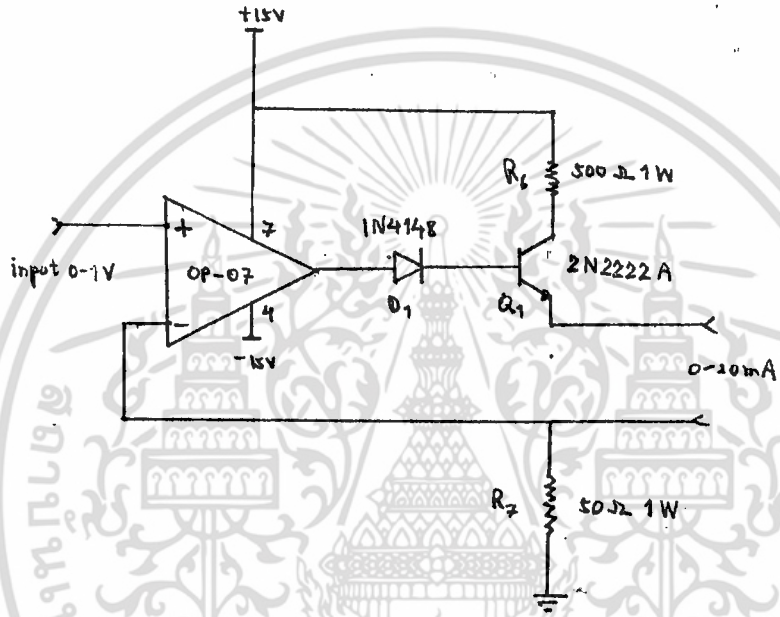
รูปที่ 4.2 วงจร Noninverting Amplifier ที่ใช้ในโครงงาน

4.2 Voltage to Current Converter

วงจรที่สร้างขึ้นมาแสดงให้ดูดังรูปที่ 4.3 D_1 เป็นตัวที่ทำให้วงจรทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉพาะสัญญาณที่เป็นบวกเท่านั้น R_s เป็นตัวจำกัดกระแส Q_1 ช่วยออปแอมป์ขับกระแส โดยที่กระแสในลูปมีค่า $I_{max} = V_{in}/R_7$ สำหรับระยะไกลสุดที่สามารถส่ง Current ไปได้จะคำนวณจากค่าความต้านทานสูงสุดของโหลด โดยคิดว่าความต้านทานของสายส่งเป็นส่วนหนึ่งของความต้านทานโหลด เมื่อทราบความต้านทานต่อความยาวของสายส่งก็จะหาระยะไกลสุดที่สามารถส่งสัญญาณไปได้



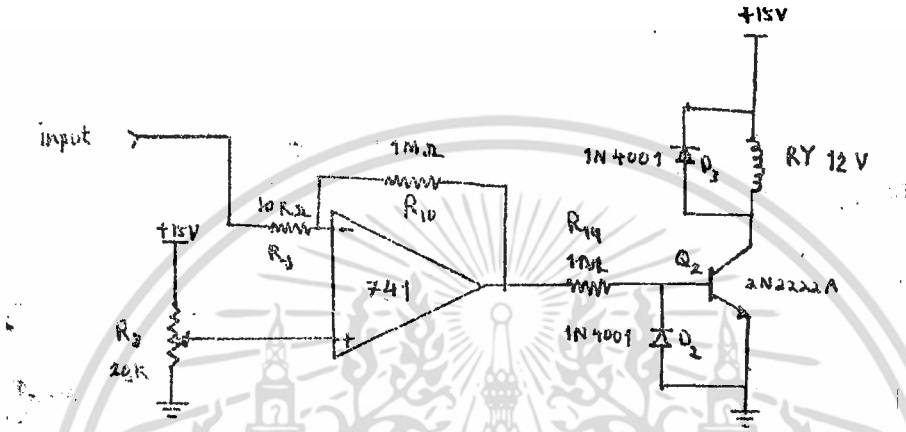
รูปที่ 4.3 วงจร Voltage to Current ที่ใช้ในโครงงาน

4.3 Comparator

วงจรที่ใช้แสดงให้ดูดังรูปที่ 4.4 R_8 เป็นตัวปรับจุดอ้างอิงที่ใช้ในการเปรียบเทียบสัญญาณ R_{11} ช่วยทำให้กระแสจากออปแอมป์ไปช่วยขับ Q_2

