สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องตรวจน้ำเสียชนิด NDIR

NDIR FOR WASTEWATER CHECKING



นางสาวศุภมาส วัยปัทมะ
นายดนัย ชนะวงศ์วิสุทธิ์
นายปริญญา ธงศรีเจริญ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119188
วัน,เดือน,ปี - 6 S.A. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NDIR FOR WASTEWATER CHECKING

MISS.SUPAMAS WAIPATTAMA

MR.DANAI CHANAVONGVISUT

MR.PARINYA THONGSRIJAREAN



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องตรวจน้ำเสียชนิด NDIR

NDIR FOR WASTEWATER CHECKING

ผู้จัดทำ นางสาวศุภมาส วัยปัทมะ รหัส 49010988

นายดนัย ชนะวงศ์วิสุทธิ์ รหัส 50010524

นายปริญญา ธงศรีเจริญ รหัส 50010926

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นนทวัฒน์ จุลเดชะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตรวจวัดน้ำเสียชนิด NDIR

โดย

นางสาวศุภมาส วัยปัทมะ 49010988

นายดนัย ชนะวงศ์วิสุทธิ์ 50010524

นายปริญญา ธงศรีเจริญ 50010926

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะ

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอผลการศึกษาและการวิเคราะห์หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ TOC โดยจะเน้นที่ส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จุดมุ่งหมายของโครงงานคือเพื่อศึกษาการวิเคราะห์ปรับแต่งสัญญาณอนาล็อก และหาความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทและเอาท์พุทจากวงจรปรับแต่งสัญญาณ เปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎีโดยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุทกับสัญญาณเอาท์พุท และช่วงการทำงานที่มีประสิทธิภาพของวงจรในทั้งในเชิงเวลาและความถี่ สำหรับเป็นแนวทางการพัฒนาให้มีคุณภาพมากขึ้น รวมทั้งในการลดต้นทุนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NDIR FOR WASTEWATER CHECKING

By

Miss Supamas Waipattama

Mr. Danai Chanavongvisut

Mr. Parinya Thongsrijarern

Advisor

Asst. Prof. Dr. Nontawat Chuladaycha

Academic Year 2009

ABSTRACT

This thesis presents the result of study and analysis of TOC analyzer by focusing on electronic circuits. The goal is to study and analyze the analog signal conditioning, also compute the relation between input and output signal. After that, the result will be compared in term of frequency and time with the theory using computer simulation to specify the range of circuit efficiency. The result of study will be able to be used for the developing and decreasing the cost of manufacturing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผศ.ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่ต้น รวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงาน ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) เป็นอย่างยิ่งที่ได้มอบเครื่องวิเคราะห์ TOC ในส่วนของเซนเซอร์ชนิด NDIR พร้อมด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์มาให้ และได้ให้คำแนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับหลักการการทำงานของเครื่องนี้ด้วย

ขอขอบคุณพี่ๆ ปริญญาโท และเพื่อนๆ ทุกคนสำหรับคำแนะนำ กำลังใจ การกระตุ้นเตือน และการไถ่ถามความคืบหน้า

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีและเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงงานนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้จัดทำ

นางสาวศุภมาส วัยปัทมะ

นายดนัย ชนะวงศ์วิสุทธิ์

นายปริญญา ธงศรีเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ TOC (TOC Analyzer)	3
2.2 เซนเซอร์ชนิด NDIR (Non-Dispersive Infrared Sensor)	4
2.3 วงจรสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	6
2.3.1 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ พร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ	6
2.3.2 วงจรควบคุมแรงดันให้คงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด	7
2.4 ออปแอมป์ (OP-AMP) สำหรับวงจรปรับแต่งสัญญาณอนาล็อก	8
2.4.1 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)	9
2.4.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)	9
2.4.2 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง (Difference Amplifier)	10
2.4.3 วงจรเชิงเส้นแบบช่วง (Piecewise Linear Circuit)	10
2.4.4 การตอบสนองต่อความถี่ (Frequency Response) ของออปแอมป์ และการชดเชยทางความถี่ (Frequency Compensation)	12
2.5 วงจรกรองความถี่ (Filter)	12
2.5.1 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)	13
2.5.2 วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter)	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การทดลอง	16
3.1 วงจรพาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply)	16
3.2 วงจรปรับแต่งสัญญาณ (Signal Conditioning)	20
3.2.1 วงจรประกอบออปแอมป์ตัวที่ 1	20
3.2.2 วงจรประกอบออปแอมป์ตัวที่ 2	23
3.2.3 วงจรประกอบออปแอมป์ตัวที่ 3	25
บทที่ 4 บทวิจารณ์และสรุป	28
4.1 สรุปผลการทดลอง	25
4.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข	28
4.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการค้นคว้า	29
ภาคผนวก ก เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	31
ภาคผนวก ข เครื่องวิเคราะห์ TOC	39
เอกสารอ้างอิง	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบการวิเคราะห์ TOC	3
รูปที่ 2.2 เซนเซอร์ชนิด NDIR	4
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนรังสีของ CO2 ที่ความยาวคลื่นต่างๆ	5
รูปที่ 2.4 (1) วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ และ (2) เอาท์พุทเมื่อ $v_s = v_m \sin(\omega t)$	6
รูปที่ 2.5 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์กับตัวกรองความถี่และเอาท์พุตของวงจร	7
รูปที่ 2.6 คุณลักษณะเฉพาะของซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode Characteristics)	7
รูปที่ 2.7 วงจรรักษาแรงดันให้คงที่	8
รูปที่ 2.8 แสดงวงจรเสมือนของออปแอมป์ในอุดมคติ	8
รูปที่ 2.9 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส	9
รูปที่ 2.10 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	9
รูปที่ 2.11 วงจรขยายความแตกต่างแบบใช้ออปแอมป์ 1ตัว	10
รูปที่ 2.12 วงจรเชิงเส้นแบบช่วงแบบที่ 1	11
รูปที่ 2.13 วงจรเชิงเส้นแบบช่วงแบบที่ 2	11
รูปที่ 2.14 วงจรกรองความถี่และการทำงานของวงจรแต่ละชนิด	13
รูปที่ 2.15 ลักษณะของวงจรกรองความถี่ต่ำและกราฟของการกรองความถี่ต่ำ	13
รูปที่ 2.16 ลักษณะของวงจรกรองความถี่สูงและกราฟของการกรองความถี่สูง	14
รูปที่ 3.1 แผนผังวงจรส่วนพาวเวอร์ซัพพลาย	17
รูปที่ 3.2 ผลการจำลองเอาท์พุท #1	18
รูปที่ 3.3 ผลการจำลองเอาท์พุท #2	18
รูปที่ 3.4 วงจรปรับแต่งสัญญาณ	19
รูปที่ 3.5 วงจรประกอบออปแอมป์ LM709	20
รูปที่ 3.6 แสดงอินพุทและเอาท์ของวงจรประกอบออปแอมป์ตัวที่ 1	21
รูปที่ 3.7 แสดงอัตราขยายวงเปิดของ LM709	21
รูปที่ 3.8 แสดงค่าเฟสเลื่อนของ LM709	22
รูปที่ 3.9 แสดงผลจากตัวกรองความถี่ต่ำ	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 3.10 วงจรประกอบออปแอมป์ LM741 (ตัวที่ 1) พร้อมตัวกรองความถี่สูง 23

รูปที่ 3.11 แสดงอินพุทและเอาท์พุทจากวงจร 24

รูปที่ 3.12 แสดงผลจากตัวกรองความถี่สูง 25

รูปที่ 3.13 วงจรประกอบออปแอมป์ LM741 25

รูปที่ 3.14 แสดงอินพุทและเอาท์พุทจากวงจรเชิงเส้นแบบช่วง 26

รูปที่ 3.15 แสดงเอาท์พุท v_{o3} 26

รูปที่ 3. 16 วงจรประกอบออปแอมป์ LM741 (ตัวที่ 3) 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

เนื่องจากทางกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้ออกกฎหมายสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการจัดการทางน้ำไว้ว่า "โรงงานอุตสาหกรรมที่มีปริมาณน้ำทิ้งตั้งแต่ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะต้องติดตั้งเครื่องตรวจวัดดัชนีบ่งคุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) หรือค่า COD (Chemical Oxygen Demand) ของน้ำทิ้ง โดยที่สามารถตรวจวัดและส่งผลเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ของโรงงานเพื่อบันทึกข้อมูล และสามารถแสดงข้อมูลย้อนหลังได้อย่างต่อเนื่อง" แต่เนื่องจากการตรวจวัดค่า BOD และค่า COD นั้นมีความยุ่งยาก ใช้เวลาในการตรวจสอบนาน และยังเป็นอันตรายเนื่องจากต้องใช้ปฏิกิริยาเคมี จึงไม่เหมาะกับการตรวจสอบน้ำทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรม การวิเคราะห์ TOC (Total Organic Carbon) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำ โดยค่า TOC นี้สามารถปรับเทียบมาเป็นค่า BOD และ COD ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำได้เช่นกัน

การวิเคราะห์ TOC สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือวัด NDIR (Non-dispersive Infrared Sensor) ในการตรวจวัดปริมาณคาร์บอน ที่อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งจะได้มาจากการเผาน้ำตัวอย่าง หรือใช้การทำปฏิกิริยาทางเคมี ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องวิเคราะห์ TOC (TOC Analyzer) ให้สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์สัญญาณในระบบดิจิตอลได้แล้ว แต่เครื่องวิเคราะห์ในระบบดิจิตอลจะมีราคาสูง เมื่อเทียบกับเครื่องที่ใช้การวิเคราะห์สัญญาณที่ใช้ระบบอนาล็อก ทางสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จึงได้จัดทำวิจัย เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการทำงานและการพัฒนาเครื่องวิเคราะห์ TOC ขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้ได้เครื่องวิเคราะห์ TOC ที่มีราคาถูกและคุณภาพเทียบเท่ากับเครื่องที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่มีต้นทุนในการตรวจสอบต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

วัตถุประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้คือ เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ TOC ในส่วนของการตรวจวัดปริมาณคาร์บอนด้วย NDIR Sensor และในส่วนของวงจรปรับแต่งสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จาก NDIR Sensor นี้ในแบบของการปรับแต่งสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal Conditioning) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุทกับสัญญาณเอาท์พุท ในการวิเคราะห์หาช่วงการทำงานที่มีประสิทธิภาพของเครื่องวิเคราะห์ TOC สำหรับเป็นแนวทางในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างเครื่องวิเคราะห์ TOC ที่ทำงานด้วยระบบอนาล็อกขึ้น หรือเป็นแนวทางในการปรับปรุงและซ่อมแซมเครื่องวิเคราะห์ TOC แบบระบบอนาล็อกที่มีอยู่แล้วแต่ใช้งานไม่ได้ ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการตรวจวัดน้ำเสียของโรงงานขนาดเล็กด้วย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ TOC และเซนเซอร์ชนิด NDIR
2. ศึกษาการทำงานของวงจรที่ใช้ควบคู่กับเซนเซอร์ชนิด NDIR ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ วงจรพาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply) และวงจรปรับแต่งสัญญาณอนาล็อก (Signal Conditioning)
3. จำลองการทำงานของวงจรโดยใช้การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) ด้วยโปรแกรมพีสไปซ์ (PSPICE) เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุทของเครื่องวิเคราะห์ TOC รวมทั้งเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎี

1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวนำถึงวัตถุประสงค์ ที่มาของโครงงาน ขั้นตอนการศึกษา และขอบเขตการศึกษา พร้อมทั้งรายละเอียดของปริญญานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ TOC, การทำงานของเซนเซอร์ชนิด NDIR และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างวงจรปรับแต่งสัญญาณอนาล็อก (Signal Conditioning)

บทที่ 3 การทดลอง กล่าวถึงการทำการทดลอง รวมทั้งผลการทดลองโดยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมพีสไปซ์ (PSPICE) เพื่อเปรียบเทียบผลเอาท์พุทของวงจรจริงกับเอาท์พุทที่ได้ตามทฤษฎี

บทที่ 4 บทวิจารณ์และสรุป กล่าวถึงสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการปรับปรุงพัฒนาโครงงานนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

เนื้อหาในบทนี้จะประกอบด้วยความรู้พื้นฐาน ทฤษฎี และหลักการทำงานของเครื่องตรวจวัดน้ำเสีย รวมทั้งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวงจรต่างๆ ที่ใช้ร่วมกันกับเซนเซอร์ชนิด NDIR

2.1 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ TOC (TOC Analyzer)

TOC (Total Organic Carbon) หมายถึง ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่ประกอบอยู่ในสารอินทรีย์ มีความสำคัญคือ ถ้าตรวจพบว่าในแหล่งน้ำมีปริมาณ TOC มาก จะทำให้มีการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำ ซึ่งมีผลทำให้ความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น แหล่งน้ำจึงมีปริมาณออกซิเจนลดลง ในการตรวจสอบ สามารถหาปริมาณคาร์บอนประเภทนี้ในรูปของก๊าซบอนไดออกไซด์ โดยทั่วไปคาร์บอนรูปสารประกอบอินทรีย์ จะเป็นคาร์บอนที่พบในผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ หรือได้จากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ หรือได้จากการสังเคราะห์ของมนุษย์

เครื่องวิเคราะห์ TOC (TOC Analyzer) คือเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนในสารอินทรีย์ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนในน้ำ เพื่อที่จะทดสอบคุณภาพของน้ำว่าได้มาตรฐานหรือไม่ โดยมีขั้นตอนสำคัญในการวิเคราะห์ 4 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบการวิเคราะห์ TOC

1. ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง (Sampling Introduction) คือ ขั้นตอนการเก็บน้ำตัวอย่างหรือสารตัวอย่างเข้าไปในระบบการวิเคราะห์ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น Syringe, Auto-sampler, Process/online และ Loop Sampling เป็นต้น

2. ขั้นตอนการทำปฏิกิริยา (Reaction) คือ ขั้นตอนของการทำปฏิกิริยาหรือการออกซิไดซ์เพื่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอน หลังจากนั้นจะทำการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยวิธีการทำปฏิกิริยาที่นิยมใช้มีด้วยกัน 2 วิธี คือ การออกซิไดซ์แบบเปียก (Wet Oxidation) หรือการออกซิไดซ์ด้วยรังสียูวีเพอร์ซัลเฟต (UV/Persulfate) และการออกซิไดซ์โดยอาศัยความร้อนหรือการเผาไหม้ (Thermal หรือ Combustion Oxidation)

3. ขั้นตอนการตรวจวัด (Detecting) คือ ขั้นตอนการวัดค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นหลังจากการทำปฏิกิริยา ซึ่งตัวตรวจวัดหรือดีเทคเตอร์ (Detector) มีให้เลือกใช้หลายแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น แบบ NDIR (Non dispersive Infrared) ใช้วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือ โคลูเมตริก (Columetric) ใช้วัดค่าความเป็นกรด-เบส

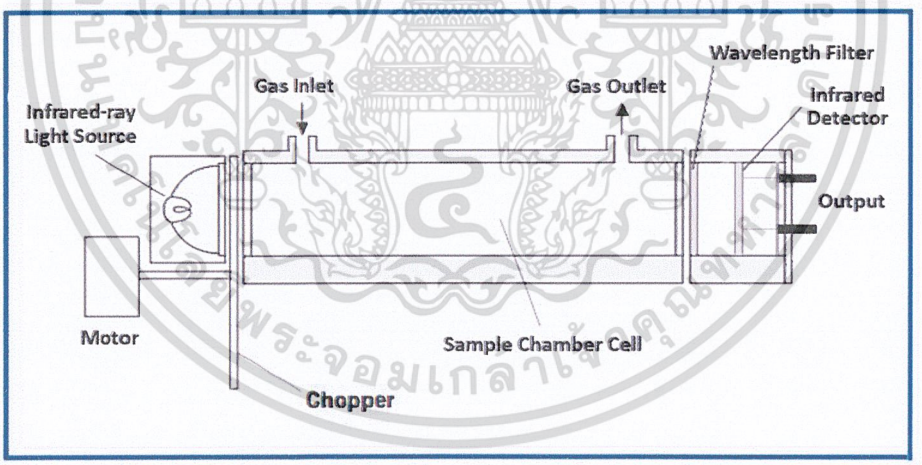
4. ขั้นตอนการแสดงผล (Display) คือ ขั้นตอนการรายงานผลจากการวิเคราะห์ สามารถรายงานได้ในรูปแบบต่างๆ เช่น แสดงเป็นกราฟ รวมไปถึงการเก็บบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์

2.2 เซนเซอร์ชนิด NDIR (Non-Dispersive Infrared Sensor)

