เอกสารอ้างอิง

1. Shay, J.L., and Wernick, J.H., Ternary Chalcopyrite Semiconductors: Growth, Electronic Properties, and Applications, pp.3-10 Pergamon Press, Oxford, 1975.

2. Kittle, C., Introduction to Solid State Physics, p.190, Wiley & Sons, New York, 5th ed., 1983.

3. Ashcroft, N.W., and Mermin, N.D., Solid State Physics, p.86, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1976.

4. Ziman, J.M., Principle of the Theory of Solids, pp. 19-26, Cambridge University Press, London, 2nd ed., 1979.

5. Blakemore, J.S., Solid State Physics, p. 214, Cambridge University Press, Cambridge, 2nd ed., 1985.

6. Sze, S.M., Physics of Semiconductor Devices, p. 13, John Wiley and Sons, Ney York, 2nd ed., 1981.

7. Yoodee, K., "Crystalographic and Band Structure Properties of Some I-III-VI_2 Chalcopyrite Compounds and Alloys," Ph.D. thesis, Department of Physics, University of Ottawa, Ottawa, Canada, 1985.

8. Rowe, J.E., and Shay, J.L., "Extension of the Quasicubic Model to Ternary Chalcopyrite Crystals," Phys. Rev. B, 3, 451-453, 1971.

9. Shay, J.L., and Wernick, J.H., Ternary Chalcopyrite Semiconductors: Growth, Electronic Properties, and Applications, p.118 Pergamon Press, Oxford, 1975.

10. Jaffe, J.E., and Zunger, A., "Theory of Band-Gap Anormally in ABC_2 Chalcopyrite Semiconductors," Phys. Rev. B, 29(4), p.1882, 1984

11. Yoodee, K., Wooley, J.C., and Sa-yakanit, V., "Effects of p-d Hybridization on the Valence Band of $I-III-VI_2$ Chalcopyrite Semiconductors," Phys. Rev. B, 30(10), pp.5904-5915, 1984

12. Hsu, T.M., and Lin, J.H., "Anomalous Temperature-Dependent Band Gaps in $CuInS_2$ Studied by Surface-Barrier Electroreflectance," Phys. Rev. B, 37, 4106-4110, 1988.

13. Johnson, E.J., Absorption near the Fundamental Edge, Semiconductors and Semimetals, Vol. 3, pp. 153-167, Academic Press, USA, 1967.

14. Wooten, F., Optical Properties of Solids, pp. 1-84, Academic Press, Inc., London, 1972.

15. Pankove, J.I., Optical Processes in Semiconductors, pp. 34-60, Dover Publication, Inc., New York, 1971.

16. Abeles, F., Optical Properties of Solids, pp. 22-58, North-Holland Publishing Company, Natherland, 1972.

17. Sze, S.M., Physics of Semiconductor Devices, p. 16-33, John Wiley and Sons, Ney York, 2nd ed., 1981.

18. Smith, R.A., Semiconductors, pp. 74-92, Cambridge University Press, Cambridge, 1959.

19. Ashcroft, N.W., and Mermin, N.D., Solid State Physics, pp. 572-585, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1976.

20. Sze, S.M., Physics of Semiconductor Devices, p. 63-92, John Wiley and Sons, Ney York, 2nd ed., 1981.

21. Azaroff, L.V., and Brophy, J.J., Electronic Processes in Materials, pp. 269-283, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1963.

22. Bube, R.H., Photoconductivity of Solids, pp. vii-ix, John Wiley and Sons, New York, 1960.

23. Ziman, J.M., Principle of the Theory of Solids, pp. 215-218, Cambridge University Press, London, 2nd ed., 1979.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

24. Ryvkin, S.M., Photoelectric Effect in Semiconductors, pp. 1-3, Consultants Bureau, New York, 1964.

25. Bube, R.H., Photoconductivity of Solids, pp. 64-67, John Wiley and Sons, New York, 1960.

26. ฐิตินัย แก้วแดง, "การเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารกึ่งตัวนำคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ ($CuInSe_2$)," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาฟิสิกส์, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

27. กัลยา เอี้ยประเสริฐศักดิ์, "การศึกษารอยต่อแบบ พี-เอ็น โฮโมจังค์ชัน ของคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาฟิสิกส์, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

28. Gonzalez, J., Rincon, C., Redondo, A., and Negrete, P., "Photodetecting Properties of $CuInSe_2$ Homojunctions," Jap. J. App. Phys., 19, supplement 19-3, 29-32, 1980

29. Varshni, Y.P., "Temperature Dependence of the Energy Gap in Semiconductors," Physica, 34, 149-154, 1967.

30. Manoogian, A., and Woolley, J.C., "Temperature Dependence of the Energy Gap in Semiconductors," Can. J. Phys., 62, 285-287, 1984.