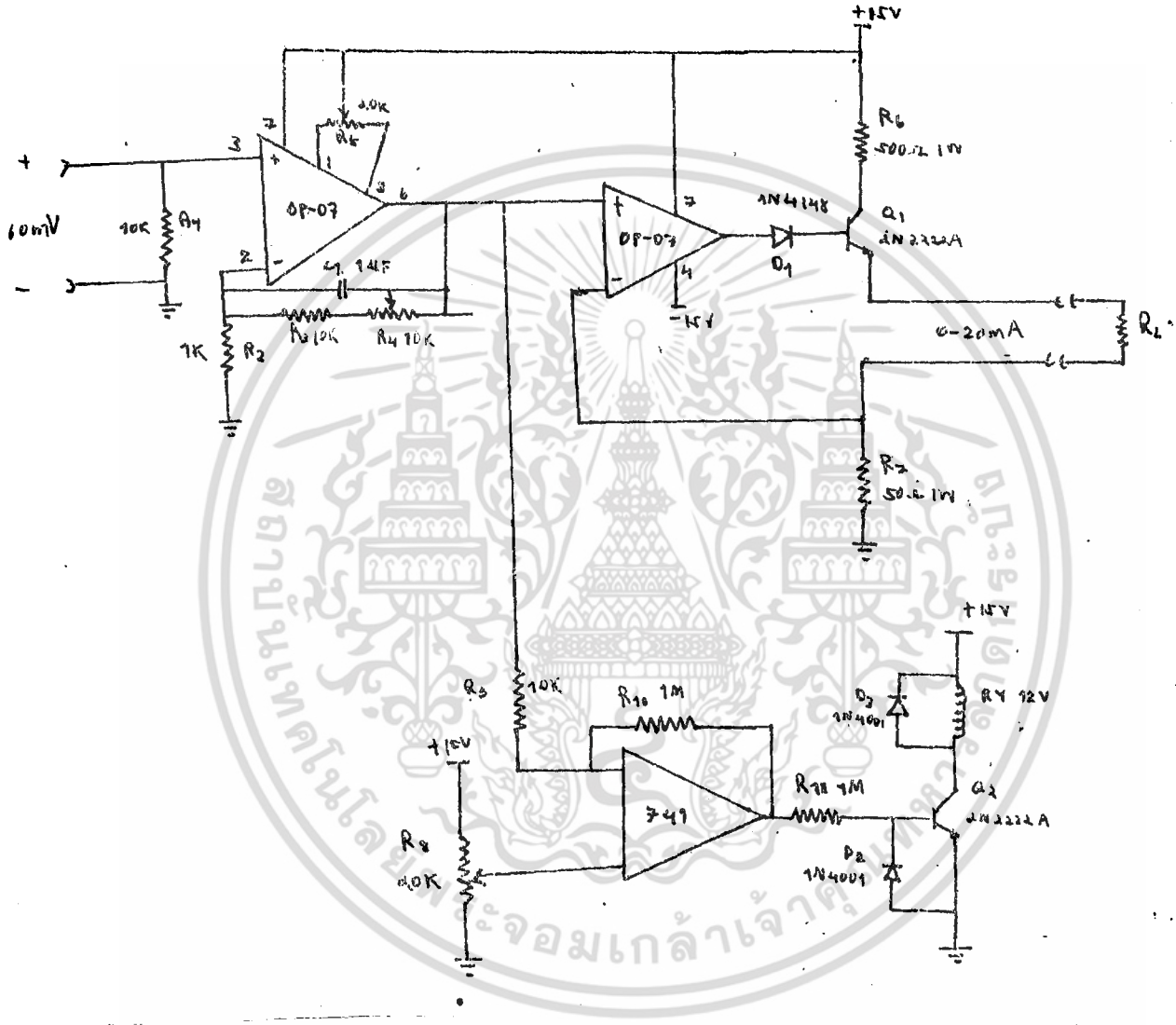
เมื่อกระแสคอลเลคเตอร์ไหลก็จะไปขับรีเลย์ให้ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.4 วงจร Comperator ที่ใช้ในโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.5 วงจรรวมของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและสรุป

5.1 ผลการทดลอง

5.1.1 การทดลองวงจร Noninverting Amplifier

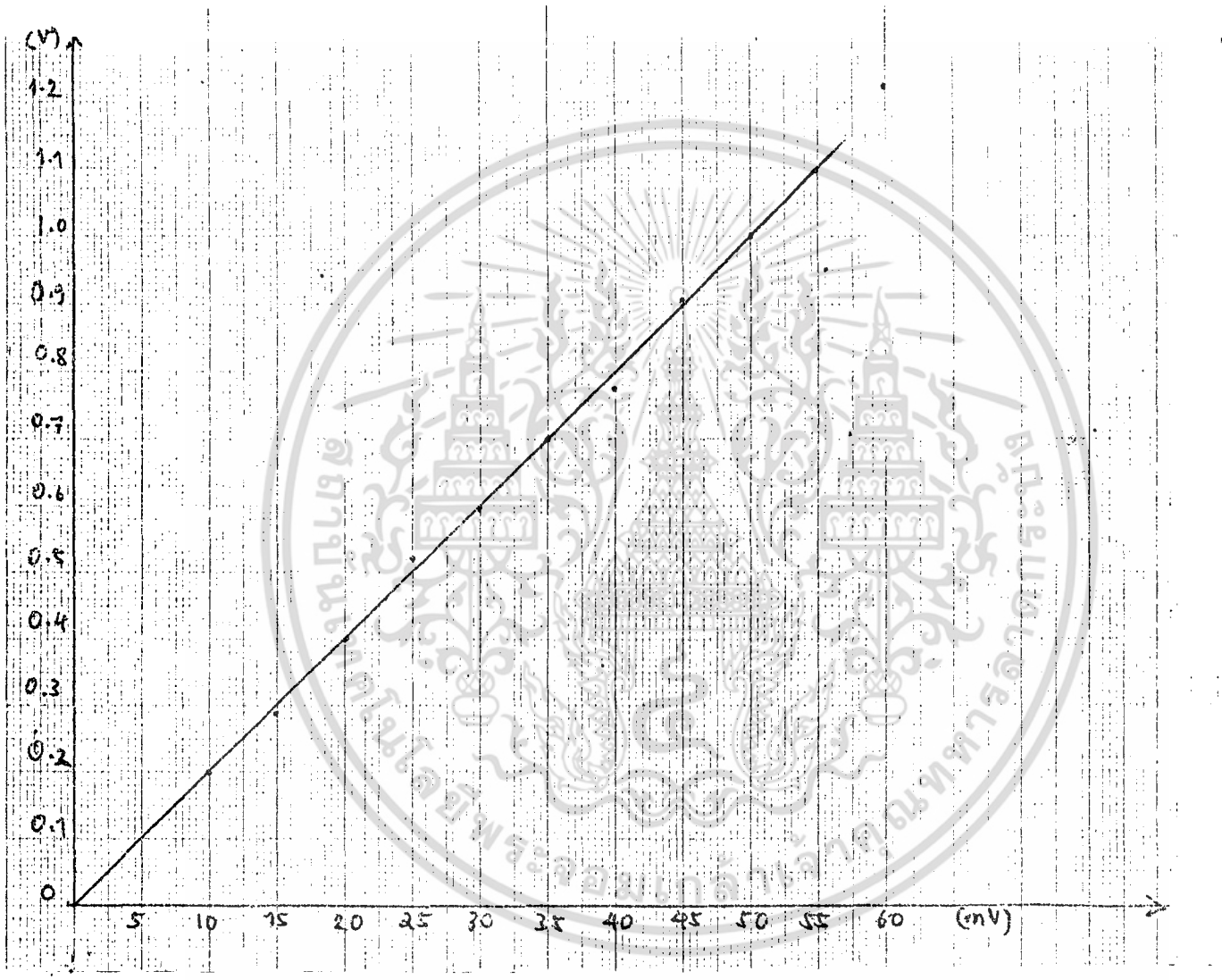
INPUT (mV)	OUTPUT (V)
0	0
5	0.1
10	0.2
15	0.29
20	0.4
25	0.52
30	0.6
35	0.7
40	0.78
45	0.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INPUT (mV)	OUTPUT (V)
50	1
55	1.1
60	1.23
65	1.31

ตาราง 5.1 ผลการทดลองของวงจร Noninverting Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 กราฟผลการทดลองระหว่างอินพุทและเอาท์พุท