เซนเซอร์ชนิด NDIR เป็นเครื่องมือวัดแบบสเปคโตรสโคฟี (Spectroscopy) โดยใช้หลักการที่ว่ารังสีอินฟราเรด (Infrared) จะถูกดูดกลืนด้วยสารต่างชนิดกันไม่เท่ากัน และสารต่างชนิดกันจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่างกัน เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นช่วง 4 ถึง 4.5 ไมโครเมตร (โดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 4.26 ไมโครเมตร)

ส่วนประกอบหลักของเซนเซอร์ชนิด NDIR

1. แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด (Infrared Source)
2. หลอดตัวอย่าง (Sample Chamber or Light Tube)
3. ตัวกรองความยาวคลื่น (Wavelength Filter)
4. ตัวตรวจจับอินฟราเรด (Detector)



รูปที่ 2.2 เซนเซอร์ชนิด NDIR

การตรวจวัดของเซนเซอร์ชนิด NDIR จะเริ่มจาก ผ่านก๊าซที่ต้องการตรวจสอบผ่านเข้าไปในหลอดตัวอย่าง ซึ่งภายในมีแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดอยู่ที่ปลายด้านหนึ่ง และมีการฉายแสงอินฟราเรดอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นรังสีอินฟราเรดจะถูกฉายผ่านก๊าซตัวอย่างไปยังอีกด้านหนึ่งของหลอด และจะถูกดูดกลืนด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปะปนอยู่ในก๊าซตัวอย่าง ทำให้รังสีอินฟราเรดมีความเข้มแสงลดลง ที่ปลายอีกด้านของหลอดตัวอย่างจะมีตัวกรองความยาวคลื่น (Wavelength Filter) เพื่อใช้กรองความยาวคลื่นที่ไม่ต้องการพิจารณาออกไป และต่อจากตัวกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นจะเป็นตัวตรวจวัดรังสีอินฟราเรด (Infrared Detector) ซึ่งปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ตรวจวัดได้ จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปนอยู่ในก๊าซที่นำมาตรวจสอบ และเป็นไปตามกฎของ **Beer-Lambert Law** ซึ่งกล่าวไว้ว่า *"สำหรับรังสีที่เป็นรังสีชนิดลำแสงขนาน และความยาวคลื่นเดียว ที่ผ่านตัวอย่างที่เป็นสารละลายเนื้อเดียว ค่าแอบซอร์แบนซ์จะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของตัวอย่าง และระยะทางที่แสงส่องผ่านตัวอย่าง"* ซึ่งเขียนเป็นสมการได้คือ

$$A = alc \tag{2-1}$$

และ

$$A = \log\frac{I_0}{I} \tag{2-2}$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืน (Absorbance)

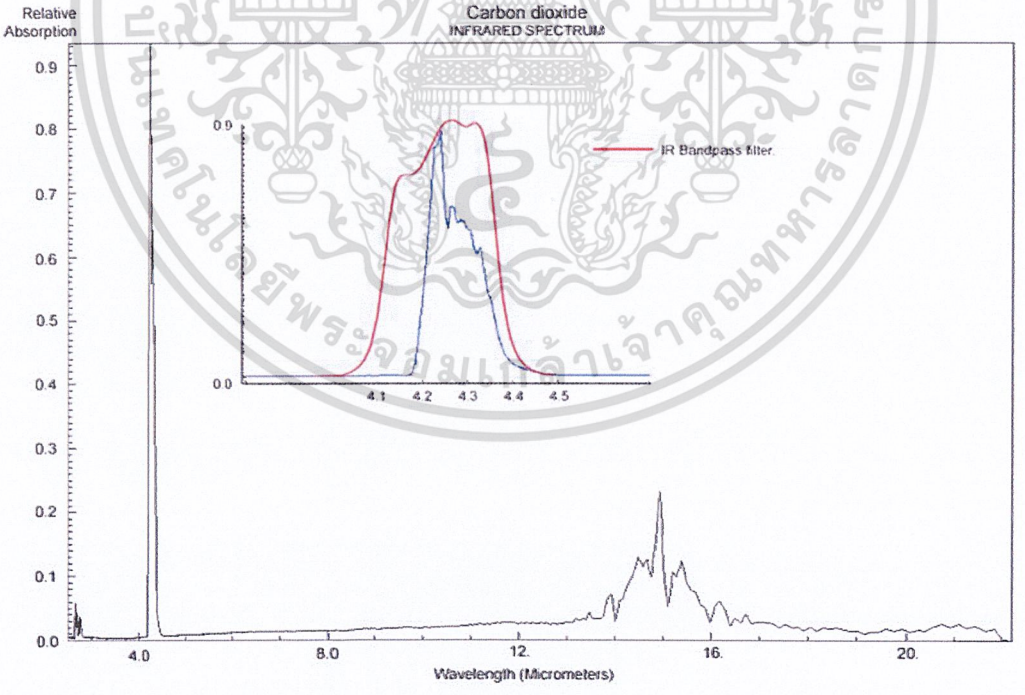
a = สภาพการดูดกลืน

l = ความกว้างของเซลล์ หรือระยะทางที่แสงส่องผ่านตัวอย่าง

c = ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง

I_0 = ปริมาณแสงที่ผ่านเข้าไป

I = ปริมาณแสงที่ผ่านการดูดกลืน



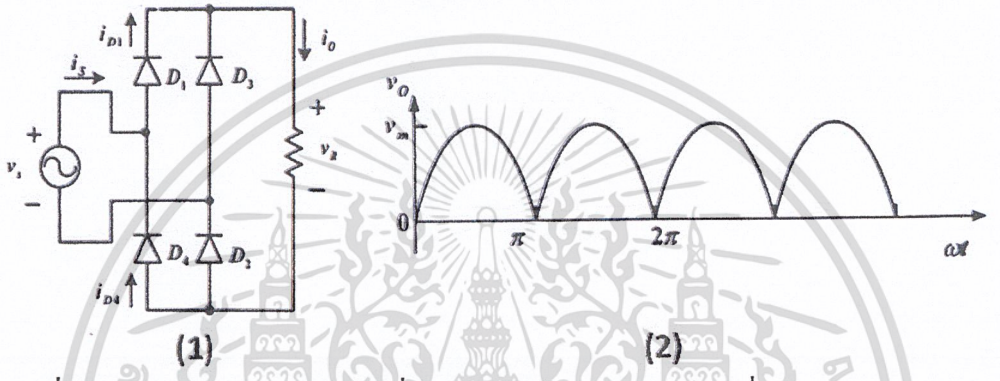
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนรังสีของ CO_2 ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วงจรสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

2.3.1 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ พร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) คือวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาท์พุตของวงจร มีลักษณะเหมือนวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น เพราะแรงดันเอาท์พุทที่ได้เป็นแบบเต็มคลื่น ข้อแตกต่างระหว่างการเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์และแบบเต็มคลื่นธรรมดาคือการต่อวงจรไดโอด แบบเต็มคลื่นจะใช้ไดโอด 2 ตัว แต่แบบบริดจ์จะใช้ไดโอด 4 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.4

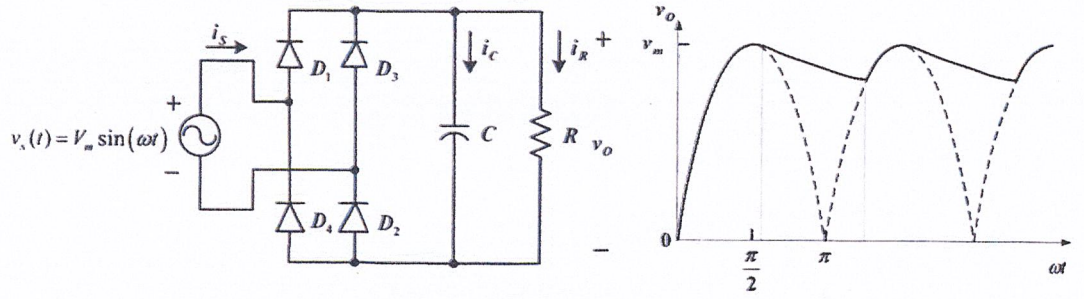


รูปที่ 2.4 (1) วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ และ (2) เอาท์พุทเมื่อ $v_s = v_m \sin(\omega t)$

การทำงานของวงจร ไดโอดจะนำกระแสครั้งละเป็นคู่ เมื่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (V_s) อยู่ในด้านบวก จะทำให้ไดโอด D_1 และ D_2 ได้รับการไบอัสตรง และเมื่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (V_s) อยู่ในด้านลบ จะทำให้ไดโอด D_3 และ D_4 ได้รับไบอัสตรง จึงเป็นผลให้แรงดันไฟฟ้าที่โหลดจะมีค่าเป็นบวกหรือเป็นศูนย์เท่านั้น จะไม่มีโอกาสเป็นลบ

แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรเรียงกระแสยังมีระลอกคลื่นปนอยู่ปริมาณสูง ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จะต้องนำแรงดันนี้ไปผ่านวงจรกรองก่อนที่จะนำไปใช้งาน วงจรกรองแบบที่ง่ายและนิยมที่สุดก็คือ วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ โดยใช้ตัวเก็บประจุ (C) ต่อขนานกับตัวต้านทานโหลด ตัวเก็บประจุนี้จะทำหน้าที่เก็บประจุไว้ในช่วงเวลาไดโอดนำกระแสและทำหน้าที่คายประจุผ่านตัวต้านทานโหลดในช่วงเวลาที่ไดโอดไม่นำกระแส การทำงานของวงจรกรองจะทำการกรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ยังไม่เรียบให้มีความราบเรียบยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้งานกับวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ อีกทั้งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้เมื่อผ่านการกรองแรงดันแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้น

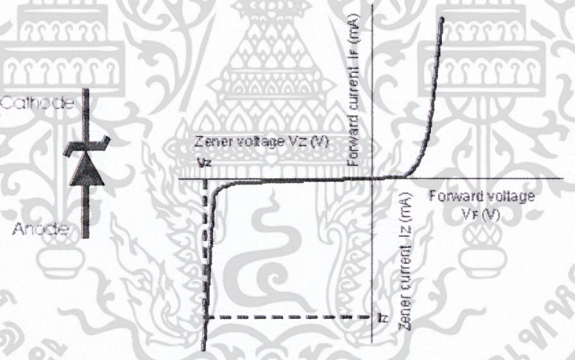
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์กับตัวกรองความถี่และเอาท์พุตของวงจร

2.3.2 วงจรควบคุมแรงดันให้คงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด

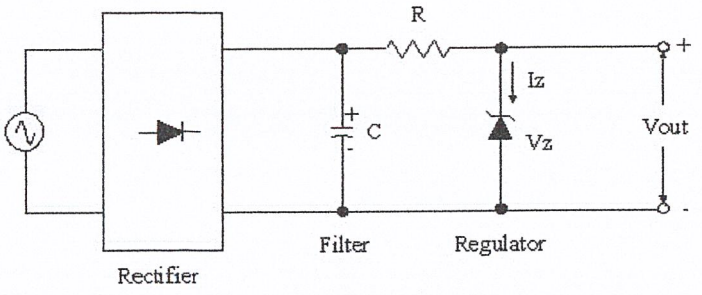
ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) คือไดโอดที่ผลิตขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำพี (P) และเอ็น (N) เช่นเดียวกับไดโอดธรรมดา มีขาแอโนด (A) และขาแคโถด (K) เหมือนกัน แต่การทำงานและการใช้งานจะแตกต่างกัน ตรงที่ไดโอดธรรมดาจะทำงานเฉพาะในช่วงไบอัสตรง ส่วนซีเนอร์ไดโอดในการที่จะนำไปใช้งานจะต้องจ่ายไบอัสกลับจนถึงจุดเบรคดาวน์ (Zener Breakdown) และจะทำงานเป็นอุปกรณ์ควบคุมแรงดันให้คงที่ตลอดเวลาด้วยค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเบรกดาวน์ (Breakdown Voltage, V_z)



รูปที่ 2.6 คุณลักษณะเฉพาะของซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode Characteristics)

ในวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเบื้องต้นที่ประกอบไปด้วยหม้อแปลง ไดโอดเรียงกระแส (Rectifier) และตัวเก็บประจุกรองแรงดันไฟฟ้า มีข้อดีคือประกอบใช้งานง่าย แต่มีข้อเสียคือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จะยังไม่เรียบ มีการกระเพื่อมหรือริพเปิ้ล (Ripple) อยู่ และอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าสูงเมื่อมีโหลดและไม่มีโหลด ซึ่งเรียกว่าวงจรโวลต์เตจเร็กกูเลชั่น (Voltage Regulation) จึงไม่เหมาะสำหรับเป็นภาคจ่ายไฟให้วงจรขยายสัญญาณระดับต่ำ การลดริพเปิ้ลของส่วนจ่ายไฟลงนิยมใช้วงจรกรองกระแสแบบอาร์ซี (RC Filter) แต่ก็ยังมีโวลต์เตจเร็กกูเรชันสูงอยู่ ดังนั้นวงจรซีเนอร์โวลต์เตจเร็กกูเรชั่นจึงถูกนำมาใช้ในวงจรจ่ายไฟกำลังต่ำ เพื่อขจัดปัญหาเกี่ยวกับริพเปิ้ล และโวลต์เตจเร็กกูเรชันออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



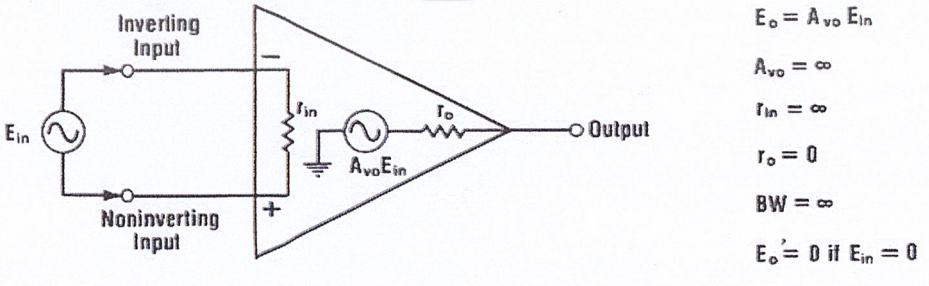
รูปที่ 2.7 วงจรรักษาแรงดันให้คงที่

การสร้างวงจรรักษาแรงดันให้คงที่ให้กับวงจรจ่ายไฟกำลังต่ำ ทำได้โดยต่อซีเนอร์ไดโอดอนุกรมกับตัวต้านทาน แล้วนำไปต่อกับเอาท์พุทของวงจรจ่ายไฟ ส่วนแรงดันเอาท์พุทของวงจรคือแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด ในการเลือกตัวต้านทานที่นำมาต่ออนุกรมกับซีเนอร์ไดโอดจะต้องมีค่ามากพอที่จะจำกัดกระแสไฟฟ้าไม่ให้ไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดในขณะไม่มีโหลดเกินค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{zm}) ที่ซีเนอร์ไดโอดจะทนได้

2.4 ออปแอมป์ (OP-AMP) สำหรับวงจรปรับแต่งสัญญาณอนาล็อก

ออปแอมป์ (Op-Amp) เป็นชื่อย่อสำหรับเรียกวงจรขยายที่มาจากโอเปอร์เรทติ้ง แอมปลิไฟเออร์ (Operating Amplifier) เป็นตัวขยายที่มีการส่งผ่านแบบตรง (Direct-Coupling) มีคุณสมบัติของออปแอมป์ในทางอุดมคติ คือ

1. อัตราขยายมีค่าสูงมากเป็นอนันต์ ($A_{vo} = \infty$)
2. ค่าความต้านทานอินพุทมีค่าสูงมากเป็นอนันต์ ($R_{in} = \infty$)
3. ค่าความต้านทานเอาท์พุทมีค่าต่ำมากเท่ากับศูนย์ ($R_o = 0$)
4. ความกว้างของแบนด์วิท (Bandwidth) ในการขยายสูงมาก
5. สามารถขยายได้ทั้งสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) และสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง (DC)
6. การทำงานไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรเสมือนของออปแอมป์ในอุดมคติ

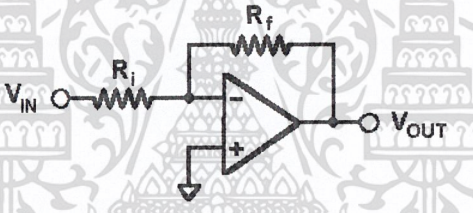
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อศึกษาคุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติแล้วพบว่า ออปแอมป์ได้รวมข้อดีของวงจรขยายไว้ได้อย่างครบถ้วน เนื่องจากที่มีอัตราขยายเป็นอนันต์ และสามารถขยายสัญญาณได้ทั้งไฟกระแสสลับและไฟกระแสตรง การนำไปใช้งานในบางครั้งเมื่อต้องการลดอัตราการขยายก็สามารถกระทำได้โดยการป้อนกลับ (Feedback) เพื่อมาลดอัตราการขยายลง และข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือความต้านทานทางด้านอินพุทมีค่าสูงมาก จึงทำให้เหมือนไม่มีกระแสอินพุทไหลเลย ลักษณะเช่นนี้จึงทำให้วงจรทางอินพุทไม่โหลดวงจรส่งกำลังในส่วนหน้า เช่นเดียวกันที่เอาท์พุทมีค่าความต้านทานเป็นศูนย์ จึงสามารถนำไปเชื่อมต่อกับวงจรอื่นได้ดี

