



ปีการศึกษา 2533

Simple Frequency Counter
and
Digital Thermometer

โดย

นาย สมบูรณ์ จันทรงษ์	30.8424	ET 3 (L)
นาย สมหมาย จันทรงษ์	30.8426	ET 3 (L)

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ. วิชัย สรพัฒน์

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2533

ภาควิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง Simple Frequency Counter and Digital Thermometer

จัดทำโดย

นาย สมบูรณ์ จันทรงษ์

นาย สมหมาย จันทรงษ์



อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)



คำนำ

รายงานฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะเน้นถึงการนำเอาวิชาซึ่งเคยได้เล่าเรียนมาแล้ว มาใช้ในการแก้ปัญหาในการทำงาน เพื่อพิสูจน์ได้ว่า สิ่งที่เราได้เคยเรียนมาแล้วนั้น สามารถที่จะนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ หวังว่ารายงานฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ในการศึกษาและค้นคว้าของท่านผู้อ่านได้ไม่มากนักน้อย ดังนั้นถ้าข้อมูลและข้อความ ที่ได้หามานั้นผิดพลาดไปบ้าง ก็ขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย



สารบัญ

ที่มาของโครงการ	1
เครื่องวัดแบบดิจิตอล	1-12
- การอ่านข้อมูลออกเป็นตัวเลข	
- ค่าความแม่นยำของดิจิตอล	
- แนวความคิดพื้นฐานของดิจิตอลมัลติมิเตอร์	
- ดิจิตอลมิเตอร์แบบคัลลัสโลปอินทีเกรตติ้ง	
- ความหมายของดิจิตอลมัลติมิเตอร์	
- ความแยกแยะในการวัด (Resolution)	
- ความแม่นยำ (Accuracy)	
- ความไว (Sensitivity)	
- ความแม่นยำและความแยกแยะ (NMRR และ CMRR)	
การเปลี่ยนสัญญาณ ANALOG - DIGITAL	12-16
- วงจร A/D แบบ SCOPE คู่	
ภาคแสดงผล (DISPLAY)	16-18
OPERATION AMPLIFIER	19-23
- วงจรเปรียบเทียบโวลต์โวลต์แตกต่าง	
- วงจรขยาย DC แบบกลับขั้ว	
- วงจรขยาย DC แบบไม่กลับขั้ว	
- วงจรขยาย DC แบบโวลต์เต็มจตาม	
พารามิเตอร์ของออปแอมป์	23-26
- อัตราส่วนการขจัดสัญญาณร่วม-โหมด (common mode rejection ratio : CMRR)	
- ความถี่หัวเลี้ยวหัวต่อ (Transition frequency : ft)	

การชดเชยทางเฟส (Phase Compensation)

27-31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ไปยังผู้อื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- การชดเชยทางเฟสสำหรับ Band Width มากที่สุด
- Lead Compensation

LM335 (ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ)

32-39

หลักการทำงานของ IC 7106 และ 7107

40-47

สรุปผลการทดลอง

48-END



1.1 ที่มาของโครงการ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เจริญขึ้นอย่างรวดเร็วมากจนแทบจะตามไม่ทัน การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีในการผลิตไอซี ก็มีผลต่อวงการอิเล็กทรอนิกส์เป็นอย่างมาก จากการประกอบวงจรด้วยทรานซิสเตอร์และองค์ประกอบต่าง ๆ ก็เปลี่ยนมาเป็นการใช้ไอซีในการประกอบวงจร และในที่สุดวงจรที่เรียกว่าซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เช่น นาฬิกา ดิจิตอลมิเตอร์ ก็เหลือเพียง LSI เพียงชนิดเดียวกับอุปกรณ์ประกอบเล็ก ๆ อีกเพียงไม่กี่ชิ้นเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ผู้จัดทำโครงการจึงคิดว่าน่าจะหันมาเล่นทางด้านไอซีดิจิตอลดูบ้าง เครื่องวัดโดยส่วนมากแล้วเป็นเครื่องวัดเชิงอนาล็อกทั้งนี้เนื่องจากว่าปริมาณทางฟิสิกส์รอบ ๆ ตัวเราส่วนใหญ่ จะเป็นปริมาณเชิงอนาล็อก เช่น แรงดัน กระแส ความร้อน น้ำหนัก ความดันและความสว่าง เป็นต้น ปริมาณเหล่านี้เราสามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดเชิงอนาล็อก เช่น มิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องวัดอิเล็กทรอนิกส์ที่มีวงจรรขยายและชี้ค่าด้วยเข็ม ซึ่งวงจรรอนาล็อกโดยทั่วไปมักมีปัญหาเรื่องความเที่ยงตรง สัญญาณรบกวน การเปลี่ยนแปลงค่าเนื่องจากอุณหภูมิวงจรถิจิตอลนั้นเราพอจะมองเห็นว่ามีคุณสมบัติพิเศษหลายประการคือ ระดับสัญญาณมีแค่ "สูง" "ต่ำ" ความแน่นอนของสัญญาณดีกว่าสัญญาณอนาล็อก ได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนและอุณหภูมิได้น้อยกว่า

ในโครงการนี้ การเปลี่ยนเครื่องวัดความสว่างของแสงแบบอนาล็อกให้เป็นแบบดิจิตอลโดยแสดงผลด้วย LCD 3 1/2 หลัก

เครื่องวัดแบบดิจิตอล

เนื่องจากโครงการนี้เป็นเครื่องมือวัดแบบดิจิตอลและภาคเอาต์พุตที่ใช้หลักการของดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ จากหลักการพื้นฐานของดิจิตอลโวลท์มิเตอร์นี้ ได้นำมาประยุกต์ออกแบบเครื่องวัดแบบดิจิตอล

2.1 การอ่านข้อมูลออกมาเป็นตัวเลข

ข้อมูลทางเทคนิคของดิจิตอลมัลติมิเตอร์สามารถแสดงได้หลายรูปแบบ โดยอาจจะอยู่ในรูปสมรรถนะเช่น ความแม่นยำ ความเที่ยงตรง ความเร็วของการอ่าน รวมทั้งความสามารถในด้านอื่น เช่น การเลือกย่านเอง การกลับขั้ววัดโดยอัตโนมัติ การอ่านค่าเป็น RMS ขนาดกระทัดรัด การขจัดสัญญาณรบกวนในสาย ฯลฯ ซึ่งของที่มีคุณภาพดีควรจะมีการทำงานครอบคลุมถึงหัวข้อเหล่านี้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีแง่แตกต่างไปจากเครื่องมือวัดแสดงแบบอนาล็อกบ้างแต่สิ่งที่แตกต่างกันเห็นจะได้แก่การอ่านค่า ซึ่งจะแตกต่างกันในผลของการมองเห็นและองค์ประกอบ การแสดงผลทางจิตวิทยา ทั้งในเรื่องตำแหน่งการแสดงผลค่าของมิเตอร์ โดยมิเตอร์แบบอนาล็อกไม่อาจจะแสดงค่าได้นอกเหนือจากตำแหน่งที่ระบุไว้อย่างเที่ยงตรงและแม่นยำได้ ต่างกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ดังนั้น จากสถานการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้คงเป็นไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

คำตอบที่พอเพียงสำหรับการทำงานของเครื่องที่ตีความนิยมมากในหมู่ผู้เข้ามาขึ้นทุก ๆ วัน

2.2 ค่าความแม่นยำของดิจิตอล

ก่อนที่จะได้มีการกล่าวถึงธรรมชาติของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ เราควรจะรับรู้กันในเรื่องหนึ่งว่า เครื่องมือวัดดิจิตอลนั้น ถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์การวัดที่มีความแม่นยำ เพราะว่าค่าที่อ่านได้เป็นค่าตัวเลข ทั้งนี้เพราะจะไม่เกิดการอ่านที่ผิดได้ (Parallax) ของมุมการอ่านค่าของผู้ใช้รวมทั้งผู้ใช้ไม่ต้องมีความรู้ในการแปลหรือตีความค่าที่อ่านได้ ดังเช่นที่อ่านจากสเกลของมิเตอร์ อนาล็อก ยิ่งในกรณีที่สเกลไม่เป็นเชิงเส้นด้วยแล้ว จะอ่านผิดพลาดได้ง่าย จากองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้ ผู้ออกแบบได้ออกแบบออกมาเป็นมิเตอร์ที่มีค่าความแม่นยำสูงในรูปเครื่องมือวัดทางดิจิตอล ซึ่งค่าความแม่นยำมีมากกว่าแบบอนาล็อก ทำให้เรามักจะพบว่าในสินค้าที่ต้องการคุณภาพมักจะออกแบบให้อ่านค่าได้เป็นตัวเลขทั้งสิ้น

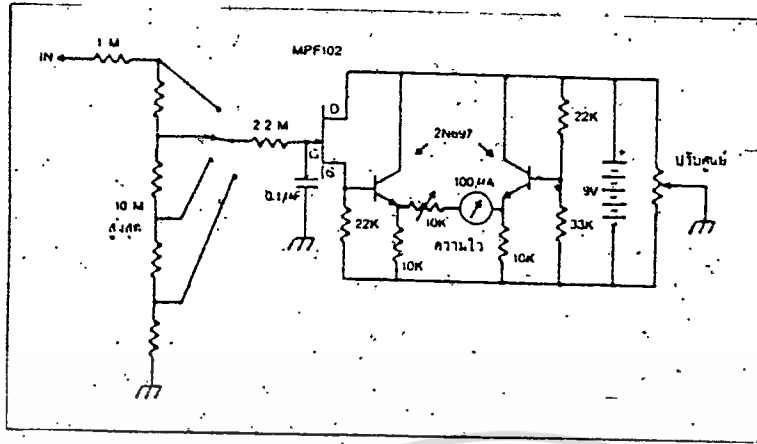
จากเหตุผลที่ว่าค่าความแม่นยำของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ มีได้ไม่เกินกว่าความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่ต่อในวงจร ดังนั้น การแสดงผลแบบดิจิตอลจึงอาจจะพิจารณาได้ว่ามีค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่ต่อในวงจรน้อยมาก ที่จริงแล้วการแสดงผลทางดิจิตอลทั้งหมด จะให้ค่าความแม่นยำเป็น \pm ลูกคลื่นการนับ นั่นหมายความว่าค่าตัวเลขหลักที่มีนัยสำคัญน้อยสุดจะเป็นค่าที่แสดงได้ไม่แน่นอนแต่อย่างไรก็ตามค่าความแม่นยำรวมของวงจร ยังขึ้นอยู่กับวงจรอนาล็อกที่อยู่ก่อนถึงภาคแสดงผล

2.3 แนวความคิดพื้นฐานของดิจิตอลมัลติมิเตอร์

ดังที่ได้กล่าวได้แล้วว่า DMM แท้ที่จริงแล้วเป็นอิเล็กทรอนิกส์มิเตอร์ที่แสดงผลเป็นตัวเลขมากกว่าที่อ่านค่าเป็นแบบอนาล็อก พิจารณาวงจร FET มิเตอร์ในรูปที่ 2.1 หากเรานำเอาขั้วลอคการทำงานที่เราเรียกว่า "ตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล" ตามมาด้วยบล็อกการทำงานของชุด "ภาคแสดงผลทางโลจิก" เพื่อให้มันสามารถแสดงค่าเป็นตัวเลขได้ชื่อของบล็อกการทำงานได้อธิบายบอกได้ถึงหน้าที่ของมันแล้ว โดยการจับบล็อกไดอะแกรมได้แสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นแนวพื้นฐานทางการทำงานของ DMM

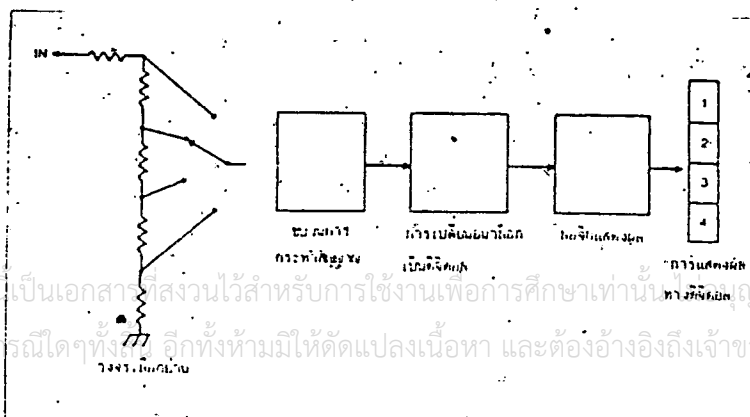
อันที่จริงแล้ว DMM ค่อนข้างจะมีความซับซ้อนมากกว่าที่คิด ทั้งนี้ โดยเฉพาะภาคที่แปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล จะประกอบด้วยส่วนของขบวนการจัดสัญญาณและยังต้องการความละเอียดสูง และจำเป็นที่จะต้องมีการดูแลเพื่อให้ได้สมรรถนะที่แม่นยำที่สุดครอบคลุมในย่านกว้างของแรงดัน ความถี่และอุณหภูมิ นอกจากนี้เทคนิคต่าง ๆ ของมิเตอร์ยังมีส่วนด้วย เช่น การปรับศูนย์โดยอัตโนมัติ การตรวจจับขั้ว การเลือกทศนิยม วงจรป้องกัน นอกจากนี้เทคนิคในการปรับศูนย์โดยอัตโนมัติ การตรวจจับขั้วการเลือกทศนิยม วงจรป้องกัน นอกจากนี้เทคนิคในการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกไปเป็นดิจิตอลมีหลายวิธี จะมีผลต่อความเที่ยงตรง ราคา เสถียรภาพ ความเร็วและค่าสมรรถนะทางด้านอื่น ๆ โดยภาคของวงจรหลาย ๆ ภาคจะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับที่ใช้ในเครื่องมืออื่น ๆ หลังจากที่ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของสารกึ่งตัวนำทำให้เกิดขบวนการผลิตวงจร IC ขึ้น ทำให้เราสามารถลดขนาดและไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเปลี่ยนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

ความซับซ้อนของวงจรภาคต่าง ๆ ลงเหลือเพียงชนิดเดียวและใช้ง่ายขึ้น



รูปที่ 2.1

วงจรที่ 2.1 เป็นวงจร FET โวลท์มิเตอร์ - วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีผลการอ่านผลเป็นอนาล็อกภาคแสดงผลของดิจิตอลมิเตอร์สามารถนำมาแทนที่มิเตอร์แบบอนาล็อกได้ โดยการเติมภาคแปลงสัญญาณ จากอนาล็อกไปเป็นดิจิตอล ภาคแสดงผลโลจิก และภาคแสดงผลตัวเลข เครื่องมือเครื่องใช้หลายชนิดได้มีการแสดงผลเป็นตัวเลข ดังเช่นตาชั่งและเทอร์โมมิเตอร์ โดยค่าที่ผ่านได้ค่อนข้างจะมีความแม่นยำมาก ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว โดยใน DMM นั้นค่าตัวเลขที่อ่านได้ค่อนข้างจะยากแก่การอ่านผิดพลาดหรือสับสนในค่าของตัวเลข และยังปราศจากผลของการอ่านผิดพลาดในมุมของการอ่านอีกด้วย โดยค่าความแม่นยำเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับตัวต้านทานชุดแบ่งแรงดันภาคแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิตอลและทั้งยังขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ อุณหภูมิ ความเสถียรภาพของแหล่งจ่ายภายใน การกันหรือจัดสนามรบกวนทรานเซียนท์ และอาร์โมนิคของความถี่และแรงดันอ้างอิงที่มีเสถียรภาพ แต่โดยทั่วไปแล้ว DMM แบบราคาประหยัดก็มีความทนทานพอเพียงในแง่ของความแม่นยำที่สามารถเทียบเคียงกับมิเตอร์แบบอนาล็อกคุณภาพดีได้อย่างสบาย แม้ว่าหลักสุดท้ายของ DMM อาจจะทำให้ค่าที่ได้ไม่แน่นอนเป็นจำนวน \pm หลักตัวเลขแบบ 3 หรือ 4 หลัก ที่ใช้ใน DMM แบบมือถือสามารถให้ความแยกแยะ (resolution) ของการวัดได้อย่างที่คาดไม่ถึงว่าจะได้จากแบบอนาล็อก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 Block diagram DMM

2.4 ดิจิตอลมิเตอร์แบบคัลลิสโพลอินทิเกรตติ้ง

คัลลิสโพลอินทิเกรตติ้ง เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันแพร่หลายในการใช้เป็นภาคการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกไปเป็นดิจิตอลใน DMM. บล็อกแสดงการทำงานได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.3 โดยใช้หลักการของการประจุของตัวเก็บประจุจากระดับแรงดันที่วัด สำหรับค่าเวลาที่กำหนดไว้ t_1 ต่อมาตัวเก็บประจุจะถูกคายประจุโดยการกลับขั้วทิศทางกระแสจากแรงดันอ้างอิงภายในเวลา t_2 เป็นเวลาที่ใช้ในการคายประจุให้มีแรงดันเป็นศูนย์ จะถูกบันทึกในรูปของรูปคลื่นของฐานเวลาสะสมกันไว้ในตัวนับ โดยค่าผลรวมของรูปคลื่นจะเป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับแรงดันที่ทำการทดสอบโดยค่าแรงดันที่ได้เหล่านี้จะแสดงออกมาในรูปของการแสดงผลเป็นตัวเลขไดอะแกรมของเวลา ในรูปที่ 2.4 แสดงวัฏจักรการประจุและคายประจุแบบเป็นเชิงเส้น ความเป็นเชิงเส้นสามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยการใช้อุปแอมป์กับตัวเก็บประจุ C ในรูปแบบของวงจรที่รู้จักกันว่า อินทิเกรเตอร์ (Integrator) ซึ่งหากไม่ได้ใช้วงจรอุปแอมป์ร่วมกับตัวเก็บประจุการประจุ และการคายประจุของตัวเก็บประจุจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งทำให้ไม่สามารถใช้กับ DMM ได้

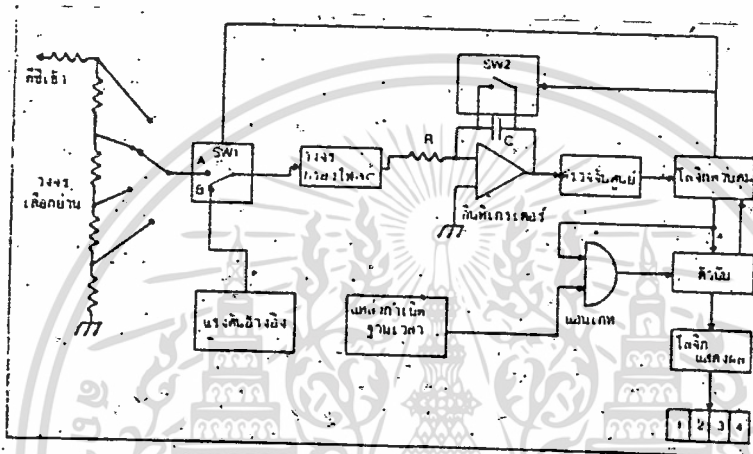
เมื่อเริ่มต้นการวัด ชุดควบคุมลอจิกจะทำการเปิด SW2 และปรับ SW1 ไปยังตำแหน่ง "A" ดังนั้น ตัวเก็บประจุในวงจรอินทิเกรเตอร์จะสามารถทำการประจุจากแรงดันลุ่มที่วัดได้ในเวลาเดียวกัน วงจร AND จะทำงานทำให้ตัวนับนับรูปคลื่นที่ส่งมาจากฐานเวลาในช่วงเวลาที่กำหนด t_1 เมื่อมีการนับไปจนถึงขีดจำกัดที่กำหนดไว้ตามค่าของ t_1 ชุดควบคุมลอจิกจะรีเซ็ตตัวนับและรีเซ็ตหรือปรับ SW1 ไปยังตำแหน่ง B ทำให้เกิดการคายประจุของวงจรอินทิเกรเตอร์เวลา t_2 ที่ใช้ในการคายประจุ C มีสัดส่วนโดยตรงกับค่าแรงดันที่ตกคร่อมที่ขั้วของมันระหว่างเวลาของวัฏจักรการประจุ t_1 ดังนั้น เวลา t_2 หมายถึงขนาดของแรงดันที่กำลังถูกวัดโดยมิเตอร์.

ขณะที่รีเซ็ตตัวนับรูปคลื่นสะสมจากวงจรชุดฐานเวลา ตัวเก็บประจุกำลังทำการคายประจุอยู่เมื่อคายประจุจนหมด วงจรตรวจจับค่าศูนย์ ซึ่งที่จริงแล้วก็คือวงจรคอมพาราเตอร์ทำให้วงจรควบคุมลอจิกบังคับไม่ให้ AND เกทผ่านสัญญาณได้ และปิด SW2 ทำให้ตัวเก็บประจุมีค่าแรงดันเป็นศูนย์เหตุการณ์นี้เป็นการสิ้นสุดการทำงานเป็นเวลา t_2 และรูปคลื่นสะสมที่ได้จะเป็นค่าแรงดันที่วัดได้

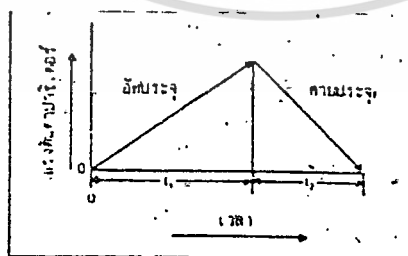
เทคนิคการวัดนี้มีสิ่งที่น่าสนใจหลายแง่ โดยค่าของความแม่นยำจะถูกรบกวนได้จากการเปลี่ยนแปลงในแรงดันและกระแสออฟเซต (offsets) ในวงจรอินทิเกรเตอร์ เสถียรภาพของแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงจะมีผลเกี่ยวข้องกับอย่างมากต่อค่าความแม่นยำ ที่น่าแปลกอย่างยิ่งก็คือค่า R.C. และการผิดเพี้ยนเนื่องจากระยะเวลาการไหลงานของวงจรฐานเวลาความถี่ ความไม่สมบูรณ์ในการทำงานของวงจรตรวจไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ติดตั้งหรือหา และต้องอ้างอิงเป็นเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้

จับค่าศูนย์ แทนจะไม่มีผลใด ๆ ต่อวงจร ในกรณีของความแม่นยำ เนื่องจากผลที่ปรากฏออกทางทิศ
ทางบวกและทิศทางลบของมีส่วนใหญ่จะถูกหักล้างไปในช่วงวัฏจักรการวัด

ในขั้นตอนของการวัดดังที่ได้อธิบายแล้วนั้น ในช่วงของวัฏจักรการวัดเราจะสังเกตเห็นว่าตัว
นับจะทำงาน 2 หน้าที คือ ในช่วงเวลาที่ทำการประจุ ตัวนับจะหาค่าของเวลา t_1 เวลานี้จะถูกกั
หนดได้ด้วยการออกแบชไว้ไนเครื่องมีวัด แต่ในช่วงการคายประจุตัวนับจะทำการวัดหาค่าเวลาที่ผ่าน
ไปในรูปคลื่นสะสมจากแหล่งกำเนิดฐานเวลา



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ที่ใช้หลักการคูลล์โลปอินทิเกรชัน เทคนิค
ของการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกไปเป็นดิจิตอล ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์แบบนี้เป็นแบบ
ที่มีค่าวัดได้ในความเป็นจริงไม่ใช่เวลานั้น เพราะค่าที่วัดได้จริงเกิดจากเวลาการ
คายประจุของตัวเก็บประจุ C โดยเกิดจากการประจุด้วยแรงดันขณะที่กำลังวัด



รูปที่ 2.4 การเกิดแรงดันที่ตัวเก็บประจุของวงจรอินทิเกรเตอร์ระหว่างการวัดใน 1 วัฏจักร
โดยแรงดันที่ถูกวัดจะถูกประจุเข้าไปในตัวเก็บประจุในช่วงเวลา t_1 ต่อมาถึง

เวลาช่วง t_2 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ทำการคายประจุให้หมดจากตัวเก็บประจุจากการกลับขั้วแรงดันอ้างอิงที่ถูกวัดได้ ผลสุดท้าย t_2 จะถูกแสดงผลออกมาในรูปแบบไปใช้

ของแรงดันที่วัดได้

เนื่องจากความเป็นเชิงเส้นที่ดีของการประจุ และการคายประจุ อัตราการประจุสามารถเขียนได้เป็นความสัมพันธ์ในรูปของ E/RC ในขณะที่ E เป็นค่าแรงดันลุ่มที่วัดมาจากวงจรส่วนหน้าทำนองเดียวกันอัตราการคายประจุสามารถเขียนได้โดยเป็น V/RC โดยที่ V เป็นค่าแรงดันอ้างอิงภายใน จากความสัมพันธ์ที่เขียนมาข้างต้นนี้ ทำให้เราสามารถมองเห็นได้ว่าทำไมค่าไทม์คอนสแตนท์ (Time constant) RC ไม่ได้เป็นสิ่งสำคัญหลักใหญ่ในส่วนที่เกี่ยวกับการวัดค่าความแม่นยำ การเปลี่ยนแปลงของค่า ไทม์คอนสแตนท์ซึ่งแน่นอนมีผลต่อแรงดันที่เกิดขึ้นในตัวเก็บประจุ C ในช่วงปลายของเวลาประจุ t_1 แต่ที่ t_2 จะไม่มีผลกระทบต่อแรงดันที่สูงขึ้นกว่านี้จะมีอัตราการประจุที่เร็วกว่าตาม

หากเขียนทุกสิ่งทุกอย่างออกมาในรูปคณิตศาสตร์แล้วจะได้ $t_2 = (E * t_1) / V$ ในขณะที่ t และ V มีค่าคงที่ t_2 จะมีสัดส่วนโดยตรงกับค่าแรงดันที่วัดได้ E ในขณะที่อยู่ในวัฏจักรของการวัดหากค่า E มีการเปลี่ยนแปลงไป เครื่องมือวัดแบบนี้จะยังคงอ่านค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลของแรงดันที่แปรเปลี่ยนไป ในกรณีนี้อาจจะไม่จำเป็นเสมอสำหรับ DMM ที่ใช้เทคนิคการแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิทัลโดยวิธีอื่นก็ตาม แม้ว่าในการวัดแทบทั้งหมดจะกระทำที่ระดับแรงดัน ควรจะมีจุดที่ภาวะหยุด (steady) อย่างน้อยที่สุดในช่วงวัด 1 วัฏจักรคุณลักษณะการอ่านค่าเฉลี่ยจะเป็นผลดีต่อการกันสัญญาณรบกวนได้

ในบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.3 ค่าแรงดันที่วัดได้จะเป็นค่าแรงดันลบเท่านั้น ในเครื่องมือวัดของจริง ๆ จะเป็นแบบที่วัดได้ทั้ง 2 ทิศทาง และสามารถบอกขั้วได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งในกรณีเหล่านี้สามารถทำได้โดยการกลับขั้วของแรงดันอ้างอิง หรืออาจจะแทรกวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีความเที่ยงตรงสูงเข้าไปในส่วนของการวัดค่าแรงดันไฟตรง

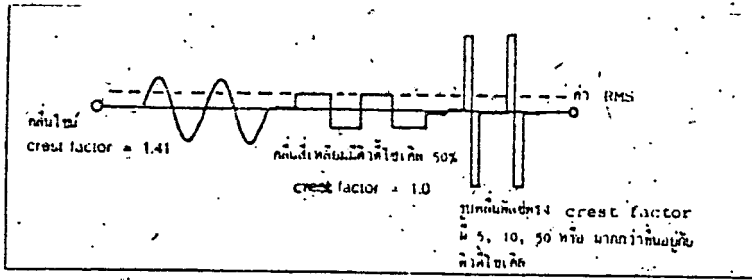
2.5 ความหมายของ ดิจิตอล มิลลิเมตร

บางทีความแตกต่างของ มิลลิเมตร อาจบอกได้ด้วยจำนวนตัวเลขที่แสดงออกมาโดยมากความไม่เข้าใจในข้อกำหนดมักจะอยู่ที่จำนวนหลักของตัวเลข ตัวอย่างเช่น มิเตอร์ที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบันสามารถแสดงผลได้ 4 หลักแต่บอกว่าเป็น 3 1/2 หลัก ทำไมไม่พูดว่า 4 หลักเหมือนกับที่เห็น ?

