



เครื่องวัดระดับออกซิเจนในโลหิต
OXIMETER



โดย
นาย เกรียงไกร ฐานิกเกษตร
นาย ชูเกียรติ จิรังคพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2537

เครื่องวัดระดับออกซิเจนในโลหิต

OXIMETER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2537

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดระดับออกซิเจนในโลหิต (Oximeter)

ผู้จัดทำ

1. นาย เกรียงไกร สุวานิกเกษตร 34101031
2. นาย ชเกียรติ จิริงคพาณิชย์ 34102102



(ดร. กิติพล ชิตสกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เครื่องวัดระดับออกซิเจนในโลหิต

(OXIMETER)

โดย นายเกรียงไกร ฐานิกเกษตร 34101031

นายชูเกียรติ จิรังคพาณิชย์ 34102102

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กิติพล ชิตสกุล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ชุดนี้เป็นการศึกษาเพื่อรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎีในการวัดระดับออกซิเจนในโลหิต (SaO_2) ด้วยวิธีการทรงแสง รวมทั้งได้ทำการออกแบบระบบอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นตามทฤษฎี คือ ใช้แหล่งกำเนิดแสงในย่านความยาวคลื่นแสงสีแดง (R) และอินฟราเรด (IR) ส่งผ่านปลายนิ้วมือไปยังตัวรับแสง ซึ่งจะทำการตรวจวัดระดับความเข้มแสงทั้งสองความยาวคลื่น แล้วนำค่าที่ได้มาหาอัตราส่วนกัน ในรูป R/IR ก่อนนำไปคำนวณหาระดับออกซิเจนในโลหิต ตามสมการ $\text{SaO}_2 = A - B[R/IR]$ โดยที่ A และ B เป็นค่าคงที่ที่เหมาะสม

ABSTRACT

This thesis presents design and construction of arterial oxygen saturation measuring system by optical method. The principle of this system is based on the different absorption of two optical wavelengths by red blood cells (RBC). By transmitting a red (R ; 660 nm) and a infrared (IR ; 940 nm) light beams into the fingertip, the ratio $[R/IR]$ of passed through intensities is obtained, and the oxygen saturation is then electronically calculated from the equation $\text{SaO}_2 = A - B[R/IR]$ by which A and B are proper constants.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร. กิติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ซึ่งช่วยให้คำปรึกษาแนะนำ ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆภาคอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อนร่วมคณะที่ให้การสนับสนุนและ
คำแนะนำที่เป็นประโยชน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

วิทยานิพนธ์ชุดนี้จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการศึกษาวิชา Project 1 และ Project 2 ประจำปีการศึกษา 2537 ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ มีเนื้อหาเกี่ยวเนื่องกับหลักการทางทฤษฎีและการออกแบบสร้างเครื่องวัดระดับออกซิเจนในโลหิต (OXIMETER) รวมไปถึงการทดสอบการทำงานและสรุปผล แนะนำข้อบกพร่องต่างๆ ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ชุดนี้จะเป็นประโยชน์ในอันที่จะเป็นแนวทางขั้นต้น สำหรับผู้ที่มีความประสงค์จะพัฒนาเครื่องมือวัดชนิดนี้ให้มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพที่สูงยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

หากวิทยานิพนธ์ชุดนี้มีข้อบกพร่องประการใดๆก็ตาม ผู้จัดทำก็ขอภัยไว้ ณ.

ผู้เขียน
ทินด้วย

สารบัญ

บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	II
คำนำ	III
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 สรีระและระบบการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในร่างกาย	2
1.3 หลักการวัดปริมาณของออกซิเจนในเลือด	7
บทที่ 2 OXIMETRY	9
2.1 หลักการทางแสงของ OXIMETER	9
2.2 แหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสง	20
2.3 ระบบ RED-INFRARED OXIMETER	29
บทที่ 3 การออกแบบและการทำงานของวงจร	36
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	55
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์ผล	57
ภาคผนวก ก : วงจร	
ภาคผนวก ข : DATASHEET	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

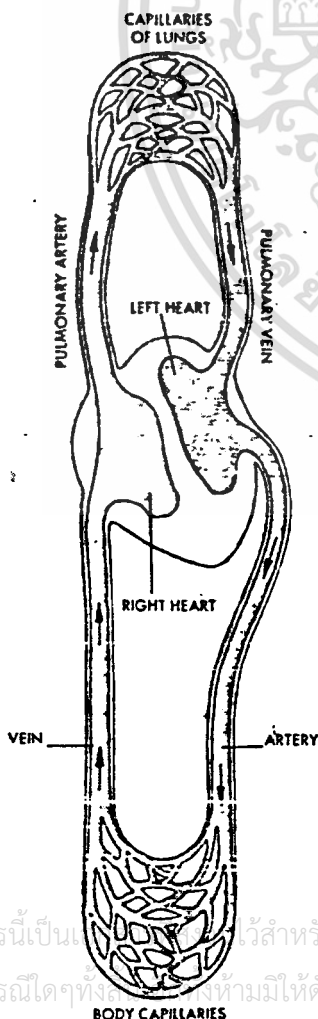
1.1. ความเป็นมาของโครงการ

เครื่องวัดระดับออกซิเจนในเลือด (OXIMETER) มีประโยชน์เป็นอย่างมากในการช่วยตรวจสอบสุขภาพหรืออาการผิดปกติต่างๆอันอาจเกิดขึ้นต่อบุคคลทั่วไป ผู้ป่วย หรือ ทารกแรกเกิดได้ อย่างไรก็ตามเครื่องมือวัดดังกล่าวมีราคาค่อนข้างสูง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีใช้กันแต่เฉพาะในโรงพยาบาลใหญ่เท่านั้น โครงการนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการศึกษาหลักการทางทฤษฎีรวมทั้งทำการออกแบบสร้างเครื่อง OXIMETER ขึ้น โดยเน้นให้มีราคาถูกลงแต่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อบุคคลทั่วไปได้ ตัวอย่างเช่น ใช้ในการตรวจสอบระดับออกซิเจนของบุคคลต่างๆ ในสภาวะแวดล้อมที่แออัด หรือมีมลภาวะทางอากาศเป็นพิษ

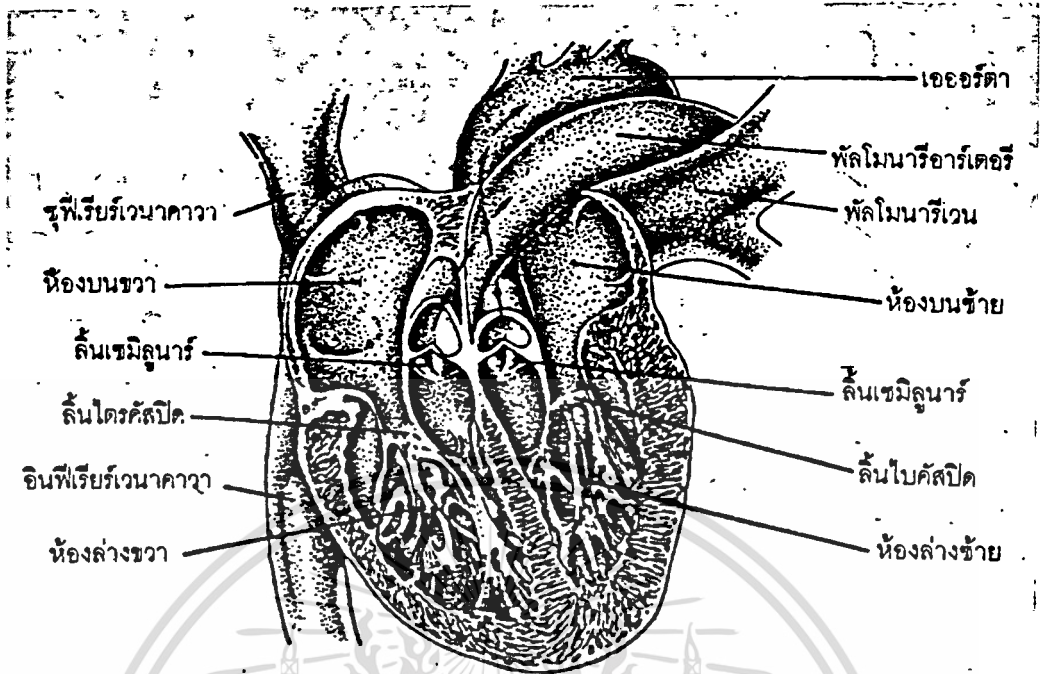
1.2 สรีระและระบบการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในร่างกาย

1.2.1 ระบบการหมุนเวียนเลือด

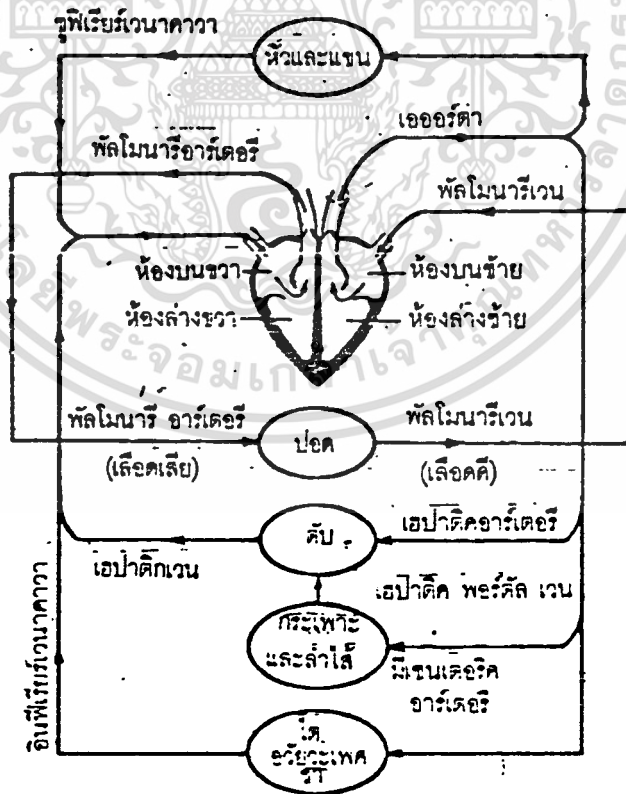
ระบบการหมุนเวียนเลือดมีกระบวนการดังต่อไปนี้ หัวใจซึ่งเป็นตัวสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงยังส่วนต่างๆ ของร่างกายตลอดเวลา จะบีบเลือดให้ไหลจากหัวใจซีกซ้ายผ่านเส้นเลือดแดงใหญ่ (ARTERY) ไปยังเส้นเลือดฝอย (CAPILLARY) เพื่อนำสารอาหารและ ออกซิเจนในเลือดซึมผ่านไปเลี้ยงอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย และเมื่อเลือดดำผ่านเส้นเลือดดำใหญ่ (VEIN) เข้าไปยังหัวใจซีกขวา หัวใจจะบีบเลือดอีกครั้งส่งไปยังปอดเพื่อทำการแลกเปลี่ยนก๊าซ ทำให้เลือดได้รับออกซิเจนมากขึ้นกลายเป็นเลือดแดงไหลกลับมายังหัวใจซีกซ้ายเพื่อสูบฉีดไปเลี้ยงร่างกายอีกครั้งต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบการหมุนเวียนของเลือด



รูปที่ 2 แสดงส่วนต่างๆของหัวใจเมื่อผ่าตามยาว



รูปที่ 3 แสดงอาร์เตอรี และเวน เส้นเลือดที่สำคัญๆในร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2 หัวใจแบ่งออกเป็น 4 ห้อง คือ หัวใจซีกซ้าย 2 ห้อง และหัวใจซีกขวา 2 ห้อง หัวใจซีกซ้ายมีเส้นเลือด 2 เส้นคือพัลโมนารีเวน (PULMONARY VEIN) เป็นเส้นรับเลือดจากปอดข้างซ้ายและข้างขวา ส่วนหัวใจซีกขวามีเส้นเลือด 2 เส้นคือ เวนาคาวา (VENACAVA) รับเลือดมาจากส่วนต่างๆของร่างกายเข้าสู่หัวใจห้องบนขวา ภายในหัวใจซีกขวามีลิ้นไตรคัสปิด (TRICUSPID VALVE) กั้นอยู่เพื่อให้เลือดไหลจากหัวใจจากห้องบนขวาไปยังห้องล่างขวาและหัวใจซีกซ้ายมีลิ้นไบคัสปิด (BICUSPID VALVE) เพื่อกั้นไม่ให้เลือดไหลย้อนขึ้นสู่ห้องบนซ้าย

จากรูปที่ 3 การหมุนเวียนเลือด เริ่มจากหัวใจห้องบนขวารับเลือดจากส่วนหัวและแขนทาง ซุปรีเรีย เวนาคาวา (Superior venacava) ส่วนเลือดจากลำตัวและขาเข้าทางอินฟีเรีย เวนาคาวา (Inferior venacava) เข้าสู่หัวใจห้องบนขวาเช่นกัน เมื่อหัวใจห้องขวานบีบตัว เลือดจะไหลลงสู่ห้องล่างขวาโดยผ่านลิ้นไตรคัสปิด เมื่อหัวใจห้องล่างขวานบีบตัว เลือดจะเข้าสู่พัลโมนารี อาร์เตอร์รี่ (PULMONARY ARTERY) โดยผ่านลิ้นเซมิลูนาร์ เส้นเลือดนี้นำเลือดไปแลกเปลี่ยนก๊าซโดยการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับปอดแล้วรับออกซิเจนจากปอด ทำให้เลือดมีออกซิเจนสูงไหลกลับเข้าสู่หัวใจทางพัลโมนารี-เวนไปยังห้องบนซ้าย หัวใจห้องบนซ้ายบีบเลือดให้ไหลผ่านลิ้นไบคัสปิดลงสู่ห้องล่างซ้าย หัวใจห้องล่างซ้ายบีบเลือดให้ไหลออกทางเอออร์ตาซึ่งมีลิ้นเซมิลูนาร์ เป็นตัวกั้นไม่ให้เลือดไหลย้อนกลับเข้าสู่หัวใจห้องล่างซ้ายอีก เมื่อเลือดเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกายเสร็จแล้ว จะกลายเป็นเลือดเสียไหลกลับสู่หัวใจห้องบนขวาทาง เวนาคาวาอีกครั้ง

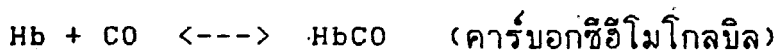
1.2.2 ระบบการแลกเปลี่ยนก๊าซในร่างกาย

การแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดขึ้นระหว่างเส้นเลือดฝอยกับปอดและเส้นเลือดฝอยกับเนื้อเยื่อ การแลกเปลี่ยนก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นเลือดฝอยกับปอดนั้นเป็นการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนที่มีอยู่ในปอด แพร่ผ่านเข้าไปในเส้นเลือดฝอยและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเส้นเลือดฝอยแพร่ผ่านเข้าไปในปอด เนื่องจากผนังของถุงลมและผนังของเส้นเลือดฝอยมีความดันที่แตกต่างกัน ทำให้การเคลื่อนที่ของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถผ่านผนังของเส้นเลือดฝอยและผนังของถุงลมปอดเข้าไปได้ ในทำนองเดียวกันกับการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างเส้นเลือดฝอยกับเนื้อเยื่อ

การลำเลียงก๊าซทั้งก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในร่างกายอาศัยน้ำเลือด (Plasma) ลำเลียงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ทำหน้าที่ลำเลียงก๊าซออกซิเจน ฮีโมโกลบินอยู่ในเม็ดเลือดแดงสามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนได้ดังนี้

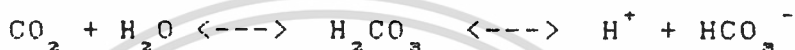


จากปฏิกิริยาจากซ้ายไปขวา คือออกซีฮีโมโกลบิน (Hb) จะกลายเป็นออกซีฮีโมโกลบิน (HbO₂) นอกจากนี้ยังมีบางส่วนซึ่งเป็นปริมาณเล็กน้อยละลายอยู่ในน้ำเลือดรวมทั้ง ก๊าซ N₂ และ CO₂ ในน้ำเลือด เมื่อ HbO₂ ถูกลำเลียงมายังเนื้อเยื่อของร่างกายโดยเข้าสู่เส้นเลือดฝอยจะเกิดปฏิกิริยากลับกัน นั่นคือ เกิดปฏิกิริยาไปทางซ้ายมือ HbO₂ จะคาย O₂ เนื่องจากก๊าซออกซิเจนภายในเส้นเลือดฝอยมีความดันมากกว่าในเนื้อเยื่อ ทำให้ก๊าซออกซิเจนแพร่ผ่านผนังเข้าไปยังเนื้อเยื่อเพื่อนำไปใช้ แต่ถ้าภายในเลือดมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เนื่องจากอากาศที่หายใจเข้าไปมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากผิดปกติจะทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ร่วมกับฮีโมโกลบินได้เป็น



เมื่อ CO รวมกับ Hb แล้วจะไม่ยอมปล่อย Hb ให้เป็นอิสระ ดังนั้นจึงทำให้การลำเลียงกาซออกซิเจนลดปริมาณลงจนเป็นอันตรายได้

ส่วนการลำเลียงกาซคาร์บอนไดออกไซด์นั้น CO_2 ที่ปล่อยจากเนื้อเยื่อบางส่วนจะละลายน้ำแต่ส่วนใหญ่จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้เป็น



เนื่องจากเซลล์เนื้อเยื่อปล่อย CO_2 ให้แก่เส้นเลือดฝอยตลอดเวลาปฏิกิริยาจากซ้ายไปขวาจะเกิดอย่างรวดเร็ว ดังนั้น CO_2 ส่วนใหญ่ถูกลำเลียงไปยังปอดในรูปของ HCO_3^- เมื่อถึงถุงลมปอดปฏิกิริยาจะย้อนกลับจากขวามาซ้ายเพื่อปล่อย CO_2 ให้กับถุงลมและ CO_2 จะถูกปล่อยออกมาที่ปอดหายใจออก

จากกระบวนการดังกล่าวจะเห็นว่าปริมาณออกซิเจนภายในเส้นเลือดแดงใหญ่จะมีปริมาณมากกว่าปริมาณออกซิเจนภายในเส้นเลือดดำใหญ่ ในทางกลับกันปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในเส้นเลือดแดงใหญ่มีปริมาณน้อยกว่า ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในเส้นเลือดดำใหญ่

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อหรือการออกกำลังกาย ทำให้ความเข้มข้นของ CO_2 เพิ่มขึ้นในน้ำเลือด ส่งผลให้อัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นตามเพราะร่างกายต้องการจับ CO_2 และ เนื้อเยื่อต้องการได้รับ O_2 มากขึ้น CO_2 จะไปกระตุ้นให้หัวใจเต้นเร็วขึ้น การหมุนเวียนเลือดจึงเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนกาซเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

1.3 หลักการวัดปริมาณของออกซิเจนในเลือด

การวัดปริมาณออกซิเจนในเลือด สามารถแสดงออกมาในรูปของ Oxygen Saturation (SaO_2) ได้ดังสมการ

$$SaO_2 = \frac{C(HbO_2)}{C(Hb) + C(HbO_2)}$$

โดยที่ $C(HbO_2)$ คือ ระดับความเข้มข้นของ Oxyhemoglobin ในเลือด
 $C(Hb)$ คือ ระดับความเข้มข้นของ Deoxyhemoglobin ในเลือด

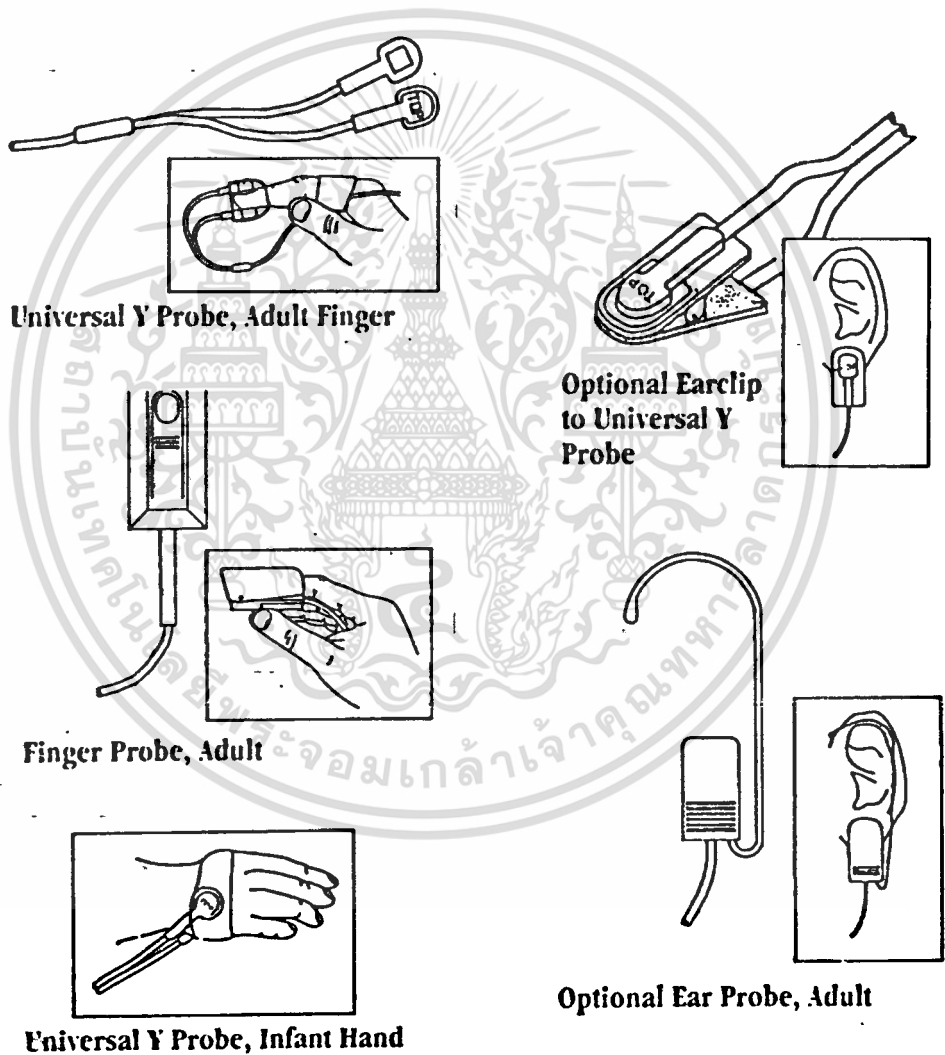
สำหรับวิธีที่ใช้ในการวัดค่า มีอยู่หลายแบบ ทั้งแบบที่ต้องสอดอุปกรณ์วัดผ่านเข้าไปในร่างกาย (Invasive) และแบบที่ไม่ต้องสอดอุปกรณ์เข้าไปในร่างกาย (Noninvasive) เช่น ใช้วิธีเจาะเลือดแล้วนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจน สอดหัววัดเข้าไปในเส้นเลือด ฯลฯ แต่วิธีการหนึ่งที่สะดวกและปลอดภัย ไม่ต้องเสี่ยงต่อการติดเชื้อ คือ การตรวจวัดโดยอาศัยหลักการดูดกลืนและสะท้อนแสงของเลือด วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ชุดนี้

โดยทั่วไปวิธีการวัดปริมาณออกซิเจนในเลือดด้วยวิธีการทางแสงจะแบ่งออกเป็น

1) แบบสะท้อน (Reflection) - วิธีการคือ ใช้ลำแสง 2 ความถี่ ได้แก่แสงในย่านสีแดง และแสงในย่านอินฟราเรด ส่งไปยังอวัยวะบางส่วนของร่างกายที่มีเส้นเลือดแดง เช่น ปลายนิ้ว หน้าผาก แล้วใช้อุปกรณ์ตรวจจับแสงที่สะท้อนออกมา อัตราส่วนระหว่างปริมาณความเข้มแสงของทั้ง 2 ความถี่ จะมีความสัมพันธ์ในรูปสมการ เส้นตรงกับระดับออกซิเจนในเลือด

2) แบบส่องผ่าน (Transmission) - วิธีการคล้ายกับวิธีแรกแต่จะทำการตรวจจับปริมาณความเข้มแสงที่ส่องผ่านอวัยวะแทน ด้วยเหตุนี้ทำให้ต้องใช้กับอวัยวะที่บางพอที่แสงจะส่องผ่านไปได้บ้าง เช่น ปลายนิ้วมือ ใบหู ฝ่ามือของเด็กทารกอัตราส่วนของความเข้มแสงที่ส่องผ่านทั้ง 2 ความถี่ จะมีความสัมพันธ์แบบสมการเส้นตรงกับระดับออกซิเจนในเลือดเช่นเดียวกัน

ตัวอย่างของหัววัด (Probe) ของวิธีการดังกล่าวมีลักษณะต่างๆ ดังรูป 4



รูปที่ 4 หัววัดแบบต่างๆของ OXIMETER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บทที่ 2

OXIMETRY

2.1 หลักการทางแสงของ OXIMETER

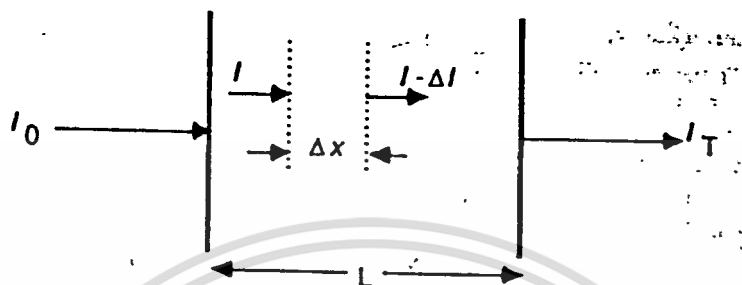
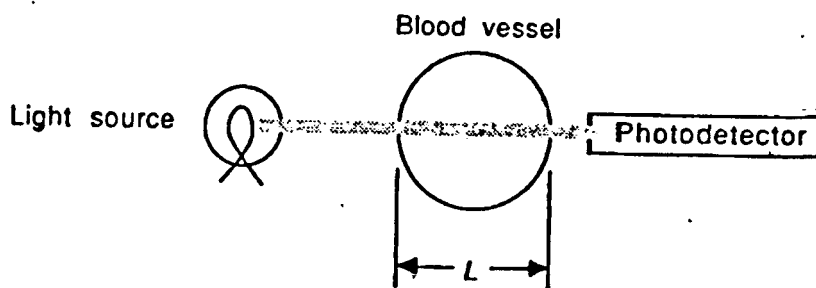
แสง คือ การแผ่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในย่านความถี่ช่วงหนึ่ง มีคุณสมบัติใน 2 ลักษณะคือ คุณสมบัติเชิงคลื่น (การสะท้อน, แทรกสอด, เลี้ยวเบน ฯลฯ) และ คุณสมบัติเชิงอนุภาค (โมเมนตัม, เป็นกลุ่มก้อน ฯลฯ)

เมื่อแสงกระทบเข้ากับวัตถุจะเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ คือ

- 1) ถูกดูดกลืน (Absorption)
- 2) ทะลุผ่าน (Transmission)
- 3) สะท้อน (Reflection)
- 4) หักเห (Refraction)
- 5) แแตกกระจาย (Scattering)

2.1.1 กฎการดูดกลืนของแสง

เมื่อแสงตกกระทบ และผ่านเข้าไปในสสาร พลังงานแสงบางส่วนจะถูกโครงสร้างภายในสสารดูดกลืนเอาไว้ทำให้ปริมาณแสงลดลงไปเรื่อยๆ เมื่อแสงเดินทางผ่านสสารเป็นระยะทางที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5 การดูดกลืนแสงของสสาร

จากรูปที่ 5 เมื่อแสงที่มีความเข้ม I_0 ตกกระทบสสารที่มีความยาว L แสงจะถูกกลืนและมีความเข้มลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งออกจากสสารนี้ด้วยความเข้มแสง I_T ถ้าหากแบ่งระยะทางที่แสงเดินทางผ่านออกเป็นส่วนย่อยๆ แต่ละส่วนมีความยาว Δx และกำหนดให้แสงที่ตกกระทบด้านซ้ายของพื้นผิวมีความเข้มเท่ากับ I แสงที่เดินทางผ่านระยะ Δx แล้วจะมีความเข้มลดลงเหลือเท่ากับ $I - \Delta I$ Lambert's Law กล่าวไว้ว่า การดูดกลืนแสงของสสารต่อหน่วยความยาว จะแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบสสารนั้น หรือ

$$\Delta I = -KI\Delta x$$

$$\frac{\Delta I}{I} = -K\Delta x$$

I

เมื่อย่อขนาด ΔI , Δx ลงจนเข้าใกล้ศูนย์ จะทำให้ได้สมการอนุพันธ์คือ

$$\frac{dI}{I} = -Kdx$$

I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการอินทิเกรตทั้งสองข้างจาก 0 ถึง L จะได้

$$\int \frac{dI}{I} = \int_0^L -K dx$$

I

$$\ln \frac{I_T}{I_0} = -KL$$

I₀

ถ้าเปลี่ยนให้อยู่ในรูปล็อกการิทึมฐานสิบจะได้

$$\text{Log} \frac{I_T}{I_0} = -K''L$$

สมการดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มแสงที่สามารถผ่านสารไปได้จะขึ้นอยู่กับความหนาของสาร อย่างไรก็ตามถ้าสารมีความหนาคงที่ แต่มีความเข้มข้น (Concentration) เปลี่ยนแปลง Beer's Law ก็กล่าวไว้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารขึ้น ปริมาณแสงที่ผ่านไปได้ จะมีค่าลดลง

$$\Delta I = -K''I \Delta C$$

เมื่อ ΔC คือ ค่าความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลง

$$\frac{\Delta I}{I} = -K'' \Delta C$$

I

ทำให้ได้ความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกัน คือ

$$\log \frac{I_T}{I_0} = -K''C$$

เมื่อนำกฎทั้ง 2 ข้อมารวมกันจะได้เป็น Beer-Lambert's Law คือ

$$\log \frac{I_0}{I_T} = \alpha C d$$

โดยที่

I_0 คือ ความเข้มแสงตกกระทบ

I_T คือ ความเข้มแสงที่ผ่านไปได้

α คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง

C คือ ความเข้มข้น

d คือ ระยะที่แสงเดินทางผ่าน

ค่าของ α จะขึ้นอยู่กับชนิดของสสาร และความยาวคลื่นของแสงที่ส่องผ่าน
สำหรับคำนิยามต่างๆ ที่สำคัญ มีดังนี้

$$\log \frac{I_0}{I_T} = \text{Optical Density (O.D.)}$$

$$I_T$$

$$\log \frac{I_0}{I_T} = \text{Absorbance}$$

$$I_T$$

$$100 \frac{I_T}{I_0} = \text{Percent Transmission}$$

$$I_0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สมการที่ใช้ในการคำนวณค่า SaO_2

1) สำหรับ Transmission Oximeter

จาก Beer-Lambert's Law

$$\text{Optical Density (O.D.)} = \alpha C d$$

เมื่อลำแสงส่องผ่านอวัยวะที่มีเส้นเลือดแดงผ่าน จะทำให้ค่า O.D. รวม ประกอบไปด้วย O.D. ขององค์ประกอบ 3 ส่วน คือ Oxyhemoglobin ในเลือด, Deoxyhemoglobin ในเลือด และเนื้อเยื่อต่างๆ (Tissue) ดังสมการ

$$\text{O.D.} = \alpha(\text{Hb})C(\text{Hb})d(\text{Hb}) + \alpha(\text{HbO}_2)C(\text{HbO}_2)d(\text{HbO}_2) + \alpha(\text{T})C(\text{T})d(\text{T})$$

ทำการดิฟเฟอเรนเชียลเทียบกับเวลาจะได้

$$\frac{d(\text{O.D.})}{dt} = \frac{d[\alpha(\text{Hb})C(\text{Hb})d(\text{Hb}) + \alpha(\text{HbO}_2)C(\text{HbO}_2)d(\text{HbO}_2)]}{dt} + \frac{d[\alpha(\text{T})C(\text{T})d(\text{T})]}{dt}$$

เทอมสุดท้ายเป็นของเนื้อเยื่อซึ่งมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำให้มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนสองเทอมแรกมีค่าเปลี่ยนแปลงตามการดูดซับเลือดของหัวใจและเนื่องจาก $\text{O.D.} = \ln \frac{I_0}{I_T} = -\ln \frac{I_T}{I_0}$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\frac{d(\text{O.D.})}{dt} = -\frac{d(\ln \frac{I_T}{I_0})}{dt}$$

$$- \frac{d(\ln I_T)}{dt} = \frac{d[\alpha(\text{Hb})C(\text{Hb})d(\text{Hb}) + \alpha(\text{HbO}_2)C(\text{HbO}_2)d(\text{HbO}_2)]}{dt}$$

เมื่อแสงที่ใช้สองผ่านอวัยวะมี 2 ความถี่ คือในย่านสีแดง (R) และในย่านอินฟราเรด (IR) ค่าอัตราส่วนระหว่าง O.D. ของแสงทั้งสองความถี่คือ

$$\frac{\frac{d[\ln I_T(R)]}{dt}}{\frac{d[\ln I_T(IR)]}{dt}} = \frac{\frac{d[C(\text{Hb})\alpha_R(\text{Hb})d(\text{Hb}) + C(\text{HbO}_2)\alpha_R(\text{HbO}_2)d(\text{HbO}_2)]}{dt}}{\frac{d[C(\text{Hb})\alpha_{IR}(\text{Hb})d(\text{Hb}) + C(\text{HbO}_2)\alpha_{IR}(\text{HbO}_2)d(\text{HbO}_2)]}{dt}}$$

โดยที่ α_R คือสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในย่านแสงสีแดง
 α_{IR} คือสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในย่านแสงอินฟราเรด

ถ้าแทน $\frac{d[\ln I_T(R)]}{dt} / \frac{d[\ln I_T(IR)]}{dt}$ ด้วย R/IR

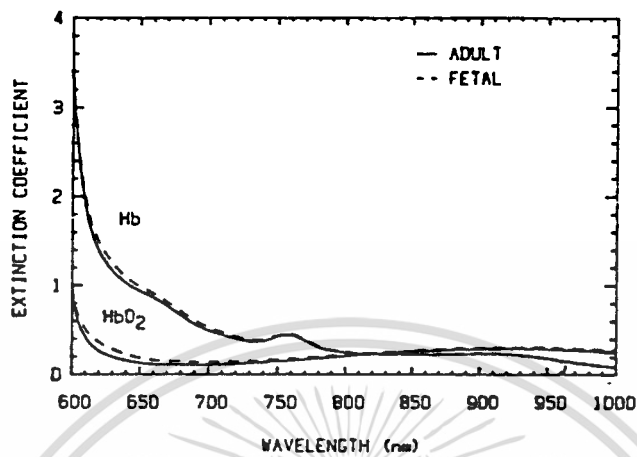
อาศัยความสัมพันธ์ $SaO_2 = \frac{C(\text{HbO}_2)}{C(\text{Hb}) + C(\text{HbO}_2)}$ และ

