



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ป-027845

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 2 ก.ค. 2534



ปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2533

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

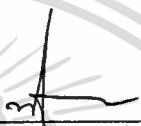
เรื่อง pH METER

ผู้จัดทำ

1. นายวันชัย ภัทรจารุ 326218
2. นายผดุงเกียรติ ไยยะลิ 326212



  
( อ.สิงห์ทอง )

  
จันทนเศรษฐานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษา

เลขที่ T33012 ว 3  
เลขทะเบียน 027845  
ว. ต่อมา ปี 12 ก.ย. 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ (027845) คำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี	4
2.2 ขั้ววัดค่า pH (Electrode)	8
2.3 การวัดค่า pH (The measurement of pH)	19
บทที่ 3 หลักการและการออกแบบ	21
3.1 ความรู้พื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์	21
3.2 การออกแบบและการคำนวณ	26
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	36
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	48
เอกสารอ้างอิง	49
กิตติกรรมประกาศ	50
ภาคผนวก	
พ.1 ลำดับวิธีการใช้เครื่อง pH meter	
พ.2 แสดงรูปขั้ววัดอิเล็กโทรดที่ใช้ในงานวิเคราะห์	
พ.3 dual FET 2N5197	
พ.4 D/A CONVERTER ICL 7107	

## PH METER

นายวันชัย ภัทราจารย์

นายผดุงเกียรติ ไยมะลิ

อ.สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอการออกแบบเครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH METER) ของสารละลายโดยใช้วงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ที่ใช้ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะทำให้ความต้านทานทางเข้าของเครื่องมือวัดมีค่าสูงประมาณ  $10^{13}$  โอห์ม ซึ่งเหมาะที่จะใช้วัดค่าโพเทนเชียลระดับต่ำ ๆ ในสารละลายที่มีความต้านทานสูง  $10^7-10^9$  โอห์ม ซึ่งจะทำให้ค่าที่วัดได้มีความถูกต้องสูงเพราะเครื่องมือวัดมีความต้านทานภายในสูงกว่าแหล่งกำเนิดโพเทนเชียลเป็นหมื่น ๆ เท่า

วงจรที่ใช้ในปริญญานิพนธ์เป็นวงจรซึ่งออกแบบโดยใช้หลักการง่าย ๆ จากวงจรพื้นฐาน อุปกรณ์ภายในวงจรมีน้อยที่สุดแต่ได้ประสิทธิภาพของเครื่องวัดสูงสุด เป็นการสนับสนุนความคิดสร้างสรรค์ในการนำทฤษฎีที่ได้ศึกษามาใช้ให้เกิดเป็นรูปธรรมขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PH METER

MR.VANCHAI PATARAJARU

MR.PADUNGKIANT YAIMALI

ADVISOR SINGTONG PATANASEATANON

### ABSTRACT

THIS PROJECT DEMONSTRATES THE DESIGNING OF DEVICE, FOR MEASUREMENT, THAT INDICATES CONDITION OF SUBSTANCE, FORMS OF SOLUTION, FOR CLASSIFICATION AND CONCENTRATION OF BOTH ACID AND ALKALI. THIS DEVICE, CALLED pH METER IS APPLIED BY DIFFERENTIAL AMPLIFIER CIRCUIT WHICH COMPOSES FIELD EFFECT TRANSISTOR (FET), OWING TO VERY HIGH IMPEDANCE OF MEASURING DEVICE, ABOUT  $10^{13}$  OHMS, THEREFORE THE DISTINCTION OF ITS INPUT IMPEDANCE PROVIDES FOR MEASURING BECOME ADVENTAGE, NAMELY, IT CAN BE USED TO MEASURE SMALL SIGNAL OF POTENTIAL OF SOLUTION WHICH HAS VERY HIGH RESISTANCE ABOUT  $10^7-10^9$  OHMS. SO, IT ALLOWS TO RECEIVE HIGH ACCURATE DEVICE BECAUSE OF ITS INTERNAL IMPEDANCE IS VERY HIGH COMPARES WITH POTENTIAL SOURCE.

THE PROJECT DESIGNS TO OBTION A SIMPLE CIRCUIT THAT COMPOSES SMALL NUMBER OF CIRCUIT COMPONENTS, HOWEVER, HIGH ACCURACY OF MEASUREMENT IS AIM. SO, THIS PROJECT THAT IS SUPPORTED BY THE CREATION OF STUDYING IN MEASUREMENT FIELD SHOULD BE CONCRETE.

### บทที่ 1

#### บทนำ

การวัดค่า pH (power of hydrogen ion) ของสารต่าง ๆ นั้นสามารถใช้วิธีการได้หลายวิธี ซึ่งจะมีระดับความถูกต้องแม่นยำแตกต่างกันไป

#### -วิธีการเทียบสี

เป็นวิธีการที่ใช้การเปลี่ยนสีของ indicator ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนสีในช่วง pH ต่าง ๆ กันได้ ซึ่งมีทั้งใช้ในรูปของสารนั้นเดี่ยว ๆ หรือใช้เป็นสารละลายผสม(mixture)ของ indicator ซึ่งเรียกว่าเป็น universal indicator ซึ่งวัดค่า pH ได้ตั้งแต่ 1-14 หรืออาจจะใช้เป็นกระดาษที่ชุบ indicator ที่ใช้น้ำแล้วเปรียบเทียบการเปลี่ยนสีกับแถบสีกำหนดค่า pH ไว้ ซึ่งในวิธีการนี้จะมีระดับความถูกต้องแม่นยำเท่ากับ 0.5-1.5 หน่วย pH โดยมากแล้วเราจะใช้กับงานวิเคราะห์ที่ไม่ต้องการความถูกต้องแม่นยำมากนัก ตัวอย่างเช่น การวัดค่า pH ของน้ำในแม่น้ำลำคลอง หรือพื้นดินที่จะทำการเพาะปลูก เราอาจจะใช้กระดาษวัดค่า pH หรือใช้ universal indicator

ถ้าหากเราต้องการที่จะวัดจุดยุติ (end point) ของปฏิกิริยาเคมีโดยวิธีการ manual titration เราสามารถเลือกใช้ indicator ที่เหมาะสมได้ โดยดูว่าสารตัวใดจะเปลี่ยนสีที่สังเกตได้ชัดในช่วง pH ที่เกิดในปฏิกิริยาที่ต้องการ เช่น การ titrate HCl ด้วย NaOH ใช้ Phenolphthalein ซึ่งจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู ซึ่งสามารถหาจุดยุติของปฏิกิริยาได้

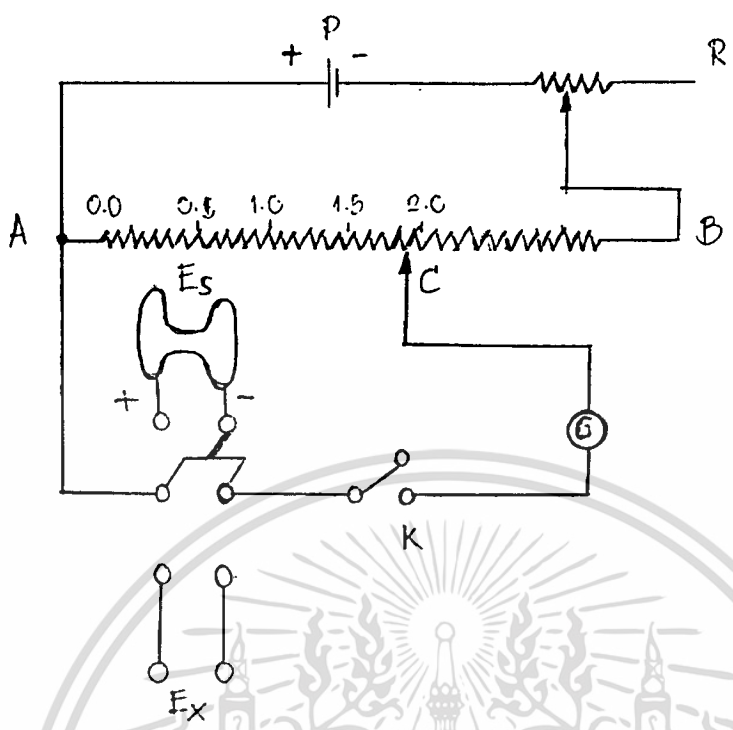
#### -pH meter

เมื่อมีการพัฒนาหลักการของ potentiometric method ที่ว่าศักย์ไฟฟ้าของ cell ไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับ activity ของ ion ตัวชี้วัด(electrode)ที่มีอยู่ในสารละลาย วงจรไฟฟ้าของเครื่อง Potentiometer แสดงดังรูปที่ 1.1

- P คือแบตเตอรี่
- AB คือความต้านทานที่ปรับค่าได้
- C คือความต้านทาน  $R_{AC}$
- G คือกัลวานอมิเตอร์
- K คือสวิตซ์ที่ทำให้ครบวงจร
- E<sub>X</sub> คือศักย์ไฟฟ้าของ unknow cell
- E<sub>S</sub> คือศักย์ไฟฟ้าของ standard cell

$$E_S = E_{AC} = E_{AB} \frac{AC_S}{AB}$$

$$E_X = E_S \frac{AC_X}{AC_S}$$



รูปที่ 1.1 วงจรไฟฟ้าของเครื่อง Potentiometer

ความถูกต้องของการวัดศักย์ไฟฟ้าจาก เครื่อง โฟเทนซี โอมิเตอร์ ขึ้นอยู่กับความคงที่ในการให้กระแสของแบตเตอรี่ P และความยาว AB ที่จะทำให้วัดค่า AC ได้ถูกต้องหรือไม่ความเที่ยงตรงของเครื่องมือชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความไวของกัลวานอมิเตอร์ในการอ่านค่ากระแสและความต้านทาน ถ้าใช้กัลวานอมิเตอร์ที่มีความละเอียดถึง  $10^{-7}$  A และมีความต้านทานของเซลล์และกัลวานอมิเตอร์รวมกัน 1000 โอห์ม เครื่องมือจะสามารถวัดค่าได้แน่นอนถึง 0.1 มิลลิโวลต์ แต่อย่างไรก็ตามเครื่องมือชนิดนี้เหมาะกับการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่มีความต้านทานน้อยกว่า 10000 โอห์ม ซึ่งไม่เหมาะกับการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่ใช้ขั้วเมมเบรน เพราะเซลล์ชนิดนี้มีความต้านทานสูงมากในช่วง 50 ถึง 500 เมกะโอห์ม ถ้าต้องการให้ความแน่นอนของศักย์ไฟฟ้าอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิโวลต์ กระแสที่ใช้ในวงจรจะต้องมีค่าเพียง 2 พิโคแอมป์ ถึง 0.2 พิโคแอมป์ ซึ่งปริมาณกระแสที่น้อยมากขนาดนี้แม้ว่าจะใช้กัลวานอมิเตอร์ชนิดพิเศษก็ไม่สามารถวัดค่าได้ ดังนั้นต้องมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวขยายกระแสให้สูงขึ้น วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับขยายกระแสได้ถูกพัฒนาจนสามารถใช้วัดกระแสที่มีค่าน้อยมาก ๆ เนื่องจากเซลล์ที่มีความต้านทานสูง ๆ ได้ เช่น ใช้ขั้วกลาสเมมเบรนในการประกอบเซลล์เพื่อการวัดค่า pH ของสารละลาย เครื่องมือนี้จึงมีชื่อเรียกเฉพาะว่า พีเอช มิเตอร์ (pH meter)

ในโครงการนี้ได้เสนอ พีเอชมิเตอร์ แบบแสดงค่าเป็นตัวเลข ความละเอียดศนิยม 2 ตำแหน่ง และมีความถูกต้องเที่ยงตรงในการวัดสูงกว่าเครื่องวัด pH meter หลาย ๆ เครื่องซึ่งมีผลผลิตอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากเทียบโดยหลักการและการออกแบบวงจรและ concept ในการออกแบบ ซึ่งเครื่องที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเทียบ โดยหลักการออกแบบแล้วดีกว่า ซึ่งจะเสนอรายละเอียดของหลักการและทฤษฎีการสร้าง การออกแบบวงจร ตลอดจนการทดลองและผลการทดลอง รวมทั้งสรุปผลการทดลอง .ตามรายละเอียดในบทที่ 2, 3, 4, และ5 ตามลำดับ

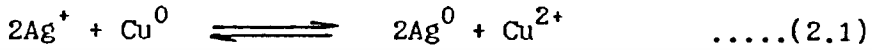


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

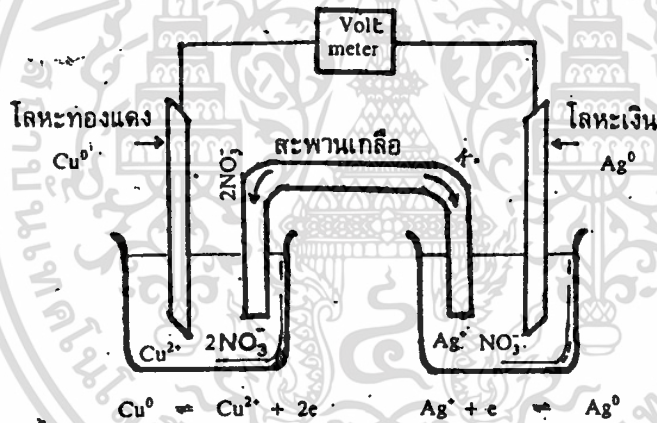
บทที่ 2  
ทฤษฎี

2.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี(Electrochemical cell)

ถ้ามีสารละลายอยู่ 2 ชนิด ชนิดหนึ่งเป็นสารละลายประกอบด้วยออกซิไดซ์ เช่น  $Ag^+$  (สารละลาย  $AgNO_3$ ) อีกชนิดหนึ่งเป็นตัวรีดิวซ์อยู่ในรูปของโลหะ เช่น ทองแดง( $Cu^0$ ) เมื่อนำสารทั้งสองมาผสมกันจะเกิดปฏิกิริยาถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้น ทำให้ได้โลหะเงิน( $Ag^0$ )และทองแดงไอออน( $Cu^{2+}$ ) ดังสมการ



การเกิดปฏิกิริยานี้ขึ้น เราไม่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถมองเห็นว่ามี การถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้น และไม่สามารถนำเอาผลของการเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ แต่ถ้าเรานำสารทั้งสองชนิดมาประกอบเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมี ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จะปรากฏว่ามีการไหลของอิเล็กตรอนในวงจรไฟฟ้า เมื่อเกิดการไหลของอิเล็กตรอนก็คือมีการไหลของกระแสเกิดขึ้นนั่นเอง เราจึงสามารถนำเซลล์ไฟฟ้าเคมีมาศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของสารต่าง ๆ และวิเคราะห์หาปริมาณได้



รูปที่ 2.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

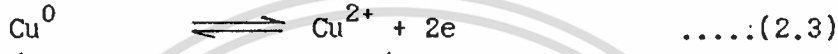
เมื่อต่อเซลล์ไฟฟ้าเคมีครบวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.1 จะเกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากโวลต์มิเตอร์ การไหลของกระแสเกิดขึ้นเนื่องจากโลหะทองแดงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้อิเล็กตรอนผ่านเส้นลวดไปยังขั้วของโลหะเงินที่จุ่มอยู่ในสารละลายของเงินไอออน เงินไอออนจะรับอิเล็กตรอนเกิดปฏิกิริยารีดักชันให้โลหะเงินเกาะที่ขั้ว การเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่ขั้วทั้งสองทำให้ไอออนในสารละลายของขั้วมีประจุไม่สมดุล ดังนั้นจึงเกิดการเคลื่อนที่ของไอออนของอิเล็กโทรไลต์ในสะพานเกลือเพื่อทำให้ประจุสมดุล นั่นคือ ในส่วนของสารละลายทองแดง ไอออนจะมีโพสิทีฟ ไอออนเคลื่อนที่มาและในส่วนของสารละลายเงินไอออน จะมีโพสิทีฟ ไอออนเคลื่อนที่มาเพื่อทำให้ประจุสมดุล ถ้าต่อเซลล์ไฟฟ้าเคมีครบวงจรแล้วพบว่าสามารถเกิดปฏิกิริยาและให้กระแสเกิดขึ้นเอง จะเรียกเซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิด

นี้ว่า กัลวานิกเซลล์(galvanic cell)แต่ถ้าต้องให้ศักย์ไฟฟ้าจากภายนอกจึงจะทำให้มีกระแสเกิดขึ้นภายในเซลล์ได้ จะเรียกเซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดนี้ว่า อิเล็กโทรไลติกเซลล์(Electrolytic cell) เมื่อพิจารณาเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั่ว ๆ ไป จะเห็นได้ชัดว่า เกิดขึ้นจากส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ที่เรียกว่า ครึ่งเซลล์(half cell) ครึ่งเซลล์หนึ่งทำหน้าที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน หรือรับอิเล็กตรอนเรียกว่าแคโทด อีกครึ่งเซลล์หนึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือให้อิเล็กตรอนเรียกว่าแอโนด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่แคโทดหรือแอโนดเรียกว่าครึ่งปฏิกิริยา(half reaction)

ปฏิกิริยาที่แคโทด



ปฏิกิริยาที่แอโนด

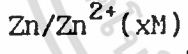


เมื่อรวมปฏิกิริยาที่ 2.2 กับ 2.3 จะได้ปฏิกิริยาที่ 2.1 คือ

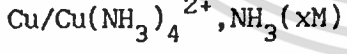


ในแต่ละครึ่งเซลล์ประกอบด้วยแท่งโลหะที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าเรียกว่าขั้ว(electrode)จุ่มอยู่ในสารละลายที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันได้ เรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ดังนั้น ในครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน จึงเรียกว่าขั้วแคโทด และครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเรียกว่า ขั้วแอโนด ความหมายของขั้วแคโทดหรือขั้วแอโนดมิได้หมายความเฉพาะแท่ง โลหะที่จุ่มอยู่ในสารละลาย ไอออนของโลหะที่สนใจเท่านั้น ยังมีความหมายได้อีกหลายแบบและแต่ละแบบสามารถเขียนสัญลักษณ์ที่แสดงความหมายของครึ่งเซลล์ได้ดังต่อไปนี้

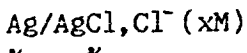
1. Metal-metal ion ตัวอย่างเช่น แท่งสังกะสีจุ่มในสารละลายของสังกะสีไอออนสามารถเขียนสัญลักษณ์ได้เป็น



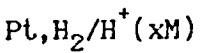
2. Metal-complex ion ขั้วชนิดนี้ต้องเติมสารที่ทำให้เกิดคอมเพล็กซ์(complexing agent) ลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ให้มากเกินพอ เช่น แท่งทองแดงจุ่มในสารละลายทองแดงที่มีแอมโมเนียมากเกินพอ การเขียนสัญลักษณ์สามารถเขียนเป็น



3. Metal-saturated solution of one of its salts ขั้วชนิดนี้ประกอบด้วยแท่งโลหะที่จุ่มอยู่ในสารละลายที่อิ่มตัวด้วยเกลือของโลหะที่ละลายง่าย ตัวอย่างเช่น ขั้วเงินจุ่มอยู่ในสารละลายที่อิ่มตัวด้วยเงินคลอไรด์ สามารถเขียนสัญลักษณ์ได้เป็น



4. Gas-ion ขั้วชนิดนี้ในสารละลายต้องอิ่มตัวด้วยก๊าซและมีความดันตามที่กำหนด โดยที่ก๊าซนั้นอยู่ ณ บริเวณขั้วเฉื่อย ได้แก่ ขั้วไฮโดรเจน เขียนสัญลักษณ์ได้เป็น

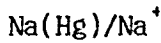


5. Ion-ion ถ้าอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั้งตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดซ์ต่างอยู่ในลักษณะที่

เป็นไอออน สามารถใช้ขั้วของโลหะเฉื่อย เช่น แพลตินัม เป็นตัวนำไฟฟ้าได้ เช่น

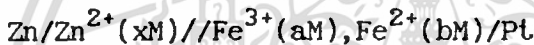


6. Amalgam-ion โลหะที่มีความไว(reactive-metal)ที่สามารถทำปฏิกิริยากับตัวทำละลาย เช่น น้ำได้ เมื่อนำมาทำเป็นขั้วควรทำให้อยู่ในรูปของอะมัลกัม เพื่อลดความไวของโลหะที่มีต่อตัวทำละลายลง เช่น



เมื่อนำครึ่งเซลล์ 2 อันมารวมกันจะเกิดเป็นเซลล์ขึ้น โดยที่ครึ่งเซลล์ที่เขียนไว้ทางซ้ายมือหมายถึง ขั้วแอโนด และครึ่งเซลล์ที่เขียนไว้ทางขวามือหมายถึง ขั้วแคโทด เมื่อต้องการทำให้เซลล์ไฟฟ้าเคมีนี้ต่อครบวงจรสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

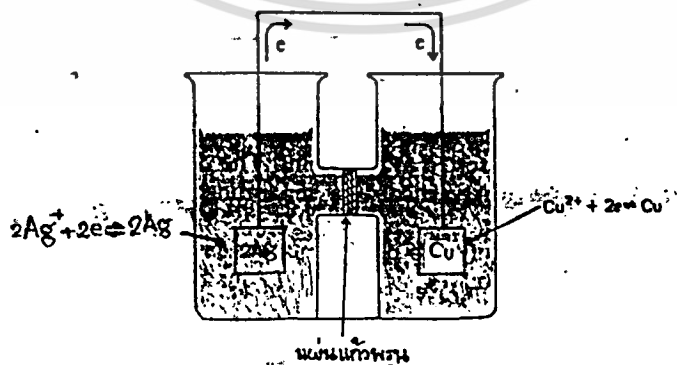
1. ต่อโดยใช้สะพานเชื่อม เมื่อสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของขั้วทั้งสองเป็นชนิดที่ต่างกัน บรรจุในภาชนะที่แยกกัน สามารถทำให้สารละลายทั้งสองเชื่อมกันครบวงจรได้โดยใช้สะพานเชื่อม การต่อเซลล์แบบนี้ทำให้เลือกอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมกับขั้วนั้น ๆ ได้แต่มีข้อเสียคือ ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่รอยต่อของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทั้งสอง เซลล์ที่สร้างในลักษณะนี้เรียกว่า Cell with liquid junction ตัวอย่าง เช่น



เครื่องหมาย // เป็นสัญลักษณ์แทนสะพานเชื่อมระหว่างครึ่งเซลล์ทั้งสอง สะพานเชื่อมระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของครึ่งเซลล์ทั้งสองสามารถทำเป็นรูปแบบต่าง ๆ กันได้หลายแบบ ดังนี้คือ

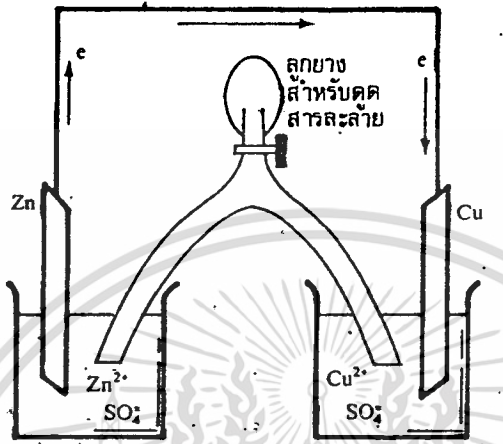
ก. สะพานเกลือ(Salt bridge)เตรียมโดยใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์อีกตัวหนึ่งที่นำไฟฟ้าได้ดี เช่น KCl, KNO<sub>3</sub> บรรจุในหลอดแก้วรูปตัวยู (U) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ควรอิมมิดว สารละลายจะอยู่ในหลอดแก้วรูปตัวยู โดยไม่ไหลออกมาได้ด้วยการใช้แผ่นแก้วพุนปิดปลายหลอดแก้วไว้ หรือ ใช้วุ้น (agar) ที่อิมมิดวด้วยอิเล็กโทรไลต์บรรจุในหลอดแก้ว การใช้สะพานเกลือเป็นตัวเชื่อมจะทำให้สามารถลดค่าศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อสารละลายได้มาก การวิเคราะห์บางอย่างสามารถตัดค่าศักย์ไฟฟ้านี้ทิ้งได้ จึงนิยมใช้กันมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 1.1

ข. ใช้แผ่นแก้วที่เป็นรูพรุนกั้นกลางระหว่างสารละลายทั้งสองเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายผสมกัน แต่แผ่นแก้วนั้นยอมให้ไอออนเคลื่อนที่ผ่านได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เซลล์ชนิดมีรอยต่อของสารละลาย โดยใช้แผ่นแก้วพุนเป็นตัวกั้นกลาง

ค. สะพานของสารละลาย(liquid bridge) โดยการนำหลอดแก้วรูปตัววาย(Y)ให้ปลายสองข้างจุ่มอยู่ในสารละลายทั้งสองที่แยกออกจากกัน แล้วใช้ลูกยางดูดสารละลายทางปลายอีกข้างหนึ่งให้สารละลายทั้งสองมาพบกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 สะพานของสารละลายแบบนี้ ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อของสารละลายได้มาก จึงนิยมใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ 2.3 เซลล์ชนิดใช้สะพานของสารละลาย

ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ชนิดนี้ต้องนำศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อของสารละลายมาคิดด้วย ดังนั้น การคำนวณศักย์ไฟฟ้าของเซลล์คำนวณได้จากสมการ

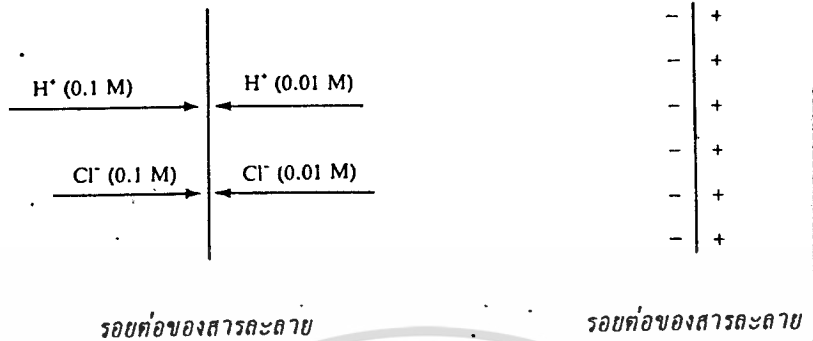
$$E_{cell} = E_{cathode} - E_{anode} + E_j \quad \dots\dots(2.4)$$

$E_j$  คือ ศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อของสารละลาย(liquid junction potential)ซึ่งจะมีค่าน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้เมื่อใช้สะพานเกลือที่อิ่มตัวด้วยอิเล็คโตรไลต์

การเกิดศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อของสารละลายเกิดขึ้นได้ เนื่องจากไอออนแต่ละตัวเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อของสารละลายได้ด้วยความเร็วที่ต่างกัน ตัวอย่างเช่น พิจารณาการเกิดศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อของสารละลาย 2 ชนิด ที่ประกอบด้วยอิเล็คโตรไลต์ชนิดเดียวกัน แต่ความเข้มข้นต่างกันของกรดเกลือ



ทั้ง  $H^+$  และ  $Cl^-$  สามารถเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อของสารละลายได้ทั้งสองทิศทางแต่ความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออนจากความเข้มข้นสูงไปยังความเข้มข้นต่ำจะมีมากกว่า ซึ่งค่าความแตกต่างนี้จะสัมพันธ์กับความแตกต่างของความเข้มข้น โดยธรรมชาติของไอออน  $H^+$  สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า  $Cl^-$  5 เท่า ดังนั้น ไอออนบวกส่วนใหญ่จะอยู่ทางขวามือและไอออนลบอยู่ทางซ้ายมือ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 การที่รอยต่อของสารละลายเกิดการแยกของประจุขึ้น จึงเป็นเหตุทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่รอยต่อค่าศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อนี้ จะมีค่าเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของอิเล็คโตรไลต์ทั้งสอง



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่ของไอออนบวกและลบผ่านรอยต่อของสารละลาย