วิธีบ่งชี้จำนวนหลักอาศัยความสามารถในการแสดงออกของตัวเลขที่มีค่าสูงสุด (หลักซ้ายสุด) เหตุที่เลข 4 หลักนี้กลับถูกเรียกว่า 3 1/2 หลัก เพราะว่าตัวเลขที่มีค่าสูงสุดสามารถแสดงผลได้ 2 อย่างคือ 0 และ 1 เท่านั้น ถ้าตัวเลขหลักสามารถแสดงผลได้ตั้งแต่ 1 ถึง 9 เราจะเรียกว่าเป็นมิเตอร์แบบ 4 หลัก มิเตอร์แบบนี้มักจะไม่นับบ่อย เพราะเนื่องจากปัญหาทางด้านเทคนิค รูปที่ 2.6

วิธีอื่นที่จะดูถึงเหตุผลนี้คือมิเตอร์ชนิด 3 1/2 หลักที่มีความสามารถวัดได้ 100 % ของค่าเฉลี่ย ดังนั้น ระหว่าง 0 ถึง 1 ย่าน "เต็มสเกล" มันอาจจะเป็นไปได้ที่จะใช้วัดค่าได้ถึง 1.999 หรือ 2 นั้นเอง ซึ่งเท่ากับ 100 % มากกว่า แต่มันจะพูดว่า มิเตอร์เหล่านี้ที่มีย่าน "over range" คือมันจะไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

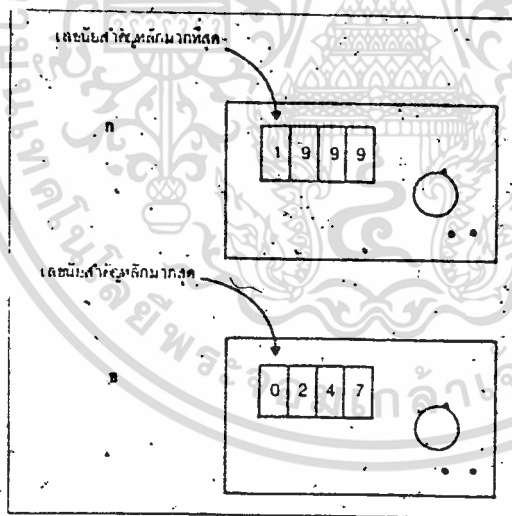
มีย่าน 0-2 , 0-20 เป็นต้น



รูปที่ 2.5

ด้วยเหตุผลเดียวกันสามารถเข้ากับมิเตอร์แบบอื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน เช่น 3 หลัก เราจะพบว่า เป็น 2 1/2 หลัก หรือ 5 หลักก็จะอยู่ในรูปของมิเตอร์ชนิด 4 1/2 หลัก สำหรับมิเตอร์ชนิด 4 1/2 , 5 1/2 หลัก มักจะมีความแม่นยำและความละเอียดสูง เราจึงจัดเป็นเครื่องมือชนิดในห้องทดลอง

นอกจากนี้ยังมีการแสดงผลแบบอื่นอีก แต่มักจะไม่เป็นที่นิยมในการออกแบบเช่นมิเตอร์ที่สามารถแสดงผลเป็น 3.999 ซึ่งเรียกว่ามิเตอร์ 3 3/4 หลักโดยทั่ว ๆ ไป การใช้หลักหน้าเป็นแบบอัตราส่วนนั้นหมายถึง การบังคับตัวเลขในหลักที่มีค่าสูงสุด เพื่อให้การอธิบายเป็นไปได้ง่ายขึ้น DMM ที่กล่าวถึง หนังสือนี้จึงใช้แทน 1/2 หลัก เช่นมิเตอร์ 3 1/2 หลักเพราะว่ามิเตอร์แบบนี้นอกจากจะใช้ในงานซ่อมหรือตรวจสอบแล้ว ยังเหมาะที่จะใช้ในการออกแบบและค้นคว้าอีกด้วย



รูปที่ 2.6

2.5.1 ความแยกแยะในการวัด (Resolution)

การประสพการณ์เกี่ยวกับแบบอนาล็อก เราทราบว่ากรบ่ายเบนของเข็มที่อ่านได้จะขึ้นอยู่กับความผิดอันเนื่องจากการเคลื่อนตัวของเข็ม ความแยกแยะของหน้าปัทม์และตัวกระจกทวมทั้งความสามารถของสายตาผู้อ่าน สำหรับใน ดิจิตอลมิเตอร์ ความแยกแยะของการวัดจะขึ้นอยู่กับจำนวนหลักที่แสดงออกมาพิจารณาจากแบบมิเตอร์ 3 1/2 หลัก ค่าเต็มสเกลคือ 2000 ฉะนั้นค่าที่บ่งบอกโดยการอ่านจากมิเตอร์ชนิดนี้คือ 1/2000 หรือ 0.05 % ของค่าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

นอกจากนี้ยังมีตัวประกอบอื่น ๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้องในทางทฤษฎีของความแยกแยะในการวัด
เหตุใหญ่ก็คือ สัญญาณรบกวนแบบต่าง ๆ ที่หลักที่มีค่าน้อยที่สุด (ขว่ สด) ซึ่งที่จริงแล้วการรบกวนอัน
เกิดจากสัญญาณรบกวนอาจจะเนื่องมาจากผลของวงจรภายในมิเตอร์เองมันเป็นทั้งศิลปะและวิทยา
ศาสตร์ผสมกับที่จะกำจัดสัญญาณรบกวน อันเนื่องมาจากสายส่งที่มีต่อมิเตอร์ วิธีการหนึ่งที่ยอมรับใช้คือวงจร
Ramp หรือ Dual - Slope Convertor ที่ทำให้เวลาในการอ่านเท่ากับ 1 คาบของความถี่ 50 HZ
หรือ 60 HZ การกระทำเช่นนี้จะทำให้มิเตอร์ไม่กระทบกระเทือนสัญญาณ 50 HZ หรือ 60 HZ

2.5.2 ความแม่นยำ (Accuracy)

ขอบเขตที่เหมาะสมในการกำหนดค่ารูปแบบเชิงตัวเลขใน รูปค่าความแม่นยำค่าความ
แม่นยำ คือ ความสามารถบอกปริมาณที่ใกล้เคียงมาก ๆ ของค่าความถูกต้องที่สุด เช่น การวัดค่า 12.54 V
มีความใกล้เคียงมาก ความเที่ยงตรงได้จากการปรับแต่งของผู้ผลิตต่าง ๆ ค่าความร้อนเสถียรภาพของ
เครื่องวัด ช่วงการทำงานของแรมป์แบบเชิงเส้น ผลรวมของแหล่งอ้างอิงภายในและคุณภาพของคอม
พาราเตอร์และวงจรตรวจจับที่ศูนย์ และการกำจัดสัญญาณรบกวนของเครื่องมือถ้าองค์ประกอบเหล่านี้มี
คุณภาพสูงความเที่ยงตรงจะมีมากขึ้น ความหมายคำว่าความเที่ยงตรง หมายถึง ความสามารถในการ
อ่านค่าหรือแสดงผลค่าเดิมซ้ำ ๆ ในการวัดซึ่งหาก DMM ที่มีการดริฟท์ (drift) ภายในวงจรแรงดัน
อ้างอิงภายในไม่สามารถให้ค่าที่เที่ยงตรงในตำแหน่งที่นิยมหลาย ๆ ตำแหน่ง หากเราทำการวัดค่าเดิม
ซ้ำอีกในเวลาต่อมาจะพบว่าค่าที่อ่านได้เปลี่ยนแปลงไป ทั้ง ๆ ที่วงจรต่าง ๆ มีค่าคงเดิม ในกรณีที่
เครื่องมือวัดมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิและองค์ประกอบการดริฟท์ ความเที่ยงตรงจะมีผล ที่แสดงให้เห็นได้
ชัดแม้ว่าค่าเหล่านี้ไม่ได้ระบุในคุณสมบัติ ดังนั้น ค่าความแม่นยำต่าง ๆ จะต้องมีเงื่อนไขสมมติสถานะขึ้น
เช่น อุณหภูมิแวดล้อมเวลาในการอุ่นเครื่องให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพประมาณของ rfi และ emi ใน
บรรยากาศรอบ ๆ ที่วัดเพราะว่าเวลาอุณหภูมิและองค์ประกอบของ noise ทำให้ DMM มีความเที่ยง
ตรงน้อยไม่สมบูรณ์ และเพราะการขาดความเที่ยงตรงที่ไม่สมบูรณ์ ความแม่นยำต้องอยู่ถูกกำหนดใน
สถานะต่าง เช่น ต้องใช้เวลาประมาณ 15 นาที สำหรับอุ่นเครื่องการทำงานที่มีอุณหภูมิห้องและภายใต้
สภาวะสัญญาณรบกวนตามข้อกำหนด ค่าความแม่นยำส่วนมากจะแสดงค่าในรูปแบบภาวะการวัดไฟตรง ค่า
ความแม่นยำในภาวะอื่นจะได้ค่าที่ต่างไปส่วนใหญ่มีค่าน้อยลง ค่าความแม่นยำไฟสลับค่าความแม่นยำทาง
ไฟตรงสำหรับมิเตอร์ 2 หลักครึ่ง มีค่า 0.5 และ 1.5 % สำหรับ 3 1/2 หลักค่าระหว่าง 0.5 และ
0.05 % สดท้าย 5 1/2 หลัก เป็น DMM ของห้องทดลองสามารถวัดด้วยค่าความแม่นยำที่ 0.002 %
สิ่งสำคัญในการหาค่าความแม่นยำ ดิจิตอล มัลติมิเตอร์ จะกำหนดไว้ที่ย่านใดย่านหนึ่งของย่านไฟตรงใน
รูป $\pm \%$ ของค่าเต็มสเกล $\pm \%$ หนึ่งในหลักวิธีนี้จะเกี่ยวพันกันกับแรงดันที่สายส่งอุณหภูมิแวดล้อมการค่า
เวลาอุ่นเครื่อง และการเกิดสัญญาณรบกวน อย่างไรก็ตามสำหรับมิเตอร์ ที่มากกว่า 3 1/2 หลักอาจจะใช้

มีการระบุกันได้เป็น \pm ของเต็มสเกลที่ขั้วย่านไฟตรงค่าต่ำ ๆ \pm หนึ่งหลัก ค่าเหล่านี้อาจจะยังคงให้ทำงานได้ที่ 25 องศาเซลเซียส บางทีค่าความแม่นยำอาจจะกำหนดให้กำหนดย่านของอุณหภูมิครอบคลุมได้ เช่น 17 องศาเซลเซียส ถึง 35 องศาเซลเซียส

มันเป็นความน่าสนใจต่อการบันทึกไว้ VOM จะมีค่าความแม่นยำของการวัดไฟตรงที่ $\pm 3\%$ VOM ชนิดระดับห้องทดลองจะมีค่าความแม่นยำต่อการวัดไฟ DC ที่ $\pm 1 \frac{1}{2} \%$ แต่ DMM 3 $\frac{1}{2}$ หลักแบบราคาถูกจะมีค่าความแม่นยำมากกว่า VOM นอกจากนี้ความได้เปรียบ DMM ยังมีเรื่องไม่มีปัญหาจากความผิดของแปรง จากตำแหน่งการวางมิเตอร์จากสนามแม่เหล็กหรือจากไฟฟ้าสถิต เนื่องจากการออกแบบกล่องของ DMM ได้เหมาะสมจึงทำให้ได้ห่างไกลจากผลทางฟิสิกส์ทั้งหลายแม้ว่า VOM สามารถแก้ไขการตกกระแทก แต่ก็ยังมีผลต่อค่าความแม่นยำ ค่าความเที่ยงตรง และการปรับแต่งมากกว่าแบบของ DMM (เพราะฉะนั้นจึงควรให้ความระมัดระวังในการใช้วัดในทก ๆ กรณี)

ในการวัดในสถานะอื่นนั้นจะต้องเพิ่มวงจรแปลงเข้าสู่ ینگ์ชั้นทางไฟตรงพื้นฐานของ DMM โดยปกติแล้วค่าความแม่นยำรวมจะมีค่าน้อยกว่าค่าความแม่นยำทางไฟสลับพื้นฐาน ดังนั้นค่าความแม่นยำของ โอมห์มิเตอร์จะมีค่าอยู่เป็นครึ่งหนึ่งของความแม่นยำทางไฟตรง การที่ค่าความแม่นยำได้ลดลงเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของแหล่งจ่ายกระแส ดังนั้นค่าความต้านทานที่วัดได้จาก DMM มีความเที่ยงตรงกว่าวัดจาก VOM ย่านวัดไฟสลับจะมีค่าความแม่นยำที่น้อยกว่าผลตอบสนองจากย่านไฟตรงจาก DMM แบบที่สนองค่าเฉลี่ย ค่าความแม่นยำทางไฟสลับมีการกำหนดให้ยอมให้มีการบิดเบี้ยว Harmonic สูงสุดที่ $\frac{1}{2} \%$ ในรูปคลื่นไซน์ (3-5 % ของความเพี้ยนเป็นค่าที่จำเป็นสำหรับการมองเห็นได้ของ ออสซิลอโคป) ตั้งแต่ย่านความถี่ตั้งแต่ 20 Hz ถึง 30 Hz นับเป็นส่วนของความแม่นยำทางไฟสลับ มิเตอร์ DMM แบบ true RMS จะมีความแม่นยำได้มากกว่าแถบความถี่ที่ระบุ แต่ที่เงื่อนไขเพิ่มเติมว่าการวัดกับรูปคลื่นที่ไม่ใช่ไซน์จะต้องไม่เกินค่าของ crest factor ที่กำหนด

2.5.3 ความไว (Sensitivity)

ความไวเป็นพารามิเตอร์ ที่แสดงถึงสมรรถนะของมันเองกับเครื่องมือที่ใช้เป็นหลัก ในการพิจารณาแข่งขันกันในตลาด โดยปกติแล้วการพิจารณาถึงความไวอย่างง่าย ๆ สามารถได้จากย่านวัดต่ำสุดของ DMM แต่ก็ก็เป็นเพียงข้อประมาณสันนิษฐานเท่านั้นปัญหาที่มีต่อความไวก็คือ เรื่องสัญญาณรบกวนต่อตัวมิเตอร์ สัญญาณรบกวนที่พบบ่อย ๆ จะ ได้มาจากสายส่ง หรือจากค่าอิมินิคไค ๆ แต่ DMM ไม่สามารถต้านทานการรบกวนจาก rfi และ emi ได้ตลอดย่าน ในกรณีที่ต้องการให้มีค่าความไวสูงมาก ควรจะมีค่า COMMON-MODE REJECTION RATIO (CMRR) และ Normal mode rejection ratio (NMRR) ที่ค่อนข้างสูงไม่เช่นนั้นค่าความไวสูงไม่มีความหมายใด ๆ ยิ่งถ้าเป็นเครื่องมือวัด ที่มีหลักตัวเลขมาก ๆ หลัก

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไวจำเพาะได้กำเนิดมาจากนิยามเลขนัยสำคัญต่ำสุด ตัวอย่างเช่นที่ตำแหน่งเต็มสเกลจะแสดงว่าน้อยสุดของย่านแรงดันคิซี ที่ 199.9 mV (อันนี้ก็คือค่า 200mV) แต่ละค่ามากของเครื่องหมายตัวเลขที่ 0.1 mV หรือ 100 V เช่น มีความไวจำเพาะที่ 100 V ความแตกต่างของเงื่อนไขในการนิยามความไวที่ใช้กับ VOM และ DMM ใน VOM ค่าโอมห์ต่อโวลท์ที่สูงแสดงว่ามีค่าความไวสูง อันนี้เสมือนกับมีการใช้กระแสที่น้อยมากไหลจากแหล่งจ่าย ในขณะที่วัดโดยใช้ VOM แต่ DMM ส่วนมากมีค่าความต้านทานอินพุตที่มาก จะมีการกระแสที่น้อยมากไหลจากจุดที่วัดความไวมีความหมายมาก ถ้าพิจารณาในแง่ต่าง ๆ กันไป ความไวและความแยกแยะมีความแตกต่างและไม่ใช้ตัวเดียวกัน ความไวโดยปกติและจะระบุในรูปของโวลท์ แอมแปร์ หรือ โอห์ม ที่ย่านค่าสุดของมิเตอร์หมายถึงคุณค่าของเลขนัยสำคัญต่ำสุด ความแยกแยะเป็นจำนวนค่า % ที่หาได้จากส่วนกลับของจำนวนรวมของการนับ เช่น 3 1/2 หลัก สามารถอ่านค่าได้ถึง 1999 (หรือ 2000 ในการใช้ทั่วไป) จะมีความแยกแยะเป็น 1/2000 หรือ 0.05% ค่าความแยกแยะที่ดีของ DMM ไม่จำเป็นต้องแสดงว่ามีค่าความไวสูงทางกลับกันทางมีความไวสูงจริงใน DMM ไม่จำเป็นต้องมีค่าความแยกแยะที่ดี ค่าทั้งสองอย่างนี้จะไม่ขึ้นต่อกัน แต่ต้องมีทั้งสองอย่างนี้ควบคู่กันไป ในการออกแบบที่ระมัดระวังและมีคุณภาพสูงในส่วนประกอบต้องการมีความไวสูง ความไวมีพื้นฐานสำหรับการดำเนินงานในวงจรอานาล็อก นั่นคือเป็นภาคต้นของ DMM ความแยกแยะเป็นฟังก์ชัน ของข้อมูล ดิจิตอลอย่างหนึ่งของการอ่านค่าโดยทั่ว ๆ ไป เครื่องมือวัดที่มีหลักแสดงผลมากจะมีค่าความแยกแยะสูงมากตาม

2.6 ความแม่นยำและความแยกแยะ (NMRR และ CMRR)

NMRR เป็นค่าผลของ Normal mode rejection Ratio CMRR ย่อจาก Common mode rejection ratio ทั้งสองอย่างมีหน่วยเป็น db เป็นการแสดงความสามารถในการทนรับสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า โดยไม่ลดความสามารถในการวัดของเครื่องวัด

รูปที่ 2.7 แสดงการวัด Common mode rejection ตั้งย่านวัดไว้ต่ำที่สุด ป้อนสัญญาณไฟตรงให้เต็ม สเกล ปรับสัญญาณ เอาซี 2000 mV ที่ทำให้หลักสุดท้ายเปลี่ยนความละเอียดคือ 1mV เพราะฉะนั้นค่า NMRR คือ

$$2000 \times 10 / 1 \times 10 = 2000$$

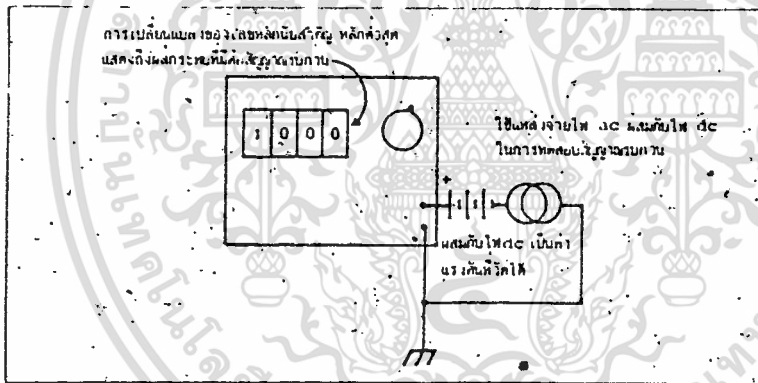
$$20 \times \log (2000) = 20$$

ความหมายคือสัญญาณไฟลบที่ผสมในไฟตรงที่มีค่า 2000mV เป็นค่าสูงสุดที่จะยอมให้เกิดขึ้นได้โดยไม่ทำให้ค่าความแม่นยำ โดยที่ย่าน 1000 mV ของการวัดไฟตรงผิดแผกไป

Common-mode rejection ratio ที่ใช้กับ DMM ในกรณีอื่นนอกทั้งสองของอุปกรณ์ลอยตัว หมายถึงไม่อินพุตข้างใดข้างหนึ่งลงกราวด์ ในรูป 2.8 แสดงถึงวงจรการทดสอบ โดยให้ตัวต้านทานไม่เท่ากันอีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

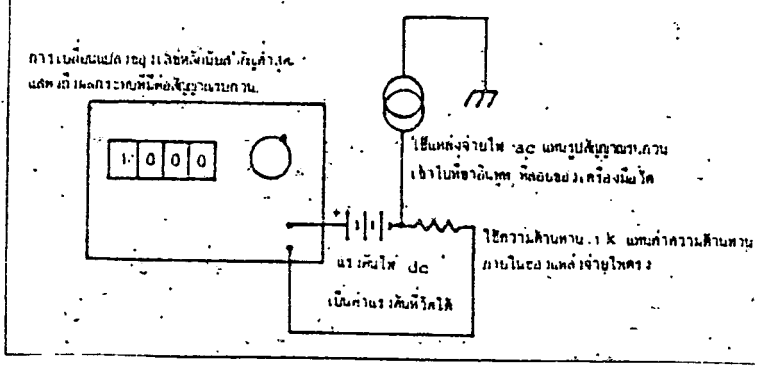
1000 โอห์ม เป็นค่าของความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายไฟตรงตัวต้านทานตัวนี้จำเป็นต้องใช้
 ในวงจร เพราะว่าส่วนของสัญญาณ common-mode จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานตัวนี้ และ
 เป็นค่าสัญญาณ Normal mode ผู้ผลิตบางรายจะระบุค่าแก้ไขนี้เข้ามาคิดด้วยแต่บางรายไม่ได้กล่าวถึง
 สำหรับในกรณีที่ค่า common mode rejection ratio มีค่ามากกว่า 100 db ค่าแก้ไขนี้ไม่มีความสำ
 คัญนักปกติแล้ว CMRR จะทำการทดสอบที่ความถี่แหล่งจ่ายไฟสลับ ดังเช่นกับ NMRR ค่าของ NMRR,
 CMRR จะมีค่าลดลงเมื่อค่าความถี่เพิ่มขึ้น

ค่าความต้านทานที่เลียนแบบค่าความต้านทานของแหล่งจ่ายไฟตรง ไม่จำเป็นต้องใช้ในการวัด
 วงจรทดสอบหา NMRR เพราะผลที่ได้ของมันไม่ได้มีผลต่อผลทดสอบที่ได้ นอกจากนี้ความคิดพื้นฐานที่
 ทดสอบทั้งสองประการจะมีลักษณะเช่นเดียวกัน ในรูปที่ 2.8 แรงดันแหล่งจ่ายไฟสลับถูกปรับให้มี
 ขนาดสูงมากพอที่จะทำให้เลขหลักนัยสำคัญต่ำสุด ในช่วงแสดงค่าเต็มสเกลของย่านวัดต่ำสุดได้รับการ
 เปลี่ยนแปลง จากนั้นเราสามารถหาค่า CMRR จะมีค่าสูงมากกว่า NMRR แต่ยังมีข้อจำกัดในภาวะ
 งานวัดบางแบบ เช่นงานทางการแพทย์



รูปที่ 2.7 แสดงถึงการจัดวงจรเพื่อหาค่า Normal mode rejection ratio (NMRR)
 ของ DMM ความคิดพื้นฐานทำได้โดยจกรเพิ่มขนาดแรงดันของไฟ ac จนกระทั่งเลขนัยสำคัญต่ำสุด
 เปลี่ยนแปลงค่า NMRR สามารถคำนวณได้จากขนาดความสูงของแหล่งจ่ายไฟ ac และจากค่าของเลข
 หลักนัยสำคัญต่ำสุด

แนวความคิดของ NMRR และ CMRR อาจจะไม่จำเป็นต้องจำกัดเฉพาะการวัดแรงดันไฟตรง
 การประเมินค่าที่เช่นเดียวกันนี้ อาจจะใช้วัดกับไฟสลับหรือโอห์มก็ได้



รูปที่ 2.8 แสดงการจัดวงจรเพื่อวัดค่า Common mode rejection Ratio (CMRR) ของ DMM แนวความคิดพื้นฐานทำได้โดยการเพิ่มขนาดความสูงของแหล่งจ่ายไฟ ac จนกระทั่งเลขนัยสำคัญต่ำสุดเปลี่ยนแปลงค่า CMRR สามารถคำนวณได้จากขนาดความสูงของแหล่งจ่ายและจากค่าของเลขนัยสำคัญต่ำสุด

การเปลี่ยนสัญญาณ ANALOG - DIGITAL

วงจร A/D (analog to digital converter) จะทำหน้าที่แปลงแรงดันหรือกระแสที่เป็นสัญญาณ Analog ไปเป็นตัวเลขหรือสัญญาณดิจิทัล วงจร A/D มีอยู่ด้วยกันหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้กันแพร่หลายมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ แบบสโลปคู่ (dual slope) แบบแปลงแรงดันเป็นความถี่ (V TO F CONVERTER) และแบบประมาณทีละบิต (successive approximation)

วงจร A/D แบบสโลปคู่เป็นแบบที่ง่ายที่สุด ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพดีมากนักก็สามารถแปลงสัญญาณได้อย่างแม่นยำ แต่มีข้อเสียคือโดยตรงที่ใช้เวลาในการแปลงสัญญาณมากไปหน่อยจึงไม่เหมาะในการใช้วัดแรงดันในช่วงเวลาสั้น ๆ เช่นการวัดแรงดันของรูปคลื่น ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง แบบ slope คู่นี้ใช้สำหรับการวัดแรงดันค่าเฉลี่ยและกระแส จึงนิยมใช้กันมากใน มัลติมิเตอร์ แบบดิจิทัล และเครื่องวัดแสดงผลเป็นตัวเลขโดยทั่ว ๆ ไป วงจร A/D แบบ slope คู่นี้ที่เป็น IC สำเร็จรูปมีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์ ราคาไม่แพงนักส่วนมากจะให้ความแม่นยำในการแปลงสัญญาณดีกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีทั้งแบบแปลงเป็นตัวเลขขนาด 3 1/2 หลัก (แสดงผลสูงสุดเป็น 1999) และ 4 1/2 หลัก (แสดงผลสูงสุดเป็น 19999) หลักสุดท้ายจะแสดงค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้นจึงเรียกง่าย ๆ ว่า 1/2 หลัก

วงจร A/D แบบแปลงแรงดันเป็นความถี่และแบบประมาณทีละบิตนั้น มีข้อดีตรงที่สามารถแปลงสัญญาณได้รวดเร็ว มีความแม่นยำดีเพียงแต่วงจรมีความซับซ้อนมากกว่าจึงมีราคาแพง ในปัจจุบันเทคโนโลยีในการทำ IC เจริญขึ้นมาก เราสามารถหาซื้อ IC ที่เป็นวงจร A/D แบบนี้ได้ง่ายขึ้นและในราคาไม่แพงนัก และในอนาคตราคาคงจะถูกลงอีกมาก