เนื่องจาก $d(\text{Hb}) = -d(\text{HbO}_2)$ ทำการจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$SaO_2 = \frac{-\alpha_R(\text{Hb}) + \alpha_{IR}(\text{Hb}) * [R/IR]}{[\alpha_R(\text{HbO}_2) - \alpha_R(\text{Hb})] + [\alpha_{IR}(\text{Hb}) - \alpha_{IR}(\text{HbO}_2)] * [R/IR]}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า α ของ HbO_2 และ Hb จะแปรเปลี่ยนไปตามความยาวคลื่นแสงดังกราฟ
ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าของ α ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

ถ้าทำการเลือกความยาวคลื่นในย่านอินฟราเรดที่ทำให้ $\alpha_{IR}(\text{HbO}_2)$ มีค่า
เท่ากับ $\alpha_{IR}(\text{Hb})$ ซึ่งก็คือ ความยาวคลื่นประมาณ 805 nm ก็จะได้สมการความ
สัมพันธ์คือ

$$S_{aO_2} = A - B[R/IR]$$

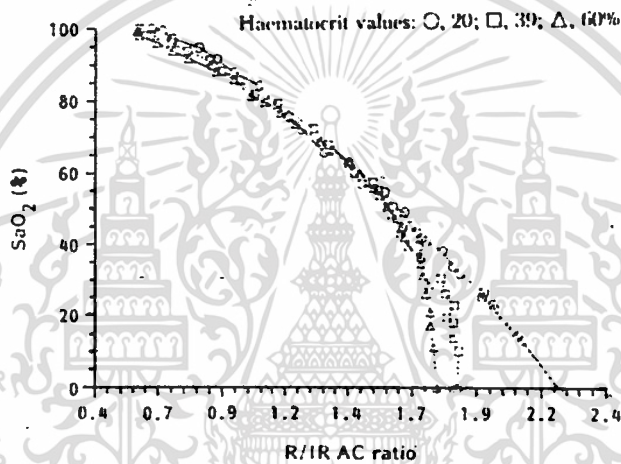
$$\text{โดยที่ } A = \frac{\alpha_{IR}(\text{Hb})}{\alpha_{IR}(\text{Hb}) - \alpha_{IR}(\text{HbO}_2)}$$

$$B = \frac{\alpha_{IR}(\text{Hb})}{\alpha_{IR}(\text{Hb}) - \alpha_{IR}(\text{HbO}_2)}$$

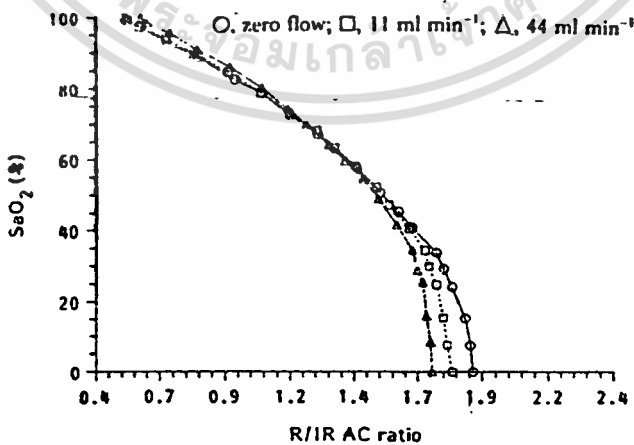
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า SaO_2 มีความสัมพันธ์กับ R/IR ในลักษณะเส้นตรง (Linear) อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้ว ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การกระเจิง (Scattering) ของแสงเนื่องจากเซลล์เม็ดเลือดแดง ทำให้ความสัมพันธ์ที่ได้ไม่เป็นเส้นตรงที่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตามสำหรับค่า SaO_2 ตั้งแต่ 70% ขึ้นไปแล้วก็พอที่จะประมาณได้ว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นไปตามสมการ ส่วนค่า SaO_2 ที่ต่ำกว่า 70% ค่าที่วัดได้จะมีความผิดพลาดมากขึ้น

ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SaO_2 กับ R/IR ที่สภาวะต่างๆกัน มีลักษณะดังต่อไปนี้

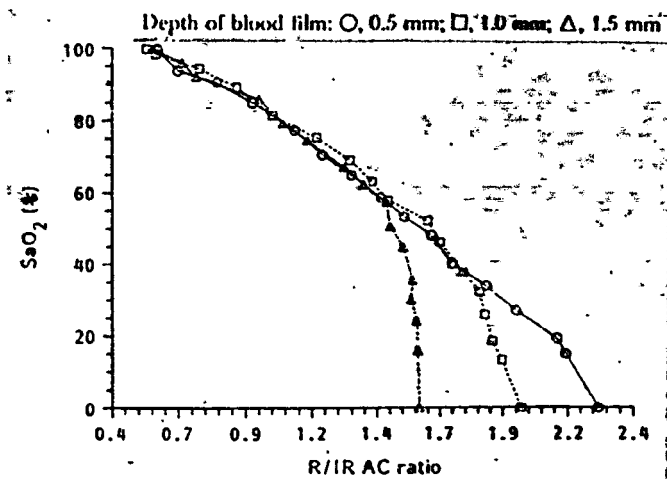


รูปที่ 7 ผลของระดับความเข้มข้นเกล็ดเลือดที่ระดับต่างๆกัน

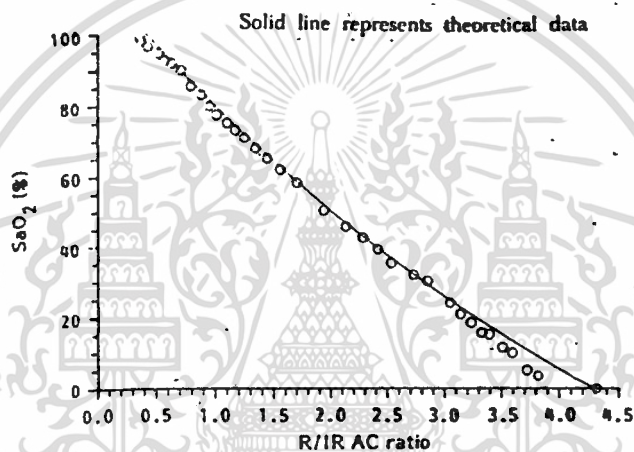


รูปที่ 8 ผลของอัตราการไหลเวียนโลหิตที่ระดับต่างๆกัน

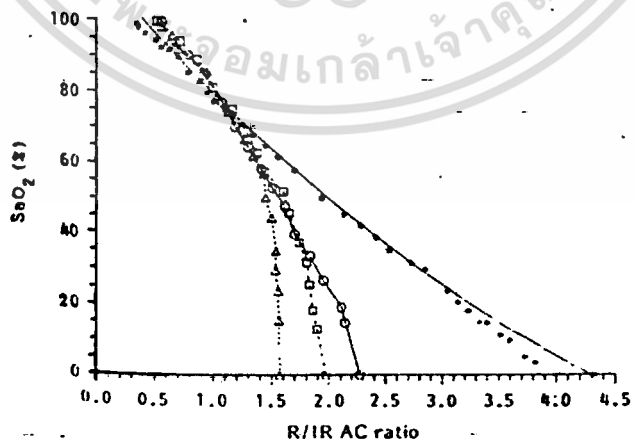
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 ผลของปริมาณเนื้อเยื่อที่บรรจุเลือดขนาดต่างๆกัน



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์เมื่อทำให้เซลล์เม็ดเลือดแตกออก



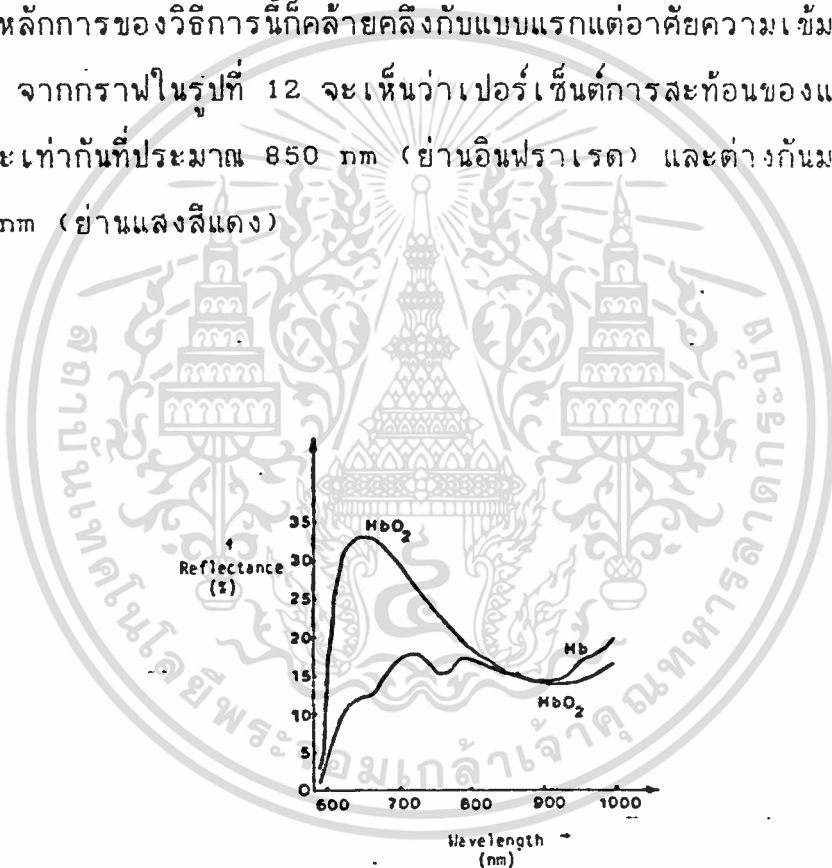
รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเลือดที่เซลล์เม็ดเลือดแดงปกติ และที่ถูกทำให้แตกออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟทั้งหมดได้มาจากผลการทดสอบโดยอาศัยแบบจำลองการไหลเวียนโลหิตจะเห็นได้ว่าสำหรับ saO_2 ที่มีค่าสูงกว่า 50% สภาวะต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของเกล็ดเลือด อัตราการไหลเวียนโลหิตและปริมาตรเนื้อเยื่อจะมีผลต่อความสัมพันธ์น้อยมาก

2) สำหรับ Reflection Oximeter

หลักการของวิธีการนี้คล้ายคลึงกับแบบแรกแต่อาศัยความเข้มแสงที่สะท้อนออกมาแทน จากกราฟในรูปที่ 12 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงจาก HbO_2 และ Hb จะเท่ากันที่ประมาณ 850 nm (ย่านอินฟราเรด) และต่างกันมากที่สุดที่ประมาณ 650 nm (ย่านแสงสีแดง)



รูปที่ 12 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของเลือด ที่ความยาวคลื่นแสงต่างๆ กัน

สมการความสัมพันธ์ของวิธีนี้จะอยู่ในรูป

$$SaO_2 = A - B[I_{1R}/I_{7R}]$$

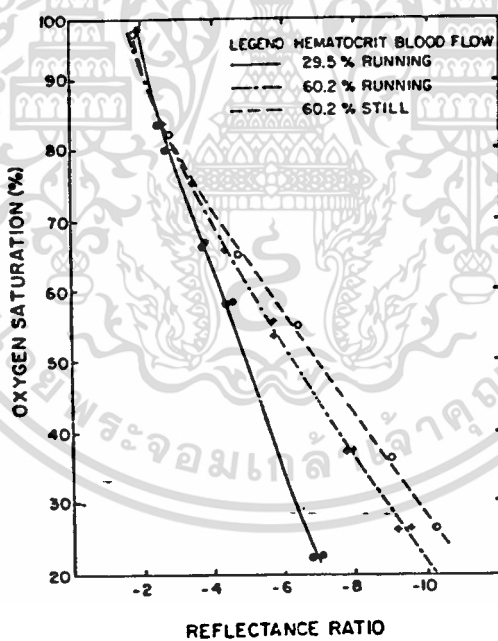
โดยที่ A และ B เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับค่า α ของ HbO_2 และ Hb

I_{1R} คือ ความเข้มแสงที่สะท้อนออกมาจากเลือดของแสงในย่านสีแดง

I_{7R} คือ ความเข้มแสงที่สะท้อนออกมาจากเลือดของแสงในย่าน

อินฟราเรด

ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Reflectance Ratio (I_{1R}/I_{7R}) กับ SaO_2 ของวิธีการนี้ ซึ่งได้มาจากผลการทดลองในแบบจำลองการไหลเวียนโลหิตมีลักษณะดังนี้



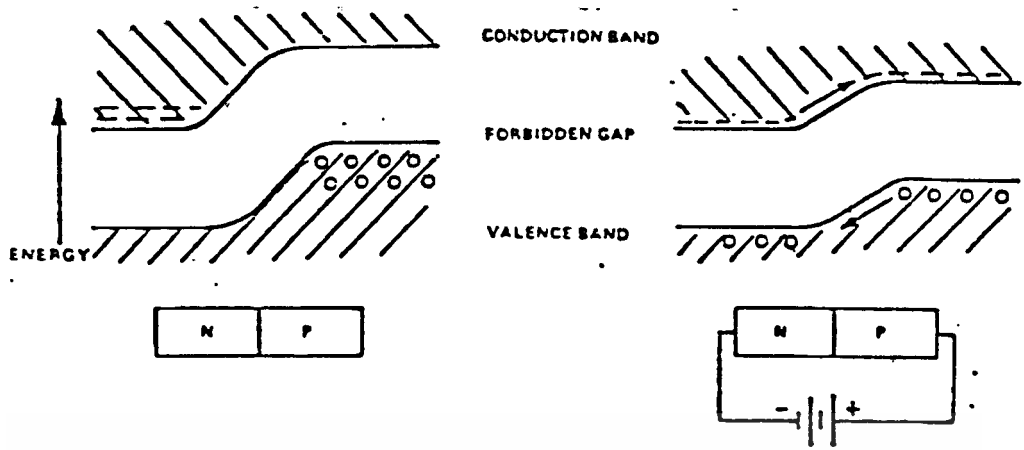
รูปที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I_{1R}/I_{7R} กับ SaO_2 ในสถานะต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสง

2.2.1 LED (Light Emitting Diode)

สารกึ่งตัวนำที่เปล่งแสงได้เป็นอุปกรณ์รอยต่อพี-เอ็น ซึ่งเมื่อได้รับการไบอัสตรง (Forward bias) จะสามารถเปล่งแสงได้ เนื่องจาก LED เป็นไดโอดแบบรอยต่อพี-เอ็น ทำให้ LED มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเหมือนไดโอดทั่วไป กล่าวคือ LED สามารถจะนำกระแสไฟฟ้าได้ในทิศทางเดียวโดยที่มันสามารถเปล่งแสงได้ก็ต่อเมื่อมีอิเล็กตรอนถูกฉีดไปในบริเวณพีเท่านั้น LED ให้กำเนิดแสงออกมาได้โดยอาศัยกลศาสตร์การฉีดและการรวมตัวกันใหม่ในลักษณะที่มีการลดพลังงานในรูปของโฟตอน (Photon) จากรูป 14A เป็นการแทนรอยต่อพี-เอ็นด้วยแถบพลังงานโดยไม่มีการไบอัส และรูปที่ 14B เป็นรอยต่อเดียวกัน เมื่อได้รับการไบอัสตรงจากภายนอกที่เพียงพอที่จะช่วยลดชั้นพลังงานระหว่างแถบ Valence และแถบ Conduction ที่อยู่ติดกัน ถ้าศักดาของการไบอัสประมาณใกล้เคียงกับค่า energy gap แล้ว โอลจะไหลจากด้านพีของแถบ Valence ซึ่งโอลเป็นพาหะส่วนใหญ่ไปยังด้านเอ็นและอิเล็กตรอนจะไหลจากด้านเอ็นของแถบ Conduction ซึ่งอิเล็กตรอนเป็นพาหะส่วนใหญ่ไปยังด้านพีเนื่องจากโอลและอิเล็กตรอนถูกฉีดเข้าไปยังบริเวณที่มีพาหะส่วนน้อย ขบวนการฉีดนี้จะทำให้เกิดภาวะที่ไม่สมดุล พาหะส่วนน้อยจะหายไปโดยการกระโดดข้ามผ่าน energy gap และเพื่อที่จะเกิดการรวมตัวกันใหม่ระหว่างโอลกับอิเล็กตรอนมันจะปลดปล่อยพลังงานออกมา พลังงานที่ปลดปล่อยโดยอิเล็กตรอนนี้จะ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานแถบว่างและอาจจะอยู่ในรูปของความร้อน หรือ แสง (Photon) การที่อิเล็กตรอนผ่านโดยตรงจากแถบ Conduction ไปยังแถบ Valence และรวมตัวกันใหม่เรียกว่า "band to band recombination" ซึ่งเป็นกลศาสตร์ของการกำเนิดแสงในสารกึ่งตัวนำชนิด direct-gap



NOTE: THE ENERGY STEP IS LESS ON B THAN ON A.

(A) เมื่อรอยต่อไม่ได้รับการไบอัส (B) เมื่อรอยต่อได้รับการไบอัส

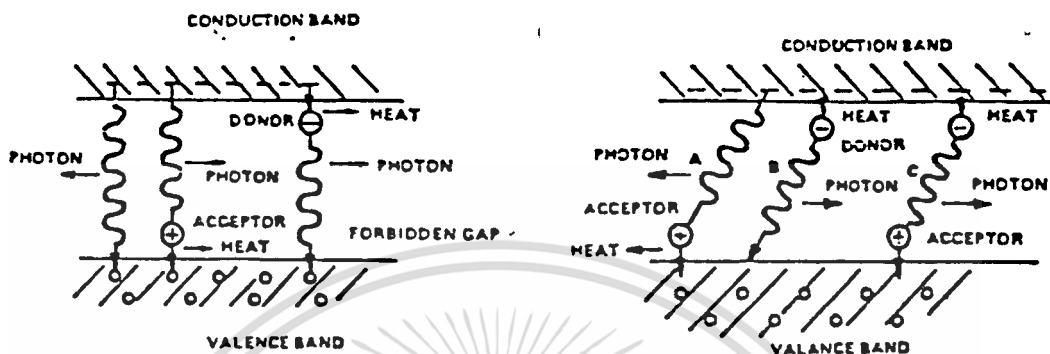
รูปที่ 14 แสดงระดับพลังงานของรอยต่อ พี-เอ็น

ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมา :

$$\text{Wave length (micron)} = \frac{hc}{E_g} = \frac{1.24}{E_g}$$

ซึ่ง E_g = พลังงานของแถบว่างในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์ (ev)

ในการรวมตัวกันใหม่นี้ โฟตอนจะถูกอนุรักษ์ไว้ และพลังงานทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนไปเป็นโฟตอน สำหรับสารชนิด direct gap ที่มีการไล่ระดับของสารเจือ จะทำให้เกิดสถานะสารเจือผู้รับเหนือแถบ Valence และสถานะสารเจือผู้ให้ใต้แถบ Conduction ดังนั้น band to band recombination จะดำเนินจากสารเจือผู้ให้ไปยังสารเจือผู้รับที่มีระดับพลังงานน้อยกว่า ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 แบบจำลองแถบพลังงาน สาร direct gap รูปที่ 16 แบบจำลองแถบพลังงาน สาร indirect gap

ในสารกึ่งตัวนำชนิด indirect gap ซึ่งแถบพลังงานได้แสดงไว้ในรูปที่ 16 โอลและอิเล็กตรอนมีค่าโมเมนตัมที่แตกต่างกัน อิเล็กตรอนไม่สามารถที่จะข้ามแถบว่างได้โดยตรง เพราะทำให้ไม่มีการอนุรักษ์โมเมนตัมระหว่างการรวมตัวกันใหม่ ดังนั้นพลังงานความร้อนจึงถูกแผ่ออกหรือดูดซับไว้เพื่อเป็นการอนุรักษ์โมเมนตัม เนื่องจากการรวมตัวกันใหม่ลักษณะนี้ ต้องการการชนกันแบบ 3 ส่วนซึ่งความน่าจะเป็นมีค่าน้อย ดังนั้นสาร indirect gap จึงไม่มีประสิทธิภาพเท่าสาร direct gap.

ประสิทธิภาพการเกิดโฟตอน ภายในสารกึ่งตัวนำหรือประสิทธิภาพควอนตัมภายในสารกึ่งตัวนำ คืออัตราส่วนของจำนวนโฟตอนที่เกิดขึ้นต่อจำนวนของพาหะที่ถูกฉีดเข้าไป ประสิทธิภาพดังกล่าวนี้มีค่าสูงมากสำหรับสาร direct gap และมีค่าต่ำกว่าในสาร indirect gap

Material	Approximate Bandgap eV	Typical Emission Wavelength	
		nm	λ_p
GaP, N doped	2.18	530 – 595	565
GaP, Zn doped	2.24	530 – 575	553
SiC	1.97	430 – 700	590
GaAs, S, P, Al	1.92	630 – 660	645
GaP, ZnO doped	1.76	615 – 730	700
GaAlAs, red	1.78	680 – 720	690
GaAs, Zn doped	1.37	890 – 920	905
GaAs: Si	1.33	890 – 980	930

ตารางที่ 1 LED Material Guide

จากตารางที่ 1 แสดงถึงสารที่ใช้สำหรับสร้าง LED โดยทั่วไปและความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมา ในปัจจุบัน LED ทางการค้าส่วนใหญ่ทำมาจาก GaAs/ GaP หรือ GaAsP

2.2.2 Photodiode และ Photo transistor

เมื่อมีการส่งสัญญาณที่เป็น Photon ออกมาแล้ว ทางด้านรับจะต้องรับสัญญาณนั้นแล้ว เปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง เราสามารถ detect สัญญาณนี้ได้โดยใช้ Photo transistor หรือ Photodiode

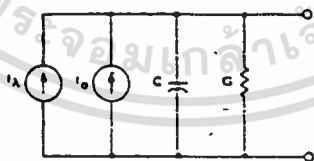
Photodiode อุปกรณ์ตรวจจับแสงโฟโตไดโอดเป็นรอยต่อพี-เอ็นซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อให้ทำงานในลักษณะไบอัสกลับ (Reverse bias) ดังที่กล่าวมาแล้วว่า ที่สภาวะสมดุลของรอยต่อพี-เอ็น จะมีจำนวนอิเล็กตรอนเกินที่บริเวณพี และมีจำนวนโฮลเกินอยู่ที่บริเวณเอ็น เมื่อเราป้อนศักดาภายนอกในลักษณะไบอัสกลับเพื่อทำให้ด้านพีมี

ความเป็นลบมากกว่าด้านอื่นจะทำให้สนามไฟฟ้าที่บริเวณรอยต่อมีค่าเพิ่มขึ้นและขยายบริเวณปลอดภัยให้เพิ่มขึ้น บริเวณปลอดภัยที่เพิ่มขึ้นจะต้านทานการไหลของประจุพาหะเพราะฉะนั้นจะไม่มีกระแสไหลผ่านได้และเมื่อมีการป้อนศักดาเพิ่มมีผลทำให้ความกว้างของบริเวณปลอดภัยมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีการเบรกดาวน์ (Breakdown) ของรอยต่อเกิดขึ้น ถ้าโฟตอนถูกดูดซับในบริเวณปลอดภัยนี้จะทำให้อิเล็กตรอนและโฮลแยกตัวออกจากกันโดยที่อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังบริเวณอื่นและโฮลเคลื่อนที่ไปยังบริเวณอื่นทำให้เกิดกระแสไหลสว่างจรภายนอกโฟโตไดโอดจึงประพฤติตัวเหมือนกับเป็นตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้า และกระแสนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสงด้วย

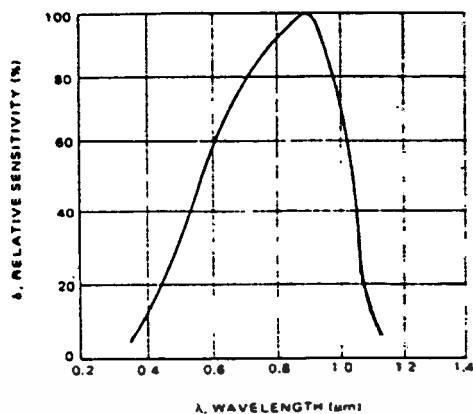
$$I = I_L + I_D$$

ซึ่ง I_L = กระแสของไดโอดขณะที่มีแสงตกกระทบ
 I_D = กระแสอิ่มตัวของไดโอดขณะไม่มีแสงตกกระทบ

เราสามารถแทน Photodiode ด้วยวงจรเสมือนของโฟโตไดโอดดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 วงจรเสมือนของโฟโตไดโอด



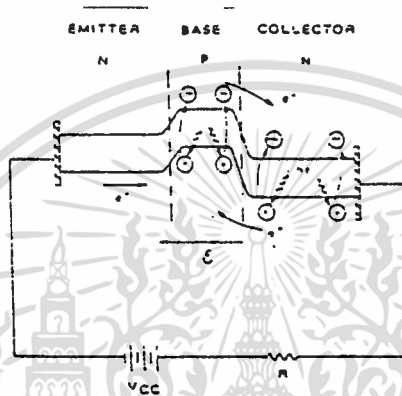
รูปที่ 18 แสดงถึงความไวของการตอบสนองของ Silicon Photodiode

จากรูปที่ 18 แสดงถึงความไวของการตอบสนองกับความยาวคลื่นของแสงที่ตกมากระทบของ Silicon Photodiode ซึ่งจะเห็นว่า Silicon Photodiode มีความไวของการตอบสนองต่อความยาวคลื่นของแสงแตกต่างกัน โดยที่ความไวของการตอบสนองที่ประมาณ 900 nm ได้ดีที่สุด และความไวของการตอบสนองที่ความยาวคลื่นในช่วงแสงอินฟราเรดจะดีกว่าในช่วงแสงสีแดง

Phototransister โฟโตทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจจับแสงอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีลักษณะการทำงานเหมือนกับทรานซิสเตอร์ธรรมดา แต่ต่างกันตรงการจ่ายกระแสเบสเพื่อขับทรานซิสเตอร์ซึ่งไดโอดที่ขาคอลเลคเตอร์-เบสจะทำหน้าที่คล้ายกับเป็นแหล่งกำเนิดกระแสไบอัส

หลักการทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 19 กล่าวคือที่ขาเบสจะปล่อยลอยไว้ เมื่อป้อนแรงดัน V_{cc} ระหว่างอิมิตเตอร์กับคอลเลคเตอร์จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างอิมิตเตอร์กับขาเบสมีลักษณะ forward bias ส่วนแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างขาเบสกับขาคอลเลคเตอร์มีลักษณะเป็น reverse bias ดังนั้นเมื่อ Photo carrier มีแสงมาตกกระทบ ทำให้เกิดการกระตุ้นที่ขาเบสมีกระแสไบอัสเพิ่มขึ้น

จากการเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้ Emitter current (I_E) มีค่าเพิ่มขึ้น ในกระบวนการนี้ ความต่างศักย์จำนวนเล็กน้อยที่เกิดจากแสงที่ตกกระทบบ จะทำให้กระแสของวงจรภายนอก เพิ่มมากขึ้นดังนั้น Output current เมื่อเปรียบเทียบกับ Photodiode แล้วมีค่ามากกว่า หนึ่งแม้ในสภาพไม่มีแสงมาตกกระทบบก็ตามเนื่องจากมี I_E ไหลอยู่ จึงไม่เหมาะแก่การนำไป ใช้ในการวัดแสงที่มีค่าน้อยได้เหมือนอย่าง Photodiode และมีการตอบสนองได้ดีเฉพาะ ความถี่ต่ำๆ เท่านั้น



รูปที่ 19 แสดงแถบพลังงานของ Phototransister

Emitter current ของ Phototransister มีค่าเท่ากับ

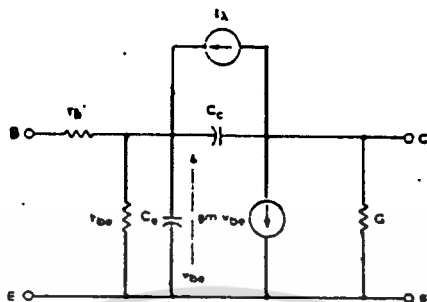
$$I_E = I_C = (1 + h_{FE}) I_L$$

I_L = photo induced base current

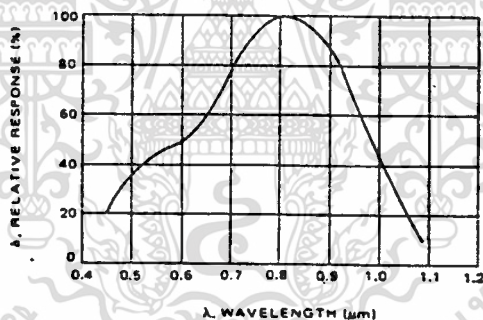
h_{FE} = forward current gain

โดยที่ Current gain (h_{FE}) จะมีค่าคงที่ที่กระแสคอลเลคเตอร์ค่าหนึ่ง เท่านั้น h_{FE} มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) และ h_{FE} มีค่าลดลงเมื่อกระแสคอลเลคเตอร์มีค่ามากกว่า 10 mA

ดังนั้นวงจรเสมือน hybrid-pi ของโฟโตทรานซิสเตอร์ คือ



รูปที่ 20 วงจรเสมือนของ Phototransister



รูปที่ 21 แสดงความไวของการตอบสนองของ Phototransister

จากรูปที่ 21 แสดงถึงความไวของการตอบสนองกับความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบของ Phototransister ซึ่งจะเห็นว่า Phototransister มีความไวของการตอบสนองต่อความยาวคลื่นที่ประมาณ 800 nm ได้ดีที่สุดและมีความไวของการตอบสนองที่ความยาวคลื่นในช่วงแสงอินฟราเรดได้ดีกว่าในช่วงแสงสีแดง

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลของการตอบสนองของ Photodiode กับ Phototransister จะพบว่า การตอบสนองของ Photodiode มีความเป็นเชิงเส้น (Linearity) มากกว่าการตอบสนองของ Phototransister และมีการตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงในช่วงของความยาวคลื่นที่กว้างกว่า

ส่วนตัวตรวจจับแสงประเภทโฟโตดาร์ลิ่งตัน (Photodarlington) เป็นการรวมกันของโฟโตทรานซิสเตอร์ไวแสงตัวหนึ่งซึ่งต่อเข้ากับขาเบสของทรานซิสเตอร์ธรรมดาอีกตัวหนึ่งในแบบ darlington ทำให้ได้กระแสเอาท์พุทมากยิ่งขึ้น โฟโตดาร์ลิ่งตันเป็นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งมีความเร็วช้ากว่าโฟโตทรานซิสเตอร์ และกระแสมีดจากคอลเลคเตอร์-เบสไดโอด จะถูกคูณด้วยเกนของทรานซิสเตอร์ตัวหลังนี้ด้วย



2.3 ระบบ RED-INFRARED OXIMETER

จากสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่า SaO_2 ของ Transmission Oximeter

$$SaO_2 = .A - B[R/IR]$$

โดยที่

$$\frac{R}{IR} = \frac{\frac{d[\ln I_T (R)]}{dt}}{\frac{d[\ln I_T (IR)]}{dt}}$$

จะเห็นว่าอัตราส่วนดังกล่าวเป็นการดิฟเฟอเรนเชียลเทียบกับเวลา

ซึ่ง $\frac{d \ln I_T}{dt} = \frac{1}{I_T} \cdot \frac{dI_T}{dt}$ ดังนั้นสมการที่ได้จะเป็น

$$\frac{R}{IR} = \frac{\frac{1}{I_T (R)} \cdot \frac{dI_T (R)}{dt}}{\frac{1}{I_T (IR)} \cdot \frac{dI_T (IR)}{dt}}$$

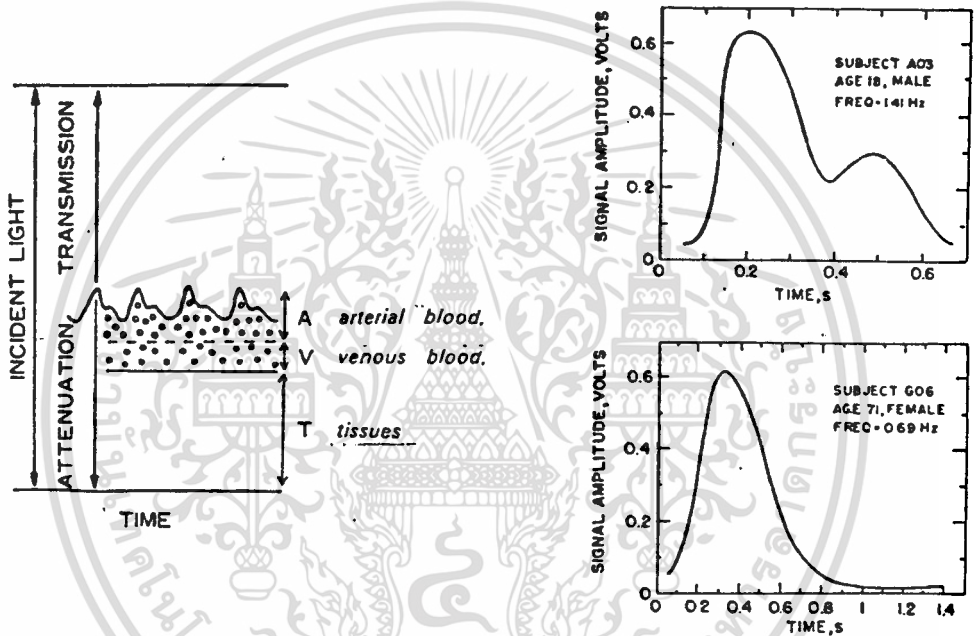
$$= \frac{\frac{dI_T (R)}{I_T (R)}}{\frac{dI_T (IR)}{I_T (IR)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากทำการขยาย ΔI_T ออกเป็น ΔI_T จะได้ว่า

$$\frac{R}{IR} = \frac{\Delta I_T (R) / I_T (R)}{\Delta I_T (IR) / I_T (IR)}$$

ความเข้มแสงที่ส่องผ่าน (I_T) อวัยวะที่มีเส้นเลือดแดงไหลผ่านจะมีลักษณะเป็นลูกคลื่นตามอัตราการเต้นของหัวใจดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 แสดงปริมาณความเข้มแสงที่ถูกดูดกลืน (Attenuation) และผ่านไปได้ (Transmission) จากอวัยวะที่มีเลือดไหลผ่าน

จะเห็นได้ว่า I_T ตามสมการก็ คือ ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่น ส่วน ΔI_T คือ ขนาดของการเปลี่ยนแปลง นั่นเอง และเนื่องจากว่าค่าความเข้มแสงที่ส่องผ่านมาตกกระทบยังตัวรับแสงจะแปรผันตรงกับปริมาณกระแส หรือแรงดันที่ได้จากตัวรับแสง นั่นคือ

$$i = K I_T \quad \text{หรือ} \quad E = K' I_T$$

ทำให้สามารถเปลี่ยนรูปสมการอัตราส่วน [R/IR] ได้เป็น

$$\frac{R}{IR} = \frac{K_R \Delta E(R) / K_R E(R)}{K_{IR} \Delta E(IR) / K_{IR} E(IR)}$$

$$= \frac{\Delta E(R) / E(R)}{\Delta E(IR) / E(IR)}$$

E คือแรงดัน DC ที่ได้จากตัวรับแสง ส่วน ΔE คือ แรงดัน AC ที่ได้จากตัวรับแสงนั้นเอง ดังนั้นสมการอัตราส่วนที่ได้ คือ

$$\frac{R}{IR} = \frac{E_{ac}(R) / E_{dc}(R)}{E_{ac}(IR) / E_{dc}(IR)}$$

ค่า E_{ac} / E_{dc} ดังกล่าว เรียกว่า "Normalized AC signal"

ตามที่ได้แสดงให้เห็นจากข้างต้น ทำให้สมการในการหาค่า SaO₂ สำหรับนำไปสร้างเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ คือ

$$SaO_2 = A - B \frac{E_{ac}(R) / E_{dc}(R)}{E_{ac}(IR) / E_{dc}(IR)}$$

โดยที่ $A = \frac{\alpha_R(Hb)}{\alpha_R(Hb) - \alpha_R(HbO_2)}$

$$B = \frac{\alpha_{IR}(Hb)}{\alpha_R(Hb) - \alpha_R(HbO_2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$E_{DC}(R), E_{AC}(R)$ คือ แรงดัน AC และ DC ตามลำดับที่ได้จากตัวรับแสง
อันเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดแสงสีแดง

$E_{DC}(IR), E_{AC}(IR)$ คือ แรงดัน AC และ DC ตามลำดับที่ได้จากตัวรับแสง
อันเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรด

แหล่งกำเนิดแสงสีแดงที่ใช้คือ LED สีแดง ที่มีความยาวคลื่น 660 nm ส่วน
แหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดใช้ อินฟราเรด LED ที่มีความยาวคลื่น 940 nm ซึ่งค่า α
ของแสงที่มีความยาวคลื่นดังกล่าว แสดงไว้ในตารางที่ 2

MILLIMOLAR EXTINCTION COEFFICIENTS OF ADULT AND FETAL BLOOD
EXPRESSED IN ($l \times \text{mmol}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$)

λ	Hb		HbO ₂		Hb*	HbO ₂ *
	A	F	A	F	A	A
660 nm	0.86	0.90	0.12	0.16	0.80	0.08
940 nm	0.20	0.20	0.29	0.30	0.20	0.30

*From Van Assendelft [20].