2. ต่อเซลล์โดยการไหลของไอออนไม่ต้องข้ามรอยต่อของสารละลาย เมื่อสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของขั้วทั้งสองของเซลล์สามารถใช้ชนิดเดียวกันได้ การต่อเซลล์ก็ไม่จำเป็นต้องมีสะพานเชื่อม เซลล์ชนิดนี้เรียกว่า Cell without liquid junction

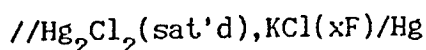
## 2.2 ขั้ววัดค่า pH (Electrode)

ในการสร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีเพื่อการวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้ครึ่งเซลล์ไฟฟ้าอันหนึ่งเป็นครึ่งเซลล์ที่ทราบค่าศักย์ไฟฟ้าที่แน่นอนแล้ว ซึ่งเรียกว่า ขั้วอ้างอิง(reference electrode) ส่วนอีกครึ่งเซลล์หนึ่งจะประกอบด้วยสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์กับขั้วที่ไวต่อสารละลายนั้น ซึ่งเรียกว่า ขั้วทำงานหรือขั้วชี้บอก(working electrode or indicator electrode) ลักษณะของขั้วอ้างอิงจะมีรูปร่างอย่างไร สามารถผลิตขึ้นได้ตามความเหมาะสมในการใช้งาน และจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ ขั้วที่สามารถนำมาใช้เป็นขั้วอ้างอิงมีอยู่ไม่กี่ชนิด และแต่ละชนิดสามารถใช้ในการวิเคราะห์เชิงไฟฟ้าได้ทุกวิธี จึงสามารถนำชนิดของขั้วอ้างอิงมากล่าวไว้รวมกันในบทนี้ได้

### 2.2.1 ขั้วอ้างอิง(Reference electrode)

ขั้วอ้างอิงที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงไฟฟ้ามี 3 ชนิด คือ

1. ขั้วคาโลเมล(Calomel electrode) ขั้วคาโลเมลที่ประกอบเป็นครึ่งเซลล์ สามารถเขียนสัญลักษณ์ทั่วไปได้ดังนี้ คือ



x คือ ความเข้มข้นของ KCl ในสารละลาย ถ้า x มีค่าเท่ากับ 1 ขั้วชนิดนี้เรียกว่า normal calomel electrode(NCE) ถ้าความเข้มข้นของ KCl มีค่าอิ่มตัวในสารละลาย เรียกขั้วชนิดนี้ว่า ขั้วคาโลเมลอิ่มตัว(Saturated calomel electrode, SCE)



ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นคือ



ศักย์ไฟฟ้าของขั้วขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคอปไรต์ (x<sub>F</sub>) ในสารละลาย ขั้วคาโลเมลที่ใช้กันมากที่สุดมีอยู่ 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขั้วคาโลเมลที่ใช้มากที่สุด

Name	Concentration of		Reduction potential(V) vs. standard hydrogen electrode
	Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	KCl	
Saturated	Saturated	Saturated	+0.242 - 7.6x10 <sup>-4</sup> (t-25°C)
Normal	Saturated	1.0F	+0.280 - 2.4x10 <sup>-4</sup> (t-25°C)
Decinormal	Saturated	0.1F	+0.334 - 7.0x10 <sup>-4</sup> (t-25°C)

จะสังเกตได้ว่า ขั้วคาโลเมลแต่ละชนิดต้องมี Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> อิ่มตัว ศักย์ไฟฟ้าของขั้วขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ KCl และอุณหภูมิ คอลัมน์สุดท้ายแสดงการคำนวณศักย์ไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิไม่ใช่ 25°C ตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิ 30°C จะคำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้ว normal calomel electrode ได้เท่ากับ

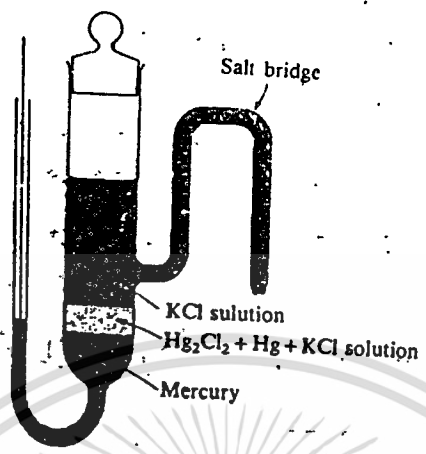
$$+0.280 - 2.4 \times 10^{-4} (30-25) = 0.279 \text{ โวลต์}$$

ขั้วคาโลเมลอิ่มตัว (SCE) เป็นขั้วที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการวิเคราะห์ เพราะง่ายต่อการเตรียม ความเข้มข้นของ KCl ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงขณะทำการวิเคราะห์ การสร้างขั้วคาโลเมลอิ่มตัวแบบง่าย ๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 มีสะพานเกลือที่บรรจุด้วยสารละลาย KCl อิ่มตัวเป็นตัวเชื่อมระหว่างครึ่งเซลล์ของคาโลเมลกับครึ่งเซลล์ของสารตัวอย่างที่ปลายหลอดแก้วของสะพานเกลือจะมีแผ่นแก้วหุนกันไม่ให้สารละลายตัวอย่างที่อยู่ข้างนอกกับ KCl ไหลมาผสมกัน หรืออาจจะใช้ 3% ของวันที่มี KCl อิ่มตัวบรรจุในหลอดแก้วแล้วปล่อยให้แข็งตัวเป็นสะพานเกลือก็ได้

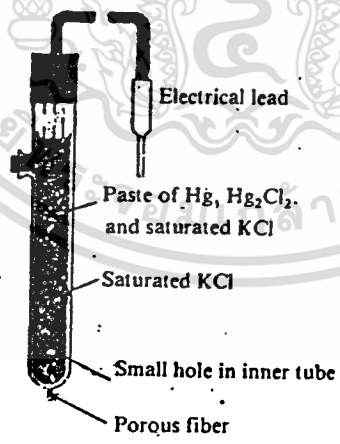
เนื่องจากขั้วคาโลเมลอิ่มตัวเป็นที่นิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงไฟฟ้าทุกแบบดังนั้น จึงมีผู้ผลิตขั้วคาโลเมลอิ่มตัวเพื่อให้สะดวกในการใช้งานขึ้นจำหน่าย ซึ่งสามารถซื้อหามาใช้งานได้โดยไม่ต้องเตรียมขึ้นเอง ลักษณะของขั้วคาโลเมลที่ผลิตขึ้นมาจากหน้ายมีรูปร่างลักษณะดังรูปที่ 2.6 ประกอบด้วยหลอดแก้วยาว 5 ถึง 15 เซนติเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ถึง 1.0 เซนติเมตร ผสม Hg กับ Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> กับ KCl อิ่มตัว ให้เข้ากันบรรจุในหลอดภายใน (inner tube) ที่บรรจุอยู่ในหลอดที่ใหญ่กว่าอีกทีหนึ่ง (outer tube) หลอดใหญ่จะมี KCl ที่อิ่มตัวบรรจุอยู่และมีรูเล็ก ๆ ปิดด้วย porous fiber เพื่อให้สัมผัสกับสารละลายของอีกครึ่งเซลล์หนึ่งได้ ขั้วชนิดนี้มีความต้านทานสูงมากถึง 2000-3000 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การสร้างขั้วคาโลเมลล์อย่างง่าย



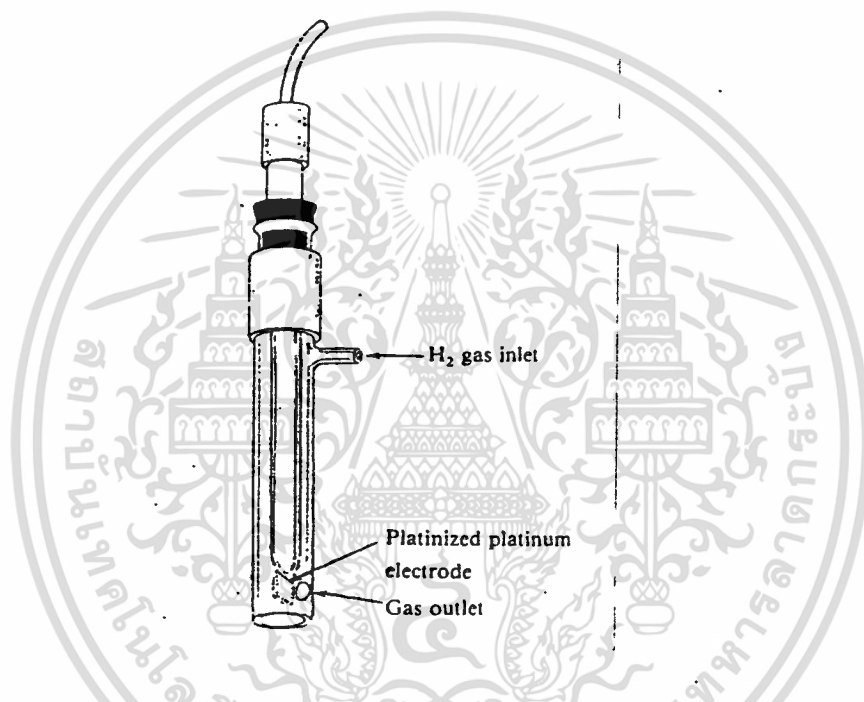
รูปที่ 2.6 ขั้วคาโลเมลล์ตัวที่ใช้ในการวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท Courtesy Beckman Instruments, Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ขั้วไฮโดรเจน(Hydrogen electrode) ขั้วไฮโดรเจนประกอบด้วยแผ่นแพลตตินัมที่สะอาดและฉาบไว้ด้วยผลพลไดม์อีกทีหนึ่ง(platinized platinum)อยู่ในหลอดแก้วที่บรรจุก๊าซไฮโดรเจนที่สามารถควบคุมความดันได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้ว คือ



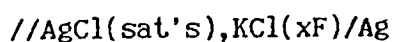
ขั้วไฮโดรเจนที่เป็นมาตรฐานต้องอิมมิดด้วยก๊าซไฮโดรเจนตลอดเวลาภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ และจุ่มอยู่ในสารละลายกรดเกลือเข้มข้น 1 แอคติวิตี เรียกว่า ขั้วมาตรฐานไฮโดรเจน (Standard hydrogen electrode, SHE) มีค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0.00 โวลต์



รูปที่ 2.7 ขั้วไฮโดรเจน

ในการวิเคราะห์ไม่ค่อยนิยมใช้ขั้วไฮโดรเจนเป็นขั้วอ้างอิงเท่าใดนัก เพราะยุ่งยากในการควบคุมความดันของก๊าซไฮโดรเจน ความสำคัญของขั้วไฮโดรเจน คือ ใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของขั้วอ้างอิง และขั้วซึ่งอกที่ใช้ในงานวิเคราะห์

3. ขั้วเงิน-เงินคลอไรด์(Silver-silver chloride electrode) ส่วนประกอบของขั้ว Ag-AgCl คล้ายคลึงกับขั้วคาโลเมล คือ ประกอบด้วยสารละลายของ KCl ที่มี AgCl อิมมิดอยู่ เขียนสัญลักษณ์ทั่วไปของขั้วได้ ดังนี้



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ

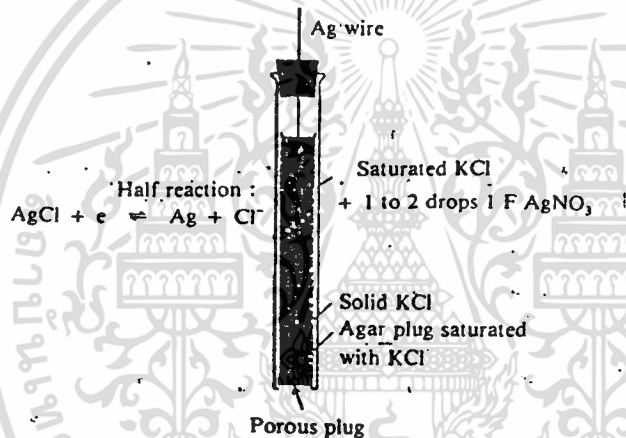


โดยปกติขั้วชนิดนี้เตรียมจาก KCl ที่อิมมิด ศักย์ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25C มีค่าเท่ากับ +0.197 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวัดเทียบกับขั้วมาตรฐานไฮโดรเจน

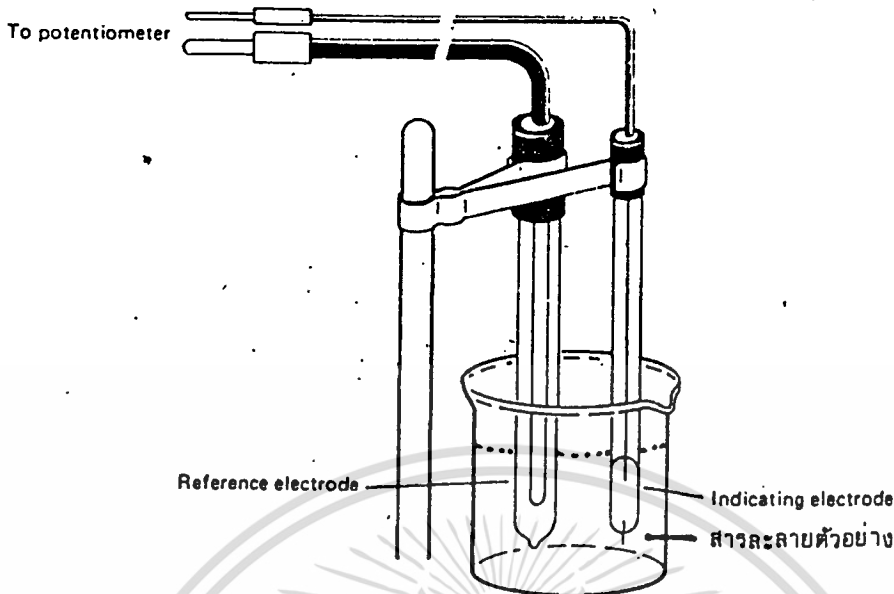
ขั้วเงิน-เงินคลอไรด์สามารถสร้างได้ง่าย ๆ ตามที่แสดงในรูปที่ 2.8 โดยใช้หลอดแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ซม. ในชั้นของวุ้น(agar)อิมมิดด้วย KCl วางไว้เหนือ disk หรือ porous plug เพื่อกันไม่ให้สารละลายในขั้วไหลออกมา ชั้นของวุ้น หรือ agar plug เตรียมได้โดยใช้ agar 5 กรัม ใส่ในน้ำ 100 ลบ.ซม. ต้มจนเดือดเติม KCl 35 กรัม เมื่อสารละลายยังอุ่นอยู่ให้เทลงในหลอดแก้วแล้วทำให้เย็น วุ้นจะแข็งตัวและมีความต้านทานต่ำ ถัดจากชั้นของ agar plug ให้เติมของแข็ง KCl แล้วตามด้วยสารละลายของ KCl อิมมิดและ 1F AgNO<sub>3</sub> 1-2 หยด ใช้ลวดเงินจุ่มในสารละลายเพื่อเป็นตัวนำไฟฟ้า



รูปที่ 2.8 ขั้วเงิน-เงินคลอไรด์

### 2.2.2 ขั้วชี้บอก(Indicate electrode)

การแบ่งชนิดของขั้วชี้บอก สารละลายที่ต้องการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าหรือ pH ต้องประกอบเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีโดยมีขั้ว 2 ชนิด คือ ขั้วชี้บอกซึ่งไวต่อสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์และขั้วอ้างอิงซึ่งมีค่าศักย์ไฟฟ้าคงที่ จากนั้น จึงนำขั้วของเซลล์ทั้งสองต่อเข้าเครื่องโพเทนชิโอมิเตอร์เพื่อวัดค่าดังแสดงในรูปที่ 2.9 ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่วัดได้นั้นขึ้นอยู่กับขั้วชี้บอกและความเข้มข้นของไอออนที่ไวต่อขั้วชี้บอก ดังนั้น การศึกษาถึงชนิดของขั้วชี้บอกที่นำมาใช้ในการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของไอออนแต่ละชนิดจึงเป็นเรื่องสำคัญมาก ขั้วชี้บอกที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีโพเทนชิโอเมตริก แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ขั้วชี้บอกที่เป็นแท่งโลหะ และขั้วชี้บอกที่เป็นเมมเบรน



รูปที่ 2.9 เซลล์ไฟฟ้าเคมีสำหรับวัดค่าศักย์ไฟฟ้า

1. ขั้วขั้วบอกที่เป็นโลหะ (Metallic Indicator electrode)

ซึ่งในที่นี้จะไม่กล่าวถึงเพราะไม่ใช้ในการวัดค่า pH

2. ขั้วขั้วบอกที่เป็นเมมเบรน (Membrane electrode)

ขั้วเมมเบรนเป็นขั้วที่ได้ออกมาขึ้นเพื่อทำให้การวิเคราะห์ใช้ได้กว้างขวางขึ้นและสามารถวิเคราะห์ไอออนได้หลายชนิด ขั้วเมมเบรนบางชนิดที่ผลิตขึ้นมาสามารถใช้ได้ดีกับไอออนแต่ละตัวไม่เหมือนกันดังนั้นจึงมีชื่อเรียกเฉพาะว่า Ion selective electrode ขั้วเมมเบรนที่ถูกค้นพบขึ้นก่อน คือ ขั้วที่ใช้แก้วเมมเบรนซึ่งไวต่อไฮโดรเจนไอออนและยอมให้ไฮโดรเจนไอออนผ่านเมมเบรนได้เพียงอย่างเดียว ขั้วชนิดนี้ไว้สำหรับวัดค่า pH ของสารละลายเท่านั้น มีชื่อเรียกทั่ว ๆ ไปว่า ขั้วแก้วสำหรับวัด pH (Glass electrode for pH measurement) นอกจากนี้ ยังได้ค้นพบแก้วเมมเบรนชนิดอื่น ๆ อีกที่ยอมให้ไอออนอื่นนอกเหนือจาก  $H^+$  ผ่านได้ นั่นคือ ถ้าพิจารณาประเภทของขั้วเมมเบรน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

ก. ขั้วแก้วเมมเบรน (Glass membrane electrode) ขั้วที่ใช้แก้วเมมเบรนมี 2 ชนิด คือ ชนิดที่วัดเฉพาะไฮโดรเจนไอออน ที่เรียกว่า Glass electrode for pH measurement และขั้วแก้วเมมเบรนที่สามารถวัดไอออนอื่น ๆ นอกเหนือจากไฮโดรเจนไอออน

ข. Ion selective electrode ขั้วชนิดนี้สามารถแบ่งออกได้อีกหลายแบบ ตามชนิดของเมมเบรนที่ใช้ดังต่อไปนี้

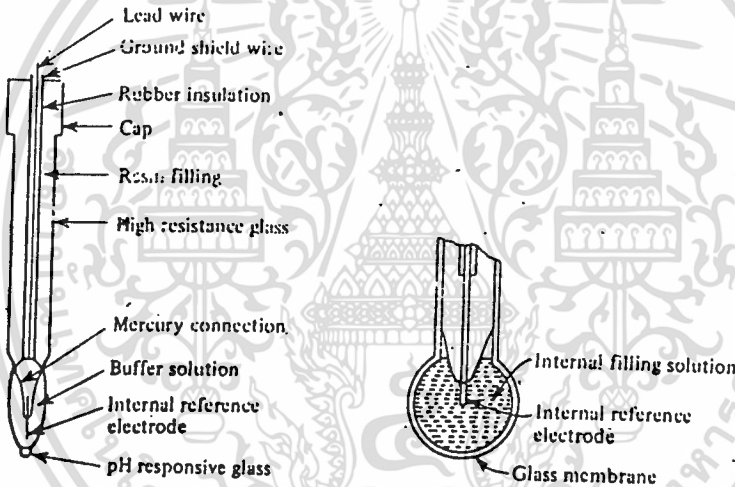
-Liquid membrane electrode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Solid-state or precipitate electrode
- Gas-sensing membrane electrode
- Enzyme electrode
- Coated wire ion selective electrode

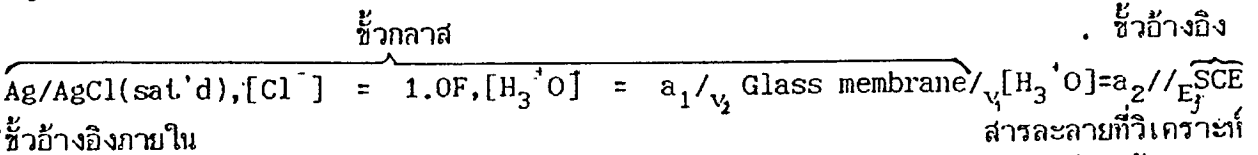
2.2.3 ขั้วกลาสสำหรับวัด pH (Glass electrode for pH measurement)

ขั้วกลาสที่ใช้วัด pH ของสารละลายมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.10 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่บรรจุอยู่ภายใน คือ กรดเกลือ(HCl)และมีขั้ว Ag/AgCl เป็นขั้วอ้างอิงภายใน เพื่อให้สามารถต่อเซลล์ได้ครบวงจร ศักย์ไฟฟ้าของขั้วขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ HCl ที่อยู่ภายนอก โดยมีกลาสเมมเบรนเป็นตัวกั้นระหว่างสารละลาย HCl ภายนอกและภายใน



รูปที่ 2.10 ขั้วกลาสสำหรับวัด pH

เมื่อต้องการวัด pH ของสารละลายต้องใช้ขั้วกลาสเป็นขั้วชี้บอก และขั้วคาไลเมลอิมตัวเป็นขั้วอ้างอิง จุ่มลงในสารละลายที่ต้องการวัดค่า pH แล้วต่อเข้าเครื่อง pH meter หรือ โปเทนชิโอมิเตอร์ สัญลักษณ์ที่เขียนแทนเซลล์ที่ต้องการวัดค่า pH เขียนได้ ดังนี้



จากสัญลักษณ์ของเซลล์ข้างต้นแสดงว่า ใช้ขั้วอ้างอิง SCE เป็นขั้วแคโทด ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในเซลล์มีค่าดังนี้

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{SCE}} - E_{\text{Ag/AgCl}} + E_j + (V_2 - V_1) \quad \dots\dots(2.5)$$

$E_j$  คือ ศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อของสารละลายระหว่างขั้ว SCE กับสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์

$V_1$  คือ ศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อระหว่างกลาสเมมเบรนกับสารละลาย  $[H_3^+]$  ที่ต้องการวิเคราะห์ ( $a_1$ )

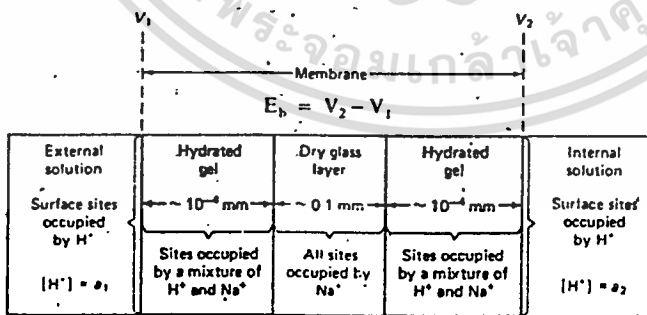
$V_2$  คือ ศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อระหว่างกลาสเมมเบรนกับสารละลาย  $[H_3^+]$  ที่อยู่ในขั้วกลาส ( $a_2$ )

เนื่องจาก  $E_{\text{SCE}}$ ,  $E_{\text{Ag/AgCl}}$  และ  $E_j$  เป็นค่าคงที่ ดังนั้น ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์จะมีค่าเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ระหว่าง  $V_2$  กับ  $V_1$  ค่า  $V_2$  กับ  $V_1$  จะมีค่าเท่าไรขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย เพราะเกิดการเปลี่ยน  $H^+$  ที่ผิวของกลาสเมมเบรน โดยทั่วไปกลาสเมมเบรนจะประกอบด้วย  $Na_2O$  และ  $SiO_2$  ซึ่งที่ผิวกลาสจะประกอบด้วยซิลิเกตกรุป (silicate group) ที่รวมกับไฮโดรเจนไอออน ( $-SiO^-Na^+$ ) เมื่อนำขั้วกลาสเมมเบรนมาแช่ในสารละลาย จะทำให้ผิวของเมมเบรนถูกไฮเดรต (hydrated) เมื่อขั้วถูกไฮเดรตแล้วสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง  $Na^+$  กับ  $H^+$  ขึ้น

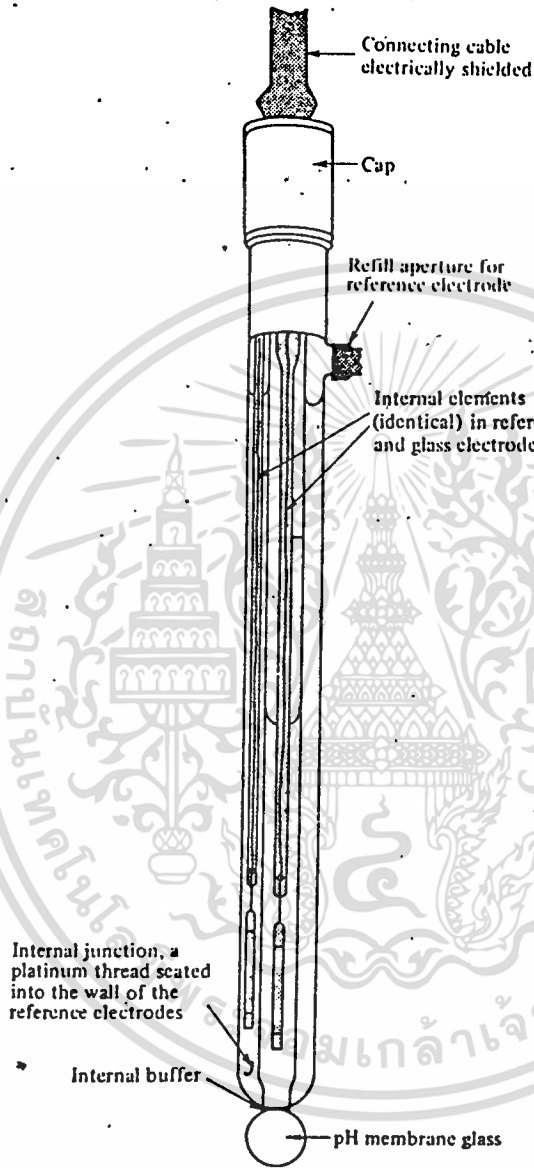


ไอออนอื่น ๆ ก็สามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับ  $Na^+$  ได้เช่นกัน แต่เนื่องจากการแลกเปลี่ยนกับ  $H^+$  มีค่าสมดุลของปฏิกิริยาสูงมากจึงทำให้ที่ผิวของกลาสอยู่ในรูปของกรดซิลิซิก (silicic acid) เกือบทั้งหมด นอกเสียจากว่าในสารละลายจะมีฤทธิ์เป็นเบสที่มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนต่ำ นั่นคือ ศักย์ไฟฟ้า  $V_1$  จะเกิดขึ้นเนื่องจากการแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนไอออนในสารละลายกับไอออนที่ผิวของกลาสเมมเบรนที่ถูกไฮเดรต

ในทางตรงกันข้าม กลาสเมมเบรนด้านในที่สัมผัสกับสารละลายภายในจะเกิดศักย์ไฟฟ้า  $V_2$  ขึ้น แสดงว่าที่ผิวทั้งสองด้านของกลาสเมมเบรนจะเกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้น ซึ่งความต่างศักย์ระหว่าง  $V_1$  กับ  $V_2$  นี้เรียกว่า Boundary potential ( $E_b$ )