ของวงจร Noninverting Amplifier

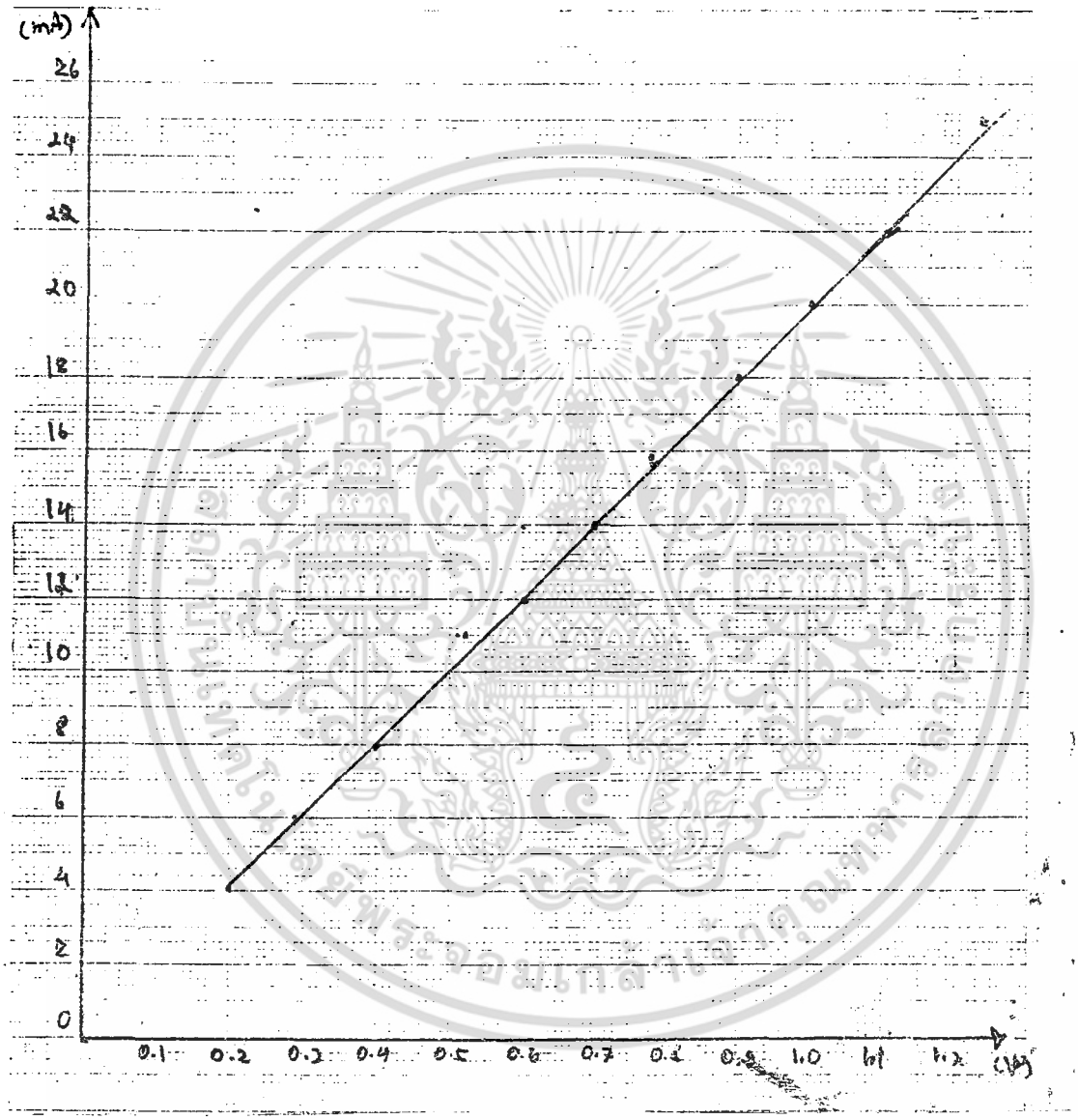
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 การทดลองวงจร Voltage to Current Converter

INPUT (V)	OUTPUT (mA)
0	-
0.1	-
0.2	4
0.29	6
0.4	8
0.52	11
0.6	12
0.7	14
0.78	15.8
0.91	18
1	20
1.1	22
1.23	25.1

ตาราง 5.2 ผลการทดลองวงจร Voltage to Current Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 กราฟผลการทดลองระหว่างอินพุทและเอาท์พุท

ของวงจร Voltage to Current Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปผลการทำงาน

การดำเนินงานในโครงงานพิเศษนี้ ได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้พอสมควร คือ สามารถทดลองสร้างเครื่องส่งสัญญาณชนิดสองสายได้สำเร็จตามขอบเขตที่กำหนดไว้

โดยอินพุทจาก source อยู่ในช่วง 0-60 mV

กระแสเอาท์พุท อยู่ในช่วง 4-25 mA

ปัญหาที่สำคัญของโครงงานนี้ก็คือ อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ยังไม่ดีพอสำหรับนำมาทำเป็นเครื่องมือวัดที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง เช่น ความต้านทานแบบ TRIMPOT มีการคลาดเคลื่อน หมุนแต่ละครั้งถึงจะพยายามให้ได้ค่าเดิมโดยหมุนเท่ากันก็ได้ค่าความต้านทานไม่เหมือนกัน นอกจากนี้อุปกรณ์อื่นๆ เช่น มิเตอร์ก็ยังเป็นแบบที่ถูกเกินไป

สรุปแล้วสามารถสร้างได้แต่ยังไม่ละเอียดดีนัก แต่ถึงอย่างไรก็ตามถ้ามีการเปลี่ยนอุปกรณ์ เช่น ออปแอมป์ ให้เป็นแบบที่มีความละเอียดในการทำงานสูงขึ้น รวมทั้งเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ เราก็สามารถสร้างเครื่องส่งสัญญาณชนิดสองสายที่มีความเที่ยงตรงยิ่งขึ้นกว่าเดิมได้ โดยใช้หลักการเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ชรินทร์ เนาประทีป และ CNS,ออปแอมป์,ครั้งที่ 1, หน้า 1-13 26,ฟิสิกเซ็นเตอร์,กรุงเทพ ฯ.