ตารางที่ 2 แสดงค่า α ที่ความยาวคลื่นแสง 660 nm และ 940 nm

จากค่าที่แสดงในตาราง นำมาคำนวณหาค่า A , B ได้ดังนี้

$$A = \frac{0.86}{0.86-0.12} = 1.16$$

$$B = \frac{0.2}{0.86-0.12} = 0.27$$

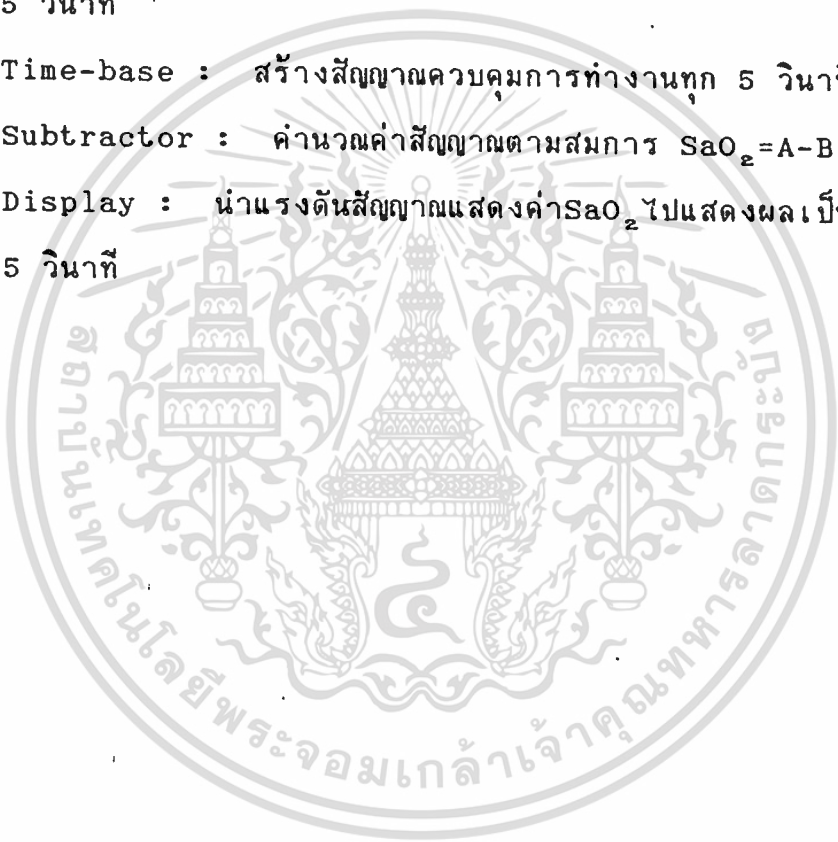
อย่างไรก็ตามค่า A, B ที่ได้ดังกล่าวก็ไม่อาจถือได้ว่าเป็นค่าที่ถูกต้องแน่นอน เนื่องจากค่า α จะมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างสำหรับเลือดของแต่ละบุคคล ดังนั้นในการหาค่า A, B ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องอาศัยการเปรียบเทียบโดยการเก็บข้อมูลทดสอบกับอาสาสมัครจำนวนหนึ่งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

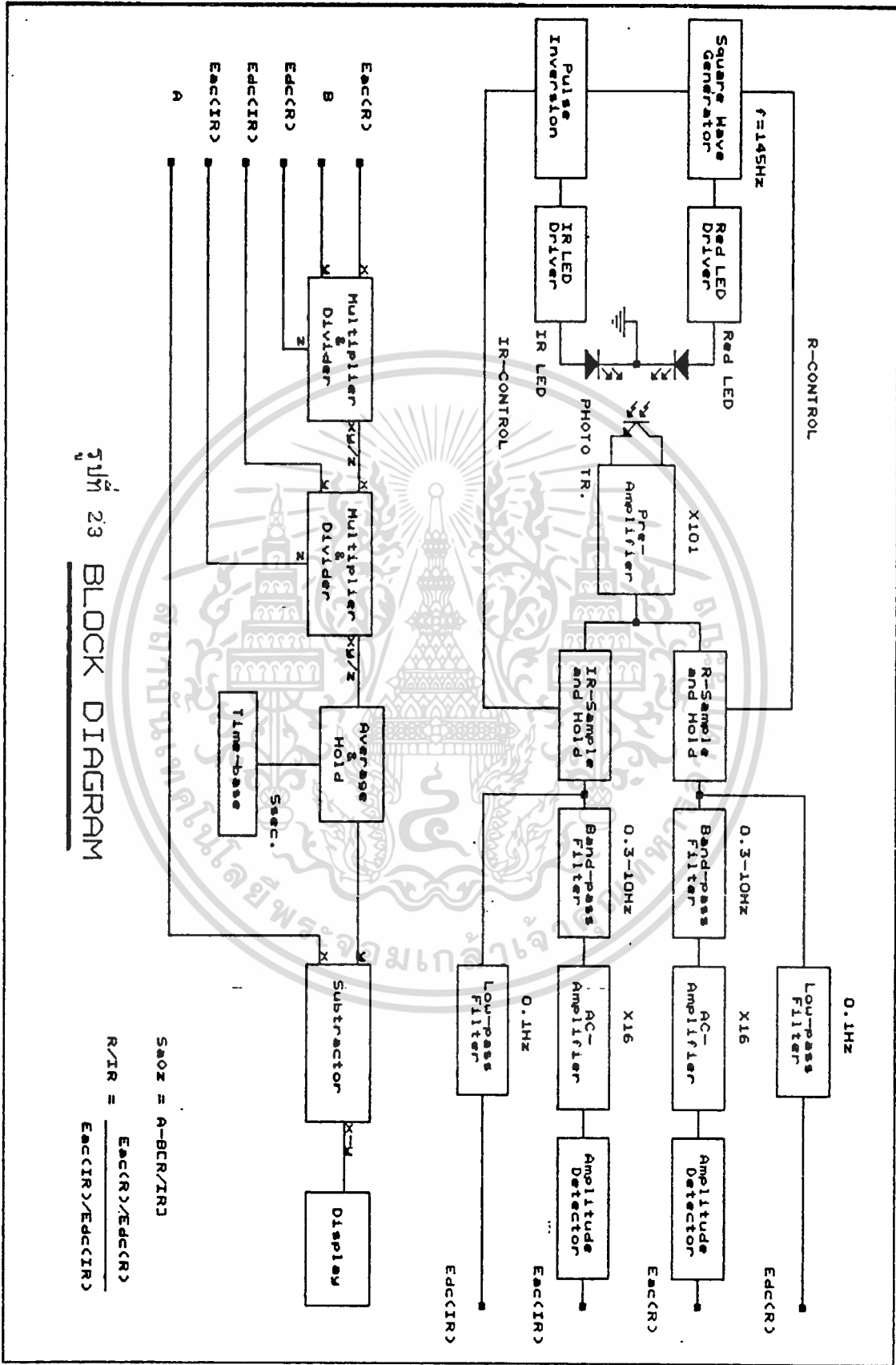
โครงสร้างของระบบ Red-Infrared Oximeter ที่ออกแบบขึ้นแสดงไว้ใน Block diagram ตามรูปที่ 23 ซึ่งมีหน้าที่ของแต่ละส่วนดังนี้

1. Square wave generator : ผลิตสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมความถี่ประมาณ 145Hz และมี Duty cycle 50%
2. Pulse inversion : กลับเฟสสัญญาณสี่เหลี่ยม 180 องศา
3. Red LED driver , IR LED driver : รับสัญญาณสี่เหลี่ยมเข้ามาแล้วขับให้ Red LED และ IR LED ติดสว่างสลับกัน
4. Pre-Amplifier : ขยายสัญญาณที่ได้จากโฟโตทรานซิสเตอร์ มีเกนขยาย 101 เท่า
5. R, IR-Sample and Hold : รับสัญญาณควบคุมเข้ามาแล้วทำการแยกสัญญาณที่มาจากแสงสีแดง $E(R)$ และ อินฟราเรด $E(IR)$ ออกจากกัน
6. Band-pass filter: แยกเอาสัญญาณ E_{ω} ออกมา มีช่วงผ่านความถี่ ตั้งแต่ 0.3-10Hz
7. AC-Amplifier : ขยายสัญญาณ E_{ω} ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น มีเกนขยาย 16 เท่า
8. Amplitude detector : ตรวจจับขนาดของสัญญาณ E_{ω} แล้วเปลี่ยนเป็นขนาดแรงดัน DC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Low-pass filter : แยกเอาสัญญาณ E_{dc} ออกมา มีความถี่คัทออฟประมาณ 0.1Hz
10. Multiplier and Divider : มีทั้งหมด 2 ชุด ทำหน้าที่ร่วมกันเพื่อทำการคำนวณสัญญาณที่ได้รับให้ได้เอาที่พหุตามสมการ $E_o = B * \frac{E_{dc}(R)}{E_{dc}(R)} \frac{E_{dc}(IR)}{E_{dc}(IR)}$
11. Average and Hold : เฉลี่ยค่าสัญญาณ E_o และเก็บผลที่ได้ทุกช่วงเวลา 5 วินาที
12. Time-base : สร้างสัญญาณควบคุมการทำงานทุก 5 วินาที
13. Subtractor : คำนวณค่าสัญญาณตามสมการ $SaO_2 = A - B[R/IR]$
14. Display : นำแรงดันสัญญาณแสดงค่า SaO_2 ไปแสดงผลเป็นตัวเลขทุก 5 วินาที





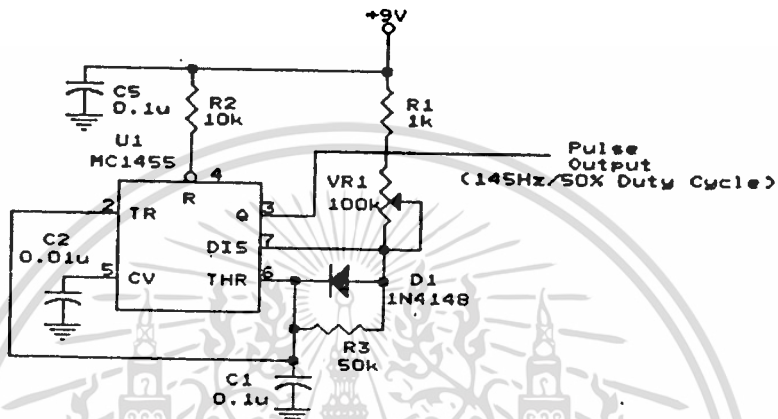
รูปที่ 23 BLOCK DIAGRAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการทำงานของวงจร

3.1 วงจร Square wave generator

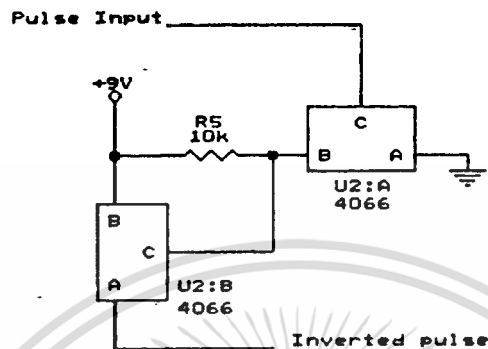


วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมใช้ไอซีเบอร์ MC1455 (Timer) ซึ่งทำงานในลักษณะ Astable Multivibrator สร้างพัลส์ที่มีความถี่ 145Hz และมี duty cycle 50% ขั้นตอนการทำงานมีดังนี้ เมื่อเอาท์พุทที่ขา 3 มีสถานะเป็น HIGH (9V) C1 จะเริ่มประจุแรงดันผ่าน R1, VR1 และ D1 กระทั่งแรงดันที่ขา 6 (THR) มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึง $(2/3)V_{CC} = 6V$ วงจรภายในไอซีจะมีการเปลี่ยนสถานะเอาท์พุทขา 3 เป็น LOW (0V) พร้อมกับเปิดสวิทช์ให้ทรานซิสเตอร์ภายในซึ่งต่ออยู่ที่ขา 7 (DIS) นำกระแสคายประจุออกจาก C1 ผ่าน R3 เมื่อแรงดันค่อยๆ ลดลงจนมีค่าเท่ากับ $(1/3)V_{CC} = 3V$ เอาท์พุทจะเปลี่ยนสถานะกลับไปเป็น HIGH อีกครั้ง การทำงานจะกลับไปเริ่มต้นใหม่วนเวียนเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

ระยะเวลาที่คายประจุมีค่า $t_{\text{dis}} = 0.69 \cdot R3 \cdot C1$ เมื่อต้องการสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ 145Hz คาบเวลาครึ่งลูกคลื่นจะมีค่าประมาณ 3.45ms ดังนั้นจะต้องทำให้ช่วงเวลาคายประจุเท่ากับค่านี้ เลือกใช้ $C1 = 0.1 \mu F$ จะได้ $R3 = 3.45 \text{ms} / (0.69 \cdot 0.1 \mu F) = 50k$ ช่วงเวลาประจุมีค่าประมาณ $t_{\text{ch}} = 0.69 (R1 + VR1) \cdot C1$ ต้องทำให้ t_{ch} เท่ากับ 3.45ms เช่นเดียวกัน ซึ่งทำได้ด้วยการปรับ VR1 ให้เหมาะสม

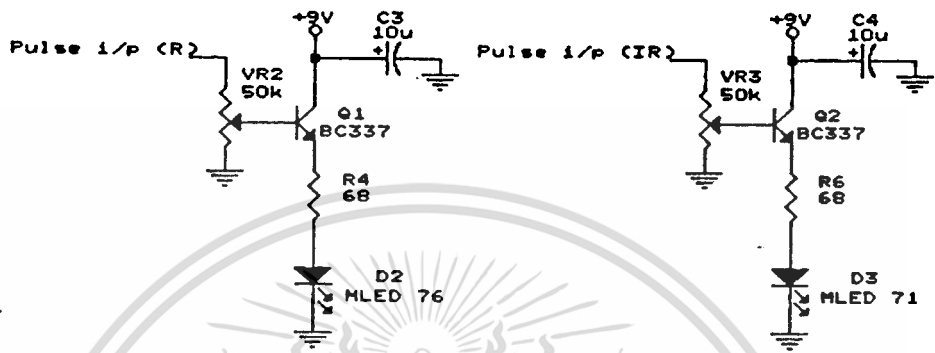
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจร Pulse inversion



สัญญาณพัลส์จาก U1 จะถูกป้อนมายังขาควบคุม(ขาC)ของ Analog Switch U2:A ถ้าสัญญาณพัลส์เป็น HIGH U2:A จะถูกต่อลงกราวด์ ทำให้แรงดันที่ขาควบคุม(ขาC)ของ U2:B เป็น LOW สวิตช์จึงถูกเปิดออก ได้แรงดันเอาต์พุต(ขาA)เป็น LOW ตรงกันข้าม ถ้าสัญญาณพัลส์เป็น LOW U2:A จะถูกเปิดสวิตช์ทำให้แรงดันที่ขาควบคุมของ U2:B เป็น HIGH สวิตช์จะถูกปิดเข้าได้แรงดันเอาต์พุตเป็น HIGH ดังนั้นสัญญาณพัลส์เอาต์พุตที่ได้จากวงจรนี้จะกลับเฟสกับสัญญาณพัลส์ที่เข้ามา

3.3 วงจร Red LED และ IR LED driver



สัญญาณพัลส์อินพุตที่ใช้ขับ LED สีแดง และ LED อินฟราเรด จะมีเฟสตรงข้ามกัน ดังนั้น LED ทั้ง 2 ดวงจะทำหน้าที่เปล่งแสงสลับกันตลอดเวลา

ความสว่างของ LED สามารถปรับได้ด้วย VR2 , VR3 และกระแสสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เมื่อปรับให้สว่างเต็มที่ หาได้จาก $I_{max} = [V_{CC} - V_{BE} - V_F(max)]/R$ เนื่องจากกระแสที่ใช้ขับ LED เป็นกระแสพัลส์ที่มี duty cycle 50% ดังนั้นกระแสเฉลี่ยสูงสุด $I_{av}(max) = I_{max}/2$ และค่า Power Dissipation ที่เกิดขึ้นกับ LED หาได้จาก $P_D = I_{av} * V_F$

ต้องทำการเลือกค่า R ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้ค่า P_D สูงเกินกว่า $P_D(max)$ ที่กำหนดไว้สำหรับ LED แต่ละตัว

LED สีแดงที่ใช้ในวงจร คือ MLED 76 ซึ่งมี $V_F(max) = 2.2V$ และมี $P_D(max) = 132 mW$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$I_{max} = [9 - 0.6 - 2.2] / R4 = 6.2 / R4$$

$$I_{uv}(max) = I_{max} / 2 = 3.1 / R4$$

$$P_D = I_{uv}(max) * V_F(max) \\ = (3.1 / R4) * 2.2 = 6.82 / R4$$

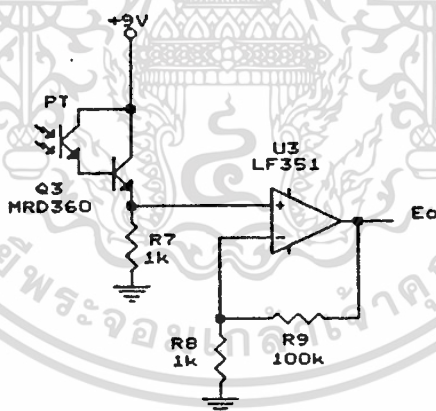
$$P_D(max) \geq P_D$$

$$132 \text{ mW} \geq 6.82 / R4$$

$$R4 \geq 51.7 \quad (\text{เลือกใช้ } R4 = 68 \text{ โอห์ม})$$

สำหรับ LED อินฟราเรด คือ MLED 71 มี $V_F(max) = 1.5V$ และ $P_D(max) = 90 \text{ mW}$ ทำการคำนวณแบบเดียวกัน จะได้ค่า $R6 \geq 57.5$ (เลือกใช้ค่า $R6 = 68 \text{ โอห์ม}$)

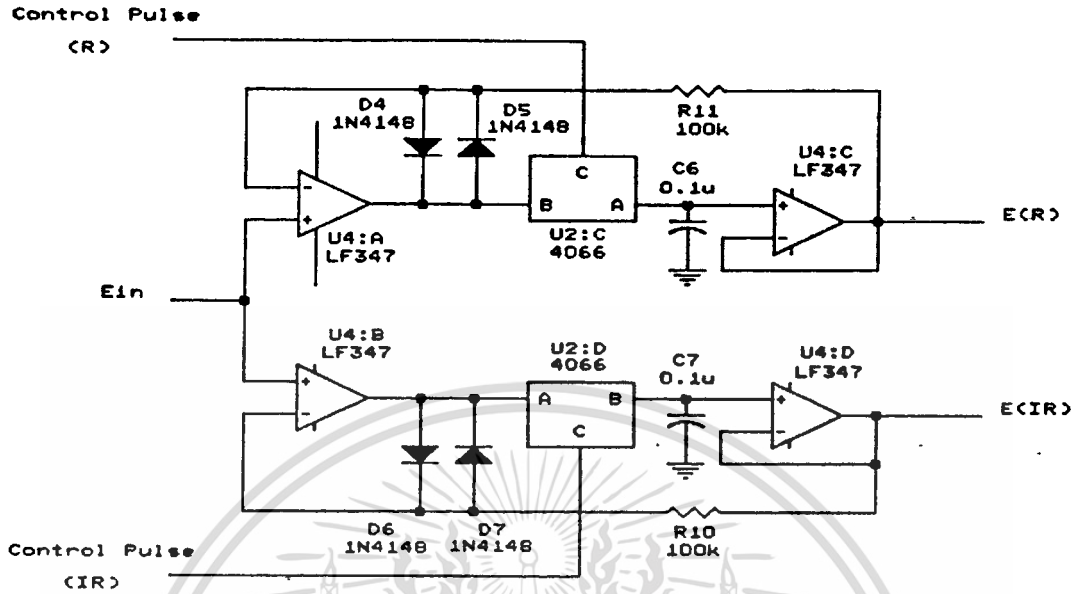
3.4 วงจร Photodetector และ Pre-Amplifier



ตัวรับแสงใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ ชนิดอาร์ลิงตันเอาท์พุท เบอร์ MRD360 เพื่อให้ได้กระแสที่มากขึ้น R7 เป็นโหลดของโฟโตทรานซิสเตอร์ ต้องเลือกใช้ค่าที่เหมาะสม ถ้าใช้ค่ามากเกินไปจะทำให้การตอบสนองต่อสัญญาณแสงช้าลง แต่ถ้าน้อยเกินไปจะได้ขนาดแรงดันเอาท์พุทต่ำ สัญญาณจากโฟโตทรานซิสเตอร์จะถูกขยายโดย U3 ซึ่งต่อวงจรแบบ Non-inverting amp. มีเกนขยาย $A_v = 1 + (R9/R8) = 101$ เท่า

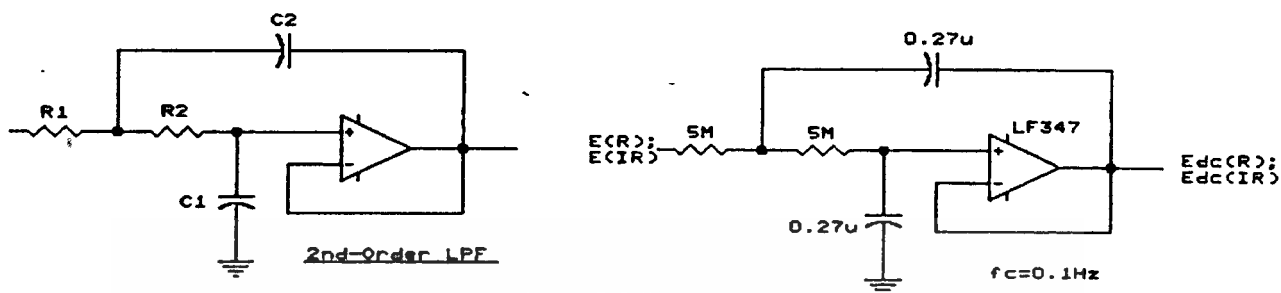
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจร R และ IR - Sample and Hold



สัญญาณควบคุมของ Analog Switch U2:C และ U2:D ถูกป้อนมาจาก สัญญาณพัลส์ที่ใช้ขับ LED สีแดง และ อินฟราเรด ตามลำดับ ดังนั้น U2:C จะปิดสวิตช์ เมื่อถึงช่วงที่ LED สีแดงเปล่งแสงเท่านั้น เช่นเดียวกัน U2:D จะปิดสวิตช์เมื่อถึงช่วง ที่ LED อินฟราเรดเปล่งแสง ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตจากโฟโตทรานซิสเตอร์ที่เกิดจาก LED ทั้งสอง จึงถูกแยกออกจากกันได้ ในช่วงที่ Analog Switch ถูกควบคุมให้เปิด วงจรออก C6, C7 จะทำหน้าที่รักษาระดับสัญญาณไว้ เพื่อให้สัญญาณมีความต่อเนื่อง และ D4-D7 จะช่วยป้องกันเอาต์พุตของ U4:A, U4:B จากการอิมิตัว U4:C และ U4:D ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตบัฟเฟอร์ ส่วนในช่วงที่ Analog Switch ปิดวงจร U4:A และ U4:B ทำหน้าที่เป็นตัวประจุและคายประจุ C6, C7 เพื่อให้มีแรงดันเท่ากับสัญญาณเข้า

3.6 วงจร Low-pass filter



เป็นวงจร Active-filter แบบ Second-order Low-pass Butterworth filter ใช้สำหรับแยกสัญญาณ E_{dc} ออกมา มีความถี่คัทออฟ 0.1Hz, การลดทอน -40dB/decade และ Passband gain = 1 ค่าของความถี่คัทออฟเป็นไปตามสมการ

$$f_c = 1/2\pi(R1*R2*C1*C2)^{1/2}$$

ในวงจรกำหนดให้ $R1=R2=R$ และ $C1=C2=C$ ดังนั้น

$$f_c = 1/(2\pi*R*C)$$

เมื่อต้องการความถี่คัทออฟ = 0.1Hz และ เลือกใช้ $C = 0.27\mu F$ จะได้

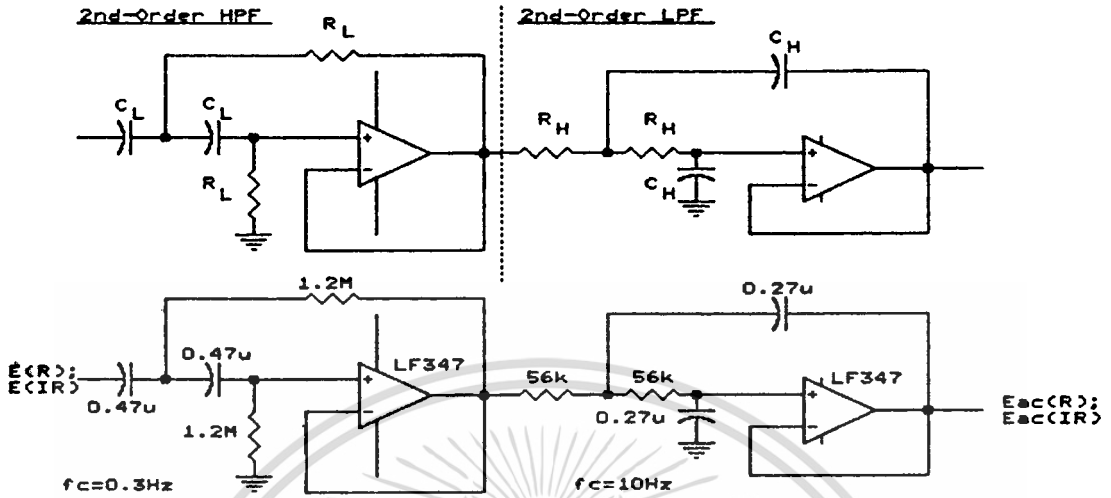
$$0.1 = 1/(2\pi*R*0.27\mu)$$

$$R = 1/(2\pi*0.1*0.27\mu) = 5.89M$$

เลือกใช้ค่าใกล้เคียงคือ 5M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 วงจร Band-pass filter



ประกอบด้วยวงจร Second-order High-pass และ Second-order Low-pass Butterworth filter ต่อลำดับกัน ใช้สำหรับแยกสัญญาณ E_{ac} ออกมา มีช่วงความถี่ผ่าน 0.3-10Hz และ Passband gain = 1 มีค่าความถี่คutoff ด้านต่ำ และด้านสูงดังนี้

$$f_{cL} = 1 / (2\pi * R_L * C_L)$$

เมื่อต้องการความถี่คutoff ด้านต่ำ = 0.3 Hz และเลือกใช้ $C_L = 0.47\mu F$ จะได้

$$0.3 = 1 / (2\pi * R_L * 0.47\mu)$$

$$R_L = 1.13M$$

เลือกใช้ค่าใกล้เคียงได้ $R_L = 1.2M$

$$f_{CH} = 1 / (2\pi * R_H * C_H)$$

ต้องการความถี่คัทออฟด้านสูง = 10 Hz และเลือกใช้ $C_H = 0.27\mu F$ จะได้

$$10 = 1 / (2\pi * R_H * 0.27\mu)$$

$$R_H = 58.9k$$

เลือกใช้ค่าใกล้เคียงได้ $R_H = 56k$

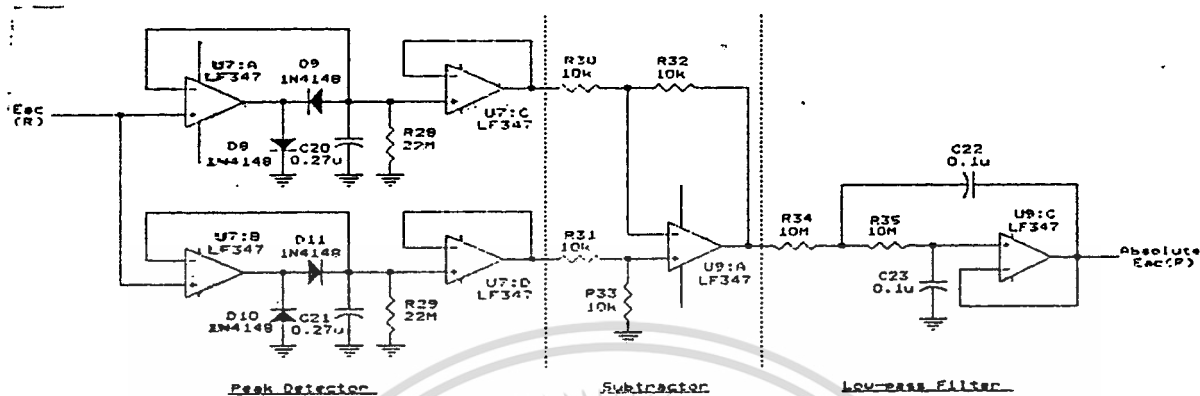
3.8 วงจร AC-Amplifier



ใช้ขยายสัญญาณ E_{ac} ให้มีขนาดใหญ่เพียงพอ ต่อวงจรในแบบ Non-inverting amp มี $A_v = 1 + (R19/R18) = 1 + (R27/R26) = 16$ เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 วงจร Amplitude detector



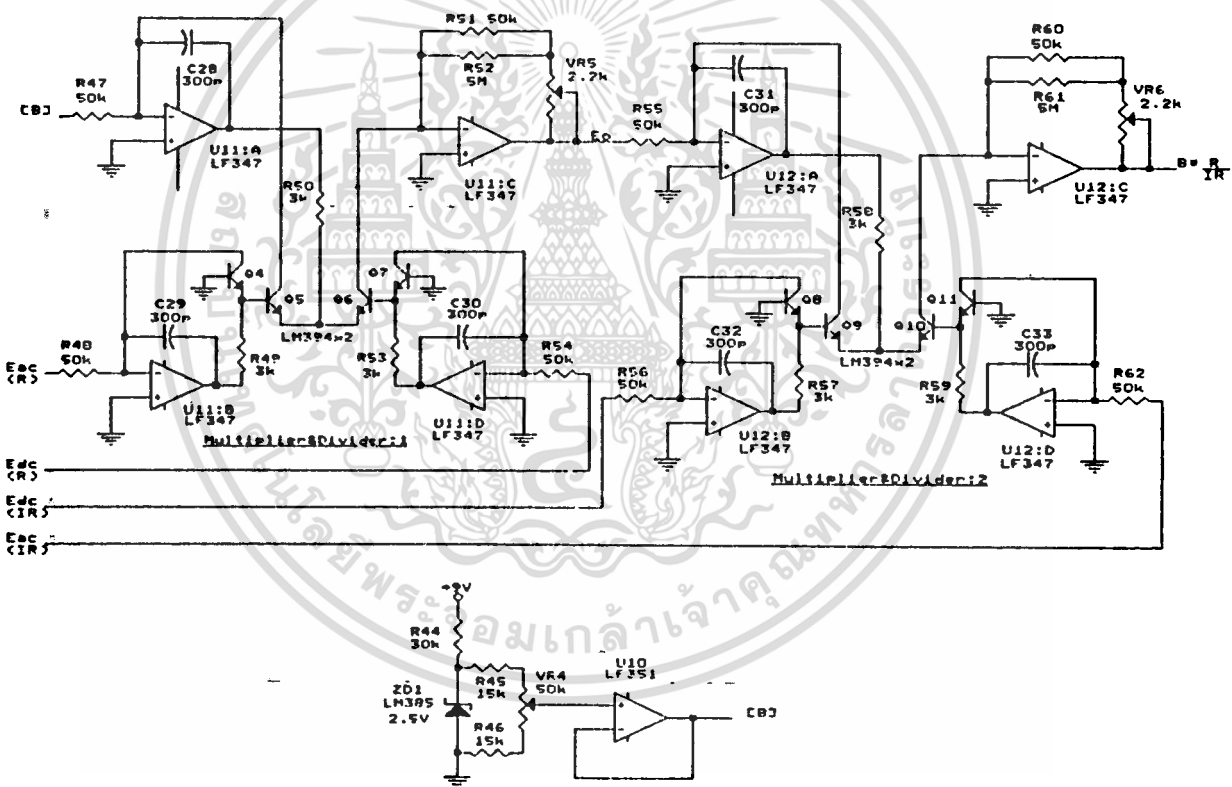
ทำหน้าที่หาขนาด peak-to-peak ของสัญญาณ $E_{ac}(R)$ ที่เข้ามา มีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ วงจร Peak detector, วงจร Subtractor, วงจร Low-pass filter การทำงานของวงจรจะอธิบายเฉพาะ $E_{ac}(R)$ เนื่องจากการทำงานของวงจรทั้งสองชุดเหมือนกัน