รูปที่ 2.11 รูปแสดงโครงสร้างของกลาสเมมเบรนที่ถูกไฮเดรต



รูปที่ 2.12 Combination pH/reference electrode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้วกลาสที่นำไปใช้ในการวัดค่า pH ของสารละลาย สามารถรับรู้ความรู้สึกต่อสารละลายได้ไว และเปลี่ยนแปลง pH ได้อย่างรวดเร็ว เพื่อปรับค่าให้อ่านได้ถูกต้อง เมื่อสารละลายเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ ถ้าสารละลายไม่ใช่สารละลายบัฟเฟอร์ชั้วจะรับรู้ความรู้สึกต่อค่า pH นั้นได้ช้า ต้องให้เวลานานพอสมควร จึงจะอ่านค่า pH ได้ถูกต้อง เมื่อต้องการนำชั้วมาใช้วัดค่า pH แต่ละครึ่งต้องล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้งแล้วล้างตามด้วยสารละลายที่ต้องการวัดค่า pH (rinse) จากนั้น จึงค่อยอ่านค่า pH เมื่อชั้วกลาสจุ่มอยู่ในสารละลายจนเข็มที่มีเตอร์คงที่ สารละลายที่ไม่มีคุณสมบัติเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ เมื่อต้องการวัด pH ควรทำการคนสารละลายนั้นแรง ๆ ชั้วกลาสสำหรับวัดค่า pH สามารถนำมาใช้ได้สะดวก มีสิ่งรบกวนน้อยกว่าการใช้ชั้วชนิดอื่น ๆ และมีราคาไม่แพง สารประเภทที่เป็นตัวออกซิไดซ์หรือตัวรีดิวซ์โปรตีน และก๊าซ ไม่สามารถรบกวนการวัดค่า pH โดยชั้วกลาสได้ ในทางอุตสาหกรรม การผลิตชั้วเพื่อใช้ในการวัดค่า pH ของสารละลาย เขาได้นำชั้วที่บอกและชั้วอ้างอิงมาบรรจุอยู่ในหลอดแก้วเดียวกัน ทำให้มีลักษณะเหมือนเป็นชั้วอันเดียวกัน เรียกว่า combination electrode มีรูปร่างลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.12 เมื่อต้องการวัด pH ของสารละลาย สามารถทำได้โดยใช้ชั้วชนิดนี้จุ่มลงในสารละลายแล้วต่อเข้ากับเครื่องพีเอชมิเตอร์

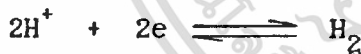
2.2.4 ชั้วชนิดอื่น ๆ ที่ใช้วัด pH

การวัด pH ของสารละลาย นอกจากจะใช้ชั้วกลาสเมมเบรนแล้ว ยังสามารถใช้ชั้วที่เป็นแท่งโลหะได้อีกหลายแบบ ซึ่งจะชอนนามากล่าวรายละเอียดต่อเนื่องจากการใช้ชั้วกลาสเมมเบรนสำหรับวัด pH เพื่อจะได้เปรียบเทียบกัน ไม่ว่าจะใช้ชั้วชนิดใดวัดค่า pH ของสารละลาย จะพบว่า ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่วัดได้นั้นแปรผันโดยตรงกับค่า pH เมื่อใช้ชั้วอ้างอิงเป็นแคโทด ตามสมการ ดังนี้ คือ

$$E_{cell} = k + 0.0591pH \dots\dots(2.6)$$

ชั้วที่สามารถใช้วัดค่า pH ของสารละลายนอกเหนือจากชั้วกลาส ได้แก่

ก. ชั้วไฮโดรเจน ชั้วไฮโดรเจนจะไวต่อ H<sup>+</sup> ของสารละลายด้วย เพราะเกิดปฏิกิริยา



การคำนวณศักย์ไฟฟ้าของเซลล์คำนวณได้ดังนี้

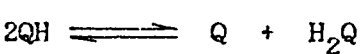
$$E_{cell} = E_{SCE} - (E_{H_2}^0 - 0.0591 \log 1/[H^+]) + E_j$$

$$= k + 0.0592pH$$

ในการทดลองต้องควบคุมความดันของก๊าซไฮโดรเจนให้มีค่าเท่ากับ 1 บรรยากาศในการวิเคราะห์ทั่วไป ไม่นิยมใช้ชั้วชนิดนี้ เพราะไม่สะดวกในการควบคุมความดันก๊าซและยุ่งยากในการสร้างชั้ว ก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้ต้องมีความบริสุทธิ์สูง และแพลตินัมที่ใช้ต้องฉาบผิวด้วยแพลตินัมแบล็ค (Pt black)

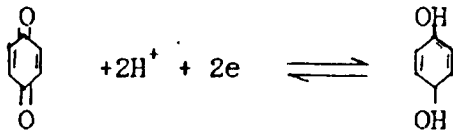
ข. ชั้วควินไฮโดรอน (Quinhydrone electrode) ส่วนประกอบของชั้วชนิดนี้ คือ สารละลายของควินไฮโดรอนที่มีแท่งแพลตินัมจุ่มอยู่ เป็นสื่อไฟฟ้า สารละลายควินไฮโดรอนเตรียมได้จากการผสมควิโนนกับไฮโดรควิโนน ที่มีจำนวน โมลเท่ากันหรือใช้ของแข็งควินไฮโดรอนเตรียมเป็นสารละลายเลยก็ได้

ในสารละลายของควินไฮโดรอนจะเกิดสมดุล ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้ขั้วควินไฮโดรอนจุ่มในสารละลายของกรด จะเกิดปฏิกิริยา ดังนี้



Quinone

hydroquinone

นั่นคือ ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วควินไฮโดรอนจะขึ้นอยู่กับ  $\text{H}^+$  ตามสมการของเนินส์ท์

$$E_{\text{QH}} = E^{\circ}_{\text{QH}} - 0.0591/2 \log[\text{H}_2\text{Q}]/[\text{Q}][\text{H}^+]^2 \quad \dots\dots(2.7)$$

ในเมื่อสารละลายของควินไฮโดรอนเตรียมจากการใช้ควิโนนและไฮโดรควิโนนเท่ากัน ดังนั้น

อัตราส่วนของ  $[\text{H}_2\text{Q}]:[\text{Q}] = 1:1$  นั่นคือ

$$E_{\text{QH}} = E^{\circ}_{\text{QH}} - 0.0591 \log 1/[\text{H}^+] \quad \dots\dots(2.8)$$

ถ้านำขั้วควินไฮโดรอนวัดศักย์ไฟฟ้าของสารละลายคู่กับขั้วอ้างอิงคาโลเมลอิ่มตัว โดยใช้ขั้วคาโลเมลเป็นแคโทด จะได้ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ในรูปสมการเดียวกับการใช้ขั้วกลาสหรือขั้วไฮโดรเจนเช่นกันคือ

$$E_{\text{cell}} = k + 0.0591\text{pH}$$

ขั้วควินไฮโดรอนไม่เหมาะสำหรับสารละลายที่มี pH สูงกว่า 9 เพราะไฮโดรควิโนนมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อนที่สามารถถูกทำให้สะเทินได้ด้วยสารละลายของเบส

ค. ขั้วแอนติโมนี (antimony electrode) ขั้วชนิดนี้ใช้แท่งโลหะของพลวงฉาบด้วยออกไซด์ของพลวง ( $\text{Sb}, \text{Sb}_2\text{O}_3$ ) ปฏิกิริยาที่เกิดที่ขั้วคือ  $\text{H}^+$  ดังนี้



ศักย์ไฟฟ้าของขั้วคำนวณตามสมการของเนินส์ท์ได้ดังนี้

$$E_{\text{Sb}} = E^{\circ}_{\text{Sb}} - 0.0591/6 \log 1/[\text{H}^+]^6 \quad \dots\dots(2.8)$$

เมื่อ Sb และ  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  เป็นของแข็งจึงมีแอกติวิตีเป็น 1

ถ้าใช้ขั้วแอนติโมนีเป็นขั้วแอโนดวัดศักย์ไฟฟ้าของสารละลายคู่กับขั้วคาโลเมลเป็นแคโทด จะได้สมการในการคำนวณเช่นเดียวกับขั้วกลาสคือ

$$E_{\text{cell}} = k + 0.0591\text{pH}$$

ขั้วแอนติโมนีไม่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์สารละลายต่อไปนี้

- สารละลายที่มีตัวออกซิไดซ์อย่างแรงและสารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนปนอยู่
- สารละลายที่มี pH ต่ำกว่า 3 เพราะจะทำให้  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  ละลายได้
- สารละลายที่มีโลหะที่มีคุณสมบัติเป็นโลหะโนเบิล (Noble-metal) มากกว่าแอนติโมนี

โลหะทรานซิชันที่มีคุณสมบัติคล้ายกับแอนติโมนี คือ เกิดสมดุลระหว่างโลหะกับโลหะออกไซด์ ที่เกี่ยวข้องกับไฮโดรเจนไอออน สามารถใช้ทำเป็นขั้วในการวิเคราะห์หา pH ของสารละลายได้ เช่น แมงกานีส ทั้งสแตน โมลิบดีนัม ปราวท และเจอร์มาเนียม แต่การใช้ขั้วเหล่านี้ยังไม่มีข้อมูลรายงานการทดลองมากนัก

### 2.3 การวัด pH(The Measurement of pH)

ในปี ค.ศ. 1909 ซอเรนเซ่น(Sorensen) ได้เสนอนิยามของ pH ขึ้นมาเมื่อพบว่า การระบุความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนซึ่งมีอยู่ปริมาณน้อย ๆ ก่อนข้างจะรุ่มร่าม นิยามที่เขากำหนดขึ้นคือ

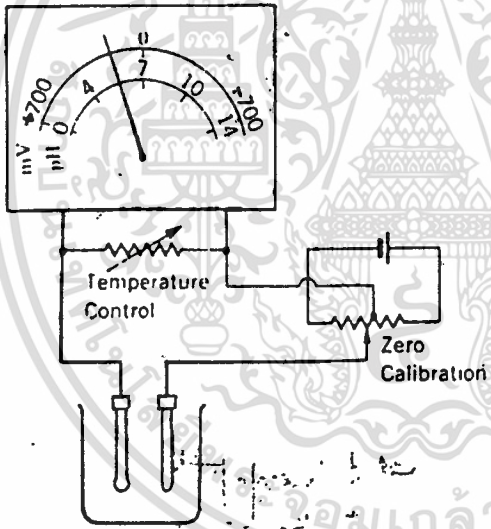
$$pH = -\log [H^+] \quad \dots\dots(2.9)$$

ตัว "p" (เล็ก) แทนคำว่า "power" ส่วน  $[H^+]$  เป็นความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนอย่างไรก็ตามนิยามของ pH ที่รัดกุมกว่าคืออยู่ในเทอมของแอกติวิตีนั่นคือ

$$pH = -\log a_{H^+} \quad \dots\dots(2.10)$$

แม้กระนั้นก็ตาม แอกติวิตีของไอออนหนึ่ง ๆ ก็ไม่อาจวัดโดยการทดลองได้ ดังนั้นในปัจจุบันนิยามของ pH จึงกำหนดขึ้นโดยอาศัยแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์

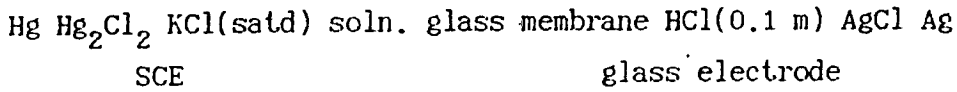
ในทางปฏิบัติ การวัด pH ของสารละลายถ้าต้องการค่าที่หยาย ๆ เท่านั้นอาจใช้กระดาษอินดิเคเตอร์ ในกรณีที่ต้องการค่าที่แน่นอนและสารละลายที่วัดมีสีด้วยแล้ว การใช้เครื่องวัด pH (pH meter) ย่อมเป็นวิธีการที่ดีกว่า ในรูปที่ 2.13 แสดงเครื่องวัดค่า pH ชนิดหนึ่ง



รูปที่ 2.13 เครื่องวัด pH ชนิดหนึ่ง

เครื่องวัด pH ชนิดนี้มีอิเล็กโตรดแบบคาโลเมล ทาหนักที่เป็นอิเล็กโตรดอ้างอิง (reference electrode) อิเล็กโตรดที่ใช้คู่กันอีกอันหนึ่งซึ่งนิยมใช้ได้แก่อิเล็กโตรดแบบแก้ว (glass electrode) ชนิดที่อ่อนไหว (sensitive) กับไฮโดรเจนไอออน แม้ว่าอาจจะใช้อิเล็กโตรดแบบไฮโดรเจนหรือแบบควินไฮโดรเจน (quinhydrone) แทนได้ก็ตาม อิเล็กโตรดแบบแก้วมีข้อดีคือ ใช้สะดวกและเชื่อถือได้ ในช่วง pH กว้าง ๆ ศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโตรดยังไม่ถูกรบกวนโดยตัวออกซิไดซ์หรือตัวรีดิวซ์ คู่อิเล็กโตรดดังกล่าวข้างต้นเมื่อประกอบกันเป็นเซลล์อาจแทนเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โดยอิเล็กโทรดด้านซ้ายมือเป็นอิเล็กโทรดแบบคาลอเมลชนิดอิ่มตัว (saturated calomel electrode, SCE) ส่วนอิเล็กโทรดด้านขวามือเป็นแบบแก้ว

โดยทั่วไป ค่าศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดที่เลือกเฉพาะไอออนชนิดหนึ่ง ๆ จะขึ้นอยู่กับสมการ

$$E = C + \frac{RT}{ZF} \ln \frac{a_{i, \text{soln}}}{a_i} \quad \dots (2.11)$$

เมื่อ C เป็นค่าคงที่

Z เป็นประจุของไอออน

$a_{i, \text{soln}}$  เป็นแอกติวิตีของไอออนในสารละลายที่จะวัด

$a_i$  เป็นแอกติวิตีของไอออนในสารละลายภายในอิเล็กโทรด

เนื่องจากโดยปกติ  $a_i$  จะมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงอาจเขียนสมการ (2.11) เป็น

$$E = K + \frac{RT}{ZF} \ln a_{i, \text{soln}} \quad \dots (2.12)$$

ถ้าประยุกต์สมการ (2.12) เข้ากับอิเล็กโทรดแบบแก้วที่เลือกเฉพาะ H<sup>+</sup> จะได้ว่าที่อุณหภูมิ 25 C

$$E_{\text{glass}} = K + 0.05916 \log a_{\text{H}^+} \quad \dots (2.13)$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ข้างต้นจะเป็น

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{glass}} - E_{\text{SCE}} + E_j \quad \dots (2.14)$$

โดย  $E_j$  เป็นศักย์ไฟฟ้าของลิควิดจังก์ชันซึ่งต้องนำไปรวมด้วย เมื่อแทน  $E_{\text{glass}}$  ตามสมการ (2.13)

ลงใน (2.14) แล้วใช้นิยามของ pH = -log a<sub>H<sup>+</sup></sub> จะได้ต่อไปว่า

$$E_{\text{cell}} = K - 0.05916 \text{ pH} - E_{\text{SCE}} + E_j \quad \dots (2.15)$$

เนื่องจาก  $E_{\text{SCE}}$  และ  $E_j$  จะมีค่าคงที่ ดังนั้นเมื่อรวมเทอมคงที่เข้าด้วยกันแล้วแทนด้วย k อาจเขียนสมการ (2.15) เหลือเพียง

$$E_{\text{cell}} = k - 0.05916 \text{ pH} \quad \dots (2.16)$$

ในทางปฏิบัติจะปรับเครื่องให้อ่าน pH ของสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานเสร็จแล้วจึงค่อยวัด pH ของสารละลายที่ต้องการ ถ้าให้ pH<sub>b</sub> เป็นค่า pH ของสารละลายมาตรฐานซึ่งให้ E<sub>cell</sub> เท่ากับ E<sub>b</sub> และถ้าให้ pH<sub>x</sub> เป็น pH ของสารละลายที่ต้องการวัดซึ่งให้ E<sub>cell</sub> เท่ากับ E<sub>x</sub> จะได้ว่า

$$\text{pH}_x = \text{pH}_b - \frac{(E_x - E_b)}{0.05916} \quad (\text{ที่ } 25 \text{ C}) \quad \dots (2.17)$$

หรือที่สำหรับอุณหภูมิใด ๆ T จะได้ว่า

$$\text{pH}_x = \text{pH}_b - \frac{(E_x - E_b)F}{2.303 RT} \quad \dots (2.18)$$

สมการ (2.17) หรือ (2.18) นี้เป็นนิยามของ pH ในทางปฏิบัติซึ่งอยู่ในเทอมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการและการออกแบบ

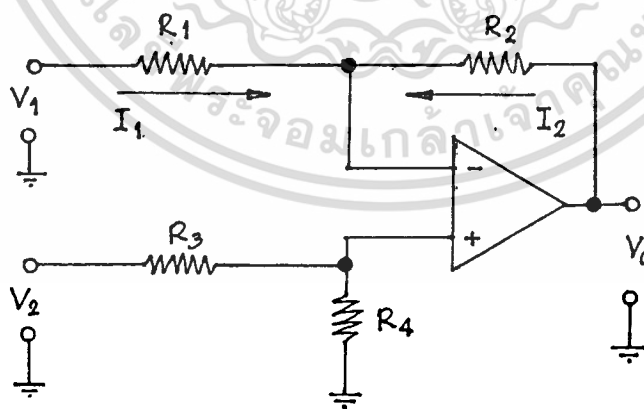
3.1 ความรู้พื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์

อินสตรูเมนต์ แอมป์ริไฟร์ (Instrument Amplifier) เป็นวงจรรขยายสัญญาณแบบหนึ่งที่ใช้วัดสัญญาณจากทรานสดิวเซอร์ (Transducer) แบบต่าง ๆ โดยที่สัญญาณที่รับมานั้นจะถูกขยายได้โดยไม่ผิดเพี้ยน และมีความถูกต้อง

ดังนั้น อินสตรูเมนต์ แอมป์ริไฟร์ (IA) จึงต้องมีคุณสมบัติที่เป็นวงจรรขยายในอุดมคติ เมื่อพิจารณา ระบบควบคุมแล้วจะพบว่าความถี่ที่ใช้มักจะถูกอยู่ในช่วงความถี่ต่ำ คือตั้งแต่ 0 Hz ถึง 500 kHz ดังนั้นการนำ ออปแอมป์ มาใช้งานจึงเป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่เหมาะสม ที่จะให้การตอบสนองความถี่ต่ำได้ดีแต่ อิมพีแดนซ์ทางเข้าของวงจรรขยายแบบกลับเฟสของออป-แอมป์ 1 สเตจมีค่าต่ำ ดังนั้นการพัฒนา อินสตรูเมนต์ แอมป์ริไฟร์ (IA) ให้ใช้งานจริงได้จะต้องทำให้มีคุณสมบัติดังนี้

1. อิมพีแดนซ์ที่ทางเข้ามีค่าเป็นอนันต์
2. กระแสออฟเซตทางเข้า และแรงดันออฟเซตทางเข้า (Input offset Current and input offset Voltage) มีค่าเป็น 0
3. อัตราการขยายมีค่าเป็นอนันต์

ในเครื่องมือวัดส่วนใหญ่จะมีการปรับซีโร่ (Zero) เพื่อเป็นการกำหนดจุดเริ่มต้นของการวัดและขณะเดียวกันกับการปรับสแปน (span) ก็คือการปรับอัตราขยาย เพื่อให้ทราบถึงค่าสูงสุดที่ได้จากการวัดจากการวัด จากหลักการทั้ง 2 พบว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับออฟเซตทางเข้า (Input offset) และอัตราการขยายของอินสตรูเมนต์แอมป์ริไฟร์ (IA) หลักการของวงจรรอินสตรูเมนต์แอมป์ริไฟร์ (IA) จึงเริ่มจากดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ริไฟร์ (Differential Amplifier)



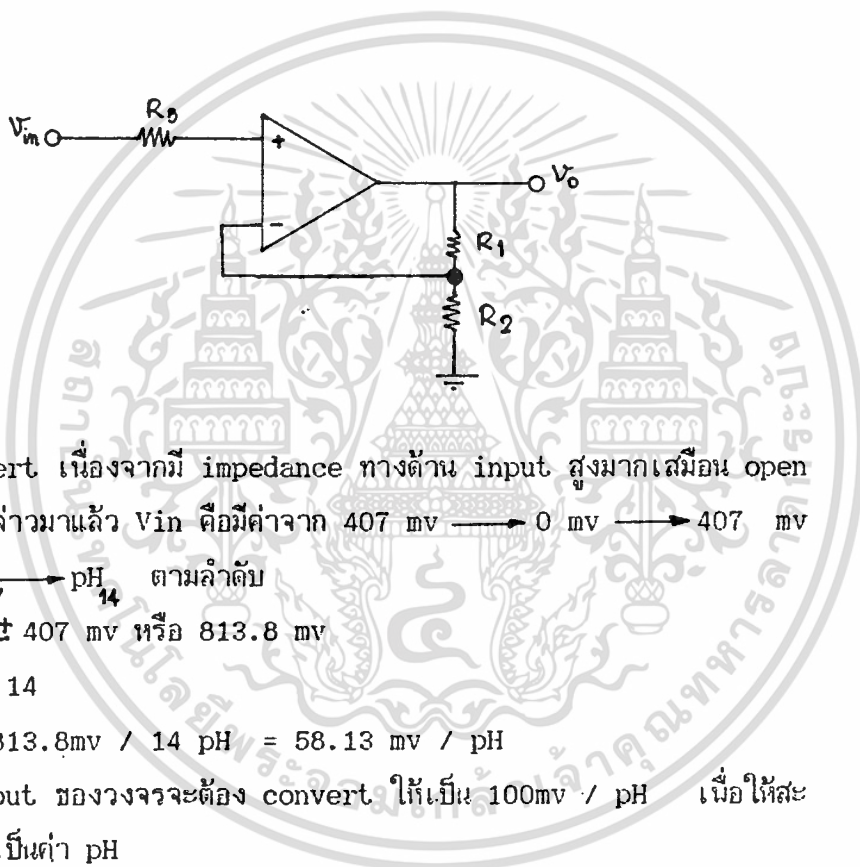
รูปที่ 3.1

จากรูปที่ 3.1 ใช้หลักการของ Kirchoff Current's Law

$$I_1 = I_2 \quad \dots\dots(1)$$

ดังนั้น  $pH_0 = 406.9 \text{ mv}$

เนื่องจากต้องแสดงผลเป็นค่า pH จาก  $pH_0$  ถึง  $pH_{14}$  ดังนั้นที่ทางเข้า input ของชุด display ซึ่งในการออกแบบจะใช้ IC single ship เบอร์ ICL 7107 (intersil) ซึ่งเป็น A/D display ใช้อับ LED 7-segment 3 x 1/2 หลัก จะต้องมีย่าน input ที่ได้จากการ convert และเป็น 0.00-14.00 ดังนั้นเราจึงออกแบบ display ใช้อ่านค่า mv ได้ตั้งแต่ 0 mv ถึง 1400 mv เพื่อนำไป convert เป็นค่า pH จาก 0.00 - 14.00 ดังนั้นจะได้รับการคำนวณ วงจร  $mv \rightarrow pH$  ดังนี้



ใช้วงจร non-invert เนื่องจากมี impedance ทางด้าน input สูงมากเสมือน open circuit จากที่กล่าวมาแล้ว  $V_{in}$  คือมีค่าจาก  $407 \text{ mv} \rightarrow 0 \text{ mv} \rightarrow 407 \text{ mv}$  จาก  $pH_0 \rightarrow pH_7 \rightarrow pH_{14}$  ตามลำดับ

$$\therefore \Delta E = \pm 407 \text{ mv หรือ } 813.8 \text{ mv}$$

$$\Delta pH = 14$$

$$\Delta E / \Delta pH = 813.8 \text{ mv} / 14 \text{ pH} = 58.13 \text{ mv} / \text{pH}$$

โดยที่ output ของวงจรจะต้อง convert ให้เป็น  $100 \text{ mv} / \text{pH}$  เพื่อให้สะดวกต่อการแสดงผลเป็นค่า pH

ดังนั้น gain ของวงจรจึงมีค่าเท่ากับ  $100 \text{ mv} / 58.13 \text{ mv} = 1.72$

$$A_v = V_o / V_i = (R_1 + R_2) / R_2 = 1.72$$

$$1 + R_1/R_2 = 1.72$$

$$R_1/R_2 = 0.72$$

$$\text{กำหนดให้ } R_1 = 20 \text{ k} , R_2 = 20 \text{ k} / 0.72 = 28 \text{ k}$$

เพราะฉะนั้น จะได้  $(V_1 - V_x)/R_1 = (V_o - V_x)/R_2$  .....(2)

เมื่อ  $V_x = [R_4/(R_3 + R_4)]*V_2$  .....(3)

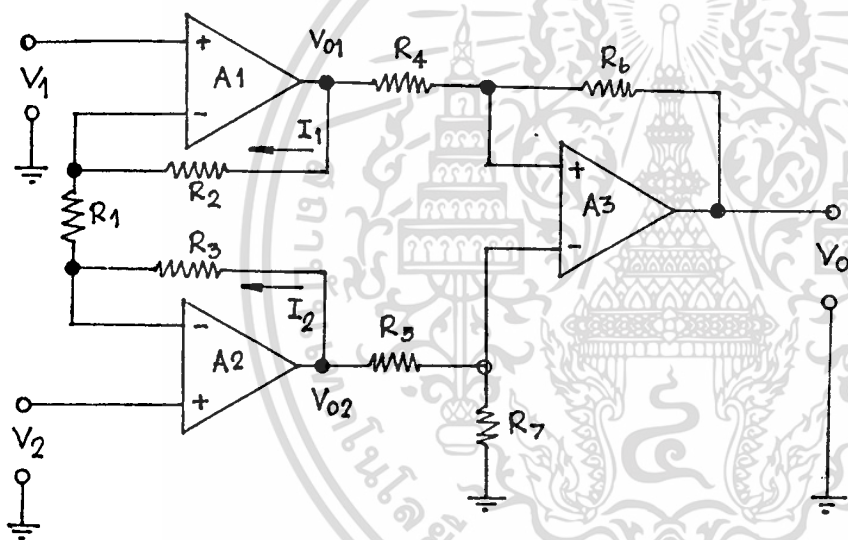
แทนค่า (3) ใน (2) จะได้

$$V_o = [R_4*(R_1 + R_2)*V_2 - R_2*(R_3 + R_4)*V_1]/[R_1*(R_3 + R_4)] \dots (4)$$

พบว่าถ้าแทนค่า  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$  จะได้ว่า

$$V_o = V_2 - V_1 \dots (5)$$

จากรูปที่ 3.1 วงจรยังไม่สามารถใช้งานได้ถ้าไม่นำไปขยายสัญญาณขนาดเท่า ๆ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มภาคขยายให้กับวงจร และในขณะเดียวกันด้านทางเข้าของวงจรทั้ง 2 ด้าน จะต้องรีเซ็ตค่าอิมพีแดนซ์สูงด้วย วงจรจึงกลายเป็นวงจรในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2

การวิเคราะห์วงจรในรูปที่ 3.2 ทำได้ดังนี้

เพราะ  $V_{o1} = I_1(R_1 + R_2) + V_2$  .....(6)

แต่  $I_1 = (V_1 - V_2)/R_1$  .....(7)

แทนค่า (7) ใน (6) จะได้

$$V_{o1} = (1 + R_2/R_1)*V_1 - (R_2/R_1)*V_2 \dots (8)$$

ในทางตรงกัน

$$V_{o2} = (1 + R_3/R_1)*V_2 - (R_3/R_1)*V_1 \dots (9)$$

จากรูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของ  $V_o$  กับ  $V_{o1}$  กับ  $V_{o2}$  คือ

$$V_o = [(R_4 + R_6)/(R_5 + R_7)]*(R_7/R_4)*V_{o2} - (R_6/R_4)*V_{o1} \dots (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