2.4.1 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส คือ วงจรออปแอมป์ที่ออกแบบมาเพื่อให้อัตราขยายแรงดัน (Voltage Gain) มีค่าเป็นลบ หรือให้ค่าเอาท์พุทมีค่าตรงข้ามกับค่าอินพุท มีลักษณะการต่อใช้งานดังรูปที่ 2.9 ค่าอัตราขยายของวงจรจะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_i} \tag{2-3}$$

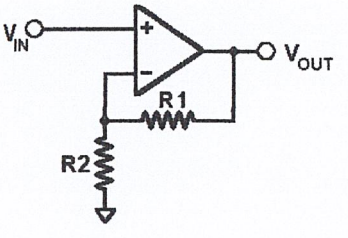


รูปที่ 2.9 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

2.4.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส คือ วงจรออปแอมป์ที่ออกแบบมาเพื่อให้อัตราขยายแรงดัน (Voltage Gain) มีค่าเป็นบวก หรือให้ค่าเอาท์พุทคงค่าเครื่องหมายเหมือนเดิมไว้ มีลักษณะการต่อใช้งานดังรูปที่ 2.10 ค่าอัตราขยายของวงจรจะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \tag{2-4}$$



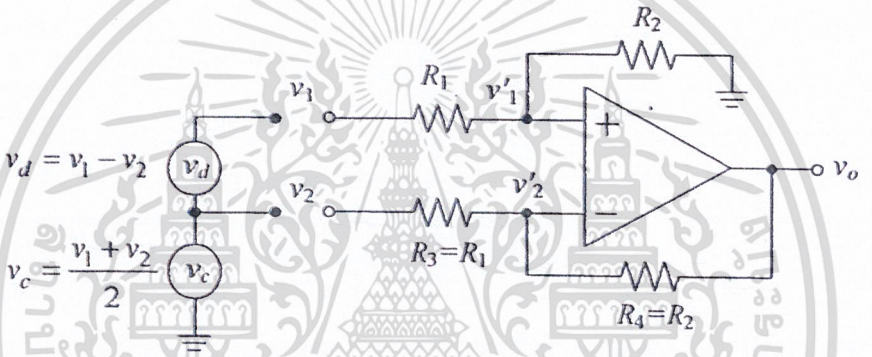
รูปที่ 2.10 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง (Difference Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณผลต่างหรือวงจรลบ เป็นวงจรที่ถูกนำมาใช้งานวัดคุมทางอุตสาหกรรมกันอย่างมาก ในการขยายผลต่างของสัญญาณสองสัญญาณ เช่น สัญญาณค่าอ้างอิงและสัญญาณที่ป้อนกลับจากระบบหรือสัญญาณจากตัวตรวจวัดต่างๆ เป็นต้น วงจรขยายสัญญาณความต่างแบบพื้นฐานที่ใช้ออปแอมป์ 1 ตัวแสดงในรูปที่ 2.11 โดยโครงสร้างของวงจรจะประกอบด้วย 2 วงจรรวมกัน คือ วงจรขยายสัญญาณแบบกลับขั้ว (Inverting Amplifier) เมื่อให้สัญญาณจุดเข้า v_1 เป็นศูนย์ และวงจรขยายแบบไม่กลับขั้ว (Non-Inverting Amplifier) เมื่อให้สัญญาณจุดเข้า v_2 เป็นศูนย์ ค่าอัตราขยายของวงจรจะมีค่าเท่ากับ

$$v_o = \frac{R_2}{R_1}(v_1 - v_2) \tag{2-5}$$



รูปที่ 2.11 วงจรขยายความแตกต่างแบบใช้ออปแอมป์ 1ตัว

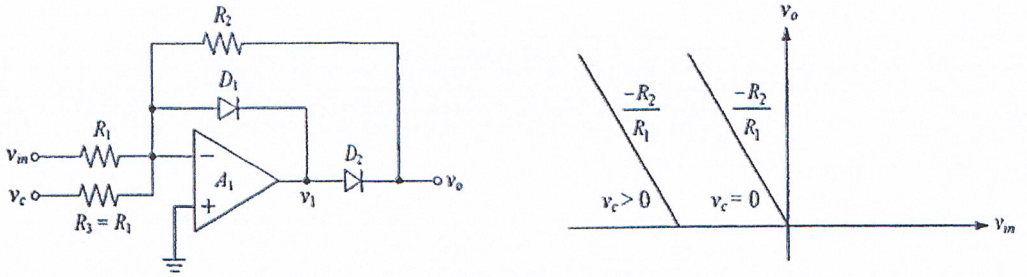
ค่าอัตราขยายของวงจรสามารถปรับค่าได้โดยการแปรค่าความต้านทาน R_1 หรือ R_2 ไปพร้อมกัน แต่ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถทำได้เนื่องจากความต้านทาน R_1 หรือ R_2 จะไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าไปพร้อมกันและมีค่าที่เท่ากัน

2.4.4 วงจรเชิงเส้นแบบช่วง (Piecewise Linear Circuit)

วงจรเชิงเส้นแบบช่วงถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านการสังเคราะห์ฟังก์ชันที่ใช้การประมาณฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Function) เช่น ฟังก์ชันไซน์ (Sine), ฟังก์ชันรากที่สอง (Square-Root), ล็อกกาลิทึ่ม (Logarihmic) และเอ็กโปเนนเชียล (Exponential) เป็นต้น

วงจรเชิงเส้นแบบช่วง จะใช้คุณสมบัติของไดโอดในการจำกัดช่วงการทำงานของออปแอมป์ โดยมีวงจรแสดงดังรูปที่ 2.12 และรูปที่ 2.13 เมื่อ v_{in} คือแรงดันไฟฟ้าจุดเข้า และ v_c คือ แรงดันไฟฟ้าจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold Voltage)

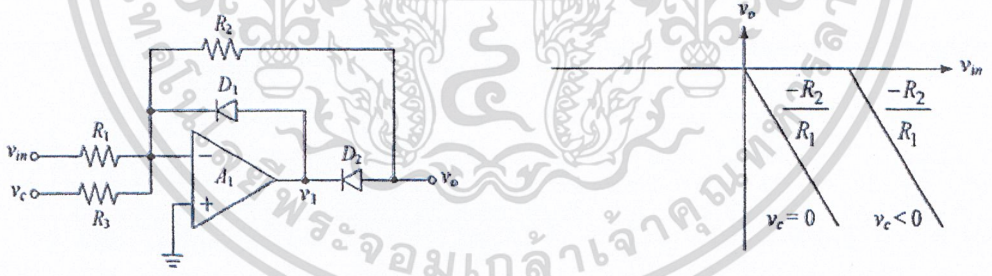
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 วงจรเชิงเส้นแบบช่วงแบบที่ 1

จากรูปที่ 2.12 วงจรนี้จะทำหน้าที่เช่นเดียวกับวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น เมื่อแรงดันไฟฟ้าอินพุทมีค่าเป็นบวก ไดโอด D1 จะนำกระแสไฟฟ้าเนื่องจากได้รับการไบอัสตรงทำให้ออปแอมป์ทำงานครบวงจร เอาท์พุทที่โหนด v_1 จะมีค่าเป็นลบ จึงทำให้ไดโอด D2 ไม่นำกระแสไฟฟ้า เอาท์พุท v_o จึงมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อแรงดันไฟฟ้าอินพุทมีค่าเป็นลบ ไดโอด D2 จะไม่นำกระแส ทำให้กระแสต้องไหลผ่านทางตัวต้านทาน R_2 ออปแอมป์จึงทำงานครบวงจรแบบวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) ไดโอด D2 จึงนำกระแส ทำให้ได้อัตราขยายเท่ากับ

$$\frac{v_o}{(|v_{in}|-v_c)} = -\frac{R_2}{R_1} \qquad \text{สำหรับ } v_{in} \leq -v_c \qquad (2\text{-}6)$$



รูปที่ 2.13 วงจรเชิงเส้นแบบช่วงแบบที่ 2

สำหรับวงจรเชิงเส้นแบบช่วงแบบที่ 2 ในรูปที่ 2.13 จะมีหลักการทำงานแบบเดียวกับแบบที่ 1 ที่ได้กล่าวมาข้างต้น แต่ช่วงการทำงานจะตรงกันข้าม คือในช่วงที่สัญญาณอินพุทมีค่าเป็นลบ เอาท์พุทจะมีค่าเป็นศูนย์ และช่วงที่สัญญาณอินพุทเป็นบวก จะได้เอาท์พุทที่มีอัตราขยายของวงจรเท่ากับ

$$\frac{v_o}{(v_{in}-v_c)} = -\frac{R_2}{R_1} \qquad \text{สำหรับ } v_{in} \geq |v_c| \qquad (2\text{-}7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 การตอบสนองต่อความถี่ (Frequency Response) ของออปแอมป์ และการชดเชยทางความถี่ (Frequency Compensation)

โดยทั่วไปแล้วในการใช้งานออปแอมป์ เอาท์พุทที่ได้จะมีเฟสเลื่อน (Phase shift) ไปจากเฟสของอินพุท ซึ่งเป็นผลมาจากค่ามุมภายในของออปแอมป์ โดยค่าของเฟสเลื่อนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความถี่มีค่าเพิ่มขึ้น และที่ความถี่เฉพาะค่าหนึ่งจะทำให้ผลรวมของเฟสเลื่อนทั้งหมดเท่ากับ 360° ซึ่งถ้าเกิดเหตุการณ์นี้ขึ้น การทำงานออปแอมป์ก็จะมีแนวโน้มที่จะกลายเป็นไม่เสถียร และมีโอกาสเกิดการออสซิเลต (Oscillate) หรือการแกว่งขึ้นได้ ซึ่งในการใช้งานจึงต้องหลีกเลี่ยงการทำงานของออปแอมป์ที่ความถี่นั้น สำหรับความถี่ที่ทำให้เกิดการออสซิเลต คือความถี่ของจุดที่มีอัตราส่วนระหว่างอัตราขยายแรงดันวงเปิด (Open Loop Gain, M) ต่ออัตราขยายแรงดันวงปิด (Close Loop Gain, A_v) มีค่าเท่ากับหนึ่ง

$$M/A_v = 1 \tag{2-8}$$

และที่ความถี่นั้นทำให้เฟสเลื่อน (θ) มีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ $-180°$ ซึ่งจะทำให้ผลรวมของเฟสเลื่อน ($\emptyset$) มีค่าเป็น

$$\emptyset = -180° + \theta \approx -360° \tag{2-9}$$

สำหรับการป้องกันไม่ให้เกิดการออสซิเลตสามารถทำได้โดยต่อตัวเก็บประจุ (Capacitors) และตัวต้านทาน (Resistors) เพิ่มไปในวงจรออปแอมป์ ทั้งนี้จะช่วยลดอัตราขยายแรงดัน หรือทำให้เฟสเลื่อนมีค่าลดลง โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของการต่อชดเชย

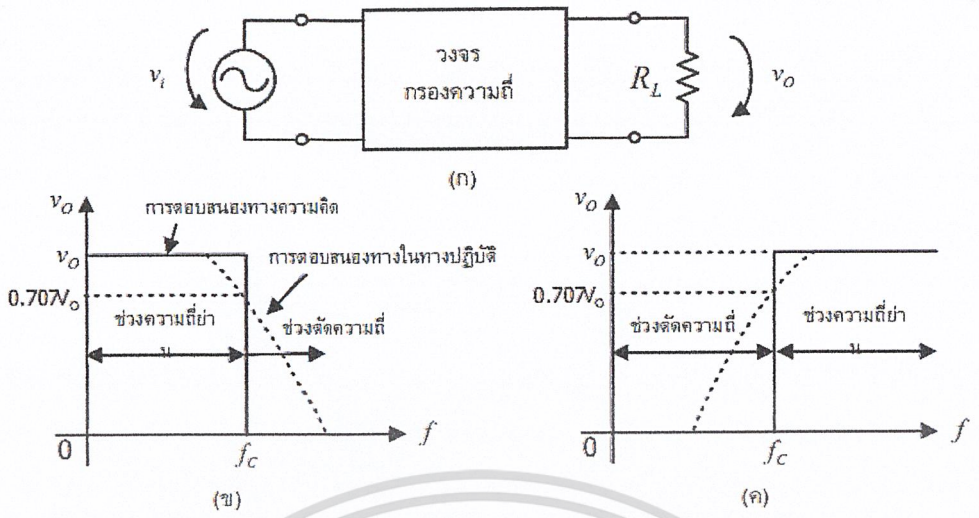
ผลจากความถี่มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้วงจรเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติอยู่ 2 ประการ คือ

- อัตราขยายแรงดัน (Voltage Gain) จะลดลง ซึ่งสังเกตได้จากแรงเอาท์พุทมีค่าลดลง
- เฟสเลื่อน (Phase Shift) ระหว่างเอาท์พุทกับอินพุทจะมีค่ามากขึ้น

2.5 วงจรกรองความถี่ (Filter)

ในการใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์บางครั้ง เราต้องการให้สัญญาณบางความถี่ผ่านเข้าไปได้เท่านั้น โดยที่สัญญาณซึ่งมีความถี่นอกเหนือจากนั้นจะถูกกำจัดออกไป แบ่งลักษณะของวงจรกรองความถี่ได้เป็น 2 ชนิด คือ วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter, LPF) และวงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter, HPF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

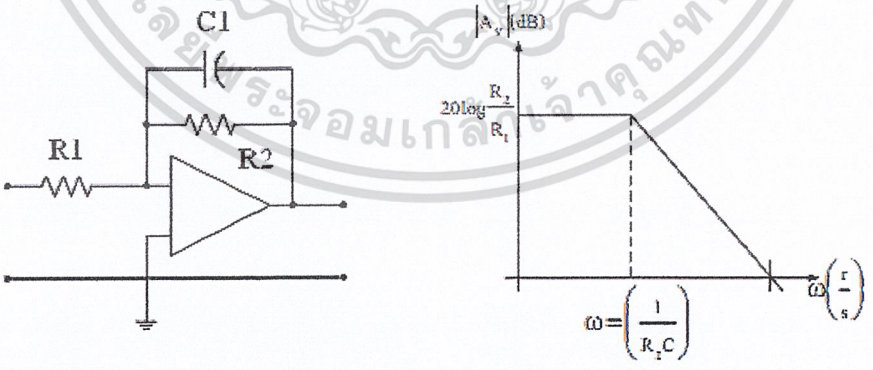


รูปที่ 2.14 วงจรกรองความถี่และการทำงานของวงจรแต่ละชนิด

ผลการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำ ดังรูปที่ 2.14 (ข) จะพบว่าในทางอุดมคติ ถ้าความถี่ของอินพุทมีค่ามากกว่าความถี่ตัดที่ต้องการ (Cut off frequency, f_c) แล้ว ซึ่งโดยปกติจะคิดที่ประมาณ 0.707 เท่าของแรงดันเอาท์พุท *(Vo)* วงจรจะตัดสัญญาณความถี่นั้นไม่ให้ออกไปที่เอาท์พุทเลย แต่ในทางปฏิบัติวงจรไม่สามารถตอบสนองความถี่เช่นนี้ได้ วงจรจะค่อยๆ ลดการตอบสนองความถี่ของช่วงที่ไม่ต้องการลง สวนผลการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงดัง รูปที่ 2.14 (ค) มีลักษณะตรงกันข้ามกับวงจรกรองความถี่ต่ำ

2.5.5 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)

วงจรกรองความถี่ต่ำ จะทำหน้าที่กำจัดสัญญาณความถี่สูงๆ หรือความถี่ของสัญญาณรบกวนไม่ให้ผ่านไปยังเอาท์พุท ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ลักษณะของวงจรกรองความถี่ต่ำและกราฟของการกรองความถี่ต่ำ

สามารถหาอัตราขยายของวงจรได้จาก

$$Av = \frac{v_0}{v_i} = \frac{(-R_2)/R_1}{1+j\omega R_2 C} \qquad (2\text{-}10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ค่าที่ได้ ยังเป็นจำนวนเชิงซ้อน ต้องทำการใส่ค่าสัมบูรณ์ให้กับ Av

$$|Av| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+(\omega R_2 C)^2}} \tag{2-11}$$

พิจารณาที่ความถี่ต่ำมากๆ จะได้ $\omega \rightarrow 0$ ดังนั้นสมการ (2-11)

$$|Av| \cong \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+0}} = \frac{R_2}{R_1} \tag{2-12}$$