เมื่อสัญญาณ $E_{ac}(R)$ ที่ยกขบวนถูกป้อนเข้ามา U7:B จะทำการประจุ C21 ผ่าน D11 ให้มีแรงดันเท่ากับแรงดันเข้าจนกว่าจะถึงยอดคลื่นจึงหยุดประจุแรงดัน ส่วน U7:A จะไม่สามารถประจุ C20 ได้เนื่องจาก D9 ถูก reverse bias ในทางกลับกันเมื่อแรงดันเข้าเปลี่ยนมาเป็นขั้วลบ U7:A จะทำการประจุ C20 ผ่าน D9 ได้แต่ U7:B จะไม่สามารถประจุได้ D8 และ D10 ใส่ไว้เพื่อป้องกัน U7:A และ U7:B อิมิตัวในช่วงที่ไม่สามารถประจุแรงดัน R28 และ R29 ใช้เป็นตัวคายประจุใน C20 และ C21 ออกจำนวนหนึ่งในระหว่างที่ไม่มีการประจุแรงดัน เพื่อให้ C20 และ C21 สามารถตรวจจับยอดคลื่นลูกต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันที่ตรวจจับได้ที่ C20 เป็นแรงดันบวก ส่วนที่ C21 จะเป็นแรงดันลบ แรงดันทั้งสองส่วนถูกส่งผ่าน U7:C และ U7:D ซึ่งเป็น buffer ไปยังวงจร Subtractor เอาท์พุทของ U9:A จะเป็นผลต่างระหว่างแรงดันจาก C20 และ C21 ได้เป็นขนาดของลูกคลื่นจากยอดคลื่นซีกบวกไปยังซีกลบ อย่างไรก็ตามขนาดที่หาได้จะยังคงมี ripple อยู่จึงต้องกรองให้เรียบขึ้นด้วยวงจร Low-pass filter ซึ่งประกอบด้วย R34, R35, C22, C23 และ U9:C จนได้แรงดัน DC แสดงขนาดของ $E_{uc}(R)$ ออกมา

3.10 วงจร Multiplier & Divider



จากวงจร Multiplier & Divider ในส่วนแรกจะได้ว่า

$$V_{BE}(Q4) + V_{BE}(Q5) = V_{BE}(Q6) + V_{BE}(Q7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก $V_{BE} = V_T \ln(I_C/I_O)$ และถ้าหากทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัว มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ ดังนั้น สมการข้างบนจะเปลี่ยนเป็น

$$V_T \ln(I_C(Q4)/I_O) + V_T \ln(I_C(Q5)/I_O)$$

$$= V_T \ln(I_C(Q6)/I_O) + V_T \ln(I_C(Q7)/I_O)$$

$$V_T \ln(I_C(Q4) * I_C(Q5) / I_O^2) = V_T \ln(I_C(Q6) * I_C(Q7) / I_O^2)$$

$$I_C(Q4) * I_C(Q5) = I_C(Q6) * I_C(Q7)$$

$$I_C(Q6) = (I_C(Q4) * I_C(Q5)) / I_C(Q7)$$

เนื่องจาก $I_C(Q6) = E_O / 50k$

$$I_C(Q4) = E_{BC}(R) / 50k$$

$$I_C(Q5) = B / 50K$$

$$I_C(Q7) = E_{BC}(R) / 50K$$

เมื่อแทนค่าทั้งหมดลงไปจะได้ว่า

$$E_O = B * E_{BC}(R) / E_{BC}(R)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร Multiplier & Divider ส่วนที่สองก็มีการทำงานในลักษณะเดียวกัน ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตที่ได้จาก U12:C มีค่า

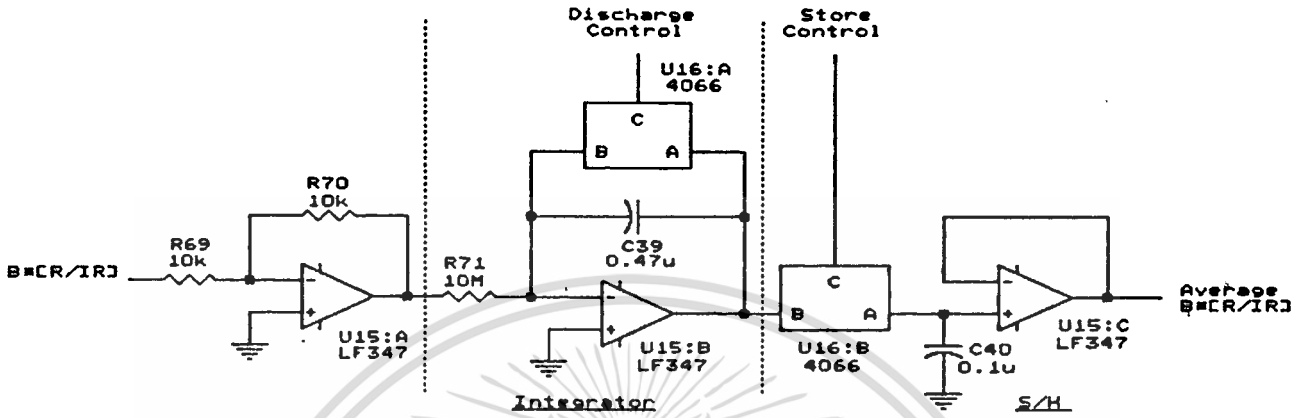
$$= \frac{[B * E_{sc}(R) / E_{sc}(R)] * E_{sc}(IR)]}{E_{sc}(IR)}$$

$$= \frac{B * E_{sc}(R) / E_{sc}(R)}{E_{sc}(IR) / E_{sc}(IR)}$$

$$= B * [R / IR]$$

- VR4 : ใช้สำหรับปรับค่า B ในสมการที่ใช้หาค่า S_{a0} ,
 VR5 และ VR6 : ใช้ปรับขีดเซยความผิดพลาดของวงจร Multiplier & divider
 C28-C33 : ทำหน้าที่ป้องกันการรอสซีเลทของวงจร

3.11 วงจร Average & Hold



สัญญาณ $B*CR/IRJ$ จะถูกเฉลี่ยค่าด้วยวงจร Integrator ซึ่งประกอบด้วย U15:B, U16:A, R71 และ C39 สมการในการเฉลี่ยค่ามีดังนี้

$$V_o = -1/(R71*C39) * \int v_i dt$$

ต้องการให้มีการเฉลี่ยค่าภายในช่วงระยะเวลา 5 วินาที ดังนั้น

$$R71*C39 = 5 \text{ วินาที}$$

เลือกใช้ C39 = 0.47µF จะได้ค่า R71 = 10.6M

เลือกใช้ค่าใกล้เคียงคือ 10M แล้วทำการคำนวณช่วงเวลาในการเฉลี่ยค่าใหม่ได้เป็น

$$10M*0.47\mu = 4.7 \text{ วินาที}$$

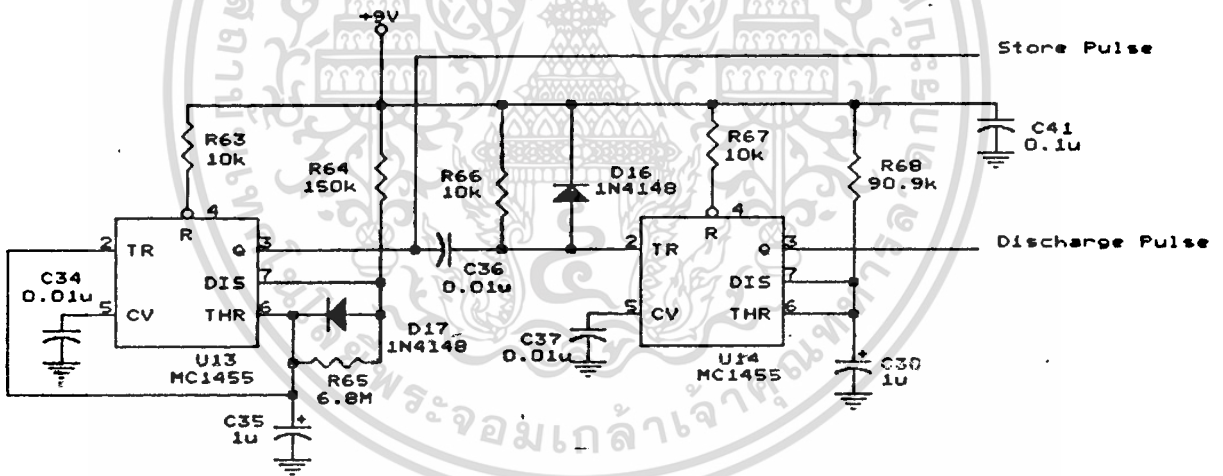
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสมการของ Integrator มีเครื่องหมายลบอยู่จึงต้องกลับสัญญาณเข้า ก่อนทำการเฉลี่ยค่าด้วย U15:A

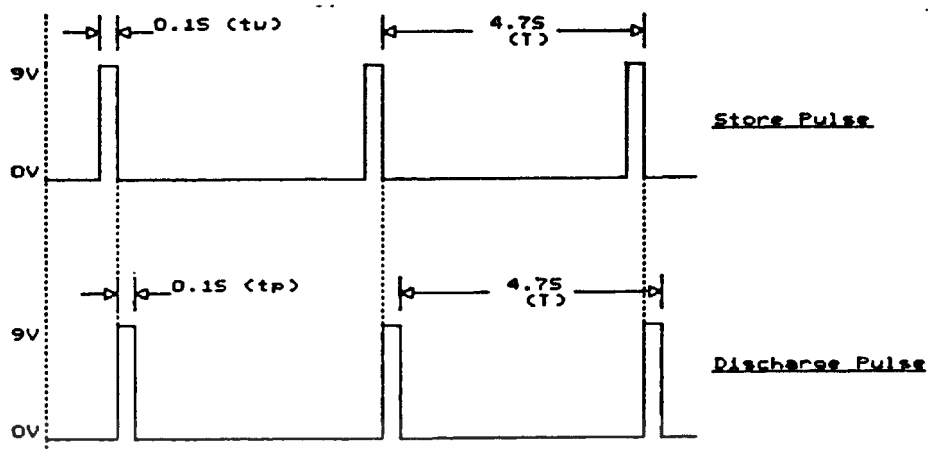
U16:A ทำหน้าที่คอยปิดสวิตช์เพื่อคายประจุ C39 ก่อนทำการเฉลี่ยค่าใหม่ทุก 4.7 วินาที

ค่าสัญญาณที่เฉลี่ยได้จะถูกเก็บไว้ด้วยวงจร Sample and Hold ซึ่งประกอบด้วย U16:B ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ซึ่งจะปิดทุก 4.7 วินาทีหลังจากการเฉลี่ยค่าเสร็จสิ้น เพื่อประจุ แรงดันจากการเฉลี่ยค่าไปยัง C40 และ U15:C ทำหน้าที่เป็น Output buffer

3.12 วงจร Time-base



ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์แคบๆในทุกช่วงเวลา 4.7 วินาที เพื่อไปควบคุม Analog Switch ในวงจร Average & Hold โดยพัลส์ที่นำไปควบคุม U16:B (Store Pulse) จะต้องเกิดขึ้นก่อน แล้วตามด้วยพัลส์ที่ใช้ควบคุม U16:A (Discharge Pulse) ดังกราฟรูปที่ -24



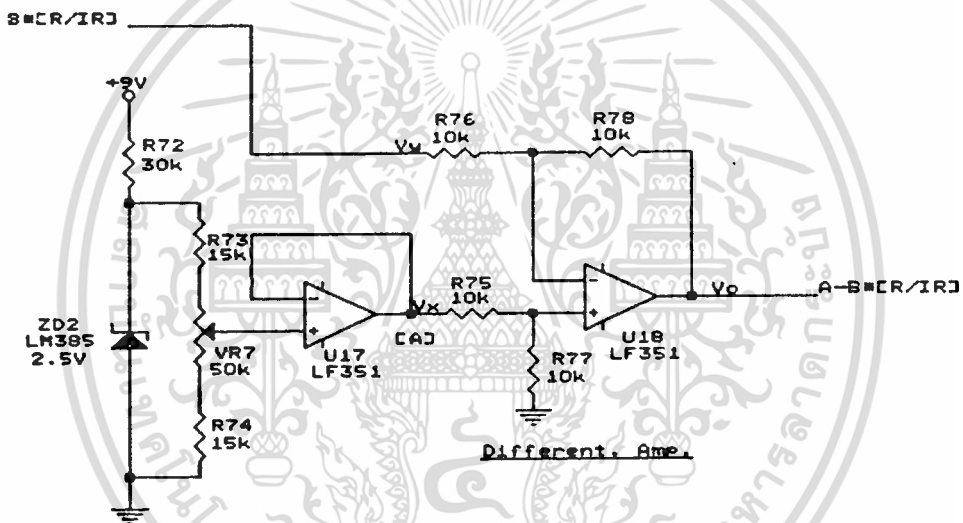
รูปที่ 24 แสดง Timing Diagram ของวงจร

วงจรสร้างพัลส์ควบคุม U16:B ใช้ U13 ต่อในลักษณะ Astable Multivibrator ซึ่งมีคาบสัญญาณ 4.7 วินาที และมีความกว้างของพัลส์ 0.1 วินาที สมการที่ใช้คำนวณช่วงคาบเวลาคือ $T = 0.69 * R65 * C35$ เมื่อต้องการ $T = 4.7 \text{ Sec}$ และใช้ $C35 = 1 \mu\text{F}$ จะได้ $R65 = 4.7 / (0.69 * 1 \mu) = 6.8 \text{M}$ ส่วนสมการที่ใช้คำนวณความกว้างพัลส์คือ $t_w = 0.69 * R64 * C35$ ต้องการ $t_w = 0.1 \text{ Sec}$ เมื่อ $C35 = 1 \mu\text{F}$ ดังนั้นจะได้ค่า $R64 = 0.1 / (0.69 * 1 \mu) = 144.9 \text{k}$ เลือกใช้ค่าใกล้เคียงคือ 150k

วงจรสร้างพัลส์ควบคุม U16:A ใช้ U14 ต่อวงจรแบบ Monostable Multivibrator ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังนี้ ในสภาพเริ่มต้นเมื่อยังไม่มีพัลส์จาก U13 เข้ามายัง U14 ขา 2 (TR) ของ U14 จะมีสถานะ HIGH ทำให้ทรานซิสเตอร์ภายในตัวไอซีที่ขา 7 นำกระแสได้ แรงดันตกคร่อม C38 จึงเป็นศูนย์ และเอาต์พุตที่ขา 3 จะเป็น LOW เมื่อ U13 สร้างพัลส์ขึ้น แล้วพัลส์นั้นเปลี่ยนสถานะในช่วงขาลงจาก HIGH ไปเป็น LOW จะส่งผลให้ขา 2 ของ U14 เป็น LOW ชั่วขณะหนึ่ง ซึ่งสถานะดังกล่าวจะไป trig ให้ฟลิปฟล็อปภายในไอซีที่เอาต์พุตที่ขา 3 ให้เป็น HIGH และทำให้ทรานซิสเตอร์ภายในหยุดนำกระแส ดังนั้น C38 จะเริ่มประจุแรงดันผ่าน R68 แรงดันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งถึง $2/3 V_{CC} (6\text{V})$ ก็จะทำให้เอาต์พุตที่ขา 3 เปลี่ยนสถานะกลับมาเป็น LOW อย่างเดิม

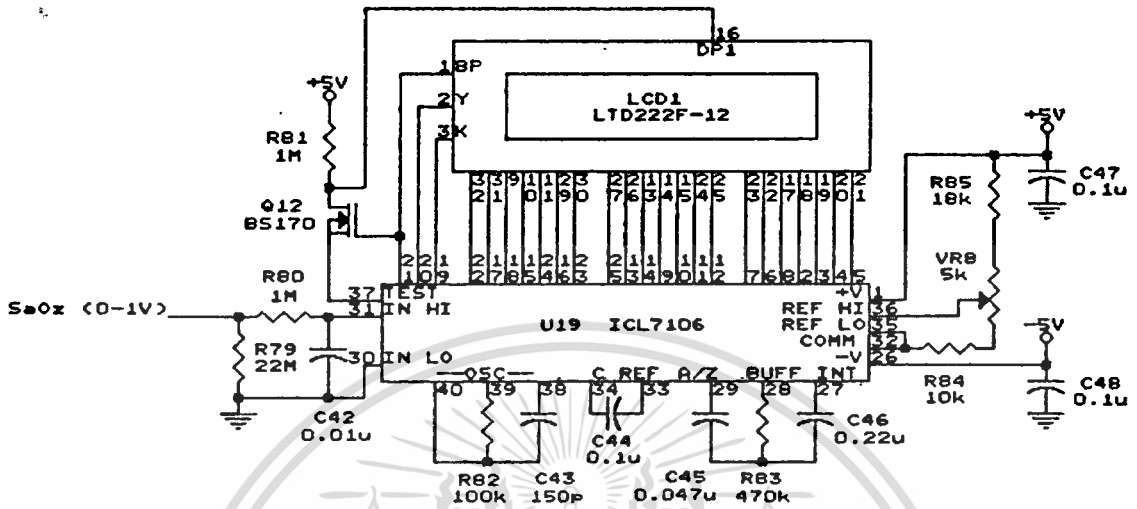
รวมทั้งทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสคายประจุออกจาก C38 จนหมดอย่างรวดเร็ว สถานะเอาท์พุทจะเป็น LOW ต่อไปจนกว่าจะมีพัลส์ลูกใหม่เข้ามา trix อีก ช่วงความกว้างของพัลส์ที่สร้างขึ้นจาก U14 เป็นไปดังสมการ $t_w = 1.1 * R68 * C38$ เมื่อต้องการความกว้าง = 0.1 วินาที และใช้ค่า C38 = 1 μ F ดังนั้น R68 = 0.1 / (1.1 * 1 μ) = 90.9k

3.13 วงจร Subtractor



วงจรนี้จะทำการคำนวณค่าตามสมการ $A - B * [C/R/IR]$ U18 ถูกต่อร่วมกับ R75-R78 เป็นวงจร differential amplifier ที่ทำหน้าที่เป็น Subtractor มีสมการคือ $V_o = V_x - V_y$ ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้จึงเท่ากับค่าแรงดัน A ซึ่งสามารถปรับได้ด้วย VR7 ลบออกด้วยแรงดันที่เข้ามาซึ่งก็คือ $B * [C/R/IR]$

3.14 วงจร Display



ภาคแสดงผลแบบตัวเลขใช้ LCD เป็นตัวแสดงผลซึ่งถูกขับด้วยไอซีเบอร์ 7106 ไอซีนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณอะนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล มีเอาต์พุตสามารถขับตัวแสดงผลแบบ Seven segment ขนาดสามหลักครึ่งได้โดยตรง ภาคแสดงผลนี้จะทำงานในลักษณะการแสดงผลความแตกต่างของแรงดันระหว่างขา IN HI (31) และขา IN LO (30) โดยการป้อนสัญญาณอินพุตที่มีขนาด 0 ถึง 2V ผ่านวงจรรองความถี่ต่ำเพื่อให้ได้สัญญาณที่มีแรงดันคงที่ และไอซีเบอร์ 7106 นี้ต้องการแรงดันอ้างอิงซึ่งมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันสูงสุดของสัญญาณอินพุต ($V_{IN} = 2 * V_{REF}$) เพราะฉะนั้นขา REF HI และขา REF LO จะมีแรงดันอ้างอิงขนาด 1V เราสามารถกำหนดให้มีการวัดระดับแรงดันสัญญาณอินพุตใหม่ทุกๆ ครึ่งวินาที ซึ่งช่วงเวลานี้ถูกกำหนดโดย R และ C ซึ่งต่อกับวงจรออสซิลเลเตอร์ภายในไอซี เมื่อต้องการให้มีการวัดระดับแรงดันสัญญาณอินพุตใหม่ทุกๆ ครึ่งวินาที จะต้องให้ออสซิลเลเตอร์กำเนิดความถี่ 32kHz

$$f = 0.45/RC$$

- โดยที่ R เป็นความต้านทานที่เกิดจาก R82 ที่ต่อกับขา 39 และ 40
 ขนานกับความต้านทานภายในออสซิลเลเตอร์ ($R_{osc} = 2-3M$)
 C เป็นค่าตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา 38 และขา 40 ของไอซี

เมื่อเลือกใช้ C43 = 150pF จะได้

$$32k = 0.45/(R*150p)$$

$$R = 93.75k$$

จากความสัมพันธ์ $1/R = (1/R82) + (1/R_{osc})$ จะได้

$$R82 = 98.36k$$

เลือกใช้ค่าใกล้เคียงคือ 100k

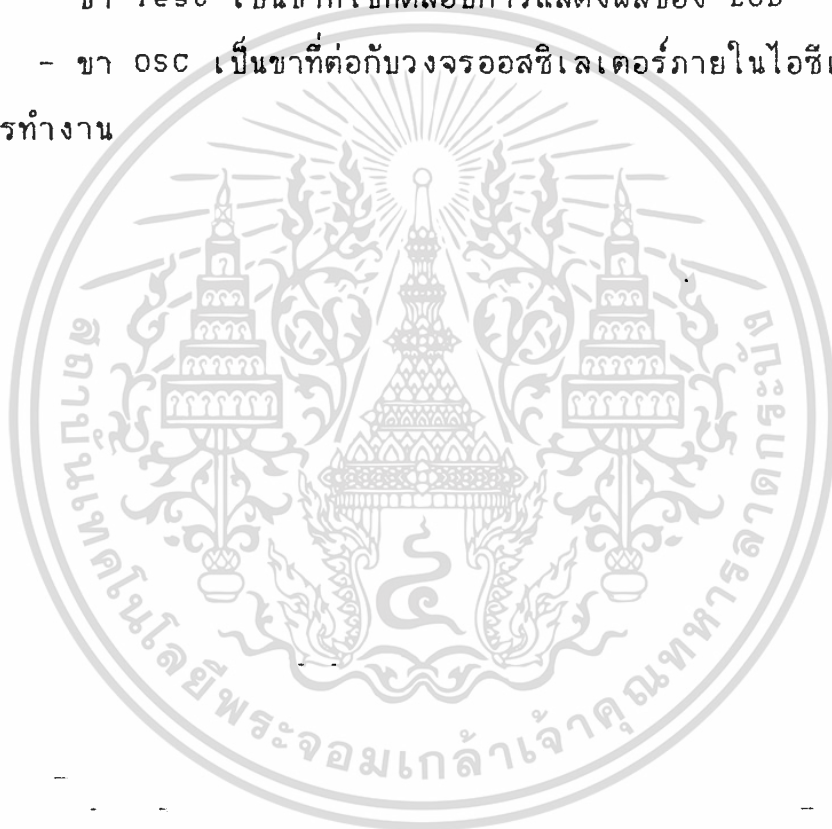
ไอซี 7106

ไอซี 7106 ทำหน้าที่ขับตัวแสดงผลแบบตัวเลข LCD โดยการแปลงสัญญาณอะนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งแบ่งลักษณะการทำงานเป็น 2 ภาคคือ ภาค Analog section ทำหน้าที่เปรียบเทียบความแตกต่างของระดับแรงดันอินพุต และภาค Digital section ทำหน้าที่เป็นวงจรนับและขับตัวแสดงผล LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของขาต่างๆของไอซีมีดังนี้

- ขา IN HI และ ขา IN LO เป็นขาที่รับสัญญาณอินพุตซึ่งสามารถกำหนดช่วงของสัญญาณอินพุตได้สองระดับคือ 0 ถึง 200mV และ 0 ถึง 2V
- ขา C_{REF} เป็นขาที่ต่อไว้เพื่อป้องกัน roll over error ค่าที่เหมาะสมที่ใช้คือ 0.1 μ F
- ขา REF HI และ ขา REF LO เป็นขาที่กำหนดระดับแรงดันอ้างอิงโดยมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันสัญญาณอินพุต
- ขา Test เป็นขาที่ใช้ทดสอบการแสดงผลของ LCD
- ขา OSC เป็นขาที่ต่อกับวงจรออสซิลเลเตอร์ภายในไอซีเพื่อกำเนิดความถี่อ้างอิงในการทำงาน



บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดสอบการทำงานของเครื่องมีขั้นตอนดังนี้

1. ปรับค่า A ของเครื่องไว้เท่ากับค่าตามทฤษฎี ซึ่งเท่ากับ 1.16
2. สอดปลายนิ้วเข้าไปที่หัววัด แล้วปรับค่าความเข้มแสงให้พอเหมาะ โดยวัดจากสัญญาณเอาต์พุต E_{dc} ที่ได้ให้มีค่าประมาณ 2V ทั้งสีแดงและอินฟราเรด
3. ปรับค่า B ของเครื่องให้สามารถอ่านค่าจากจอแสดงผลได้ประมาณ 90% ซึ่งเป็นระดับออกซิเจนในเลือดโดยปกติของบุคคลทั่วไป (จะได้ค่า B ประมาณ 0.1)
4. ทำการวัดค่าเก็บข้อมูลจากตัวอย่างบุคคล 5 คน โดยทำการวัดค่าบุคคลละ 2 ครั้ง ด้วยปลายนิ้วชี้มือซ้ายและมือขวา (ก่อนการบันทึกค่า ต้องรอให้ค่าที่แสดงผลค่อนข้างคงที่ก่อน ซึ่งใช้เวลาประมาณ 10-15 วินาที หลังเปิดเครื่อง)

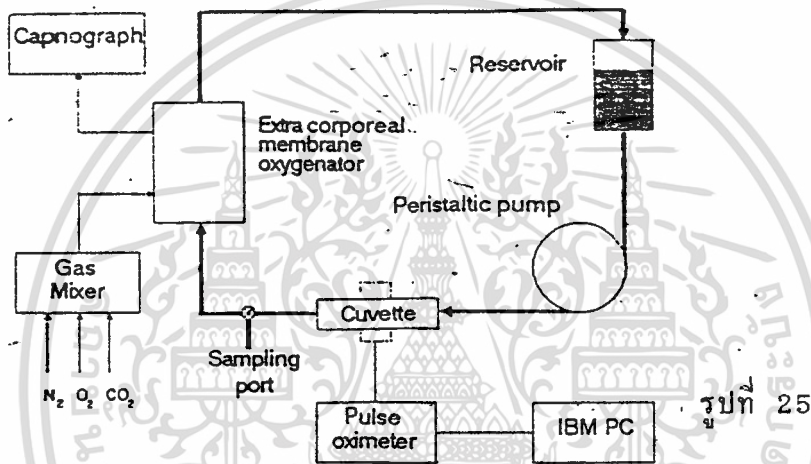
ผลการทดสอบ

บุคคลที่ 1:	นิ้วชี้มือซ้าย	$SaO_2 = 90$	นิ้วชี้มือขวา	$SaO_2 = 91$
บุคคลที่ 2:	นิ้วชี้มือซ้าย	$SaO_2 = 89$	นิ้วชี้มือขวา	$SaO_2 = 92$
บุคคลที่ 3:	นิ้วชี้มือซ้าย	$SaO_2 = 88$	นิ้วชี้มือขวา	$SaO_2 = 89$
บุคคลที่ 4:	นิ้วชี้มือซ้าย	$SaO_2 = 91$	นิ้วชี้มือขวา	$SaO_2 = 93$
บุคคลที่ 5:	นิ้วชี้มือซ้าย	$SaO_2 = 89$	นิ้วชี้มือขวา	$SaO_2 = 92$

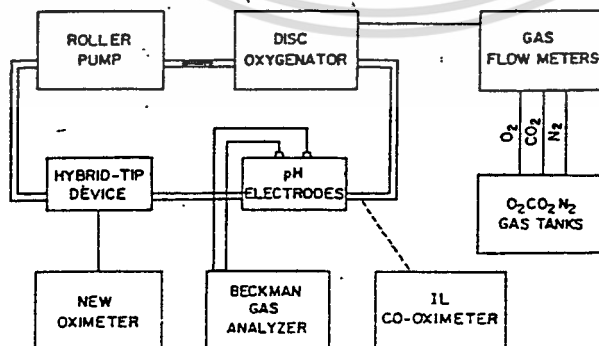
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดสอบความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ระหว่าง SaO_2 กับ R/IR ของเครื่อง รวมทั้งการทดสอบเพื่อตั้งค่า (Calibration) ค่าคงที่ A และ B ที่ถูกต้อง ยังไม่สามารถทำได้ เนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์ทดสอบทางการแพทย์ที่ค่อนข้างซับซ้อน ตัวอย่าง Block Diagram ของการทดสอบดังกล่าวมีดังนี้

1. In vitro experiment : มีโครงสร้าง ดังรูปที่ 25



2. Calibration : มีโครงสร้าง ดังรูปที่ 26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์ผล

จากผลการทดสอบ ระดับออกซิเจนที่วัดได้ในแต่ละบุคคล มีค่าแตกต่างกันบ้าง แต่ก็ไม่มากจนเกินไป แสดงว่าเครื่องสามารถทำงานได้ตรงตามทฤษฎีพอสมควร อย่างไรก็ตาม ค่าที่วัดได้นี้ไม่ใช่ระดับออกซิเจนที่แท้จริง เนื่องจากต้องทำการปรับค่าคงที่ A , B ให้ถูกต้องเสียก่อน

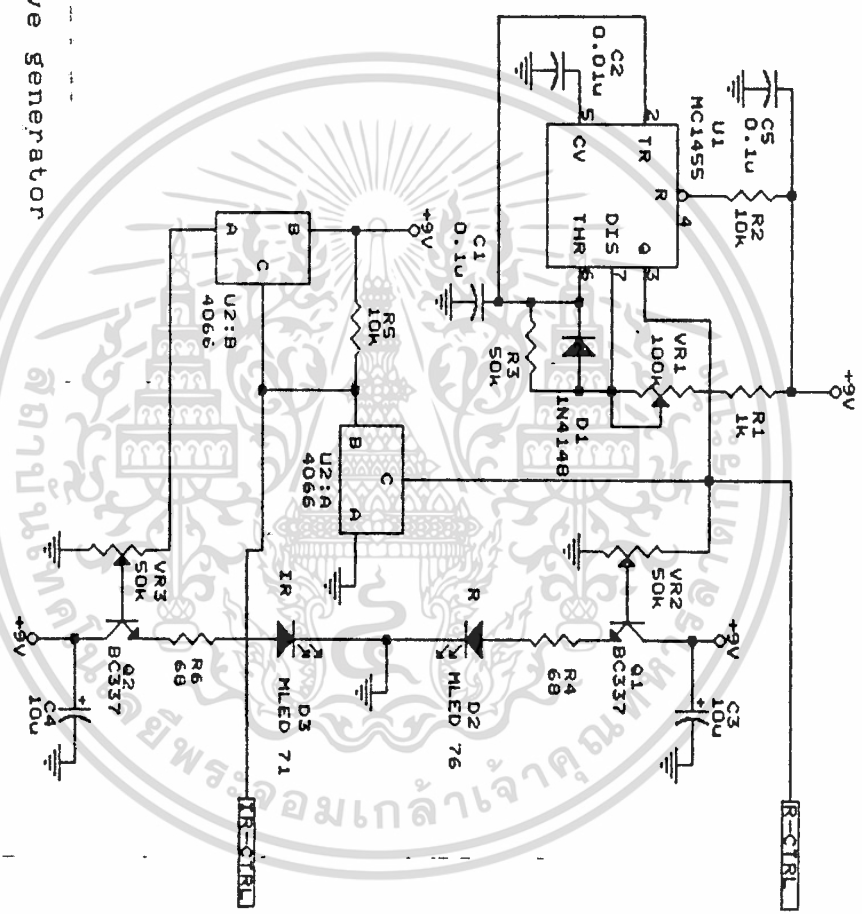
ข้อบกพร่องของเครื่องก็คือ ในการวัดค่า ปลายนิ้วจะต้องนิ่ง ถ้าขยับเพียงเล็กน้อย ค่าที่ได้จะเปลี่ยนไปทันที รวมทั้งในส่วนของการคำนวณ ใช้แบบอนาล็อกทั้งหมดซึ่งจะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนไปบ้าง

สำหรับแนวทางในการปรับปรุงระบบคือ เปลี่ยนส่วนที่ใช้ในการประมวลผลจากแบบอนาล็อกไปเป็นดิจิทัล โดยทำการแปลงค่าแรงดัน $E_{u_{cc}}$, $E_{l_{cc}}$ ด้วย A/D Converter แล้ว Interface เข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ อาศัยโปรแกรมช่วยในการคำนวณจะทำให้ได้ผลที่ถูกต้องและมีความยืดหยุ่นมากกว่า รวมทั้งทำให้สามารถแสดงรูปคลื่นสัญญาณออกทางจอคอมพิวเตอร์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

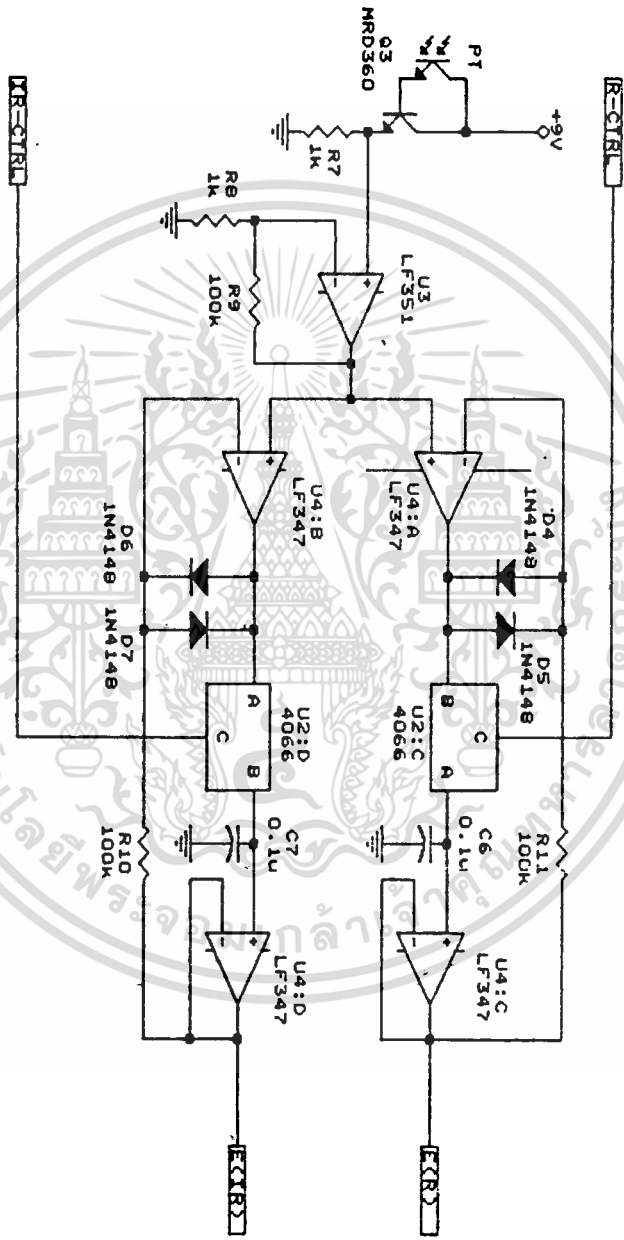
วงจร Square wave generator
 วงจร Pulse inversion
 วงจร Red LED และ IR LED driver