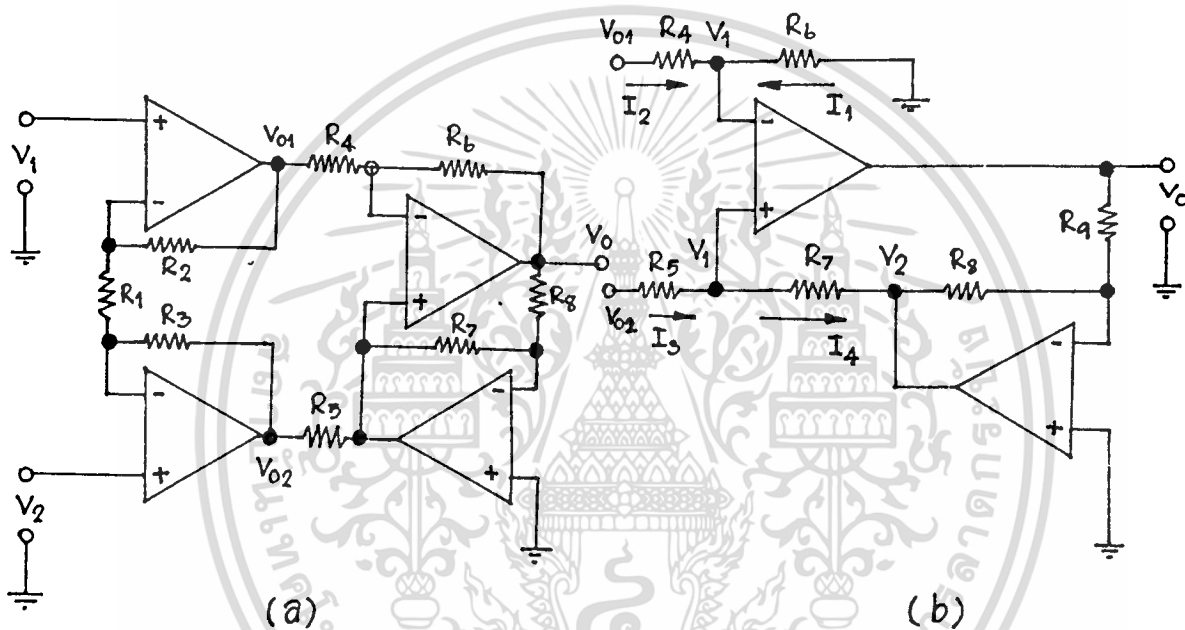
เมื่อแทนค่าสมการ (8) และ (9) ใน (10) พบว่า

$$V_o = \left[ \frac{R_4 + R_6}{R_5 + R_7} \cdot \frac{R_7}{R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} + \frac{R_4}{R_4} \cdot \frac{R_2}{R_1} \right] \cdot V_2 - \left[ \frac{R_4 + R_6}{R_5 + R_7} \cdot \frac{R_7}{R_4} \cdot \frac{R_3}{R_1} + \frac{R_4}{R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \right] \cdot V_1 \dots (11)$$

เมื่อกำหนดให้  $R_2 = R_3 = R$  และ  $R_4 = R_5 = R_6 = R_7$  พบว่า

$$V_o = (1 + 2R/R_1) \cdot (V_2 - V_1) \dots (12)$$

จะเห็นว่าเมื่อกำหนดตามเงื่อนไขสมการ (12) แล้วอัตราการขยายของวงจรในรูปที่ 3.2 เป็นวงจรที่ให้คุณสมบัติด้านอัตราขยายไม่เป็นจริงเชิงเส้นที่ติดตั้งนั้นจึงถูกปรับปรุงวงจรใหม่ให้มีอัตราการขยายตอบสนองได้เป็นเชิงเส้นดีขึ้น



รูปที่ 3.3 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์รีไฟร์ที่ปรับปรุงใหม่

เมื่อพิจารณาจาก  $V_{o1}$  และ  $V_{o2}$  ถึงทางออกที่รูปที่ 3.3b สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้ เพราะว่า

$$\begin{aligned} I_1 &= I_2 \\ (V_1)/R_6 &= (V_{o1})/(R_4 + R_6) \\ V_1 &= (V_{o1} \cdot R_6)/(R_4 + R_6) \dots (13) \end{aligned}$$

และที่จุด  $V_1$

$$\begin{aligned} I_3 - I_4 &= 0 \\ [(V_{o2} - V_1)/R_5] - [(V_1 - V_2)/R_7] &= 0 \dots (14) \end{aligned}$$

แต่เพราะว่า

$$V_2 = -(R_8/R_9) \cdot V_o \dots (15)$$

เมื่อแทนค่า (13) และ (15) ใน (14) จะได้ความสัมพันธ์  $V_{o1}$ ,  $V_{o2}$  และ  $V_o$  คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

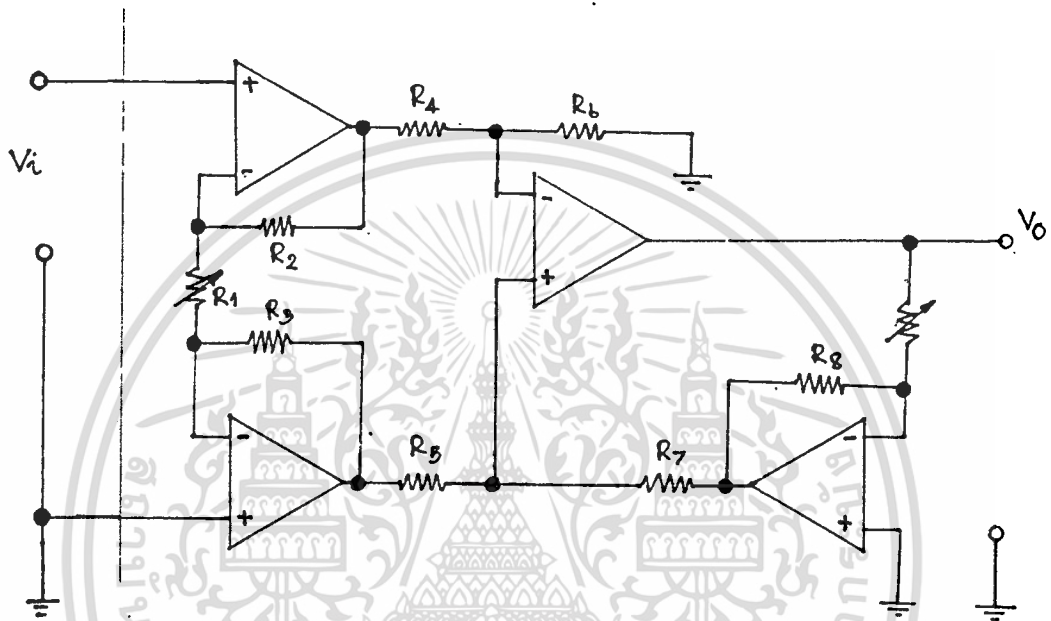
$$V_{o2} - V_{o1} [R_6 / (R_4 + R_6) + (R_5 * R_6) / (R_4 + R_6) * R_7] = [(R_5 * R_8) / (R_7 * R_9)] * V_o \dots (16)$$

และเมื่อกำหนดให้  $R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = R$  จะได้ว่า

$$V_o / (V_{o2} - V_{o1}) = R_9 / R_8 \dots (17)$$

จากสมการที่ (17) พบว่า  $R_9$  สามารถปรับระดับแรงดันทางออกของรูปที่ 3.3b ได้

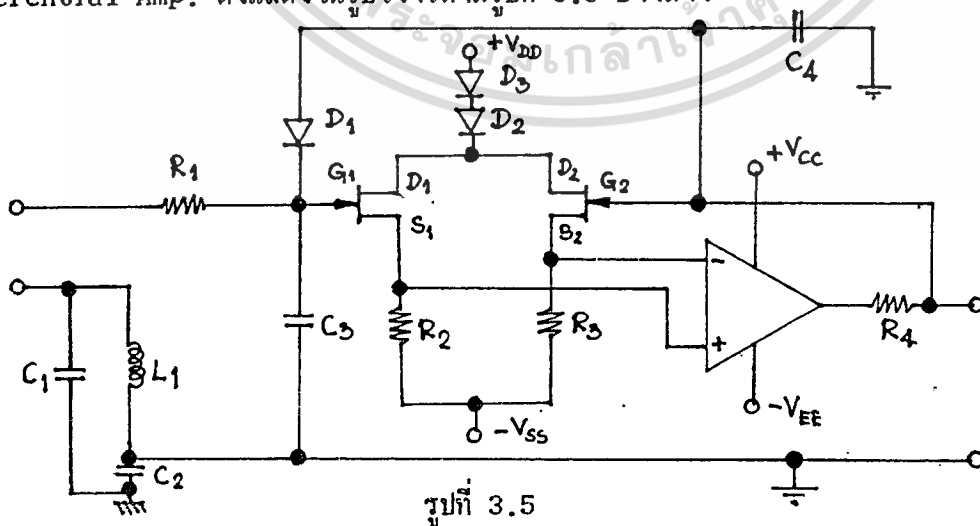
-วงจร Instrument Amplifier



รูปที่ 3.4

-วงจร DC-Couple ampletifier with negative feedback

วงจร DC-Couple Amplifier ที่จะกล่าวถึงนี้ใช้ Field Effect Transistor ต่อแบบ differential Amp. ดังแสดงในรูปวงจรตามรูปที่ 3.5 ข้างล่าง



รูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรตามรูปที่ 3.5 นี้จะให้ค่าความต้านทานทางต้านทางเข้าของวงจรสูงมากถึง  $10^{13}$  โอห์ม เนื่องจากคุณสมบัติของ gate to source ของ Field Effect Transistor และนำมาต่อเป็นแบบ differential Amp. โดยมี Negative Feedback ผ่านทาง op-Amp เพื่อให้ gain การขยายของวงจรถ้าและเนื่องจากวงจร differential Amp. ที่ต่อนี้เป็น Common Source ดังนั้น gain การขยายของวงจรจึงเท่ากับหนึ่ง หรือ เรียกว่า Unity gain และความต้านทานทางออกเมื่อมองจาก output ของ op-Amp จะมีค่าความต้านทานต่ำมาก ดังนั้นวงจรนี้จึงเหมาะอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้ในการลด impedance ของสัญญาณจากทางด้าน input ให้มีความต้านทานต่ำลงที่ทาง output ของ op-Amp เพื่อให้พอเหมาะสมกับ impedance ของ meter ซึ่งใช้แสดงผล ซึ่งในที่นี้ใช้ A/D Converter ICL 7107 ซึ่งเป็น IC สำเร็จรูป(Single chip IC) ดังจะมีรายละเอียดในตอนต่อไป

หลักการทางานของวงจรนี้จะอธิบายได้โดยสังเขปดังนี้

เมื่อมีสัญญาณเข้ามาทาง input ของ FET  $Q_1$  ทางขา Gate ของ FET คู่(dual FET)ซึ่งต่อแบบ differential ที่มีความต้านทานทางด้านขาเข้าสูงมาก ๆ Capacitor  $C_1$  ต่อระหว่างขั้ว Reference กับกราวด์แทนหรือดินโดยทาง AC ซึ่งความถี่สูงที่ Oscillate มาจากขั้ว Reference เช่นขั้ว Reference ของ electrode ซึ่งจะถูกลดทอนให้หมดไปโดยตามลักษณะของ Low Pass Filter  $L_1, C_1$

ส่วน dual FET ต่อในลักษณะ Source Follower และผ่านสัญญาณให้กับขา inverting และ non-inverting ของ op Amp และ O/P Voltage จะถูก feedback จาก  $R_4$  ไปขา gate ของ FET อีกตัวหนึ่ง ผลรวมของ gain ของวงจรจึงเท่ากับ "หนึ่ง" และ Capacitor  $C_4$  ทำหน้าที่เป็น Filter Capacitor Diode  $D_1$  ต่อเพื่อป้องกัน FET ไม่ให้เกิดการเสียหาย จากสัญญาณที่เข้ามาเป็นลบมาก ๆ ส่วนในกรณีที่สัญญาณทางเข้าเป็นบวกมาก ๆ Diode  $D_2, D_3$  จะเป็นตัวป้องกันขัดขวาง(interrupt)กระแส drain (drain current) ของ FET เพื่อป้องกันการ Latch up ของ FET ส่วน  $R_4$  ทำหน้าที่เป็น decoupling ในกรณีที่จะต้องต่อกับวงจรข้างหน้าซึ่งมีการ Sum กับ Voltage อื่นจากวงจรภายนอก

3.2 การออกแบบและการคำนวณ

สมการหาค่าศักย์ไฟฟ้าจากปลายขั้วอิเล็กโทรด

ค่าความเป็นกรด-ด่างที่แท้จริงได้จากขั้วอิเล็กโทรด เป็นผลที่ได้มาจากแท่งแก้วของอิเล็กโทรด ซึ่งเป็น pH-Sensitive สัมผัสอยู่กับสารที่เติมอยู่ภายในแท่งแก้วอันได้แก่ สารละลายคลอไรด์ประกอบขึ้นกับ hydrogen ซึ่งกระจายอยู่ในสารละลายนี้ ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7 pH ซึ่งแท่งแก้วนี้จะสัมผัสกับสารละลายตัวอย่าง(Simple) จากภายนอกที่ต้องการหาค่า pH pH Sensitive Glass จะให้ศักย์ไฟฟ้าต่อศักย์ในสมการที่ (18)และ(19) ซึ่งเป็นสมการของ NERNST(NERNST'S EQUATIONS) โดย Hydrogen ion(Proton) แลกเปลี่ยนกันระหว่าง Hydronium ions ในสารละลายซึ่งเกิดจากน้ำเข้าไป ยิ่งอีกที่หนึ่งทำให้ว่างลงโดยอิออนบวกของ Alkali เช่น Sodium และกลับมารวมตัวกันอีกครั้งกับ Hydronium ions ในสารละลายและชั้นเจล(gel) บนด้านทั้งสองของ glass membrane ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น gel มีจำนวนของที่ตั้งเท่ากันสำหรับแลกเปลี่ยน proton ค่าคงที่  $K_{g1}$  และ  $K_{g2}$  จะเท่ากัน ถ้าจำนวนเดิมของ Sodium ions ที่ตั้งเหล่านี้ภายในgel ถูกแทนที่ด้วย proton การเคลื่อนไหวย  $K_{g1}$  และ  $K_{g2}$  จะเท่ากัน ถ้า glass gel เหล่านี้คงที่และการเคลื่อนไหวยเท่ากันแล้วสมการ(18)และ(19) สามารถรวมกันได้เป็นสมการ (20) โดยการใช้อำนาจจำกัดความของ pH ต่อสมการ  $pH = -\log a_H$  , logarithm ของ Hydrogen activity (การเคลื่อนไหวยของ Hydrogen) สามารถทำกลับไปเป็น pH ซึ่งสมการ (21) ที่ซึ่งความแตกต่างของศักดาเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างใน pH ในเมื่อสารที่เดิมภายใน(internal fill) มี Hydrogen activity ซึ่งสอดคล้องกับ 7 pH สมการสำหรับความต่างศักดาทำให้อยู่ในรูปร่าง ๆ ในสมการ (21)

รูปสมการ:

$$E_1 = K_{g1} + 0.1984(T + 273.16) \log a_1/a_{g1} \dots\dots(18a)$$

$$E_1 = K_{g1} + 0.1984(T + 273.16) [\log(a_1) - \log(a_{g1})] \dots\dots(18b)$$

$$E_2 = K_{g2} + 0.1984(T + 273.16) \log a_2/a_{g2} \dots\dots(19a)$$

$$E_2 = K_{g2} + 0.1984(T + 273.16) [\log(a_2) - \log(a_{g2})] \dots\dots(19b)$$

If  $K_{g1} = K_{g2}$  and  $a_{g1} = a_{g2}$ , then

$$E_1 - E_2 = 0.1984(T + 273.16) [\log(a_1) - \log(a_2)] \dots\dots(20a)$$

$$E_1 - E_2 = 0.1984(T + 273.16) (pH_2 - pH_1) \dots\dots(20b)$$

$$E_1 - E_2 = 0.1984(T + 273.16) (7 - pH_1) \dots\dots(21)$$

where:  $a_1$  = activity of hydrogen ion in external process fluid (normality)

$a_2$  = activity of hydrogen ion in internal fill fluid(normality)

$a_{g1}$  = activity of hydrogen ion in outer gel surface layer(normality)

$a_{g2}$  = activity of hydrogen ion in inner gel surface layer(normality)

$E_1$  = potential developed at external glass surface (millivolts)

$E_2$  = potential developed at internal glass surface (millivolts)

$K_{g1}$  = constant for potential for outer gel surface layer(millivolts)

$K_{g2}$  = constant for potential for inner gel surface layer(millivolts)

$pH_1$  = pH of external solution

$pH_2$  = pH of internal solution (typically 7 pH)

T = solution temperature(degrees C)

จากสมการข้างบนสามารถสรุปได้ว่า

- ค่า millivolt ทางด้าน o/p จะเป็นศูนย์ที่ 7 pH
- millivolt ทาง o/p ของอิเล็กโทรดจะลดลงเป็นค่าลบเมื่อ pH เพิ่มขึ้น
- millivolt ทาง o/p จะเป็นบวกเมื่อต่ำกว่า 7 pH และเป็นลบเมื่อ pH สูงกว่า 7pH
- การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าต่ออุณหภูมิจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ศูนย์เมื่อ pH เข้าใกล้ 7 pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ที่ 25°C output เปลี่ยนแปลงโดยอัตรา 59.16mV/pH Unit

การออกแบบวงจร pH Meter

เครื่องวัด pH (pH Meter) จะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ

ก. ส่วนที่เป็นตัวเครื่อง ซึ่งส่วนนี้จะเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และมีการแสดงผลของค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ ซึ่งก็จะนำค่าศักย์ไฟฟ้านี้มาเปรียบเทียบกับเป็นค่า pH ของสารละลายที่ต้องการทราบค่าแล้วมีการแสดงผลแบบต่าง ๆ ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนที่โครงการนี้จะได้ออกแบบวงจรเพื่อให้ได้วงจรที่เหมาะสมกับการวัดค่า pH ในสารละลายที่ต้องการทราบค่า

ข. ส่วนที่เป็น Electrode ซึ่ง Electrode จะมีขั้วสำหรับวัดอยู่ 2 ขั้วคือ

-ขั้วอ้างอิง (reference electrode)

-ขั้วใช้งาน (working electrode)

ซึ่งค่าที่ได้จาก electrode จะเป็นค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วปลายทั้งสองของ electrode คือ

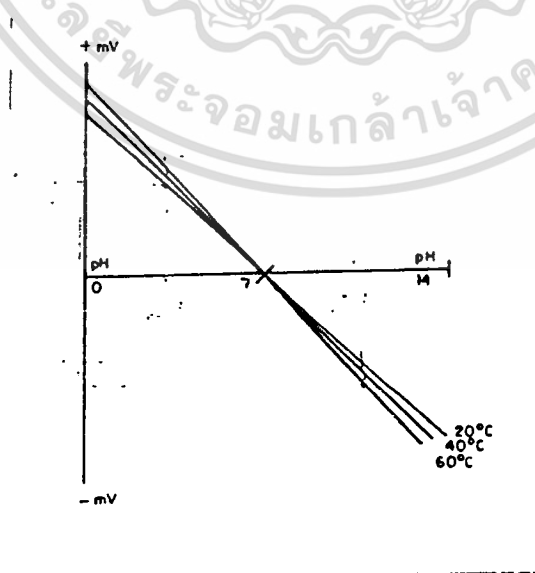
$E_{ref} - E_{ind} = E_{cell}$  และค่า mV ที่ได้จากสารละลายจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของสารละลายเล็กน้อย ดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta E = \Delta n(pH) \times Tabs \times 0.1984 \text{ mV}$$

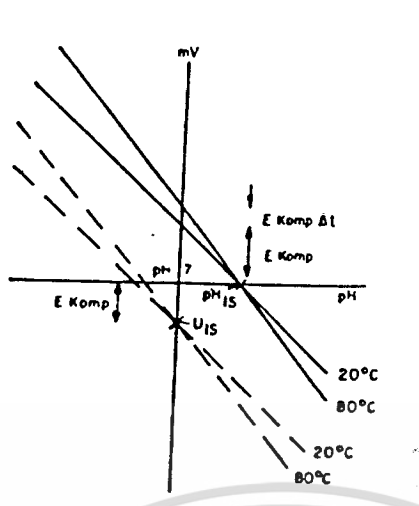
โดยที่  $Tabs = t^{\circ}C + 273$

$$\Delta E = \Delta n(pH) \times (t^{\circ}C + 273) \times 0.1984 \text{ mV}$$

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อ mV หรือ pH ในสารละลาย ความต่างศักย์ที่ได้จากขั้วทั้งสองของ electrode หรือค่าความต่างศักย์ต่อ pH จะมีค่าต่างกันที่อุณหภูมิต่างกันดังแสดงในกราฟที่แสดงเส้นอุณหภูมิ (Isothermal line) จากกราฟจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 20°C ค่า mV ที่ได้จาก  $pH_0 - pH_{14}$  มีค่าน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 60°C ตามเส้นกราฟอุณหภูมิ

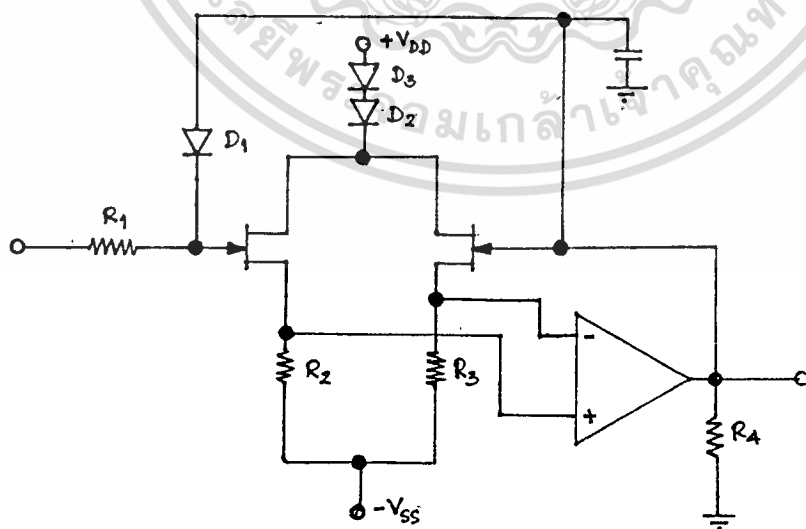


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรรภาค input

วงจรรภาค input ของ measuring amplifier จะต้องมีค่าความต้านทานทางขาเข้าสูงมากเป็น  $> 10^{13} \Omega$  เนื่องจากเราทราบแล้วว่าค่าความต้านทานภายในของสารละลายซึ่งเป็น voltage source ที่มี input impedance สูงมากประมาณ  $10^7 - 10^9$  ดังนั้นค่าความต้านทานภายในของ measuring instrument จะต้องมีค่ามากกว่า voltage source เป็น 100 เท่า ถึง 1000 เท่า วงจรรภาค input ซึ่งใช้เป็น buffer ระหว่างภาคแสดงผลกับ voltage source ที่ใช้วงจร differential amplifier โดยใช้ FET ซึ่งมี impedance ทางด้านเข้าเป็นอินพุตเสมือนเปิดวงจร เมื่อนำมาต่อแบบ differential amp จึงส่งผลให้วงจรมีความต้านทานสูงมากกว่า  $10^{13} \Omega$



การทำงานของวงจร

วงจรรภาค input FET นี้เป็นวงจรรวม common source ซึ่งมีคุณสมบัติคือมี high input impedance มีอัตราขยายแรงดันเป็นหนึ่งหรือ unity gain และลักษณะที่ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากขา source ของ FET ตัวที่ 1 จะป้อนให้กับ non inverting amp และขาของ FET อีกตัวหนึ่งจะป้อนให้กับ inverting amp โดย output. ที่ได้ทางด้านทางออกของ op-amp จะถูกป้อนกลับเข้าขา gate ของ FET ตัวที่ 2

โดยตรงเป็นลักษณะ unity gain ตั้งให้อัตราขยายแรงดันรวมทั้งวงจร  $A_v = V_o/V_i$  เป็นหนึ่ง ดังนั้นวงจรนี้จึงเป็นเสมือน buffer ที่มีความต้านทานสูงมากตัวหนึ่งซึ่งจะทำให้รบกวนวัดไม่ไป load สัญญาณจาก electrode ทำให้ได้ค่า mv จาก voltage source ภายในสารละลายเท่ากับ voltage ที่ generate จากปลาย electrode ที่สองขั้วจริงๆ ส่วน R ที่ต่อกับ output ของ op-amp ใช้เป็น decoupling diode D1 ต่อใช้เพื่อป้องกัน negative voltage ที่มีค่าสูงๆซึ่งจะทำให้ FET เสียหายได้ และ D2 จะป้องกัน high positive voltage โดยจะเป็นตัว interrupt drain current มีแรงดันทางเข้าเป็นบวกมีค่าสูงมากๆ

การออกแบบวงจร

ข้อกำหนด

1 สัญญาณ mv ที่ได้จากส่วน measuring amp เป็นค่า mv จริงที่มีค่าใกล้เคียงกับค่า mv ในสารละลาย solution คือ solution ที่มีความเป็นกรด  $pH_0 - pH_7$  จะมีค่า mv จากการแลกเปลี่ยน ion ระหว่างสารละลายกับ electrode ใน electrode ซึ่งใช้ kel.3 mol จะได้ค่า mv เป็นบวก positive voltage โดยคำนวณค่า E ที่ได้จากสมการ  $\Delta E = \Delta (npH) \times (t^\circ c + 273^\circ) \times 0.1984$

เช่น pH 1 ที่ อุณหภูมิ  $20^\circ c$

$$E = 1 \times (20^\circ c + 273^\circ) \times 0.1984 \text{ mv}$$
$$= 58.13 \text{ mv}$$

และที่ pH 1 ที่ อุณหภูมิ  $40^\circ c$

$$E = 1 \times (40^\circ c + 273^\circ) \times 0.1984 \text{ mv}$$
$$= 62.10 \text{ mv}$$

ดังนั้นถ้าวัดที่อุณหภูมิปกติ  $20^\circ c$  จะได้ค่า 58.13 mv/pH มาคำนวณค่าในวงจร

2 จะต้องอ่านค่า pH จาก  $pH_0 - pH_{14}$  ซึ่ง pH ซึ่งมีค่าเป็นกลางจะแลกเปลี่ยน ion กันอย่างสมดุลทำให้ไม่เกิดค่า potential ระหว่าง solution กับ kel ใน electrode จึงได้ค่า voltage 0 mv ดังนั้นค่า  $pH_7$  ซึ่งมีค่า mv เป็นบวกจะมีค่าดังนี้  $pH_7 = 0 \text{ mv} \therefore pH_0$  ซึ่งมีความแตกต่างจาก  $pH_7 = pH_7 - pH_0$