ในครั้งนี้อะไรจะขอแนะนำเฉพาะวงจร A/D แบบ slope คู่ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 วงจร A/D แบบ SLOPE คู่

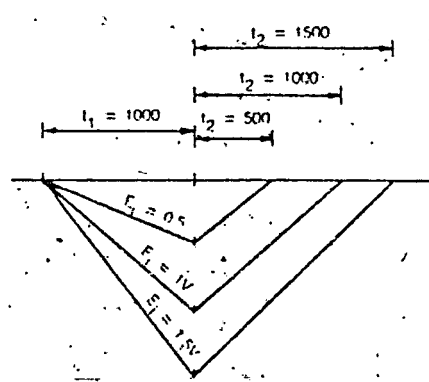
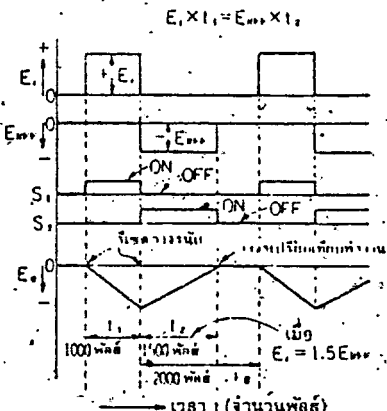
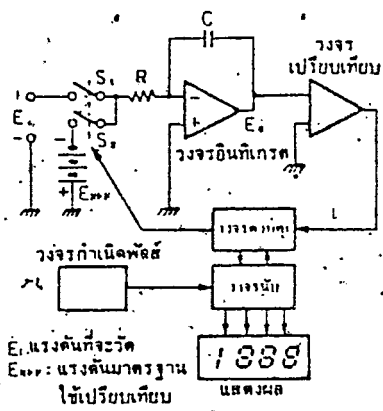
ให้ดูวงจรในรูป 3.1 (ก) ซึ่งเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator circuit) แบบพื้นฐาน อุปกรณ์ที่มีสัญลักษณ์เป็นสามเหลี่ยมนั้นเป็น op-amp ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณแตกต่างกัน R และ C ในวงจรเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ทำให้เกิดการชาร์จประจุเข้าไปใน C ทำให้ได้รูปคลื่นแรงดันขาออกซึ่งเท่ากับเป็นการอินทิเกรตสัญญาณอินพุต

สมมติว่ามีแรงดัน E_i ป้อนเข้าทางอินพุตจะเกิดมีกระแส I ซึ่งมีค่า E_i/R ไหลผ่าน R เข้าไปในวงจรกระแสจะไม่ไหลเข้าไปใน op-amp เพราะ op-amp มีความต้านทานเข้าสูงแต่จะไหลผ่านไป charge ตัวเก็บประจุ C ทั้งหมดเป็นผลให้แรงดันคร่อม C สูงขึ้นเรื่อย ๆ ขั้วลบของ op-amp จะมีศักดีไฟฟ้าเป็น 0 Volt เท่ากับขั้วบวกซึ่งต่อลง Ground ดังนั้นแรงดันคร่อม C จึงเป็นแรงดันลบเมื่อเทียบกับ Ground แรงดันขาออก E_o ซึ่งเท่ากับแรงดันคร่อม C จึงเป็นลบแรงดันนี้จึงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เป็นเส้นตรงแรงดันขาออกของวงจรจึงเสมือนกับเป็นการอินทิเกรต แรงดันขาเข้า เพราะเมื่อเราอินทิเกรตค่าคงที่ จะได้เส้นตรงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

รูปที่ 3.1 (ข) แสดงรูปคลื่นขาออกของวงจรอินทิเกรเตอร์เมื่อป้อนแรงดันอินพุตค่าต่าง ๆ เช่นกรณีอินพุตเป็นบวก กรณีอินพุตเป็นลบ และกรณีที่อินพุตเป็นทั้งบวกลบโดยเป็นบวกนาน t_1 วินาทีและเป็นลบนาน t_2 วินาทีจะเห็นว่าถ้าอินพุตเป็นบวกเอาท์พุตจะเป็นเส้นตรง ที่มี slope เป็นลบ และถ้าอินพุตเป็นลบจะได้เอาท์พุตเป็นบวก การให้วงจรอินทิเกรเตอร์ทำการอินทิเกรต ขึ้นและลงแบบนี้จะได้เส้นตรง slope คู่

คราวนี้ลองมาดูรูปที่ 3.2 เป็นรูปแสดงหลักการทำงานของวงจร A/D แบบ slope คู่ อินพุตของวงจรอินทิเกรเตอร์เป็นแรงดันไฟที่จะวัด E_i และมีอีกอินพุตหนึ่งเป็นแรงดันไฟมาตรฐาน E_{ref} อินพุตทั้งสองนี้จะมีขั้วสลับกันเสมอและจะผลัดกันต่อเข้ากับวงจรอินทิเกรเตอร์ ทำให้มีการอินทิเกรตขึ้นและลงเป็นจังหวะอยู่ตลอดเวลา เอาท์พุต E_o ของวงจรอินทิเกรเตอร์จะต่อเข้ากับวงจรเปรียบเทียบ ซึ่งจะทำหน้าที่ตรวจจับว่าแรงดัน E_o เมื่อใดเป็น 0 V

วงจรควบคุมในวงจร A/D นี้เป็นวงจรดิจิทัล ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรทั้งหมดที่สำคัญ จะควบคุม S1 และ S2 เมื่อต่ออินพุตให้กับวงจรอินทิเกรเตอร์



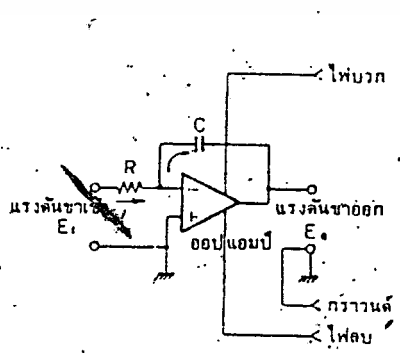
(ก) บล็อกไดอะแกรมของวงจร A/D แบบ slope คู่

(ข) ไทม์ชาร์ต

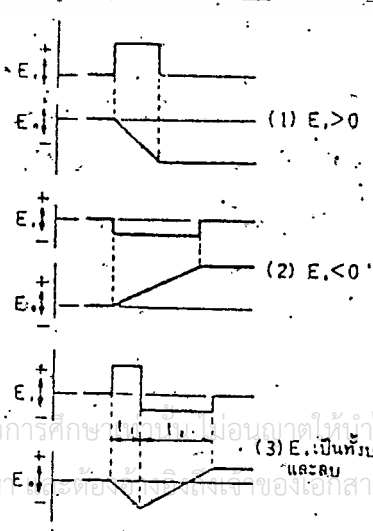
รูปที่ 3.2 หลักการทำงานของวงจร A/D แบบ slope คู่

การทำงานของวงจรเริ่มจาก เมื่อแรงดัน $E_o = 0\text{ V}$ วงจรควบคุมจะปิดสวิตช์เพื่อให้แรงดันที่จวัด E_i ต่อเข้ากับวงจรอินทิเกรตเตอร์ วงจรควบคุมจะปล่อยให้วงจรอินทิเกรตเตอร์ทำการอินทิเกรตสัญญาณ E_i เป็นระยะเวลา t_1 วินาที การจับเวลา t_1 นี้ทำได้ไม่ยากนัก โดยทั่วไปมักจะใช้วงจรนับ นับ pulse ที่มีความถี่ที่จนได้ค่าที่กำหนดไว้ เช่น นับ pulse ความถี่ 10 KHz ให้ได้ 1000 ลูกก็ใช้เวลา 0.1 วินาที เป็นต้น

เมื่อครบเวลา t_1 วงจรควบคุมจะเปิดสวิตช์ S_1 ในขณะนั้นแรงดันเอาต์พุตของอินทิเกรตเตอร์ E_o จะมีค่าเปลี่ยนกับแรงดัน $E_i = 1\text{ V}$ ให้ $E_o = -1.5\text{ V}$ ถ้า $E_i = 2\text{ V}$ ก็จะได้ $E_o = 3.0\text{ V}$ เป็นต้น จากนั้นวงจรควบคุมจะปิดสวิตช์ S_2 เพื่อต่อแรงดันไฟมาตรฐาน E_{ref} เข้ากับวงจรอินทิเกรตเตอร์และรีเซ็ตวงจรนับ แรงดัน E_{ref} จะมีขั้วตรงกันข้ามกับ E_i สมมติให้ E_{ref} เป็นแรงดันลบ คราวนี้วงจรอินทิเกรตจะอินทิเกรตสัญญาณทำให้เกิดเส้นตรงที่มี slope ตรงกันข้าม แรงดัน E_o จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนในที่สุด $E_o = 0\text{ V}$ ในช่วงเวลานี้สมมติว่าใช้เวลา t_2 ขณะเดียวกันวงจรนับจะนับ pulse ไปเรื่อย ๆ เมื่อ $E_o = 0\text{ V}$ วงจรเปรียบเทียบจะตรวจจับเหตุการณ์นี้และส่งสัญญาณไปยังวงจรควบคุม วงจรควบคุมจะเปิดสวิตช์ S_2 และให้วงจรนับหยุดนับ pulse ค่าที่นับได้ในวงจรนับขณะนั้นจะเท่ากับค่าแรงดันที่ต้องการวัดพอดี



(ก) วงจรอินทิเกรตพื้นฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 การทำงานของวงจรอินทิเกรเตอร์

ที่เป็นเช่นนั้นเพราะแรงดัน E_{ref} มีค่าคงที่ช่วงเวลา t_2 ในการอินทิเกรตสัญญาณแรงดัน เป็นศูนย์ จะแปรผันกับแรงดันขาเข้า E_i ถ้า E_i มีค่ามากกว่า E_0 หลังจากการอินทิเกรตครั้งแรกจะ มาก จึงใช้เวลา t_2 ในการอินทิเกรตครั้งที่สองมากตามไปด้วย สมมติให้ $E_i = 1\text{ V}$ และ $E_{ref} = -1\text{ V}$ ได้ $t_1 = t_2$ เท่ากับการนับ pulse 1000 ลูก ถ้าให้ $E_i = 1.5\text{ V}$ จะได้ $t_2 = 1.5 t_1$ หรือเท่ากับการนับ pulse 1500 ลูก จะสังเกตเห็นว่าค่าการนับ pulse นี้ตรงกับค่าแรงดัน E_i ซึ่งเป็นแรงดันที่ต้องการวัด เช่น $E_i = 1.000\text{ V}$ ได้ค่านับ 1000 ลูก และ $E_i = 1.500\text{ V}$ ได้ค่านับ = 1500 เป็นต้น

ค่านับของวงจรมีสามารถส่งออกไปที่แอลซีและถอดรหัสเพื่อแสดงผลด้วย LCD 7 ซิต่ออีกที หนึ่ง ทำให้เราสามารถอ่านค่าแรงดันเป็นตัวเลขได้โดยตรง

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่มีขายตามท้องตลาดโดยทั่ว ๆ ไป มักแสดงผลสูงสุดเป็น 1999 แสดงว่า t_2 จะทำการนับ pulse ไม่เกิน 2000 ลูก ถ้าในวงจรเราใช้ pulse ความถี่ 10 KHz ในการวัด หนึ่งครั้งจะต้องมีการอินทิเกรต 2 ครั้ง กินเวลา t_1+t_2 หรือเท่ากับการนับ pulse จำนวนสูงสุดไม่เกิน $1000 + 2000$ ลูกซึ่งจะกินเวลา 0.3 วินาที นับว่าเป็นเวลาที่ยาวนานมากพอสมควร ในหนึ่ง วินาทีจะนับได้ไม่เกิน 3 ครั้งเท่านั้น ถ้าเป็นดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่แสดงผลสูงสุดเป็น 19999 ก็ยังมีการนับ pulse เป็นจำนวนมากขึ้นถึง 10 เท่า ถ้าใช้ pulse ความถี่ 10 KHz เท่าเดิม จะต้องใช้เวลาถึง 3 วินาที ในการวัดหนึ่งครั้งซึ่งยาวนานเกินไป ดังนั้นคงต้องเพิ่มความถี่ของ pulse ให้สูงขึ้น เช่นเป็น 100 KHz เป็นต้น

ไอซีที่เป็นวงจร A/D แบบ slope คู่นี้มีด้วยกันหลายเบอร์ และผลิตกันหลายบริษัท เช่น เบอร์ ICL 7106 ของบริษัทอินเตอร์ซิล (Intersil) เบอร์ MC14433 บริษัทโมโตโรรา เป็นต้น บางเบอร์ก็ใช้ IC เพียงตัวเดียว บางเบอร์ก็ใช้ IC 2 ตัวต่อเป็นชุด ปกติมักใช้อุปกรณ์ภายนอก เช่น RC ต่อเพิ่มอีกเพียงเล็กน้อยก็สามารถใช้งานได้ดี

3.2 หลักการทำงานของ ICL7106

ICL 7106 ใช้หลักการที่เรียกว่า "DUAL SLOPE INTEGRATION" ซึ่งเป็นเทคนิคในการ เปลี่ยนสัญญาณ ANALOG ให้เป็นสัญญาณ DIGITAL ภายใน ICL7106 แบ่งออกเป็น 3 ภาคใหญ่ ๆ คือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.2.1 ภาค ANALOG

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ภาค CLOCK SIGNAL

3.2.3 ภาค DIGITAL

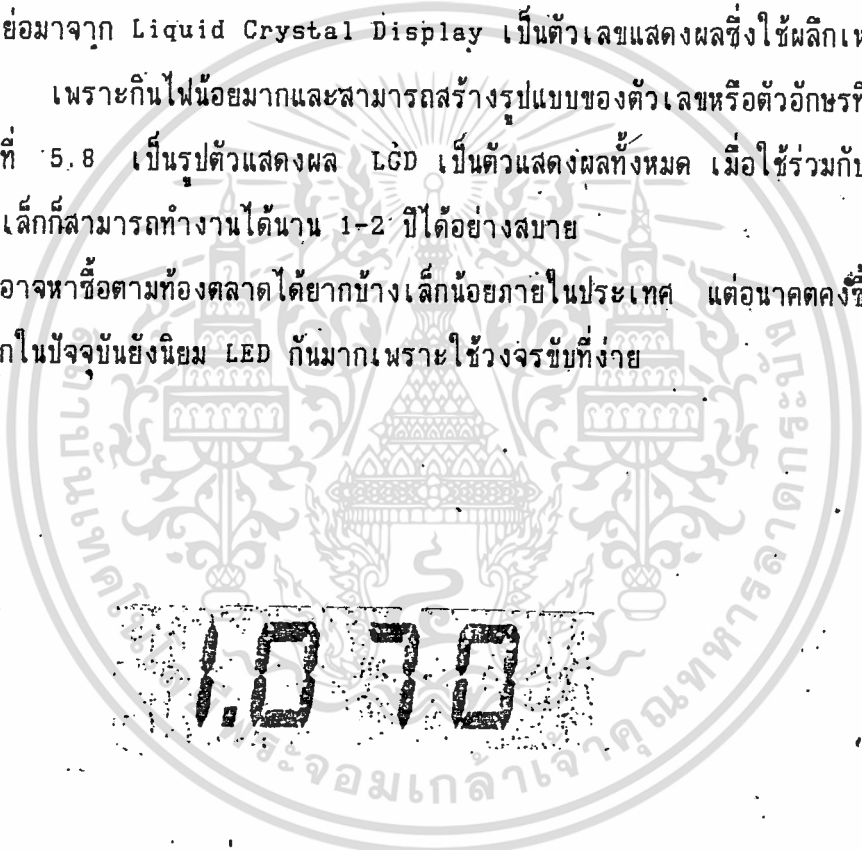
ภาคแสดงผล (DISPLAY)

ICL 7106 จะใช้ LCD 3 1/2 หลัก เป็นตัวแสดงผลเท่านั้น

หลักการของ LCD

LCD ย่อมาจาก Liquid Crystal Display เป็นตัวเลขแสดงผลซึ่งใช้ผลึกเหลว ปัจจุบันนิยมใช้กันมาก เพราะกินไฟน้อยมากและสามารถสร้างรูปแบบของตัวเลขหรือตัวอักษรที่จะแสดงได้หลายรูปแบบ รูปที่ 5.8 เป็นรูปตัวแสดงผล LCD เป็นตัวแสดงผลทั้งหมด เมื่อใช้ร่วมกับ IC CMOS ใช้ถ่านปรอทขนาดเล็กก็สามารถทำงานได้นาน 1-2 ปีได้อย่างสบาย

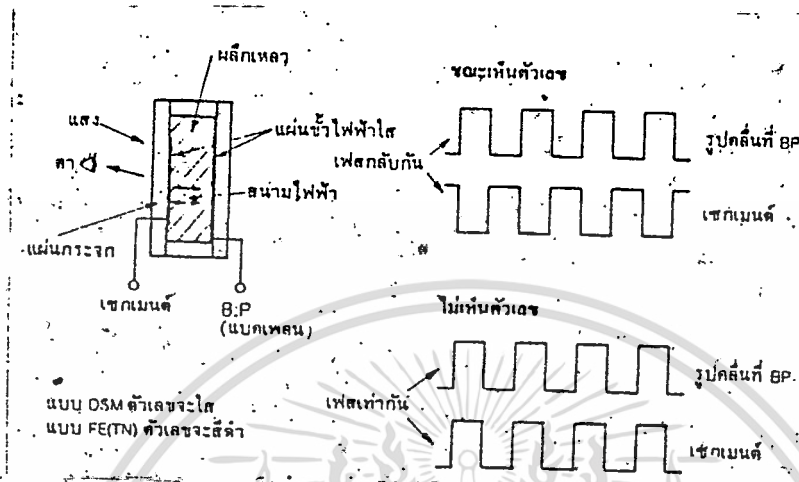
LCD นี้อาจหาซื้อตามท้องตลาดได้ยากบ้างเล็กน้อยภายในประเทศ แต่อนาคตคงซื้อได้ง่ายขึ้น นักเล่นอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันยังนิยม LED กันมากเพราะใช้วงจรขั้วที่ง่าย



รูปที่ 5.8 แผงแสดงผล LCD

การขับ LCD ให้แสดงตัวเลขนั้น ยุ่งยากกว่า LED มาก เพราะต้องใช้ไฟสลั้มในการขับ ดูรูปที่ 5.9 ซึ่งแสดงโครงสร้างภายในของ LCD ทางด้านข้างจะเห็นแผ่นกระจก 2 แผ่นวางประกบกันภายในจะเป็นผลึกเหลวซึ่งมีผลึกเหลวบรรจุอยู่ แผ่นกระจกจะวางประกบกันและผลึกกันจนแน่น และไม่มียากาศรั่วเข้าไปได้ ด้านในของแผ่นกระจกจะมีแผ่นขั้วไฟฟ้าชนิดใสประติดอยู่ทั้งสองด้าน แผ่นขั้วไฟฟ้าที่ประติดกับกระจกด้านล่างจะกว้างใหญ่ เราเรียกว่า แบคเพลน (back plane) เรียกย่อว่า BP ส่วนแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ประติดกับกระจกด้านบน จะมีรูปร่างตามแบบตัวอักษรหรือตัวเลขที่ต้องการแสดงผล ส่วนนี้เป็นเอกลักษณ์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบเขียวจะเห็นการค้าแผ่นนี้ เรียกว่า เซกเมนต์ (segment) แผ่นเซกเมนต์จะมีรูปแบบอย่างไรก็ได้ตามที่เร้ออกแบบ ตั้งใช้

นั้นนอกจากตัวเลขและตัวอักษรแล้วแผง LCD ยังสามารถแสดงรูปภาพ เช่น ในเครื่องเล่นเกมกด หรือแสดงแท่งกราฟเหมือนในเครื่องคิดเลขได้

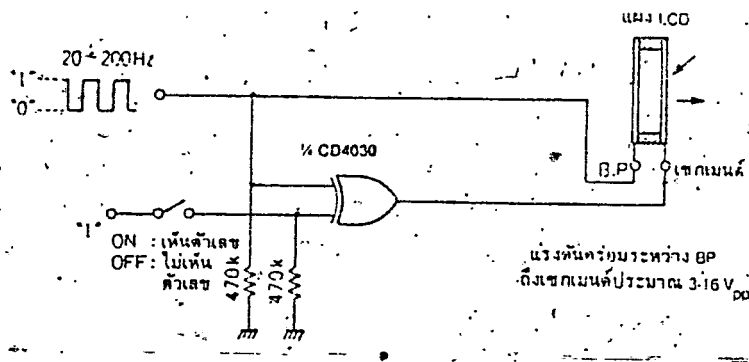


รูปที่ 5.9 การทำงานของ LCD

ถ้าเรานำแรงดันมาคร่อมระหว่างขั้ว BP และเซกเมนต์นี้ สนิมไฟฟ้าจะทำให้ผลึกเหลวซึ่งอยู่ระหว่างกลางเปลี่ยนคุณสมบัติทางด้านแสงไป เช่น เปลี่ยนดัชนีหักเห หรือเปลี่ยนดัชนีการสะท้อน เมื่อเรามองแผงแสดงผลทางด้านหน้าจึงเห็นตัวเลขลอยขึ้นมาปรากฏให้เห็นชัด LCD จะไม่เปลืองแสงออกมาจากตัวของมันเอง

ถ้าใช้แรงดันไฟตรงคร่อมแผ่นขั้วไฟฟ้านาน ๆ จะทำให้ผลึกเหลวเกิดการแยกตัวทางไฟฟ้า ทำให้เสื่อมคุณภาพไปได้ ดังนั้นการขับ LCD ที่ถูกต้องจึงต้องใช้ไฟสลับแทนไฟตรง ไฟสลับที่ใช้จะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมมีความถี่ระหว่าง 20 - 200 Hz มีขนาดรูปคลื่น 3-30 V

รูปที่ 5.10 แสดงการขับ LCD โดยใช้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมและเกต Ex-Or ที่ BP จะได้รับคลื่นสี่เหลี่ยมอยู่ตลอดเวลา ทางด้านเซกเมนต์ก็จะได้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมเหมือนกัน เพียงแต่เมื่อต้องการให้เห็นตัวเลขบนแผง จะให้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความต่างเฟส 180 องศา กับรูปคลื่นที่ BP ถ้าเป็นรูปคลื่นที่เหมือนกันไม่ต่างเฟสกันเลย จะไม่มีแรงดันคร่อมขั้วไฟฟ้าและทำให้ไม่เห็นตัวเลขบนแผง เราใช้เกต Ex-Or ในการกลับเฟสของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนี้ ขาข้างหนึ่งของเกต Ex-OR จะควบคุมรูปคลื่น O/P คือ ถ้าเป็น "1" จะได้รับคลื่นกลับเฟส ถ้าเป็น "0" จะได้รับคลื่นมีเฟสเหมือนกัน



รูปที่ 5.10 การขับ LCD ด้วยรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

ในการขับ LCD ให้แสดงตัวเลขนี้แทบจะไม่ต้องใช้กระแสเลยใช้แต่เพียงแรงดันเท่านั้น ทำให้ LCD กินไฟน้อยมากประมาณ 1-5 μ W ต่อพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรเท่านั้น

LCD มีข้อดีและข้อเสียแยกกล่าวได้ดังนี้

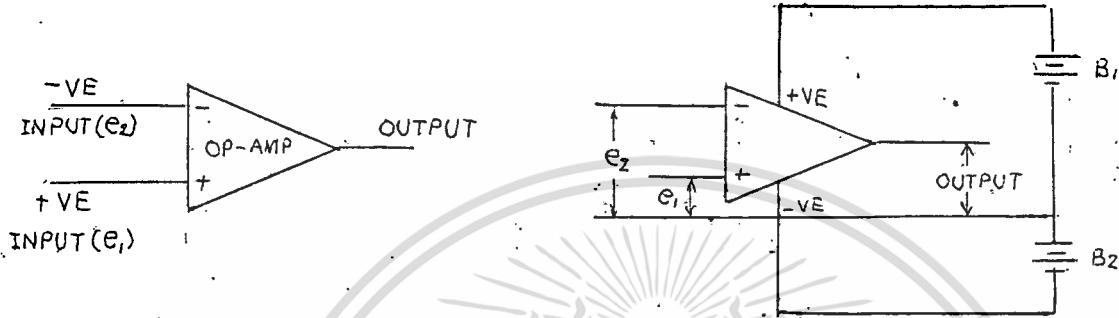
1. LCD ไม่เปลืองแสงจึงมองไม่เห็นในที่มืด แต่ถ้าเป็นที่สว่างจะมองเห็นได้ชัดเจน แม้จะมีแสงสว่างจ้าอย่างไรก็ตาม ซึ่งตรงกันข้ามกับ LED ซึ่งจะมองเห็นได้ชัดเจนในที่มืดได้มากกว่าที่สว่าง
2. กินไฟน้อยมาก จึงใช้กับถ่านขนาดเล็กได้
3. จะเสื่อมคุณภาพได้ถ้าถูกแรงดันไฟตรงคร่อม หรือถูกแสงแดดส่องทางด้านหน้าโดยตรง
4. ถ้าอากาศหนาวเกินไป LCD จะแข็งตัว และถ้าอากาศร้อนไป LCD จะเสื่อมคุณภาพ
5. ใช้แผ่นกระจกเป็นแผงแสดง ดังนั้นจึงแตกง่ายและขบอบบาง
6. แสดงรูปแบบอักษรและภาพได้อย่างอิสระ
7. การขับเชกเมนต์ต้องใช้ไฟสลับ ทำให้วงจรขับซับซ้อน การขับแบบโค่นามิกก็ทำได้ยาก
8. ผลตอบซ้ำเมื่อเทียบกับ LED

จะเห็นว่า LCD จะมีทั้งข้อดีและข้อเสียในตัวเอง ปัจจุบันไม่มีบริษัทใดผลิต LCD ที่เป็นตัวเลขโดด ๆ ส่วนมากจะผลิตออกมาเป็นแผงตัวเลขที่ประกอบด้วยตัวเลขหลายตัว ใช้ในงานเฉพาะด้าน เช่น เป็นแผงตัวเลขของนาฬิกา, เครื่องคิดเลข, เครื่องวัดดิจิตอล เป็นต้น นอกจากนั้น IC ที่ใช้ขับแผง LCD จะเป็น IC สำเร็จรูปผลิตออกมาใช้เฉพาะงานมีวงจรถับ LCD อยู่ภายในเรียบร้อยแล้ว เมื่อได้ภาคต่าง ๆ มาแล้วจะได้วงจรรวมดังรูปที่ 5.11

OPERATION AMPLIFIER (ออปแอมป์)

ทฤษฎี

ออปแอมป์ทั้งหมดมีอินพุตเป็นแบบ differential และมีสัญญาณ ดังรูปที่ 1 (ก) ส่วนรูปที่ 1 (ข) แสดงการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับออปแอมป์ จะเห็นว่าต้องมีไฟเลี้ยงให้ออปแอมป์ จะเห็นว่าต้องมีไฟเลี้ยง 2 ชุดกราวด์ร่วมกัน ฉะนั้นเอาท์พุท จึงสวิงสูงขึ้นได้ทั้งบวกและลบ เทียบกับกราวด์