OXIMETER	
Size Document Number	1
Date:	March 10, 1995 Sheet
REV	

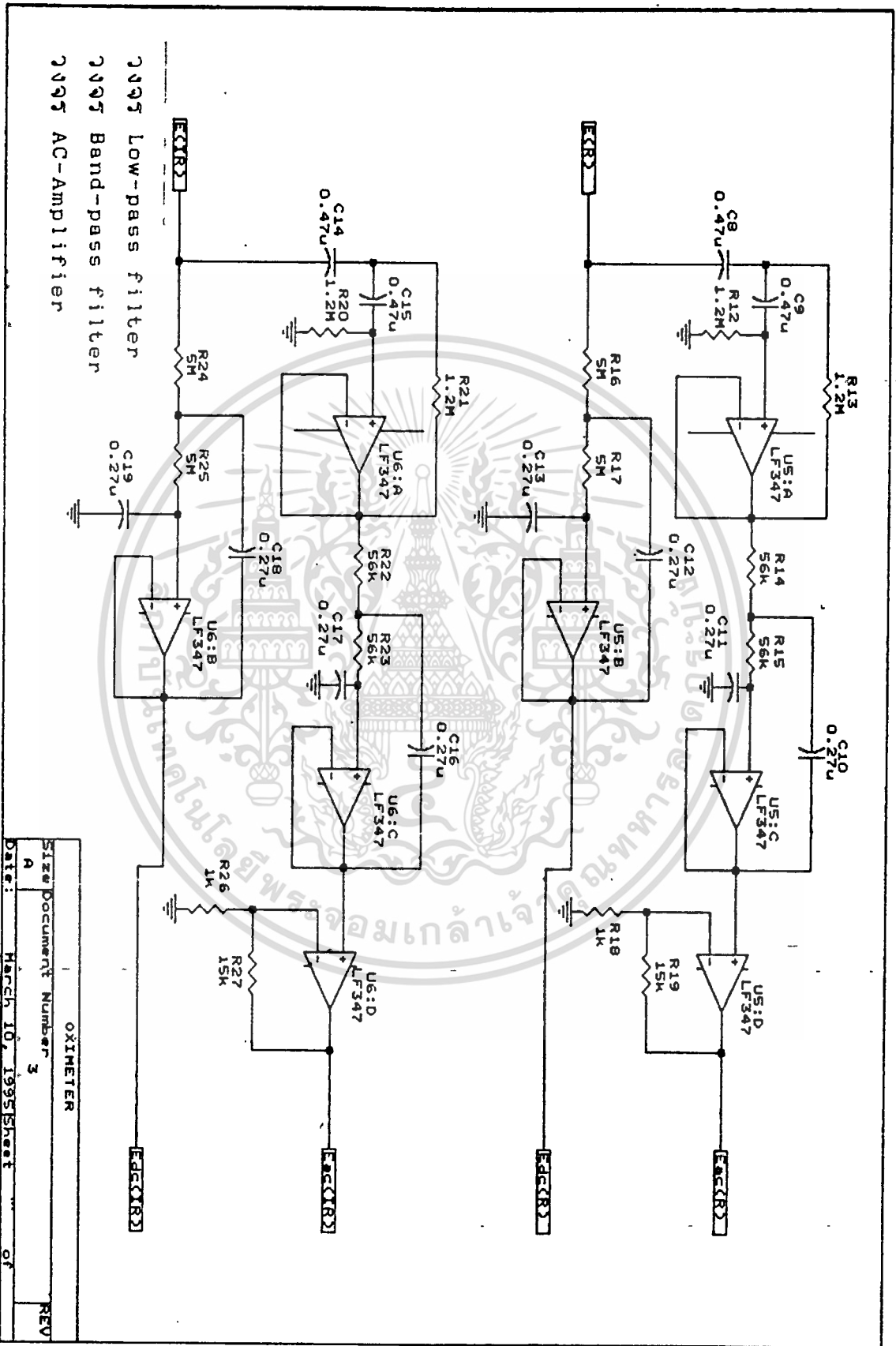
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๖๖๖๖ Photodetector
 ๖๖๖๖ Pre-Amplifier
 ๖๖๖๖ R และ IR - Sample and Hold



OXIMETER	
Size Document Number	2
Date:	March 10, 1995 Sheet 1 of 1
REV	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

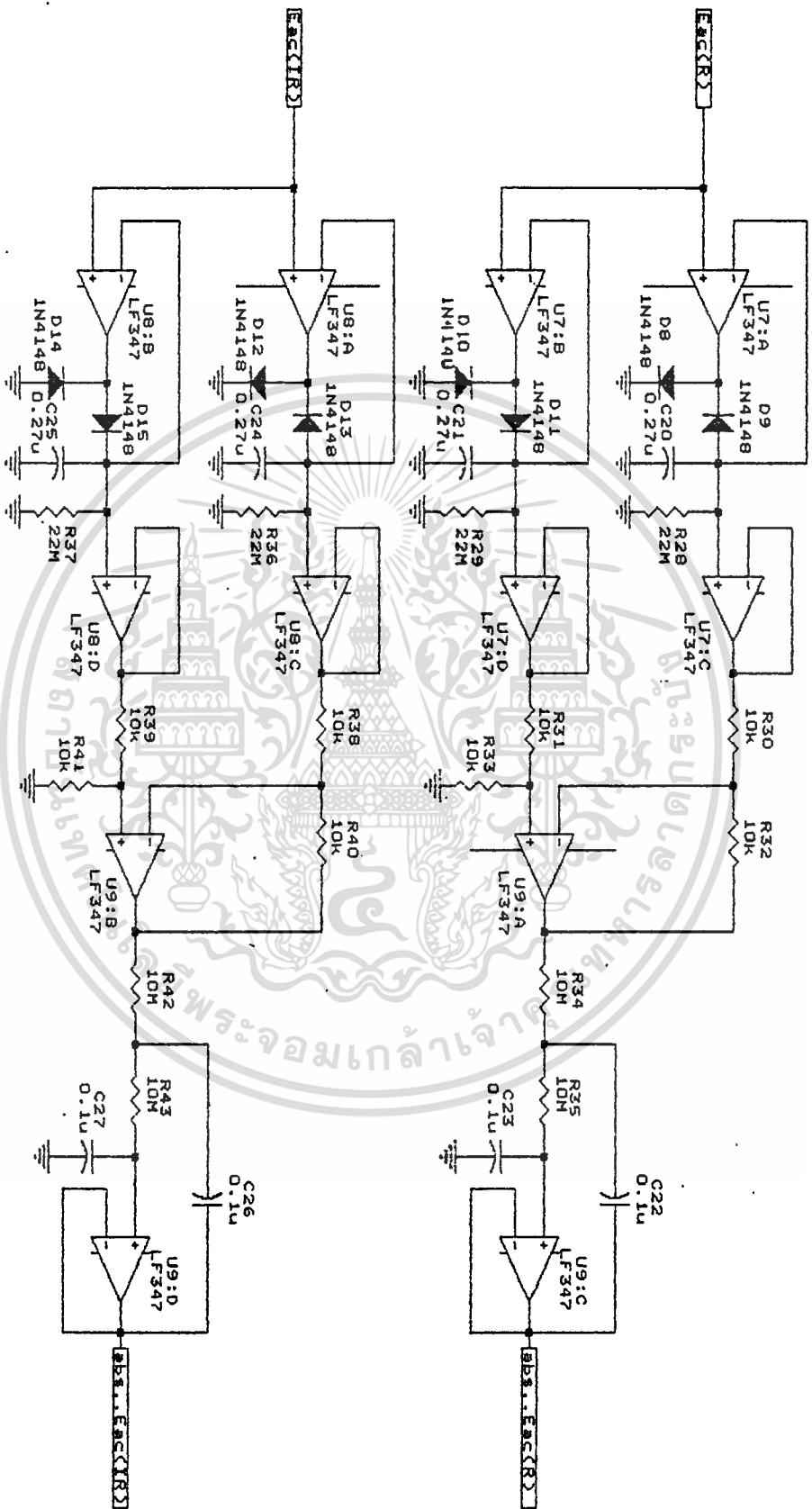


๓๓๓๓ Low-pass filter
 ๓๓๓๓ Band-pass filter
 ๓๓๓๓ AC-Amplifier

OXIMETER	REV
Size Document Number 3	
Date: March 10, 1995	Sheet 3 of 3

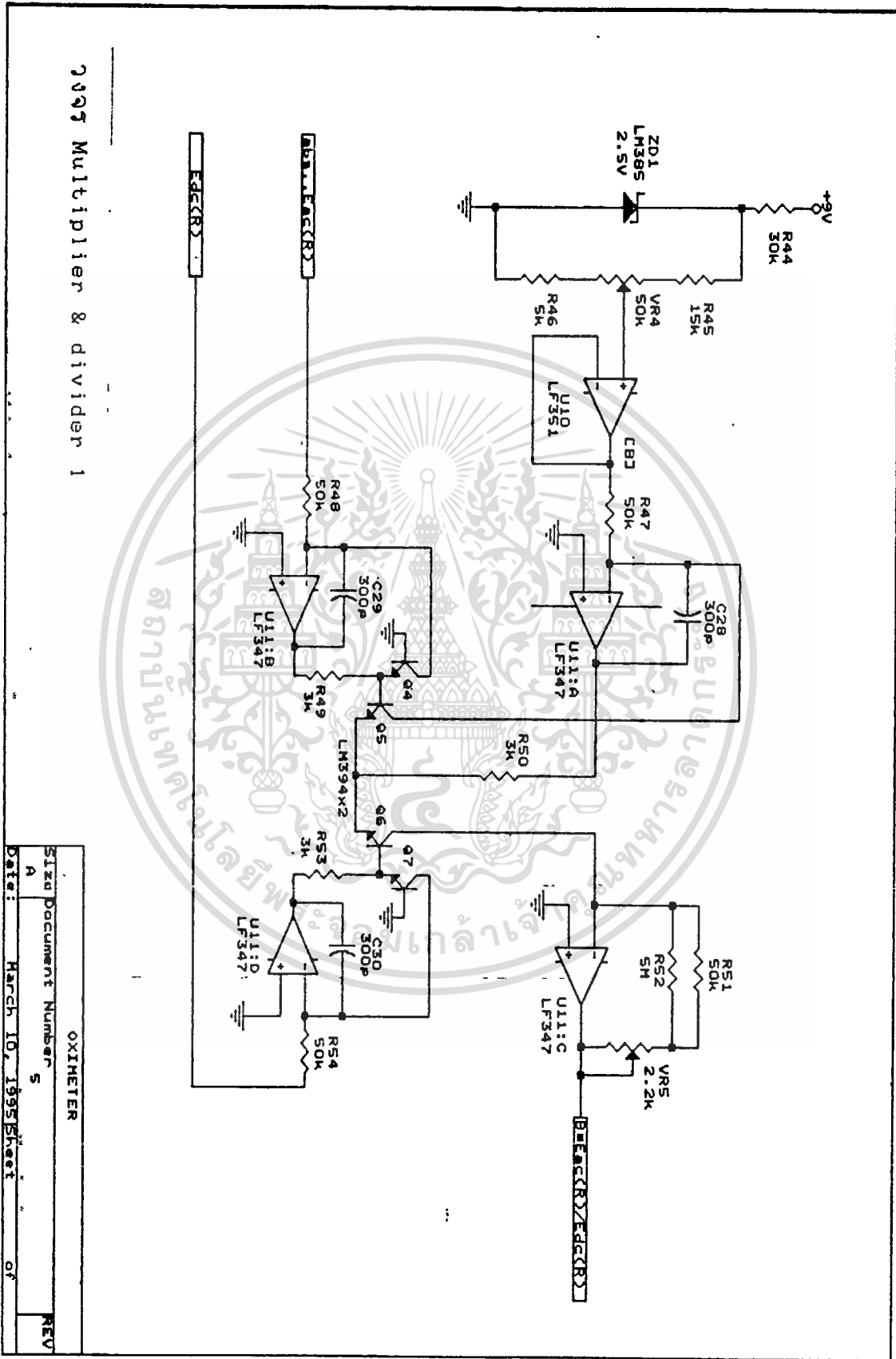
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรี Amplitude detector



OXIMETER	
Size Document Number	4
REV	A
Date:	March 18, 1995
Sheet	1 of 1

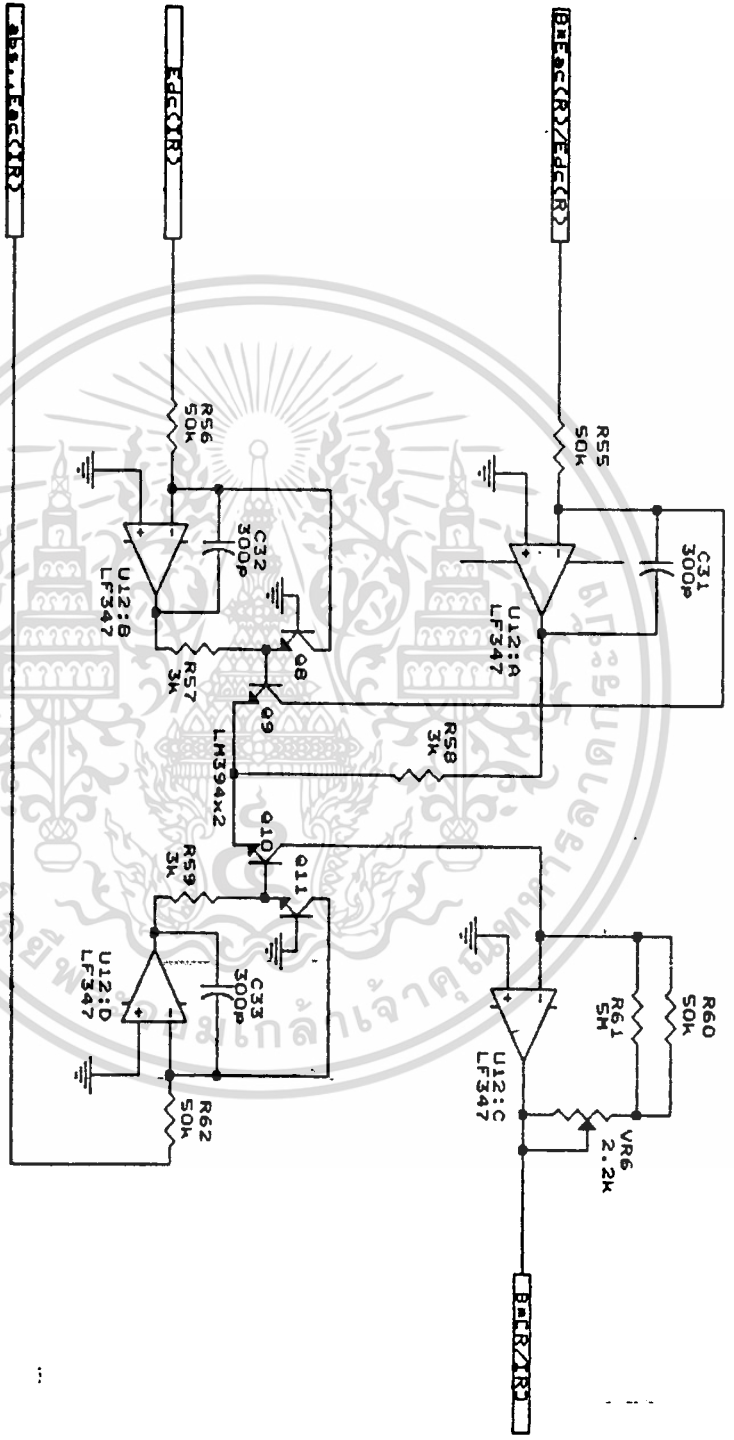
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



OXIMETER Multiplier & divider 1

OXIMETER	
Size Document Number	5
REV	A
Date:	March 10, 1995 Sheet
	of

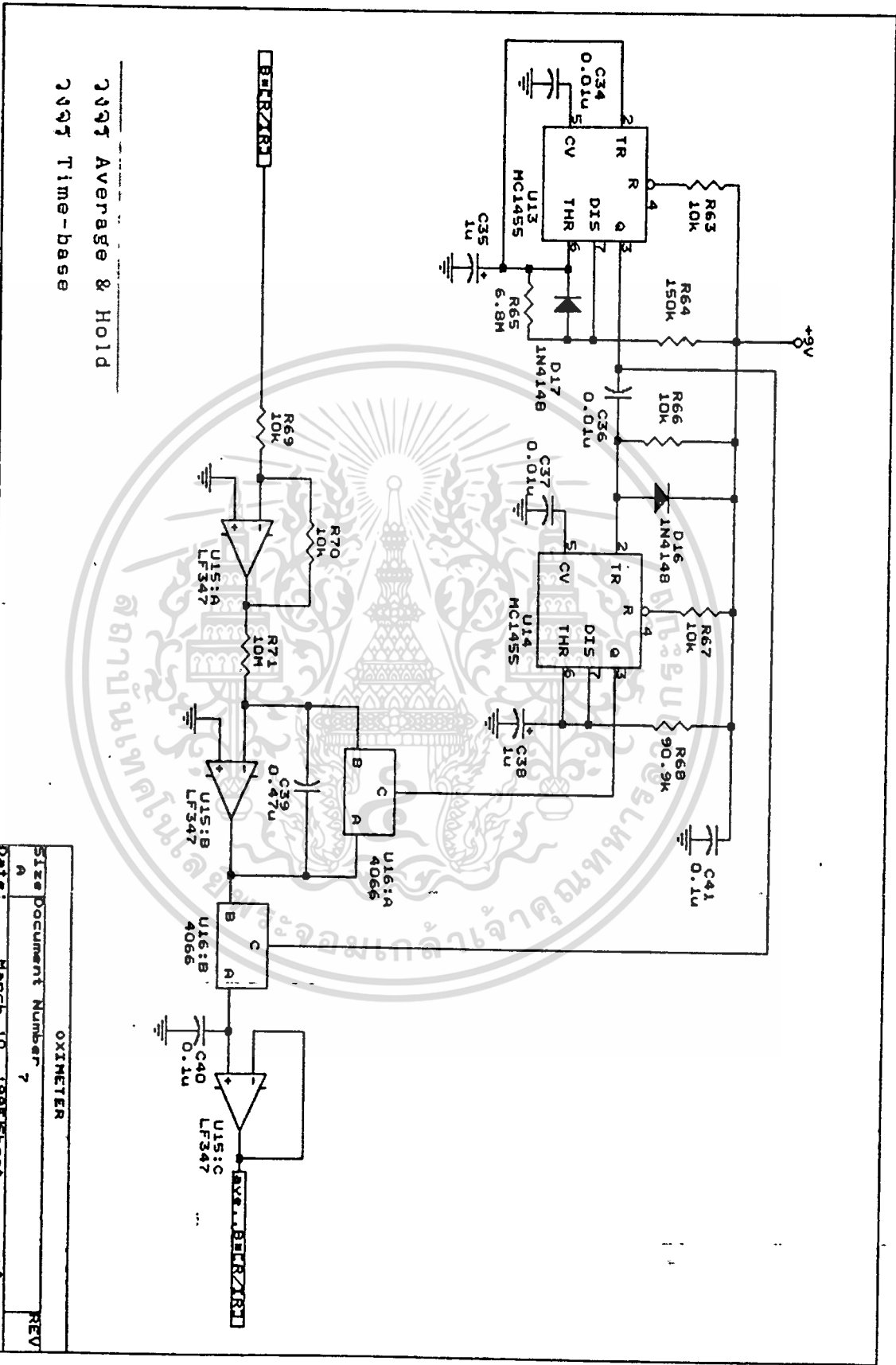
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรมัลติพลายเออร์ & ไดวิเดอร์ 2

OXIMETER	
Size Document Number	6
Date:	March 10, 1995
REV	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

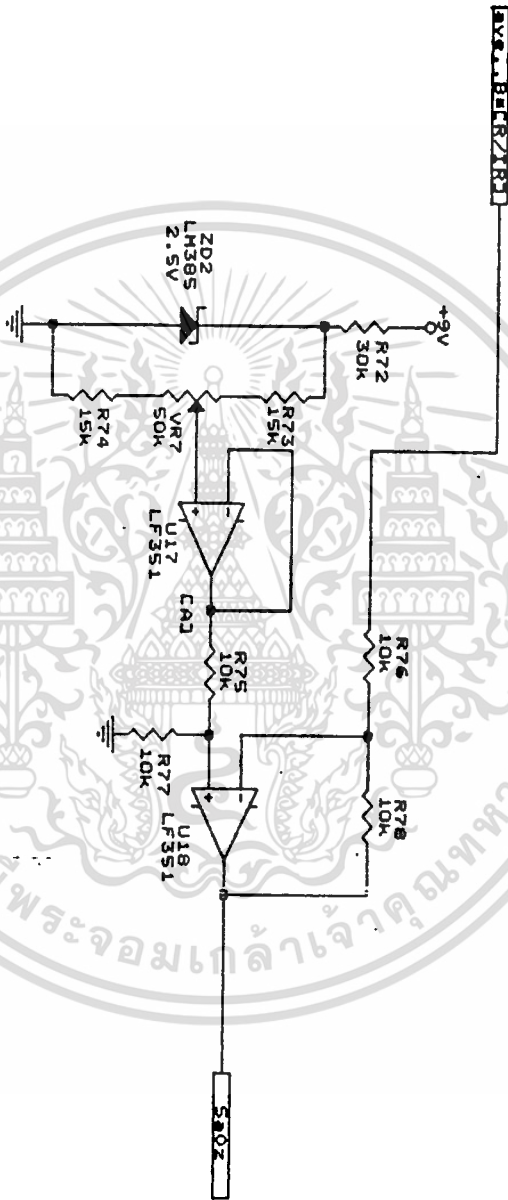


2VVT Average & Hold
 2VVT Time-base

OXIMETER	
Size	Document Number
A	7
Date:	March 10, 1991
Sheet	of
REV	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๖๖๖๖ Subtractor



OXIMETER
Size Document Number 8
Date: March 10, 1995 Sheet 1 of 1
REV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

Visible Red LED

MLED76

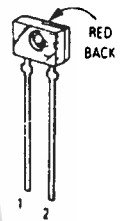
This device is designed for a wide variety of applications where visible light emission is desirable, and can be used in conjunction with any MRD700 series detector. The MLED76 features high power output, using gallium aluminum arsenide technology.

- Low Cost
- Popular Case 349 Package
- Uses Stable Long-Life LED Technology
- Clear Epoxy Package

**VISIBLE RED
LED
660 nm**

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V_R	5	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Forward Current — Peak Pulse	I_F	1	A
Total Power Dissipation (at $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 1) Derate above 35°C)	P_D	132 2	mW mW/°C
Ambient Operating Temperature Range	T_A	-40 to +100	°C
Storage Temperature	T_{stg}	-40 to +100	°C
Lead Soldering Temperature (Note 2)	—	260	°C



**CASE 349-01
PLASTIC**

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$)	I_R	—	100	—	nA
Reverse Leakage Current ($V_R = 5\text{ V}$)	I_R	—	10	100	μA
Forward Voltage ($I_F = 60\text{ mA}$)	V_F	—	1.8	2.2	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage	ΔV_F	—	-2.2	—	mV/K
Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$)	C	—	50	—	pF

OPTICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Peak Wavelength ($I_F = 60\text{ mA}$)	λ_p	—	660	—	nm
Spectral Half-Power Bandwidth	$\Delta\lambda$	—	20	—	nm
Continuous Power Output ($I_F = 60\text{ mA}$) (Note 3)	P_O	—	2.2	—	mW
Instantaneous Power Output ($I_F = 100\text{ mA}$)	P_O	—	4	—	mW
Instantaneous Axial Intensity ($I_F = 100\text{ mA}$) (Note 4)	I_O	0.8	1.3	—	mW/sr
Power Half-Angle	θ	—	± 30	—	°
Optical Turn-On Time	t_{on}	—	200	—	ns
Optical Turn-Off Time	t_{off}	—	150	—	ns
Half-Power Electrical Bandwidth (Note 5)	BWe	—	6	—	MHz

- Notes 1 Measured with device soldered into a typical printed circuit board
2 5 seconds max, 1/16 inch from case. Heat sink should be applied during soldering, to prevent case temperature from exceeding 100°C
3 Measured using a Photodyne 88xLA with a #350 integrating sphere.
4 On-axis, with cone angle of $\pm 13^\circ$
5 $I_F = 100\text{ mA}$ pk-pk, 100% modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MLED76

TYPICAL CHARACTERISTICS

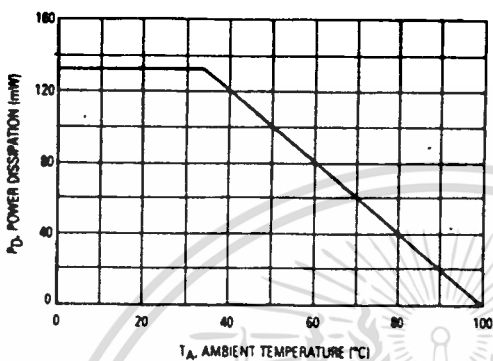


Figure 1. Power Dissipation

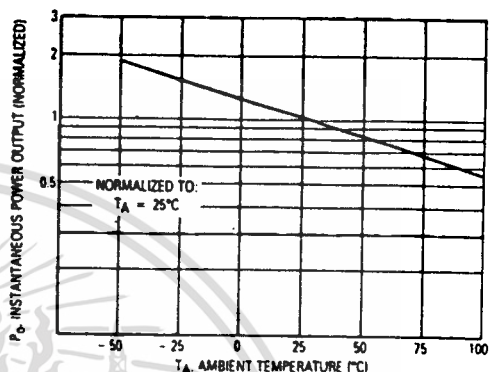


Figure 2. Instantaneous Power Output versus Ambient Temperature

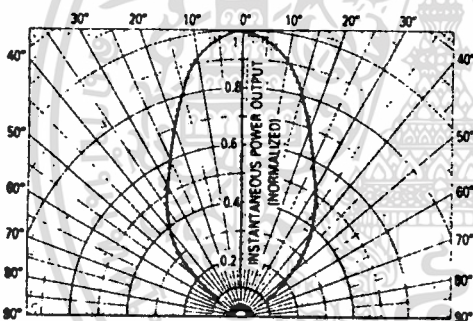


Figure 3. Spatial Radiation Pattern

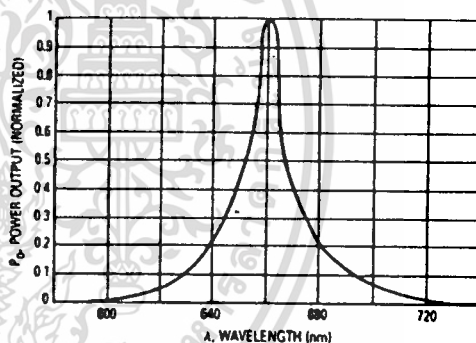


Figure 4. Relative Spectral Emission

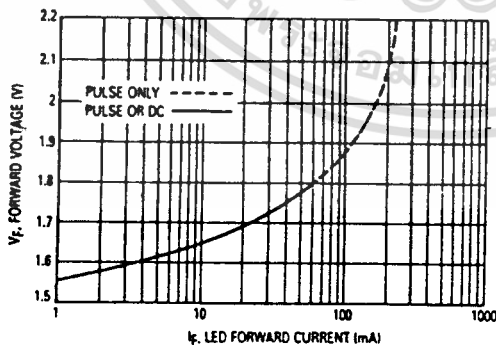


Figure 5. Forward Voltage versus Forward Current

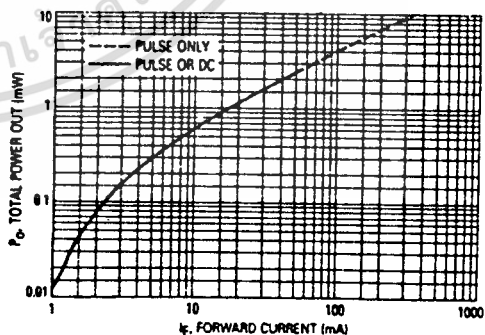
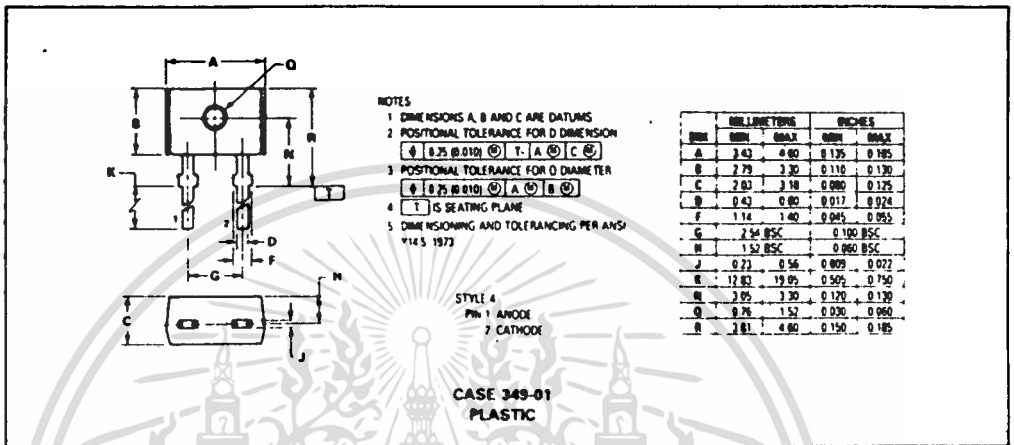


Figure 6. Instantaneous Power Output versus Forward Current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MLED76

OUTLINE DIMENSIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA**

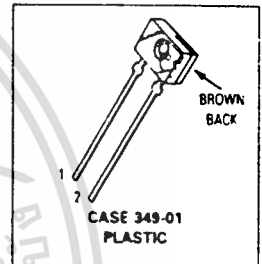
Infrared LED

This device is designed for a wide variety of infrared applications, including keyboards, end-of-tape sensors, coin or paper handlers, and other general sensing applications. The MLED71 can be used in conjunction with any MRD700 series detector. It features high power output, using gallium arsenide technology.

- Low Cost
- Popular Case 349 Package, with Molded Lens
- Uses Stable Long-Life LED Technology
- Clear Epoxy Package

MLED71

**INFRARED
LED
940 nm**



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V_R	6	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	50	mA
Forward Current — Peak Pulse	I_F	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 1) Derate above 55°C	P_D	90 2	mW mW/°C
Ambient Operating Temperature Range	T_A	-40 to +100	°C
Storage Temperature	T_{stg}	-40 to +100	°C
Lead Soldering Temperature (Note 2)	—	260	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Leakage Current ($V_R = 6\text{ V}$)	I_R	—	0.05	100	μA
Forward Voltage ($I_F = 50\text{ mA}$)	V_F	—	1.3	1.5	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage	ΔV_F	—	-1.6	—	mV/K
Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$)	C	—	18	—	pF

OPTICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Peak Wavelength ($I_F = 60\text{ mA}$)	λ_p	—	940	—	nm
Spectral Half-Power Bandwidth	$\Delta\lambda$	—	48	—	nm
Continuous Power Output ($I_F = 50\text{ mA}$) (Note 3)	P_O	2	2.5	—	mW
Instantaneous Power Output ($I_F = 100\text{ mA}$)	P_O	—	5	—	mW
Instantaneous Axial Intensity ($I_F = 100\text{ mA}$) (Note 4)	I_o	—	3.5	—	mW/sr
Power Half-Angle	θ	—	≈ 30	—	°
Optical Turn-On and Turn-Off Times	t_{on}, t_{off}	—	1	—	μs

- Notes 1. Measured with device soldered into a typical printed circuit board.
 2. 5 seconds max; 1/16 inch from case. Heat sink should be applied during soldering, to prevent case temperature from exceeding 100°C .
 3. Measured using a Photodyne 88xLA with a #350 integrating sphere.
 4. On 0° axis, with cone angle of $\approx 13^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MLED71

TYPICAL CHARACTERISTICS

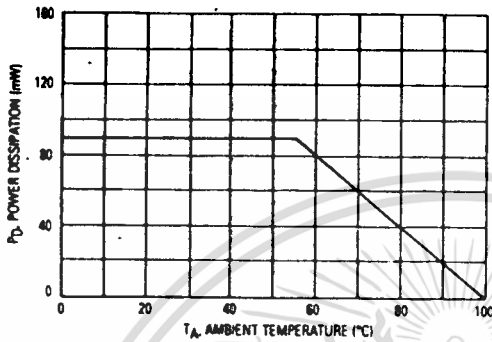


Figure 1. Power Dissipation

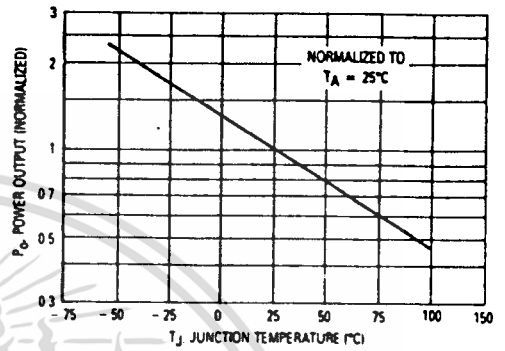


Figure 2. Instantaneous Power Output versus Ambient Temperature

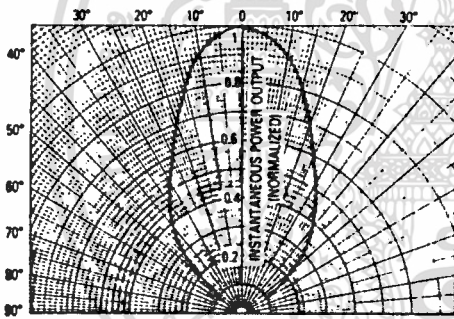


Figure 3. Spatial Radiation Pattern

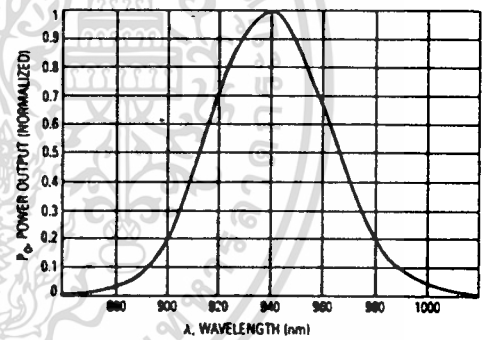


Figure 4. Relative Spectral Output

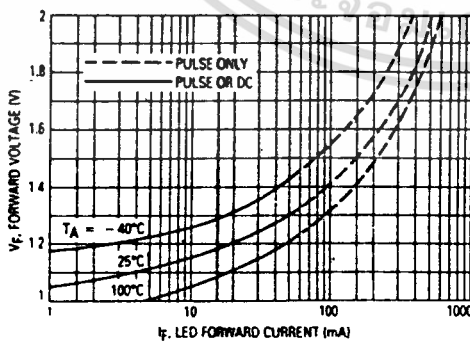


Figure 5. Forward Voltage versus Forward Current

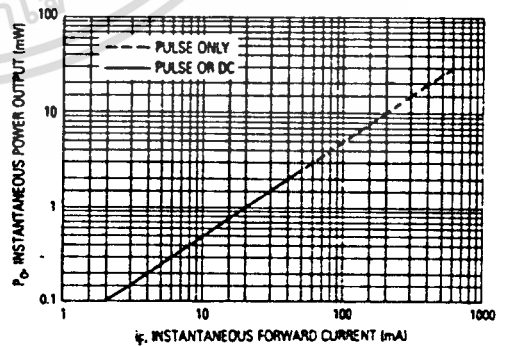
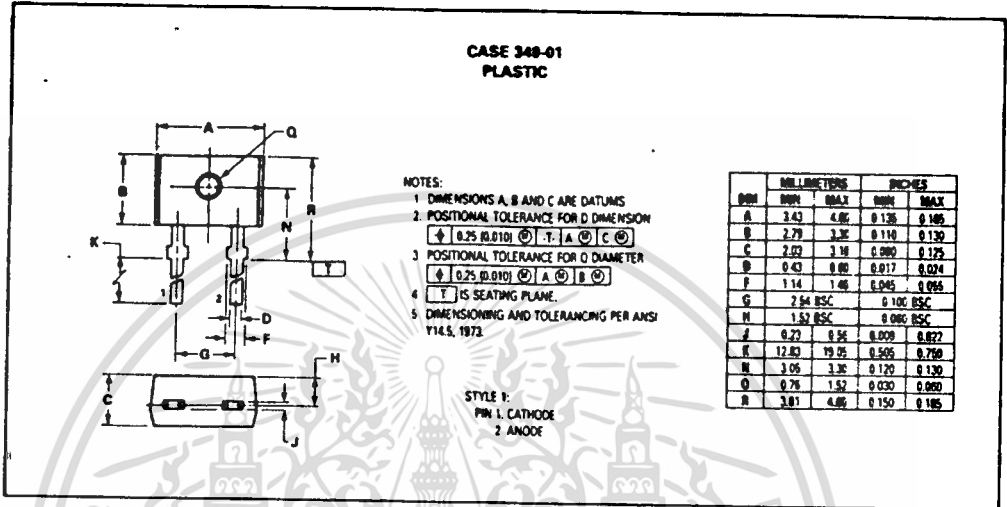


Figure 6. Instantaneous Power Output versus Forward Current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MLED71

OUTLINE DIMENSIONS



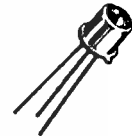
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

Photo Detectors
Darlington Output

MRD360
MRD370

PHOTO DETECTORS
DARLINGTON OUTPUT
NPN SILICON



CASE 82-05
METAL

... designed for application in industrial inspection, processing and control, counters, sorters, switching and logic circuit or any design requiring very high radiation sensitivity at low light levels.