2. มงคล เตชนครินทร์ และ ชาตรี ศรีไพพรรณ,อิเลคทรอนิคส์พื้นฐาน,ครั้งที่ 5, หน้า 272-273,ซีเอ็ดยูเคชัน,กรงเทพ ฯ,2531.

3. สมศักดิ์ กิรติวุฒิเศรษฐ์ , หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม,ครั้งที่ 4,หน้า 3-5 51-53 79 83-84 104-105,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),กรุงเทพ ฯ,2533

4. Albert P. Malvino,Electronics Principles, 4 th ed., pp. 812-814, McGraw Hill, Singapore,1989.

5. Sergio Franco,Design with Operational Amplifier and Analog Integrated Circuits, 1 st ed.,pp. 53-58, McGraw Hill, Singapore, 1988.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

OP-AMP 741

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μA741

FREQUENCY-COMPENSATED OPERATIONAL AMPLIFIER

FAIRCHILD LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

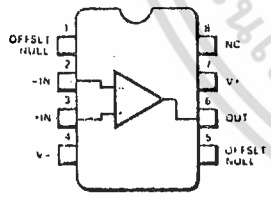
GENERAL DESCRIPTION — The μA741 is a high performance monolithic Operational Amplifier constructed using the Fairchild Planar* epitaxial process. It is intended for a wide range of analog applications. High common mode voltage range and absence of latch-up tendencies make the μA741 ideal for use as a voltage follower. The high gain and wide range of operating voltage provides superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications. Electrical characteristics of the μA741A and E are identical to MIL-M-38510/10101.

- NO FREQUENCY COMPENSATION REQUIRED
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OFFSET VOLTAGE NULL CAPABILITY
- LARGE COMMON MODE AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGES
- LOW POWER CONSUMPTION
- NO LATCH-UP

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage	
μA741A, μA741, μA741E	±22 V
μA741C	±18 V
Internal Power Dissipation (Note 1)	
Metal Can	500 mW
Molded and Hermetic DIP	670 mW
Mini DIP	310 mW
Flatpak	570 mW
Differential Input Voltage	±30 V
Input Voltage (Note 2)	±15 V
Storage Temperature Range	
Metal Can, Hermetic DIP, and Flatpak	−65°C to +150°C
Mini DIP, Molded DIP	−55°C to +125°C
Operating Temperature Range	
Military (μA741A, μA741)	−55°C to +125°C
Commercial (μA741E, μA741C)	0°C to +70°C
Lead Temperature (Soldering)	
Metal Can, Hermetic DIPs, and Flatpak (60 s)	300°C
Molded DIPs (10 s)	260°C
Output Short Circuit Duration (Note 3)	Indefinite

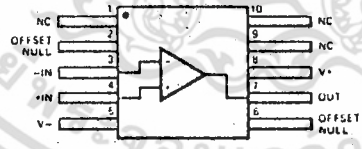
8-LEAD MINIDIP
(TOP VIEW)
PACKAGE OUTLINES 6T 9T
PACKAGE CODES T R



ORDER INFORMATION

TYPE	PART NO.
μA741C	μA741TC
μA741C	μA741RC

10-LEAD FLATPAK
(TOP VIEW)
PACKAGE OUTLINE 3F



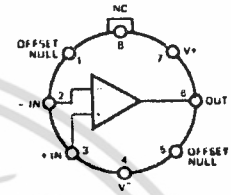
ORDER INFORMATION

TYPE	PART NO.
μA741A	μA741AFM
μA741	μA741FM

Notes on following pages.