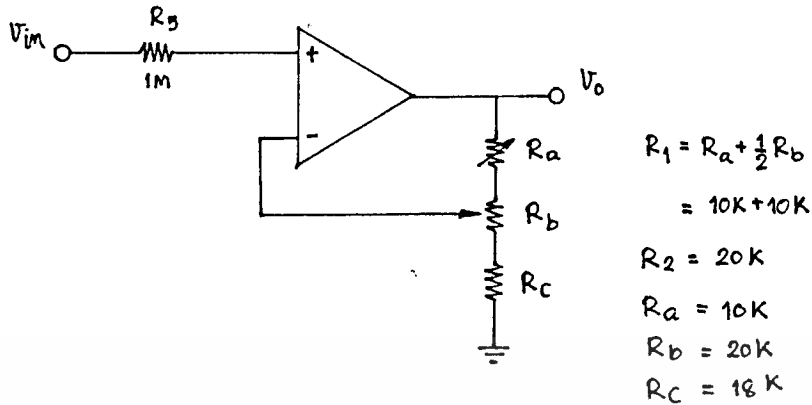
$$\Delta pH = 7 - 0 = 7$$

$\Delta pH + 7$  ที่อุณหภูมิ  $20^\circ c$

$$\Delta E = 7 (20^\circ c + 273^\circ) \times 0.1984 \text{ mv}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ความลับ 406.9 มย ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อค่า mv ที่ได้ทาง input ของวงจรตั้งขึ้นเพื่อให้ได้ค่า pH ที่ถูกต้องคือไม่ว่าอุณหภูมิจะเป็นเท่าใด display ก็ยังคงจะต้องแสดงค่า pH เท่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลงตาม input เพราะว่าสารละลาย pH ใดก็ตามไม่ว่าอุณหภูมิจะเป็นเท่าใด สารละลายนั้นก็ยังคงเป็นสารละลายที่มี pH เดิมตามความเป็นจริง gain การขยายของวงจรจะต้องปรับได้เล็กน้อยตามอุณหภูมิ ดังนั้นจะต้องมี potentiometer เป็นตัวปรับ compensate gain และขณะเดียวกันเพื่อให้ได้ความถูกต้องในการปรับเทียบค่า pH (calibrate pH) วงจรจึงออกแบบให้มีการ calibrate ค่า pH ในช่วง ph ถึง 2 จุดด้วยกัน คือ ถ้าวัดค่า ph ในช่วง  $ph_0 - ph_7$  ในการใช้งานเราจะ calibrate ที่  $ph_7$  เป็นครั้งที่ 1 โดยนำสารละลายมาตรฐานที่ทราบค่าแน่นอนมีค่า  $ph = pH_7$  มาเป็น reference และนำ electrode จุ่มใน buffer 7 แล้วจากนั้นให้ calibrate instrument ให้อ่านค่าได้ = 7.00 แล้วจุ่ม electrode ลงในสารละลายค่าที่ได้จาก instrument จะอ่านค่าได้ประมาณใกล้เคียงกับ 4 คือประมาณ 3 กว่าๆ คือ 4 กว่าๆ ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วจะต้องอ่านค่าได้ 4.00 ตามค่ามาตรฐานที่วัดได้จากโรงงานผลิตสารเคมีมาตรฐาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการ calibrate

การ calibrate ครั้งนี้จะเหมือนการปรับค่า factor ค่าที่นี้เพื่อนำมาคูณกับค่าที่ได้ ให้อ่านค่าออกมาตรงตาม pH ของ standard buffer ตัวที่ 2 โดยการปรับค่า factor นี้ในทางปฏิบัติจะมีค่า factor 0.92-1.02 ดังนั้นถ้าค่าอ่านได้จาก buffer ตัวที่ 2 ตรงตามค่าที่ได้ตรงตามค่ามาตรฐานจะต้องคูณด้วยค่า factor ในภาครคูณจะเท่ากับ 1 แต่ถ้าค่าที่ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานจะต้องคูณด้วยค่า factor มากกว่า 1 ถึง 1.02 ขณะเดียวกันถ้าค่าอ่านมาได้มากกว่าค่ามาตรฐานจะต้องคูณด้วย factor จาก 0.92 ถึง 0.99

ในการปรับ factor นี้ในทางเคมีเรียกว่าการปรับ slope  $du/dpH$  คือค่า potential (mv) ต่อค่า pH ส่วน  $U_n$  คือ nernst's voltage

การออกแบบภาคแสดงค่า pH เป็นตัว (digital display)

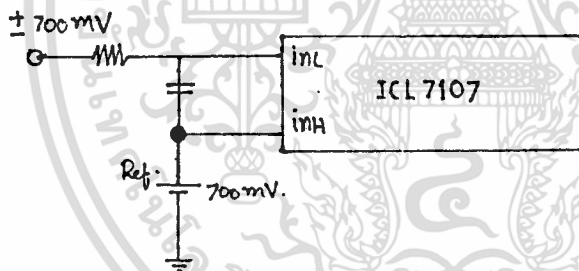
**ข้อกำหนัดในการออกแบบวงจร**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

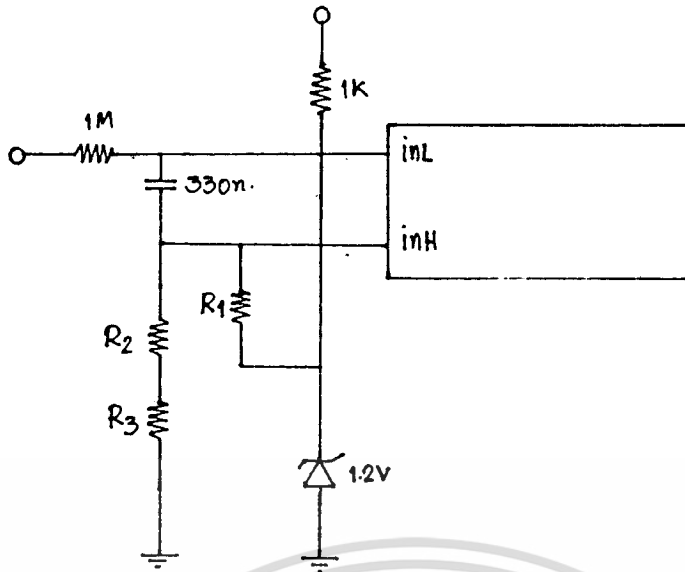
- 1 สัญญาณ 700 mv แสดงค่าเป็น 0.00 pH
- 2 สัญญาณ 0 mv แสดงค่าเป็น 7.00 pH
- 3 สัญญาณ -700 mv แสดงค่าเป็น 14.00 pH

เนื่องจากข้อกำหนดดังกล่าวไม่สามารถใช้วงจร display ที่มีอยู่แบบทั่วไปได้ เพราะ display ขรรวมตาปกติจะแสดงค่าตาม input voltage ที่ป้อนเข้าทางขา input high (inH) แต่ display ที่ใช้ไมโครแสดงค่า pH นี้ไม่ได้แสดงค่าตรงตาม input ที่ป้อนเข้ามาดังที่จริงจึงต้องมีการออกแบบวงจรเฉพาะซึ่งใช้ไมโครแสดงผลเป็นค่า pH โดยเฉพาะตามข้อกำหนดข้างต้น

หลักการเพื่อให้ได้ display ตามข้อกำหนด ให้ 0 mv แสดงที่ display เป็น 7.00 ขณะเดียวกัน 700 mv ให้แสดง 0.00 และ -700 mv ให้แสดง 14.00 ดังนี้วิธีเดียวที่จะทำได้คือป้อนสัญญาณเข้าทางขา input low (inL) และให้ขา input high (inH) มี reference ที่ค่าหนึ่งคือ 700 mv ดังรูป



จากวงจรในรูปจะเห็นว่า ถ้า 0 mv เข้าทาง inL แต่ที่ inH มี reference voltage อยู่ 700 mv ดังนั้นค่าที่แสดงออกทาง output จะเท่ากับค่าความแตกต่างระหว่าง inH และ inL = 700 และเมื่อ inL = +700 mv และ inH ยังคงมี reference voltage 700 mv ดังนั้น output จะแสดงค่า 0.00 mv และเมื่อ inL รับแรงดัน -700 mv ขณะที่ยังมี reference voltage อยู่ที่ขา inH 700 mv output จะแสดงค่าความแตกต่างระหว่าง inH กับ inL = 700 - (-700) = 1400 mv และหากต้องการแสดง 0.00 → 7.00 → 14.00 ทำได้โดยต่อจุดศนิยมของ LED seven segment ตัวที่ 3 ซึ่งก็คือจุดศนิยมตำแหน่งที่ 2 นั้นเอง และได้แสดงวงจรสำเร็จดังในรูป



คำนวณ R1 , R2 , R3 เพื่อให้ได้ reference voltage = 700 mv ดังนั้นเลือกใช้ zener diode 1.2 v และ voltage divider ด้วย R1,R2,R3 ให้ได้ ref 700 mv ดังนั้นจะได้ว่า ถ้าเลือก R1 = 15k

$$R1 / [ R1 + (R2 + R3) ] = 700 / 1200$$

$$1200 R1 = 700 R1 + 700 (R2 + R3)$$

$$(1200 - 700) R1 = 700 (R2 + R3)$$

$$500 R1 = 700 (R2 + R3)$$

$$(500 / 700) R1 = R2 + R3$$

ถ้ากำหนดให้ R1 = 15k จะได้ (R2 + R3) = 15k x (500/700) = 10.7k และ R2 + R3 = 10.7k

ดังนั้นในการ calibrate สารละลายมาตรฐานตัวที่หนึ่ง (buffer 7.00) ซึ่งการ calibrate นี้เสมือนเป็นการปรับ zero ของ instrument อื่นๆเช่นแต่ pH meter ไม่ได้ cal ที่ค่าศูนย์แต่ pH calibrate ที่ค่า 7.00 โดยใช้สารละลายมาตรฐานที่ทราบค่าว่ามีค่า pH = 7.00 มาเป็นตัวเปรียบเทียบให้เครื่องอ่านเป็นค่า 7.00 ดังนั้น display ที่ออกแบบข้างต้นจะต้องสามารถปรับค่า reference voltage จาก 700 mv ให้ได้เป็นค่าที่สูงกว่าและต่ำกว่า 700 mv

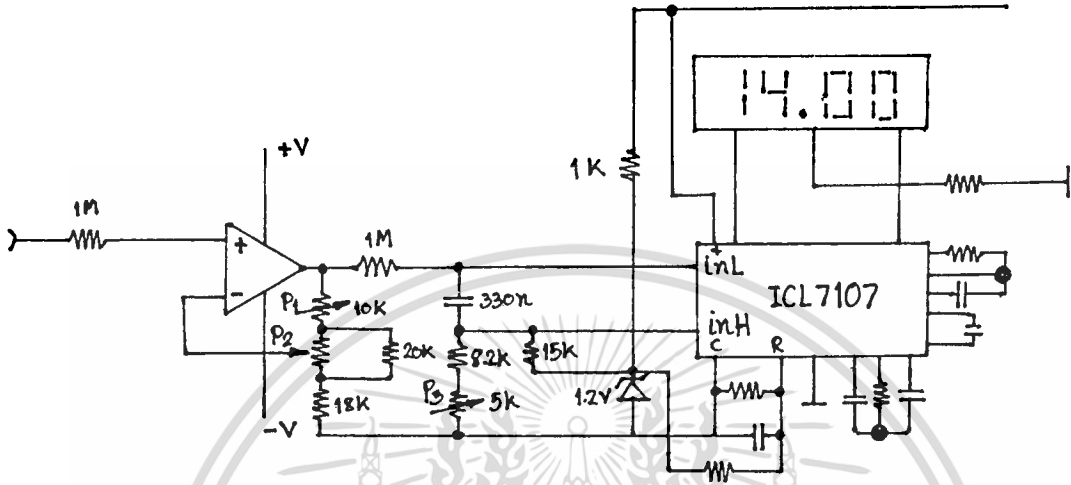
ดังนั้น R2,R3 ที่แบ่งแรงดัน 1.2 v จาก zener diode ตัวใดตัวหนึ่งจะต้องปรับค่าได้ในที่นี้ให้ R3 ปรับค่าได้

$$\text{จะได้ว่า } R2 + R3 = 10.7 \text{ K}$$

ค่า R2 ที่เป็นค่ามาตรฐานคือ 3.2k - เพื่อให้เวลาปรับ R3 เป็นศูนย์จะได้ reference voltage  $[ 15k / (15k + 18.2k) ] \times 1200 \text{ mv} = 775.8 \text{ mV}$  ใกล้เคียง

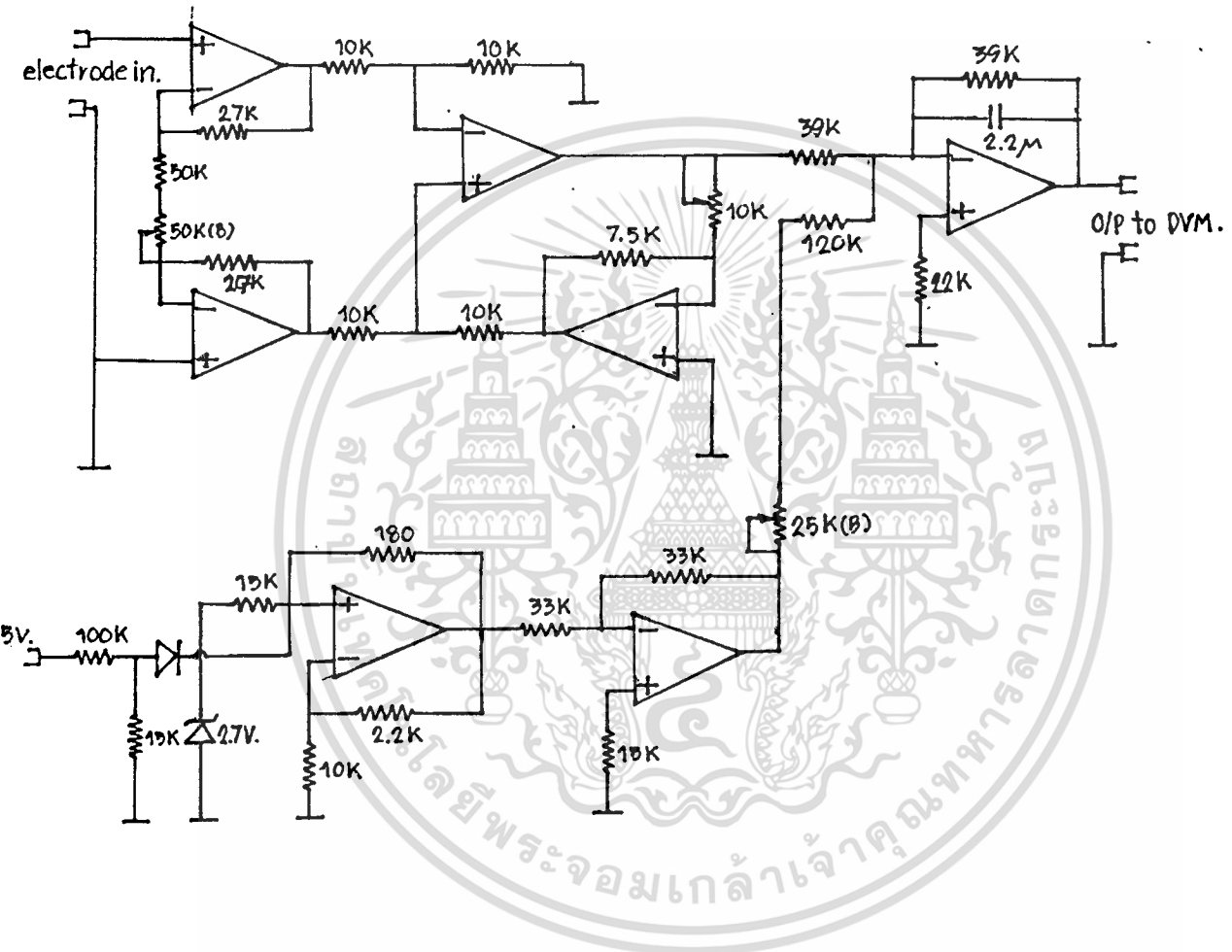
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับค่ากลาง และค่า  $R_3$  ที่รับค่าได้จะเท่ากับ  $10.7\text{ k} - 8.2\text{ k} = 2.5\text{ k}$  ซึ่ง  $2.5\text{ k}$  คือค่ากึ่งกลางของ potentiometer  $R_3$  ดังนั้นจะได้ pot.  $R_3$  แทน  $R_3$  มีค่า =  $2.5\text{ k} \times 2 = 5\text{ k}$   
 ได้วงจรส่วนแสดงผลสมบูรณั้ดังรูป



- หมายเหตุ
- $P_1$  ใช้ปรับ Compensate เมื่ออุณหภูมิโวลเตจละลายมีค่าอุณหภูมิต่าง ๆ
  - $P_2$  ใช้ Cal. Buffer ตัวที่ 2 (Second Buffer) เพื่อให้ได้ Span ที่ถูกต้อง
  - $P_3$  ใช้ Cal. Buffer ตัวที่ 1 เสมือนการ Set Zero ของ Instrument

การใช้ Instrument Amp. ในการออกแบบ pH meter จากทฤษฎีของ Instrument Amp. คือ มีคุณสมบัติเป็นอุดมคติและสามารถปรับ set zero ปรับ gain และปรับ span ของวงจรได้ ดังนั้นเราสามารถนำ Instrument Amp. นี้มาใช้เป็น pH meter แบบง่าย ๆ ได้ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 4

#### การทดลองและผลการทดลอง

จากวงจรแรกที่ออกแบบตามวงจรรูปที่ 4.1 นั้น ปัญหาซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการทดลองต่อวงจรมีหลายปัญหาซึ่งจะสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. สัญญาณที่วัดได้ไม่เที่ยงเนื่องมาจากระบบกราวด์ของวงจรซึ่งในครั้งแรกใช้การต่อกราวด์แบบปกติคือ ชั่ว Reference ของอิเลคโทรดซึ่งเป็นเสมือนสายกราวด์ของอิเลคโทรดถูกต่อโดยตรงกับกราวด์ของวงจร แต่ในการใช้งานจริงเมื่อนำอิเลคโทรดไปจุ่มวัดในสารละลาย จะปรากฏว่ายังมีการรบกวนอันเนื่องมาจาก Reference electrode กับสารละลายซึ่งเรียกว่า Interfere จะผ่านทางชั่ว Reference มายังกราวด์ของวงจรในรูปของสัญญาณ AC แกว่งไกวขึ้น ๆ ลง ๆ อยู่บนกราวด์ของวงจร ซึ่งการแก้ไขในที่นี้ใช้วงจร L-C Low Pass Filter ต่อจากชั่ว Reference ไปยังกราวด์ของวงจร ดังจะเห็นในวงจรทางด้าน input เมื่อทำการทดลองใช้งานจริงปรากฏว่า สัญญาณที่แสดงค่าออกทางด้าน output ที่ display นิ่งขึ้นกว่าเมื่อครั้งแรกมาก

2. ขณะทำการทดลองครั้งแรกซึ่งไม่มีการต่อ diode  $D_2, D_3$  ซึ่งต่อระหว่างขา drain ของ dual FET กับ  $V_{DD}$  Supply Voltage จะเกิดปัญหาในการวัดสัญญาณ เนื่องจากบางครั้งสัญญาณมาแรงกว่าปกติจะทำให้ dual FET Conduct ค้างคือ กระแส drain ไหลมากจนไม่สามารถ Control ให้กระแสลดลงตามสัญญาณ input ที่ลดลง เป็นผลให้ display แสดงค่า over Range คือมี Volt ทาง output มากผิดปกติประมาณ 3 ถึง 4 โวลท์ ซึ่งเมื่อเทียบกับสัญญาณจากอิเลคโทรดซึ่งมีค่าสัญญาณสูงสุดเพียงประมาณ 300 ถึง 350 mV ทำให้ไม่สามารถ Calltbrate วงจรได้ตามปกติ ดังนั้น diode  $D_2, D_3$  นี้ต่อเข้าไปภายหลังเพื่อใช้เป็นตัว Interrupt กระแส drain จากกรณีที่มีสัญญาณทางเข้ามีขนาดเป็นบวกมากเกินไป ซึ่งเมื่อต่อแล้วปรากฏว่าไม่เกิดการ over Range ทาง display อีกเลย

3. ปัญหา OFFSET ของ OP-AMP ซึ่ง OFFSET ของ OP-AMP ตัวแรกคือ LM 351 นี้สามารถชดเชยได้โดยการปรับ OFFSET ของ differential FET 2N5197 ที่ขา Source ทั้งสอง โดยการปรับ trim POT 20 K ให้ขา Input ทั้งสองของ OP-AMP สมดุลย์กันก็จะทำให้ Output เป็นศูนย์ได้ ในกรณีที่สัญญาณ Input เป็นศูนย์ซึ่งสามารถแทนโดยการ Short Input ด้วย R 10 M $\Omega$  ลงกราวด์ ส่วน OFFSET ของ OP-AMP ตัวที่ 2 LM 744 นี้สามารถทำการแก้ไขได้โดยการ Short Input ของ OP-AMP ลงกราวด์แล้วปรับ Output ให้ได้ศูนย์โวลท์โดยใช้ digital multimeter ต่อที่ Output ของ OP-AMP แต่ OFFSET ก็ยัง Shift ไปบ้าง ซึ่งจะแก้ไขปัญหาเรื่อง OFFSET ให้หมดไม่โดย ออกแบบวงจรใหม่ด้วยวงจรรูปที่ 4.2 ที่ออกแบบมาเพื่อใช้เป็นวงจรจริงที่ประกอบขึ้นใช้งาน ซึ่งเมื่อทดลองใช้งานเครื่องที่ออกแบบมานั้นสามารถวัดค่าได้ถูกต้องเมื่อใช้ Standard Buffer มาทดสอบ เครื่องสามารถอ่านค่าได้ตรงกับ Standard Buffer จริง

4. ขณะใช้งานวัดค่า pH จากสารละลายตัวอย่าง (Sample) ค่าตัวเลขทาง Display จะวิ่งขึ้นลง

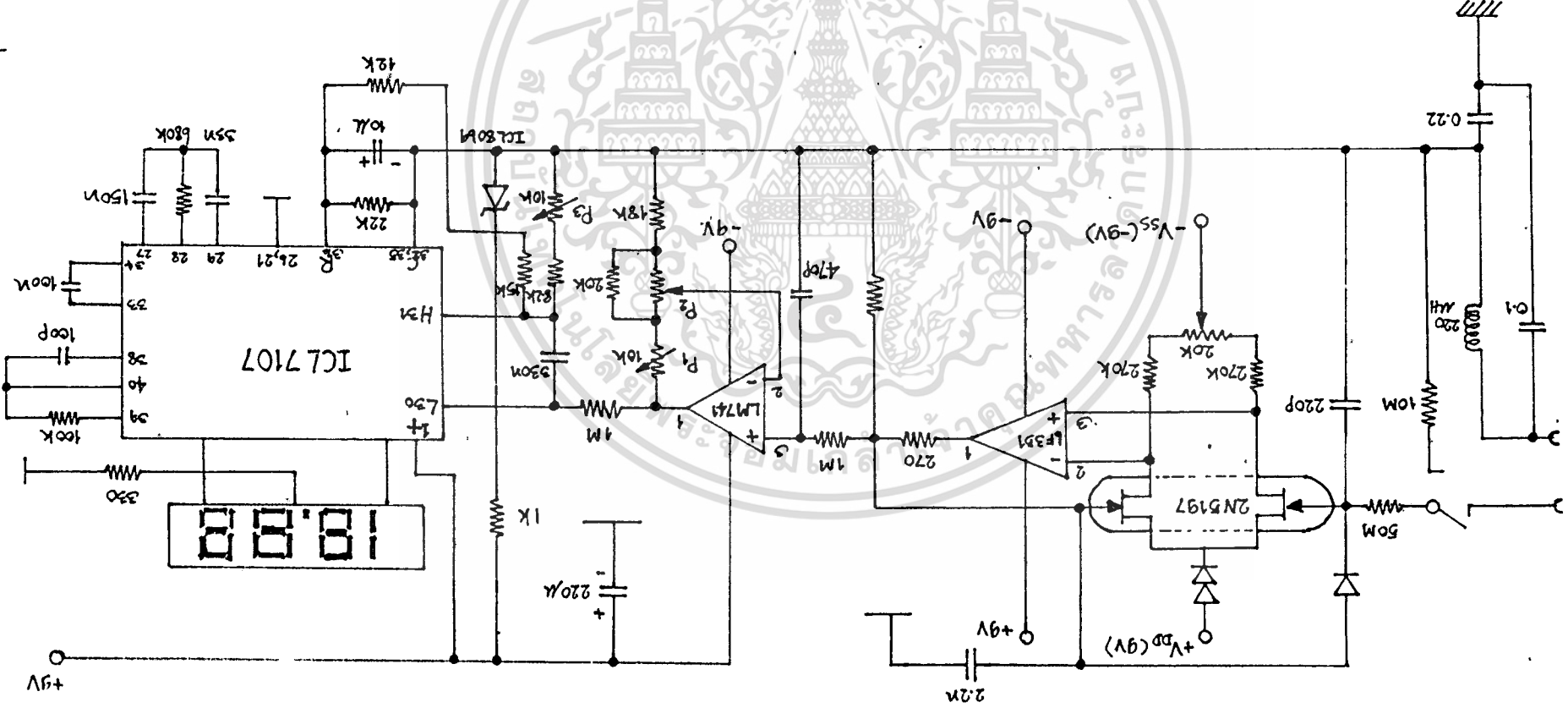
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องมาจากสัญญาณที่ได้รับจากปลายขั้วอิเล็กโทรด เพราะการวัดนี้ เป็นการวัดสัญญาณที่ดำเนินไปจากสัญญาณ  
 ซึ่งได้จากแหล่งกำเนิดสัญญาณทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แต่หากเป็นสัญญาณซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในสาร  
 ละลายของเหลวซึ่งมีความต้านทานภายในทางไฟฟ้าสูงมาก และไม่ได้เป็นการวัดโดยตรงแต่อาศัย pH  
 Sensitive ของ glass membran ที่สัมผัสกับ Sample ให้ได้ค่าศักย์ไฟฟ้าออกมาที่ปลายขั้วอิเล็กโทรด

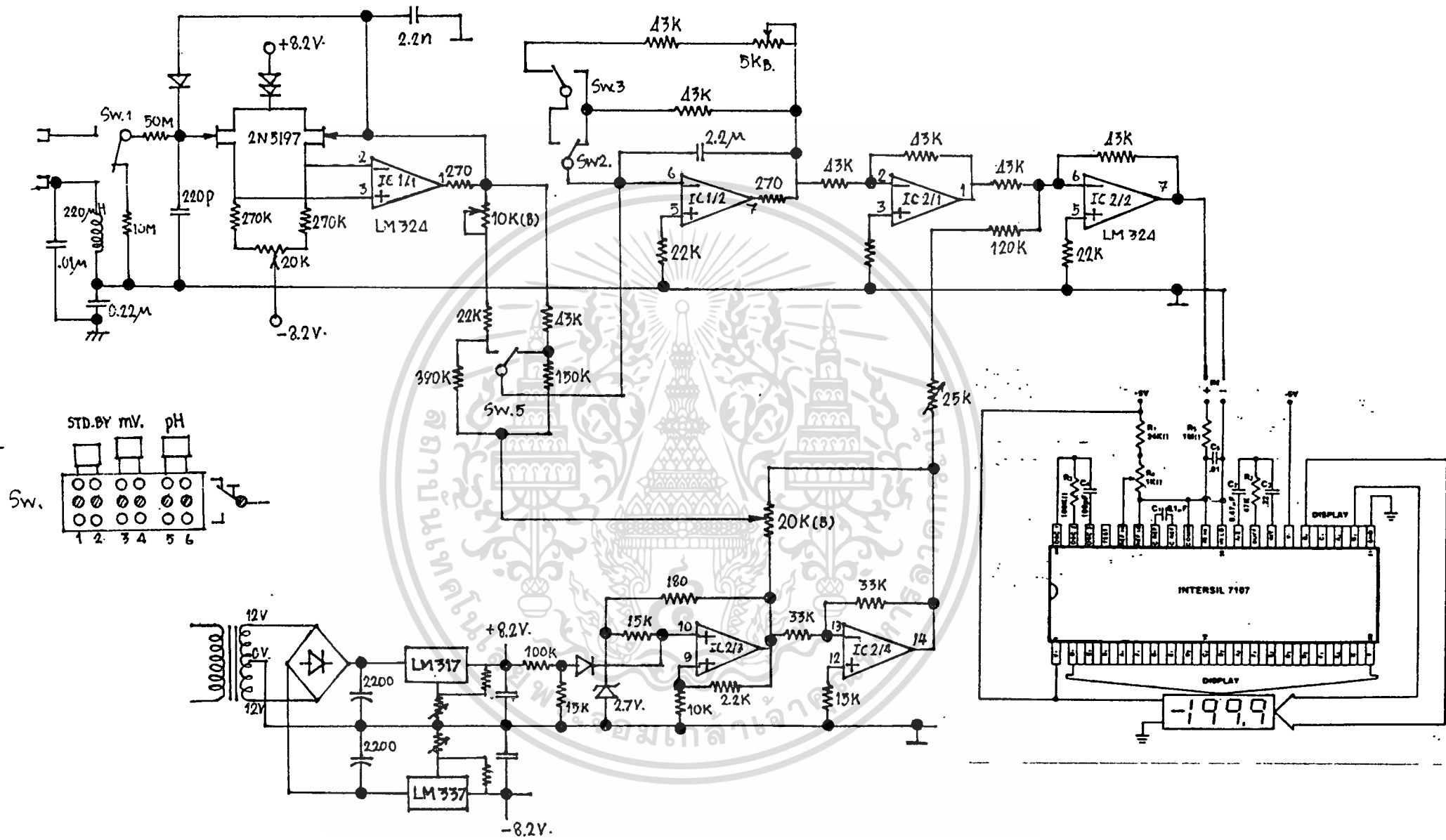


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3197 4.1



รูปที่ 4.2



รูปวงจร pH meter ที่ใช้ทรานซิสเตอร์.