- Popular TO-18 Type Hermetic Package for Easy Handling and Mounting
- Sensitive Throughout Visible and Near Infrared Spectral Range for Wider Application
- Minimum Light Current 12 mA at $H = 0.5 \text{ mW/cm}^2$ (MRD360)
- External Base for Added Control
- Switching Times —

t_r ($I_L = 1 \text{ mA peak} = 15 \mu\text{s (Typ)}$) — MRD370
 t_f ($I_L = 1 \text{ mA peak} = 25 \mu\text{s (Typ)}$) — MRD370

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	40	Volts
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	10	Volts
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	50	Volts
Light Current	I_L	250	mA
Total Device Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C)	P_D	250 2.27	mW mW/°C
Operating Temperature Range	T_A	-55 to +125	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	°C

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Collector Dark Current ($V_{CE} = 10 \text{ V}, H = 0$) $T_A = 25^\circ\text{C}$	I_{CE0}	—	10	100	nA
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 100 \mu\text{A}$)	$V_{(BR)CBO}$	50	—	—	Volts
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 100 \mu\text{A}$)	$V_{(BR)CEO}$	40	—	—	Volts
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = 100 \mu\text{A}$)	$V_{(BR)EBO}$	10	—	—	Volts

OPTICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Light Current ($V_{CC} = 5 \text{ V}, R_L = 10 \text{ Ohms}$) Note 1	I_L	12 3	20 10	— —	mA
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_L = 10 \text{ mA}, H = 2 \text{ mW/cm}^2$ at 2870K)	$V_{CE(sat)}$	—	—	1	Volt
Photo Current Rise Time (Note 2) ($R_L = 100 \text{ ohms}, I_L = 1 \text{ mA peak}$)	t_r	—	40 15	100 100	μs
Photo Current Fall Time (Note 2) ($R_L = 100 \text{ ohms}, I_L = 1 \text{ mA peak}$)	t_f	—	60 25	150 150	μs
Wavelength of Maximum Sensitivity	λ_s	—	0.8	—	μm

NOTES 1 Radiation flux density (H) equal to 0.5 mW/cm^2 emitted from a tungsten source at a color temperature of 2870 K.
 2 For unsaturated response time measurements, radiation is provided by pulsed GaAs (gallium-arsenide) light-emitting diode ($\lambda = 940 \text{ nm}$) with a pulse width equal to or greater than 500 microseconds (see Figure 6) $I_L = 1 \text{ mA peak}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MRD360, MRD370

TYPICAL CHARACTERISTICS

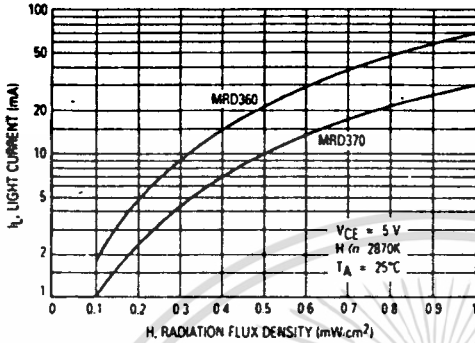


Figure 1. Light Current versus Irradiance

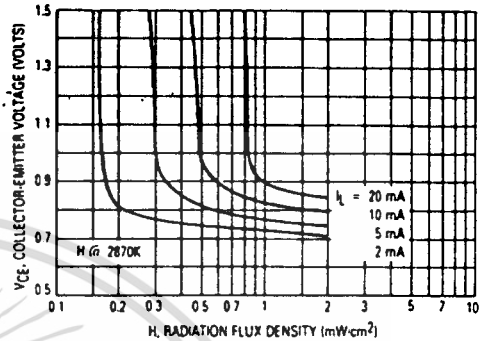


Figure 2. Collector-Emitter Saturation Characteristic

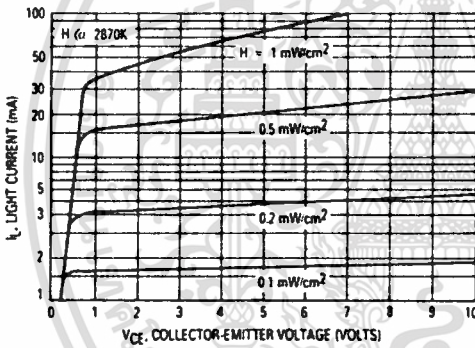


Figure 3. Collector Characteristics

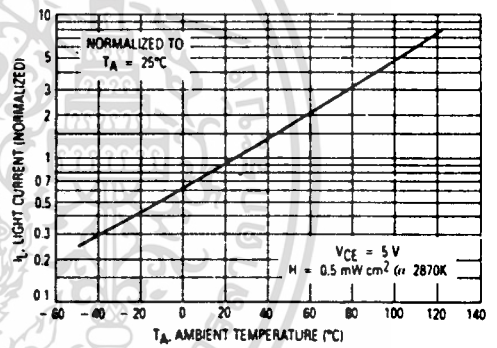


Figure 4. Normalized Light Current versus Temperature

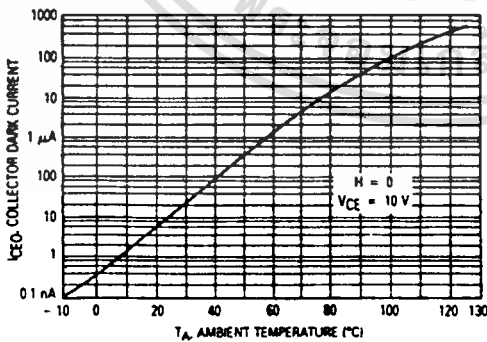


Figure 5. Dark Current versus Temperature

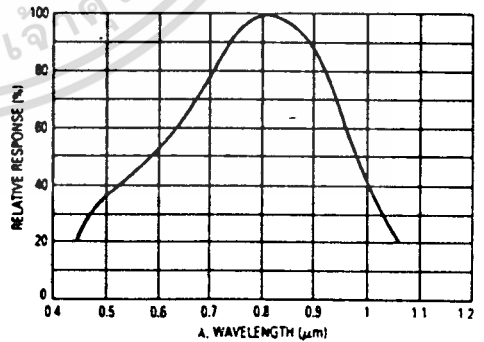


Figure 6. Constant Energy Spectral Response

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MRD360, MRD370

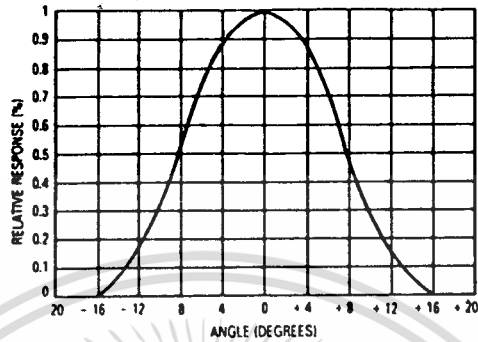


Figure 7. Angular Response

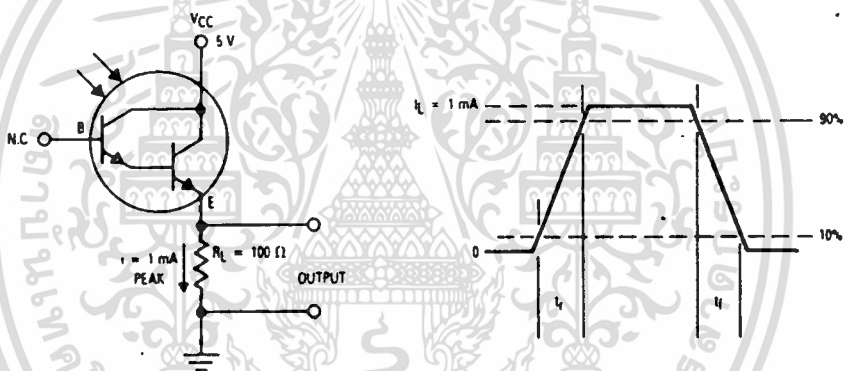
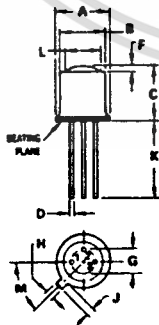


Figure 8. Pulse Response Test Circuit and Waveform

OUTLINE DIMENSIONS



- NOTES
- LEADS WITHIN 13 mm (0.05) RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE, AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION
 - PIN 3 INTERNALLY CONNECTED TO CASE

STYLE 1
 PIN 1 EMITTER
 2 BASE
 3 COLLECTOR

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	5.37	5.84	0.210	0.230
B	4.52	4.95	0.179	0.195
C	4.52	6.48	0.180	0.256
D	0.41	0.48	0.016	0.019
E	—	1.14	—	0.045
F	2.94	BSC	0.116	BSC
G	0.98	1.17	0.039	0.046
H	0.86	1.22	0.033	0.048
I	12.70	—	0.500	—
J	3.35	4.01	0.132	0.158
K	—	48° BSC	—	48° BSC

CASE 82-05
 METAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MC1455 MC1555

Specifications and Applications Information

TIMING CIRCUIT

The MC1555 MC1455 monolithic timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays, or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and the duty cycle are both accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output structure can source or sink up to 200 mA or drive M TTL circuits.

- Direct Replacement for NE555 SE555 Timers
- Timing From Microseconds Through Hours
- Operates in Both Astable and Monostable Modes
- Adjustable Duty Cycle
- High Current Output Can Source or Sink 200 mA
- Output Can Drive M TTL
- Temperature Stability of 0.005% per °C
- Normally "On" or Normally "Off" Output

FIGURE 1 - 22-SECOND SOLID STATE TIME DELAY RELAY CIRCUIT

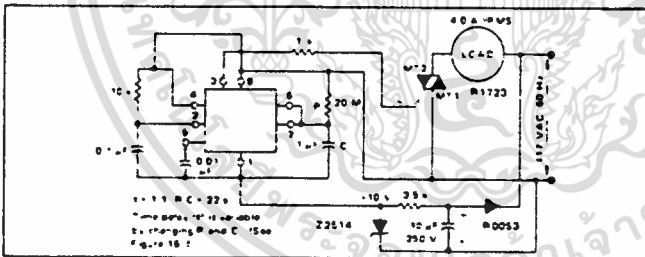
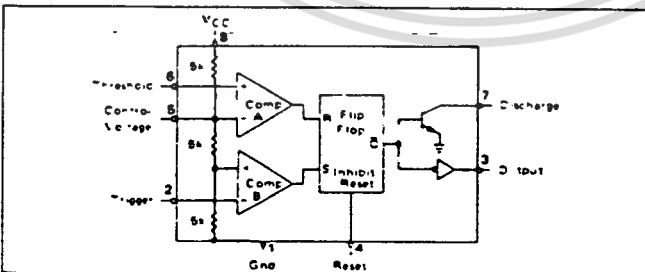


FIGURE 2 - BLOCK DIAGRAM



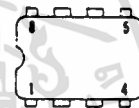
TYPICAL APPLICATIONS

- Time Delay Generation
- Precision Timing
- Missing Pulse Detection
- Sequential Timing
- Pulse Generation
- Pulse Width Modulation
- Linear Sweep Generation
- Pulse Shaping
- Pulse Position Modulation

TIMING CIRCUIT

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT

P1 SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626-04
(Top View)
(MC1455P1 only)



- 1 Ground
- 2 Trigger
- 3 Output
- 4 Reset
- 5 Control Voltage
- 6 Threshold
- 7 Discharge
- 8 VCC

U SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 693-02



G SUFFIX
METAL PACKAGE
CASE 601-04



- 1 Ground
- 2 Trigger
- 3 Output
- 4 Reset
- 5 Control Voltage
- 6 Threshold
- 7 Discharge
- 8 VCC

ORDERING INFORMATION

Device	Alternate	Temperature Range	Package
MC1455G	-	0°C to -70°C	Metal Can
MC1455P1	NE555V	0°C to -70°C	Plastic DIP
MC1455U	-	0°C to -70°C	Ceramic DIP
MC1555G	-	-55°C to -125°C	Metal Can
MC1555U	-	-55°C to -125°C	Ceramic DIP

MOTOROLA LINEAR INTERFACE DEVICES

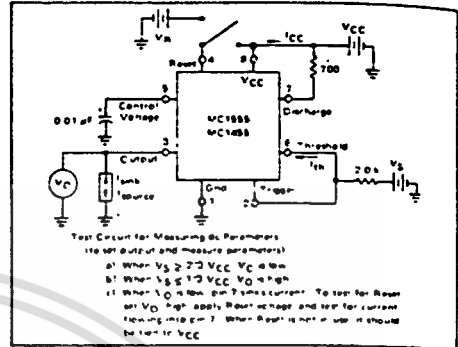
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1455, MC1555

MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	V _{CC}	+18	Vdc
Discharge Current (Pin 7)	I ₇	200	mA
Power Dissipation (Package Limitation)	P _D		
Metal Can		680	mW
Derate above T _A = +25°C		4.6	mW/°C
Plastic Dual In-Line Package		625	mW
Derate above T _A = +25°C		5.0	mW/°C
Operating Temperature Range (Ambient)	T _A	-55 to +125	°C
	MC1555		
	MC1455	0 to +70	
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150	°C

FIGURE 3 - GENERAL TEST CIRCUIT



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = +25°C, V_{CC} = +5.0 V to +15 V unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	MC1555			MC1455			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Supply Voltage	V _{CC}	4.5	-	18	4.5	-	16	V
Supply Current	I _{CC}	-	3.0	5.0	-	3.0	6.0	mA
V _{CC} = 5.0 V, R _L = ∞		-	10	12	-	10	15	
V _{CC} = 15 V, R _L = ∞		-	-	-	-	-	-	
Low State, (Note 1)		-	-	-	-	-	-	
Timing Error (Note 2)		-	0.5	2.0	-	1.0	-	%
R = 1.0 kΩ to 100 kΩ		-	30	100	-	50	-	PPM/μs
Initial Accuracy C = 0.1 μF		-	0.05	0.20	-	0.10	-	%/Volt
Drift with Temperature		-	-	-	-	-	-	
Drift with Supply Voltage		-	-	-	-	-	-	
Threshold Voltage	V _{th}	-	2/3	-	-	2/3	-	× V _{CC}
Trigger Voltage	V _T	4.8	5.0	5.2	-	5.0	-	V
V _{CC} = 15 V		1.45	1.67	1.9	-	1.67	-	
V _{CC} = 5.0 V		-	-	-	-	-	-	
Trigger Current	I _T	-	0.5	-	-	0.5	-	μA
Reset Voltage	V _R	0.4	0.7	1.0	0.4	0.7	1.0	V
Reset Current	I _R	-	0.1	-	-	0.1	-	mA
Threshold Current (Note 3)	I _{th}	-	0.1	0.25	-	0.1	0.25	μA
Discharge Leakage Current (Pin 7)	I _{dis}	-	-	100	-	-	100	nA
Control Voltage Level	V _{CL}	9.6	10	10.4	9.0	10	11	V
V _{CC} = 15 V		2.9	3.33	3.8	2.6	3.33	4.0	
V _{CC} = 5.0 V		-	-	-	-	-	-	
Output Voltage Low (V _{CC} = 15 V)	V _{OL}	-	0.1	0.15	-	0.1	0.25	V
I _{sink} = 10 mA		-	0.4	0.5	-	0.4	0.75	
I _{sink} = 50 mA		-	2.0	2.2	-	2.0	2.5	
I _{sink} = 100 mA		-	2.5	-	-	2.5	-	
I _{sink} = 200 mA		-	-	-	-	-	-	
(V _{CC} = 5.0 V)		-	0.1	0.25	-	0.25	0.35	
I _{sink} = 8.0 mA		-	-	-	-	-	-	
I _{sink} = 5.0 mA		-	-	-	-	-	-	
Output Voltage High	V _{OH}	-	12.5	-	-	12.5	-	V
(I _{source} = 200 mA)		-	13	-	-	13.3	-	
V _{CC} = 15 V		3.0	3.3	-	2.75	3.3	-	
(I _{source} = 100 mA)		-	-	-	-	-	-	
V _{CC} = 15 V		-	-	-	-	-	-	
V _{CC} = 5.0 V		-	-	-	-	-	-	
Rise Time of Output	t _{OLH}	-	100	-	-	100	-	ns
Fall Time of Output	t _{OHL}	-	100	-	-	100	-	ns

NOTES:

1. Supply current when output is high is typically 1.0 mA less.
2. Tested at V_{CC} = 5.0 V and V_{CC} = 15 V. Monostable mode.

3. This will determine the maximum value of R_A + R_B for 15 V operation. The maximum total R = 20 megohms.

MC1455, MC1555

TYPICAL CHARACTERISTICS ($T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.)

FIGURE 4 - TRIGGER PULSE WIDTH

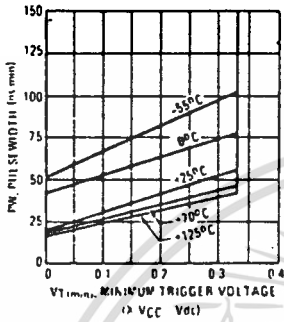


FIGURE 5 - SUPPLY CURRENT

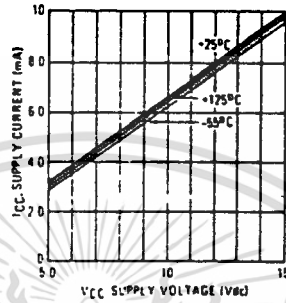


FIGURE 6 - HIGH OUTPUT VOLTAGE

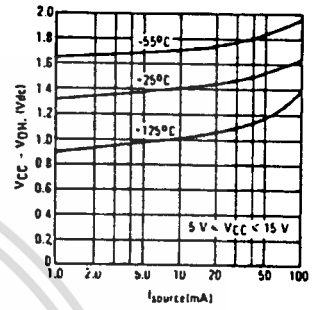


FIGURE 7 - LOW OUTPUT VOLTAGE
@ $V_{CC} = 5.0\text{ Vdc}$

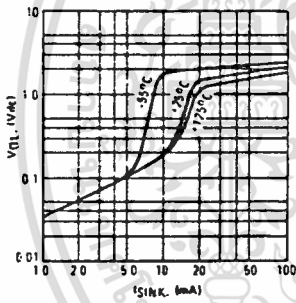


FIGURE 8 - LOW OUTPUT VOLTAGE
@ $V_{CC} = 10\text{ Vdc}$

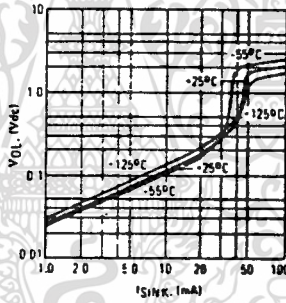


FIGURE 9 - LOW OUTPUT VOLTAGE
@ $V_{CC} = 15\text{ Vdc}$

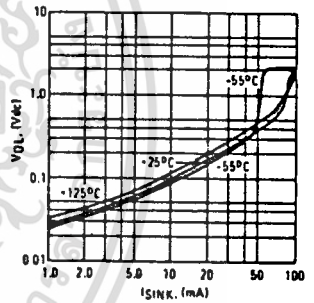


FIGURE 10 - DELAY TIME
VERSUS SUPPLY VOLTAGE

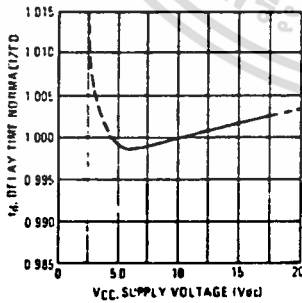


FIGURE 11 - DELAY TIME
VERSUS TEMPERATURE

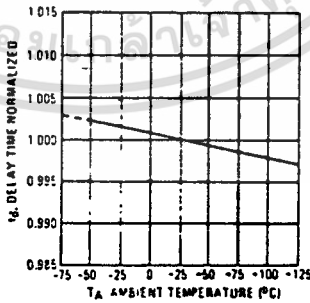
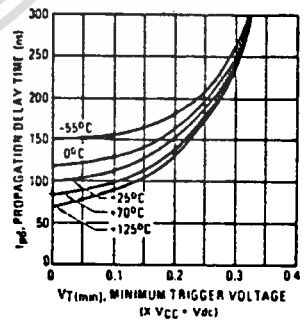
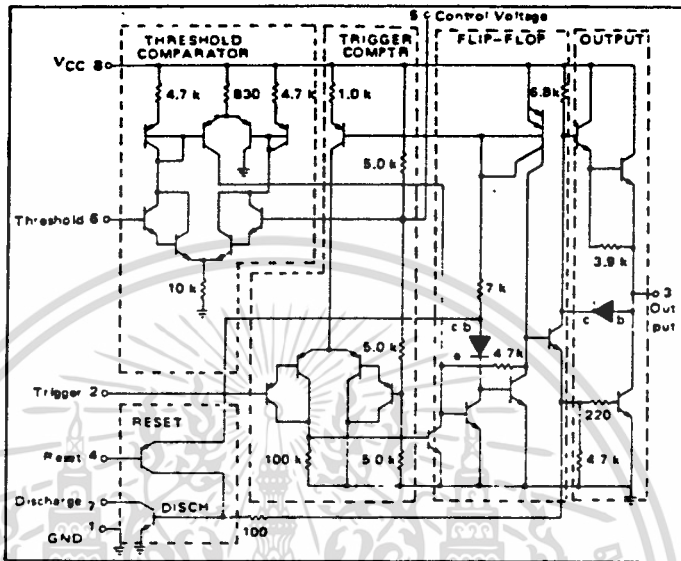


FIGURE 12 - PROPAGATION DELAY
VERSUS TRIGGER VOLTAGE



MC1455, MC1555

FIGURE 13 - REPRESENTATIVE CIRCUIT SCHEMATIC



GENERAL OPERATION

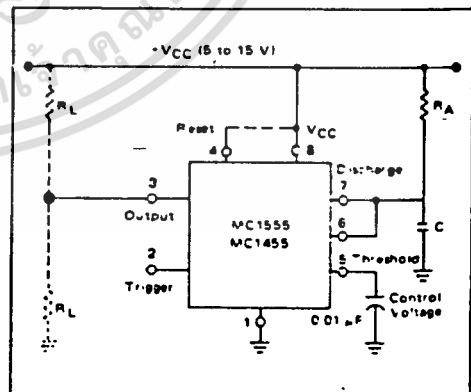
The MC1555 is a monolithic timing circuit which uses as its timing elements an external resistor - capacitor network. It can be used in both the monostable (one-shot) and astable modes with frequency and duty cycle controlled by the capacitor and resistor values. While the timing is dependent upon the external passive components, the monolithic circuit provides the starting circuit, voltage comparison and other functions needed for a complete timing circuit. Internal to the integrated circuit are two comparators, one for the input signal and the other for capacitor voltage, also a flip-flop and digital output are included. The comparator reference voltages are always a fixed ratio of the supply voltage thus providing output timing independent of supply voltage.

A reset pin is provided to discharge the capacitor thus interrupting the timing cycle. As long as the reset pin is low, the capacitor discharge transistor is turned "on" and prevents the capacitor from charging. While the reset voltage is applied the digital output will remain the same. The reset pin should be tied to the supply voltage when not in use.

FIGURE 14 - MONOSTABLE CIRCUIT

Monostable Mode

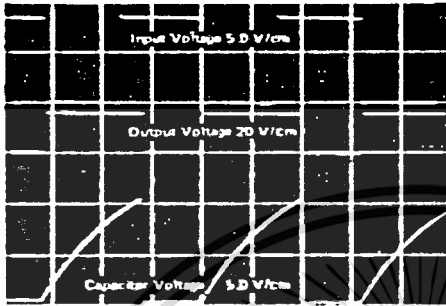
In the monostable mode, a capacitor and a single resistor are used for the timing network. Both the threshold terminal and the discharge transistor terminal are connected together in this mode, refer to circuit Figure 14. When the input voltage to the trigger comparator falls below $1/3 V_{CC}$ the comparator output triggers the flip-flop so that its output sets low. This turns the capacitor discharge transistor "off" and drives the digital output to the high state. This condition allows the capacitor to charge at an exponential rate which is set by the RC time constant. When the capacitor voltage reaches $2/3 V_{CC}$ the threshold comparator resets the flip-flop. This action discharges the timing capacitor and returns the digital output to the low state. Once the flip-flop has been triggered by an input signal, it cannot be retriggered until the present timing period has been completed. The time that the output is high is given by the equation $t = 1.1 R_A C$. Various combinations of R and C and their associated times are shown in Figure 16. The trigger pulse width must be less than the timing period.



MC1455, MC1555

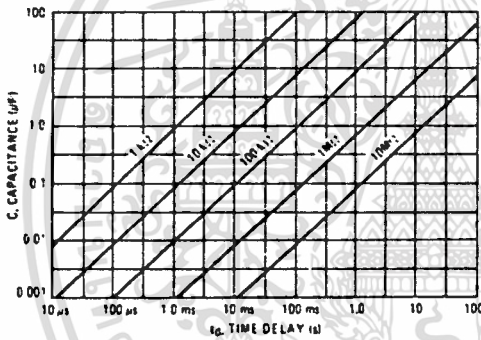
GENERAL OPERATION (continued)

FIGURE 15 - MONOSTABLE WAVEFORMS



$t = 50 \mu\text{s/cm}$
 $(R_A = 10 \text{ k}\Omega, C = 0.01 \mu\text{F}, R_L = 1.0 \text{ k}\Omega, V_{CC} = 15 \text{ V})$

FIGURE 16 - TIME DELAY



Astable Mode

In the astable mode the timer is connected so that it will retrigger itself and cause the capacitor voltage to oscillate between $1/3 V_{CC}$ and $2/3 V_{CC}$. See Figure 17.

The external capacitor charges to $2/3 V_{CC}$ through R_A and R_B and discharges to $1/3 V_{CC}$ through R_B . By varying the ratio of these resistors the duty cycle can be varied. The charge and discharge times are independent of the supply voltage.

The charge time (output high) is given by $t_1 = 0.695 (R_A + R_B) C$

The discharge time (output low) by $t_2 = 0.695 (R_B) C$

Thus the total period is given by $T = t_1 + t_2 = 0.695 (R_A + 2R_B) C$

The frequency of oscillation is then, $f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$

and may be easily found as shown in Figure 19.

The duty cycle is given by, $DC = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$

To obtain the maximum duty cycle R_A must be as small as possible, but it must also be large enough to limit the discharge current (pin 7 current) within the maximum rating of the discharge transistor (200 mA).

The minimum value of R_A is given by:

$$R_A > \frac{V_{CC} (V_{dc})}{I_7 (A)} > \frac{V_{CC} (V_{dc})}{0.2}$$

FIGURE 17 - ASTABLE CIRCUIT

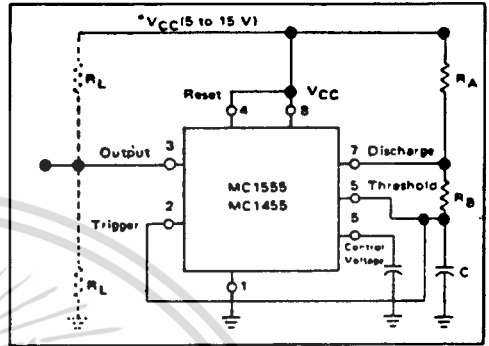
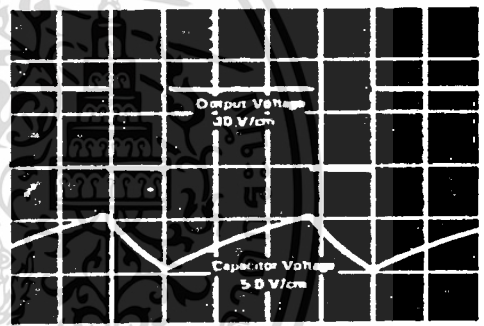
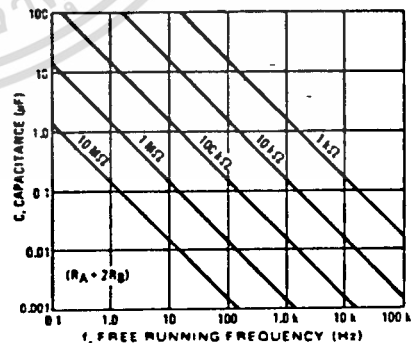


FIGURE 18 - ASTABLE WAVEFORMS



$t = 20 \mu\text{s/cm}$
 $(R_A = 5.1 \text{ k}\Omega, C = 0.01 \mu\text{F}, R_L = 1.0 \text{ k}\Omega;$
 $R_B = 3.9 \text{ k}\Omega, V_{CC} = 15 \text{ V})$

FIGURE 19 - FREE-RUNNING FREQUENCY



MC1555, MC1455

APPLICATIONS INFORMATION

Linear Voltage Ramp

In the monostable mode, the resistor can be replaced by a constant current source to provide a linear ramp voltage. The capacitor still charges from 0 to $2/3 V_{CC}$. The linear ramp time is given by

$$t = \frac{2}{3} \frac{V_{CC}}{I}$$

$$\text{where } I = \frac{V_{CC} - V_B - V_{BE}}{R_E} \quad \text{If } V_B \text{ is much larger than } V_{BE}.$$

then t can be made independent of V_{CC} .

Missing Pulse Detector

The timer can be used to produce an output when an input pulse fails to occur within the delay of the timer. To accomplish this, set the time delay to be slightly longer than the time between successive input pulses. The timing cycle is then continuously reset by the input pulse train until a change in frequency or a missing pulse allows completion of the timing cycle, causing a change in the output level.

FIGURE 20 - LINEAR VOLTAGE SWEEP CIRCUIT

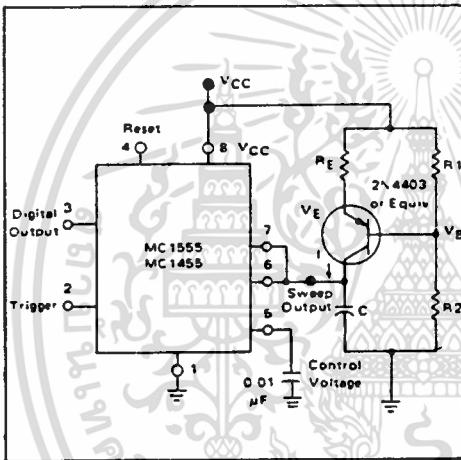
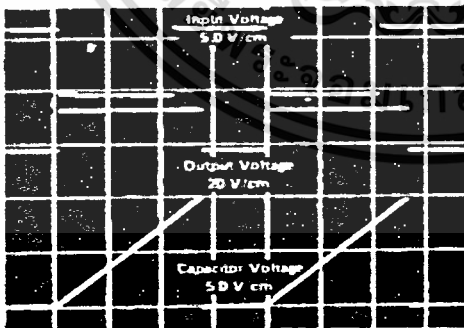


FIGURE 21 - LINEAR VOLTAGE RAMP WAVEFORMS

($R_E = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 39 \text{ k}\Omega$, $C = 0.01 \mu\text{F}$, $V_{CC} = 15 \text{ V}$)



1 = 100 μs/cm

FIGURE 22

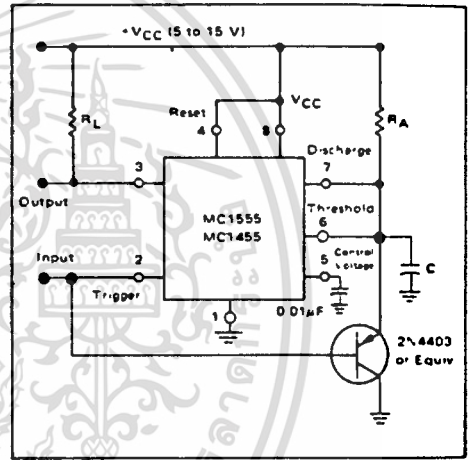
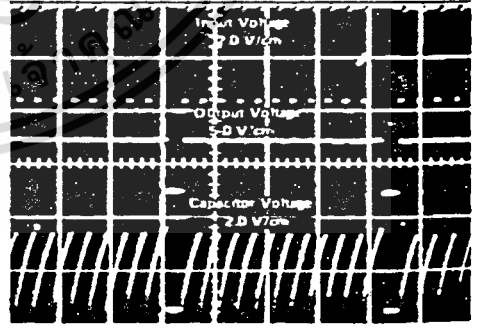


FIGURE 23 - MISSING PULSE DETECTOR WAVEFORMS

($R_A = 2.0 \text{ k}\Omega$, $R_L = 1.0 \text{ k}\Omega$, $C = 0.1 \mu\text{F}$, $V_{CC} = 15 \text{ V}$)



1 = 500 μs/cm

MC1455, MC1555

APPLICATIONS INFORMATION (continued)

Pulse Width Modulation

If the timer is triggered with a continuous pulse train in the monostable mode of operation, the charge time of the capacitor can be varied by changing the control voltage at pin 5. In this manner, the output pulse width can be modulated by applying a modulating signal that controls the threshold voltage.