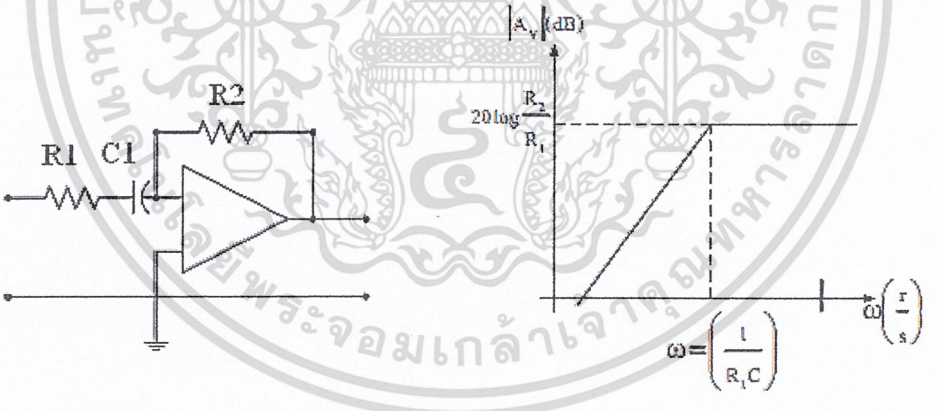
พิจารณาที่ความถี่สูงมากๆ จะได้ $\omega \rightarrow \infty$ ดังนั้นสมการ (2-11)

$$|Av| \cong \frac{R_2/R_1}{\omega R_2 C} \cong 0 \tag{2-13}$$

สามารถนำไปเขียนกราฟได้ โดยที่ความถี่ต่ำๆ กราฟที่ได้จะมีความชันเป็นศูนย์ ส่วนความถี่สูงจะมีความเท่ากับ – 20 เดซิเบลต่อหนึ่งดีเคด (อัตราขยายลดลง 20 เดซิเบลต่อความถี่ที่เพิ่มขึ้น 10 เท่า) และเส้นทั้งสองตัดกันที่จุด $\omega = \frac{1}{R_2 C}$ และสามารถนำไปเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 2.15

2.5.6 วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter)

วงจรกรองความถี่สูง จะทำหน้าที่กำจัดสัญญาณความถี่ต่ำๆ หรือสัญญาณไฟฟ้าตรงไม่ให้ผ่านไปยังเอาท์พุท ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ลักษณะของวงจรกรองความถี่สูงและกราฟของการกรองความถี่สูง

สามารถหาอัตราขยายวงจรได้จาก

$$Av = \frac{v_o}{v_i} = \frac{(-R_2)/R_1}{1-j/\omega R_2 C} \tag{2-14}$$

แต่ค่าที่ได้ยังเป็นจำนวนเชิงซ้อน ต้องทำการใส่ค่าสัมบูรณ์ให้กับ Av

$$|Av| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+(j/\omega R_2 C)^2}} \tag{2-15}$$

พิจารณาที่ความถี่ต่ำมากๆ จะได้ $\omega \rightarrow 0$ ดังนั้นสมการ (2-15) จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|Av| \cong \frac{R_2/R_1}{1/\omega R_2 C} \cong 0 \qquad (2\text{-}16)$$

พิจารณาที่ความถี่สูงมากๆ จะได้ $\omega \to \infty$ ดังนั้นสมการ (2-15) จะเป็น

$$|Av| \cong \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+0}} = \frac{R_2}{R_1} \qquad (2\text{-}17)$$

สามารถนำไปเขียนกราฟได้ โดยที่ความถี่ต่ำ กราฟจะมีความชันเป็น +20 เดซิเบลต่อหนึ่งดีเคด ส่วนความถี่สูงจะมีความชันเป็นศูนย์ และเส้นทั้งสองตัดกันที่จุด $\omega = \frac{1}{R_1 C}$ และสามารถนำไปเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 2.16

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลอง และผลการทดลอง ที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรจริงที่ใช้สำหรับเซนเซอร์ชนิด NDIR ควบคู่ไปกับผลของภาคทฤษฎี โดยการใช้โปรแกรม PSPICE ในการจำลองผลการทดลอง และแบ่งการทำทดลองออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ ตามองค์ประกอบของวงจรที่ใช้กับเซนเซอร์ชนิด NDIR

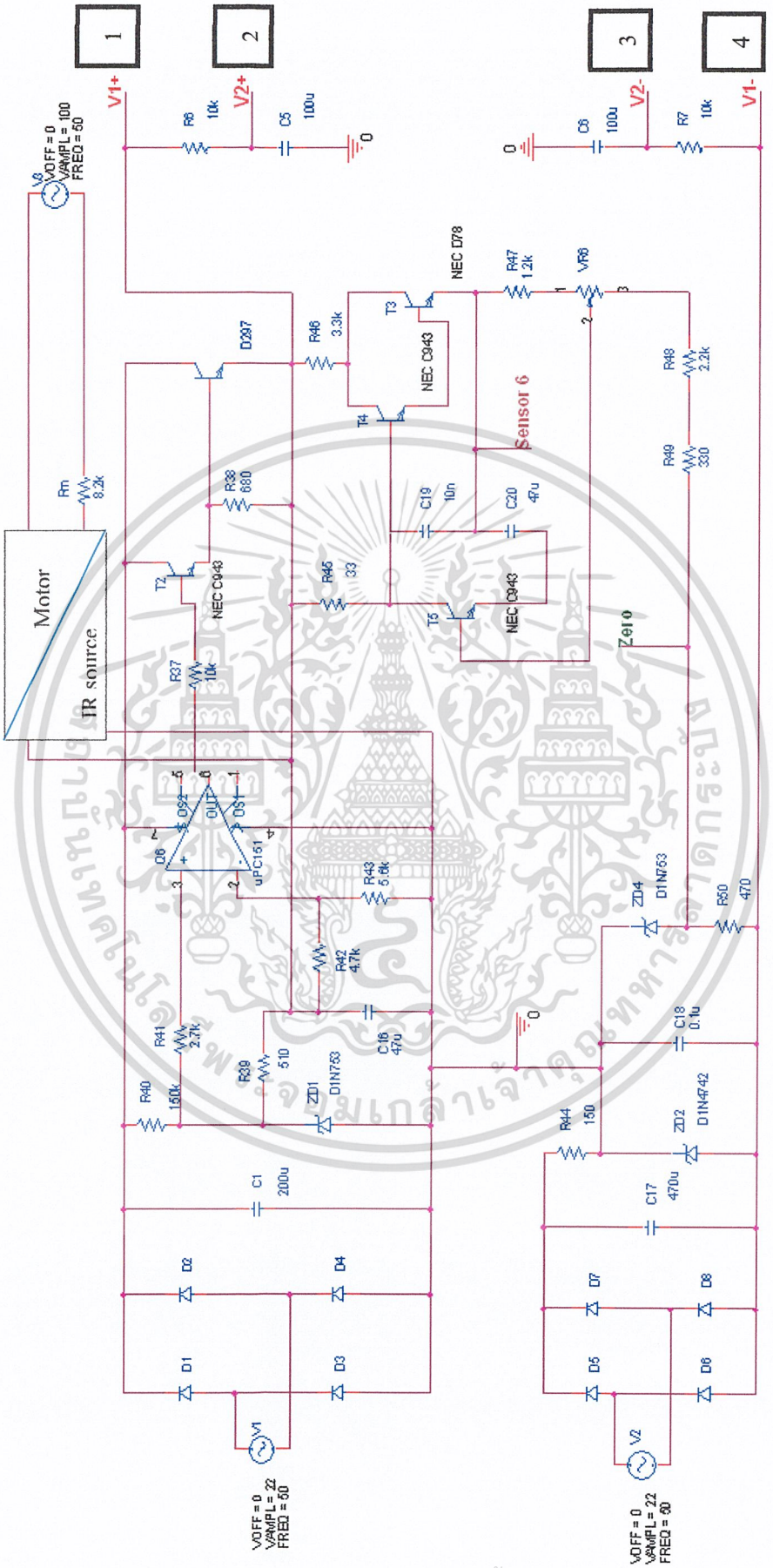
3.1 วงจรพาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply)

วงจรพาวเวอร์ซัพพลายมีหน้าที่สร้างแรงดันไฟฟ้า และจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรปรับแต่งสัญญาณ และเซนเซอร์ชนิด NDIR แสดงในรูปที่ 3.1 ประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ

- วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นแบบบริดจ์พร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ 2 ชุด เชื่อมต่อกัน ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
- วงจรควบคุมแรงดันให้คงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด ต่ออยู่กับวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นแบบบริดจ์ สำหรับคงแรงดันไฟฟ้าไม่ให้เปลี่ยนแปลงในกรณีมีการเปลี่ยนแปลงโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

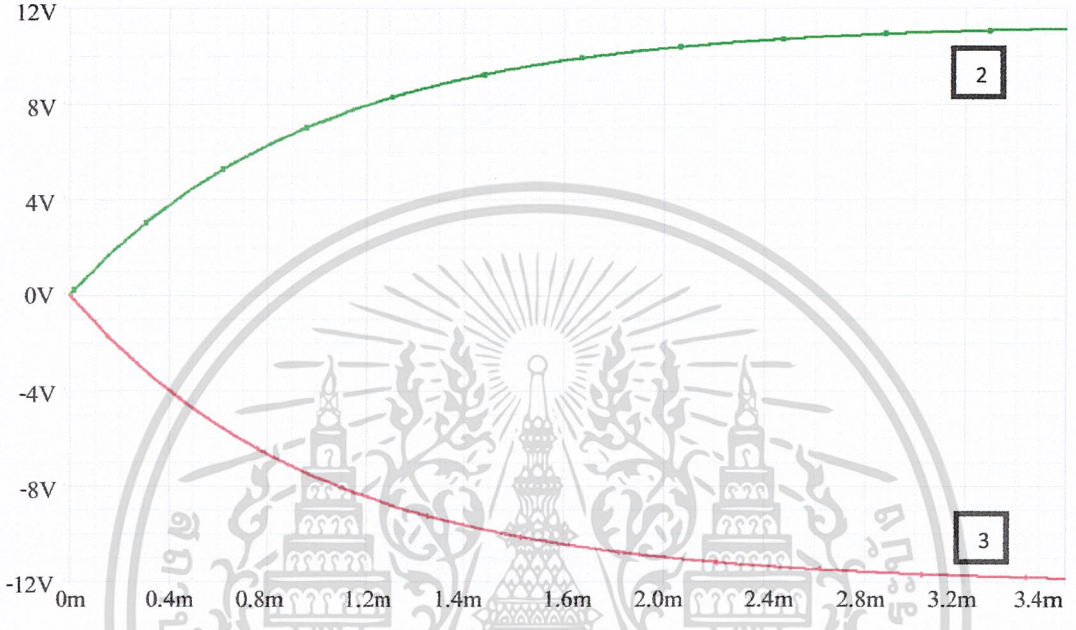


รูปที่ 3.1 แผนผังวงจรส่วนพาวเวอร์ซัพพลาย

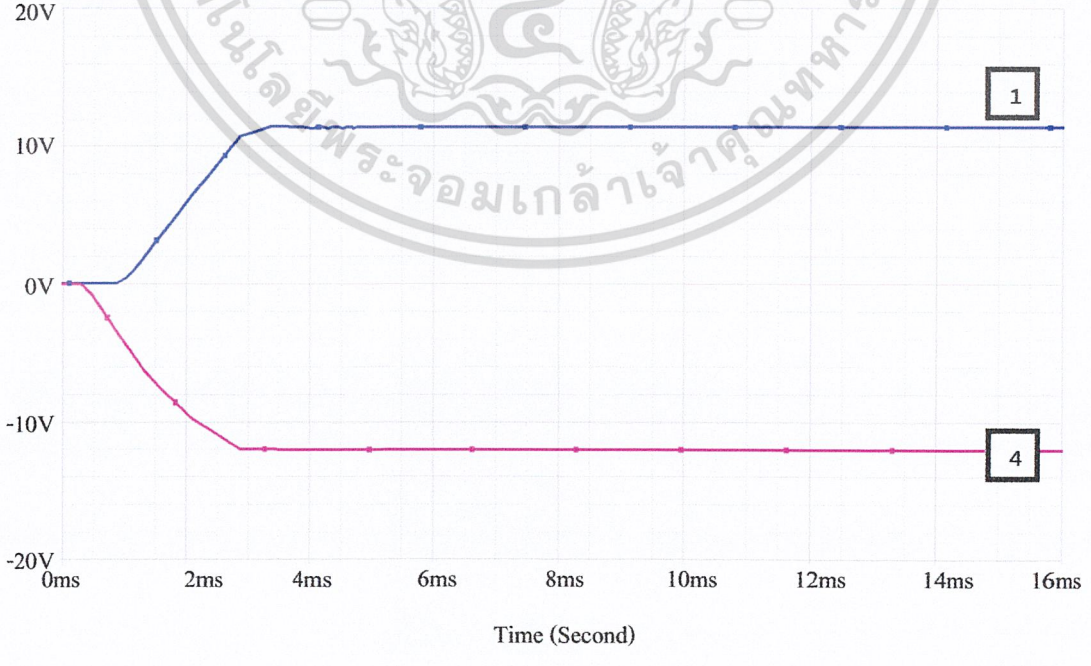
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

119188

จากการทดลองด้วยการจำลองผลโดยใช้โปรแกรม PSPICE ในวงจรในส่วนของวงจรพาวเวอร์ซัพพลาย พบว่าเอาท์พุตที่ได้เป็นแรงดันไฟฟ้าตรงที่มีหลายระดับ ทั้งที่เป็นค่าบวกและลบ โดยในการจำลองผล ได้ทำการวัดค่าทั้งหมด 4 จุดที่มีการต่อไปยังส่วนวงจรปรับแต่งสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และผลที่ได้ แสดงในรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3

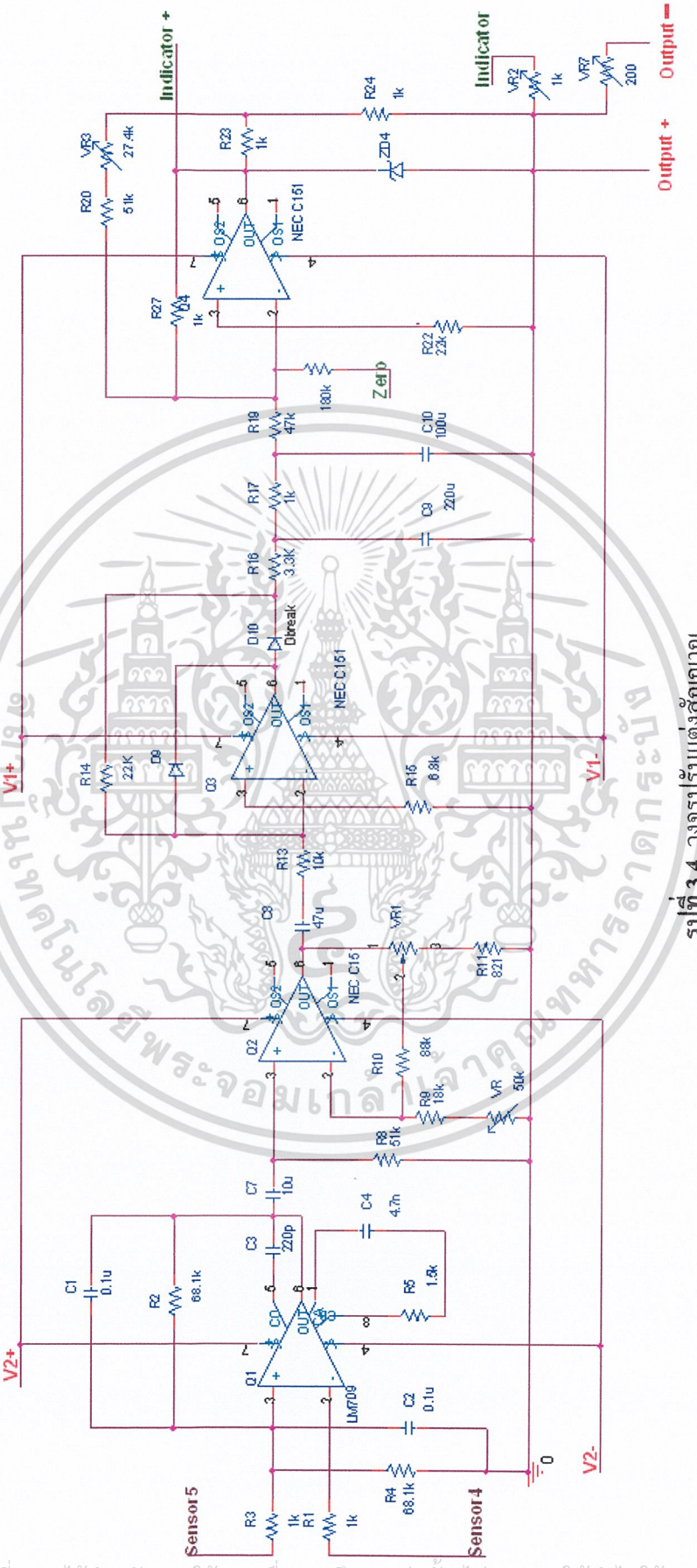


รูปที่ 3.2 ผลการจำลองเอาท์พุท #1



รูปที่ 3.3 ผลการจำลองเอาท์พุท #2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