การคำนวณหาค่า mV ในสารละลายโดยใช้สมการ

$$\begin{aligned} \Delta E &= \Delta(n \times pH)(T_{abs})0.1984 \\ &= \Delta(n \times pH)(t.^{\circ}C + 273)0.1984 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ว่า } 1pH, \Delta E &= 1(20^{\circ}C + 273)0.1984 \\ &= 58.13 \text{ mV/pH} \end{aligned}$$

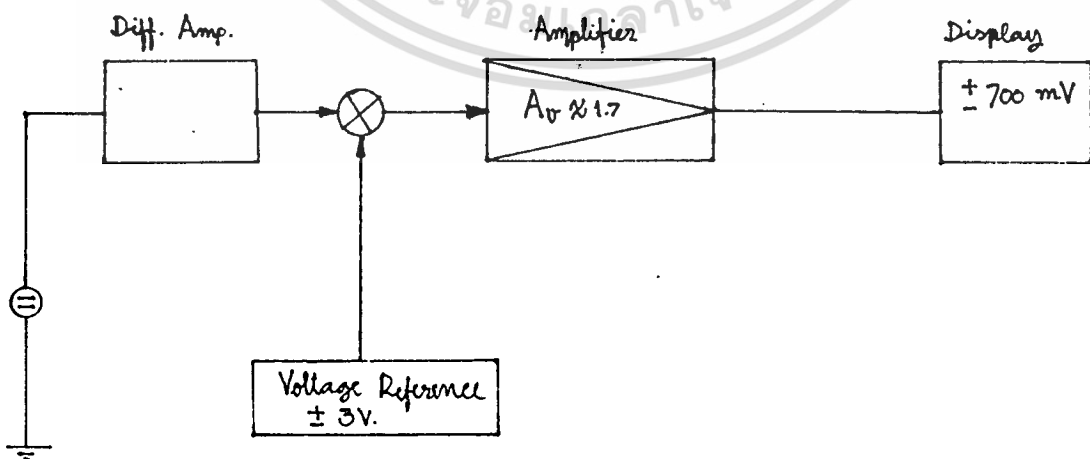
โดย  $pH_0 - pH_7$  มีค่าเป็นบวก =  $7 \times 58.13 \text{ mV} = 406.9 \text{ mV}$

และ  $pH_7 - pH_{14}$  มีค่าเป็นลบ =  $7 \times (-58.13 \text{ mV}) = -406.9 \text{ mV}$

ดังนั้นขณะนี้เราทราบแล้วว่าเมื่ออิเล็กโทรดต่อครบวงจรภายนอกจะมี millivolts ออกประมาณ -406.9 ถึง +406.9 mV ที่อุณหภูมิ 20°C แต่ในการอ่านเป็นค่า pH จะต้องอ่านค่า +406.9 mV เป็น  $pH_0$  และ 0 mV เป็น  $pH_7$  และ -406.9 mV เป็น  $pH_{14}$  ดังนั้นในการทำ pH meter เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบวงจร เราจะกำหนดให้ค่า pH ที่ได้มีค่าเทียบเท่ากับค่า mV เป็น 100 mV/pH โดยให้  $pH_7$  เป็นกลางมีค่า 0 mV และจะได้  $pH_1 = 700 \text{ mV}$   $pH_2 = 600 \text{ mV}$  ไปเรื่อย ๆ จนถึง  $pH_7 = 0 \text{ mV}$  ค่า pH มากกว่า 7 เราทราบแล้วว่าจะได้ค่าโพเทนเชียลเป็นค่าลบ  $pH_8 = -100 \text{ mV}$ ,  $pH_9 = -200 \text{ mV}$  ไปเรื่อย ๆ จนถึง  $pH_{14} = -700 \text{ mV}$  และเราสามารถแปลง mV จริงที่ได้ -413 mV ถึง +413 mV เป็นค่า  $\pm 700 \text{ mV}$  ได้ โดยอาศัยวงจรขยายซึ่งมี gain  $V_o/V_i = 700/413 = 1.69$  ประมาณ 1.7 เท่า แต่ผลของอุณหภูมิ ณ. ที่อุณหภูมิต่างกันจะทำให้อิเล็กโทรดผลิตสัญญาณทางออกมาได้ไม่เท่ากันในแต่ละอุณหภูมิ ดังนั้นเพื่อให้ output อ่านค่าได้คงที่ทุกสภาพอุณหภูมิ ดังนั้น gain การขยาย ขยายวงจรจะแปรค่าตามอุณหภูมิได้เล็กน้อย

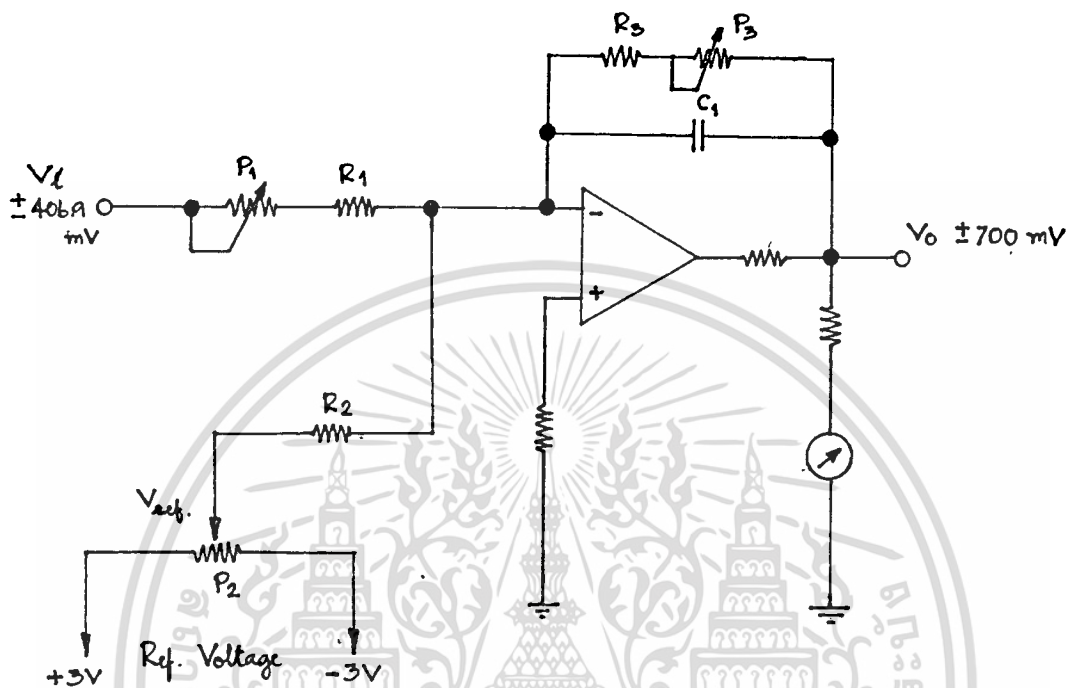
ดังนั้น Block ของ Amplifier จะต้องสามารถ Compensate gain ได้ด้วย ขณะเดียวกัน pH meter ขณะทำการวัดค่า pH ก่อนใช้จะต้องมีการ Calibrate Instrument ทุกครั้ง เพราะฉะนั้นวงจรที่ออกแบบจะต้องสามารถ Set zero ได้ด้วย

ดังนั้นการสร้าง Block diagram จะได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเบื้องต้นจะลองออกแบบวงจรโดยใช้ meter เข็มเป็นตัว display ค่า pH ที่ได้ซึ่งวงจรตาม Block diagram ยังสามารถ Calibrate ค่าได้แล้ว Compensate gain เมื่ออุณหภูมิไม่เท่ากันด้วย โดยได้วงจрдังรูป



จากทฤษฎีในบทที่แล้วจะได้ว่า  $v_i = \pm 413.8 \text{ mV}$  ซึ่งก็คือค่า mV สูงสุดและต่ำสุดที่ generate จากปลายขั้วทั้งสองของอิเล็กโทรด

ในการคำนวณหาค่าอุปกรณ์ กำหนดเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1.  $v_i = \pm 413.8 \text{ mV}$
2.  $v_o$  จะต้องเท่ากับ  $\pm 700 \text{ mV}$  เพื่อให้สามารถอ่านค่าเป็น pH = 14 step stepละ 100 mV ซึ่งเทียบเท่ากับ 1pH
3. จากกราฟแสดงอุณหภูมิซึ่งมีผลต่อค่า mV ในสารละลาย จะต้องทำการ Compensate gain เพื่อให้ได้ output =  $\pm 700 \text{ mV}$  หรือ 14pH เท่าเดิม
4. ต้องสามารถ Calibrate ค่า pH ตาม Standardize ได้
5. สามารถปรับ Slope (dU/dpH)/Un เพื่อปรับ Span ของเครื่องให้เหมาะสมกับอิเล็กโทรดอื่น ๆ ด้วย จากข้อกำหนดดังกล่าว เราจะได้วงจรดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $P_1$  จะใช้ในการ Compensate อุณหภูมิคือ ถ้า Ref. Voltage เป็นศูนย์  $P_2$  อยู่กึ่งกลาง  
 จะได้ว่า  $V_o/V_i = 700/406.9 = 1.72$

จะได้ gain ของวงจรประมาณ 2 เท่า

จากนั้นกำหนด Ratio ของ  $(R_3+P_3)/(R_1+P_1) = 1.72$

ถ้าเลือก  $(R_1+P_1) = 30 \text{ k}\Omega$

จะได้  $R_1 = 20\text{k}\Omega$   $P_1 = 10 \text{ k}\Omega$  และ  $P_1/P_2 = 5 \text{ k}\Omega$

เมื่อปรับ  $P_1$  อยู่กึ่งกลาง

และคำนวณหา  $(R_3 + P_3)$  ได้ดังนี้

$$R_3 + P_3 = 1.72 \times (20 + 5\text{k}) = 43\text{k}\Omega$$

ถ้าให้  $R_3 = 39 \text{ k}\Omega$  จะได้  $P_3 = 5 \text{ k}\Omega$

$P_2$  ใช้ปรับค่า V.ref เพื่อนำไปชดเชยในกรณีที่โอเลคโทรดวัดค่าในสารละลาย Buffer 7 ซึ่ง  
 ปกติกำหนดว่ามีค่า 0 mV แต่วัดแล้วไม่เท่ากัน สามารถนำ V.ref นี้ไปหักล้างหรือเสริมกันกับค่า  $V_i$   
 ที่ได้ในวงจร Summing Amp. เพื่อให้ V.out ออกมาถูกต้องตาม Standardize ดังนั้นค่า  $R_2$  กำหนด  
 ได้โดยถ้าให้ V.out สามารถปรับเลื่อนจากค่ากึ่งกลางได้ประมาณ  $\pm 3 \text{ pH} = \pm 300 \text{ mV}$  โดยที่  $i/p$

$V.\text{ref} = \pm 3 \text{ V}$  จะได้ Ratio  $R_3+P_3/R_2$  ประมาณ 0.1 เท่า

$$R_3+P_3/R_2 = 0.1 = 1/10$$

$$10(R_3+P_3) = R_2 \text{ เมื่อ } P_3 \text{ ปรับอยู่ที่ค่ากึ่งกลาง}$$

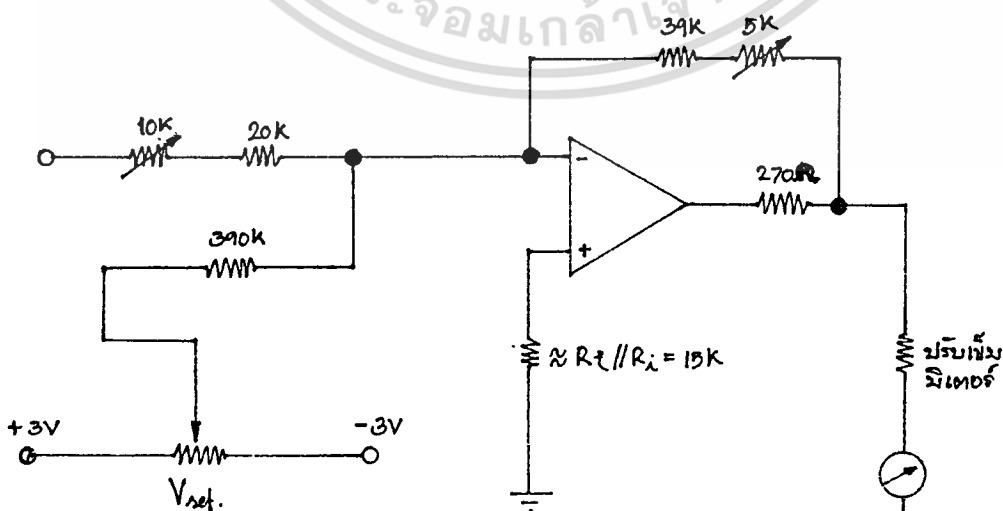
จะได้ค่า  $R_2$  คือ 415k แต่ค่าความต้านทานที่ใกล้เคียงและมีขายในท้องตลาดคือ 390 k

จึงเลือกใช้  $R_2 = 390 \text{ k}$

$$V.\text{ref} = \pm 3 \text{ V}$$

จะสามารถให้ volt ไป Compensate ได้เท่ากับ  $\pm 320 \text{ mV}$

ดังนั้นวงจรสามารถ Calibrate ได้ในช่วง  $\approx \pm 3\text{pH}$  ตามต้องการ ซึ่งจะได้วงจรดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะได้วงจร pH meter ซึ่งแสดงผลแบบใช้มิเตอร์เข็ม แต่จากการทดลองทำ Scale หน้าปัดที่ของ pH แล้วนำมาอ่านค่า pH เทียบกับใช้ meter เปรียบเทียบ ทำให้ทราบข้อเสียของการใช้มิเตอร์เข็มเป็นตัวแสดงผล คือ

1. การแสดงผลแบบที่ความละเอียดขึ้นอยู่กับ การแบ่ง Scale บนหน้าปัดเข็ม
2. ความผิดพลาดจากการอ่านขีดบนหน้าปัดเข็ม
3. หา moving coil meter ให้ได้ขนาดตามต้องการยาก

ดังนั้นจึงได้ออกแบบวงจรแสดงผลได้อีกแบบคือแบบ Digital ซึ่งจะมีวิธีออกแบบแตกต่างไปจากเข็ม

### Analog to Digital display

เพื่อแก้ไขความผิดพลาดจากการอ่านค่า และเพื่อสะดวกในการใช้งาน ดังนั้นภาคแสดงผลจะออกแบบให้เป็นตัวเลขแสดงผลแบบ LED Seven Segment ขนาด 3.5 หลีก และจะได้ความละเอียดในการอ่านค่าเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง โดยแสดงค่า pH จากสัญญาณ  $\pm 700$  mV ออกมาเป็นค่า pH ตั้งแต่ pH<sub>0.00</sub> ถึง pH<sub>14.00</sub> ซึ่งในการใช้งานในห้องทดลองวิทยาศาสตร์โดยทั่วไปยอมให้ค่าที่อ่านได้มีค่าผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 0.5$  pH

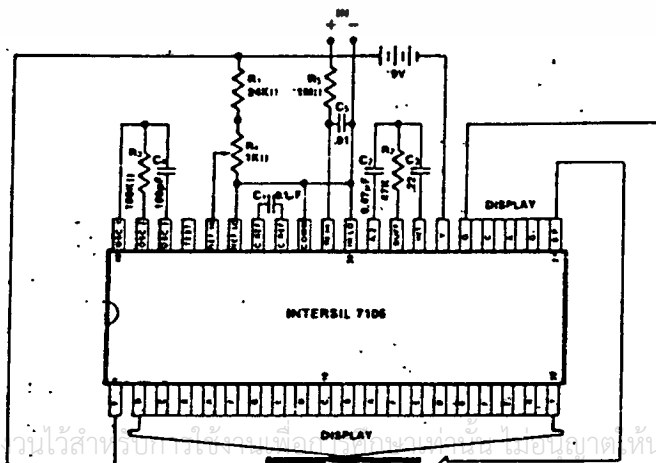
### Digital display

การออกแบบ Analog to digital display

1. เลือกใช้ IC และเลือกการแสดงผลเป็นแบบ LED หรือ LCD ซึ่ง IC ที่สะดวกในการซื้อหามาใช้มีอยู่ 2 เบอร์คือ ICL 7016 และ ICL7017 ในการใช้ IC Single slip A/D display จะต้องคำนึงถึงตัว Device ที่จะใช้แสดงผลด้วยว่าจะใช้ LED หรือใช้แบบ LCD สามารถเลือกได้ 2 กรณีดังนี้คือ

- ใช้ LCD จะต้องใช้ ICL7106
- ใช้ LED จะต้องใช้ ICL7107

2. กำหนดค่า Full Scale Reading ที่จะออกแบบ ซึ่งในที่นี้ต้องการอ่านค่าจาก 0 mV ถึง 1400 mV ดังนั้นเราจะเลือกใช้ Full Scale Reading เท่ากับ 2 Volts เพื่อนำค่า Full Scale Reading ไปหาค่าอุปกรณ์ R-C ที่ใช้ในวงจรให้เหมาะสมซึ่งวงจรตัวอย่างจากคู่มือไอซี ICL7107 นี้สามารถนำมาใช้เป็น ส่วนแสดงผล display ของ pH meter ได้โดยตรงโดยที่ใช้วงจรที่มี Full Scale Reading 2 V ซึ่งวงจรได้แสดงดังรูป



ICL7106 WITH LIQUID CRYSTAL DISPLAY

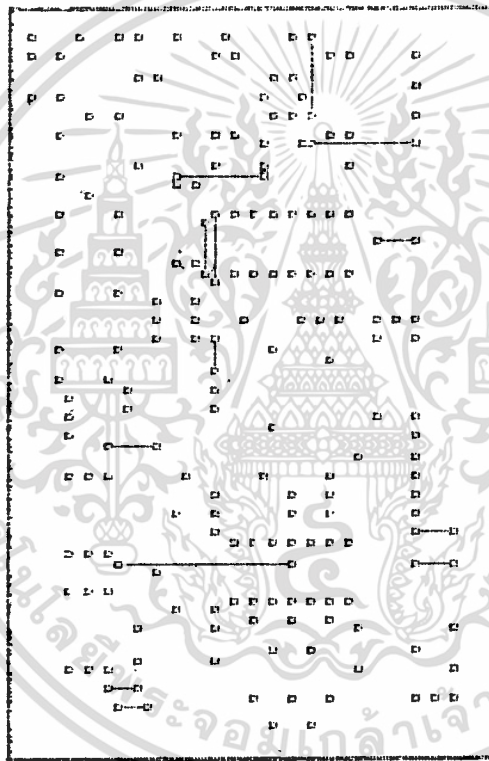
จากวงจรในรูปที่ 4.2 เราสามารถนำเอาออกแบบลายปรินซ์ได้ดังในหน้าต่อ ๆ ไปนี้ และได้นำ  
ลายปรินซ์เหล่านี้ไปทำการสร้างประกอบเป็นเครื่องวัด pH ขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

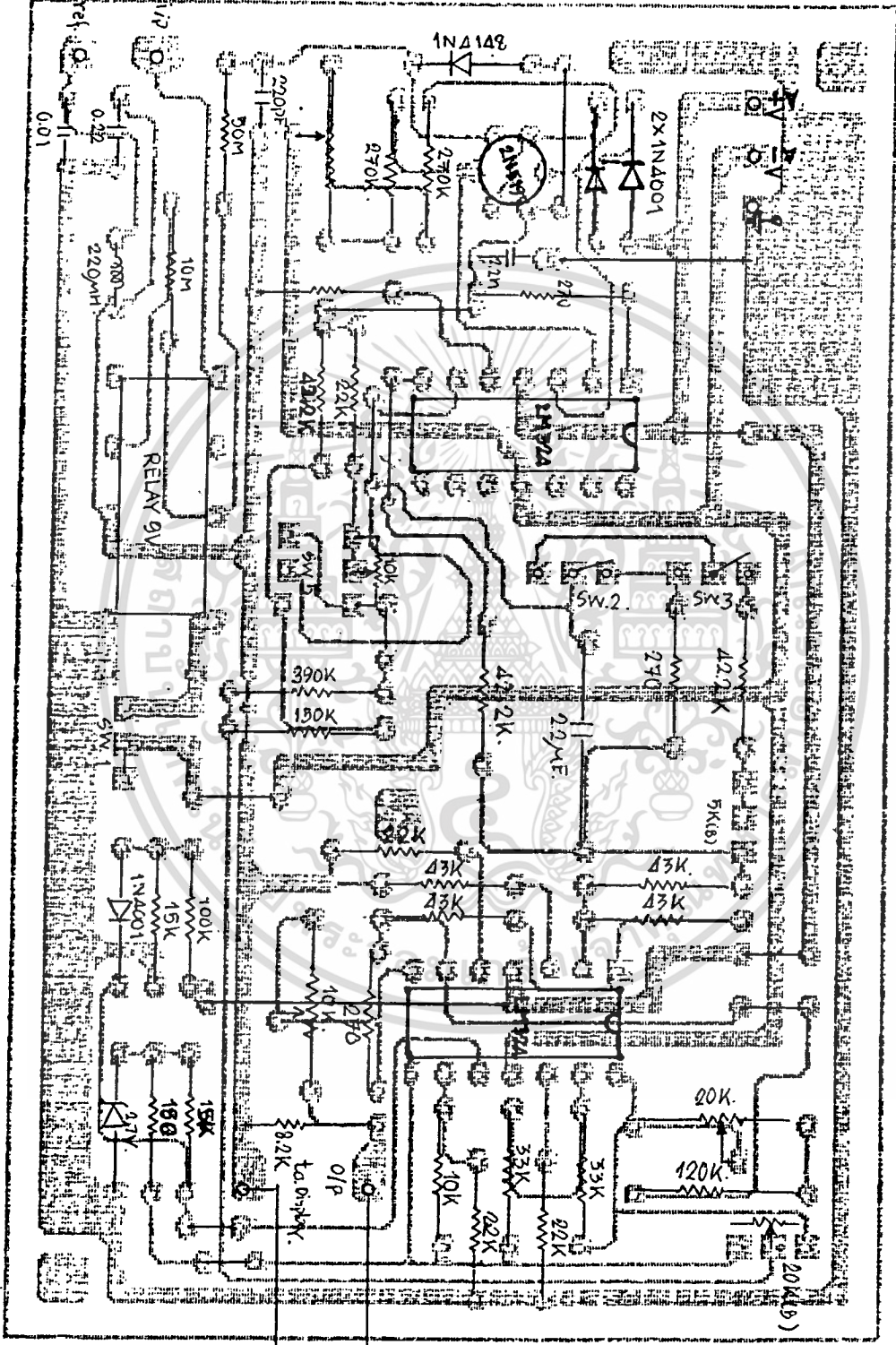


1X checkplot 30 Apr 91 09:58:50  
b:ro.pcb  
v1.3 r4 holes: 191 component side  
approximate size: 3.65 by 2.35 inches



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2X checkplot 30 Apr 91  
 b:ro.pcb  
 v1.3 r4 holes: 189  
 approximate size: 3.65 by 2.35



รูปการวางอุปกรณ์ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ground  
 display  
 to display

## บทที่ 5

## สรุปและวิจารณ์

จากการทำโครงการ pH meter ซึ่งได้ดำเนินการสำเร็จจนเครื่องสามารถใช้งานได้สมบูรณ์ตามความมุ่งหมาย พอจะสรุปขั้นตอนการดำเนินงานและอุปสรรคที่ทำให้ใช้เวลามากในการดำเนินงานสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบสร้างเป็นขั้นตอน ซึ่งต้องใช้เวลาเนื่องจากข้อมูลต่าง ๆ ไม่ได้มีเป็นข้อมูลทางไฟฟ้าที่สามารถนำค่าตัวเลขต่าง ๆ มาใช้ในการออกแบบได้โดยตรงเลย ข้อมูลจริงที่ได้มานี้เป็นลักษณะของสมการเคมี ไม่ได้แสดงเป็นสมการไฟฟ้า ในขั้นตอนการแก้ปัญหาใช้การเปลี่ยนรูปสมการเคมีเช่น สมการของ Nernst (Nernst's Equations) ให้เป็นสมการทางไฟฟ้าคือ จากนิยามของ pH คือ  $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$  มาเป็นสมการ  $\text{pH} = -\log a_{\text{H}}$  จากนั้นเขียนเป็นสมการในรูป activity ของ ions

$$\text{คือ } E_1 = K_{g1} + 0.1984(T + 273.16)\log(a_1/a_{g1})$$

$$E_2 = K_{g2} + 0.1984(T + 273.16)\log(a_2/a_{g2})$$

ซึ่งเป็นสมการ Nernst's จนสามารถหาออกมาเป็นสมการทางไฟฟ้าคือ

$$E_1 - E_2 = 0.1984(T + 273.16)(7 - \text{pH}_1)$$

และสมการสำหรับหาค่า mV จาก O/P ของขั้วปลายอิเล็กโทรดคือ

$$\Delta E = \Delta n(\text{pH}) \text{Tabs} 0.1984 \text{ mV} \quad (\text{Tabs} = t \cdot C + 273)$$

$$\text{เช่น } \Delta 1\text{pH at } 25 \text{ C} = 59.16 \text{ mV}$$

$$\text{และ } \Delta 1\text{pH at } 40 \text{ C} = 62.16 \text{ mV}$$

ในขั้นตอนนี้สามารถสรุปได้ว่า 1pH unit มีค่าประมาณ 59.16 mV และมีการเปลี่ยนค่าอย่างเป็นเชิงเส้นตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แต่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลต่อค่า mV เพียงเล็กน้อย เพราะเมื่อเป็นอุณหภูมิ kelvin ในสมการแล้ว ค่าอุณหภูมิ celcius เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่า 273

2. ขั้นตอนการออกแบบวงจร DC-Couplec amp. ซึ่งเป็นวงจรสำคัญที่จะให้ค่าความถูกต้องเที่ยงตรงสูงของเครื่องมือวัด ในขั้นแรกทดลองใช้ instrument amp. เป็นภาค I/P ซึ่งก็สามารถใช้งานได้ แต่เพื่อให้ใช้งานได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจึงจำเป็นต้องออกแบบวงจรใหม่ ให้มีลักษณะการออกแบบที่สามารถชดเชยค่าความผิดพลาดต่าง ๆ ตลอดจนชดเชย OFFSET ไม่ให้มีผลต่อการวัดจริงใช้เวลาในการออกแบบกว่าจะได้วงจรที่สมบูรณ์ดังวงจรที่แสดงไว้ในเครื่อง

เอกสารอ้างอิง

1. Ed Oxner "Designing with Field-Effect Transistors"  
Second Edition, McGRAW-HILL PUBLISHING COMPANY, 1990
2. GE Solid State "INTERSIL Applications Handbooks"  
General Electric Co. U.S.A., 1988
3. ผศ.ธวัชชัย ศรีวิบูลย์, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง  
"เคมีวิเคราะห์ 2", 1986
4. ผศ.ชูติมา เลิศขานะกุล, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง  
"เคมีวิเคราะห์ 2", 1983