FIGURE 24

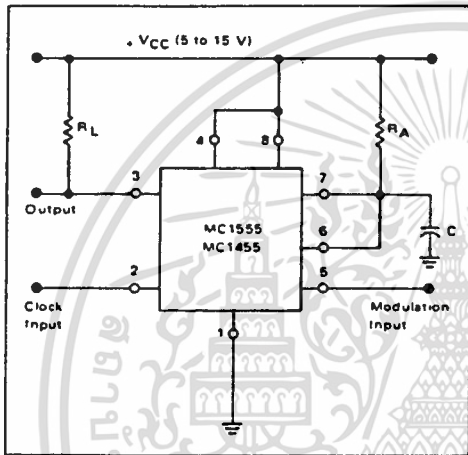
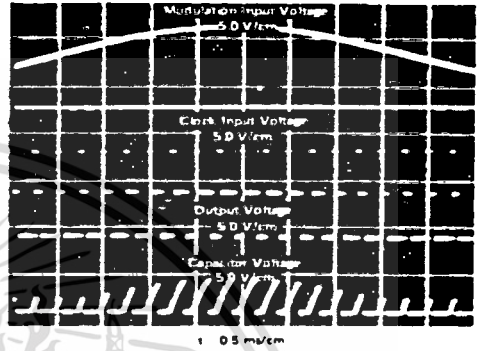


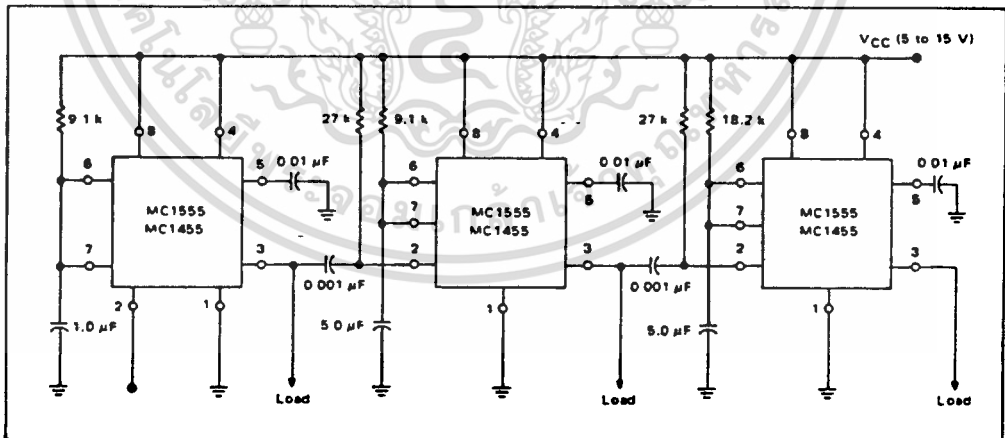
FIGURE 25 - PULSE WIDTH MODULATION WAVEFORMS
($R_A = 10\text{ k}\Omega$, $C = 0.02\text{ }\mu\text{F}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$)



Test Sequences

Several timers can be connected to drive each other for sequential timing. An example is shown in Figure 26 where the sequence is started by triggering the first timer which runs for 10 ms. The output then switches low momentarily and starts the second timer which runs for 50 ms and so forth.

FIGURE 26



SCL4066B



CMOS QUAD ANALOG SWITCH

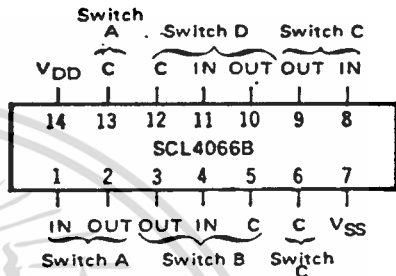
FEATURES

- ◆ Transmission or Multiplexing of Analog or Digital Signals
- ◆ 80Ω Typical ON-Resistance for 15-Volt operation
- ◆ Switch ON-Resistance Matched to within 5Ω over 15-Volt Signal-Input Range
- ◆ ON-Resistance Flat over Full Peak-to-Peak Signal Range
- ◆ High Degree of Linearity:
 $< 0.5\%$ Distortion (typ) @ $f_{is} = 1\text{kHz}$,
 $V_{is} = 5V_{p-p}$, $V_{DD} - V_{SS} \geq 10V$, $R_L = 10k\Omega$
- ◆ Extremely Low OFF switch Leakage Resulting in very Low Offset Current and High Effective OFF Resistance:
 $10pA$ (typ) @ $V_{DD} - V_{SS} = 10V$, $T_A = 25^\circ C$
- ◆ Extremely High Control Input Impedance (Control Circuit Isolated from Signal Circuit):
 $10^{12}\Omega$ (typ)
- ◆ Low Crosstalk between Switches:
 $-50dB$ (typ) @ $f_{is} = 0.9MHz$, $R_L = 1k\Omega$
- ◆ Matched Control-Input to Signal-Output Capacitance Reduces Output Signal Transients
- ◆ Frequency Response, Switch ON = 40MHz (typ)

DESCRIPTION

The SCL4066B is a Quad Bilateral Switch intended for the transmission or multiplexing of analog or digital signals. It is pin-for-pin compatible with the SCL4016B, but exhibits a much lower ON-resistance. In addition, the ON-resistance is relatively constant over the full input signal range. The SCL4066 consists of four independent bilateral switches. A single control signal is required per switch. Both the P and the N device in a given switch are biased ON or OFF simultaneously by the control signal. As shown below, the well of the N-channel device on each switch is either tied to the input when the switch is ON or to V_{SS} when the switch is OFF. This configuration minimizes the variation of the switch-transistor threshold

CONNECTION DIAGRAM (all packages)



Add suffix for package:

- C 14-pin Cerdip
- D 14-pin Ceramic
- E 14-pin Epoxy
- F 14-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

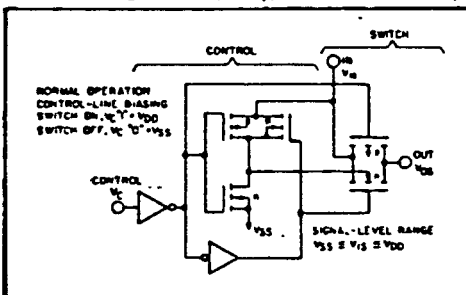
For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A		
C, D, F, H Device		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

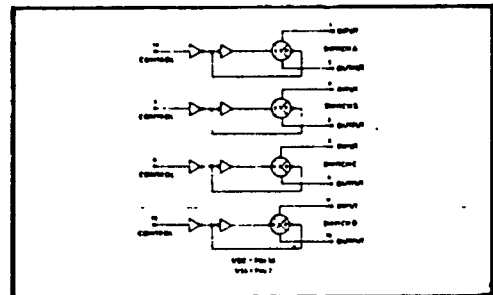
voltage with input-signal, and thus keeps the ON-resistance low over the full operating range.

The advantages over single-channel switches include peak input-signal voltage swings equal to the full supply voltage, and more constant ON-impedance over the input-signal range. For sample-and-hold applications, however, the SCL4016 is recommended.

SCHEMATIC DIAGRAM (one of four switches)



LOGIC DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS ^{1,2}

PARAMETER	CONDITIONS	V _{SS} (Vdc)	V _{DD} (Vdc)	T _{LOW} ³		25°C			T _{HIGH} ³		Units
				Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I _{DD} V _{IN} = V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	0	6	-	0.05	-	0.0005	0.05	-	1.5	μA _{dc}
		0	10	-	0.1	-	0.001	0.1	-	3.0	
		0	15	-	0.2	-	0.002	0.2	-	6.0	
MINIMUM INPUT HIGH VOLTAGE (Control Input)	V _{IH} V _{IS} = V _{SS} V _{OS} = V _{DD} I _{OS} = 10μA	0	5	-	4.0	-	2.75	4.0	-	4.0	Vdc
		0	10	-	8.0	-	5.5	8.0	-	8.0	
		0	15	-	12.0	-	8.25	12.0	-	12.0	
MAXIMUM INPUT LOW VOLTAGE (Control Input)	V _{IL} V _{IS} = V _{SS} V _{OS} = V _{DD} I _{OS} = 10μA	0	5	1.0	-	1.0	2.25	-	1.0	-	Vdc
		0	10	2.0	-	2.0	4.5	-	2.0	-	
		0	15	3.0	-	3.0	6.75	-	3.0	-	
SWITCH INPUT/OUTPUT LEAKAGE	I _{OFF} V _C = V _{SS} V _{IS} = ±7.5Vdc	-7.5	+7.5	-	±100	-	±0.01	±100	-	±200	nA _{dc}
ON-RESISTANCE C, D, F, H device E device	R _{ON} V _C = V _{DD} V _{SS} < V _{IS} < V _{DD} R _L = 10Ω	-7.5	+7.5	-	220	-	80	280	-	320	Ω
		0	+15	-	-	-	-	-	-	-	
		-5	+5	-	310	-	120	400	-	550	
		0	+10	-	-	-	-	-	-	-	
		-2.5	+2.5	-	2000	-	270	2500	-	3500	
		0	+5	-	-	-	-	-	-	-	
	R _{ON} V _C = V _{DD} V _{SS} < V _{IS} < V _{DD} R _L = 10Ω	-7.5	+7.5	-	250	-	80	280	-	300	Ω
		0	+15	-	-	-	-	-	-	-	
		-5	+5	-	330	-	120	400	-	520	
-2.5	+2.5	-	2100	-	270	2500	-	3200	Ω		
ON-RESISTANCE MATCH (Same package)	ΔR _{ON} V _C = V _{DD} V _{SS} < V _{IS} < V _{DD} R _L = 10Ω	-7.5	+7.5	-	-	-	5	-	-	-	Ω
		0	+15	-	-	-	-	-	-	-	
		-5	+5	-	-	-	10	-	-	-	
-2.5	+2.5	-	-	-	10	-	-	-	Ω		

NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications"

² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.

= -40°C for E device.

T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.

= + 85°C for E device.

³ This device has been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

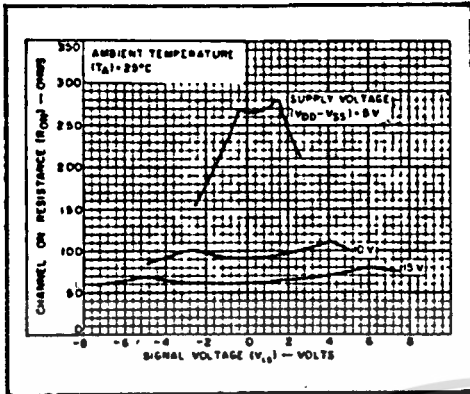
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

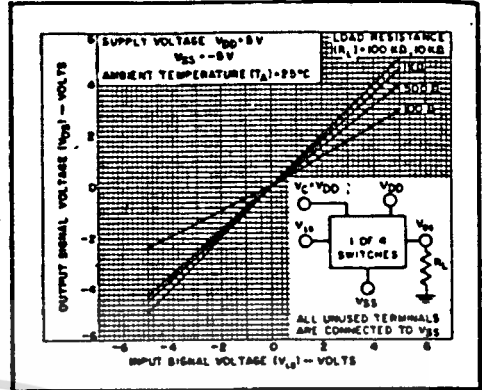
DYNAMIC CHARACTERISTICS ($C_L = 50\text{pF}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)

PARAMETER	CONDITIONS	V_{SS} (Vdc)	V_{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units		
SIGNAL INPUTS (V_{in}) AND OUTPUTS (V_{out})									
PROPAGATION DELAY TIME Signal Input to Signal Output	t_{PLH}	$V_C = V_{DD}$ $V_B = \text{Square Wave}$ $R_L = 10\text{k}\Omega$	0	5	—	20	ns		
	t_{PHL}		0	10	—	10			
			0	15	—	7.5			
BANDWIDTH (-3dB) (Sine Wave)	BW	$V_C = V_{DD}$ $V_B = 5V_{pp}$ centered @ 0.0Vdc	$R_L = 1\text{k}\Omega$	-5	+5	—	54	—	MHz
		$10\text{k}\Omega$	40						
		$100\text{k}\Omega$	38						
		$1\text{M}\Omega$	37						
INSERTION LOSS ($= 20 \log_{10} \frac{V_{out}}{V_{in}}$)		$V_C = V_{DD}$ $V_B = 5V_{pp}$ centered @ 0.0Vdc	$R_L = 1\text{k}\Omega$	-5	+5	—	2.3	—	dB
			$10\text{k}\Omega$				0.2		
			$100\text{k}\Omega$				0.1		
			$1\text{M}\Omega$				0.05		
SIGNAL DISTORTION (Sine Wave)		$V_C = V_{DD}$ $V_B = 5V_{pp}$ centered @ 0.0Vdc $f_{in} = 1.0\text{kHz}$ $R_L = 10\text{k}\Omega$	-5	+5	—	0.16	—	%	
FEEDTHROUGH (-50dB)		$V_C = V_{SS}$ $V_B = 5V_{pp}$ centered @ 0.0Vdc	$R_L = 1\text{k}\Omega$	-5	+5	—	1250	—	kHz
			$10\text{k}\Omega$				140		
			$100\text{k}\Omega$				18		
			$1\text{M}\Omega$				2		
CROSSTALK (-50dB) Between two switches		$V_C(A) = V_{DD}$ $V_C(B) = V_{SS}$ $V_B(A) = 5V_{pp}$ centered @ 0.0Vdc $R_L = 10\text{k}\Omega$	-5	+5	—	0.9	—	MHz	
CAPACITANCE		$V_C = V_{SS}$	C_{in}	-5	+5	—	8	—	pF
			C_{out}				8		pF
			C_{bst}				0.5		pF
CONTROL INPUT (V_C)									
PROPAGATION DELAY TIME Turn on	t_{PC}	$V_{SS} < V_B < V_{DD}$ $R_L = 10\text{k}\Omega$	0	5	—	50	100	ns	
			0	10	—	25	50		
			0	15	—	20	40		
MAXIMUM INPUT FREQUENCY	f_c	$V_{SS} < V_B < V_{DD}$ $R_L = 1.0\text{k}\Omega$	0	5	—	5	—	MHz	
			0	10	—	10	—		
			0	15	—	12	—		
CROSSTALK (To signal port)		$V_C = \text{Square Wave}$ $R_L = 10\text{k}\Omega$ $R_{in} = 1.0\text{k}\Omega$	0	5	—	30	—	mV	
			0	10	—	50	—		
			0	15	—	100	—		

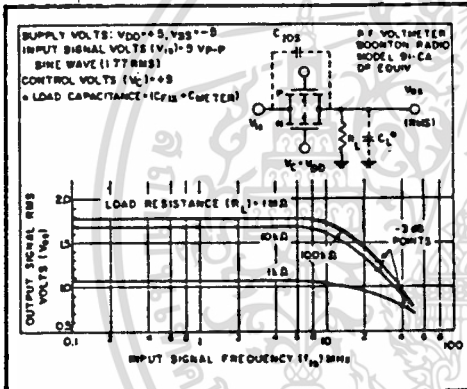
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



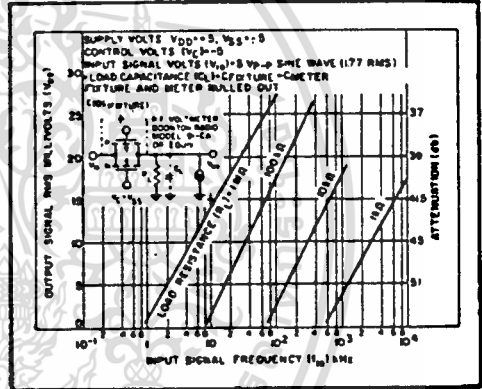
Typical channel ON resistance vs. signal voltage for three values of supply voltage ($V_{DD}-V_{SS}$)



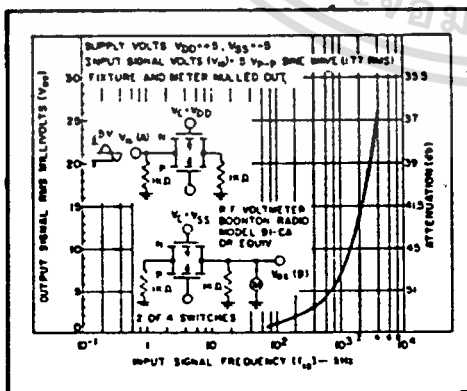
Typical ON characteristics for 1 of 4 channels.



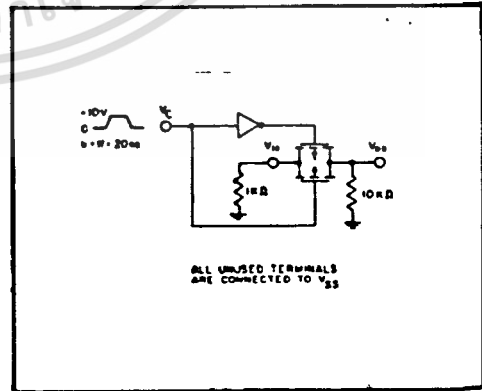
Typ. switch frequency response - switch "ON"



Typ. feedthrough vs. freq. - switch "OFF"



Typ. crosstalk between switch circuits in the same package



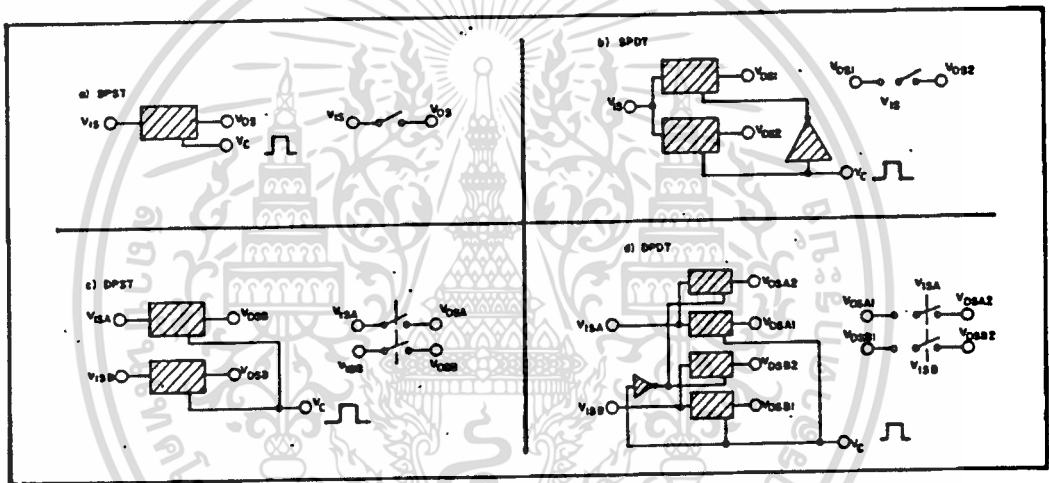
Test circuit, crosstalk-control input to signal output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

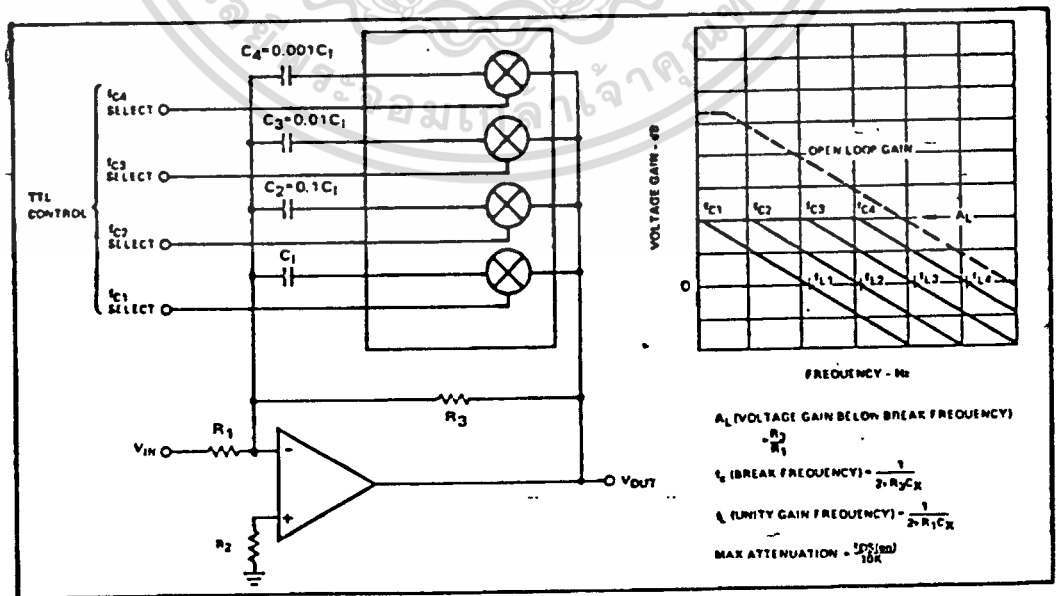
SPECIAL CONSIDERATIONS – SCL4066B

1. In applications where separate power sources are used to drive V_{DD} and the signal inputs, the V_{DD} current capability should exceed V_{DD}/R_L (R_L = effective external load of the 4 SCL4066B bilateral switches). This provision avoids any permanent current flow or clamp action on the V_{DD} supply when power is applied or removed from SCL4066B.
2. In certain applications, the external load-resistor current may include both V_{DD} and signal-line components. To avoid drawing V_{DD} current when switch current flows into terminals 1, 4, 8, or 11, the voltage drop across the bidirectional switch must not exceed 0.8 volt (calculated from R_{ON} values shown). No V_{DD} current will flow through R_L if the switch current flows into terminals 2, 3, 9, or 10. Failure to observe this condition may result in distortion of the signal.

APPLICATIONS INFORMATION



Basic Switch Functions using the SCL4066B



Active Low Pass Filter with Digitally Selected Break Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LF347
LF351
LF353**



JFET INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

These low-cost JFET input operational amplifiers combine two state-of-the-art linear technologies on a single monolithic integrated circuit. Each internally compensated operational amplifier has well matched high voltage JFET input devices for low input offset voltage. The BIFET technology provides wide bandwidths and fast slew rates with low input bias currents, input offset currents, and supply currents.

These devices are available in single, dual and quad operational amplifiers which are pin-compatible with the industry standard MC1741, MC1458, and the MC3403 LM324 bipolar devices.

- Input Offset Voltage of 5.0 mV Max (LF347B)
- Low Input Bias Current - 50 pA
- Low Input Noise Voltage - 16 nV $\sqrt{\text{Hz}}$
- Wide Gain Bandwidth - 4.0 MHz
- High Slew Rate - 13 V μs
- Low Supply Current - 1.8 mA per Amplifier
- High Input Impedance - $10^{12} \Omega$
- High Common-Mode and Supply Voltage Rejection Ratios - 100 dB

MAXIMUM RATINGS

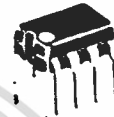
Rating	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V _{CC} V _{EE}	- 18 - 18	V
Differential Input Voltage	V _{ID}	= 30	V
Input Voltage Range (Note 1)	V _{IDR}	= 15	V
Output Short Circuit Duration (Note 2)	t _S	Continuous	
Power Dissipation at T _A = - 25°C	P _D	900	mW
Derate above T _A = - 25°C	1 μA	10	mW/°C
Operating Ambient Temperature Range	T _A	0 to - 70	°C
Operating Junction Temperature Range	T _J	115	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	- 65 to - 150	°C

NOTES:

1 Unless otherwise specified, the absolute maximum negative input voltage is limited to the negative power supply.

2 Any amplifier output can be shorted to ground indefinitely. However, if more than one amplifier output is shorted simultaneously, maximum junction temperature ratings may be exceeded.

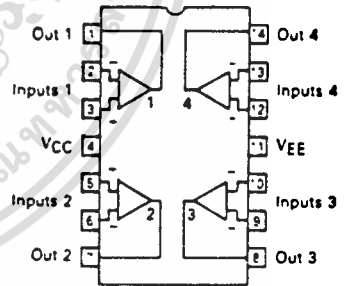
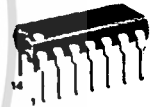
FAMILY OF BIFET OPERATIONAL AMPLIFIERS SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS



**N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626-04
(LF351, LF353 only)**



**N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646-05
(LF347 only)**



ORDERING INFORMATION

Op Amp Function	Device	Package
Single	LF351N	Plastic DIP
Dual	LF353N	Plastic DIP
Quad	LF347BN LF347N	Plastic DIP Plastic DIP

NOTES (continued)

3 Input bias currents of JFET input op amps approximately double for every 10°C rise in junction temperature. To maintain junction temperatures as close to ambient as possible, pulse techniques are utilized during test.

MOTOROLA LINEAR INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF347, LF351, LF353

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = -15 V, V_{EE} = -15 V, T_A = 25°C unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	LF347B			LF347, LF351, LF353			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (R _S = 10 k, V _{CM} = 0) T _A = -25°C 0°C < T _A < -70°C	V _{IO}	—	1.0	5.0	—	5.0	10	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage R _S = 10 k, 0°C < T _A < -70°C	ΔV _{IO} /ΔT	—	10	—	—	10	—	μV/°C
Input Offset Current (V _{CM} = 0, Note 3) T _A = -25°C 0°C < T _A < -70°C	I _{IO}	—	25	100	—	25	100	pA nA
Input Bias Current (V _{CM} = 0, Note 3) T _A = -25°C 0°C < T _A < -70°C	I _{IB}	—	50	200	—	50	200	pA nA
Input Resistance	r _i	—	10 ¹²	—	—	10 ¹²	—	Ω
Common Mode Input Voltage Range	V _{ICR}	= 11	-15 -12	—	= 11	-15 -12	—	V
Large-Signal Voltage Gain (V _O = -10 V, R _L = 20 k) T _A = -25°C 0°C < T _A < -70°C	A _{VOL}	50 25	100	—	25 15	100	—	V/mV
Output Voltage Swing (R _L = 10 k)	V _O	= 12	= 14	—	= 12	= 14	—	V
Common Mode Rejection Ratio (R _S = 10 k)	CMRR	80	100	—	70	100	—	dB
Supply Voltage Rejection Ratio (R _S = 10 k)	PSRR	80	100	—	70	100	—	dB
Supply Current	I _D	—	7.2	11	—	7.2	11	mA
	LF347	—	—	—	—	1.8	3.4	
	LF351	—	—	—	—	3.6	6.5	
	LF353	—	—	—	—	—	—	
Slew Rate (A _V = -1)	SR	—	13	—	—	13	—	V/μs
Gain-Bandwidth Product	BW _p	—	4.0	—	—	4.0	—	MHz
Equivalent Input Noise Voltage (R _S = 100 Ω, f = 1000 Hz)	e _n	—	16	—	—	16	—	nV/√Hz
Equivalent Input Noise Current (f = 1000 Hz)	i _n	—	0.01	—	—	0.01	—	pA/√Hz
Channel Separation (LF347, LF353) 1.0 Hz < f < 20 kHz (Input Referred)	—	—	-120	—	—	-120	—	dB

For Typical Characteristic Performance Curves, refer to MC34001 34002 34004 data sheet.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM194/LM394 Supermatch Pair

General Description

The LM194 and LM394 are junction isolated ultra well-matched monolithic NPN transistor pairs with an order of magnitude improvement in matching over conventional transistor pairs. This was accomplished by advanced linear processing and a unique new device structure.

Electrical characteristics of these devices such as drift versus initial offset voltage, noise, and the exponential relationship of base-emitter voltage to collector current closely approach those of a theoretical transistor. Extrinsic emitter and base resistances are much lower than presently available pairs, either monolithic or discrete, giving extremely low noise and theoretical operation over a wide current range. Most parameters are guaranteed over a current range of 1 μ A to 1 mA and 0V up to 40V collector-base voltage, ensuring superior performance in nearly all applications.

To guarantee long term stability of matching parameters, internal clamp diodes have been added across the emitter-base junction of each transistor. These prevent degradation due to reverse biased emitter current—the most common cause of field failures in matched devices. The parasitic isolation junction formed by the diodes also clamps the substrate region to the most negative emitter to ensure complete isolation between devices.

The LM194 and LM394 will provide a considerable improvement in performance in most applications requiring a closely

matched transistor pair. In many cases, trimming can be eliminated entirely, improving reliability and decreasing costs. Additionally, the low noise and high gain make this device attractive even where matching is not critical.

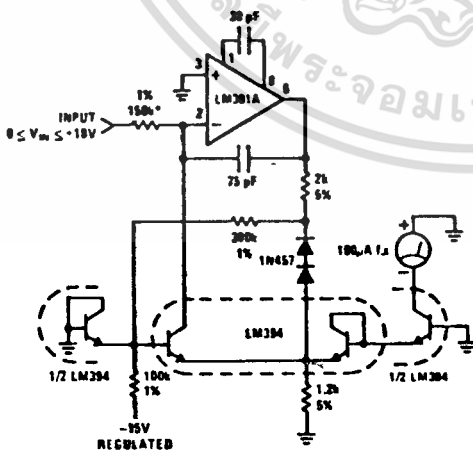
The LM194 and LM394/LM394B/LM394C are available in an isolated header 6-lead TO-5 metal can package. The LM394/LM394B/LM394C are available in an 8-pin plastic dual-in-line package. The LM394C is also available in a 8 pin plastic dual-in-line package. The LM194 is identical to the LM394 except for tighter electrical specifications and wider temperature range.

Features

- Emitter-base voltage matched to 50 μ V
- Offset voltage drift less than 0.1 μ V/ $^{\circ}$ C
- Current gain (h_{FE}) matched to 2%
- Common-mode rejection ratio greater than 120 dB
- Parameters guaranteed over 1 μ A to 1 mA collector current
- Extremely low noise
- Superior logging characteristics compared to conventional pairs
- Plug-in replacement for presently available devices

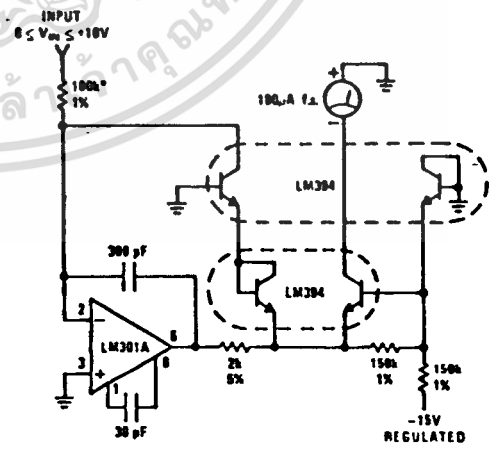
Typical Applications

Low Cost Accurate Square Root Circuit
 $I_{OUT} = 10^{-6} \cdot \sqrt{10 V_{IN}}$



TL/M/9241-1
*Trim for full scale accuracy

Low Cost Accurate Squaring Circuit
 $I_{OUT} = 10^{-6} (V_{IN})^2$



TL/M/9241-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 4)

Collector Current	20 mA
Collector-Emitter Voltage	V_{MAX}
Collector-Emitter Voltage LM394C	35V 20V
Collector-Base Voltage LM394C	35V 20V
Collector-Substrate Voltage LM394C	35V 20V
Collector-Collector Voltage LM394C	35V 20V

Base-Emitter Current

Power Dissipation

Junction Temperature

LM194

LM394/LM394B/LM394C

Storage Temperature Range

Soldering Information

Metal Can Package (10 sec.)

Dual-In-Line Package (10 sec.)

Small Outline Package

Vapor Phase (60 sec.)

Infrared (15 sec.)

See AN-450 "Surface Mounting and their Effects on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

±10 mA
500 mW

-55°C to +125°C

-25°C to +85°C

-65°C to +150°C

260°C

260°C

215°C

220°C

Electrical Characteristics ($T_J = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Conditions	LM194			LM394			LM394B/394C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Current Gain (h_{FE})	$V_{CB} = 0\text{V to } V_{MAX}$ (Note 1)										
	$I_C = 1\text{ mA}$	350	700		300	700		225	500		
	$I_C = 100\ \mu\text{A}$	350	550		250	550		200	400		
	$I_C = 10\ \mu\text{A}$	300	450		200	450		150	300		
	$I_C = 1\ \mu\text{A}$	200	300		150	300		100	200		
Current Gain Match, (h_{FE} Match) $= \frac{100 [\Delta I_B] (h_{FE(MIN)})}{I_C}$	$V_{CB} = 0\text{V to } V_{MAX}$										
	$I_C = 10\ \mu\text{A to } 1\text{ mA}$ $I_C = 1\ \mu\text{A}$		0.5 1.0	2		0.5 1.0	4		1.0 2.0	5	% %
Emitter-Base Offset Voltage	$V_{CB} = 0$ $I_C = 1\ \mu\text{A to } 1\text{ mA}$		25	100		25	150		50	200	μV
Change in Emitter-Base Offset Voltage vs Collector-Base Voltage (CMRR)	(Note 1) $I_C = 1\ \mu\text{A to } 1\text{ mA}$, $V_{CB} = 0\text{V to } V_{MAX}$		10	25		10	50		10	100	μV
Change in Emitter-Base Offset Voltage vs Collector Current	$V_{CB} = 0\text{V}$, $I_C = 1\ \mu\text{A to } 0.3\text{ mA}$		5	25		5	50		5	50	μV
Emitter-Base Offset Voltage Temperature Drift	$I_C = 10\ \mu\text{A to } 1\text{ mA}$ (Note 2) $I_{C1} = I_{C2}$		0.08	0.3		0.08	1.0		0.2	1.5	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
	V_{OS} Trimmed to 0 at 25°C		0.03	0.1		0.03	0.3		0.03	0.5	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Logging Conformity	$I_C = 3\text{ nA to } 300\ \mu\text{A}$, $V_{CB} = 0$, (Note 3)		150			150			150		μV
Collector-Base Leakage	$V_{CB} = V_{MAX}$		0.05	0.25		0.05	0.5		0.05	0.5	nA
Collector-Collector Leakage	$V_{CC} = V_{MAX}$		0.1	2.0		0.1	5.0		0.1	5.0	nA
Input Voltage Noise	$I_C = 100\ \mu\text{A}$, $V_{CB} = 0\text{V}$, $f = 100\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$		1.8			1.8			1.8		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Collector to Emitter Saturation Voltage	$I_C = 1\text{ mA}$, $I_B = 10\ \mu\text{A}$		0.2			0.2			0.2		V
	$I_C = 1\text{ mA}$, $I_B = 100\ \mu\text{A}$		0.1			0.1			0.1		V

Note 1: Collector-base voltage is swept from 0 to V_{MAX} at a collector current of 1 μA , 10 μA , 100 μA , and 1 mA.

Note 2: Offset voltage drift with $V_{OS} = 0$ at $T_A = 25^\circ\text{C}$ is valid only when the ratio of I_{C1} to I_{C2} is adjusted to give the initial zero offset. This ratio must be held to within 0.003% over the entire temperature range. Measurements taken at $\pm 25^\circ\text{C}$ and temperature extremes.

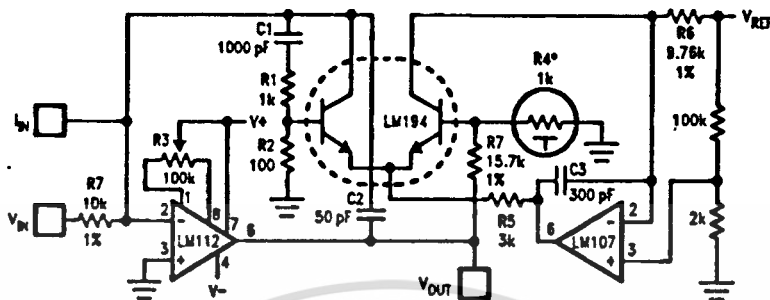
Note 3: Logging conformity is measured by computing the best fit to a true exponential and expressing the error as a base-emitter voltage deviation.