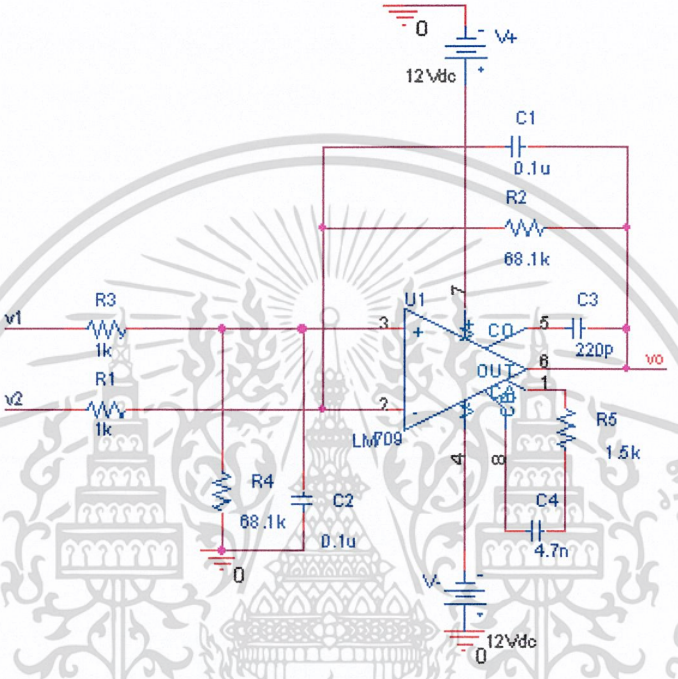
รูปที่ 3.4 วงจรปรับแต่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรปรับแต่งสัญญาณ (Signal Conditioning)

มีหน้าที่ขยายสัญญาณเอาท์พุทจากเซนเซอร์ และปรับแต่งสัญญาณให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ รวมทั้งในการแสดงผล มีอุปกรณ์หลักคืออออปแอมป์ที่ทำหน้าที่ขยายแรงดัน (Voltage Amplifier) และเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) ดังแสดงในรูปที่ 3.4

3.2.1 วงจรประกอบออปแอมป์ตัวที่ 1



รูปที่ 3.5 วงจรประกอบออปแอมป์ LM709

วิเคราะห์วงจรในรูปที่ 3.5 ตามทฤษฎี

- เป็นวงจรขยายสัญญาณผลต่าง (Difference Amplifier) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณผลต่างของอินพุท v1 และ v2 ด้วยอัตราขยายวงปิดเท่ากับ

$$\frac{V_o}{(V_1-V_2)} = \frac{R_2}{R_1}\left[\frac{1}{R_2C_1s+1}\right] \qquad (3\text{-}1)$$

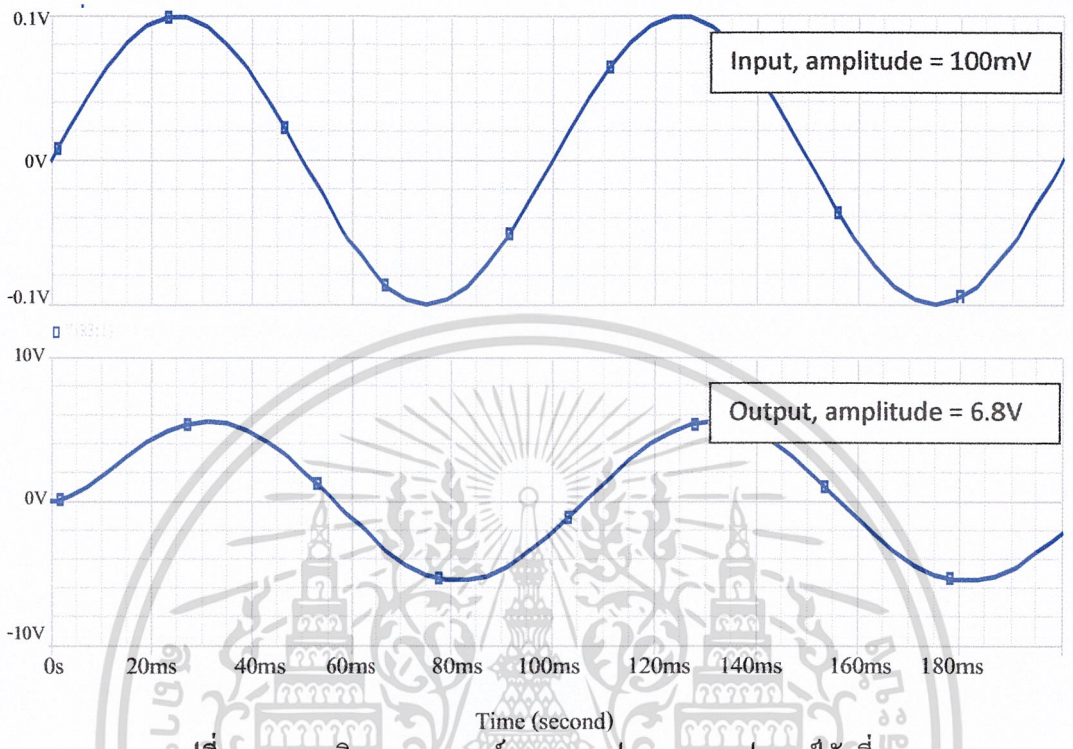
เมื่อแทนค่าตัวต้านทานและค่าตัวเก็บประจุแล้ว จะได้

$$\frac{V_o}{V_1-V_2} = 68.1\left[\frac{1}{(6.81\times10^{-3})s+1}\right] \qquad (3\text{-}2)$$

จากสมการที่ (3- 2) แสดงว่า ที่ความถี่ต่ำๆ (เข้าใกล้ศูนย์) $s = j\omega$ มีค่าเข้าใกล้ศูนย์เช่นกัน ดังนั้นจะได้อัตราขยายวงปิดของออปแอมป์มีค่าประมาณ 68.1 เท่า หรือประมาณ 36.66 เดซิเบล ดังแสดง

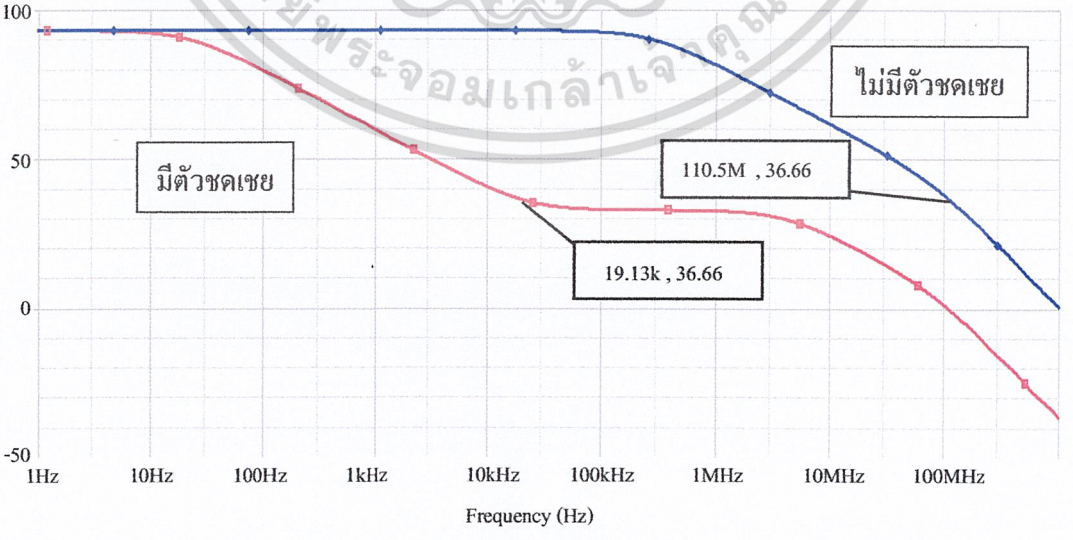
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.6 เมื่อป้อนสัญญาณอินพุทเป็นคลื่นรูปไซน์ ที่มีแอมพลิจูดเท่ากับ 0.1V และความถี่ 10 เฮิร์ต



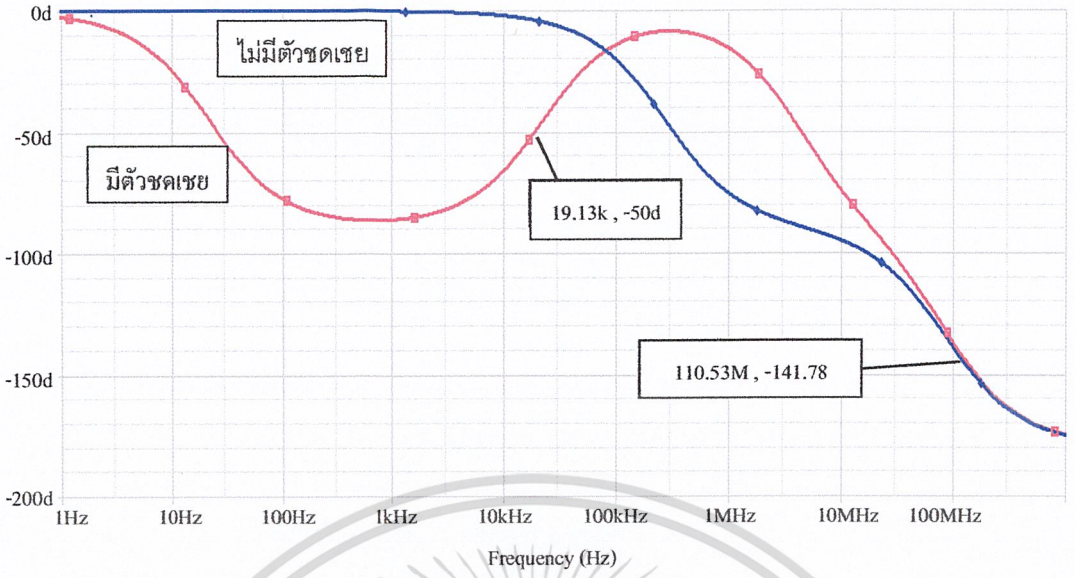
รูปที่ 3.6 แสดงอินพุทและเอาท์ของวงจรประกอบออปแอมป์ตัวที่ 1

- ออปแอมป์ LM709 เป็นออปแอมป์ที่สามารถต่อตัวชดเชยความถี่เพิ่มได้ จะเห็นได้จากที่ขา 1, 5 และ 8 ของออปแอมป์ สำหรับค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่นำมาต่อเพื่อชดเชยความถี่ สามารถดูได้จากคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Data sheet) ของออปแอมป์



รูปที่ 3.7 แสดงอัตราขยายวงเปิดของ LM709

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



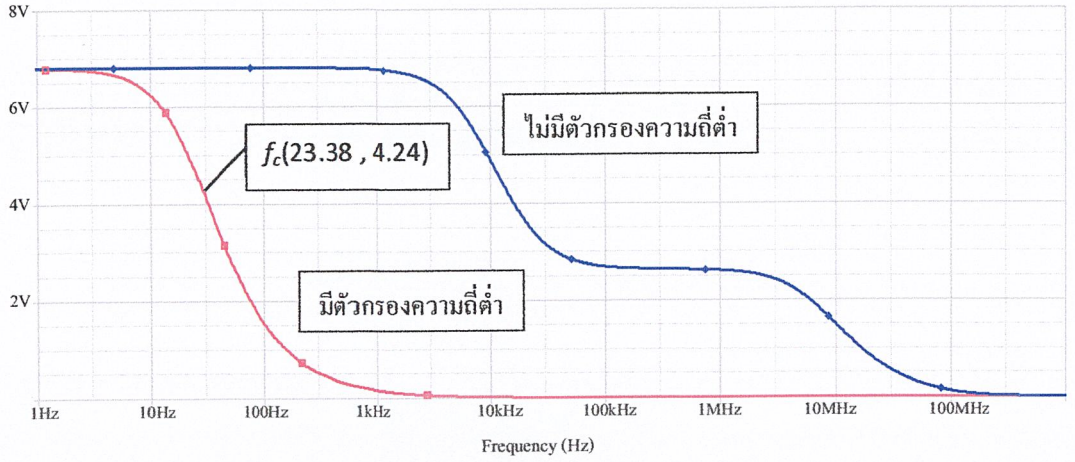
รูปที่ 3.8 แสดงค่าเฟสเลื่อนของ LM709

สำหรับการวิเคราะห์การชดเชยความถี่ วงจรที่ไม่ได้ต่อตัวชดเชยความถี่ (กราฟเส้นสีเขียว) ณ จุดที่อัตราขยายวงเปิดเท่ากับอัตราขยายวงปิด (เท่ากับ 36.66 เดซิเบล) จะได้ความถี่เท่ากับ 110.53 เมกกะเฮิร์ต ซึ่งที่ความถี่นี้ออปแอมป์จะมีเฟสเลื่อนเท่ากับ -141.78 องศา ผลรวมของเฟสเลื่อนมีค่าเท่ากับ -180 -141.78 = -321.78 องศา ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ -360 องศา ดังนั้นการทำงานของวงจรขยายนี้มีโอกาสเกิดการออสซิเลทได้ที่ความถี่ประมาณ 110.53 เมกกะเฮิร์ต แต่สำหรับวงจรที่ต่อตัวชดเชยความถี่ (กราฟเส้นสีแดง) ณ จุดที่อัตราขยายวงเปิดเท่ากับอัตราขยายวงปิด จะได้ความถี่เท่ากับ 19.13 กิโลเฮิร์ต ซึ่งที่ความถี่นี้ออปแอมป์จะมีเฟสเลื่อนเท่ากับ -50 องศา ผลรวมของเฟสเลื่อนมีค่าเท่ากับ -180 -50 = -230 องศา ซึ่งมีค่าห่างจาก -360 องศาอยู่มาก โอกาสการเกิดออสซิเลทของวงจรจึงมีน้อยกว่าวงจรที่ไม่ได้ต่อตัวชดเชย

- มีตัวกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) เป็นองค์ประกอบที่อินพุทขาบวกของออปแอมป์และที่ส่วนป้อนกลับขาลบของออปแอมป์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ ช่วงความถี่ที่ไม่ได้ใช้งาน (ความถี่สูงๆ) จะถูกกรองออก อัตราขยายของออปแอมป์จะมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นการช่วยตัดสัญญาณรบกวนออกไป โดยมีความถี่ตัด (f_c) เท่ากับ

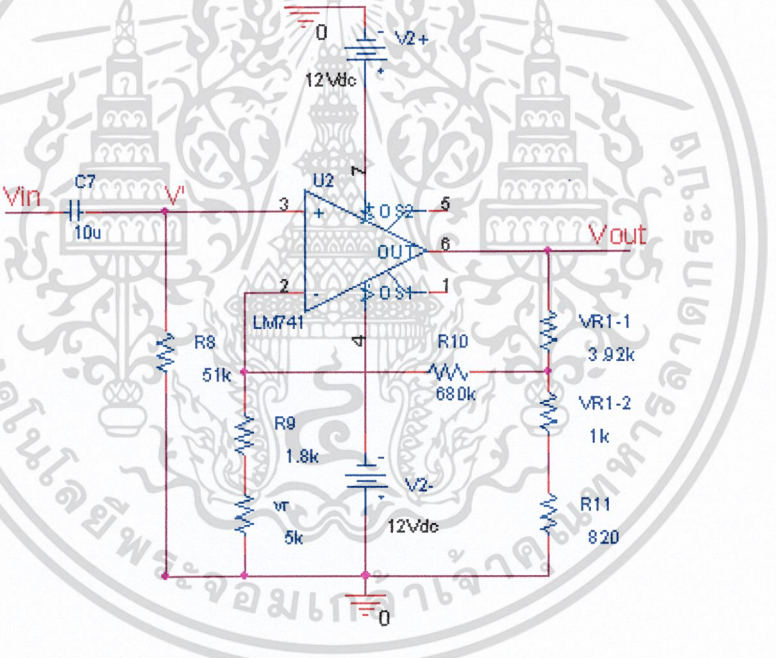
$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C_1} = 23.38 \text{ Hz} \qquad (3\text{-}3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงผลจากตัวกรองความถี่ต่ำ