CONNECTION DIAGRAMS

8-LEAD METAL CAN
(TOP VIEW)
PACKAGE OUTLINE 5B

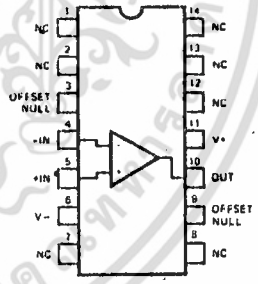


Note: Pin 4 connected to case

ORDER INFORMATION

TYPE	PART NO.
μA741A	μA741AHM
μA741	μA741HM
μA741E	μA741EHC
μA741C	μA741HC

14-LEAD DIP
(TOP VIEW)
PACKAGE OUTLINE 6A, 9A



ORDER INFORMATION

TYPE	PART NO.
μA741A	μA741ADM
μA741	μA741DM
μA741E	μA741EDC
μA741C	μA741DC
μA741C	μA741PC

*Planar is a patented Fairchild process.

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ลาดกระบัง กทม. 10520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μA741A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = ±15V, T_A = 25°C unless otherwise specified)

PARAMETERS (see definitions)		CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Offset Voltage		$R_S \leq 50\Omega$			0.8	3.0	mV
Average Input Offset Voltage Drift						15	μV/°C
Input Offset Current					3.0	30	nA
Average Input Offset Current Drift						0.5	nA/°C
Input Bias Current					30	80	nA
Power Supply Rejection Ratio		V_S = +10, −20; V_S = +20, −10V, R_S = 50Ω			15	50	μV/V
Output Short Circuit Current				10	25	35	mA
Power Dissipation		V_S = ±20V			80	150	mW
Input Impedance		V_S = ±20V		1.0	6.0		MΩ
Large Signal Voltage Gain		V_S = ±20V, R_L = 2kΩ, V_{OUT} = ±15V		50			V/mV
Transient Response	Rise Time				0.25	0.8	μs
(Unity Gain)	Overshoot				6.0	20	%
Bandwidth (Note 4)				.437	1.5		MHz
Slew Rate (Unity Gain)		V_{IN} = ±10V		0.3	0.7		V/μs
The following specifications apply for −55°C ≤ T_A ≤ +125°C							
Input Offset Voltage						4.0	mV
Input Offset Current						70	nA
Input Bias Current						210	nA
Common Mode Rejection Ratio		V_S = ±20V, V_{IN} = ±15V, R_S = 50Ω		80	95		dB
Adjustment For Input Offset Voltage		V_S = ±20V		10			mV
Output Short Circuit Current				10		40	mA
Power Dissipation		V_S = ±20V	−55°C			165	mW
			+125°C			135	mW
Input Impedance		V_S = ±20V		0.5			MΩ
Output Voltage Swing		V_S = ±20V,	R_L = 10kΩ	±16			V
			R_L = 2kΩ	±15			V
Large Signal Voltage Gain		V_S = ±20V, R_L = 2kΩ, V_{OUT} = ±15V		32			V/mV
		V_S = ±5V, R_L = 2kΩ, V_{OUT} = ±2 V		10			V/mV

NOTES

1. Rating applies to ambient temperatures up to 70 C. Above 70 C ambient derate linearly at 6.3mW/°C for the metal can, 8.3mW/°C for the DIP and 7.1mW/°C for the Flatpak.
2. For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
3. Short circuit may be to ground or either supply. Rating applies to +125° C case temperature or 75° C ambient temperature.
4. Calculated value from: $BW(MHz) = \frac{0.35}{\text{Rise Time } (\mu s)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

OP-AMP OP-07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP-07

ULTRA-LOW OFFSET VOLTAGE OPERATIONAL AMPLIFIER

FEATURES

- Ultra-Low V_{OS} 10μV
- Ultra-Low V_{OS} Drift ..... 0.2μV/°C
- Ultra-Stable vs Time 0.2μV/Month
- Ultra-Low Noise ..... $0.35\mu V_{p-p}$
- No External Components Required
- Replaces Chopper Amps at Lower Cost
- Single-Chip Monolithic Construction
- Large Input Voltage Range ..... ±14.0V
- Wide Supply Voltage Range ..... ±3V to ±18V
- Fits 725, 108A/308A, 741, ADS10 Sockets

GENERAL DESCRIPTION

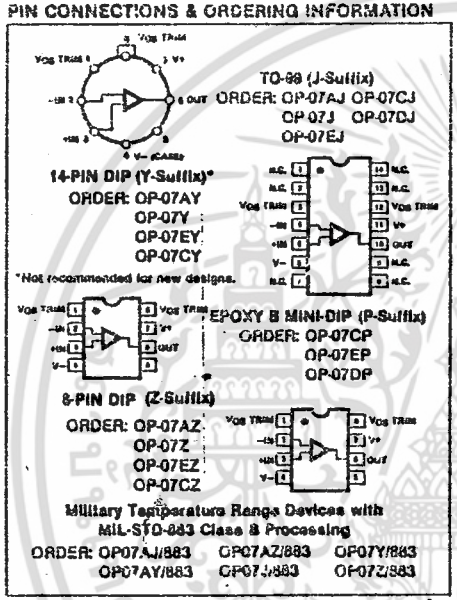
The OP-07 Series represents a breakthrough in monolithic operational amplifier performance — V_{OS} of 10μV, TCV_{OS} of 0.2μV/°C and long-term stability of 0.2μV/month are achieved by a low-noise, chopper-less bipolar input translator amplifier circuit. Complete elimination of external components for offset nulling, frequency compensation and device protection permits extreme miniaturization and optimization of system Mean-Time-Between-Failure Rates in high-performance aerospace/defense and industrial applications. Excellent device interchangeability provides reduced system assembly time and eliminates field recalibrations.