(ก) สัญญาณลักษณะ

(ข) การต่อไฟเลี้ยง

รูปที่ 1 ออปแอมป์

ออปแอมป์มีอินพุตเข้า 2 จุด ระหว่างอินพุตและเอาท์พุทต่อกันแบบต่อตรง (Direct coupling) ที่ความถี่ต่ำอัตราการขยายทางโวลเตจ สูงถึงประมาณ 100,000 เท่า และอินพุทอิมพีแดนซ์แต่ละจุดประมาณ 1 เมกกะโอห์ม ในขณะที่เอาท์พุทอิมพีแดนซ์เพียงสองสามร้อยโอห์ม

อินพุทที่จุดหนึ่งเป็นแบบลบ (negative หรือ inverting input) จะทำให้เอาท์พุทออกไปมีขั้วตรงข้ามกับอินพุท ในขณะที่อินพุทอีกจุดหนึ่งเป็นแบบบวก (positive หรือ non inverting) จะทำให้เอาท์พุทมีขั้วเหมือนกับอินพุท

ถ้าป้อนโวลท์ที่เต็มบวกให้กับอินพุทลบ ในขณะที่อินพุทบวกต่อกับกราวด์ ผลก็คือเอาท์พุทจะกลับขั้ว คือมีโวลท์ที่เต็มแกว่งไปทางลบ ในทางกลับกัน ถ้าให้อินพุทลบต่อกับกราวด์ แล้วป้อนโวลท์ที่เต็มบวกให้กับอินพุทบวก ที่เอาท์พุทจะไม่กลับขั้วผลก็คือ เอาท์พุทจะแกว่งไปทางบวก

ถ้าป้อนสัญญาณที่เหมือนกันทุกประการ ให้แก่อินพุทบวกและลบ ในเวลาเดียวกันเอาท์พุทจะเป็นศูนย์ เนื่องจากสัญญาณทั้งสองจะหักล้างกันด้วยผลของตัวขยาย ซึ่งเป็นแบบ differential ให้สังเกตว่า เอาท์พุทของวงจรจะเป็นสัดส่วนกับผลต่างของสัญญาณที่อินพุททั้งสอง และกำหนดได้ด้วย

$$E_{OUT} = A_o (e_1 - e_2)$$

เมื่อ A_o = อัตราขยายแบบ open loop (ปกติมีค่าประมาณ 100,000) ของออปแอมป์

e_1 = โวลท์เต็มของสัญญาณที่เข้าอินพุทบวก

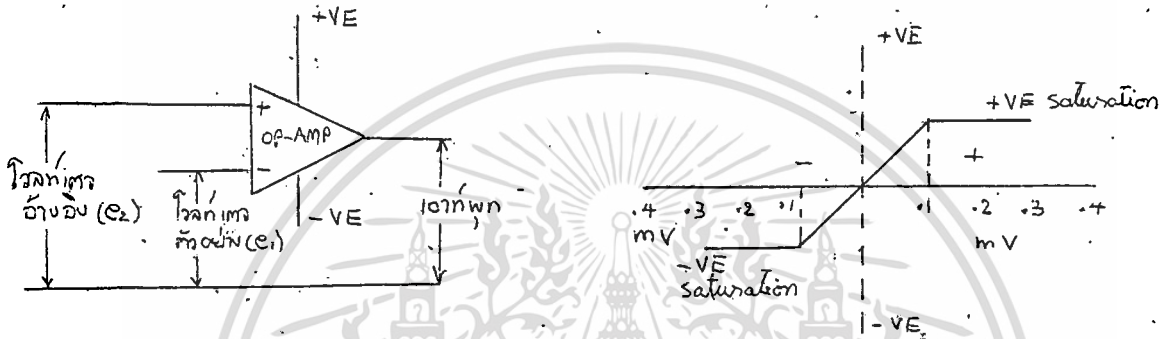
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุผิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e2 = โวลต์เตจของสัญญาณที่เข้าอินพุตลบ

ตัวอย่าง การนำเอาออปแอมป์ ไปใช้งาน

1. วงจรเปรียบเทียบโวลต์เตจแตกต่าง

ในรูปที่ 2 ที่อินพุตมีโวลต์เตจอ้างอิงอยู่ค่าหนึ่ง ส่วนที่อินพุตบวก มีโวลต์เตจเปลี่ยนค่าได้หรือโวลต์เตจตัวอย่างป้อนอยู่ เมื่อโวลต์เตจตัวอย่างมากกว่า โวลต์เตจอ้างอิงสองสามร้อยไมโครโวลต์ เอาท์พุทจะถูกขับจนถึงจุดอิ่มตัวในทิศทางบวก และเมื่อโวลต์เตจตัวอย่างน้อยกว่าโวลต์เตจอ้างอิงสองสามร้อยไมโครโวลต์ เอาท์พุทจะถูกขับจนถึงจุดอิ่มตัว



รูปที่ 2 วงจรเปรียบเทียบโวลต์เตจแตกต่าง

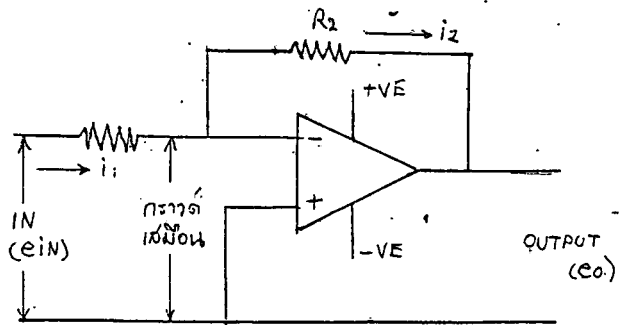
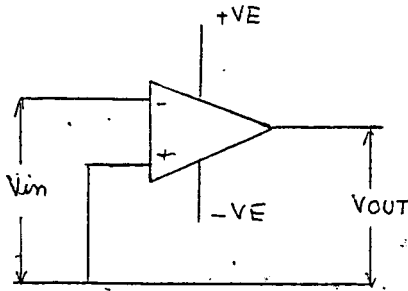
รูปที่ 3

ในทิศทางลบ ในรูปที่ 3 แสดงการเปลี่ยนทางโวลต์เตจ (Voltage transfer characteristics) ของวงจรในรูปที่ 2 ให้สังเกตด้วยว่า ความแตกต่างทางขนาดของโวลต์เตจทางอินพุต เป็นตัวชี้ขนาดของโวลต์เตจทางเอาท์พุท โดยขนาดทางอินพุตจะเป็นอย่างไรไม่สำคัญนั้น ถ้าใช้โวลต์เตจ 1 โวลต์เป็นระดับอ้างอิง และจะใช้โวลต์เตจที่มีค่าแตกต่างเพียง 200 ไมโครโวลต์ ก็จะทำให้เอาท์พุทเปลี่ยนจากลบไปเป็นบวกถึงระดับอิ่มตัวได้ หรือการเปลี่ยนนี้มีสาเหตุโดยเลื่อนสัญญาณตัวอย่าง 1 v ไปเพียง 0.02 เปอร์เซ็นต์ก็ได้ ฉะนั้นวงจรนี้จึงทำงานหรือมีหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบโวลต์เตจชนิดเที่ยงตรง (precision voltage comparator) หรือบาลานซ์ดีเทคเตอร์

2. วงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียล

ออปแอมป์สามารถใช้ทำเป็นภาคขยายดิฟเฟอเรนเชียลแบบกลับขั้วได้ โดยการต่อจุดอินพุตบวกลงกราวด์ แล้วป้อนสัญญาณให้กับจุดอินพุตลบ ดังรูปที่ 4 ที่มีโครงร่างใช้ลูปเปิด (ไม่มีการป้อนกลับ) ฉะนั้นจึงให้อัตราขยายทางโวลต์เตจประมาณ 100,000 เท่าและมีอินพุตอิมพีแดนซ์ประมาณ 1 เมกกะโอห์ม ข้อเสียของวงจรนี้ก็คือ พารามิเตอร์ของมันจะขึ้นอยู่กับตัวออปแอมป์จริง ๆ และเปลี่ยนแปลงไปตามออปแอมป์แต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 Open-loop inverting d.c. Amplifier. รูปที่ 5 Basic close-loop inverting d.c. amplifier

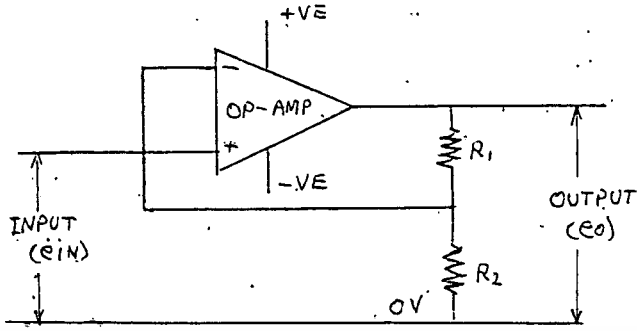
อัตราขยาย A ของวงจรกำหนดด้วยอัตราส่วนของ R_1 และ R_2 โดย $A = R_2/R_1$ อัตราขยายนี้ไม่ขึ้นกับคุณสมบัติของตัวออปแอมป์เลย และอัตราขยายแบบลูปเปิด (open loop gain : A_0) จะสูงกว่าอัตราขยายแบบปิด (close loop gain : A) อินพุทอิมพีแดนซ์ของวงจรมีค่าเท่ากับ R_1 และไม่ขึ้นกับคุณสมบัติของตัวออปแอมป์เช่นกัน

ควรสังเกตด้วยว่า ถึงแม้ R_1 และ R_2 เป็นตัวควบคุมอัตราขยายของวงจรสมบูร์มันจะไม่มีผลต่อพารามิเตอร์ของออปแอมป์จริงและอัตราขยายเต็มทีของออปแอมป์ ก็ยังคงวัดได้จากจุดอินพุทลบเทียบกับเอาท์พุท และเช่นกันที่จุดอินพุทลบก็ยังคงมีอินพุทอิมพีแดนซ์สูงอยู่เช่นเดิม ซึ่งกระแสสัญญาณที่จะไหลเข้าไปในจุดอินพุทลบถือว่าตัดทิ้งไปได้ ด้วยเหตุนี้กระแสจริง ๆ ของสัญญาณที่ผ่าน R_1 จึงผ่าน R_2 ด้วย และพอจะถือได้ว่ากระแส i_1 เท่ากับ i_2

เนื่องจากสัญญาณโวลต์ที่เข้าที่เอาท์พุท ตรงด้านปลายของ R_2 จะสูงกว่าที่ด้านปลายของอินพุทลบบน A เท่า กระแสที่ไหลผ่าน R_2 จึงมากกว่ากระแสที่เกิดจากสัญญาณที่จุดอินพุทลบ โดยตรงแต่เพียงอย่างเดียว A เท่าด้วย ด้วยเหตุนี้ เมื่อมองจากด้านปลายของจุดลบบ R_2 จึงมีค่าปรากฏเป็น R_2/A และจุดต่อระหว่าง R_1 - R_2 จะเห็นว่ามีอิมพีแดนซ์ต่ำเหมือนกราวด์จริง (Low impedance Virtual earth point) จึงเป็นจุดเสมือน

3. วงจรขยายดิซีแบบไม่กลับขั้ว

จากวงจรข้างต้นนี้ จะเห็นว่าทั้งอัตราขยายและอินพุทอิมพีแดนซ์ สามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำ โดยการเลือกค่า R_1 และ R_2 ให้เหมาะสม และไม่มีผลต่อคุณสมบัติประจำตัวของออปแอมป์ ในทำนองเดียวกัน วงจรขยายดิซีแบบไม่กลับขั้วก็จะมีคุณสมบัติเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 6 ในกรณีนี้ อัตราขยายทางโวลต์เต็ม (A) = $(R_1+R_2)/R_2$

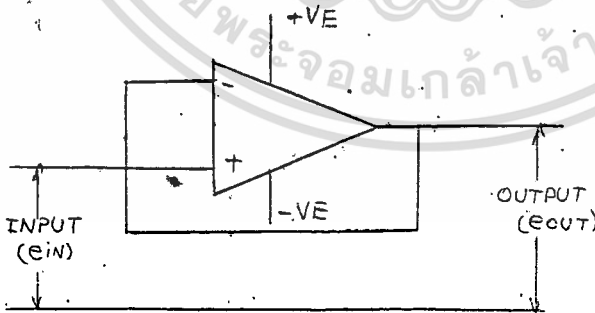


รูปที่ 6 Basic non-inverting d.c amplifier

ส่วนอินพุทอิมพีแดนซ์ (Z_{in}) มีค่าเท่ากับ $(A_o/A)/Z_{ino}$ โดยประมาณ โดย Z_{ino} คืออินพุทอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์ที่ต่อแบบลูปเปิด ข้อดีมากของวงจรนี้ก็คือได้อินพุทอิมพีแดนซ์สูงมาก

4. วงจรขยายดีซีแบบโวลท์เฟ็ลโลว

ออปแอมป์สามารถต่อเป็นวงจรโวลท์เฟ็ลโลว (voltage follower) ได้ โดยต่อแบบการขยายดีซีแบบไม่กลับขั้วที่มีอัตราขยายเป็นหนึ่ง (Unity-gain non-inverting d.c amplifier) ดังรูปที่ 7 ในกรณีนี้โวลท์เฟ็ลโลวที่อินพุทและเอาท์พุทมีค่าเท่ากัน แต่อินพุทอิมพีแดนซ์ของวงจรจะสูงมาก และมีค่าเท่ากับ $A_o \times Z_{ino}$ โดยประมาณ



รูปที่ 7 Basic Unity-gain d.c voltage follower

5. วงจรทั่วไป

วงจรออปแอมป์พื้นฐานที่แสดงมาทั้งหมดแล้วนั้น เป็นการขยายดีซีแต่สามารถแปลงให้ใช้สำหรับการขยายเอซีได้ นอกจากนี้แล้วออปแอมป์ยังใช้งานอื่น ๆ ได้อีกนอกจากจะทำหน้าที่ขยายอย่างง่าย ๆ โดยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันสามารถทำเป็น Phase splitter แบบเที่ยงตรง เป็น Adder หรือ Subtractor ทำเป็น Active filter หรือ Selective amplifier ทำเป็น Precision half-wave หรือ full-wave หรือ full-wave rectifier และทำเป็น oscillator หรือ MULTIVIBRATOR เป็นต้น

พารามิเตอร์ของออปแอมป์

ออปแอมป์ในโมเดล (ideal) จะมีอินพุตสูงเป็นอนันต์และเอาต์พุตมีพีแดนซ์ต่ำจนเป็นศูนย์ และจะมีอัตราขยายและแบนด์วิดท์เป็นอนันต์ด้วย อีกทั้งอินพุตและเอาต์พุตจะมีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ แต่ออปแอมป์ที่ใช้งานจริง ๆ ในทางปฏิบัติมีอัตราขยายจำกัด รวมทั้งแบนด์วิดท์และอื่น ๆ ด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตก็มีความผิดพลาดด้วย ด้วยเหตุดังกล่าวนี้ จึงต้องมีข้อ มูลละเอียดกำกับ เป็นพารามิเตอร์แสดงสมรรถนะต่าง ๆ ของออปแอมป์อยู่ด้วย เพื่อใช้เป็นตัววัดว่า ออปแอมป์ที่จะนำไปใช้ดีแล้วแค่ไหน พารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ มีดังต่อไปนี้

(1) อัตราขยายขณะลูปเปิด (open-loop voltage gain: A_{OL})

เป็นอัตราขยายทางโวลต์ที่แท้จริง ซึ่งทำการวัดโดยตรงระหว่างจุดอินพุตกับเอาต์พุตของ ออปแอมป์ อาจแสดงในหน่วยของจำนวนเท่า หรือดีบีก็ได้ อัตราขยายทั่ว ๆ ไปจะเป็น 100,000 เท่า หรือ 100 ดีบี

(2) อินพุตอิมพีแดนซ์ (z_{in})

เป็นการวัดอิมพีแดนซ์ โดยมองตรงเข้าไปทางอินพุตของออปแอมป์ ปกติจะแสดงในรูป ของความต้านทานเพียงอย่างเดียว ค่าปกติจะเป็น 1 เมกกะโอห์ม

(3) เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (z_o)

เป็นการวัดอิมพีแดนซ์ที่เอาต์พุตของออปแอมป์พื้นฐาน และปกติแสดงในรูปของความต้านทาน เพียงอย่างเดียว ค่าปกติจะเป็น 100 หรือ 200 โอห์ม

(4) กระแสไบอัสทางอินพุต (Input bias current: I_b)

ออปแอมป์เกือบทั้งหมดใช้ทรานซิสเตอร์เป็นแบบไบโพลาร์ทางด้านอินพุต จึงดึงกระแสไบอัสเล็กน้อยจากอินพุต ขนาดของกระแส I_b ปกติจะใช้เพียงเศษของไมโครแอมป์ คือ ประมาณ 200 nA

(5) ย่านของไฟเลี้ยง (Supply Voltage range : V_s)

ปกติออปแอมป์จะใช้ไฟเลี้ยง 2 ชุด และจะต้องอยู่ในย่านกำหนดสูงสุดและต่ำสุดด้วยถ้าไฟสูงเกินไปออปแอมป์ก็อาจจะเสียหายได้ ถ้าไฟต่ำการทำงานก็จะผิดพลาด ย่านไฟเลี้ยงที่กำหนดปกติจะมีค่า ระหว่าง +3 V ถึง +15 V

(6) ย่านโวลต์เดจทางเอาต์พุต V_{o(max)}

ไม่อาจรู้ได้ว่าเอกสารที่ส่งมาไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่วารณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าออปแอมป์ถูกขับจนเกินขนานเอาท์พุทของมันจะอิมิตัว โดยถูกกำหนดด้วยโวลท์เต็มของไฟเลี้ยง ดังนั้น $V_o(\max)$ ปกติจะกำหนดให้มีค่าต่ำกว่าไฟเลี้ยง V_s อยู่ 1 ถึง 2 โวลท์

(7) ความต่างศักดาคาทิฟเฟอเรนเชียลอินพุท (Differential input offset voltage: V_{io})

จากที่กล่าวมาแล้วว่าออปแอมป์ในโมดตินั้น ความสัมพันธ์หรือการตามกัน (tracking) ระหว่างอินพุทกับเอาท์พุทเป็นไปอย่างสมบูรณ์แบบ ฉะนั้นเอาท์พุทควรจะเป็นศูนย์ เมื่อให้อินพุททั้งสองต่อกราวด์ แต่ในออปแอมป์จริง ๆ ที่ใช้อยู่กัน ไม่สมบูรณ์แบบอย่างที่ว่าไว้ และในทางปฏิบัติวงจรทางค้ำอินพุทย่อมมีความหมายไม่สมดุลกันอยู่บ้างเล็กน้อย ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดความแตกต่าง (offset) ศักดาไบอัสจ่ายไปให้จุดอินพุททั้งสองของออปแอมป์ ตามปกติความต่างศักดาคาทิฟเฟอเรนเชียลอินพุทมีค่าเพียง 2-3 มิลลิโวลท์ แต่เมื่อโวลท์เต็มนี้ถูกขยาย ด้วยวงจรของออปแอมป์ที่ใช้ ก็อาจเพียงพอที่จะไปขับให้เอาท์พุทของออปแอมป์ถึงระดับอิมิตัวได้ ด้วยเหตุนี้ออปแอมป์ทั้งหมดจึงมีขาสำหรับต่อกับวงจรภายนอกเพื่อทำให้ความต่างศักดา (offset voltage) หดไป (nulling out)

(8) อัตราส่วนการขจัดสัญญาณร่วมโหมด (Common mode rejection ratio; CMRR)

ออปแอมป์ในโมดติจะผลิตเอาท์พุทออกมาโดยเป็นส่วนกับผลต่าง สัญญาณสองสัญญาณที่ป้อนให้กับอินพุทบวกและลบ ฉะนั้นมันควรจะให้เอาท์พุทเป็นศูนย์ เมื่ออินพุททั้งสองเป็นสัญญาณที่เหมือนกันทุกประการ และเข้ามาในเวลาเดียวกันด้วย ซึ่งเรียกว่าสัญญาณร่วมโหมด

ในทางปฏิบัติสัญญาณร่วมโหมดนี้ ไม่สามารถหักล้างกันให้หมดไป แต่จะผลิตเป็นสัญญาณขนาดเล็ก ๆ ขึ้นที่เอาท์พุท ความสามารถของออปแอมป์ ในการขจัดสัญญาณร่วมโหมด ปกติแสดงในรูปของอัตราส่วนการขจัดสัญญาณร่วมโหมด ซึ่งเป็นอัตราส่วน (Ratio) ของอัตราขยายของออปแอมป์ขณะสัญญาณต่างกัน กับอัตราขยายของออปแอมป์ขณะสัญญาณร่วมโหมดหรือเหมือนกัน ปกติค่า CMRR ของออปแอมป์ทั่ว ๆ ไปจะมีค่า 90 db

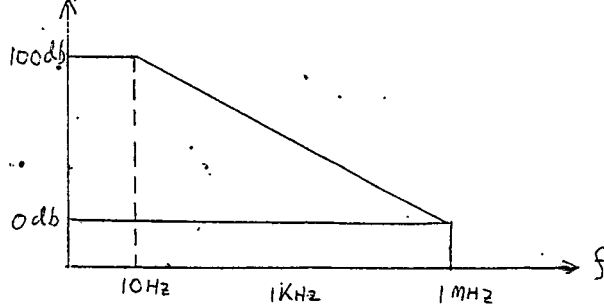
(9) ความถี่หัวเลี้ยวหัวต่อ (Transition frequency : f_t)

ออปแอมป์ธรรมดา นั้น จะให้อัตราขยายทางโวลท์เต็มประมาณ 100 ดีบี ที่ความถี่ต่ำและถ้าเกี่ยวกับความถี่เสถียรภาพของการขยายแล้ว ความถี่ตอบสนองขณะลบเปิดจะมีย่านแคบ ดังนั้นอัตราขยายจะลดลงขณะความถี่สูงขึ้น และจะลดลงถึง 1 (Unity) ที่ความถี่ซึ่งเรียกว่า ความถี่หัวเลี้ยวหัวต่อ, f_t

ปกติการตอบสนองจะลดลงด้วยอัตรา 6 ดีบี ต่ออ็อกเตบ หรือ 20 ดีบีต่อดีเคด รูปที่ 8 แสดงเส้นโค้งตอบสนองของออปแอมป์ทั่วไป โดยมี f_t ที่ 1 MHz และมีอัตราขยาย 100 ดีบีที่ความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 เส้นโค้งตอบสนองของออปแอมป์

ให้สังเกตด้วยว่า ถ้าวงจรเป็นแบบลูปปิด แบนด์วิดท์ของวงจรจะขึ้นอยู่กับอัตราขยายแบบลูปปิด ถ้าให้อัตราขยาย 60 ดีบี แบนด์วิดท์จะกว้างเพียง 1 KHz แต่ถ้าให้อัตราขยายลดลงเป็น 20 ดีบี แบนด์วิดท์ จะกว้างขึ้นเป็น 100 KHz ฉะนั้นสัญลักษณ์ f_t จึงสามารถใช้แสดงเป็นผลคูณของอัตราขยายกับแบนด์วิดท์ (gain-bandwidth product) ก็ได้ ในทางปฏิบัติ การออกแบบอัตราขยายควรจะเป็น 1/10 ถึง 1/20 ของอัตราขยายแบบลูปเปิด ณ ที่ความถี่ที่กำหนดให้ เพื่อให้การทำงานปราศจากความผิดเพี้ยน เช่น จากรูปที่ 5 ที่ความถี่ 10 KHz อัตราขยายแบบลูปปิดควรจะเป็น 5 ถึง 10 เท่า เนื่องจากอัตราขยายแบบลูปเปิดเป็น 100 เท่า (40 db)

(10) สลัวเรท (Slew ratio:s)

ขณะที่ออปแอมป์ยังมีปัญหาเกี่ยวกับขีดจำกัดทางแบนด์วิดท์ตามปกติอยู่แล้ว มันยังมีปัญหาตามปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ขีดจำกัดทางสลัวเรทอีกด้วย ซึ่งมีผลต่อขีดจำกัดของอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของโวลต์เตจ ที่เอาต์พุตของออปแอมป์

ปกติสลัวเรทกำหนดอยู่ในรูปของโวลต์ต่อไมโครวินาที ทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 1V/ms ถึง 10V/ms ผลกระทบอย่างหนึ่งของขีดจำกัดทางสลัวเรทก็คือ แบนด์วิดท์ เมื่อสัญญาณ เอาต์พุตต่ำ ๆ จะกว้างกว่า เมื่อสัญญาณเอาต์พุตสูง ผลอย่างอื่นคือ คลื่นรูปไซน์ที่อินพุตจะเปลี่ยนเป็นรูปสามเหลี่ยมที่เอาต์พุต เมื่อออปแอมป์ทำงานนอกเหนือไปจากอัตราสลัวเรทของมัน

สรุปลัวเรทก็คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของโวลต์เตจที่เอาต์พุตต่อหน่วยเวลา และวัดในขณะที่ที่วงจรออปแอมป์มีอัตราขยายทางโวลต์เตจเป็น 1

เกี่ยวกับการตอบสนองต่อทรานเซียนท์ (Transient response) หรือไรส์ไทม์ (Rise time) ซึ่งก็คือเวลาที่ใช้สำหรับสัญญาณเอาต์พุตสูงขึ้น เริ่มจากขนาด 10% ถึง 90% ของสัญญาณสูงสุด เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นพัลส์รูปสี่เหลี่ยม (step-function pulse) และวงจรทำงานเป็นแบบลูปเปิด ในทางทฤษฎีทางวงจรรีเล็กทรอนิกส์ ไรส์ไทม์ นั้นสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ (BW) ดังนี้

$$BW = 0.35/\text{rise time}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราทสูงสุด (Maximum Rating)

อัตราทสูงสุด ซึ่งกำหนดไว้ในข้อมูลของออปแอมป์ หมายถึงอัตราที่ออปแอมป์จะปลอดภัยจากการถูกทำลายให้เสียหาย

(1) ไฟเลี้ยง (+- Vs หรือ +- Ve)

เป็นแรงไฟวกลับสูงสุดที่ใช้ได้กับออปแอมป์

(2) กำลังงานสูญเสียภายใน (Internal Power Dissipation: Pd)

เป็นกำลังงานสูงสุด ซึ่งสูญเสียภายในออปแอมป์ ที่ยังทนได้ ณ อุณหภูมิแวดล้อมที่กำหนด เช่น 500 mW อุณหภูมิต่ำกว่า 75 องศาเซลเซียส ลงไป

(3) โวลต์เต็จที่ป้อนให้ติฟเฟอเรนเทียลอินพุท (Vid)

เป็นโวลต์เต็จสูงสุดซึ่งสามารถป้อนคร่อมอินพุทวและลบ

(4) อินพุทโวลต์เต็จ (Vicm)

เป็นอินพุทโวลต์เต็จสูงสุดซึ่งสามารถป้อนให้อินพุททั้งคู่กับกราวด์ ในเวลาเดียวกันดั่งที่เรียกว่า common - mode voltage

โดยทั่วไปแล้ว โวลต์เต็จสูงสุดนี้จะเท่ากับไฟเลี้ยง

(5) อุณหภูมิแวดล้อมขณะใช้งาน (Ta)