3.2.2 วงจรประกอบออปแอมป์ตัวที่ 2



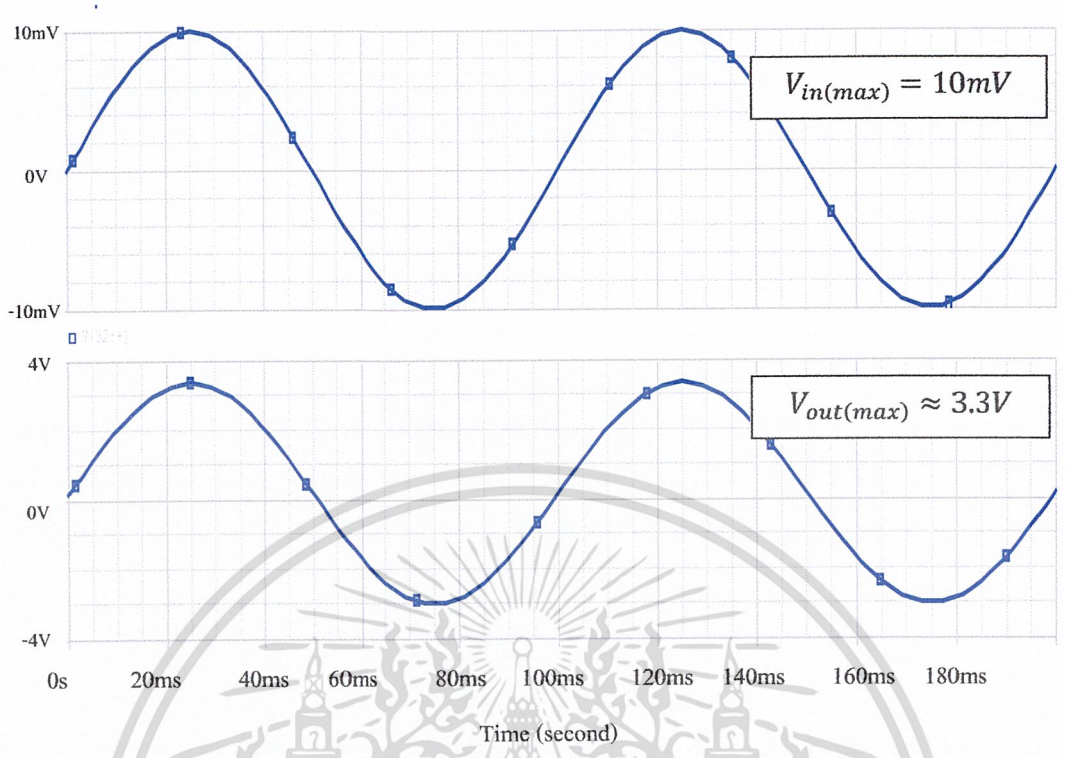
รูปที่ 3.10 วงจรประกอบออปแอมป์ LM741 (ตัวที่ 1) พร้อมตัวกรองความถี่สูง

วิเคราะห์วงจรในรูปที่ 3.10 ตามทฤษฎี

- เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณอินพุท โดยเอาท์พุทที่ได้จะมีเฟสเดียวกันกับเฟสอินพุท มีอัตราขยายแรงดันเท่ากับ

$$\frac{V_{out}}{V_I} = 318.61 \text{ เท่า} \qquad (3\text{-}4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงอินพุทและเอาท์พุทจากวงจรวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

- มีตัวกรองความถี่สูง (High Pass Filter) คือ C7 และ R8 ต่ออยู่ที่อินพุทขาบวกของออปแอมป์ สำหรับทำหน้าที่กรองความถี่ต่ำที่ไม่ต้องการพิจารณา รวมทั้งสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงออก ค่าแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าออปแอมป์จึงมีค่าเท่ากับ

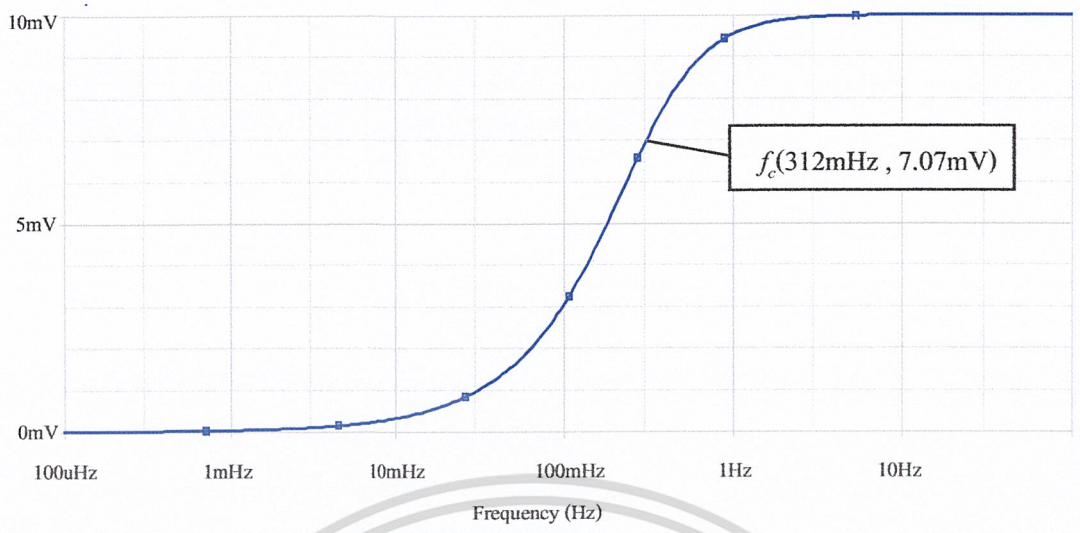
$$V' = V_{in}\left(\frac{R_8C_7s}{1+R_8C_7s}\right) \qquad (3\text{-}5)$$

ที่ความถี่เข้าใกล้ศูนย์ V' จะมีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน แต่ที่ความถี่มีค่าเข้าใกล้อนันต์ V' จะมีค่าเท่ากับ V_{in} มีความถี่ตัดเท่ากับ

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_8C_7} = 312 \text{ mHz} \qquad (3\text{-}6)$$

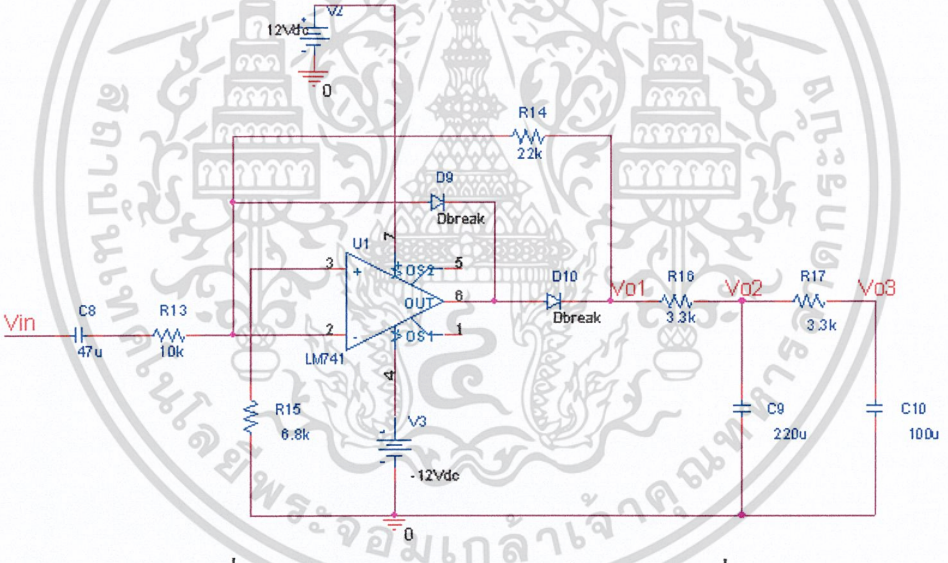
ผลตอบสนองทางความถี่ที่ได้หลังจากผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ เมื่ออินพุทเป็นคลื่นรูปไซน์แอมพลิจูดเท่ากับ 10mV แสดงในรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงผลจากตัวกรองความถี่สูง

3.2.3 วงจรประกอบออปแอมป์ตัวที่ 3



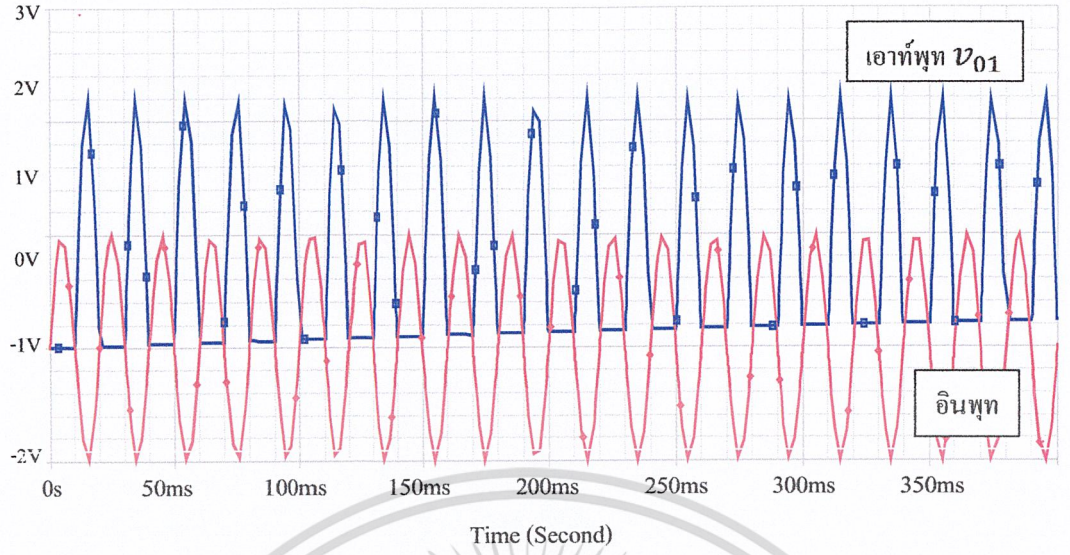
รูปที่ 3.13 วงจรประกอบออปแอมป์ LM741 (ตัวที่ 2)

วิเคราะห์วงจรในรูปที่ 3.13 ตามทฤษฎี

- มีตัวกรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง คือ C8 ต่ออยู่ที่อินพุทขาบวกของออปแอมป์
- ประกอบด้วยวงจรเชิงเส้นแบบช่วง (Piecewise Linear Circuit) แบบที่ 1 (เมื่อ v_c มีค่าเป็นศูนย์) ทำหน้าที่จำกัดช่วงการทำงานของออปแอมป์ โดยใช้คุณสมบัติของไดโอดในการทำงาน ค่าอัตราขยายสำหรับอินพุทในซีกบวกเป็นศูนย์ และอัตราขยายสำหรับอินพุทซีกลบมีเท่ากับ

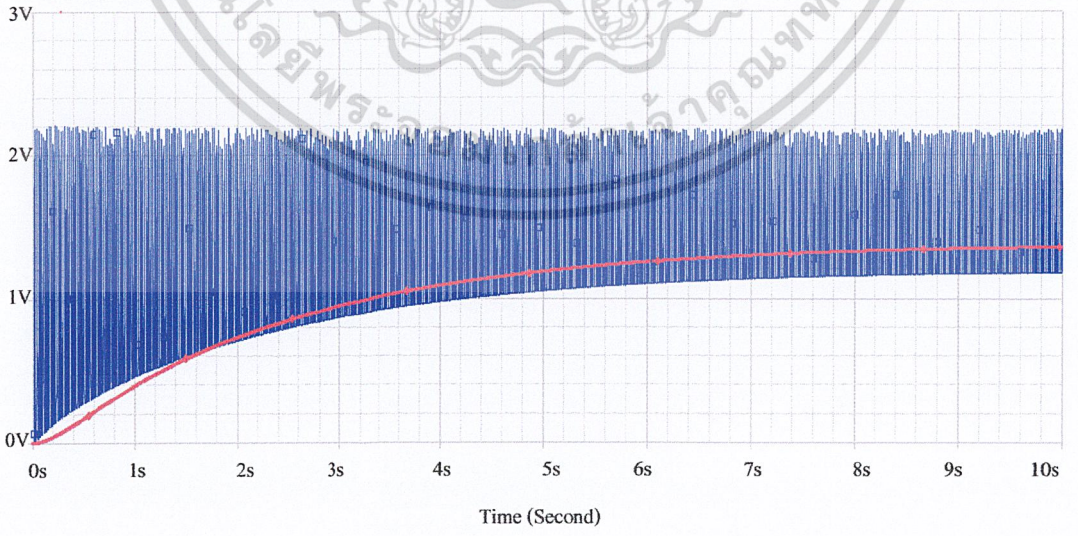
$$\frac{v_{o1}}{v_{in}} = -\frac{R_{14}}{R_{13}} = -2.2 \qquad (3\text{-}7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงอินพุทและเอาท์พุทจากวงจรเชิงเส้นแบบช่วง

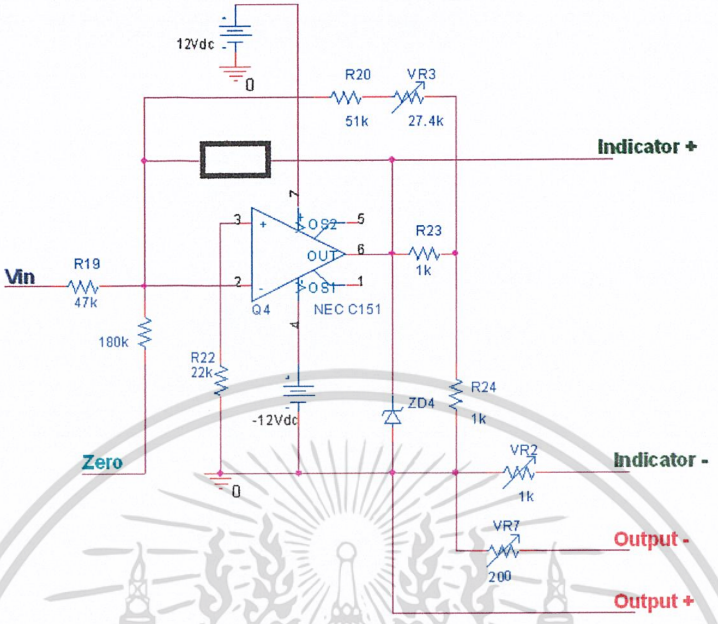
จากเอาท์พุทของวงจรเชิงเส้นแบบช่วง ในรูปที่ 3.14 พบว่าที่อินพุทอยู่ในซีกลบ จะได้เอาท์พุท v_{o1} ออกเป็นค่าบวก โดยมีอัตราขยายประมาณ -2.2 เท่า ขณะที่อินพุทอยู่ในซีกบวก เอาท์พุท v_{o1} ในช่วงแรกจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เอาท์พุท v_{o1} มีค่าเพิ่มขึ้น ไม่เท่ากับศูนย์ เนื่องจากในขณะที่เอาท์พุท v_{o1} มีค่าเป็นบวก ตัวเก็บประจุ C9 จะประจุไฟฟ้าด้วยค่าหนึ่ง และเมื่อเอาท์พุทมีค่าเป็นศูนย์ ตัวเก็บประจุ C9 จะคลายประจุมาที่จุด v_{o1} จึงทำให้ที่จุดนี้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นมา และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยจนมีค่าคงที่ค่าหนึ่งที่สภาวะคงตัว (Steady State) หลังจากจุดเอาท์พุท v_{o1} มีการต่อตัวเก็บประจุ C9, C10 และตัวต้านทาน R16, R17 เพื่อทำหน้าที่กรองสัญญาณให้มีความเป็นกระแสตรงมากขึ้น จะได้เอาท์พุท v_{o3} ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงเอาท์พุท v_{o3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 วงจรประกอบออปแอมป์ตัวที่ 4



รูปที่ 3. 16 วงจรประกอบออปแอมป์ LM741 (ตัวที่ 3)

วิเคราะห์วงจรในรูปที่ 3. 16 ตามทฤษฎี

- เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)
- ทำหน้าที่ปรับค่าความชันและปรับเทียบตำแหน่งศูนย์ (Zero and Span) สำหรับในส่วนการแสดงผลเอาท์พุท
- ใช้ซีเนอร์ไดโอดในการควบคุมแรงดันเอ้าท์พุท ไม่ให้มีแรงดันสูงเกิน เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ที่จะต่อเพิ่มในส่วนหลังได้รับความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
บทวิจารณ์และสรุป

1.1 สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผล และทดลองด้วยการใช้โปรแกรม PSPICE จำลองผล พบว่าที่วงจรส่วนพาวเวอร์ซัพพลาย จะทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากหม้อแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และยังสร้างแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าเป็นลบขึ้นมาด้วย เพื่อใช้เป็นแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงวงจรปรับแต่งสัญญาณอนาล็อกและเซนเซอร์ชนิด NDIR โดยในส่วนของวงจรพาวเวอร์ซัพพลายนี้ประกอบด้วยวงจรสำคัญๆ คือ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นแบบบริดจ์ และวงจรคงแรงดันไฟฟ้าด้วยซีเนอร์ไดโอด