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

ปริญญาโทนี้สำเร็จได้ด้วยดีนั้น ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ  
 อาจารย์สิงห์ทอง วัฒนเศรษฐานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษา และให้ความ  
 สนับสนุน ตลอดจนได้กำลังใจมาโดยตลอด และขอขอบคุณบริษัท ไทยยูนิคัล จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อกรุณาให้  
 ยืมอิเล็กทรอนิกส์มาเพื่อทำการทดลอง และแสดงการสาธิตการวัดค่าไอโคมะกรรมการตรวจสอบปริญญาโทนี้  
 ได้ชม อีกทั้งยังให้ข้อมูลและคำปรึกษาทางเคมีแก่คณะผู้จัดทำจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณ  
 เพื่อน ๆ ที่ภาควิชาเทคนิค ที่เนนทบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ยืมตำราต่าง ๆ และขอขอบคุณบริษัท  
 มานูโครองที่ให้ใช้อุปกรณ์บางอย่างในการจัดทำปริญญาโทนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณต่อ คุณพ่อ คุณแม่ และทุก ๆ ท่านที่ได้เอาใจช่วยซึ่งไม่สามารถจะแสดง  
 รายนามได้หมด ที่ได้ให้ความสนับสนุนในทุก ๆ ด้านมาโดยตลอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ลำดับวิธีการใช้เครื่อง pH meter

### 1. การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) มีขั้นตอนดังนี้

1.1 เตรียม STANDARDIZE BUFFER กรณีวัดในช่วงที่เป็นกรดใช้ BUFFER 7 pH และ 4 pH เป็น STANDARDIZE BUFFER ส่วนกรณีวัดช่วงที่มีค่าเป็นด่างใช้ BUFFER 7 pH และ 9 pH เป็น STANDARDIZE

1.2 ปรับ temperature potentiometer ให้ตรงกับชนิดอุณหภูมิตามอุณหภูมิของสารละลายที่จะใช้วัด

1.3 ปรับศูนย์(Set. Zero) โดยจุ่มปลายอิเล็กโทรดลงใน BUFFER 7 pH แล้วปรับ BUFFER POTENTIOMETER ให้อ่านค่าได้ 7.00 แล้วนำอิเล็กโทรดออกมาล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วใช้กระดาษทิชชูเช็ดกระดาษแก้ว

1.4 ปรับ Slope (Span Adjust) โดยจุ่มปลายอิเล็กโทรดลงใน BUFFER ตัวที่ 2 (BUFFER 4 pH กรณีที่วัดเป็นกรด และ BUFFER 9 pH กรณีอยู่ในช่วงที่เป็นด่าง) ปรับ Slope potentiometer ให้อ่านค่าตรงกับ BUFFER ที่เป็น Standardize คือ 4.00 กรณีใช้วัดเป็นกรด หรือ 9.00 กรณีวัดช่วงเป็นด่าง

1.5 นำอิเล็กโทรดล้างน้ำกลั่นจากนั้นนำอิเล็กโทรดจุ่มในสารละลายตัวอย่าง (Sample) ที่ต้องการทราบค่า รอให้ตัวเลขแสดงค่าจนกว่าจะคงที่ แล้วอ่านค่าจาก Display

### 2. การวัดค่า millivolts ที่ได้จากขั้วอิเล็กโทรด

2.1 Calibrate Instrument ตามวิธีการวัด pH

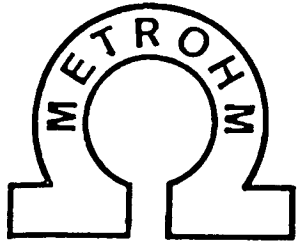
2.2 เลื่อน SW. ในตำแหน่ง Stand by ปรับ Buffer potentiometer ให้อ่านค่าได้ 0.00

2.3 จุ่มปลายอิเล็กโทรดในสารละลายตัวแล้วเปลี่ยนตำแหน่งสวิตช์ไปที่ mV อ่านค่า millivolt จาก Display

หมายเหตุ:

1. ขณะทำการวัดให้เปิดฝาจุกยางที่ข้างกระดาษอิเล็กโทรดเพื่อให้ Internal fill ไหลถึงกับกับ membrane มิฉะนั้นค่าที่อ่านได้จะไม่ถูกต้อง

2. ขณะวัดควรรอเวลาให้ปฏิกิริยาเคมีระหว่าง Internal fill กับสารละลายตัวอย่าง แลกเปลี่ยนอิออนกันสมดุลเสียก่อน ระยะเวลารอให้ค่า display คงที่ขึ้นอยู่กับ Sensitivity ของขั้วอิเล็กโทรด



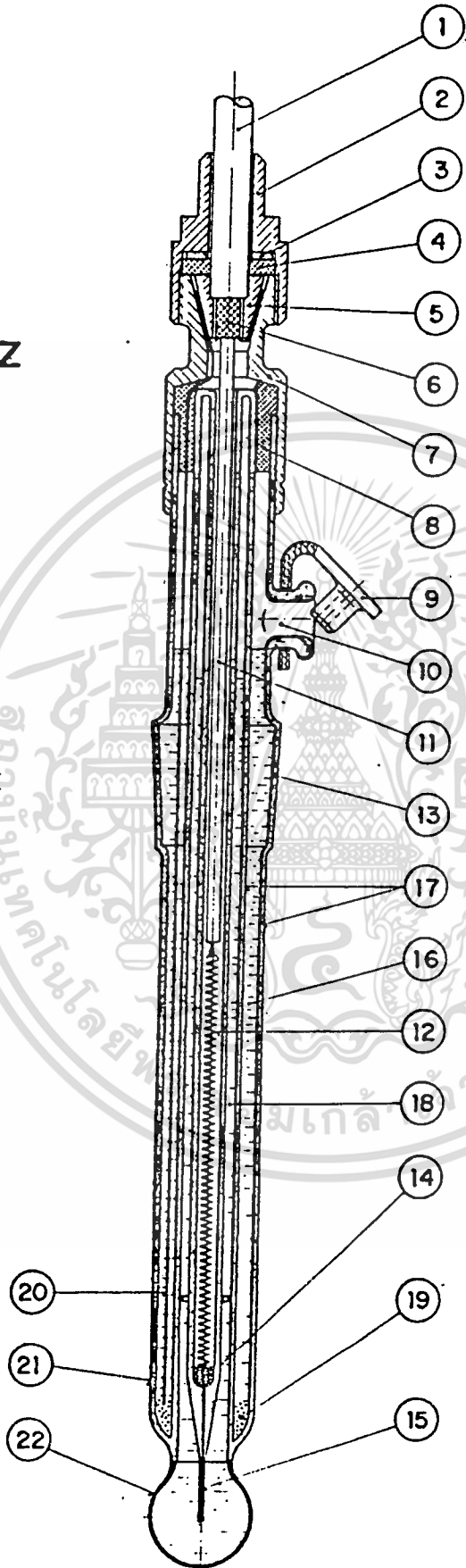
HERISAU SCHWEIZ

EA 121

KOMBINIERTE GLAS-  
ELEKTRODENMESSKETTE

COUPLE D'ÉLECTRODE  
DE VERRE COMBINÉE

COMBINED GLASS  
ELECTRODE ASSEMBLY



- 1 Abgeschirmtes, hochisoliertes Elektrodenkabel  
Câble d'électrode à haut isolement, blindé  
Screened, highly insulated electrode cable
- 2 Ueberwurfmutter  
Erou de serrage  
Pinch nut
- 3 Scheibe, Rondelle, Washer
- 4 Dichtung, Joint d'étanchéité, Sealing
- 5 Klemmkonus, Cone de serrage, Pinch cone
- 6 Aussenleiter = Abschirmung (Bezugselektrode)  
Conducteur extérieur = blindage (électrode de référence)  
External conductor = screen (reference electrode)
- 7 Buchse, Capuchon, Socket
- 8 Kittstelle und Abdichtung  
Joint d'étanchéité à mastic  
Mastic sealing
- 9 Gummiverschlusszäpfchen (beim Messen geöffnet)  
Bouchon en caoutchouc (enlevé pour les mesures)  
Rubber stopper (opened for measurements)
- 10 KCl-Einfüllöffnung  
Orifice de remplissage de KCl  
Orifice for filling with KCl
- 11 Hochisolierter Innenleiter (Indikatorelektrode)  
Conducteur intérieur à haut isolement (électrode indicatrice)  
Highly insulated inner conductor (indicator electrode)
- 12 Kontaktfeder, Ressort de contact  
Contact spring
- 13 Normalschliff, Rodage normalisé  
Standard ground joint
- 14 Lötstelle, Soudure, Solder
- 15 Innere Ableitelektrode, Electrode de référence intérieure, Internal reference electrode
- 16 Bezugselektroden-Elektrolyt (gesättigte KCl-Lösung)  
Electrolyte de l'électrode de référence (solution de KCl saturée)  
Reference electrode electrolyte (saturated KCl solution)
- 17 Schaft, doppelwandig, Tige, à double paroi  
Shaft, double wall
- 18 Füllflüssigkeit (Puffer)  
Liquide de référence intérieur (tampon)  
Internal reference liquid (buffer)
- 19 Silberchloridpulver, Poudre de chlorure d'argent, Silverchloride powder
- 20 Bezugselektrode (Silberdraht)  
Electrode de référence (fil d'argent)  
Reference electrode (silver wire)
- 21 Poröses Keramikdiaphragma  
Diaphragme en céramique poreuse  
Porous ceramic diaphragm
- 22 pH-empfindliche Glasmembran  
Membrane de verre sensible au pH  
pH sensitive glass membrane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2N5196-2N5199

# 2N5196-2N5199



## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise specified) (Continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	2N5196		2N5197		2N5198		2N5199		Units
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
I <sub>G1</sub> -I <sub>G2</sub>	Differential Gate Current	V <sub>DG</sub> = 20V, I <sub>D</sub> = 200μA T <sub>A</sub> = 125°C		5		5		5		5	nA
I <sub>DSS1</sub> /I <sub>DSS2</sub>	Saturation Drain Current Ratio (Note 2)	V <sub>DS</sub> = 20V, V <sub>GS</sub> = 0V	0.95	1	0.95	1	0.95	1	0.95	1	
g <sub>fs1</sub> /g <sub>fs2</sub>	Transconductance Ratio (Note 2)	f = 1kHz	0.97	1	0.97	1	0.95	1	0.95	1	
V <sub>GS1</sub> -V <sub>GS2</sub>	Differential Gate-Source Voltage			5		5		10		15	mV
Δ V <sub>GS1</sub> = V <sub>GS2</sub>   ΔT	Gate-Source Differential Voltage Change with Temperature (Note 3)	V <sub>DG</sub> = 20V, I <sub>D</sub> = 200μA T <sub>A</sub> = 25°C T <sub>B</sub> = 125°C T <sub>A</sub> = -55°C T <sub>B</sub> = 25°C		5		10		20		40	μV/°C
g <sub>os1</sub> -g <sub>os2</sub>	Differential Output Conductance	f = 1kHz		1		1		1		1	μS

- NOTES: 1. Per transistor.  
 2. Pulse test required, pulsewidth = 300μs, duty cycle < 5%.  
 3. Measured at endpoints T<sub>A</sub> and T<sub>B</sub>.  
 4. For design reference only, not 100% tested.

INTERSIL'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ICL7106/ICL7107

## 3½-Digit LCD/LED

### Single-Chip A/D Converter



ICL7106/ICL7107

#### GENERAL DESCRIPTION

The Intersil ICL7106 and 7107 are high performance, low power 3½-digit A/D converters containing all the necessary active devices on a single CMOS I.C. Included are seven-segment decoders, display drivers, a 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.

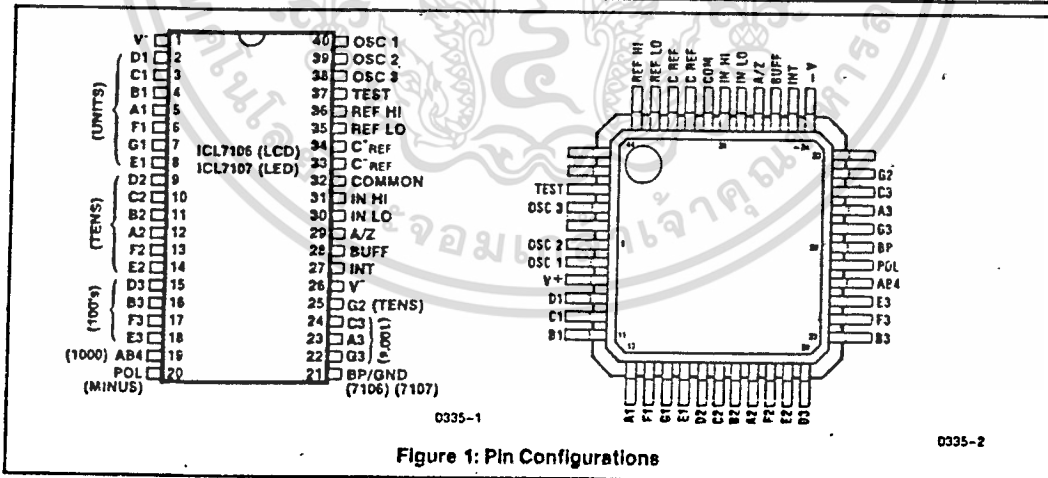
The 7106 and 7107 bring together an unprecedented combination of high accuracy, versatility, and true economy. It features auto-zero to less than 10µV, zero drift of less than 1µV/°C, input bias current of 10 pA max., and rollover error of less than one count. True differential inputs and reference are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

#### FEATURES

- Guaranteed Zero Reading for 0 Volts Input on All Scales
- True Polarity at Zero for Precise Null Detection
- 1pA Typical Input Current
- True Differential Input and Reference
- Direct Display Drive — No External Components Required — LCD ICL7106 — LED ICL7107
- Low Noise — Less Than 15µV p-p
- On-Chip Clock and Reference
- Low Power Dissipation — Typically Less Than 10mW
- No Additional Active Circuits Required
- New Small Outline Surface Mount Package Available
- Evaluation Kit Available

#### ORDERING INFORMATION

Part Number	Temperature Range	Package
ICL7106CPL	0°C to +70°C	40 pin plastic DIP
ICL7106CJL	0°C to +70°C	40 pin CERDIP
ICL7106CM44	0°C to +70°C	44 pin Surface Mount
ICL7107CJL	0°C to +70°C	40 pin CERDIP
ICL7107CPL	0°C to +70°C	40 pin plastic DIP
ICL7106EV/Kit ICL7107EV/Kit	Evaluation kits contain IC, display, circuit board, passive components and hardware.	



INTERSIL'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ICL7106/ICL7107



ICL7106/ICL7107

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage	
ICL7106, V <sup>+</sup> to V <sup>-</sup>	15V
ICL7107, V <sup>+</sup> to GND	+6V
ICL7107, V <sup>-</sup> to GND	-9V
Analog Input Voltage (either input)(Note 1)	V <sup>+</sup> to V <sup>-</sup>
Reference Input Voltage (either input)	V <sup>+</sup> to V <sup>-</sup>
Clock Input	
ICL7106	TEST to V <sup>+</sup>
ICL7107	GND to V <sup>+</sup>

## Power Dissipation (Note 2)

Ceramic Package	1000mW
Plastic Package	800mW
Operating Temperature	0°C to +70°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10sec)	300°C

NOTE: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

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.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 3)

Characteristics	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Zero Input Reading	V <sub>IN</sub> = 0.0V Full Scale = 200.0mV	-000.0	$\pm 000.0$	+000.0	Digital Reading
Ratiometric Reading	V <sub>IN</sub> = V <sub>REF</sub> V <sub>REF</sub> = 100mV	999	999/1000	1000	Digital Reading
Rollover Error (Difference in reading for equal positive and negative inputs near Full Scale)	-V <sub>IN</sub> = +V <sub>IN</sub> = 200.0mV	-1	$\pm 2$	+1	Counts
Linearity (Max. deviation from best straight line fit)	Full scale = 200.0mV or full scale = 2.000V (Note 6)	-1	$\pm 2$	+1	Counts
Common Mode Rejection Ratio (Note 4)	V <sub>CM</sub> = $\pm 1\text{V}$ , V <sub>IN</sub> = 0V Full Scale = 200.0mV		50		$\mu\text{V}/\text{V}$
Noise (Pk-Pk value not exceeded 85% of time)	V <sub>IN</sub> = 0V Full Scale = 200.0mV		15		$\mu\text{V}$
Leakage Current Input	V <sub>IN</sub> = 0 (Note 6)		1	10	pA
Zero Reading Drift	V <sub>IN</sub> = 0 0° < T <sub>A</sub> < 70°C (Note 6)		0.2	1	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Scale Factor Temperature Coefficient	V <sub>IN</sub> = 199.0mV 0° < T <sub>A</sub> < 70°C (Ext. Ref. Oppm/°C) (Note 6)		1	5	ppm/°C
V <sup>+</sup> Supply Current (Does not include LED current for 7107)	V <sub>IN</sub> = 0		0.8	1.8	mA
V <sup>-</sup> Supply Current (7107 only)			0.6	1.8	mA
Analog Common Voltage (With respect to Pos. Supply)	25k $\Omega$ between Common & Pos. Supply	2.4	2.8	3.2	V
Temp. Coeff. of Analog Common (With respect to Pos. Supply)	25k $\Omega$ between Common & Pos. Supply		80		ppm/°C

INTELSIL'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ICL7106/ICL7107

INTERSIL

ICL7106/ICL7107

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 3) (Continued)

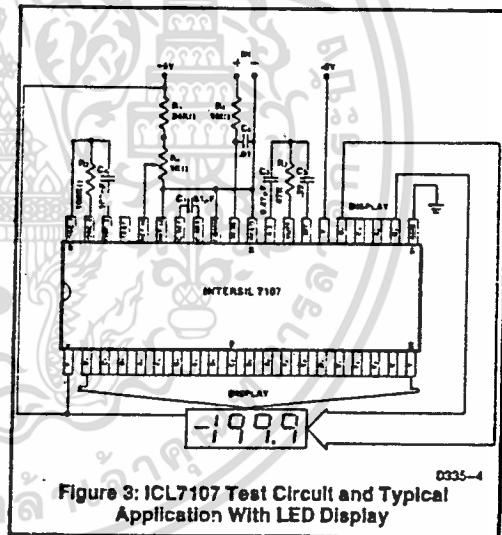
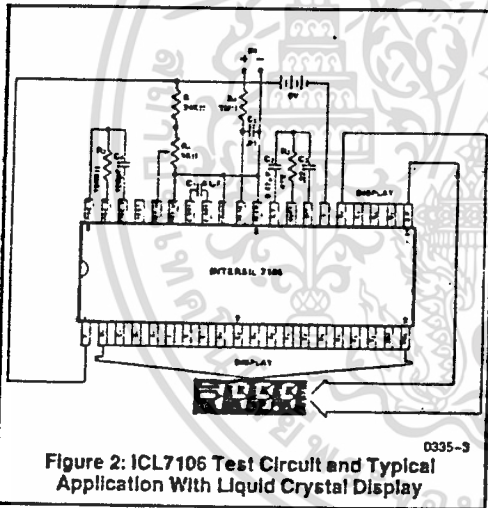
Characteristics	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
7106 ONLY Pk-Pk Segment Drive Voltage Pk-Pk Backplane Drive Voltage (Note 5)	$V^+ \text{ to } V^- = 9V$	4	5	6	V
7107 ONLY Segment Sinking Current (Except Pin 19 & 20)	$V^+ = 5.0V$ Segment voltage = 3V	5	8.0		mA
(Pin 19 only)		10	16		mA
(Pin 20 only)		4	7		mA

NOTES: 3. Unless otherwise noted, specifications apply to both the 7106 and 7107 at  $T_A = 25^\circ C$ ,  $f_{clock} = 48kHz$ . 7106 is tested in the circuit of Figure 2. 7107 is tested in the circuit of Figure 3.

- Refer to "Differential Input" discussion.
- 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.
- Not tested, guaranteed by design.

2

### TEST CIRCUITS



INTERSIL'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

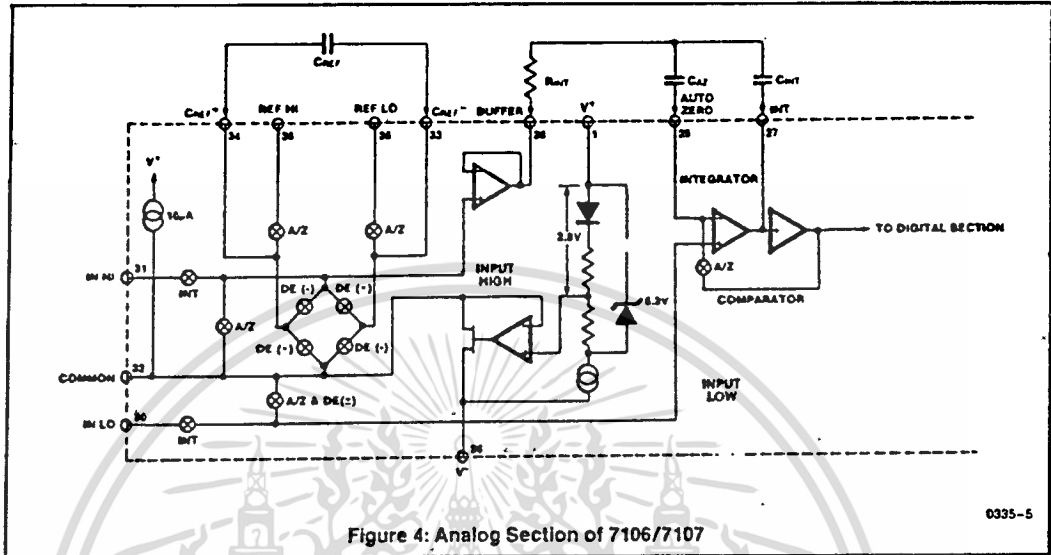


Figure 4: Analog Section of 7106/7107

0335-5

**DETAILED DESCRIPTION**

**Analog Section**

Figure 4 shows the Analog Section for the ICL7106 and 7107. Each measurement cycle is divided into three phases. They are (1) auto-zero (A/Z), (2) signal integrate (INT) and (3) de-integrate (DE).

**Auto-zero phase**

During auto-zero three things happen: First, input high and low are disconnected from the pins and internally shorted to analog COMMON. Second, the reference capacitor is charged to the reference voltage. Third, a feedback loop is closed around the system to charge the auto-zero capacitor CAZ to compensate for offset voltages in the buffer amplifier, integrator, and comparator. Since the comparator is included in the loop, the A/Z accuracy is limited only by the noise of the system. In any case, the offset referred to the input is less than 10µV.

**Signal Integrate phase**

During signal integrate, the auto-zero loop is opened, the internal short is removed, and the internal input high and low are connected to the external pins. The converter then integrates the differential voltage between IN HI and IN LO for a fixed time. This differential voltage can be within a wide common mode range: up to one volt from either supply. If, on the other hand, the input signal has no return with respect to the converter power supply, IN LO can be tied to analog COMMON to establish the correct common-mode voltage. At the end of this phase, the polarity of the integrated signal is determined.

**De-integrate phase**

The final phase is de-integrate, or reference integrate. Input low is internally connected to analog COMMON and input high is connected across the previously charged reference capacitor. Circuitry within the chip ensures that the

capacitor will be connected with the correct polarity to cause the integrator output to return to zero. The time required for the output to return to zero is proportional to the input signal. Specifically the digital reading displayed is  $1000 \left( \frac{V_{IN}}{V_{REF}} \right)$ .

**Differential Input**

The input can accept differential voltages anywhere within the common mode range of the input amplifier, or specifically from 0.5 volts below the positive supply to 1.0 volt above the negative supply. In this range, the system has a CMRR of 86 dB typical. However, care must be exercised to assure the integrator output does not saturate. A worst case condition would be a large positive common-mode voltage with a near full-scale negative differential input voltage. The negative input signal drives the integrator positive when most of its swing has been used up by the positive common mode voltage. For these critical applications the integrator output swing can be reduced to less than the recommended 2V full scale swing with little loss of accuracy. The integrator output can swing to within 0.3 volts of either supply without loss of linearity. See Application Note A032 for a discussion of the effects of stray capacitance.

**Differential Reference**

The reference voltage can be generated anywhere within the power supply voltage of the converter. The main source of common mode error is a roll-over voltage caused by the reference capacitor losing or gaining charge to stray capacity on its nodes. If there is a large common mode voltage, the reference capacitor can gain charge (increase voltage) when called up to de-integrate a positive signal but lose charge (decrease voltage) when called up to deintegrate a negative input signal. This difference in reference for positive or negative input voltage will give a roll-over error. However, by selecting the reference capacitor such that it is

INTERSIL'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ICL7106/ICL7107

INTERSIL

ICL7106/ICL7107

large enough in comparison to the stray capacitance, this error can be held to less than 0.5 count worst case. (See Component Value Selection.)

## Analog COMMON

This pin is included primarily to set the common mode voltage for battery operation (7106) or for any system where the input signals are floating with respect to the power supply. The COMMON pin sets a voltage that is approximately 2.8 volts more negative than the positive supply. This is selected to give a minimum end-of-life battery voltage of about 6V. However, analog COMMON has some of the attributes of a reference voltage. When the total supply voltage is large enough to cause the zener to regulate (>7V), the COMMON voltage will have a low voltage coefficient (0.001%/V), low output impedance ( $\approx 15\Omega$ ), and a temperature coefficient typically less than 80ppm/°C.

The limitations of the on-chip reference should also be recognized, however. With the 7107, the internal heating which results from the LED drivers can cause some degradation in performance. Due to their higher thermal resistance, plastic parts are poorer in this respect than ceramic. The combination of reference Temperature Coefficient (TC), internal chip dissipation, and package thermal resistance can increase noise near full scale from 25  $\mu$ V to 80  $\mu$ Vp-p. Also the linearity in going from a high dissipation count such as 1000 (20 segments on) to a low dissipation count such as 1111 (8 segments on) can suffer by a count or more. Devices with a positive TC reference may require several counts to pull out of an overrange condition. This is because overrange is a low dissipation mode, with the three least significant digits blanked. Similarly, units with a negative TC may cycle between overrange and a nonoverrange count as the die alternately heats and cools. All these problems are of course eliminated if an external reference is used.

The 7106, with its negligible dissipation, suffers from none of these problems. In either case, an external reference can easily be added, as shown in Figure 5.

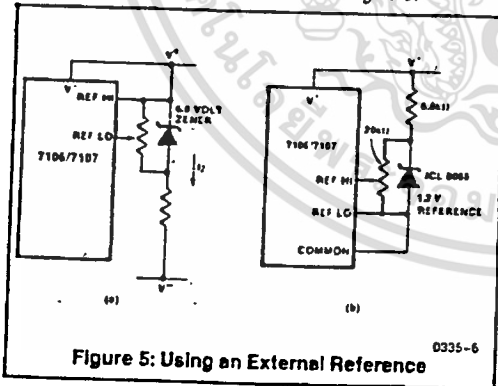


Figure 5: Using an External Reference

0335-6

Analog COMMON is also used as the input low return during auto-zero and de-integrate. If IN LO is different from analog COMMON, a common mode voltage exists in the system and is taken care of by the excellent CMRR of the converter. However, in some applications IN LO will be set at a fixed known voltage (power supply common for instance). In this application, analog COMMON should be tied to the same point, thus removing the common mode voltage from the converter. The same holds true for the reference voltage. If reference can be conveniently tied to analog COMMON, it should be since this removes the common mode voltage from the reference system.

Within the IC, analog COMMON is tied to an N channel FET that can sink approximately 30mA of current to hold the voltage 2.8 volts below the positive supply (when a load is trying to pull the common line positive). However, there is only 10  $\mu$ A of source current, so COMMON may easily be tied to a more negative voltage thus over-riding the internal reference.

## TEST

The TEST pin serves two functions. On the 7106 it is coupled to the internally generated digital supply through a 500 $\Omega$  resistor. Thus it can be used as the negative supply for externally generated segment drivers such as decimal points or any other presentation the user may want to include on the LCD display. Figures 6 and 7 show such an application. No more than a 1mA load should be applied.