คือย่านอุณหภูมิแวดล้อมที่ทำงานได้ ภายในข้อกำหนดของผู้ผลิต ให้สังเกตว่าถ้าเป็น Ic ที่มีเกรดสำหรับกิจการทางทหาร (741) จะมีย่านอุณหภูมิสูงกว่า เกรดสำหรับงานการค้าหรืองานทดลองอดิแรก (741C)

(6) ช่วงเวลาที่เอาท์พุทชอร์ตได้ (Output Short-Circuit Duration)

คือระยะเวลาที่เอาท์พุทของออปแอมป์ สามารถชอร์ตกับกราวด์หรือไฟเลี้ยงได้

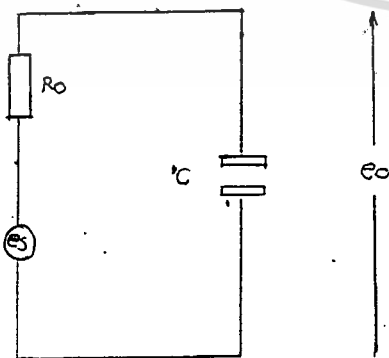
7. การชดเชยทางเฟส (phase compensation)

จะเห็นได้ว่า fast roll off amplifier จะทำงานโดยมีการทรงตัวดีภายใต้สภาวะ closed loop นั้นต้องการมาตรวจการในเรื่องการชดเชยทาง phase เข้าช่วยการชดเชยทางเฟสของ amplifier มีความประสงค์เพื่อตัดแปลง open loop response ในทางที่จะทำให้ closed loop response ที่ต้องการมีการทรงตัวดีวิธีการที่กระทำกันได้แก่การต่อ compensating network ภายนอกเข้าที่จุดต่อภายในของวงจร amplifier แบบหนึ่ง ๆ อาจต้องวงจรเพื่อชดเชยได้หลายอย่างด้วยกันและจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการ สำหรับงานนั้น ๆ คุณสมบัติในเรื่อง slewing rate (จะได้กล่าวต่อไป) และ noise ต่างก็ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่จะใส่ และค่าของ compensating network ด้วย หลักการโดยทั่วไปที่เกี่ยวกับการชดเชยทาง phase จะเหมือนกันสำหรับ operating amplifier ทั้งหลาย และเมื่อเข้าใจเทคนิคของมันดีแล้ว ปัญหาในเรื่องของการทรงตัวก็ไม่มีอะไรยุ่งยากนัก

7.1 Log compensation อย่างง่าย

วิธีการที่ง่ายที่สุดของการชดเชยทาง phase ได้แก่การต่อคาปาซิเตอร์ที่มีค่าค่อนข้างมากพ่วงเข้าที่จุดผ่านสัญญาณบางจุด ถ้าทำให้การลดทอนกำลังสัญญาณเนื่องจากคาปาซิเตอร์นี้เริ่มมีผลตั้งแต่ความถี่ต่ำพอเพียงแล้ว ก็แน่ใจได้ว่าค่าที่ต้องการสำหรับ $1/B$ ยังผลให้ closed loop response มีการทรงตัวดีการลดทอนกำลังอันได้จากคาปาซิเตอร์ตัวเดียวจะคำนวณได้จากวงจรเทียบเท่าดังแสดงในรูปที่ 9 โดย R_o แทน effective output resistance ที่จุดในวงจร amplifier ซึ่งคาปาซิเตอร์ต่อพ่วงอยู่ วงจรชดเชยนี้มี break frequency เป็น

$$f_c = 1/2\pi cR_o$$

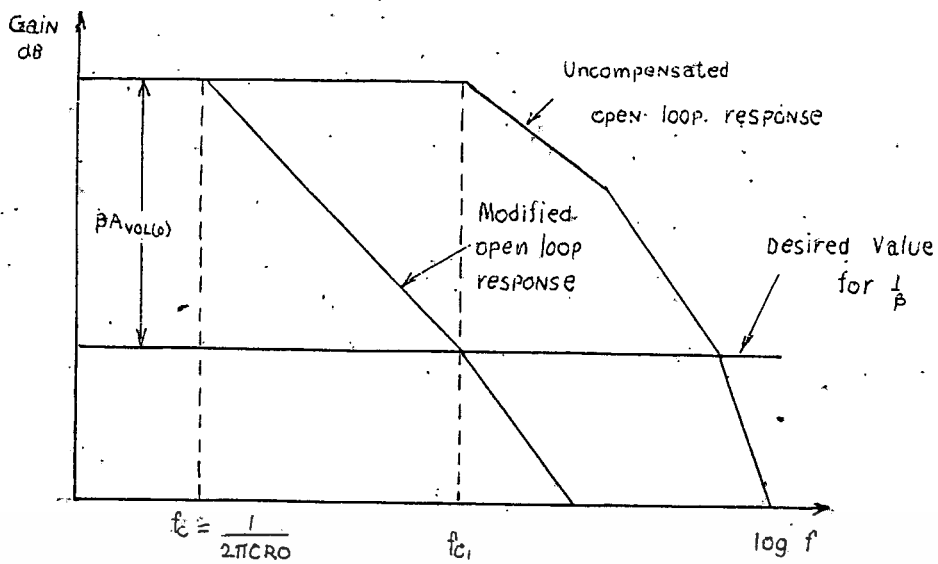


Attenuation

$$\frac{e_o}{e_s} = \frac{1}{R_o + \frac{1}{j\omega c}} = \frac{1}{1 + j\frac{f}{f_c}}$$

where $f = \frac{\omega}{2\pi}$

and $f_c = \frac{1}{2\pi cR_o}$



รูปที่ 10 แสดงให้เห็นวิธีการที่ใช้เพื่อรักษาการทรงตัวของภาวะ closed loop สำหรับ amplifier ที่มี open loop response คล้ายคลึงกับในรูปที่ 7 ค่าของ break frequency f_c เนื่องจากคาปาซิเตอร์นั้นจะต้องเลือกในลักษณะที่ทำให้ closed loop response และ open loop response ซึ่งมีการชดเชยทาง phase ตัดกันที่ break frequency อันแรกของ open loop response ที่ไม่มีการชดเชยทาง phase สมการ (14) อาจนำมาใช้ในการคำนวณค่าที่ต้องการของคาปาซิเตอร์ในวงจรชดเชยได้นั้นคือ

$$f_c = 1/2\pi CR_o = f_{c1}/\beta A_{vol(o)} \quad (17)$$

สมการนี้ให้ค่าต่ำสุดของ C เท่าที่ต้องการเพื่อชดเชยสำหรับค่า closed loop gain โดยเฉพาะนี้ สำหรับวงจรที่มีปริมาณ feedback มากกว่าและ closed loop gain ต่ำกว่าย่อมต้องการค่าของ C มากกว่าด้วย

การชดเชยทางเฟสด้วยแคปาซิเตอร์ตัวเดียวเหมาะสมสำหรับการใช้งานในภาวะ closed loop ที่ไม่ต้องการ bandwidth กว้าง การ roll off อย่างเร็วของ gain ในทางความถี่สูงช่วยลดทอน broad band noise ไปในตัว การใช้งานที่ต้องการ bandwidth กว้าง ๆ นั้นต้องการวิธีการชดเชยทางความถี่ที่แตกต่างกันไปเล็กน้อย ดังจะได้นำมากล่าวต่อไป

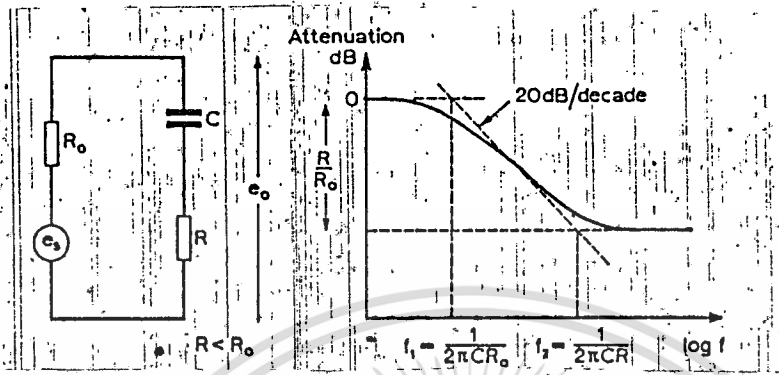
7.2 การชดเชยทางเฟสสำหรับ bandwidth มากที่สุด

การชดเชยทางเฟสในวิธีเช่นนี้ เราใช้วงจรอนุกรมอันประกอบด้วยความต้านทาน R และแคปาซิเตอร์ C รูปที่ ๑1 แสดงวงจรและ frequency response ของมัน R_o แทน effective output resistance ที่จุดในวงจร amplifier ซึ่ง network ดังกล่าวต่ออยู่ ความต้านทาน R ควรจะมีค่าน้อยกว่า R_o มาก ๆ และ network จะตั้งต้นลดทอนกำลังที่ break frequency

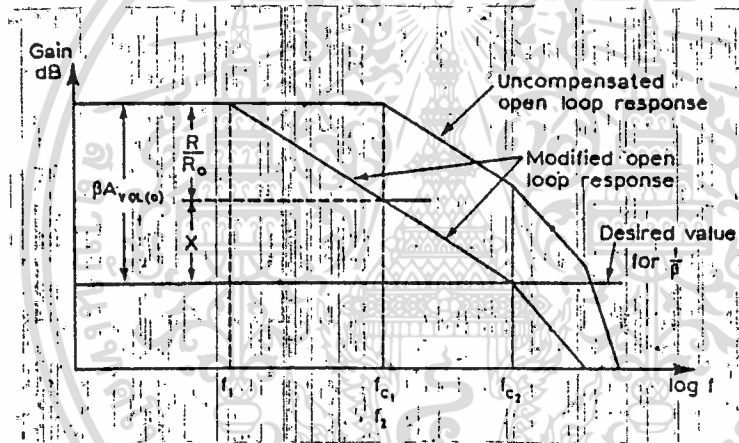
$$f_1 = 1/2\pi CR_o$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในอัตราใกล้เคียง 20 db/decade ลด และด้วยการเลื่อนเฟสเชิงขั้วเข้าทาง 90 องศา ขณะที่ความถี่ใช้

สูงขึ้น อัตราของการลดทอนกำลังและการเลื่อนเฟสตั้งต้นลดลง ณ ความถี่ $f_2 = 1/2 \pi CR$ การลดทอนกำลังจะเขยิบเข้าหาค่าสูงสุด R/R_0 ของมันและการเลื่อนเฟสจะกลับเป็นศูนย์ ดังนั้นที่ความถี่สูงกว่า f_2 network นี้จะให้เฉพาะการลดทอนกำลัง แต่การเลื่อนเฟสถือได้ว่าเป็นศูนย์



รูปที่ 11 Response of capacitor - resistor compensating network



รูปที่ 12 การชดเชยทางเฟสสำหรับ maximum closed loop bandwidth

ในการชดเชยทางเฟสของ amplifier สำหรับ maximum closed loop bandwidth นั้น ความถี่ f_2 ของ compensating network จะต้องตรงกันกับ break frequency อันแรก (f_{c1}) ของ open loop response ที่ไม่มีการชดเชย ค่าของความต้านทานจกต้องเลือกในลักษณะที่ให้การลดทอนกำลัง R/R_0 พอเพียงแก่การที่จะทำให้ loop gain ลดลงมีค่าน้อยกว่า 1 ก่อนถึง break frequency อันที่สอง (f_{c2}) หลักการนี้จะเห็นได้จากรูปที่ 12 จากรูปนี้เราอาจเขียนสมการสำหรับการกำหนดของ R ได้ดังนี้

$$\left| \frac{R}{R_0} \right| \text{ (in dB)} = \left| \beta A_{vol}(0) \text{ (in dB)} - X \text{ (in dB)} \right|$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เมื่อหา R อันจำเป็นต้องใช้ได้ เราก็สามารถจะหาค่าค่าพหุคูณ C ได้จาก
 ไม่วาทกรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

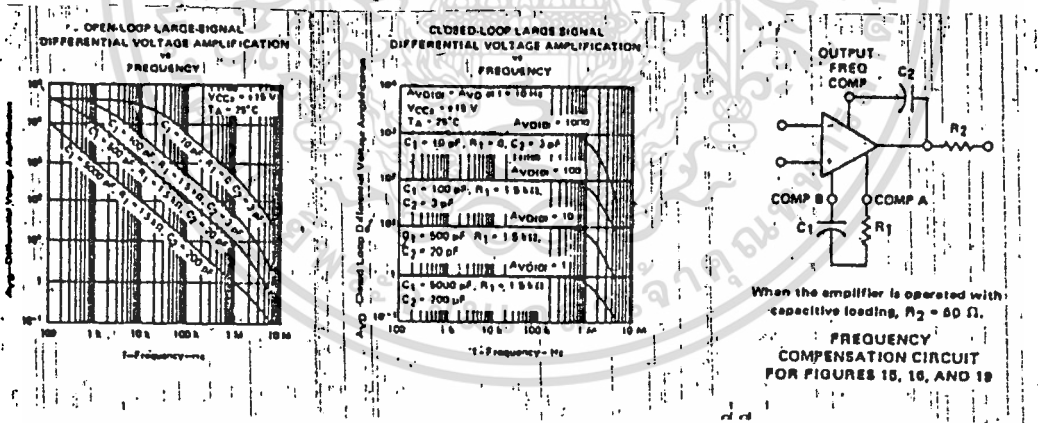
$$f_{c1} = f_{c2} = 1/2\pi CR$$

ค่าของ C และ R ดังกล่าวนี้ให้ maximum closed loop bandwidth โดยมี phase margin ซึ่งให้ closed loop response มี peaking เล็กน้อย ถ้าไม่ต้องการ bandwidth สูงสุดเพื่อประโยชน์ในเรื่อง stability margin เราก็สามารถกระทำได้โดยลดค่า R และเพิ่มค่า C

- Lead compensation

-Operational amplifier บางแบบมีปุ่มต่อจัดหาไว้ให้สำหรับต่อคาปาซิเตอร์ค่าน้อย ๆ เพื่อทำให้เกิด leading ทาง การเลื้อน phase การกระทำดังกล่าวมีผลเท่ากับเลื่อน break freq อันที่สองใน amplifier open loop response ไปในทางความถี่สูงขึ้น และทำให้ได้ closed loop B.W กว้างขึ้น

-operational amplifier บางแบบมีปุ่มต่อสำหรับ lag และ lead compensation ไว้ให้เลือกใช้ตามความต้องการ โดยปกติบริษัทผู้ผลิต operational amplifier จะให้ข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับการชดเชยทาง phase ไว้เพื่อเลือกใช้ตามความต้องการของงานแต่ละอย่างโดยเฉพาะ



รูปที่ 13 ผลของ compensating networks ที่มีต่อ open และ closed loop gain

-Transient Response

คุณสมบัติในการตอบสนอง (response) ของ operational amplifier ที่มีต่อ small signal จะแตกต่างจากที่มีต่อ large signal โดยทั่วไป amplifier จะไม่ตอบสนองต่อไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Transient Response

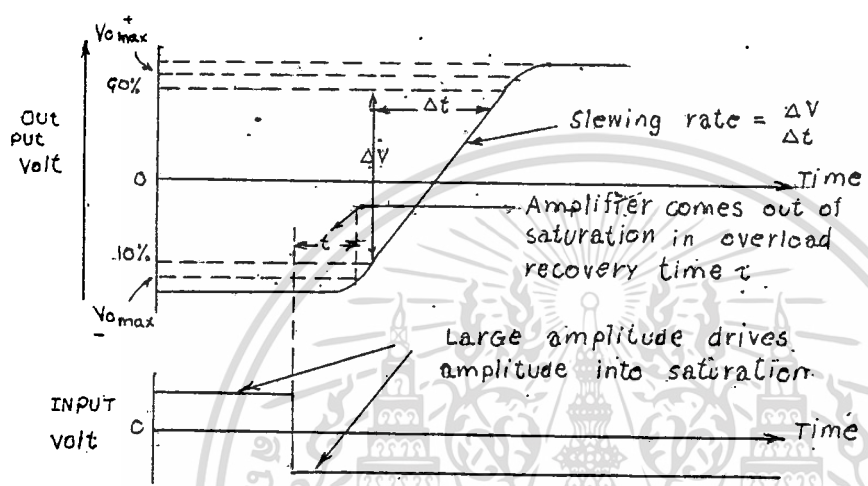
คุณสมบัติในการตอบสนอง (response) ของ operational amplifier ที่มีต่อ small signal จะแตกต่างจากที่มีต่อ large signal โดยทั่วไป amplifier จะไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของ large signal ได้รวดเร็วเหมือนกับ small signal ทั้งนี้เพราะคาปาซิเตอร์ของวงจรและของทรานซิสเตอร์สามารถได้รับการอัดประจุ (charge) ได้รวดเร็วเท่าที่ driving circuit ของมันจะยอมให้ได้เท่านั้น เกี่ยวกับคุณสมบัติในการตอบสนองของ amplifier ที่มีต่อ large signal นั้นมีข้อกำหนดหลายอย่างดังจะได้นำกล่าวดังต่อไปนี้

8.1 Slewling Rate: Slewling rate หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของ output voltage ซึ่ง amplifier สามารถจะให้ได้สำหรับ large step change และกำหนดค่าเป็น "volt per microsecond" (V/ms)

8.2 Full power Response: ความไม่สามารถของ amplifier output voltage ที่จะเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วเกินอัตราที่กำหนดกล่าวมาแล้วนี้อาจเป็นทางเลือกให้เกิดความเพี้ยนของ sinusoidal signals ที่มีความถี่อยู่ในย่าน pase band ของ amplifier นั้นได้ทั้ง ๆ ที่ขนาดสัญญาณของมันยังต่ำกว่า Maximum rated output output voltage อยู่บริษัทผู้ผลิตบางแห่งกำหนดขีดจำกัดอันนี้เป็น "full power response" ของ amplifier

- ความถี่สูงสุดสำหรับ full undistorted output และ slewling rate ของ op-amp. เป็นปริมาณที่มีความสัมพันธ์กัน และต่างก็ขึ้นอยู่กัค่าของ closed loop gain ในกรณีของ fast roll off amplifiers นั้น ตำแหน่งที่ใส่และค่าของ phase compensation componants ที่ใช้ มีผลอย่างมากต่อปริมาณทั้งสองดังกล่าว phase compensating networks ที่ใส่เข้า ณ จุดที่ i/p มากที่สุดของ amplifier จะให้ slewling rate รวดเร็วที่สุดแต่จะให้ผลน้อยที่สุดต่อการลดทอน amplifier noise โดยปกติจะพบว่าโดยการใส่ phase compensating network ทั้งที่ I/P และที่ O/P ย่อมให้ slew rate รวดเร็วและ low noise สมส่วนกันดี data sheet สำหรับ fast roll off amplifier มักจะมีกราฟแสดง large signal swing VS. frequency สำหรับค่า close loop gain ต่าง ๆ พร้อมด้วย compensating network โดยเฉพาะหนึ่ง ๆ ไว้ให้ด้วย "large signal" ในที่นี้หมายถึง maxi sinusoidal output signal ที่ปราศจากความเพี้ยนอันเนื่องจาก slewling rate limit.

8.3 Overload recovery time : output voltage ของ amplifier ซึ่งถูกขับเข้าไปอยู่ในเขตอ้อมตัวด้วย large input signal ต้องการเวลาแน่นอนหนึ่งเพื่อกลับคืนสู่ rated maximum value ของมัน เวลาดังกล่าวนี้เรียกว่า "amplifier over load recovery time" ดังรูปที่ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ output voltage ที่เกิดขึ้นในการตอบสนองต่อ large step change ที่ input รูปนี้แสดงทั้งผลของ overload recovery และ slewing rate limit.



รูปที่ 14 การตอบสนองของ amplifier ที่มีต่อ large step change

LM335 (ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ)

การวัดอุณหภูมินั้นต้องใช้ตัวตรวจจับที่เหมาะสม มีความเที่ยงตรงสูงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและแรงดันเอาท์พุทเป็นเชิงเส้นใช้งานง่ายและมีราคาถูกลง สิ่งต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้มีอยู่ใน LM335 มีวิธีการอยู่หลายวิธีในการวัดอุณหภูมิ เช่น การใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท แต่มีข้อเสียอยู่คืออ่านค่าอุณหภูมิได้ยาก และใช้วัดอุณหภูมิที่จุดห่างออกไปไม่ได้ หรือเทอร์โมมิเตอร์แบบหน้าปัดกลมที่ใช้หลักการขยายตัวของโลหะต่างชนิดกันมาวัดให้เป็นรูปกันหอยนั้น สามารถใช้ได้สะดวกเหมาะสำหรับแขนงตามฝ่าผนัง แต่มีข้อจำกัดทางด้านความเที่ยงตรงสูงมาก ส่วนเทอร์โมมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะแสดงค่าอุณหภูมิออกมาเป็นตัวเลขอย่างเที่ยงตรง ถึงแม้จะทำการค้ำแล้วแต่ก็มีราคาสูงพอประมาณในเรื่องเรื่องนี้จะได้อธิบายถึงการใช้อุปกรณ์ชนิดพิเศษซึ่งได้พัฒนาโดยบริษัท เนชั่นแนลเซมิคอนดักเตอร์ในการวัดอุณหภูมิได้อย่างเที่ยงตรง สัญญาณเอาท์พุทเป็นแรงดันสามารถป้อนเข้าสู่ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ เพื่อที่จะได้แสดงค่าอุณหภูมิออกมาเป็นตัวเลขได้



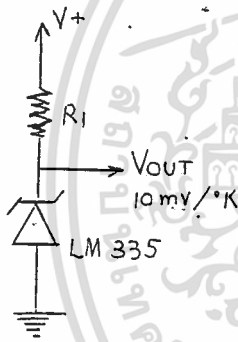
รูปที่ 1 (ก) ลักษณะรูปร่างและการต่อขาของ LM 335Z ในตัวถังพลาสติกแบบ TO-92 และ (ข) เป็นของ LM 335H ในตัวถังโลหะแบบ TO-46 เมื่อมองจากด้านล่าง.

LM335 ของเรื่อง

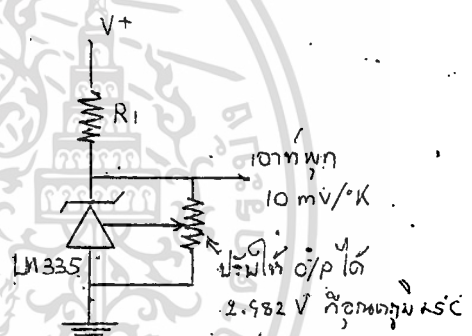
ไอซีเบอร์ LM 335 เป็นวงจรรออินทิเกรท เซอร์คิตซึ่งใช้ทำเป็นตัวตรวจจับอุณหภูมิ สำหรับใช้ในย่านอุณหภูมิตั้งแต่ 0 - +100 องศาเซลเซียส โดยได้ผลิตออกมาอยู่ในตัวถังพลาสติกดำ ซึ่งมีลักษณะการต่อขาดังรูปที่ 1 ก และในตัวถังโลหะแบบ TO-46 ซึ่งมีลักษณะการต่อขาดังรูปที่ 1 ข

LM 335 เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูกลงเช่นเดียวกับไอซีเบอร์ LM 235 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาใช้งานอย่างเดียวกันอุณหภูมิตั้งแต่ -25 องศาเซลเซียส จนถึง +100 องศาเซลเซียส ส่วนเบอร์ LM 135 ออกแบบมาสำหรับใช้ในการทหาร โดยใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -35 จนถึง +150 องศาเซลเซียส โดยที่ไอซี 2 เบอร์หลังนี้ มีความคลาดเคลื่อนจากรายละเอียดทางเทคนิคน้อยกว่าเบอร์ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM 335 ส่วนตัวห้อยท้าย "A" ตามหลัง เช่น LM 335 A หมายความว่าทำการผลิตโดยมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับรายละเอียดทางเทคนิคมากกว่าอย่างไรก็ตามอุปกรณ์ที่มีราคาถูกอย่างเบอร์ LM 335 ก็สามารถใช้ได้ดีในวงจรที่ใช้เบอร์ LM 335 A โดยพื้นฐานแล้ว LM 335 ก็ทำงานเช่นเดียวกับซีเนอร์ไดโอด ดังแสดงในรูปที่ 2 แรงดันนิ่งทลสาย ซึ่งหมายถึงแรงดันเอาต์พุตจากวงจรนี้จะแปรโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ โดยมีค่าเท่ากับ 10 mV ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ($10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$) ในย่านอุณหภูมิที่ออกแบบมาให้ใช้งานค่าของตัวต้านทาน R_1 ในรูปที่ 2 จะเป็นตัวกำหนดค่าของกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ตัวนี้ แต่เนื่องจากค่าไดนามิคอิมพีแดนซ์ที่กระแส 1 มิลลิแอมป์ จะมีค่าปกติ 0.6 โอห์ม อุปกรณ์ตัวนี้จึงสามารถใช้งานได้ในย่านกระแสตั้งแต่ 400 ไมโครแอมป์ จนถึง 5 มิลลิแอมป์โดยเสมือนว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของตัวมันเลย ข้อที่น่าสังเกตก็คือค่ากระแสรีเวิร์ทหรือกระแสรีเวิร์ทสูงสุด ซึ่งไหลผ่านอุปกรณ์ตัวนี้อย่างปลอดภัย (แม้ว่าจะเป็นช่วงเวลา) ควรจะเป็น 10 มิลลิแอมป์ ถ้ากระแสสูงกว่านี้จะทำให้เกิดความเสียหายต่อไอซีตัวนี้ได้



รูปที่ 2 วงจรพื้นฐานในการใช้งาน LM 335



รูปที่ 3 การปรับแต่งความถูกต้องอย่างง่าย ๆ โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เพียงตัวเดียว

ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และที่กระแสรีเวิร์ท 1 ma แรงดันเอาต์พุตจากวงจรในรูปที่ 2 จะมีค่าตามที่ออกแบบไว้เท่ากับ 2.98 โวลท์ (จาก $(273 + 25) * 10 * 10^{-3}$) โดยมีข้อจำกัดทางด้าน แรงดันต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 2.92 โวลท์และ 3.04 โวลท์ตามลำดับ ค่าของ R_1 ที่ใช้สามารถคำนวณได้จากกระแสที่ไหลผ่านไอซีตัวนี้เท่ากับ 1 มิลลิแอมป์ โดยใช้สมการ

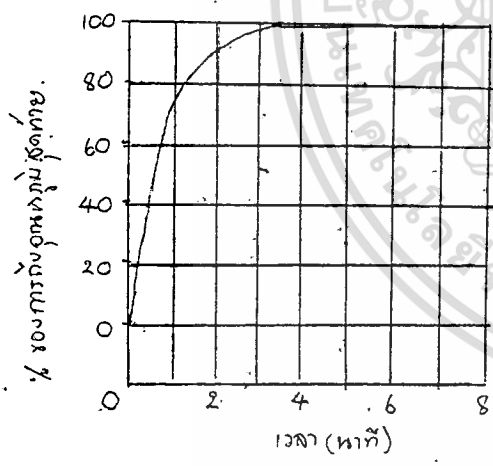
$$R_1 = (V - V_{OUT}) / 0.001$$

โดยที่ V คือ แรงดันไฟเลี้ยงวงจรและ V_{OUT} คือแรงดันเอาต์พุตของไอซีนี้ ซึ่งค่า R_1 นี้ จะมีค่าประมาณ $(V - 3)$ กิโลโอห์ม