True differential inputs with wide input voltage range and outstanding common mode rejection provide maximum flexibility and performance in high-noise environments and non-inverting applications. Low bias currents and extremely-high input impedances are maintained over the entire temperature range.

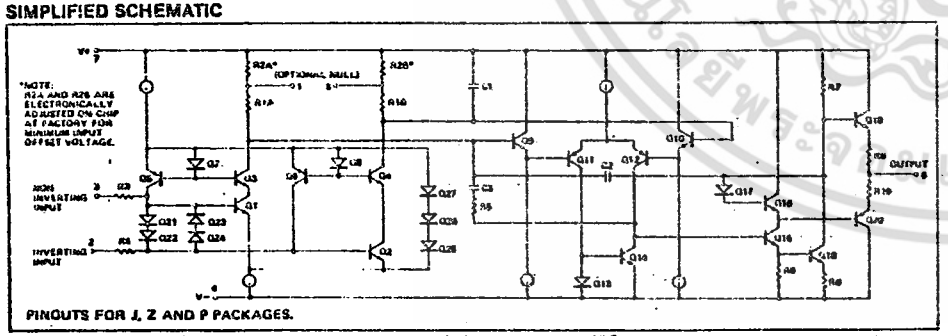
The OP-07 provides unparalleled performance for low noise, high-accuracy amplification of very low-level signals in transducer applications. Devices are available in chip form for use in hybrid circuitry. The OP-07 is a direct replacement for 725, 108A/308A*, and OP-05 amplifiers; 741-types may be directly replaced by removing the 741's nulling potentiometer.

*TO-99 package only. For Matched Dual see OP-207.

PIN CONNECTIONS & ORDERING INFORMATION



SIMPLIFIED SCHEMATIC



PINOUTS FOR J, Z AND P PACKAGES.

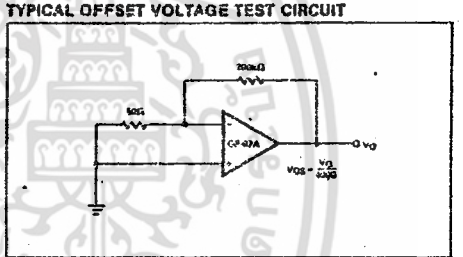
The premium performance of this product is achieved through an advanced processing technology. All Precision Monolithics products are guaranteed to meet or exceed published specifications.

©1981 PMI TECHNICAL SPECIFICATIONS SEPTEMBER 1981

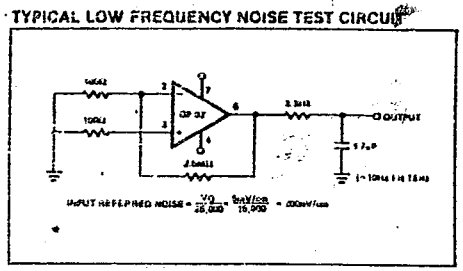
ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $V_S = \pm 15V$, $-55°C \le T_A \le +125°C$, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07A MIN	OP-07A TYP	OP-07A MAX	OP-07 MIN	OP-07 TYP	OP-07 MAX	UNITS
Input Offset Voltage	V_{OS}	(Note 1)	—	25	60	—	60	200	μV
Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	TCV_{OS}	(Note 3)	—	0.2	0.6	—	0.3	1.3	μV/°C
With External Trim	TCV_{OSn}	$R_p = 20k\Omega$	—	0.2	0.6	—	0.3	1.3	
Input Offset Current	I_{OS}		—	0.8	4.0	—	1.2	5.6	nA
Average Input Offset Current Drift	TCI_{OS}	(Note 3)	—	5	25	—	8	50	pA/°C
Input Bias Current	I_B		—	±1.0	±4.0	—	±2.0	±8.0	nA
Average Input Bias Current Drift	TCI_B		—	8	25	—	13	50	pA/°C
Input Voltage Range	IVR		±13.0	±13.5	—	±13.0	±13.5	—	V
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	106	123	—	106	123	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	94	106	—	94	106	—	dB
Large Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L \ge 2k\Omega$, $V_O = \pm 10V$	200	400	—	150	400	—	V/mV
Maximum Output Voltage Swing	V_{OM}	$R_L \ge 2k\Omega$	±12.0	±12.6	—	±12.0	±12.6	—	V