ในส่วนของวงจรปรับแต่งแรงดัน พบว่า มีการใช้ออปแอมป์เป็นองค์ประกอบหลักในการปรับแต่งสัญญาณ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่ได้จากเซนเซอร์มีขนาดเล็กมาก และในการใช้งานสามารถถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนภายนอกได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องมีการขยายสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากเซนเซอร์ชนิด NDIR ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถแสดงผลได้ ในขณะเดียวกันจะต้องมีการชดเชยทางความถี่ และกรองความถี่ที่ไม่ต้องการพิจารณา (ความถี่ที่มาจากสัญญาณรบกวน) ออกไป เพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณคาร์บอนที่ปะปนอยู่ในน้ำเสีย

1.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

- ใช้เวลานานในการแกะวงจรพาวเวอร์ซัพพลายและวงจรปรับแต่งสัญญาณ เนื่องจากวงจรมีความซับซ้อนและวงจรถูกปรับแต่งเพิ่มเติม

- การจัดรูปแบบของวงจรไม่เป็นระเบียบ ทำให้ไม่สามารถเข้าใจได้ว่าวงจรนั้นเป็นวงจรประเภทใด เนื่องจากผู้จัดทำยังขาดความรู้ ทักษะ และประสบการณ์ในการวิเคราะห์วงจร

- ปัญหาในการหาข้อมูลเกี่ยวกับไอซีที่ใช้ เนื่องจากเบอร์ที่ใช้เป็นเบอร์เฉพาะ จึงต้องหาตารางเปรียบเทียบเบอร์ไอซี

- ไม่ทราบชนิดและค่าของอุปกรณ์ที่ใช้ เนื่องจากบางอุปกรณ์เป็นอุปกรณ์ที่ถูกนำมาต่อเพิ่มไม่มีขายตามท้องตลาด รวมทั้งค่าที่ระบุไว้ที่ตัวไอซีได้ถูกลบไป จึงไม่สามารถวิเคราะห์ได้ ดังเช่นที่วงจรประกอบออปแอมป์ตัวที่ 4 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการค้นคว้า

วงจรที่ศึกษานี้เป็นวงจรอนาล็อก เนื่องจากมีราคาถูกกว่าวงจรดิจิตอล ซึ่งเหมาะสมและเป็นที่ต้องการมากสำหรับโรงงานขนาดเล็กที่มีงบประมาณที่จำกัด หากมีความรู้เกี่ยวกับวงจรนี้เมื่อเราเข้าใจในเรื่องวงจรเหล่านี้ อาจจะช่วยทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายจากการเปลี่ยนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ อีกทั้งวงจรนี้ยังนำไปใช้งานกับเซนเซอร์ที่แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่น้อยมากๆ และสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการขยายและปรับแต่งสัญญาณเอาท์พุท

สำหรับการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต จะต้องศึกษารูปแบบการทำงานของวงจรอื่นๆ เพิ่มขึ้น เพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้ได้ รวมทั้งสามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทในเชิงเวลาและความถี่ ซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์แนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ก.1 ตารางเปรียบเทียบเบอร์ไอซี

INDUSTRIAL LINEAR IC's

	TYPE No.	Original	Temperature Range	Supply Voltage (V)	VIO MAX. (mV)	ΔVIO/ΔT MAX. (μV/°C)	Ig MAX. (nA)	IIO MAX. (nA)	Av MIN.	CMR MIN. (dB)	SVR MAX. (μV/V)	Package Outline
OPERATIONAL AMPLIFIERS	μPC51A	702	Industrial	V⁺=+12 V⁻=−6	5	5 (TYP.)	7μA	2μA	2,000	70	300	TO-99
	μPC55A	709	Industrial	±9~±18	5	20	800	200	20,000	70	100	TO-99
	μPC151A/C	741	Industrial	±15	6	30	500	200	25,000	70	150	TO-99/8-LEAD DIP
	μPC741C	741C	Commercial	±15	6	30	500	200	25,000	70	150	8-LEAD DIP
	μPC152A	–	Industrial	±15	200	50 (TYP.)	10pA	–	10,000	70 (TYP.)	300 (TYP.)	TO-99
	μPC153A	–	Industrial	±3~±15	5	3 (TYP.)	100	50	20,000	80	100	TO-99
	μPC154A	725	Industrial	±3~±15	2.5	3	125	35	250,000	96	35	TO-99
	μPC156A	308	Industrial	±3~±15	7.5	6 (TYP.)	7	1	25,000	80	100	TO-99
	μPC157A/C	301A	Industrial	±5~±15	7.5	30	250	50	25,000	70	300	TO-99/8 LEAD DIP
	μPC301AC	301A	Commercial	±5~±15	7.5	30	250	50	25,000	70	300	8-LEAD DIP
	μPC159A	318	Industrial	±5~±18	30	–	500	200	25,000	75	560	TO-99
	μPC251A	747	Industrial	±15	6	30	500	200	25,000	70	150	TO-100
	μPC251C	1458	Industrial	±15	6	30	500	200	20,000	70	150	8-LEAD DIP
	μPC1458C	1458	Commercial	±15	6	30	500	200	20,000	70	150	8-LEAD DIP
	μPC253A	–	Industrial	±3~±15	5	3 (TYP.)	100	50	30,000	80	100	TO-99
	μPC451C	324	Industrial	±5~±30	7	–	500	50	100,000 (TYP.)	85 (TYP.)	10 (TYP.)	14-LEAD DIP
	μPC324C	324	Commercial	±5~±30	7		500	50	100,000 (TYP.)	85 (TYP.)	10 (TYP.)	14-LEAD DIP
	μPC254A	OP-05	Industrial	±3~±18	1.3	1.5	±7	6	100,000	100	15	TO-9
	μPC258C	4558	Industrial	±5~±18	6	6 (TYP.)	500	200	20,000	70	150	8-LEAD DIP
	μPC4558C	4558	Commercial	±5~±18	6	6 (TYP.)	500	200	20,000	70	150	8-LEAD DIP
	μPC250A	–	Industrial	±4~±18	50	50	1.0pA		10,000	70	150	TO-99
COMPARATORS	μPC71A	710	Industrial	+12 −6	5	–	25μA	5μA	750	72	–	TO-99
	μPC177D/C	339	Industrial	+5~+36	5	–	250	50	200,000 (TYP.)	–	–	14-LEAD DIP
	μPC339C	339	Commercial	+5~+36	5	–	250	50	200,000 (TYP.)	–	–	14-LEAD DIP
	μPC379A	–	Industrial	+5~+20	5	–	600	150	13,000	–	–	TO-100
	μPC271D/C	311	Industrial	±15	7.5	–	250	50	20,000 (TYP.)	–	–	8-LEAD DIP
	μPC311C	311	Commercial	±15	7.5	–	250	50	200,000 (TYP.)	–	–	8-LEAD DIP

	TYPE No.	Original	Temperature Range	Supply Voltage (V)	Resolution (Bit)	Linearity (%)	T.C. V+S (PPM/°C)	Setting Time (μs)	Full Scale Voltage Range (V)	Pd (mW)	Package Outline
D/A CONVERTERS	μPC603D	DAC-01	Industrial	±15V	8	0.4	160	3	+10, +5, +10	250	16-LEAD DIP
	μPC610D	DAC-02	Industrial	±15V	11	0.2	100	6	±10 Multiplying	300	18-LEAD DIP
	μPC624D	**DAC-08**	**Industrial**	**±15V**	**8**	**0.19**	**50**	**0.15**	**-10, +18**	**175**	**16-LEAD DIP**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 เอกสารคู่มือการใช้งานออปแอมป์ LM709

National Semiconductor

February 1995

LM709
Operational Amplifier

General Description

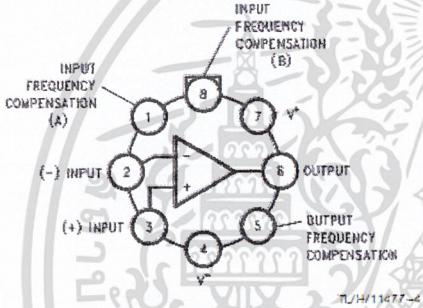
The LM709 series is a monolithic operational amplifier intended for general-purpose applications. Operation is completely specified over the range of voltages commonly used for these devices. The design, in addition to providing high gain, minimizes both offset voltage and bias currents. Further, the class-B output stage gives a large output capability with minimum power drain.

External components are used to frequency compensate the amplifier. Although the unity-gain compensation network specified will make the amplifier unconditionally stable in all feedback configurations, compensation can be tailored to optimize high-frequency performance for any gain setting.

The LM709C is the commercial-industrial version of the LM709. It is identical to the LM709 except that it is specified for operation from 0°C to +70°C.

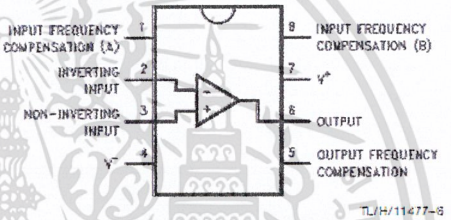
Connection Diagrams

Metal Can Package



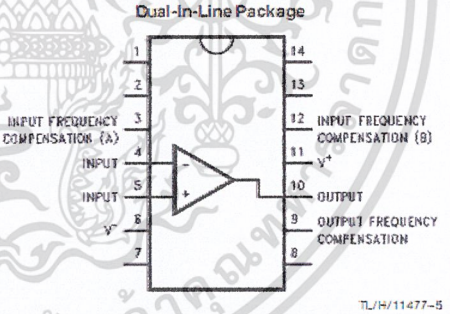
Order Number LM709AH, LM709H or LM709CH
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line Package



Order Number LM709CN-8
See NS Package Number N08E

Dual-In-Line Package



Order Number LM709CN
See NS Package Number N14A

©1995 National Semiconductor Corporation TL/H/11477 RRD-B30M115/Printed in U. S. A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 3)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage
LM709/LM709A/LM709C ±18V

Power Dissipation (Note 1)
LM709/LM709A 300 mW
LM709C 250 mW

Differential Input Voltage
LM709/LM709A/LM709C ±5V

Input Voltage
LM709/LM709A/LM709C ±10V

Output Short-Circuit Duration ($T_A = +25°C$)
LM709/LM709A/LM709C 5 seconds

Storage Temperature Range
LM709/LM709A/LM709C −65°C to +150°C

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)
LM709/LM709A/LM709C 300°C

Operating Ratings (Note 3)

Junction Temperature Range (Note 1)
LM709/LM709A −55°C to +150°C
LM709C 0°C to +100°C

Thermal Resistance (θ_{JA})
H Package 150°C/W, (θ_{JC}) 45°C/W
8-Pin N Package 134°C/W
14-Pin N Package 109°C/W

Electrical Characteristics (Note 2)

Parameter	Conditions	LM709A			LM709			LM709C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25°C$, $R_S \le 10 k\Omega$		0.6	2.0		1.0	5.0		2.0	7.5	mV
Input Bias Current	$T_A = 25°C$		100	200		200	500		300	1500	nA
Input Offset Current	$T_A = 25°C$		10	50		50	200		100	500	nA
Input Resistance	$T_A = 25°C$	350	700		150	400		50	250		kΩ
Output Resistance	$T_A = 25°C$		150			150			150		Ω
Supply Current	$T_A = 25°C$, $V_S = \pm 15V$		2.5	3.6		2.6	5.5		2.6	6.6	mA
Transient Response Risetime Overshoot	$V_{IN} = 20$ mV, $C_L \le 100$ pF $T_A = 25°C$			1.5 30		0.3 10	1.0 30		0.3 10	1.0 30	 μs %
Slew Rate	$T_A = 25°C$		0.25			0.25			0.25		V/μs
Input Offset Voltage	$R_S \le 10 k\Omega$			3.0			6.0			10	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage	$R_S = 50\Omega$ $T_A = 25°C$ to T_{MAX} $T_A = 25°C$ to T_{MIN} $R_S = 10 k\Omega$ $T_A = 25°C$ to T_{MAX} $T_A = 25°C$ to T_{MIN}		1.8 1.8 2.0 4.6	10 10 15 25		3.0 6.0			6.0 12		μV/°C
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15V$, $R_L \ge 2 k\Omega$ $V_{OUT} = \pm 10V$	25		70	25	45	70	15	45		V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15V$, $R_L = 10 k\Omega$ $V_S = \pm 15V$, $R_L = 2 k\Omega$	±12 ±10	±14 ±13		±12 ±10	±14 ±13		±12 ±10	±14 ±13		V
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15V$	±8			±8	±10		±8	±10		V
Common-Mode Rejection Ratio	$R_S \le 10 k\Omega$	80	110		70	90		65	90		dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$R_S \le 10 k\Omega$		40	100		25	150		25	200	μV/V
Input Offset Current	$T_A = T_{MAX}$ $T_A = T_{MIN}$		3.5 40	50 250		20 100	200 500		75 125	400 750	nA
Input Bias Current	$T_A = T_{MIN}$		0.3	0.6		0.5	1.5		0.36	2.0	μA
Input Resistance	$T_A = T_{MIN}$	65	170		40	100		50	250		kΩ

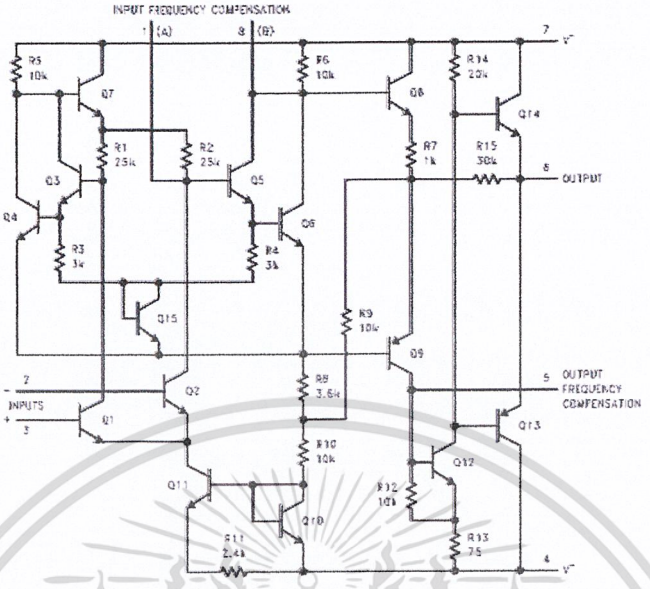
Note 1: For operating at elevated temperatures, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature for LM709/LM709A and 100°C maximum for LM709C. For operating at elevated temperatures, the device must be derated based on thermal resistance θ_{JA}, $T_{J(MAX)}$ and T_A.

Note 2: These specifications apply for $-55°C \le T_A \le +125°C$ for the LM709/LM709A and $0°C \le T_A \le +70°C$ for the LM709C with the following conditions: $\pm 9V \le V_S \le \pm 15V$, C1 = 5000 pF, R1 = 1.5 kΩ, C2 = 200 pF and R2 = 51Ω.

Note 3: Absolute Maximum Ratings indicate limits which if exceeded may result in damage. Operating Ratings are conditions where the device is expected to be functional but not necessarily within the guaranteed performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

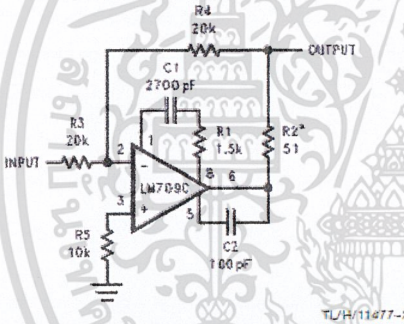
Schematic Diagram**



TL/H/11477–1

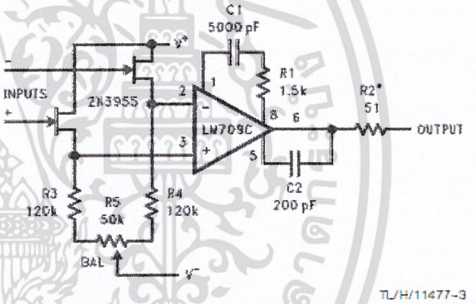
Typical Applications**

Unity Gain Inverting Amplifier



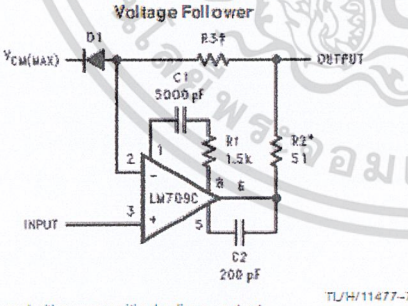
TL/H/11477–2

FET Operational Amplifier



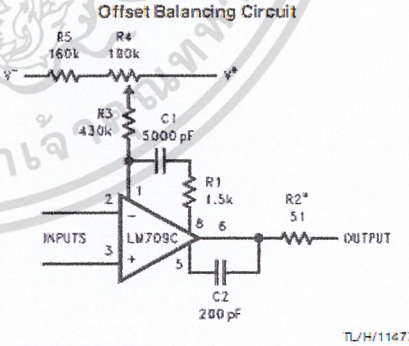
TL/H/11477–3

Voltage Follower



TL/H/11477–7

Offset Balancing Circuit



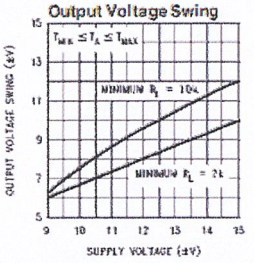
TL/H/11477–8

*To be used with any capacitive loading on output.
**Pin connections shown are for metal can package.
†Should be equal to DC source resistance on input.