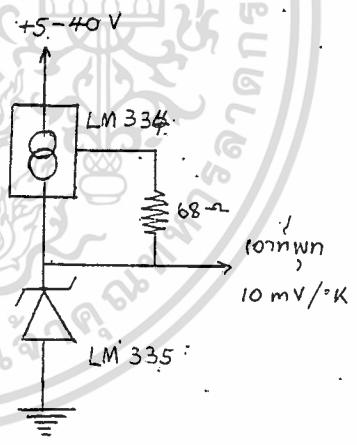
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์พุทที่เป็นเชิงเส้น

ประโยชน์ที่สำคัญของไอซี LM 335 นี้ก็คือ จะให้อเอาท์พุทที่เป็นเชิงเส้นซึ่งไม่เหมือนกับเอาท์พุทที่ได้จากตัวตรวจจับอุณหภูมิส่วนใหญ่ซึ่งเอาท์พุทจะไม่เป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิ ซึ่งที่จริงแล้วถ้าเรานำเอาค่าแรงดันเอาท์พุทมาเขียนเป็นกราฟระหว่างค่าแรงดันกับอุณหภูมิตลอดย่านการทำงานของไอซีตัวนี้ เมื่อลากเส้นกราฟไปตัดแกนอุณหภูมิที่ศูนย์องศาสัมบูรณ์ ค่าแรงดันเอาท์พุทที่อ่านได้จากกราฟจะเป็นศูนย์โวลต์เลยทีเดียวแม้ว่าเอาท์พุทของ LM 335 จากวงจรในรูปที่ 2 จะอยู่ภายในข้อจำกัดที่กำหนดมาเราก็ควรจะมีการต่อขาสำหรับปรับแต่งความถูกต้องซึ่งมีอยู่ด้วย โดยการต่อตัวต้านทานปรับค่าได้เพียงตัวเดียวพร้อม LM 335 ดังแสดงในรูปที่ 3. ในการใช้งานให้ปรับ VR1 ให้อเอาท์พุทเท่ากับ 2.982 โวลต์เมื่ออยู่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะให้เกิดความเที่ยงตรงเพิ่มขึ้น ตลอดย่านอุณหภูมิใช้งาน การปรับความถูกต้องของอุณหภูมิเพียงครั้งเดียว จะให้ความถูกต้องตลอดย่านอุณหภูมิที่ใช้งานนั้น ก็เนื่องมาจากเอาท์พุทจะแปรผันโดยตรงอย่างเที่ยงตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ โดยเอาท์พุทจะลดลงเป็นศูนย์โวลต์ที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ ดังนั้นการปรับค่าความลาดชันที่อุณหภูมิค่าหนึ่งให้ถูกต้องจะทำให้เกิดความถูกต้องตลอดย่านอุณหภูมิซึ่งการปรับค่าความถูกต้องจะทำได้ง่ายกว่าพวกอุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังเช่น เทอนโมคัปเปิล เป็นต้น



รูปที่ 4 เวลาการตอบสนองของ LM 335 ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในอากาศ



รูปที่ 5 วงจรที่สามารถทำงานกับแหล่งจ่ายไฟได้ในย่านกว้าง

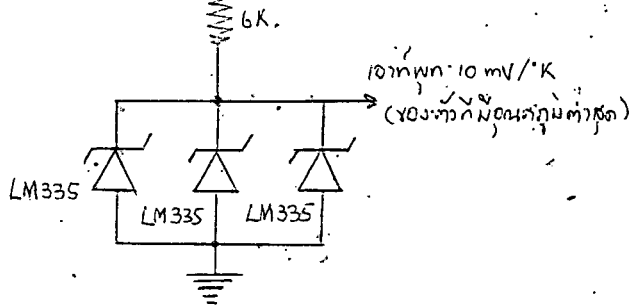
ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัว

เช่นเดียวกับระบบตรวจจับอุณหภูมิใด ๆ ก็ตาม ความร้อนใด ๆ ที่เกิดขึ้นจากกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ที่ตรวจจับจะมีผลต่อค่าอุณหภูมิของตัวมัน ตลอดจนค่าแรงดันเอาท์พุทที่เกิดขึ้น สำหรับ LM ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

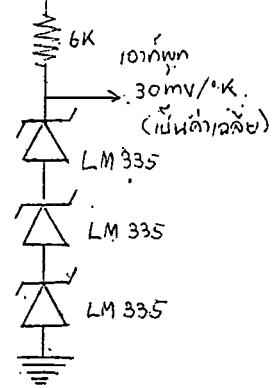
335 นั้นควรจะให้ทำงานที่กระแสต่ำสุดซึ่งเพียงพอที่จะขับให้วงจรภายในไอซีทำงานได้ เมื่อคำนวณค่าของ R1 จะยอมให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อขนานกับไอซีสำหรับที่กระแสเอาท์พุทใด ๆ โดยกระแสประมาณ 400 ไมโครแอมป์ จะเป็นกระแสต่ำสุดที่ไอซีนี้จะทำงานได้เป็นปกติถ้าตัวตรวจจับถูกใช้ในสถานที่ซึ่งค่าความต้านทานทางอุณหภูมิต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมีค่าคงที่ ค่าความผิดพลาดจากความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวเองสามารถที่จะปรับให้ถูกต้องได้ ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์นั้นทำงานด้วยกระแสคงที่ โดยไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความร้อนเกิดขึ้นกับอุปกรณ์จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันซีเนอร์และอุณหภูมิสัมบูรณ์ ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากความร้อนในตัวเอง จะแปรผันโดยตรงกับค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ และความเป็นเชิงเส้นของสเกลอุณหภูมิที่รักษาไว้

คุณสมบัติเฉพาะตัว

ในวงจรทั่ว ๆ ไปของ LM 335 ซึ่งไม่ได้ปรับค่าความถูกต้องไว้ ให้ทำงานที่กระแส 1 มิลลิแอมป์ค่าความผิดพลาดเนื่องจากอุณหภูมิจะเท่ากับ 2 องศาเซลเซียส (สูงสุด 6 องศาเซลเซียส) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หรือ 4 องศาเซลเซียส (สูงสุด 9 องศาเซลเซียส) ตลอดย่านการทำงาน เมื่อได้มีการปรับค่าความถูกต้องไว้เป็น 2 องศาเซลเซียส ความไม่เป็นเชิงเส้นที่ค่ากระแส 1 มิลลิแอมป์จะเท่ากับ 0.3 องศาเซลเซียส ตลอดย่านในอากาศอุปกรณ์ตัวนี้ต้องใช้เวลาประมาณ 3 นาที ที่จะมีค่าอุณหภูมิถึงอุณหภูมิสุดท้าย หลังจากที่อยู่อุณหภูมิได้เปลี่ยนไป - (ในรูปที่ 4) ค่าคงที่ของเวลาจะมีค่าความที่ออกแบบไว้เท่ากับ 80 วินาที ในน้ำมันที่กวนให้เคลื่อนที่ ค่าอุณหภูมิ สุดท้ายจะถึงภายในเวลาประมาณ 3 วินาที (ค่าคงที่ของเวลาจะเท่ากับ 1 วินาที ตามลำดับที่ออกแบบไว้) อุปกรณ์จะคงที่อยู่ภายในช่วง 0.2 องศาเซลเซียส (ตามที่ออกแบบ) ตลอด 1000 ชั่วโมง ถึงแม้ที่อยู่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ค่าไดนามิกคิมพีแดนซ์จะน้อยกว่า 1 โอห์ม ที่ความถี่สูงกว่า 1 กิโลเฮิรตซ์ (ตามที่ออกแบบไว้) แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 20 ถึง 30 โอห์ม ที่ความถี่ 100 กิโลเฮิรตซ์



รูปที่ 6 วงจรนี้จะบันทึกอุณหภูมิค่าสุดท้ายระหว่าง ไอซีทั้ง 3 ตัว

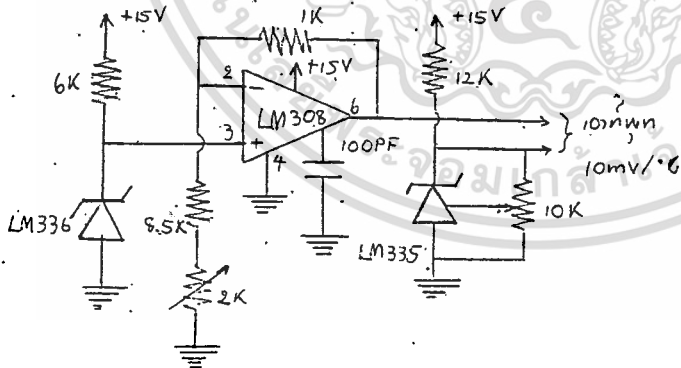


รูปที่ 7 วงจรนี้จะบันทึกอุณหภูมิเฉลี่ยของ ไอซีทั้ง 3 ตัว

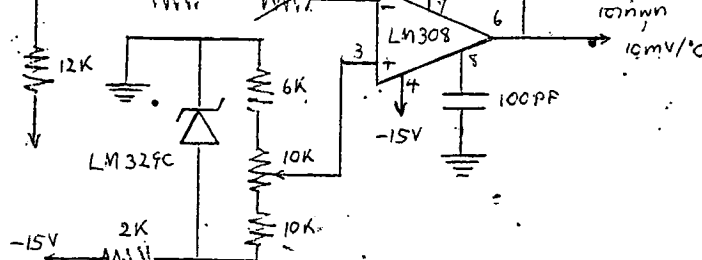
วงจรที่ใช้งาน

วงจรในรูปที่ 2 และ 3 เหมาะสำหรับใช้เมื่อแรงดันไฟเลี้ยงวงจรมีค่าค่อนข้างคงที่ ถ้าคาดว่าแรงดันไฟเลี้ยงวงจรจะเปลี่ยนแปลงในย่านกว้าง ควรจะใช้ LM 334 ซึ่งเป็นตัวจ่ายกระแสคงที่ร่วมกับตัวต้านทานภายนอกดังในรูปที่ 5 เพื่อจำกัดค่ากระแสของ LM 335 ให้มีค่าประมาณ 1 ma สำหรับทุก ๆ ค่าแรงดันไฟเลี้ยงวงจรถ้าเอา LM 335 หลาย ๆ ตัวมาต่อขนานกันดังรูปที่ 6 ค่าเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ตัวที่มี

อุณหภูมิค่าสุดท้าย ซึ่งจะแสดงถึงค่าอุณหภูมิที่ค่าที่สักระหว่าง 3 ตำแหน่งได้ และเช่นเดียวกันเมื่อต่อ LM 335 อย่างอนุกรมกันดังรูปที่ 7 ในกรณีนี้ค่าเอาต์พุตจะแทนค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของไอซีทั้งสามตัวนั้น แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยสัมประสิทธิ์ เท่ากับจำนวนของไอซีที่ใช้



รูปที่ 8 ก. วงจรเทอร์โมมิเตอร์แบบเซลเซียสซึ่งเอาต์พุตไม่ต่อกับกราวด์



รูปที่ 8 ข เอาท์พุทที่ได้จะอ้างอิงกับกราวด์

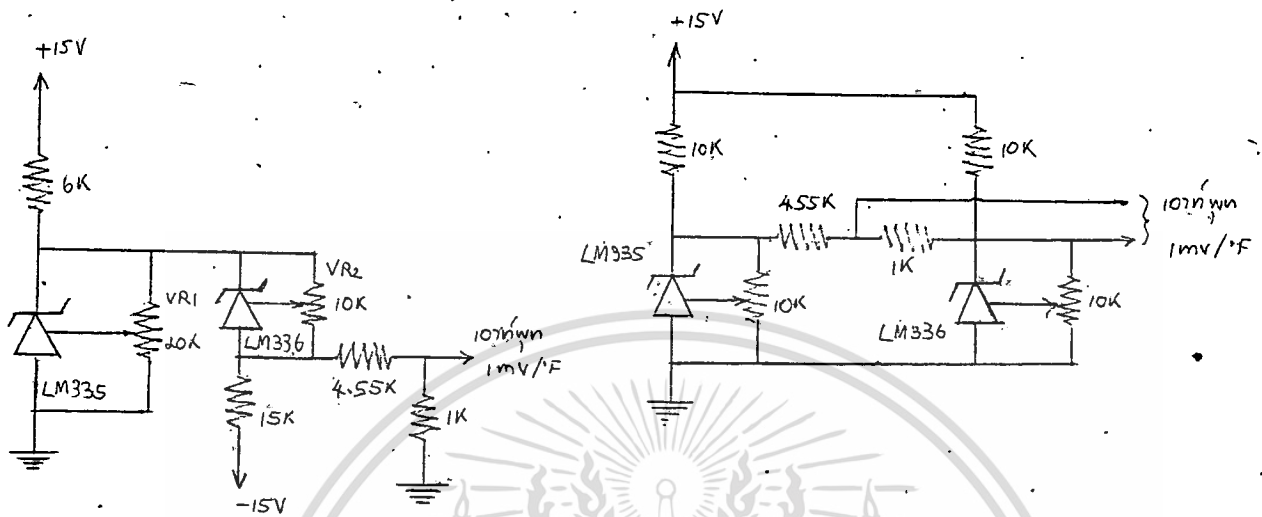
ใช้เป็นเทอร์โมมิเตอร์

วงจรต่าง ๆ ที่กล่าวมานั้นเป็นวงจรพื้นฐานซึ่งจะให้ค่าแรงดันเอาท์พุทแปรผันโดยตรงกับค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ซึ่งไม่เหมาะที่จะป้อนเข้าสู่ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ เพื่อที่จะอ่านค่าอุณหภูมิออกมาเป็นองศาเซลเซียส วงจรออปแอมป์ที่เพิ่มขึ้นมาดังรูปที่ 8 จะเป็นตัวแก้ปัญหานี้ได้ตามวงจรในรูปที่ 8 ก ไอซีเบอร์ LM 336 จะเป็นตัวกำหนดแรงดันอ้างอิงขนาด 5 โวลท์ที่ขา 3 ของออปแอมป์ LM 308 การป้อนกลับทางลบที่ขา 2 จะถูกปรับได้ตัวต้านทานปรับค่าได้ค่า 2 กิโลโห์ม เพื่อให้เอาท์พุทของวงจรขยายมีค่าเท่ากับ 2.73 โวลท์ (เทียบกับกราวด์) แรงดันที่แตกต่างระหว่างเอาท์พุทของออปแอมป์ จะแทนด้วยการลบค่า 273 องศาเซลเซียส จากค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ เพื่อให้เอาท์พุทจาก LM 335 แสดงค่าออกมาเป็นองศาเซลเซียสแทน เพื่อที่จะป้อนเข้าสู่ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์เพื่อแสดงผลออกมาเป็นองศาเซลเซียสต่อไป (อุณหภูมิสัมบูรณ์ = 273 + อุณหภูมิเป็นเซลเซียส)

วงจรในรูปที่ 8 ก นั้น ไม่มีขาเอาท์พุทใดเทียบเป็นกราวด์ได้เลย ขาเอาท์พุทจะต่ออยู่ลอย ๆ ถ้าเราเปลี่ยนวงจรให้ซับซ้อนขึ้นอีกเล็กน้อยดังวงจรในรูปที่ 8 ข จะได้เอาท์พุทเท่ากับ 10mV/องศาเซลเซียส เทียบกับกราวด์โดยใช้ไอซีเบอร์ LM 329 C เป็นตัวกำเนิดแรงดันอ้างอิงขนาด 6.9 โวลท์ในการกำหนดแรงดันที่ปรับค่าได้ที่ป้อนเข้าสู่ขาอิน อินเวอร์ตติ้ง (ขา+) ของออปแอมป์ LM308 ส่วนเอาท์พุทของ LM 335 ก็จะป้อนเข้าสู่ขาอินเวอร์ตติ้ง (ขา-) ของออปแอมป์ต่อไป ตัวต้านทานปรับค่าได้ 5 กิโลโห์ม นี้มีไว้ปรับค่าสเกลแพลคเตอร์หรือค่าความลาดชันระหว่างอุณหภูมิกับค่าแรงดัน เอาท์พุทที่เกิดขึ้นเมื่อการปรับค่าให้ถูกต้องต่อไป

นอกจากนี้ LM 335 นั้นยังสามารถต่อใช้วัดค่าอุณหภูมิออกมาเป็นองศาฟาเรนไฮท์ได้อีกโดยการต่อวงจรตามรูปที่ 9 ก LM 336 เป็นตัวกำเนิดแรงดันอ้างอิงขนาด 5 โวลท์ โดยจะต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ค่า 10 กิโลโห์ม ขนานกับ LM 336 ทำการปรับค่า VR2 นี้ให้แรงดันที่ตกคร่อม LM 336 เท่ากับ 2.554 โวลท์ ส่วนตัวต้านทาน VR1 นั้น ปรับให้เอาท์พุทที่ตกคร่อม LM 335 นั้นให้เท่ากับ 2.982 โวลท์ เมื่อ LM 335 อยู่ที่อุณหภูมิ 77 องศาฟาเรนไฮท์ วงจรนี้จะให้ค่าเอาท์พุทออกมา 1 mV ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮท์ วงจรในรูปที่ 9 ก นี้ เอาท์พุทที่ได้จะเทียบกับกราวด์แต่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟถึง 2 ชุด ส่วนวงจรในรูปที่ 9 ข นั้นก็คล้ายกับวงจรในรูปที่ 9 ก เพียงแต่ วงจรนี้เอาท์พุทที่ได้จะไม่เทียบกับกราวด์และใช้แหล่งจ่ายไฟเพียงชุดเดียว การปรับค่าตัวต้านทานทั้ง สองตัวไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

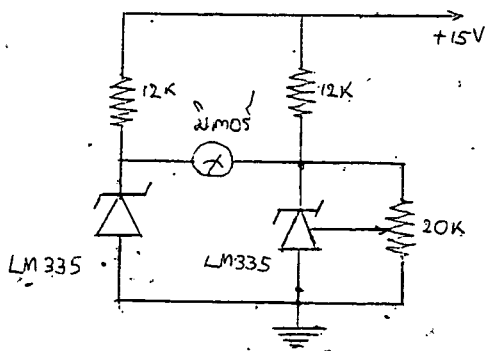
ก็เช่นเดียวกับวงจรในรูปที่ 9 ก



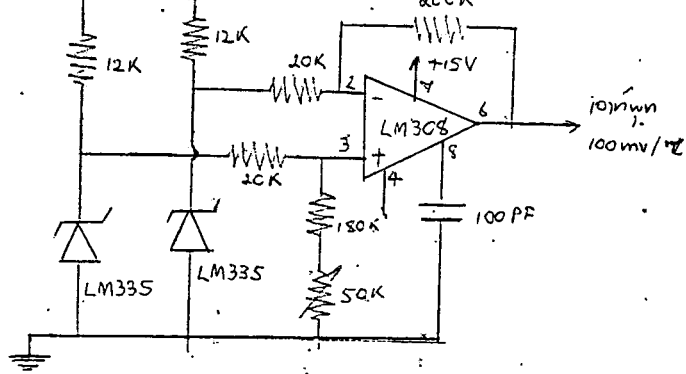
รูปที่ 9 (ก) วงจรเทอร์โมมิเตอร์แบบฟารเนาท์ ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จะอ้างอิงกับกราวนด์ ส่วน
(ข) เอาต์พุตที่ได้จะลอยและใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว

ตรวจจับความแตกต่างของอุณหภูมิ

ไอซี LM 335 2 ตัววางในตำแหน่งที่ต่างกันแล้วใช้วงจรในรูปที่ 10 ก็สามารถวัดความแตกต่างของอุณหภูมิต่างตำแหน่งทั้งสองนี้ได้และใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ค่า 20 กิโลโอห์ม ในการปรับแต่งให้เข็มของมิเตอร์อยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางของหน้าปัดพอดีเมื่อไอซีทั้ง 2 ตัวอยู่ในตำแหน่งที่อุณหภูมิเท่ากัน วงจรในรูปที่ 11 ใช้ออปแอมป์ในการเปรียบเทียบแรงดันเอาต์พุตของไอซีทั้ง 2 ตัว ซึ่งต่อกันเหมือนในรูปที่ 11 แต่ออปแอมป์ถูกจัดให้มีการป้อนกลับทางลบเพื่อให้มีอัตราขยายเท่ากับ 10 ดังนั้นเอาต์พุตของออปแอมป์จะให้ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียสกับแรงดันเป็น $100\text{mV}/\text{C}$



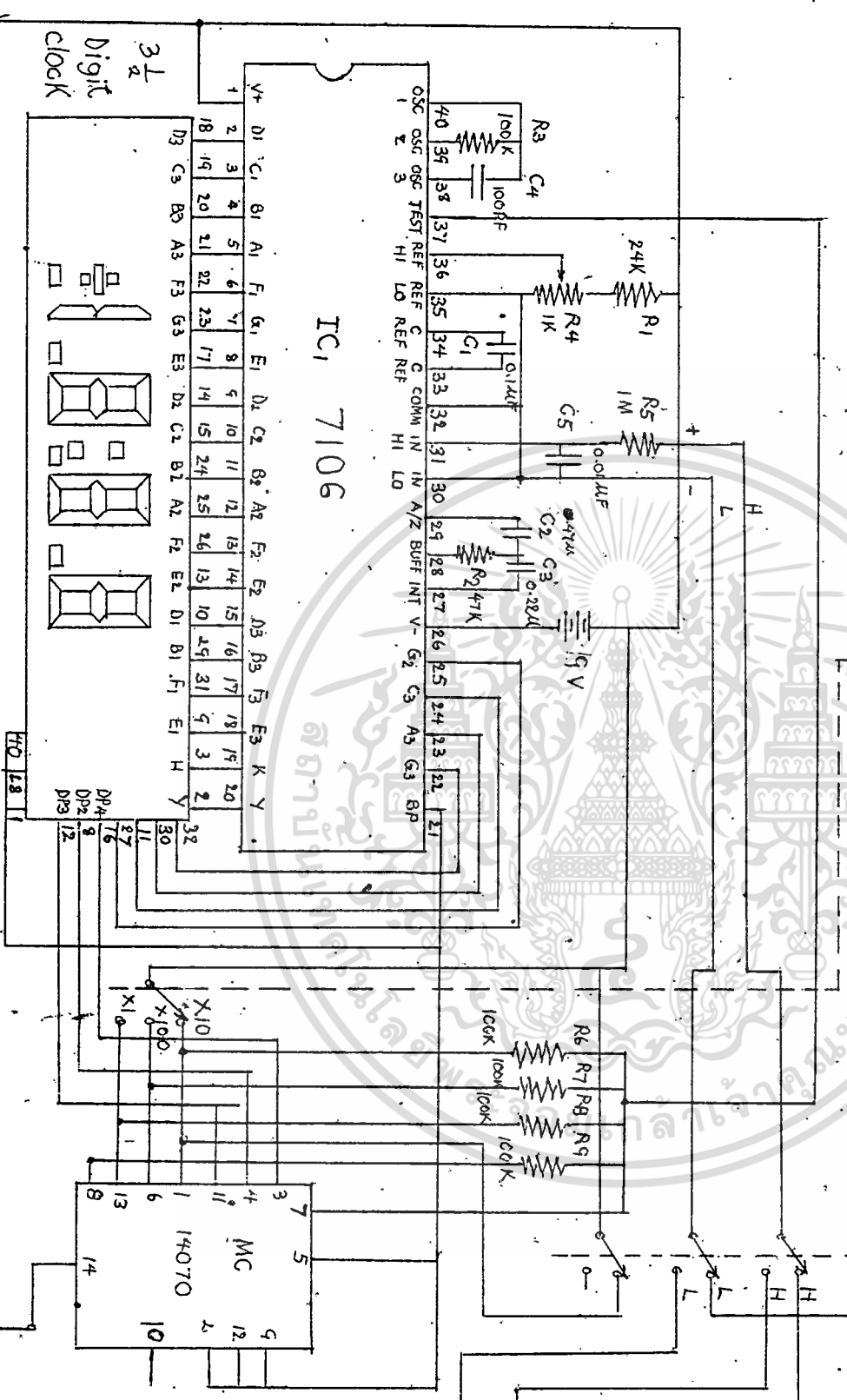
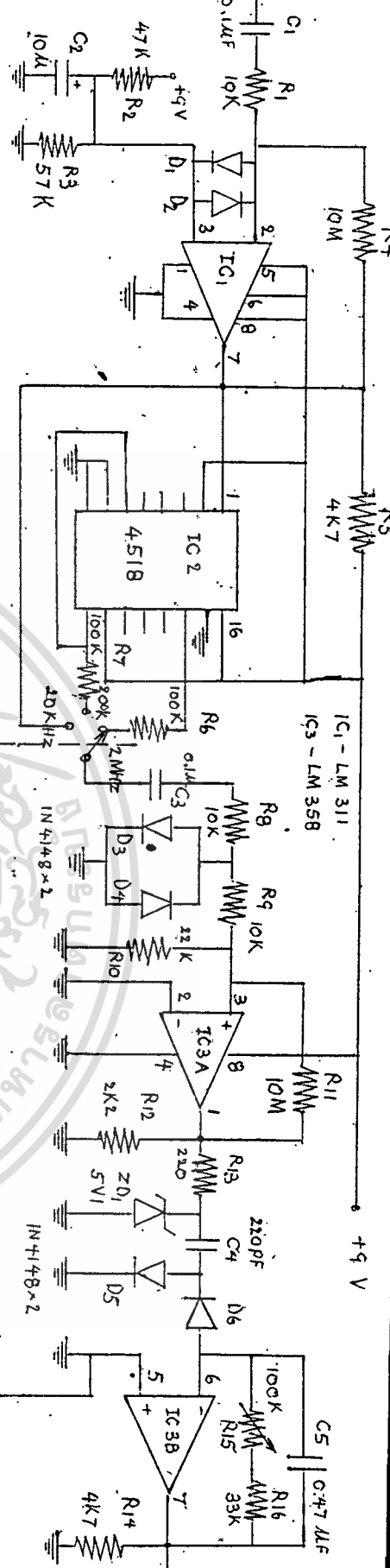
รูปที่ 10 เป็นวงจรตรวจจับความแตกต่างของ
อุณหภูมิสองตำแหน่ง



รูปที่ 11 วงจรตรวจจับความแตกต่างของ
อุณหภูมิ ซึ่งมีอัตราขยาย 10 เท่า

ควบคุมอุณหภูมิก็ได้

วงจรควบคุมอุณหภูมิอย่างง่ายซึ่งสามารถปรับกระแสที่ไหลผ่านตัวทำความร้อน เพื่อที่จะรักษาค่าอุณหภูมิให้คงที่ที่ค่าหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 12 จัดให้ LM 329 C เป็นตัวกำหนดแรงดันอ้างอิงขนาด 6.9 V อัตราส่วนของแรงดันอ้างอิงนี้จะถูกแบ่งและป้อนเข้าสู่ขานอนอินเวอร์ตติงของ LM 311 โดยการปรับค่าของตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 กิโลโห์ม เพื่อการตั้งค่าอุณหภูมิถ้าอุณหภูมิของ LM 335 สูงเพียงพอ จะทำให้แรงดันที่เกิดขึ้นจากตัวมัน (ซึ่งจะป้อนเข้าสู่ขานอินเวอร์ตติงของ LM 311) มีค่าสูงกว่าแรงดันที่ขานอนอินเวอร์ตติง ทำให้เอาท์พุทของวงจรขยายจะมีค่าต่ำ ดังนั้น LM 395 จะยอมให้กระแสเพียงเล็กน้อยเท่านั้นผ่านตัวทำความร้อน และถ้าอุณหภูมิของ LM 335 ลดลง จะทำให้เอาท์พุทของ LM 311 มีค่าสูง และไปลิวิตซ์ LM 395 ให้กระแสไหลผ่านตัวทำความร้อนอีก ซึ่ง LM 395 นั้นเป็นไอซีซึ่งมีคุณสมบัติเป็นทรานซิสเตอร์ขยายกำลังที่มีอัตราขยายสูงมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการของไดโอดวัดความถี่

R ₁ , R ₈ , R ₉	10K Ω
R ₂	47K Ω
R ₃	57K Ω
R ₄ , R ₁₁	10M Ω
R ₅ , R ₁₄	4.7K Ω
R ₆ , R ₇ , R ₁₅	100K Ω
R ₁₀	22K Ω
R ₁₂	2.2K Ω
R ₁₃	220 Ω
R ₁₆	33K Ω
ตัวเก็บประจุ	
C ₁ , C ₃	0.1 μ F
C ₂	10 μ F
C ₄	220 PF
C ₅	0.47 μ F
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	
D ₁ , D ₂ , D ₃	1N4148
D ₄ , D ₅ , D ₆	1N4148
IC ₁	LM 311
IC ₂	4518
IC ₃	LM 358

ไดโอดวัดความถี่

R ₁	1K Ω
R ₂	18K
VR ₂	5K
R ₃	22K
VR ₁	10K

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

IC ₁	LM 335
-----------------	--------

ตัวตัดวงจรที่มีเตอร์

R ₁	24K
R ₂	47K
R ₃	100K
R ₄	1K
R ₅	1M
R ₆ , R ₇ , R ₈ , R ₉	100K Ω

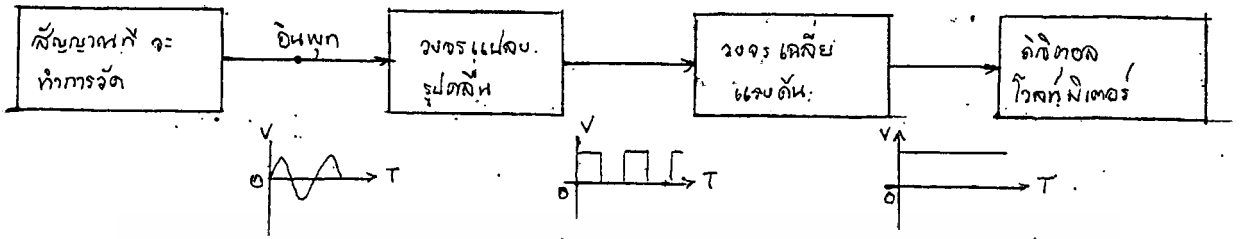
ตัวเก็บประจุ

C ₁	0.1 μ F
C ₂	0.47 μ F
C ₃	0.22 μ F
C ₄	100 PF
C ₅	0.01 μ F

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

IC ₁	7106
IC ₂	MC 14070

เครื่องวัดความถี่



(แผนผังการทำงานของเครื่องวัดความถี่)

การทำงาน

หลักสำคัญของเครื่องนี้คือ เปลี่ยนจากความถี่ที่ไม่ทราบค่ามาเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าที่สามารถบ่งบอกถึงค่าของความถี่นั้น ๆ เป็นที่ทราบกันแล้วว่าความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ามักมีลักษณะรูปคลื่น ที่แตกต่างกันมากมาย เพราะฉะนั้นเพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการวัดความถี่ เราจะทำการเปลี่ยนลักษณะของรูปคลื่นให้เป็นคลื่นสี่เหลี่ยม และให้ขนาดของยอดคลื่นนั้นคงที่เท่ากันหมด

วงจรนี้เราใช้ IC911 ต่อเป็นวงจร Smitrigger โดยสัญญาณอินพุทผ่านทาง C1 เพื่อสกดกันแรงดันไฟตรง ซึ่งอาจจะปะปนเข้ามา R1, D1 และ D2 จะทำหน้าที่กำจัดขนาดของสัญญาณ อินพุทให้สูงประมาณไม่เกินแรงดันตกคร่อมไดโอด ขณะถุก BIAS ตรงเพื่อไม่ให้มากจนทำอันตรายต่อ IC1 R6, จะทำหน้าที่ป้อนกลับแบบขวก เพื่อสร้างฮิสเตอร์ซิสในบริเวณแถว ๆ แรงดันศูนย์ของสัญญาณอินพุท การมีฮิสเตอร์ซิสช่วยให่วงจรถูกรบกวนจากภายนอกน้อยลง

เมื่อ IC911 เปลี่ยนเป็น square wave แล้วจะผ่านเข้าวงจรหารความถี่ โดยใช้ IC4518 เพื่อหารความถี่ให้ลดลง 10 เท่า และ 100 เท่า สำหรับย่านวัดความถี่ที่ 0 - 200KHz และ 200K - 2MHz ตามลำดับ เพราะฉะนั้นสัญญาณที่ผ่านการหารความถี่ถึง 10 เท่าก็จะออกมาทางขา 9 ของ IC2 ผ่าน SW1 ไปเข้า IC3A ได้ (สมมติความถี่ที่ขา INPUT เท่ากับ 100 KHz เพราะฉะนั้นความถี่ที่ปรากฏที่ขา 3 ของ IC3A ก็จะเท่ากับ 10KHz) D3 และ D4 ทำหน้าที่คลิบยอดสัญญาณให้เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจริง ๆ IC3A จะขยายสัญญาณที่ได้รับมาขึ้นให้มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิม แล้วจึงส่งไปให้กับวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน ที่มี IC3B เป็นอุปกรณ์หลัก แรงดันไฟฟ้าที่ได้มาจากขา 7 ของ IC3B นี้เราจะนำเอาเข้าวงจรดิจิตอล Voltmeter (ความถี่ทาง I/P เท่ากับ 100KHz แรงดันที่ได้ทาง O/P ก็จะเท่ากับ 1 Volt ส่งให้กับ ดิจิตอล Voltmeter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

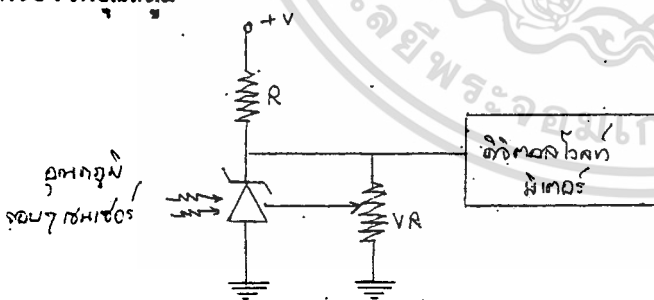
ถ้าแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1 Volt แฉงแสดงตัวเลขก็จะแสดงมาเป็น 100.0 จะสังเกตเห็นว่าจุดทศนิยมไม่ได้อยู่หลังหลักพัน แต่อยู่ที่หลังหลักสิบ เพราะฉะนั้น 100.0 เราจะอ่านได้เป็น 100 KHZ หรือเป็นย่านวัดที่มีหน่วยเป็น KHZ สำหรับการใช้อย่านวัดอื่นก็คงเช่นเดียวกัน

การทำงานของดิจิตอล Voltmeter

เป็นวงจร Voltmeter ขนาด 0-2 V (Full Scale ประมาณ 1.999) วงจรดิจิตอล Voltmeter ที่แสดงไว้นั้น เราสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าตัวสำคัญที่ทำให้เกิด เป็นวงจรดิจิตอล ได้นั้นก็คือ IC 7106 ซึ่งเป็น IC ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ Analog เป็น Digital (เปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ามาเป็นตัวเลขแสดงผล) R1 และ C1 ทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพการทำงานของ IC7106 R3, C3 ถูกจัดเป็นวงจร LOW PASS FILTER เพื่อกันกรองเอาสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ที่ติดมากับสัญญาณอินพุท ทิ้งลง Ground ไป

IC 7106 เป็น IC ที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าทั้ง ขวก และ ลบ แต่ในกรณีนี้แหล่งจ่ายไฟมีแต่ไฟบวกเท่านั้น ดังนั้นเราจะทำการสร้างไฟลบเทียมขึ้นมา อุปกรณ์ที่ใช้ทำไฟลบเทียมก็คือ D1, D2, C6 และ C7 โดยมี Q1 เป็นตัวขยายสัญญาณที่ได้จากขา 38 ของ IC ให้มีระดับสูงมากขึ้น หลังจากนั้นก็เอาไปเข้าส่วนของวงจร D1, D2, C6 และ C7 ซึ่งจะได้อแรงดันประมาณ -2.3 Volts

เครื่องวัดอุณหภูมิ



วงจรนี้ใช้อุปกรณ์ชนิดหนึ่ง ที่ทำหน้าที่คล้ายกับ Zener Diode ที่เรารู้จักกัน แต่อุปกรณ์ตัวนี้มีคุณสมบัติพิเศษคือ สามารถที่จะแปรเปลี่ยนระดับการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ตามผลของอุณหภูมิที่ตัวมันได้รับ ถ้าจะเปรียบกับ Zener Diode แล้วก็อาจเรียกได้ว่ามันเป็น Zener Diode ที่เปลี่ยนค่าไปตามอุณหภูมิ ดังนั้นการทำงานของเครื่องนี้จึงไม่มีอะไรยุ่งยากเลย เพียงแต่ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับตัวมันแล้ว เอาแรงดันที่มันควบคุมอยู่นั้นส่งไปให้กับวงจรดิจิตอล Voltmeter

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรการวัดอุณหภูมินี้มีหน่วยการวัดเป็น องศา C ในวงจรเราใช้ IC เบอร์ LM335 มาใช้เป็น ตัว SENSOR สำหรับวงจรนี้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและแรงดันมีค่าเท่ากับ $10\text{mV}/\pm 1^{\circ}\text{C}$ ส่วนการปรับ ตั้งโดยปรับ VR2 ของเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้ Multimeter ในย่านของ DC Voltmeter จับวัดเข้า ที่ขา 30 ของ IC 7106 เทียบกับ Ground ปรับ VR2 เพื่อปรับตั้งความเที่ยงตรงของอุณหภูมิ และขั้น ตอนนี้เราจะปรับ VR1 โดยสังเกตค่าที่ต่อแสดงผลได้ แสดงออกมาเปรียบเทียบกับค่าที่แบบ ปรอท วัดได้ ต่อไปก็ลองวัดในอุณหภูมิ ย่านอื่น ๆ คุยบ้าง



ดิจิตอล เทอร์มิเตอร์ (DIGITAL THERMOMETER)

งานประเภทแสดงผล 7 หลักของปริมาณและอานาล็อก จำเป็นต้องใช้วงจรเปลี่ยนอานาล็อกเป็นดิจิตอล หมายถึงการใช้วงจรวิเคราะห์และอินทิเกรท เป็นตัวกลไก ซึ่งกำหนดปัญหาให้กับส่วนประกอบของเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ที่เราจะทำเพื่อใช้กับงานดังกล่าวข้างต้นคืออินเทอร์ซัล ไอ ซีแอล 7107 เป็น IC ประเภท ซีมอส ซึ่งมันสามารถที่จะเปลี่ยนปริมาณและอานาล็อกเป็นดิจิตอลแสดงผล 7 หลักที่หลอด LCD โดยมีอุปกรณ์ประกอบน้อย ไอ ซีแอล 7107 นำมาใช้งานในการวัดอุณหภูมิ, แรงดัน, กระแส, ความต้านทาน, ความเร็วของเสียง เป็นต้น และอีกประการหนึ่งคือเราสามารถเอาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสารบางประเภท ในรูปของระดับแรงดันมาแสดงเป็นตัวเลข โดยขบวนการทางระบบดิจิตอล

รายละเอียดเกี่ยวกับส่วนของอานาล็อกของ ไอ ซีแอล 7106 และ 7107 การวัดแต่ละวงจรแบ่งออกเป็น 3 สภาวะ ได้แก่ :

1. สภาวะอัตโนมัติ ซีโร่
2. สภาวะซีแวล อินทิเกรท
3. สภาวะ- อินทิเกรท

ICL7106/ICL7107

DETAILED DESCRIPTION ANALOG SECTION

Figure 3 shows the Block Diagram of the Analog Section for the ICL 7106 and 7107. Each measurement cycle is divided

into three phases. They are (1) auto-zero (A-Z), (2) signal integrate (INT) and (3) deintegrate (DE).

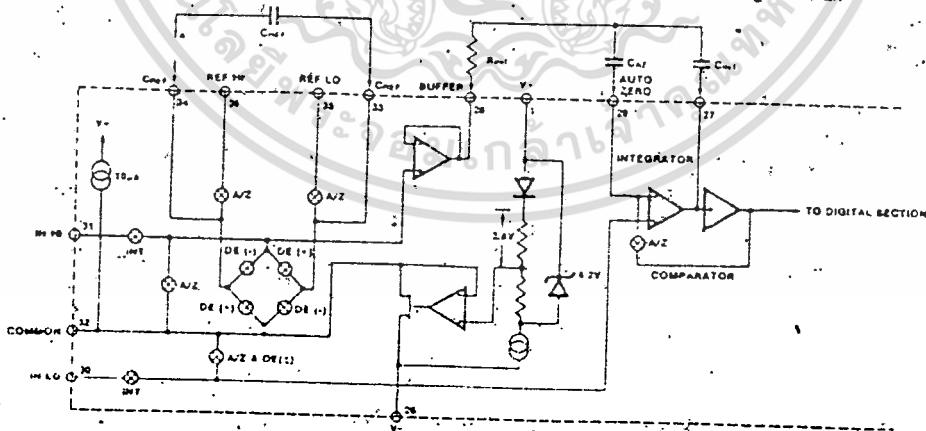


Figure 3: Analog Section of 7106/7107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่าง ออโตซีโร จะมีสามสิ่งเกิดขึ้นประการแรก กระแสไฟที่จ่ายเข้าทั้งสูงและต่ำจะไม่ต่อเข้ากับจุด และต่อวงจรกันภายในกับ COMMON ของอานาล็อกประการที่ 2 ตัวคาร์พาซีเตอร์ที่อ้างอิงจะเกิดประจุไฟฟ้ากับแรงเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกัน ประการที่ 3 FEED BACK LOOP จะอยู่ใกล้กับระบบที่จะชาร์จคาร์พาซีเตอร์แบบ ออโต-ซีโร เพื่อที่จะชดเชยแรงเคลื่อนที่อยู่ใน แอมป์ไฟเออร์ที่รับ Load หรือในตัวอินทิเกรเตอร์และตัวคอมพาราเรเตอร์ เพราะว่าตัวคอมพาราเรเตอร์ถูกรวมอยู่ใน Loop ดังนั้นอัตราที่แน่นอนของ ออโต ซีโร จึงถูกจำกัดด้วยเสียงของระบบนี้เท่านั้น ในกรณีนี้กระแสไฟที่ชดเชยจะต้องเกี่ยวข้องกับกระแสไฟที่จ่ายเข้ามาซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10.

2. สภาวะชีกแนล อินทิเกรท

ระหว่างชีกแนล อินทิเกรทนั้น Feed back loop ในออโต-ซีโร ถูกใช้งานและการลดวงจรถูกดึงออก และกระแสไฟที่จ่ายเข้าภายในทั้งสูงและต่ำจะต่อเข้ากับจุดภายนอกดังนั้นตัวคอนเวิเตอร์จะรวมแรงเคลื่อนที่มีความต่างศักย์ ระหว่างกระแสไฟที่จ่ายเข้าด้วยกันทั้งสูงและต่ำในระยะเวลาที่จำกัด แรงเคลื่อนที่มีความต่างศักย์นี้ จะอยู่ในอัตรา 1 Volt ของการจ่ายอะไรก็ได้หรืออีกนัยหนึ่งกระแสไฟที่จ่ายเข้าไม่มีการววกกลับด้วยแหล่งจ่ายของคอนเวิเตอร์ กระแสไฟที่จ่ายเข้าและมีค่าต่ำสามารถถูกโยงไปถึงส่วนอานาล็อก เพื่อสร้างแรงเคลื่อนในอัตราที่ถูกต้องในช่วงสุดท้ายของสภาวะนี้ ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของอินทิเกรทถูกกำหนดขึ้น

3. แบบดิซี-อินทิเกรท

เป็นชนิดสุดท้ายกระแสไฟที่จ่ายเข้าต่ำถูกต่อเข้ากับส่วนของอานาล็อกภายในและกระแสไฟที่จ่ายเข้าที่สูง จะต่อเข้าไปยังคาร์พาซีเตอร์ที่ชาร์จไว้ตอนต้น วงจรที่เกิดขึ้นนี้จะรับรองได้ว่าคาร์พาซีเตอร์จะต่อกับขั้วแม่เหล็กได้อย่างถูกต้อง เพื่อให้เกิดค่าของกระแสไฟที่จ่ายในอินทิเกรเตอร์ มีค่ากลับไปยัง 0 ซึ่งเป็นปฏิกิริยากลับกระแสที่จ่ายเข้า หน่วยที่เฉพาะเจาะจงที่อ่านได้คือ 1000 Vim ความต่างศักย์ของกระแสที่จ่ายเข้า (DIFFERENTIAL INPUT)

กระแสไฟที่จ่ายเข้าสามารถรับเอาแรงเคลื่อน ที่มีความต่างศักย์กันในบริเวณไหนก็ได้ในอัตราที่แน่นอน ของกระแสไฟที่จ่ายเข้าแอมป์ไฟเออร์ หรือเจาะจงค่าจำกัดค่า 0.5 Volt ต่ำกว่าแหล่งจ่ายในขั้วบวกไปถึง 1.0 Volt ที่เหลือกว่าแหล่งจ่ายในขั้วลบ ในระบบนี้มีค่า CMRR ของแบบ 86 dB อย่างไรก็ตามอาจจะเป็นเพราะอินทิเกรเตอร์ มีการสั่งด้วยอัตราที่กำหนด จึงต้องแน่ใจว่ากระแสที่จ่ายออกของอินทิเกรเตอร์ไม่ขึ้นในสภาวะที่ไม่ดีนี้ จะมีแรงเคลื่อนในขั้วบวกที่มากด้วยแรงเคลื่อน ที่มีความต่างศักย์ของกระแสไฟที่จ่ายเข้าในขั้วลบ ทำให้ขั้วบวกในอินทิเกรทนั้นเคลื่อนที่ เมื่อการสั่งถูกใช้โดยแรงเคลื่อนในขั้วบวกสำหรับการทำงาน แบบวิเคราะห์เหล่านี้อินทิเกรเตอร์ที่สั่งจะลดลงได้น้อยกว่าที่กำหนด 2 Volt โดยไม่สูญเสียความแน่นอน กระแสไฟที่จ่ายเข้าสามารถสั่งในแรงเคลื่อน 0.3 Volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารความรู้ที่ทางโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต่างศักย์ทางไฟฟ้าอ้างอิง (DIFFERENTIAL REFERENCE)

แรงเคลื่อนที่เกี่ยวข้องเนื่องสามารถเกิดขึ้นที่ไหนก็ได้ในแหล่งจ่าย ของคอนเวกเตอร์แหล่งจ่าย ผลิตผลที่สำคัญคือแรงเคลื่อนที่มีมากที่สุดที่เกิดจากการสูญเสียคาร์พาซีเตอร์ หรือการได้รับประจุไฟฟ้าเพื่อ แยกการทำงานตามที่ต้องการ ถ้าแรงเคลื่อนมีมาก คาร์พาซีเตอร์ก็สามารถจะจ่ายประจุไฟฟ้า (ในแรงเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น) เมื่อเกี่ยวข้องกับขั้วบวกของ ดี-อินทิเกรเตอร์ แต่ว่าจะไม่มีประจุไฟฟ้า (เมื่อแรงเคลื่อนลดลง) ที่เกี่ยวข้องกับขั้วลบของ ดี-อินทิเกรเตอร์ แต่ว่าจะไม่มีประจุไฟฟ้าต่างศักย์ สำหรับแรงเคลื่อนของกระแสไฟ ที่จ่ายเข้าทั้งขั้วบวกและขั้วลบจะให้ข้อผิดพลาดมากอย่างไรก็ตามโดยการเลือก อ้าง คาร์พาซีเตอร์มีน้ำหนักมากพอ ในการเปรียบเทียบเพื่อแยกความสามารถในการทำงาน ความผิดพลาดนี้มีค่าน้อยกว่า 0.5 สำหรับสภาพที่ไม่ดีเช่นนี้

ANALOG COMMON

จุดนี้อยู่ในตอนแรก ซึ่งจัดเป็นแรงเคลื่อน สำหรับการดำเนินงานของแมตเตอร์ (7106) หรือสำหรับอะไรก็ได้ที่กระแสไฟที่จ่ายเข้าไปไหลด้วยพลังงานของแหล่งจ่ายจุดที่เกิดแรงเคลื่อนที่มีค่าประมาณ 2.8 Volt ที่อยู่ในแหล่งจ่ายของขั้วลบมากกว่าขั้วบวกคือการเลือกเพื่อให้แรงเคลื่อนในแมตเตอร์ที่มีค่าน้อยที่สุดประมาณ 6 Volt

อย่างไรก็ดีสภาพเช่นนี้บางอย่างที่อ้างถึงแรงเคลื่อนที่อ้างอิง เมื่ออัตราของแรงเคลื่อนในแหล่งจ่ายมีมากพอที่จะทำให้เกิดตึงคับแรงเคลื่อนนั้นก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์ที่ต่ำ (.001 %) มีความผิดของกระแสไฟที่จ่ายออกต่ำ (15) และค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิมีน้อยกว่า 80 PPM %

การจำกัดของการอ้างอิงนี้ควรถูกบันทึก, อย่างไรก็ตาม ความร้อนภายใน 7107 ซึ่งมีผลมาจาก LCD สามารถทำให้เกิดความเสื่อมบางอย่างในการทำงาน เนื่องมาจากความต้านทานที่สูงกว่าส่วนมากเป็นพลาสติก จะเหลือกว่าส่วนที่เป็นเซรามิกการรวมค่าของสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิการสูญเสียภายใน และการเก็บความต้านทานสามารถเพิ่มเสียงจาก 25uV ถึง 80uV ระยะที่ส่งไปด้วยความเสื่อมที่สูง เช่น 1000 ไปยังความเสื่อมต่ำ เช่น 1111 สามารถได้เพียง 1 จำนวนหรือมากกว่านั้น เครื่องใช้ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในขั้วบวก ก็ต้องการหลายจำนวนเพื่อดึงเอาสภาพที่เกินออกไป นี่เป็นเพราะว่าสภาพที่เกินเป็นความเสื่อมที่ต่ำ ในทางที่คล้ายกับหน่วยงานที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในขั้วลบ อาจเกิดวงจรในสภาพที่เกินและไม่เกินในขณะที่ไม่มีความร้อนและความเย็นในกระแสสลับ สภาพที่คล้ายกันทั้งหมดก็คือแรงเคลื่อนในกระแสไฟที่จ่ายเข้าย้อนกลับระหว่างสภาวะโอไฮ-ซีโรและสภาวะ ดี-อินทิเกรเตอร์ แรงเคลื่อนที่คงอยู่ถูกควบคุมโดย CMRR ที่ดีเลิศของคอนเวกเตอร์อย่างไรก็ตามกระแสไฟที่จ่ายเข้าเครื่องใช้บางอย่างอยู่ในแรงดันที่จำกัด (แหล่งจ่ายพลังงานต้องคงที่) ในการทำงานเช่นนี้สภาพที่คล้ายกันจะเกี่ยวเนื่องด้วยจุดนี้เป็นการดึงเอาแรงเคลื่อนออกจากคอนเวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ภายใน IC สภาพนี้โยงไปถึงจุด N ของ FET ที่สามารถที่กระแสไฟ 30 mA หรือกระแสที่มีไม่จำกัดทุกทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเคลื่อน 2.8 V ซึ่งต่ำกว่าแหล่งจ่ายในขั้วบวก (เมื่องานนั้นพยายามที่จะอยู่ในแนวกับขั้วบวก)

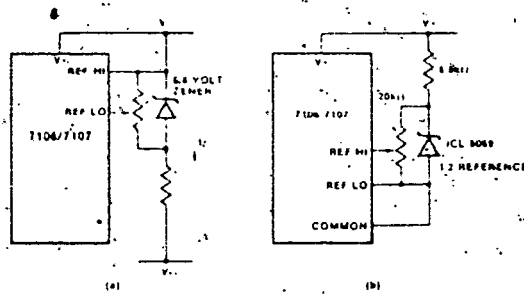


Figure 4: Using an External Reference

(a)

(b)

Figure 4 :Using an Externar Reference

การทดสอบ

จุดทดสอบทำหน้าที่ 2 อย่าง ประการแรกบน 7106 ถูกรวมหน่วยของแหล่งจ่ายที่เกิดขึ้นภายในผ่านตัวขั้วเคลื่อนที่เกิดขึ้นภายนอก เช่น จุดศูนนิยม หรือการใช้ตัวแทนอื่นที่ต้องการที่จะรวมอยู่ในการแสดง LCD ตามรูปที่ 5 และ 6 แสดงการทำงานนี้ หน้าทีประการที่ 2 คือการทดสอบหลอดไฟฟ้า เมื่อการทดสอบเริ่มที่ค่าสูง หน่วยย่อยทั้งหมดจะถูกหมุนและอ่านค่าได้ -1888 แคชชั่น บน 7106 ในการทดสอบหลอดไฟ หน่วยย่อยมีค่าแรงเคลื่อน DC คงที่ (ไม่มีคลื่นเป็นสี่เหลี่ยม) และจะเผาไหม้ LCD ถ้าทิ้งไว้นานเป็นเวลาหลายนาที

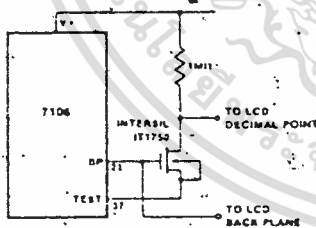


Figure 5: Simple inverter Fixed Decimal Point

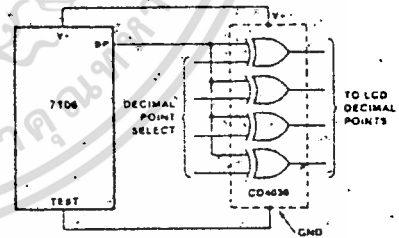


Figure 6

ส่วนตัวเลข

รูปที่ 7 และ 8 แสดงส่วนตัวเลขสำหรับ 7106 และ 7107 ที่เกี่ยวข้องกันใน 7106 ตัวเลขภายในถูกทำให้เกิดจากไดโอดที่มีค่า 6 Volt และแหล่งจ่ายในช่องที่มากแหล่งจ่ายอันนี้ถูกทำให้แน่น เพื่อตั้งเอากระแสสัมพันธ์กันเมื่อเกิดแรงเคลื่อนที่ย้อนกลับ ความถี่คือความถี่ของการจับเวลาที่แบ่งโดย 800 สำหรับการอ่านทั้งสามอย่างนั้น อย่างที่ 2 นี้ คือคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่มีค่า 60 Hz กับแอมป์จูดที่มีค่า 5 Volt หน่วยย่อยที่มีแรงเคลื่อนที่ด้วยค่าเดียวกันจะปิดเมื่ออยู่ในเฟส และจะเปิดเมื่ออยู่นอกเฟส ในทุกกรณี แรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นเล็กน้อย คงอยู่ในข้ามในแต่ละหน่วยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8 คือส่วนตัวเลข 7107 มันคือแหล่งจ่ายในบังคับเดียวกัน และตัวขับเคลื่อนที่ย้อนกลับ ถูกจำกัด และการเคลื่อนที่ในหน่วยย่อยเพิ่มจาก 2 ถึง 8 mA สำหรับเครื่องใช้ที่มีขนาดขั้วบวกในแบตเตอรี่ เพราะว่ากระแสไฟที่จ่ายเข้า 1000 (จุดที่ 19) ต่ำลงจาก 2 หน่วยย่อย LED มันจะเป็น 2 เท่าของการทำงานหรือ 16 mA