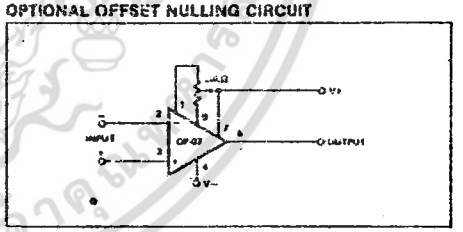
TYPICAL OFFSET VOLTAGE TEST CIRCUIT



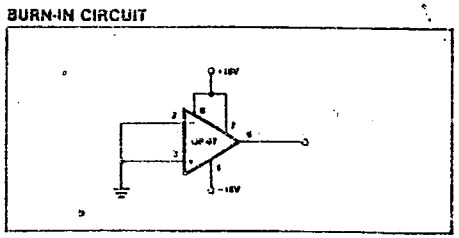
TYPICAL LOW FREQUENCY NOISE TEST CIRCUIT



OPTIONAL OFFSET NULLING CIRCUIT



BURN-IN CIRCUIT



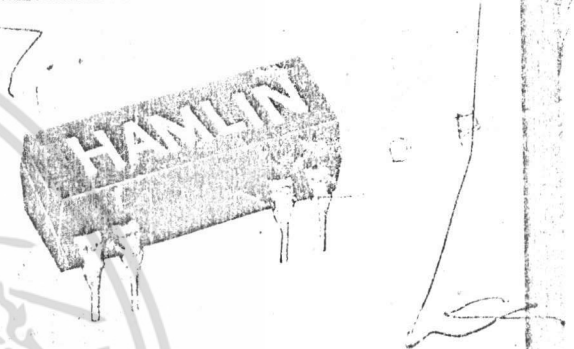
ภาคผนวก ค

RERAY HE 700 SERIES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HE 700 SERIES
DUAL-IN-LINE PACKAGE

- Logic compatible — high speed, low power — automatic insertion compatible.
- All reed switches are run-in 1 million operations and relays are 100% tested for hermeticity after molding.
- Rugged package, small size, low cost, long life suited for telecommunication, measurement, and control engineering.



	COIL VOLTAGE	COIL RESISTANCE	MUST OPER-MUST REL	FORM	SWITCHING V	SWITCHING A	W	VOLTAGE HOLD-OFF	CONTACT RESISTANCE	PRICES 1-24
HE721A05•0	5	500	3.75/1.0	1A	200	.5	10	250	.200	$3.20
HE721A12•0	12	1000	8.0/1.0	1A	200	.5	10	250	.200	3.20
HE721A24•0	24	2150	16/2.0	1A	200	.5	10	250	.200	3.35
HE722A05•0	5	200	3.75/1.0	2A	100	.110	3	200	.250	4.60
HE722A12•0	12	500	8.0/1.0	2A	100	.110	3	200	.250	4.60
HE722A24•0	24	2150	16/2.0	2A	100	.110	3	200	.250	4.60
HE721C05•0	5	200	3.75/1.0	1C	200	.250	3	250	.200	5.95
HE721C12•0	12	500	8.0/1.0	1C	200	.250	3	250	.200	5.95
HE721C24•0	24	2000	16/2.0	1C	100	.250	3	250	.200	6.65
HE721R05•0	5	200	3.75/1.0	1C	200	.250	3	250	.200	5.95
HE721F12•0	12	500	8.0/1.0	1C	200	.250	3	250	.200	5.95
HE721B24•0	24	2000	16/2.0	1C	200	.250	3	250	.200	6.65
HE721B05•0	5	200	3.75/1.0	1B	200	.250	3	250	.200	5.00
HE721B12•0	12	500	8.0/1.0	1B	200	.250	3	250	.200	5.00
HE721B24•0	24	2000	16/2.0	1B	200	.250	3	250	.200	5.50

•—1. W/diode 2. Electrostatic Shield 3. Diode & Electrostatic Shield

ประวัติผู้แต่ง

นาย อดิเทพ ชัยสังข์ เกิดเมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2512 ที่กรุงเทพ ฯ จบการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนสฤษดิเดชและชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี

เข้าศึกษาต่อขั้นอุดมศึกษาที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบังในคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกประยุกต์ ในปีการศึกษา 2530 และสำเร็จการศึกษา ในปี 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้