Note 4: Refer to RETS194X drawing of military LM194H version for specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Fast, Accurate Logging Amplifier, $V_{IN} = 10V$ to 0.1 mV or $I_{IN} = 1\text{ mA}$ to 10 nA

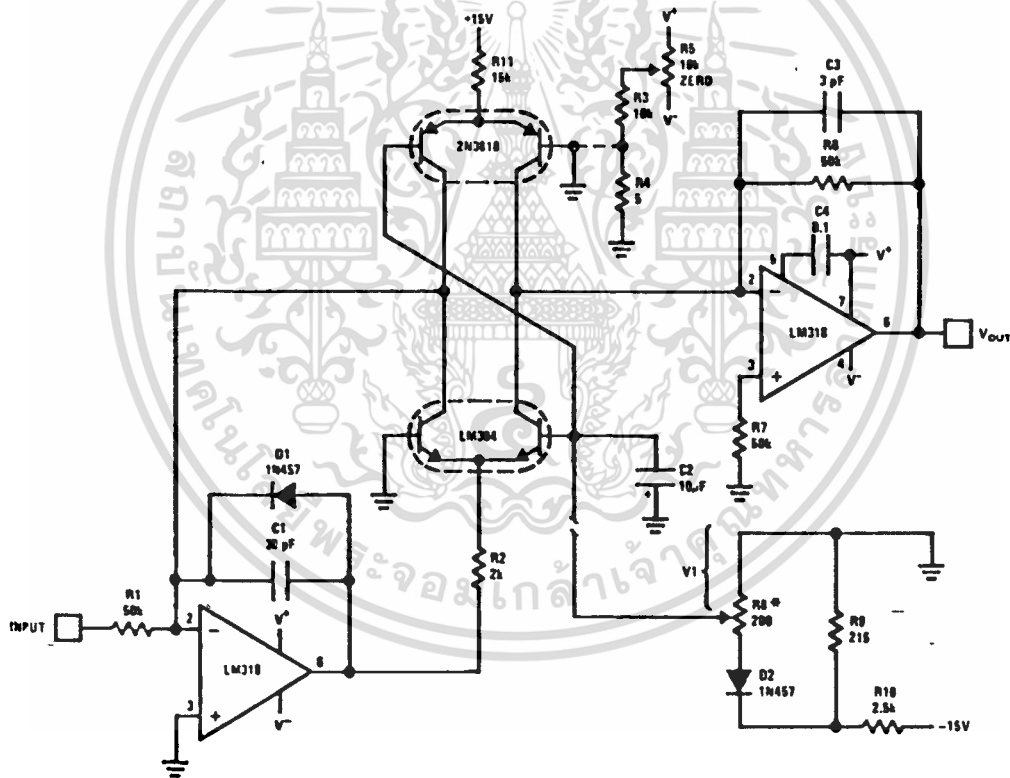


TL/H/9241-3

*Tel Labs type Q81 $\pm 0.3\%/^{\circ}\text{C}$

$$V_{OUT} = -\log_{10} \left(\frac{V_{IN}}{V_{REF}} \right)$$

Voltage Controlled Variable Gain Amplifier



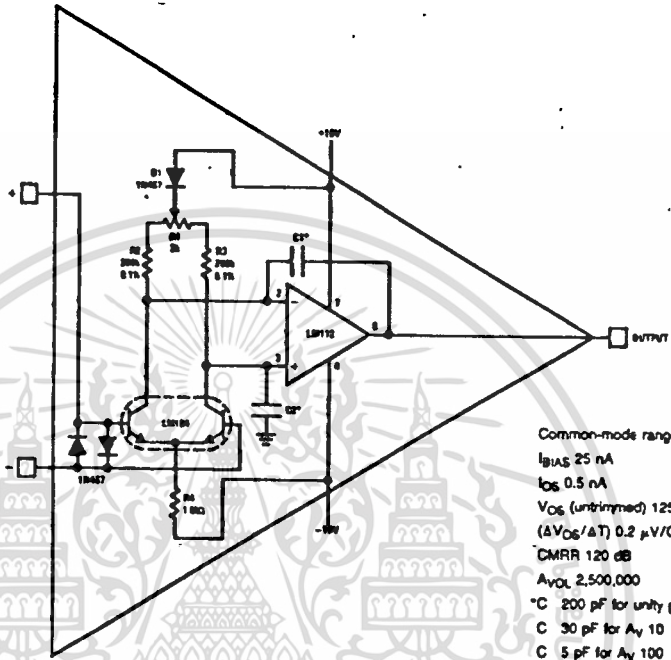
TL/H/9241-4

*R8-R10 and D2 provide a temperature independent gain control.
 $G = -336 V_1$ (dB)
 Distortion $< 0.1\%$
 Bandwidth $> 1\text{ MHz}$
 100 dB gain range

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

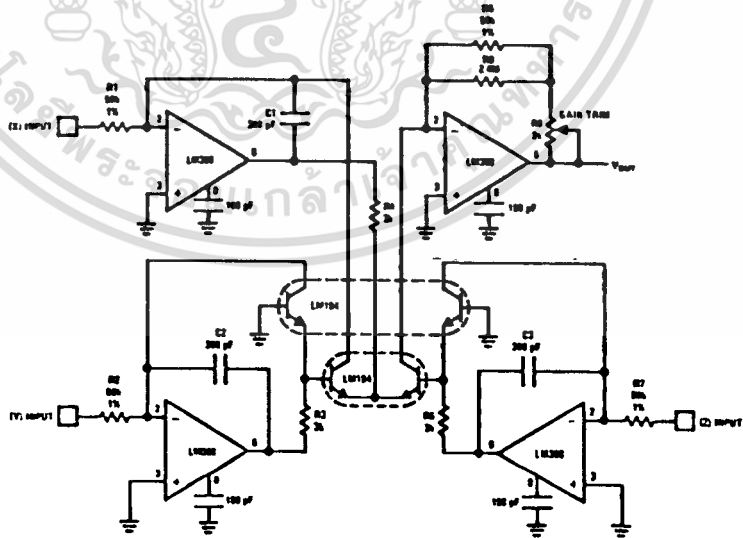
Precision Low Drift Operational Amplifier



- Common-mode range 10V
- I_{BIAS} 25 nA
- I_{OS} 0.5 nA
- V_{OS} (untrimmed) 125 μV
- (ΔV_{OS}/ΔT) 0.2 μV/°C
- CMRR 120 dB
- A_{VOL} 2,500,000
- *C 200 pF for unity gain
- C 30 pF for A_v 10
- C 5 pF for A_v 100
- C 0 pF for A_v 1000

TL/H/9241-5

High Accuracy One Quadrant Multiplier/Divider



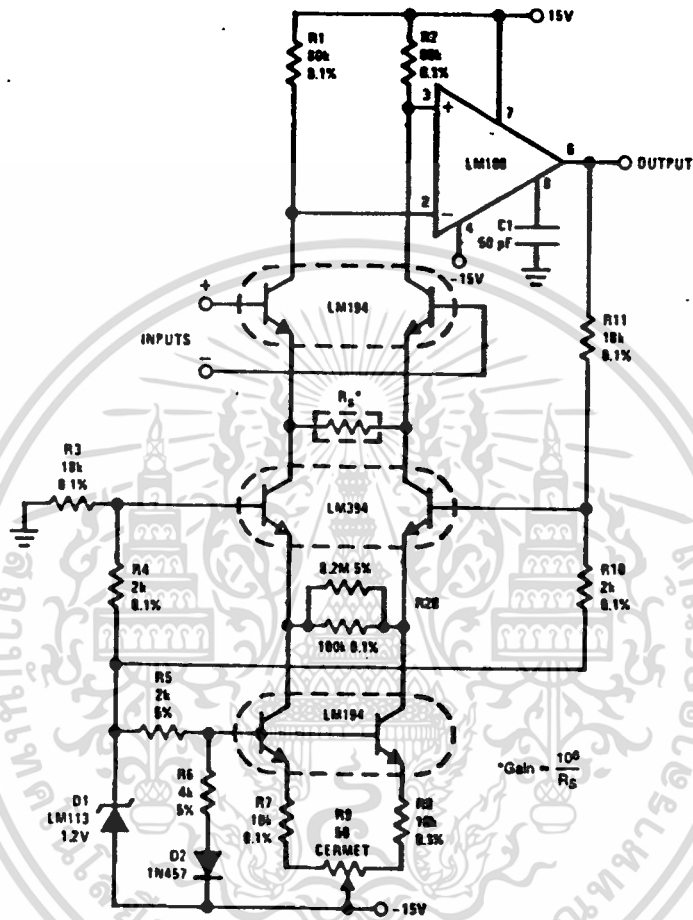
$V_{OUT} = \frac{(X)(Y)}{(Z)}$, positive inputs only.
 *Typical linearity 0.1%

TL/H/9241-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

High Performance Instrumentation Amplifier



TL/M/0241-7

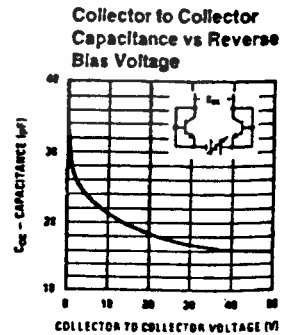
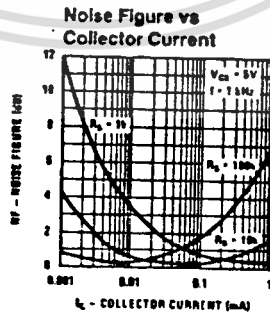
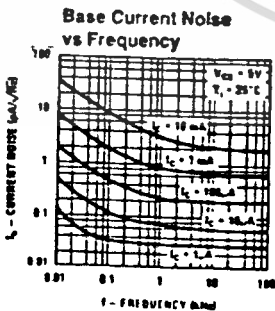
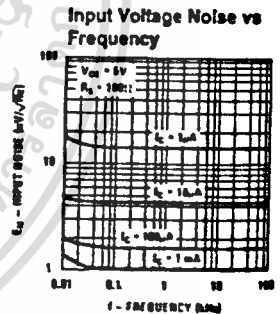
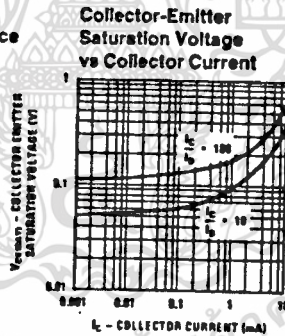
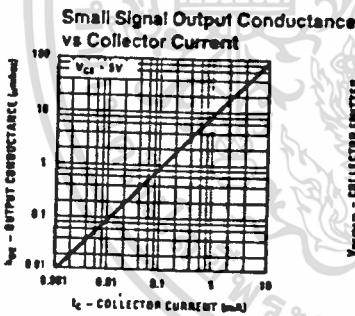
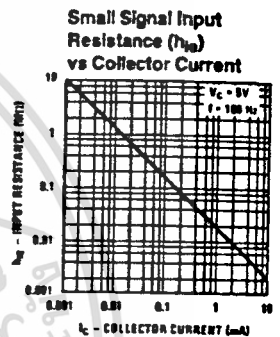
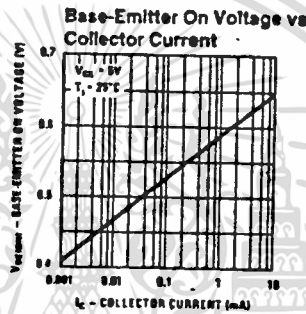
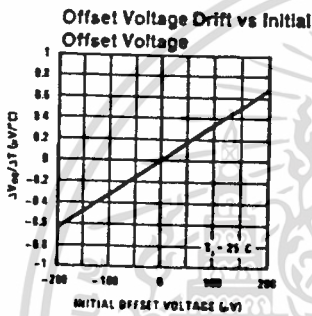
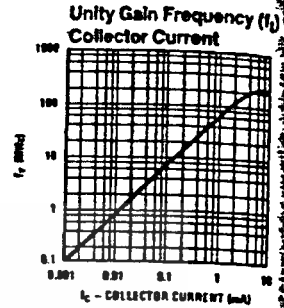
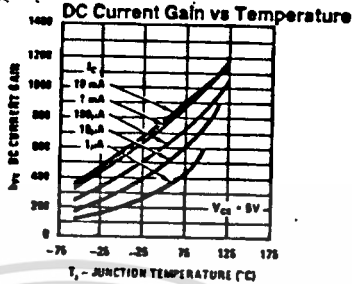
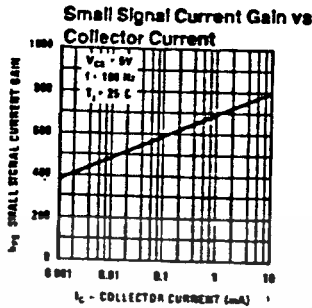
Performance Characteristics

	G = 10,000	G = 1,000	G = 100	G = 10	
Linearity of Gain ($\pm 10V$ Output)	≤ 0.01	≤ 0.01	≤ 0.02	≤ 0.05	%
Common-Mode Rejection Ratio (60 Hz)	≥ 120	≥ 120	≥ 110	≥ 90	dB
Common-Mode Rejection Ratio (1 kHz)	≥ 110	≥ 110	≥ 90	≥ 70	dB
Power Supply Rejection Ratio					
+ Supply	> 110	> 110	> 110	> 110	dB
- Supply	> 110	> 110	> 90	> 70	dB
Bandwidth (-3 dB)	50	60	50	50	kHz
Slew Rate	0.3	0.3	0.3	0.3	V/ μ s
Offset Voltage Drift**	≤ 0.25	≤ 0.4	2	≤ 10	μ V/ $^{\circ}$ C
Common-Mode Input Resistance	$> 10^9$	$> 10^9$	$> 10^9$	$> 10^9$	Ω
Differential Input Resistance	$> 3 \times 10^8$	$> 3 \times 10^8$	$> 3 \times 10^8$	$> 3 \times 10^8$	Ω
Input Referred Noise (100 Hz $\leq f \leq 10$ kHz)	5	6	12	70	nV/ \sqrt{Hz}
Input Bias Current	75	75	75	75	nA
Input Offset Current	1.5	1.5	1.5	1.5	nA
Common-Mode Range	± 11	± 11	± 11	± 10	V
Output Swing ($R_L = 10$ k Ω)	± 13	± 13	± 13	± 13	V

**Assumes ≤ 5 ppm/ $^{\circ}$ C tracking of resistors

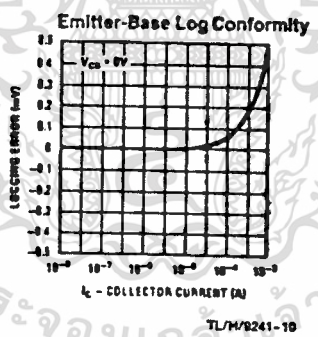
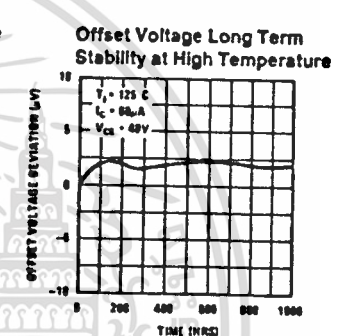
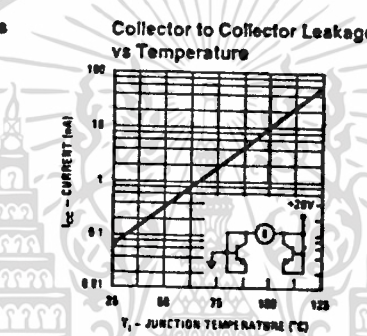
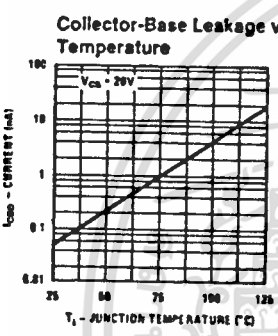
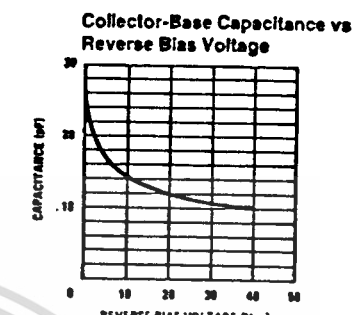
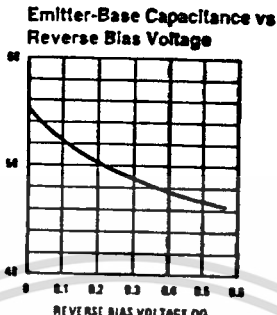
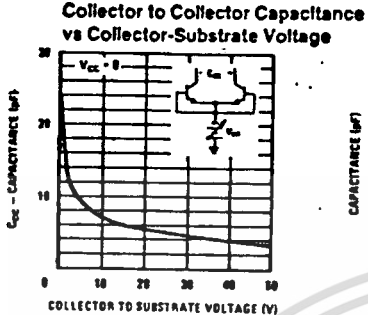
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics



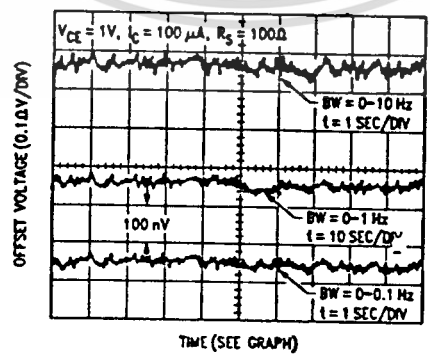
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)



TL/H/9241-10

Low Frequency Noise of Differential Pair*



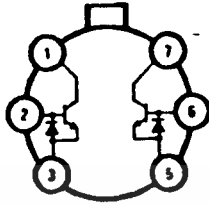
TL/H/9241-11

*Unit must be in still air environment so that differential lead temperature is held to less than 0.0003°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagram

Metal Can Package

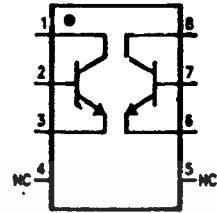


Top View

TL/H/8241-12

Order Number LM194H, LM394H, LM394BH or LM394CH
See NS Package Number H06C

Dual-In-Line and Small Outline Packages



Top View

TL/H/8241-13

Order Number LM394CM, LM394N, LM394BN or LM394CN
See NS Package Number M08A or N08E



MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

LM285
LM385

MICROPOWER VOLTAGE REFERENCE DIODES

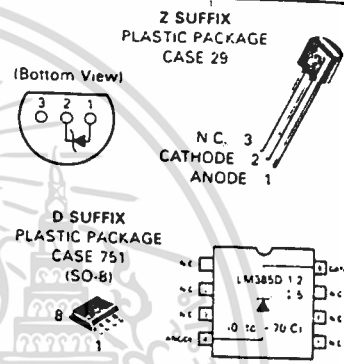
The LM285 LM385 series are micropower two-terminal band-gap voltage regulator diodes. Designed to operate over a wide current range of 10 μ A to 20 mA, these devices feature exceptionally low dynamic impedance, low noise and stable operation over time and temperature. Tight voltage tolerances are achieved by on-chip trimming. The large dynamic operating range enables these devices to be used in applications with widely varying supplies with excellent regulation. Extremely low operating current make these devices ideal for micropower circuitry like portable instrumentation, regulators and other analog circuitry where extended battery life is required.

The LM285 LM385 series are packaged in a low cost TO-226AA plastic case and are available in two voltage versions of 1.235 and 2.500 volts as denoted by the device suffix (see ordering information table). The LM285 is specified over a -40 C to +85°C temperature range while the LM385 is rated from 0 C to +70°C. The LM385 is also available in a surface mount plastic package in voltages of 1.235 and 2.500 volts.

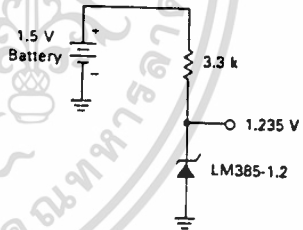
- Operating Current from 10 μ A to 20 mA
- 1.0%, 1.5%, 2.0% and 3.0% Initial Tolerance Grades
- Low Temperature Coefficient
- 1.0 Ω Dynamic Impedance
- Surface Mount Package Available

MICROPOWER VOLTAGE REFERENCE DIODES

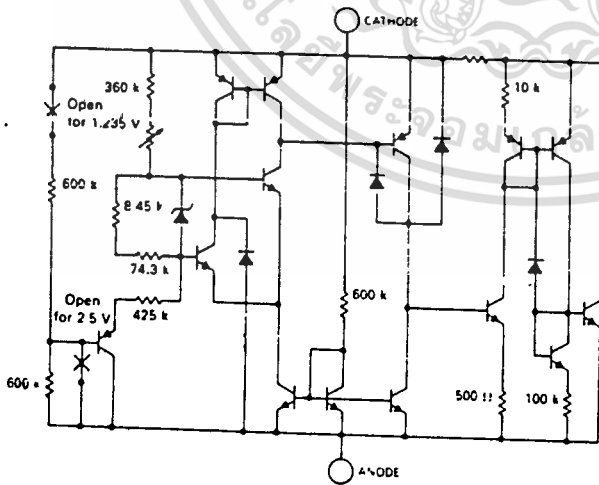
SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT



STANDARD APPLICATION



EQUIVALENT CIRCUIT SCHEMATIC



ORDERING INFORMATION

Device	Temp. Range	Reverse Break-down Voltage	Tolerance
LM285D-1.2	40 C to +85 C	1.235 Volts	$\pm 1.0\%$
LM285Z-1.2		2.500 Volts	$\pm 1.5\%$
LM385BD-1.2	0 C to -70 C	1.235 Volts	$\pm 1.0\%$
LM385BZ-1.2		2.500 Volts	$\pm 1.5\%$
LM385D-2.5	0 C to +70 C	2.500 Volts	$\pm 3.0\%$
LM385Z-2.5		2.500 Volts	$\pm 3.0\%$

MOTOROLA LINEAR INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM285, LM385

MAXIMUM RATINGS ($T_A = -25\text{ C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Current	I_R	30	mA
Forward Current	I_f	10	mA
Operating Ambient Temperature Range LM285 LM385	T_A	40 to +85 0 to +70	$^{\circ}\text{C}$
Operating Junction Temperature	T_J	+150	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^{\circ}\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	LM285-1.2			LM385-1.2/LM385B-1.2			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Reverse Breakdown Voltage $I_{Rmin} < I_R < 20\text{ mA}$ LM285-1.2 LM385B-1.2 $T_A = T_{low}$ to T_{high} (Note 1) LM385-1.2 $T_A = T_{low}$ to T_{high} (Note 1)	$V_{(BR)R}$	1.223 1.200 — —	1.235 — — —	1.247 1.270 — —	1.223 1.210 1.205 1.192	1.235 — 1.235 —	1.247 1.260 1.260 1.273	V
Minimum Operating Current $T_A = 25\text{ C}$ $T_A = T_{low}$ to T_{high} (Note 1)	I_{Rmin}	— —	8.0 —	10 20	— —	8.0 —	15 20	μA
Reverse Breakdown Voltage Change with Current $I_{Rmin} < I_R < 1.0\text{ mA}$, $T_A = -25\text{ C}$ $T_A = T_{low}$ to T_{high} (Note 1) $1.0\text{ mA} < I_R < 20\text{ mA}$, $T_A = -25\text{ C}$ $T_A = T_{low}$ to T_{high} (Note 1)	$\Delta V_{(BR)R}$	— — — —	— — — —	1.0 1.5 10 20	— — — —	— — — —	1.0 1.5 20 25	mV
Reverse Dynamic Impedance $I_R = 100\ \mu\text{A}$, $T_A = -25\text{ C}$	Z	—	0.6	—	—	0.6	—	Ω
Average Temperature Coefficient $10\ \mu\text{A} < I_R < 20\text{ mA}$, $T_A = T_{low}$ to T_{high} (Note 1)	$\Delta V_{(BR)R} / \Delta T$	—	80	—	—	80	—	ppm/ $^{\circ}\text{C}$
Wideband Noise (RMS) $I_R = 100\ \mu\text{A}$, $10\text{ Hz} < f < 10\text{ kHz}$	n	—	60	—	—	60	—	μV
Long Term Stability $I_R = 100\ \mu\text{A}$, $T_A = -25\text{ C} \pm 0.1\text{ C}$	S	—	20	—	—	20	—	ppm/kHR

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	LM285-2.5			LM385-2.5/LM385B-2.5			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Reverse Breakdown Voltage $I_{Rmin} < I_R < 20\text{ mA}$ LM285-2.5 LM385B-2.5 $T_A = T_{low}$ to T_{high} (Note 1) LM385-2.5 $T_A = T_{low}$ to T_{high} (Note 1)	$V_{(BR)R}$	2.462 2.415 — —	2.5 — — —	2.538 2.585 — —	2.462 2.436 2.425 2.400	2.5 — 2.5 —	2.538 2.564 2.575 2.600	V
Minimum Operating Current $T_A = 25\text{ C}$ $T_A = T_{low}$ to T_{high} (Note 1)	I_{Rmin}	— —	13 —	20 30	— —	13 —	20 30	μA
Reverse Breakdown Voltage Change with Current $I_{Rmin} < I_R < 1.0\text{ mA}$, $T_A = -25\text{ C}$ $T_A = T_{low}$ to T_{high} (Note 1) $1.0\text{ mA} < I_R < 20\text{ mA}$, $T_A = -25\text{ C}$ $T_A = T_{low}$ to T_{high} (Note 1)	$\Delta V_{(BR)R}$	— — — —	— — — —	1.0 1.5 10 20	— — — —	— — — —	2.0 2.5 20 25	mV
Reverse Dynamic Impedance $I_R = 100\ \mu\text{A}$, $T_A = -25\text{ C}$	Z	—	0.6	—	—	0.6	—	Ω
Average Temperature Coefficient $20\ \mu\text{A} < I_R < 20\text{ mA}$, $T_A = T_{low}$ to T_{high} (Note 1)	$\Delta V_{(BR)R} / \Delta T$	—	80	—	—	80	—	ppm/ $^{\circ}\text{C}$
Wideband Noise (RMS) $I_R = 100\ \mu\text{A}$, $10\text{ Hz} < f < 10\text{ kHz}$	n	—	120	—	—	120	—	μV
Long Term Stability $I_R = 100\ \mu\text{A}$, $T_A = -25\text{ C} \pm 0.1\text{ C}$	S	—	20	—	—	20	—	ppm/kHR

Note 1: $T_{low} = -40\text{ C}$ for LM285-1.2, LM285-2.5
 0 C for LM385-1.2, LM385B-1.2, LM385-2.5, LM385B-2.5

$T_{high} = +85\text{ C}$ for LM285-1.2, LM285-2.5
 $+70\text{ C}$ for LM385-1.2, LM385B-1.2, LM385-2.5, LM385B-2.5

MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM285, LM385

TYPICAL PERFORMANCE CURVES FOR LM285-1.2/385-1.2

FIGURE 1 — REVERSE CHARACTERISTICS

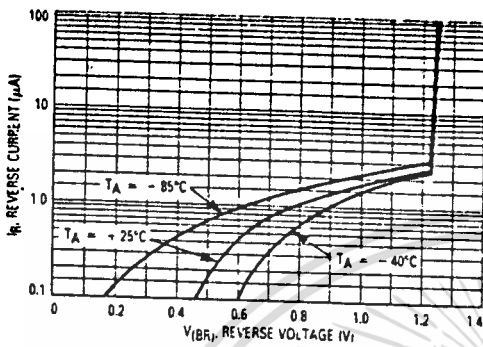


FIGURE 2 — REVERSE CHARACTERISTICS

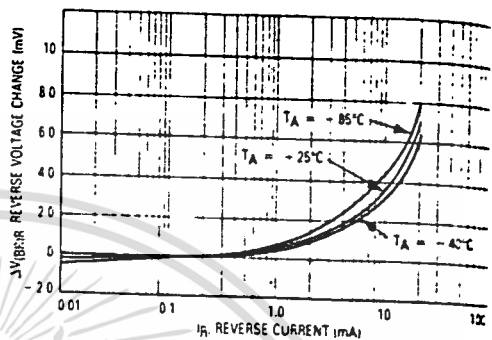


FIGURE 3 — FORWARD CHARACTERISTICS

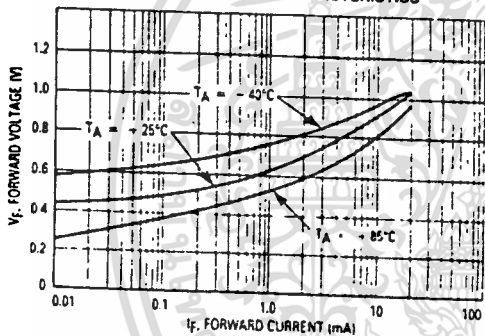


FIGURE 4 — TEMPERATURE DRIFT

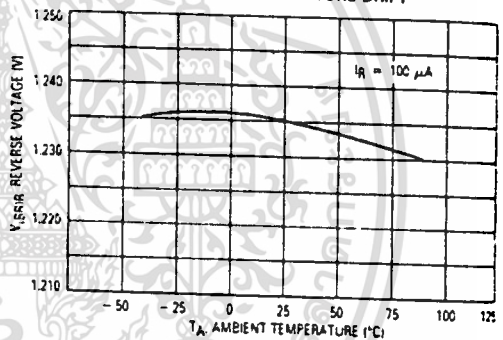


FIGURE 5 — NOISE VOLTAGE

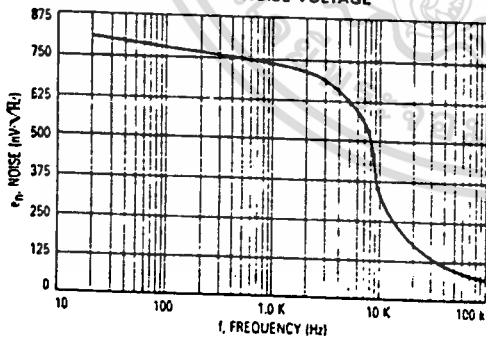
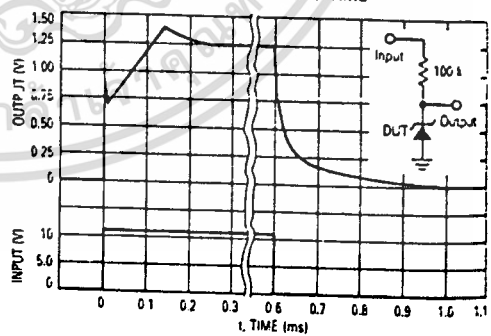


FIGURE 6 — RESPONSE TIME



MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM285, LM385

TYPICAL PERFORMANCE CURVES FOR LM285-2.5/385-2.5/385B-2.5

FIGURE 7 — REVERSE CHARACTERISTICS

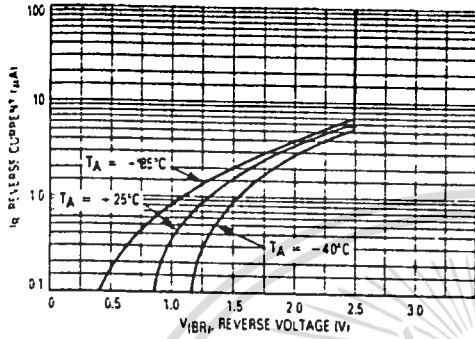


FIGURE 8 — REVERSE CHARACTERISTICS

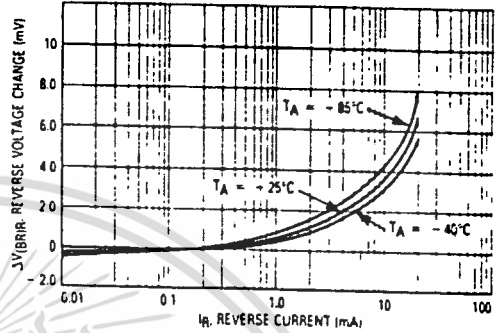


FIGURE 9 — FORWARD CHARACTERISTICS

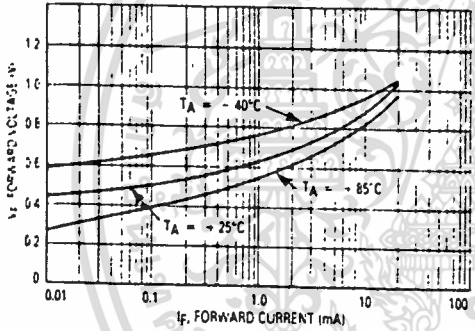


FIGURE 10 — TEMPERATURE DRIFT

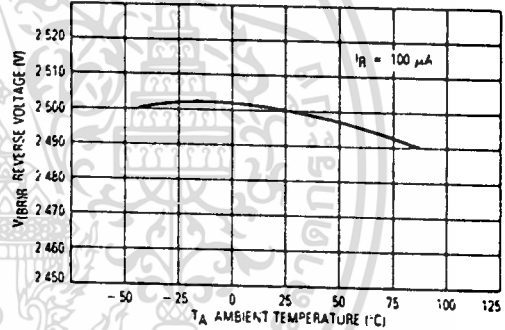


FIGURE 11 — NOISE VOLTAGE

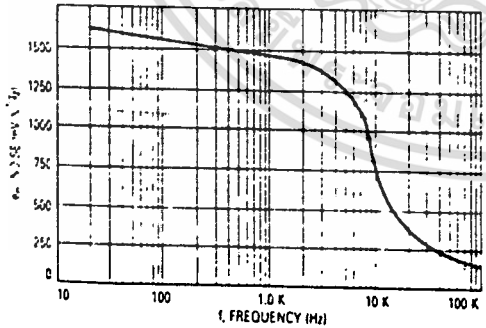
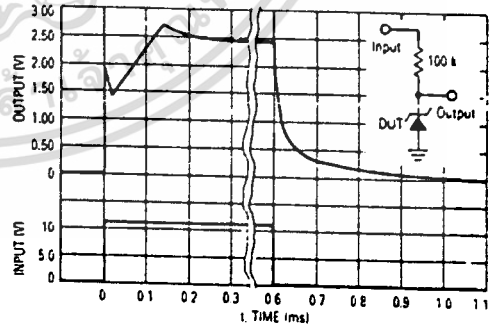


FIGURE 12 — RESPONSE TIME



MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ปรีชา สุวรรณพินิจ, นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ; "ชีววิทยา 1", จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536
2. William D. McElroy, Carl P. Swanson, "Foundations of Biology" , Prentice-Hall, 1968
3. Richard A. Normann, "Principles of Bioinstrumentation", Chapter 11: Light and Spectrophotometry, John Wiley & sons, 1988
4. A. Abergh & P.J. Dean, "Light-Emitting diodes", Oxford University press, 1976
5. Ramakant A.Gayakwad, "Op-amps and Linear Integrated Circuits", Prentice-Hall, Second Edition, 1988
6. National Semiconductor Corp., "Linear Applications Handbook", 1986
7. Y. Mendelson, J.C. Kent, "Variations in optical absorption spectra of adult and fetal hemoglobins and its effect on pulse oximetry", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol.36, Aug. 1989
8. J.P. de Kock, L. Tarassenko, "In vitro investigation of the factors affecting pulse oximetry", J. Biomed. Eng., vol.13, Jan.1991
9. J.P. de Kock, L. Tarassenko, C.J. Glynn, A.R. Hill, "Reflectance pulse oximetry measurements from retinal fundus", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol.40, Aug.1993

10. I.Yoshiya, Y. Shimada, K.Tanaka, "Spectrophotometric monitoring of arterial oxygen saturation in the finger tip", Med. Biol.Eng. Comput., vol.18, Jan. 1980
11. S. Yee, E. Schibli, V. Krishnan, "A proposed miniature red/infrared oximeter suitable for mounting on a catheter tip", IEEE Trans. Biomed. Eng., Mar.1977
12. R.J.Volz, D.A. Chistensen, "A neonatal fiberoptic probe for oximetry and dye curves", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol.BME-26, July 1979