ระบบการกำหนดเวลา

รูปที่ 9 แสดงถึงการกำหนดเวลาที่ใช้ใน 7106 และ 7107 การกำหนดเวลาเบื้องต้นที่ใช้ดังนี้คือ

1. ออสซิลเลเตอร์ตัวนอกที่ต่อกับจุดที่ 40
2. เครื่องรับระหว่างจุด 39 และ 40
3. ออสซิลเลเตอร์ R-C ที่ใช้ในทั้ง 3 จุด

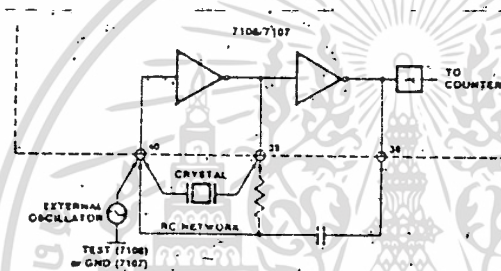


Figure 8: Clock Circuit

ความถี่ในออสซิลเลเตอร์ถูกแบ่งก่อนมันจับเวลาที่กำหนด ดังนั้นมันถูกแบ่งได้ต่อไปอีกจาก เฟสการเปลี่ยนวงจร 3 เฟส เหล่านี้คือ อินทิเกรท, ดี-อินทิเกรท และ ออโต้-ซีโร สำหรับอโต้-ซีโร จะได้สัดส่วนที่ไม่ใช่ของ ดี-อินทิเกรท ทำให้การวัดวงจร 4000 ของแรงเคลื่อนในกระแสไฟที่จ่าย เข้าเกิดโดยลำพัง

ค่าของวงจรอินทิเกรทควรจะเป็นผลคูณของ 60 Hz ความถี่ทั้งหลายในออสซิลเลเตอร์เช่น 240 KHz, 120 KHz, 80 KHz, 48 KHz, 40KHz และ 33 KHz ควรจะเลือกไปใช้สำหรับ 50 Hz ความถี่ประมาณ 200, 100, 66, 50 และ 40 KHz ควรจะเหมาะสมที่จะใช้ จงสังเกตว่า 40 KHz จะใช้ได้ทั้ง 50 และ 60 Hz

การเลือกค่าของส่วนประกอบ

1. อินทิเกรท รีซีเตอร์

ทั้งขั้วเฟออร์แอมป์ และอินทิเกรทเตอร์ เป็นแบบคลาส A ให้ กระแสออกมาลงที่ 100 ไมโครแอมป์ ทั้งสองให้กระแสขึ้นหลาย 20 ไมโครแอมป์ในการขับกระแสซึ่งจะไม่คงที่นัก อินทิเกรท รีซีลเตอร์ จะมีค่าพอที่จะคงที่อยู่ในขอบเขตที่จะสูงกว่าระดับแรงเคลื่อน แต่จะต้องน้อยพอที่สถานการณ์ที่ว่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากเกินไปจนไม่สามารถจะออกมาที่จุด pc สำหรับอัตราเต็มที่มีของแรงดัน 2 Volt 470 กิโลโอห์ม คือ ส่วนที่ให้ผลดีที่สุด

2. อินทิเกรท คาปาซิเตอร์

คาปาซิเตอร์ที่จะเลือกใช้ให้ได้แรงดันสูงสุดในการสวิง ซึ่งจะแน่ใจว่าแรงดันที่เมื่อไว้สูงพอและจะไม่อิ่มตัว (ประมาณ 0.3 V จากแหล่งจ่าย) ใช้ 7107 เมื่ออ่านาล็อคคอมมอน ใช้เป็นตัวอ้างอิง ± 2 V เป็นค่าที่พอเหมาะที่สุด แต่สำหรับแรงดันประมาณ ± 5 V และกราวด์ของ อานาล็อก ± 3.5 ถึง ± 4 V สำหรับการอ่านตัวเลขต่อ 1 วินาที (48 KHz สัญญาณนาฬิกา) ใช้ค่า C_{in} 0.22 และ 10 μF แน่นอน ถ้าความถี่ออสซิลเลเตอร์แตกต่างกัน ค่าของคาปาซิเตอร์ต้องเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนที่กลับกัน เพื่อที่จะใช้กับกระแส และแรงดันที่จ่ายเข้ามาอันเดียวกัน.

การเพิ่มค่าคาปาซิเตอร์ คือ คาปาซิเตอร์จะมีไดอิเล็กตริกมีค่าต่ำเพื่อป้องกันความผิดพลาดและราคาพอเหมาะ

3. ออโต้ - ซีโร คาปาซิเตอร์

ขนาดของ ออโต้-ซีโร คาปาซิเตอร์ มีอิทธิพลต่อเสียงของระบบสำหรับแรงดัน 200 mV สูงสุดซึ่งเสียงจัดเป็นสิ่งสำคัญมาก คาปาซิเตอร์ 0.47 μF เป็นตัวเพิ่มค่าความเร็วของ การรชดเชย จากโอเวอร์โหลดและจะพอเพียงสำหรับเรื่องเสียงในระดับแรงดันนี้

4. Refenge capacitor

คาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 μF เหมาะสมที่สุดในการใช้งานอย่างไรก็ตามในที่ซึ่งมีคอมมอน โวลเตจอยู่มาก (เช่นระดับอ้างอิงต่ำ ไม่ใช่ที่อานาล็อกคอมมอน) และที่ระดับแรงดัน 200 mV ค่าคาปาซิเตอร์มากเป็นที่ต้องการ เพื่อป้องกันข้อผิดพลาด 0.5 ของการนับเป็นตัวอย่าง

5. Osillator component

สำหรับทุก ๆ ย่านความถี่ตัวต้านทาน 100 กิโลโอห์ม ถูกนำมาใช้และค่าคาปาซิเตอร์ที่จะเลือกมีค่าจากสมการ $f = 45/rc$ เช่นที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 48 กิโลโอห์ม ค่าคาปาซิเตอร์เท่ากับ 10 pF

6. Reference Voltage

ส่วนของอานาล็อกอินพุท ต้องการทำให้เกิดเอาท์พุทสูงสุด (2,000 ครั้ง) คือ $V_{in} = 2V_{Ref}$ ดังนั้นที่ระดับ 200 mV และ 2,000 V แรงดันอ้างอิงจะเท่ากับ 100 mV และ 1 V ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในการใช้งานหลาย ๆ อย่างในที่ ๆ A/D ถูกต่อเข้ากับเครื่องแปลงแรงดันปัจจัยอื่น ๆ

จะตัดออกไประหว่างแรงดันอินพุท และตัวเลขที่อ่าน ตัวอย่างเช่น ในระบบน้ำหนักผู้ออกแบบอาจจะ

ชอบอ่านค่าสูงสุด เมื่อแรงดันจากตัวเปลี่ยนแรงดัน เท่ากับ 0.682 V แทนที่จะแบ่ง แรงดันให้ต่ำลงถึง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสือเทคนิค

- หนังสือ เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 61
- ซีดีคยเคชั่น คู่มือ แอลเอสไอ เล่ม 1
- อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน เรื่อง OP-AMP ของ

ดร.มงคล เดชครินทร์

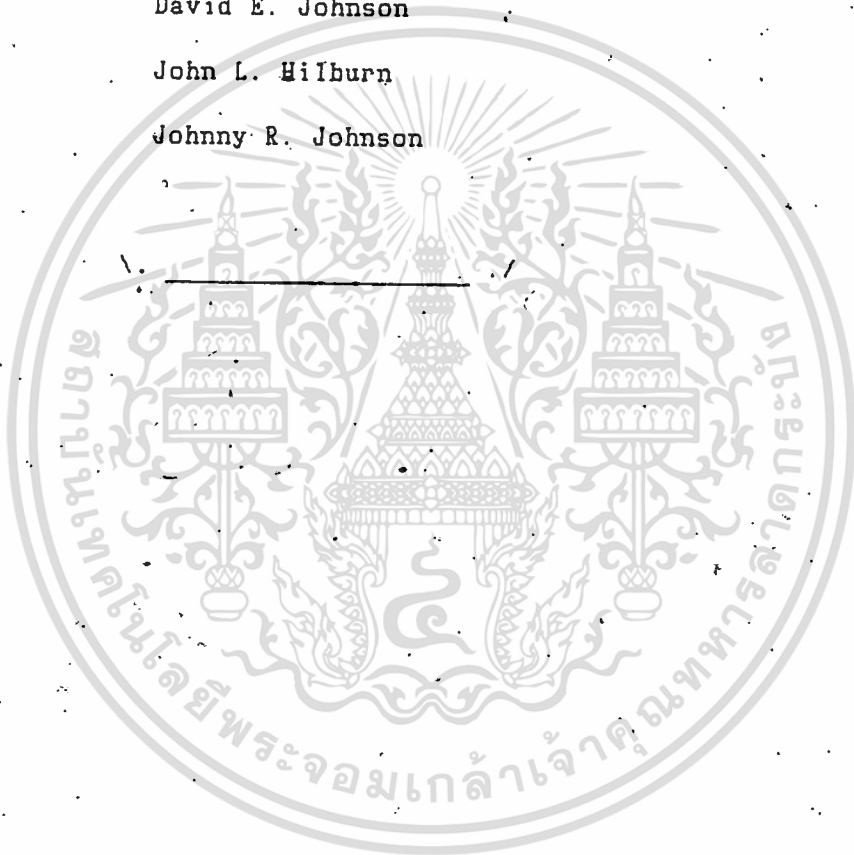
ดร.ชาติ ศรีไพพรรณ

- Basic Electric circuit Analysis

David E. Johnson

John L. Hilburn

Johnny R. Johnson



ผลที่ได้จากการวัดจะแสดงเป็นตัวเลข 3 หลัก ทศนิยม 1 ตำแหน่งเมื่อวัดอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 0 องศาสามารถแสดงตัวเลขเป็นเครื่องหมายลบได้ ตัวเลขใช้ LED 7 segment ตัว SENSOR อุณหภูมิใช้ซิลิคอนไดโอด โดยอาศัยคุณสมบัติที่ว่าเมื่อป้อนกระแส Forward bias มีขนาดคงที่ให้ไดโอด Forward bias Voltage ที่ตกคร่อมไดโอดจะเปลี่ยนแปลงผกผันกับอุณหภูมิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสือเทคนิค

- หนังสือ เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 61
- ซีดีคยเคชั่น คู่มือ แอลเอสไอ เล่ม 1
- อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน เรื่อง OP-AMP ของ

ดร. มงคล เตชครินทร์

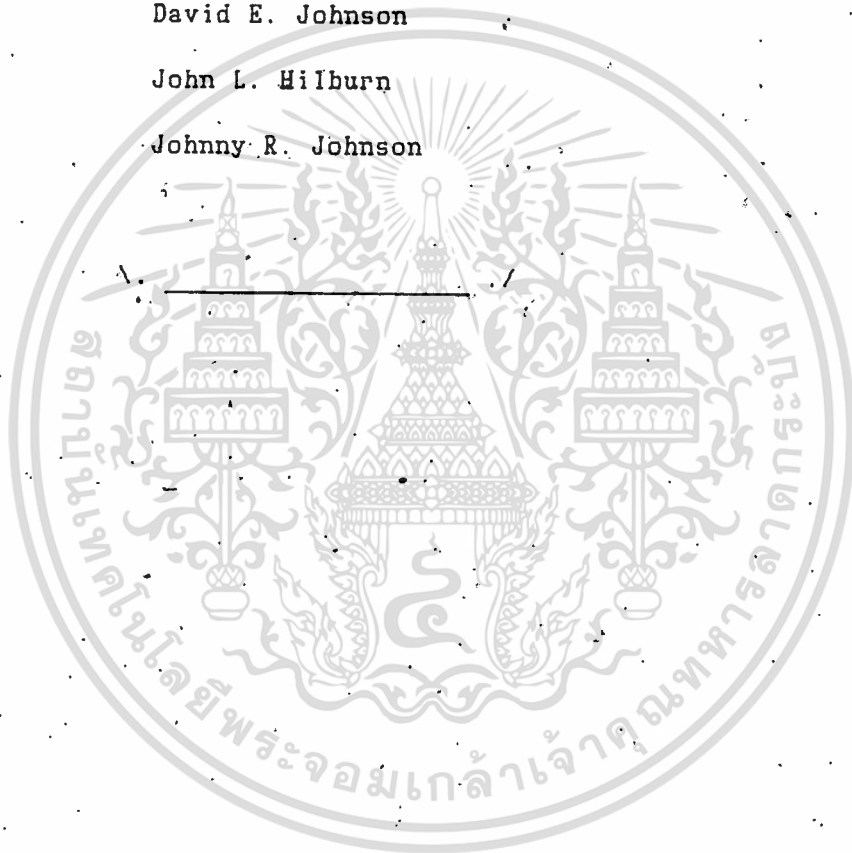
ดร. ชชาติ ศรีไพพรรณ

- Basic Electric circuit Analysis

David E. Johnson

John L. Hilburn

Johnny R. Johnson



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Supply Voltage (V+ to V-)	15V
Analog Input Voltage (either input) (Note 1)	V+ to V-
Reference Input Voltage (either input)	V+ to V-
Clock Input	Test to V+
Power Dissipation (Note 2)	
Ceramic Package	1000 mW
Plastic Package	800 mW
Operating Temperature	0°C to +70°C
Storage Temperature	-65°C to +160°C
Lead Temperature (Soldering, 60 sec)	300°C

Note 1: Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to $\pm 100\mu\text{A}$.

Note 2: Dissipation rating assumes device is mounted with all leads soldered to printed circuit board.

Supply Voltage V+	+6V
V-	-9V
Analog Input Voltage (either input) (Note 1)	V+ to V-
Reference Input Voltage (either input)	V+ to V-
Clock Input	Gnd to V+
Power Dissipation (Note 1)	
Ceramic Package	1000 mW
Plastic Package	800 mW
Operating Temperature	0°C to +70°C
Storage Temperature	-65°C to +160°C
Lead Temperature (Soldering, 60 sec)	300°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 3)

CHARACTERISTICS	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Zero Input Reading	Vin = 0.0V Full Scale = 200.0 mV	-000.0	± 000.0	+000.0	Digital Reading
Ratiometric Reading	Vin = Vref Vref = 100 mV	999	999/1000	1000	Digital Reading
Rollover Error (Difference in reading for equal positive and negative reading near Full Scale)	-Vin = +Vin = 200.0mV	-1	± 2	+1	Counts
Linearity (Max. deviation from best straight line fit)	Full scale = 200mV or full scale = 2.000V	-1	± 2	+1	Counts
Common Mode Rejection Ratio (Note 4)	Vcm = $\pm 1\text{V}$, Vin = 0V. Full Scale = 200.0mV.		50		$\mu\text{V/V}$
Noise (Pk - Pk value not exceeded 95% of time)	Vin = 0V Full Scale = 200.0mV.		15		μV
Leakage Current @ Input	Vin = 0V		1	10	pA
Zero Reading Drift	Vin = 0 0°C < TA < 70°C		0.2	-1	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Scale Factor Temperature Coefficient	Vin = 199.0mV 0°C < TA < 70°C (Ext.Ref.0ppm/°C)		1	5	ppm/°C
Supply Current (Does not include LED current for 7107)	Vin = 0		0.8	1.8	mA
Analog Common Voltage (With respect to pos. supply)	25K Ω between Common & pos. Supply	2.4	2.8	3.2	Volts
Temp. Coeff. of Analog Common (with respect to pos. Supply)	25K Ω between Common & pos. Supply		80		ppm/°C
7106 ONLY Pk-Pk Segment Drive Voltage (Note 5)	V Supply = 9V	4	5	6	Volts
7106 ONLY Pk-Pk Backplane Drive Voltage (Note 5)	V Supply = 9V	4	5	6	Volts
7107 ONLY Segment Sinking Current (Except Pin 19)	+Supply = 5.0V Segment voltage = 3V	5	8.0		mA
7107 ONLY Segment Sinking Current (Pin 19 only)	+Supply = 5.0V Segment voltage = 3V	10	16		mA

Note 3: Unless otherwise noted, specifications apply to both the 7106 and 7107 at TA = 25°C, fclock = 48kHz. 7106 is tested in the circuit of Figure 1. 7107 is tested in the circuit of Figure 2.

Note 4: Refer to "Differential Input" discussion on page 4.

Note 5: Back plane drive is in phase with segment drive for 'off' segment, 180° out of phase for 'on' segment. Frequency is 20 times conversion rate. Average DC component is less than 50mV.

INTERSIL

ICL7106, 7107 3 1/2 Digit Single Chip A/D Converter

FEATURES

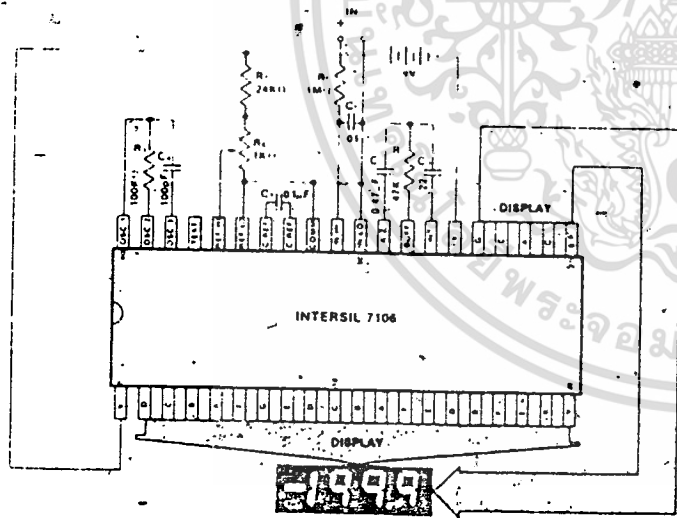
- Guaranteed zero reading for 0 volts input on all scales.
- True polarity at zero for precise null detection.
- 1 pA input current typical.
- True differential input and reference.
- Direct display drive - no external components required. — LCD ICL7106
— LED ICL7107
- Low noise - less than 15µV pk-pk.
- On-chip clock and reference.
- Low power dissipation - typically less than 10mW.
- No additional active circuits required.
- Evaluation Kit available.

GENERAL DESCRIPTION

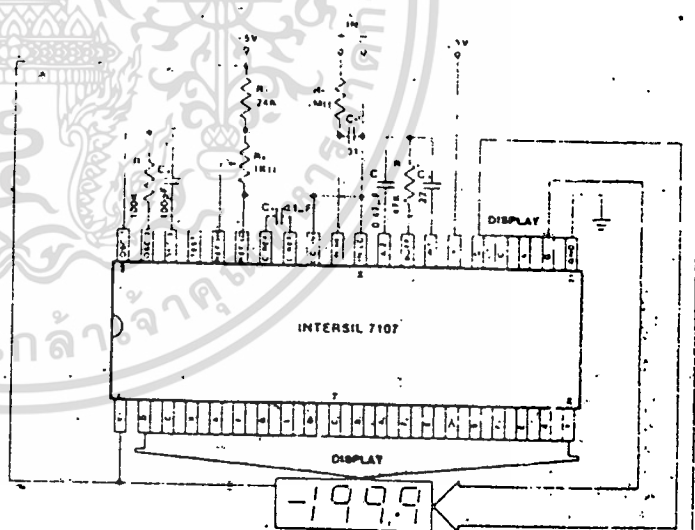
The Intersil ICL7106 and 7107 are high performance, low power 3-1/2 digit A/D converters. All the necessary active devices are contained on a single CMOS I.C., including seven segment decoders, display drivers, reference, and a clock. The 7106 is designed to interface with a liquid crystal display (LCD) and includes a backplane drive; the 7107 will directly drive an instrument-size light emitting diode (LED) display.

The 7106 and 7107 bring together an unprecedented combination of high accuracy, versatility and true economy. High accuracy like auto-zero to less than 10µV, zero drift of less than 1µV/°C, input bias current of 10 pA max., and resolution error of less than one count. The versatility of true differential input and reference is useful in all systems, but gives the designer an uncommon advantage when measuring load cells, strain gauges and other bridge-type transducers. And finally the true economy of single power supply operation (7106), enabling a high performance panel meter to be built with the addition of only 7 passive components and a display.

TYPICAL CONNECTION DIAGRAMS



ICL7106 with Liquid Crystal Display

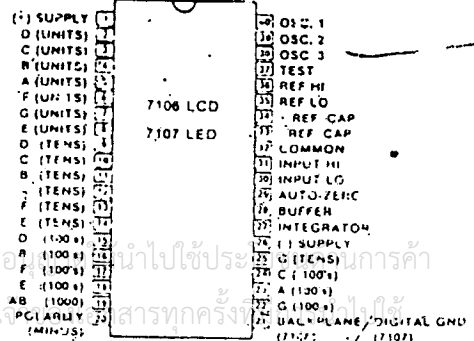


ICL7107 with LED Display

ORDERING INFORMATION

Part #	Package	Temp. Range	Order Part #
7106	40 pin ceramic DIP	0°C to +70°C	ICL7106CDL
7106	40 pin plastic DIP	0°C to +70°C	ICL7106CPL
7107	40 pin ceramic DIP	0°C to +70°C	ICL7107CDL
7107	40 pin plastic DIP	0°C to +70°C	ICL7107CPL
7106 Kit	Evaluation kits contain IC, display, circuit board, passive components and hardware.		ICL7106EV/Kit
7107 Kit			ICL7107EV/Kit

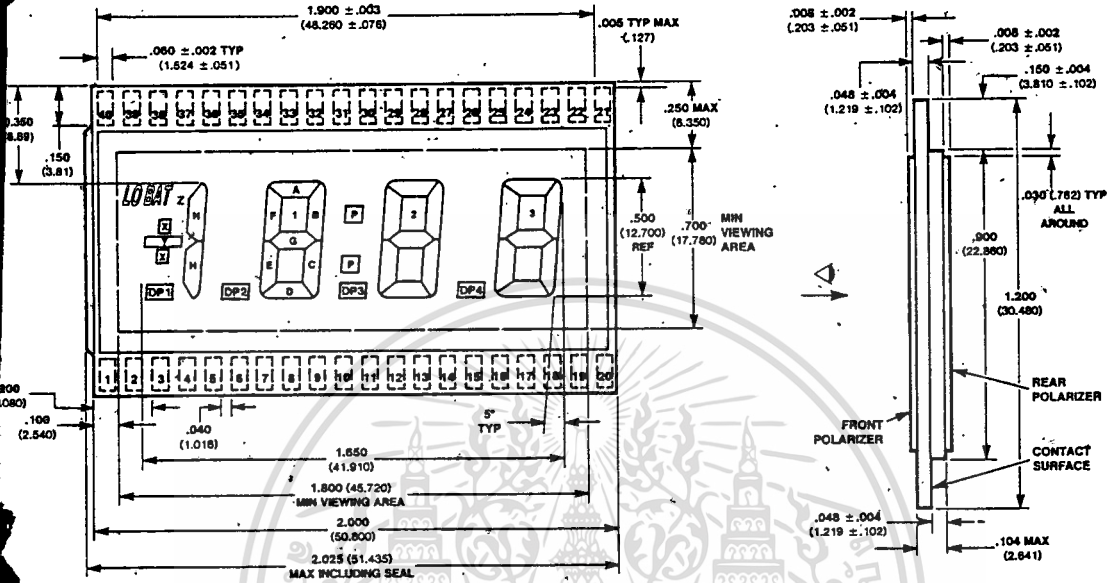
PIN CONFIGURATION



Package Outline

FLB35 13X3 FLB35 13X4

FLB35 13X3 Elastomer Connection



Note: Dimensions in inches bold and millimeters (parentheses)

Pin Assignments

Backplane	9 Segment E ₁	17 Segment E ₃	25 Segment A ₂	33 NC
Y	10 Segment D ₁	18 Segment D ₃	26 Segment F ₂	34 NC
H	11 Segment C ₁	19 Segment C ₃	27 Segment G ₂	35 NC
Decimal Point 1	12 Decimal Point 3	20 Segment B ₃	28 Segment P	36 NC
NC	13 Segment E ₂	21 Segment A ₃	29 Segment B ₁	37 NC
NC	14 Segment D ₂	22 Segment F ₃	30 Segment A ₁	38 Z
NC	15 Segment C ₂	23 Segment G ₃	31 Segment F ₁	39 X
Decimal Point 2	16 Decimal Point 4	24 Segment B ₂	32 Segment G ₁	40 NC

Ordering Information

Elastomeric Connector Configuration	Connector Pins	Polarizer Option
LB3513A3	FLB35 13A4	Non-Polarized
LB35 13B3	FLB35 13B4	Transflective
LB35 13C3	FLB35 13C4	Reflective (smooth)
LB35 13D3	FLB35 13D4	Transmissive

Connectors

Display is available in pinned or elastomeric configuration. See page 6-42 for elastomeric connector suppliers.

Drivers

See page 6-43 for available drivers.

3½-Digit Clock and Instrument Display

Optoelectronic Products

FLB3513X3 FLB3513X4

General Description

The FLB3513X3 and FLB3513X4 are liquid crystal displays that are hermetically sealed with glass frit. They are available in pinned or elastomeric connector configurations, offer four polarizer options and operate at the standard temperature range of -20°C to $+60^{\circ}\text{C}$. Applications include clock, digital panel meter and general instrumentation.

0.5-Inch Digits (13 mm)
Decimal Points for DPMs
Colon for Timekeeping
Four Polarizer Options
Glass-Frit Seal for High Reliability

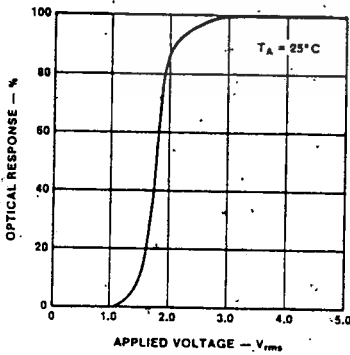
Electrical Characteristics Measured at 25°C with drive voltage of 5.0 V, square wave at 32 Hz.

Characteristic	Min	Typ	Max	Units
Operating Voltage	2.8	5.0	12	V
Saturation Voltage	2.0	2.2	2.4	V
Operating Frequency Range	30	32	1000	Hz
Drive Current at 3.0 V, All Segments On		45	5.0	μA
Viewing Angle		20:1		degrees
Response Times: t_{on} (Includes Delay Time)		70	150	ms
t_{off} (Includes Delay Time)		100	150	ms
Operating Temperature Range (Note)	-20		60	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range	-20		80	$^{\circ}\text{C}$
Humidity	50/60			$^{\circ}\text{C}/\text{RH}$
Life Time		50k		hrs

Note

Higher operating temperature is available. Consult the factory for details.

Voltage Characteristics



Response Time