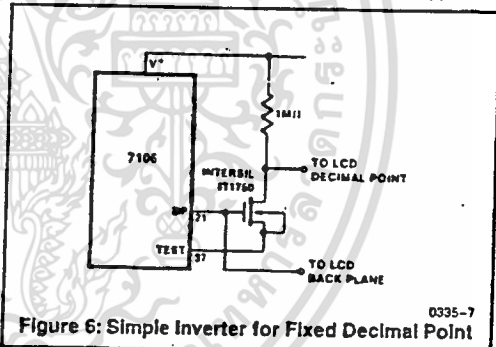


Figure 6: Simple Inverter for Fixed Decimal Point

0335-7

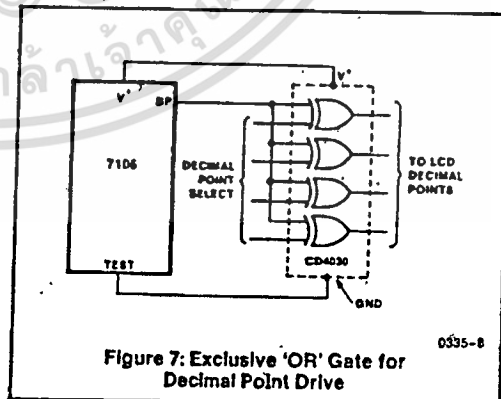


Figure 7: Exclusive 'OR' Gate for Decimal Point Drive

0335-8

INTERSIL'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISPLAY FONT

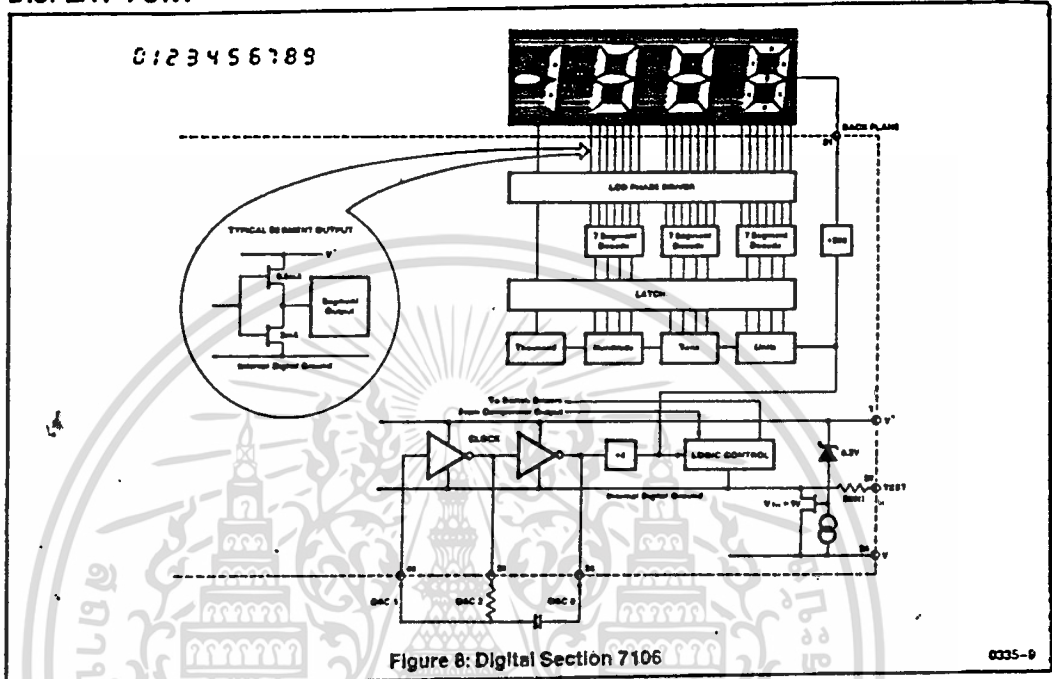


Figure 8: Digital Section 7106

0335-9

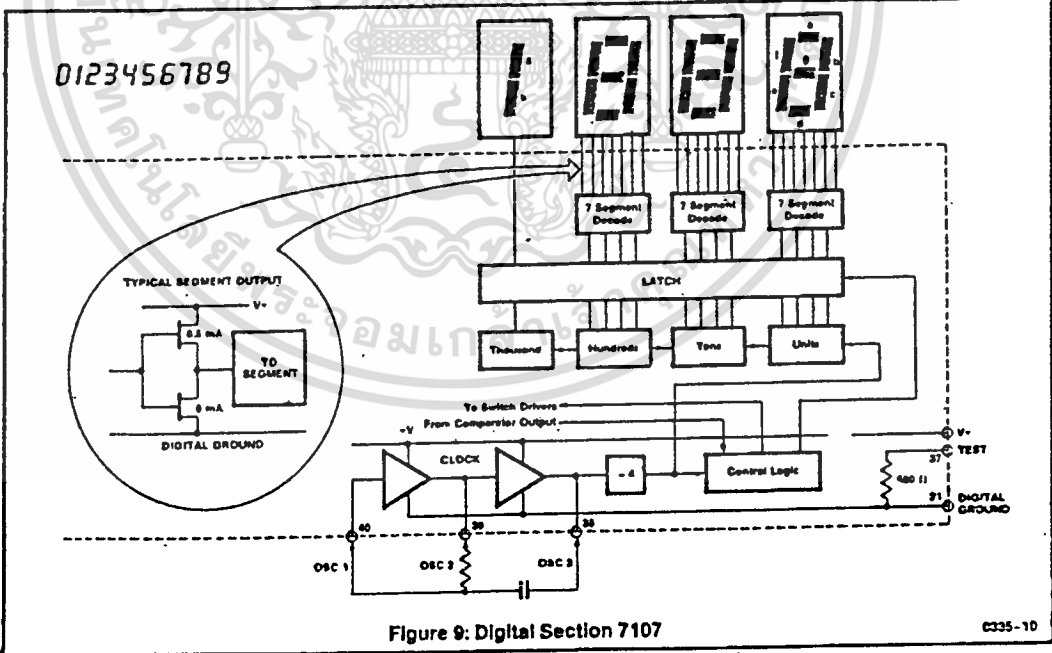


Figure 9: Digital Section 7107

0335-10

INTERMIL'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE All typical values have been characterized but are not tested

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ICL7106/ICL7107

INTERSIL

ICL7106/ICL7107

The second function is a "lamp test". When TEST is pulled high (to  $V^+$ ) all segments will be turned on and the display should read — 1888. The TEST pin will sink about 10mA under these conditions.

Caution: on the 7106, in the lamp test mode, the segments have a constant DC voltage (no square-wave) and may burn the LCD display if left in this mode for several minutes.

## DIGITAL SECTION

Figures 8 and 9 show the digital section for the 7106 and 7107, respectively. In the 7106, an internal digital ground is generated from a 6 volt Zener diode and a large P channel source follower. This supply is made stiff to absorb the relative large capacitive currents when the back plane (BP) voltage is switched. The BP frequency is the clock frequency divided by 800. For three readings/second this is a 60Hz square wave with a nominal amplitude of 5 volts. The segments are driven at the same frequency and amplitude and are in phase with BP when OFF, but out of phase when ON. In all cases negligible DC voltage exists across the segments.

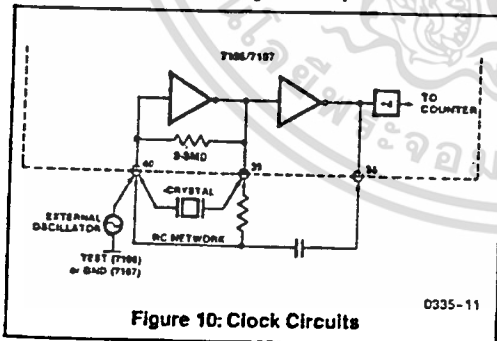
Figure 9 is the Digital Section of the 7107. It is identical to the 7106 except that the regulated supply and back plane drive have been eliminated and the segment drive has been increased from 2 to 8 mA, typical for instrument size common anode LED displays. Since the 1000 output (pin 19) must sink current from two LED segments, it has twice the drive capability or 16mA.

In both devices, the polarity indication is "on" for negative analog inputs. If IN LO and IN HI are reversed, this indication can be reversed also, if desired.

## System Timing

Figure 10 shows the clocking arrangement used in the 7106 and 7107. Three basic clocking arrangements can be used:

1. An external oscillator connected to pin 40.
2. A crystal between pins 39 and 40.
3. An R-C oscillator using all three pins.



The oscillator frequency is divided by four before it clocks the decade counters. It is then further divided to form the three convert-cycle phases. These are signal integrate (1000 counts), reference de-integrate (0 to 2000 counts) and auto-zero (1000 to 3000 counts). For signals less than full scale, auto-zero gets the unused portion of reference deintegrate. This makes a complete measure cycle of 4,000 counts (16,000 clock pulses) independent of input voltage. For three readings/second, an oscillator frequency of 48kHz would be used.

To achieve maximum rejection of 60Hz pickup, the signal integrate cycle should be a multiple of 60Hz. Oscillator frequencies of 240kHz, 120kHz, 80kHz, 60kHz, 48kHz, 40kHz, 33 $\frac{1}{3}$ kHz, etc. should be selected. For 50Hz rejection, Oscillator frequencies of 200kHz, 100kHz, 66 $\frac{2}{3}$  kHz, 50kHz, 40kHz, etc. would be suitable. Note that 40kHz (2.5 readings/second) will reject both 50 and 60Hz (also 400 and 440Hz).

## COMPONENT VALUE SELECTION

### Integrating Resistor

Both the buffer amplifier and the integrator have a class A output stage with 100 $\mu$ A of quiescent current. They can supply 20 $\mu$ A of drive current with negligible non-linearity. The integrating resistor should be large enough to remain in this very linear region over the input voltage range, but small enough that undue leakage requirements are not placed on the PC board. For 2 volt full scale, 470k $\Omega$  is near optimum and similarly a 47k $\Omega$  for a 200.0 mV scale.

### Integrating Capacitor

The integrating capacitor should be selected to give the maximum voltage swing that ensures tolerance build-up will not saturate the integrator swing (approx. 0.3 volt from either supply). In the 7106 or the 7107, when the analog COMMON is used as a reference, a nominal  $\pm 2$  volt full scale integrator swing is fine. For the 7107 with  $\pm 5$  volt supplies and analog COMMON tied to supply-ground, a  $\pm 3.5$  to  $\pm 4$  volt swing is nominal. For three readings/second (48kHz clock) nominal values for  $C_{INT}$  are 0.22 $\mu$ F and 0.10 $\mu$ F, respectively. Of course, if different oscillator frequencies are used, these values should be changed in inverse proportion to maintain the same output swing.

An additional requirement of the integrating capacitor is that it must have a low dielectric absorption to prevent roll-over errors. While other types of capacitors are adequate for this application, polypropylene capacitors give undetectable errors at reasonable cost.

### Auto-Zero Capacitor

The size of the auto-zero capacitor has some influence on the noise of the system. For 200mV full scale where noise is very important, a 0.47 $\mu$ F capacitor is recommended. On the 2 volt scale, a 0.047 $\mu$ F capacitor increases the speed of recovery from overload and is adequate for noise on this scale.

INTERSIL'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ICL7106/ICL7107



## Reference Capacitor

A 0.1μF capacitor gives good results in most applications. However, where a large common mode voltage exists (i.e. the REF LO pin is not at analog COMMON) and a 200mV scale is used, a larger value is required to prevent roll-over error. Generally 1.0μF will hold the roll-over error to 0.5 count in this instance.

## Oscillator Components

For all ranges of frequency a 100kΩ resistor is recommended and the capacitor is selected from the equation  $f = \frac{0.45}{RC}$ . For 48kHz clock (3 readings/second), C = 100pF.

## Reference Voltage

The analog input required to generate full-scale output (2000 counts) is:  $V_{IN} = 2V_{REF}$ . Thus, for the 200.0mV and 2.000 volt scale,  $V_{REF}$  should equal 100.0 mV and 1.000 volt, respectively. However, in many applications where the A/D is connected to a transducer, there will exist a scale factor other than unity between the input voltage and the digital reading. For instance, in a weighing system, the designer might like to have a full scale reading when the voltage from the transducer is 0.682V. Instead of dividing the input down to 200.0mV, the designer should use the input voltage directly and select  $V_{REF} = 0.341V$ . Suitable values for integrating resistor and capacitor would be 120kΩ and 0.22μF. This makes the system slightly quieter and also avoids a divider network on the input. The 7107 with ±5V supplies can accept input signals up to ±4V. Another advantage of this system occurs when a digital reading of zero is desired for  $V_{IN} \neq 0$ . Temperature and weighing systems with a variable tare are examples. This offset reading can be conveniently generated by connecting the voltage transducer between IN HI and COMMON and the variable (or fixed) offset voltage between COMMON and IN LO.

## 7107 Power Supplies

The 7107 is designed to work from ±5V supplies. However, if a negative supply is not available, it can be generated from the clock output with 2 diodes, 2 capacitors, and an inexpensive I.C. Figure 11 shows this application. See ICL7660 data sheet for an alternative.

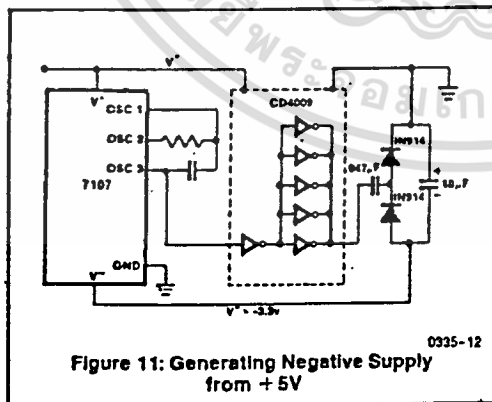


Figure 11: Generating Negative Supply from +5V

In fact, in selected applications no negative supply is required. The conditions to use a single +5V supply are:

1. The input signal can be referenced to the center of the common mode range of the converter.
2. The signal is less than ±1.5 volts.
3. An external reference is used.

## TYPICAL APPLICATIONS

The 7106 and 7107 may be used in a wide variety of configurations. The circuits which follow show some of the possibilities, and serve to illustrate the exceptional versatility of these A/D converters.

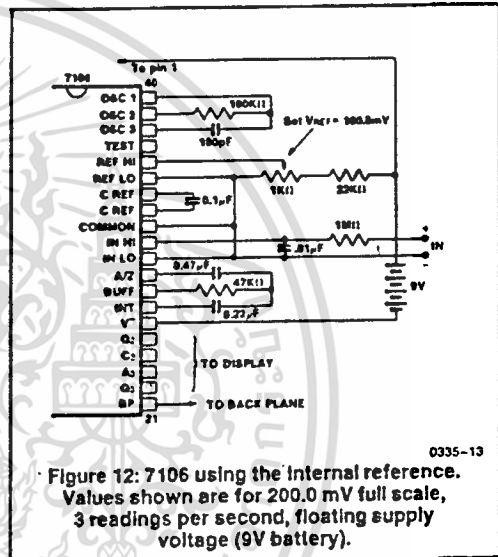


Figure 12: 7106 using the internal reference. Values shown are for 200.0 mV full scale, 3 readings per second, floating supply voltage (9V battery).

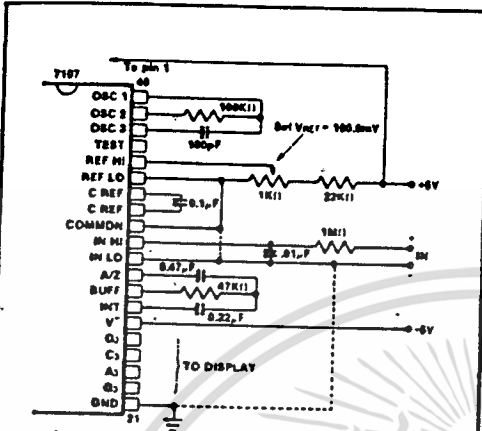
INTERMIL'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

# ICL7106/ICL7107

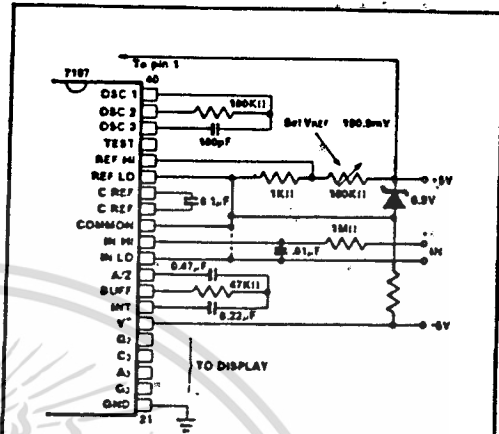
INTERMIL

ICL7106/ICL7107



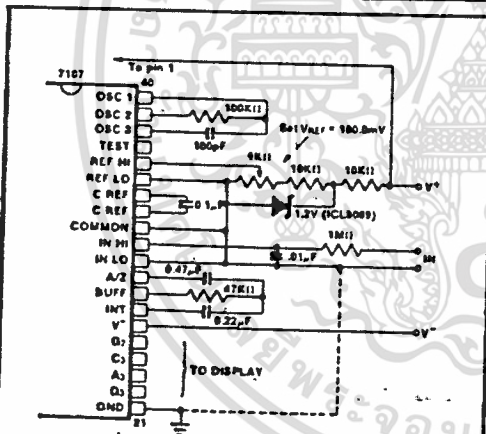
0335-14

Figure 13: 7107 using the internal reference. Values shown are for 200.0mV full scale, 3 readings per second. IN LO may be tied to either COMMON for inputs floating with respect to supplies, or GND for single ended inputs. (See discussion under Analog COMMON.)



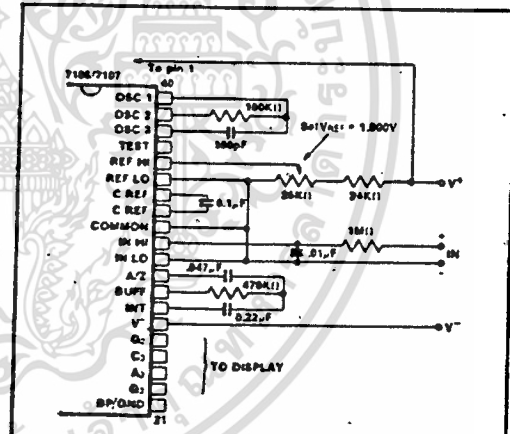
0335-16

Figure 15: 7107 with Zener diode reference. Since low T.C. zeners have breakdown voltages ~ 6.8V, diode must be placed across the total supply (10V). As in the case of Figure 15, IN LO may be tied to either COMMON or GND.



0335-15

Figure 14: 7107 with an external band-gap reference (1.2V type). IN LO is tied to COMMON, thus establishing the correct common mode voltage. If COMMON is not shorted to GND, the input voltage may float with respect to the power supply and COMMON acts as a pre-regulator for the reference. If COMMON is shorted to GND, the input is single ended (referred to supply ground) and the pre-regulator is over-riden.



0335-17

Figure 16: 7106/7107: Recommended component values for 2.000V full scale.

INTERMIL'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE: All typical values have been characterized but are not listed.

2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

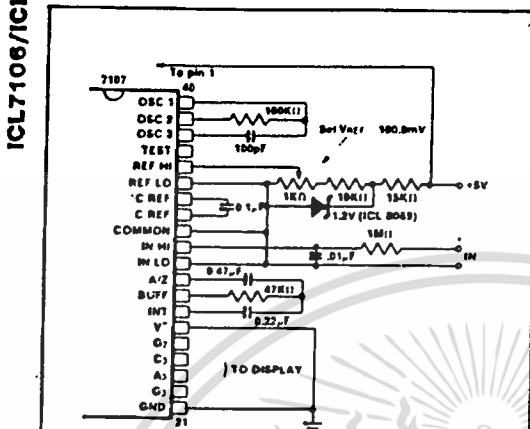


Figure 17: 7107 operated from single +5V supply. An external reference must be used in this application, since the voltage between V+ and V- is insufficient for correct operation of the internal reference.

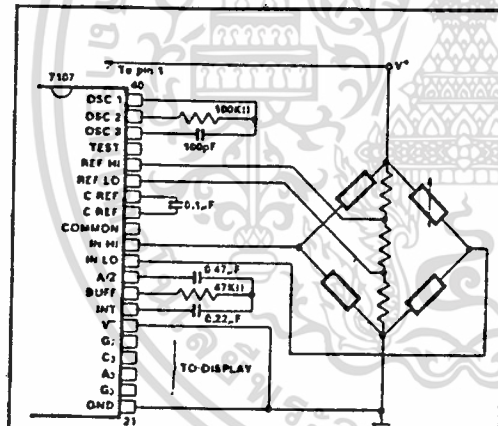


Figure 18: 7107 measuring ratiometric values of Quad Load Cell. The resistor values within the bridge are determined by the desired sensitivity.

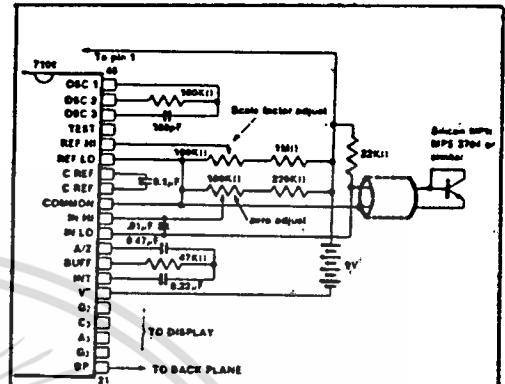


Figure 19: 7106 used as a digital centigrade thermometer. A silicon diode-connected transistor has a temperature coefficient of about  $-2mV/^{\circ}C$ . Calibration is achieved by placing the sensing transistor in ice water and adjusting the zeroing potentiometer for a 000.0 reading. The sensor should then be placed in boiling water and the scale-factor potentiometer adjusted for 100.0 reading.

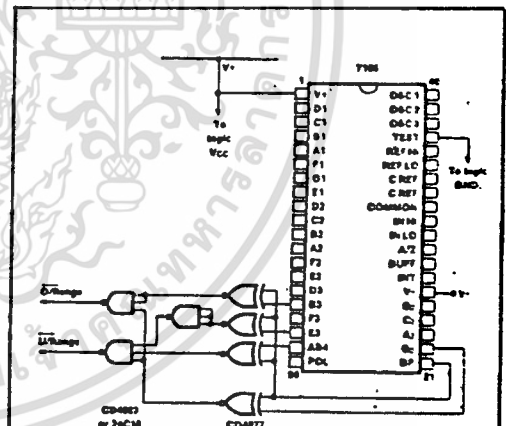


Figure 20: Circuit for developing Underrange and Overrange signals from 7106 outputs.

INTERMIL'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

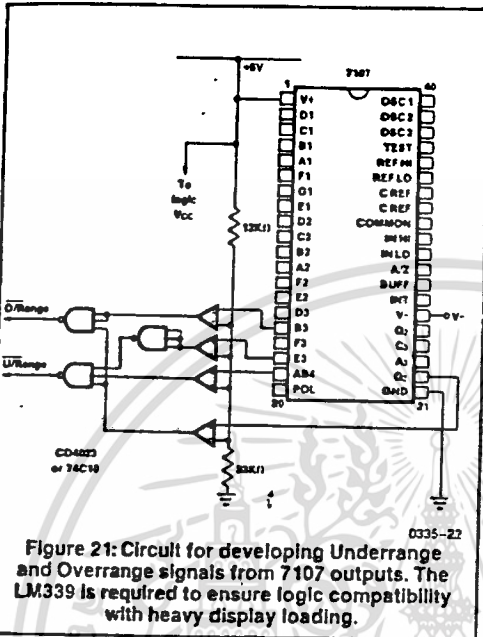


Figure 21: Circuit for developing Underrange and Overrange signals from 7107 outputs. The LM339 is required to ensure logic compatibility with heavy display loading.

all components required, then wiring a breadboard, can often cause delays of days or sometimes weeks. To avoid this problem and facilitate evaluation of these unique circuits, Intersil is offering a kit which contains all the necessary components to build a 3½-digit panel meter. With the help of this kit, an engineer or technician can have the system "up and running" in about half an hour.

Two kits are offered, the ICL7106EV/KIT and the ICL7107EV/KIT. Both contain the appropriate IC, a circuit board, a display (LCD for 7106EV/KIT, LEDs for 7107EV/KIT), passive components, and miscellaneous hardware.

**APPLICATION NOTES**

- A016 "Selecting A/D Converters", by David Fullagar.
- A017 "The Integrating A/D Converter", By Lee Evans.
- A018 "Do's and Don'ts of Applying A/D Converters", by Peter Bradshaw and Skip Osgood.
- A023 "Low Cost Digital Panel Meter Designs", by David Fullagar and Michael Dufort.
- A032 "Understanding the Auto-Zero and Common Mode Performance of the ICL7106/7/8 Family", by Peter Bradshaw.
- A046 "Building a Battery-Operated Auto Ranging DVM with the ICL7106", by Larry Goff.
- A052 "Tips for Using Single-Chip 3½-Digit A/D Converters", by Dan Watson.

**7106/7107 EVALUATION KITS**

After purchasing a sample of the 7106 or the 7107, the majority of users will want to build a simple voltmeter. The parts can then be evaluated against the data sheet specifications, and tried out in the intended application. However, locating and purchasing even the small number of addition-

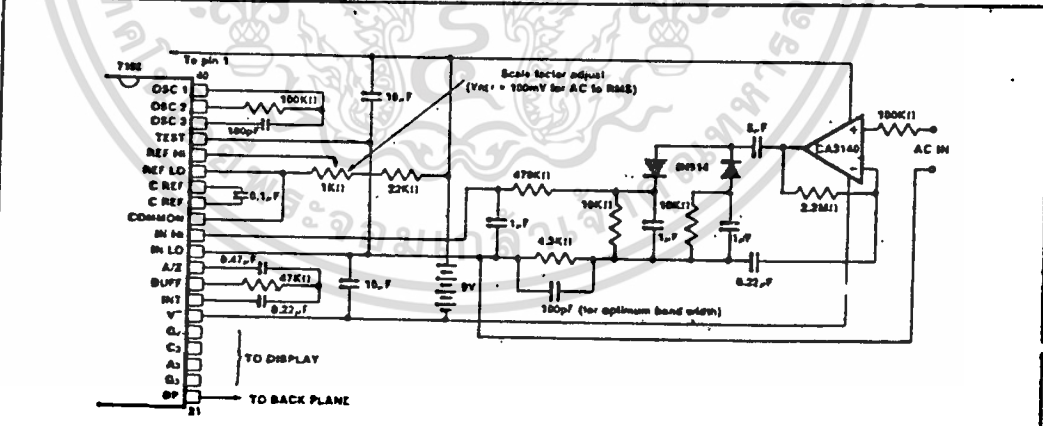


Figure 22: AC to DC Converter with 7106. TEST is used as a common mode reference level to ensure compatibility with most op-amps.

INTERSIL'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

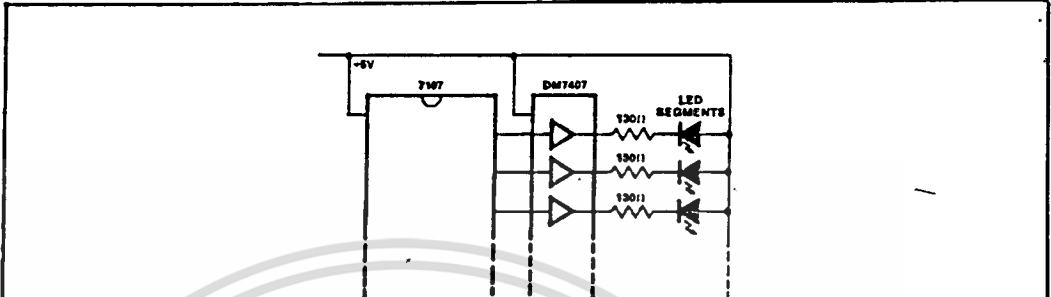
NOTE: All typical values have been characterized but are not tested

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7106/ICL7107



ICL7106/ICL7107



0335-24

Figure 23: Display Buffering for increased drive current. Requires four DM7407 Hex Buffers. Each buffer is capable of sinking 40 mA.



INTERSIL'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้