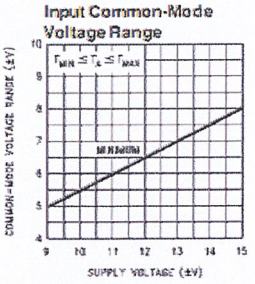
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Guaranteed Performance Characteristics

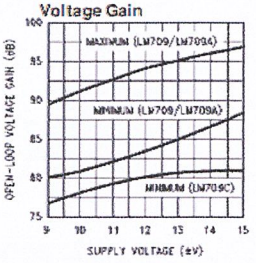
Output Voltage Swing



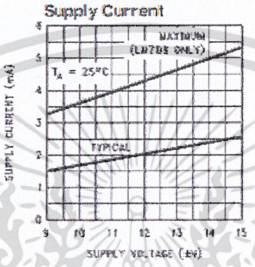
Input Common-Mode Voltage Range



Voltage Gain



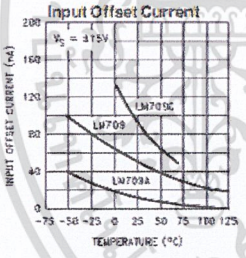
Supply Current



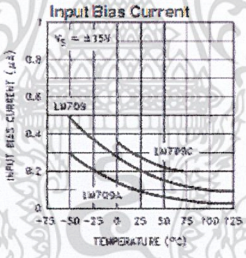
TL/H/11477–9

Typical Performance Characteristics

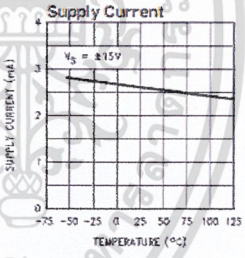
Input Offset Current



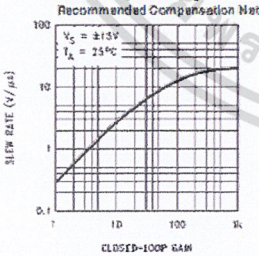
Input Bias Current



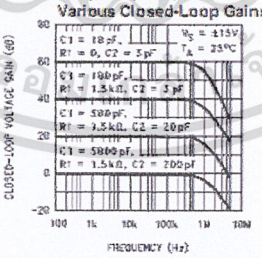
Supply Current



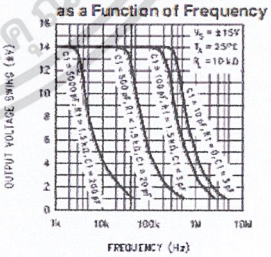
Slew Rate as a Function of Closed-Loop Gain Using Recommended Compensation Networks



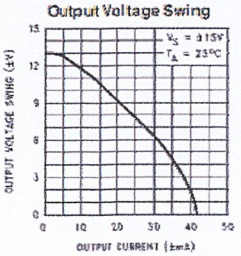
Frequency Response for Various Closed-Loop Gains



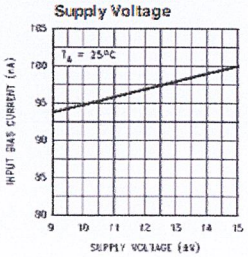
Output Voltage Swing as a Function of Frequency



Output Voltage Swing



Input Bias Current as a Function of Supply Voltage



TL/H/11477–10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 เอกสารคู่มือการใช้งานออปแอมป์ LM741

National Semiconductor

August 2000

LM741
Operational Amplifier

General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

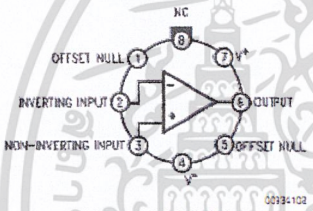
The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C is identical to the LM741/LM741A except that the LM741C has their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of −55°C to +125°C.

Features

Connection Diagrams

Metal Can Package

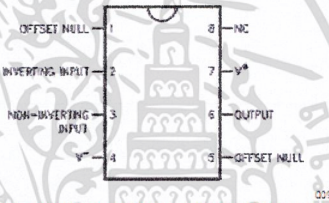


00934102

Note 1: LM741H is available per JM38510/10101

Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 1), LM741AH/883 or LM741CH
See NS Package Number H08C

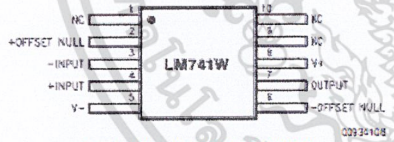
Dual-In-Line or S.O. Package



00934103

Order Number LM741J, LM741J/883, LM741CN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Ceramic Flatpak

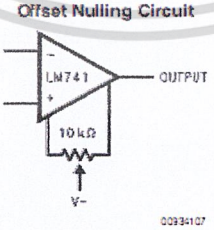


00934108

Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A

Typical Application

Offset Nulling Circuit



00934107

©2004 National Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

(Note 7)

	LM741A	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 3)	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 4)	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	−55°C to +125°C	−55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C	−65°C to +150°C	−65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	150°C	100°C
Soldering Information			
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C
M-Package			
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD Tolerance (Note 8)	400V	400V	400V

Electrical Characteristics (Note 5)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25°C$										
	$R_S \le 10\ k\Omega$					1.0	5.0		2.0	6.0	mV
	$R_S \le 50\Omega$		0.8	3.0							mV
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$										
	$R_S \le 50\Omega$			4.0							mV
	$R_S \le 10\ k\Omega$						6.0			7.5	mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							µV/°C
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25°C$, $V_S = \pm 20V$	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	$T_A = 25°C$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							nA/°C
Input Bias Current	$T_A = 25°C$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	µA
Input Resistance	$T_A = 25°C$, $V_S = \pm 20V$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		MΩ
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$, $V_S = \pm 20V$	0.5									MΩ
Input Voltage Range	$T_A = 25°C$							±12	±13		V
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$				±12	±13					V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)

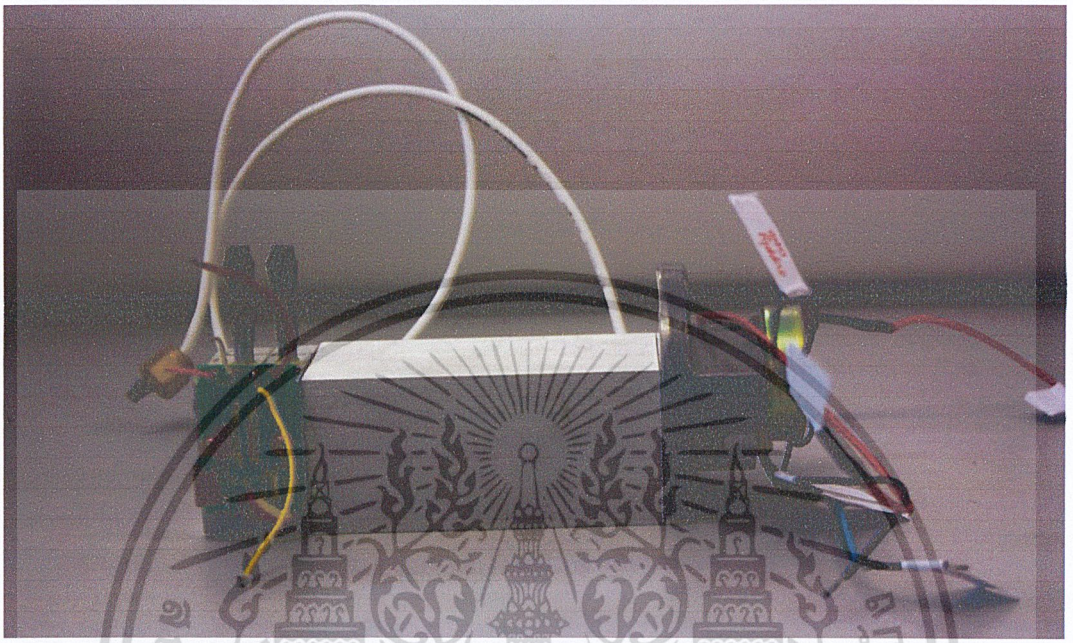
Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25°C$, $R_L \geq 2\ k\Omega$										
	$V_S = \pm 20V$, $V_O = \pm 15V$	50									V/mV
	$V_S = \pm 15V$, $V_O = \pm 10V$				50	200		20	200		V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $R_L \geq 2\ k\Omega$,										
	$V_S = \pm 20V$, $V_O = \pm 15V$	32									V/mV
	$V_S = \pm 15V$, $V_O = \pm 10V$				25			15			V/mV
	$V_S = \pm 5V$, $V_O = \pm 2V$	10									V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20V$										
	$R_L \geq 10\ k\Omega$	±16									V
	$R_L \geq 2\ k\Omega$	±15									V
	$V_S = \pm 15V$										
	$R_L \geq 10\ k\Omega$				±12	±14		±12	±14		V
	$R_L \geq 2\ k\Omega$				±10	±13		±10	±13		V
Output Short Circuit	$T_A = 25°C$	10	25	35		25			25		mA
Current	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10		40							mA
Common-Mode	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$										
Rejection Ratio	$R_S \leq 10\ k\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$				70	90		70	90		dB
	$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	80	95								dB
Supply Voltage Rejection	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$,										
Ratio	$V_S = \pm 20V$ to $V_S = \pm 5V$										
	$R_S \leq 50\Omega$	86	96								dB
	$R_S \leq 10\ k\Omega$				77	96		77	96		dB
Transient Response	$T_A = 25°C$, Unity Gain										
Rise Time			0.25	0.8		0.3			0.3		μs
Overshoot			6.0	20		5			5		%
Bandwidth (Note 6)	$T_A = 25°C$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25°C$, Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/μs
Supply Current	$T_A = 25°C$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25°C$										
	$V_S = \pm 20V$		80	150							mW
	$V_S = \pm 15V$					50	85		50	85	mW
LM741A	$V_S = \pm 20V$										
	$T_A = T_{AMIN}$			165							mW
	$T_A = T_{AMAX}$			135							mW
LM741	$V_S = \pm 15V$										
	$T_A = T_{AMIN}$					60	100				mW
	$T_A = T_{AMAX}$					45	75				mW

Note 2: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

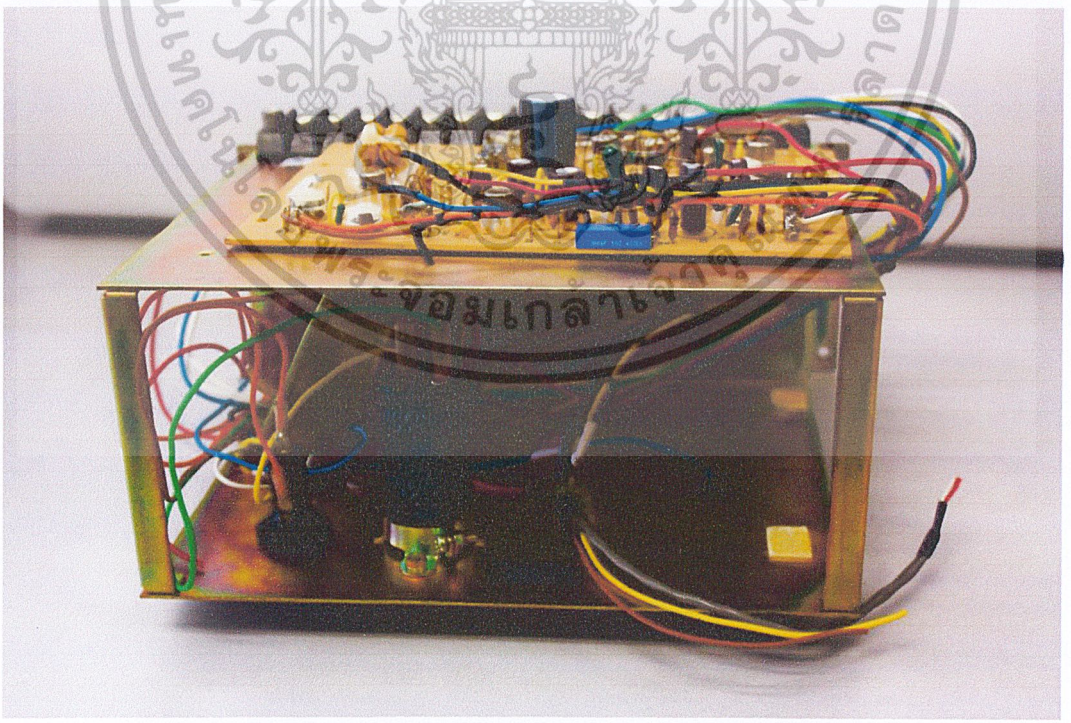
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เครื่องวิเคราะห์ TOC

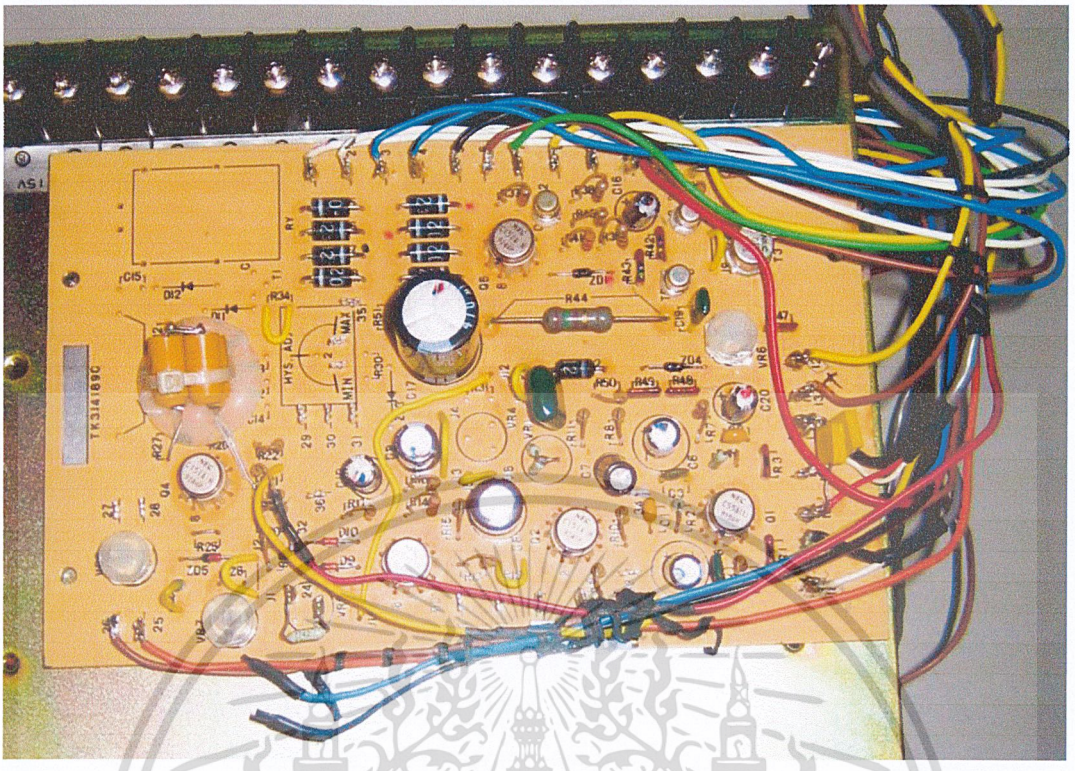


เซนเซอร์ชนิด NDIR



กล่องใส่เซนเซอร์และบอร์ดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บอร์ดวงจร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ขันเงิน, วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์. **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง,** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พริ้นติ้ง. 2550.

[2] นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, คณิตา ตังคณานุรักษ์. **หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี,** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2550

[3] ผศ.ดร.วงพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. **เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น. 2551

[4] Katsuhiko Ogata. **Modern Control Enginering.** 4th ED. New Jersey : Prentice-Hall,Inc. 2545

[5] Wikipedia. **"Total Organic Carbon."** [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Total_organic_carbon.

[6] Wikipedia. **"Non-dispersive Infrared Sensor."** [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Nondispersive_infrared_sensor.

[7] Laboratory of Intelligent Mechanical Systems. **"Diodes and Transistors."** [Online]. Available : http://hades.mech.northwesterm.edu/index.php/Diodes_and_transistor.

[8] Extreme Circuits. **"Stable Zener Reference."** [Online]. Available : http://www.extremecircuits.net/2010/06/stable-zener-reference.html.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้