31. ธนา สุทธิโอภาส, "การเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของการดูดกลืนแสงพื้นฐาน ของคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ และส่วนหางของเออบาค," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาฟิสิกส์, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

32. Shay, J.L., Tell, B., Kasper, H.M., and Schiavone, L.M., "Electronic Structure of $AgInSe_2$ and $CuInSe_2$," Phys. Rev. B, 7, pp. 4485-4490, 1973.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

เครื่องขยายสัญญาณขั้นต้น สำหรับการวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง

ในการวัดสมบัติเชิงแสงและสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำ สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากหัววัดแสงและจากสารตัวอย่างมักจะมีค่าต่ำมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ใกล้เคียงกับช่วงที่จะเกิดการดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ ข้อมูลจากการวัดในช่วงนี้เป็นข้อมูลที่สำคัญที่สุดในการแปลความหมาย ดังนั้นจึงต้องมีการขยายสัญญาณขั้นต้นเพื่อให้มีขนาดสัญญาณแรงขึ้น ก่อนที่จะป้อนให้เครื่องขยายสัญญาณในลำดับต่อไป เครื่องขยายสัญญาณ-ขั้นต้น (preamplifier) สำหรับงานวิจัยโดยทั่วไป จะเป็นเครื่องใช้งานเฉพาะอย่าง และราคาแพงมาก ดังนั้นจึงได้ออกแบบเครื่องขยายสัญญาณขั้นต้นสำหรับงานวิจัยนี้สองชุด เพื่อใช้ขยายสัญญาณจากหัววัดแสงแบบเทอร์โมไพล์ และจากสารตัวอย่างในการวัดสภาพนำไฟฟ้า-เชิงแสง เครื่องขยายสัญญาณขั้นต้นทั้งสองชุดนี้ประกอบด้วยวงจรขยายหลักแบบเดียวกัน คือใช้ FET OP-AMP LF-351 จำนวน 3 ชิ้น วงจรของเครื่องขยายสัญญาณขั้นต้น แสดงได้ดังภาพที่ ก.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ส่วนขยายสัญญาณจากหัววัดแสง</u>

เนื่องจากเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ของหัววัดต่ำมาก จึงใช้แมทชิงทรานสฟอร์เมอร์เป็นตัวคั่นระหว่างหัววัด และภาคขยายภาคแรก โดยแมทชิงทรานสฟอร์เมอร์นี้บรรจุอยู่ในกล่องโลหะเพื่อกันสัญญาณรบกวน เนื่องจากตัวแมทชิงทรานสฟอร์เมอร์นี้ได้ถอดมาจากอุปกรณ์เก่า จึงไม่มีรายละเอียด แต่คาดว่าหากใช้แมทชิงทรานสฟอร์เมอร์ที่มีใช้ในเครื่องขยายเสียงทั่วไปก็คงได้ ส่วนนี้มีภาคขยายย่อย 3 ภาค แต่ละภาคมีอัตราขยายคงตัว

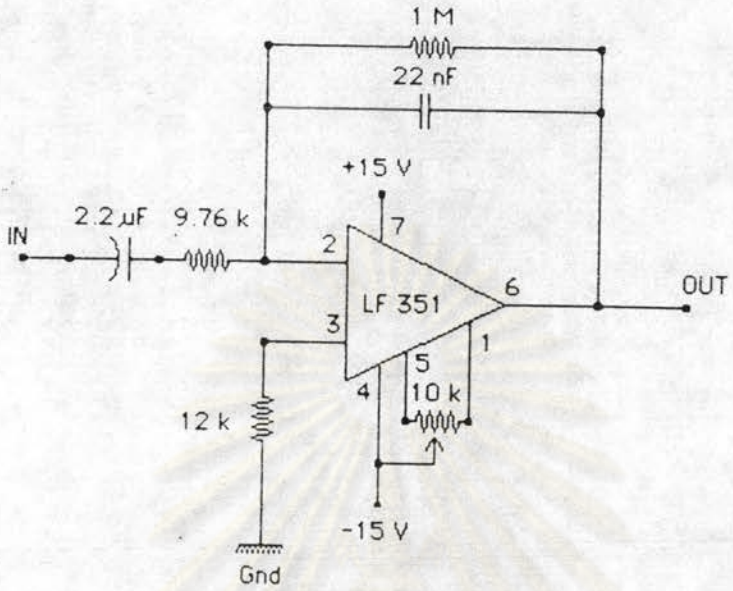
ส่วนขยายสัญญาณจากสารตัวอย่าง

ส่วนนี้ได้รับการออกแบบสำหรับขยายสัญญาณที่มีความแรงมากพอสมควร จึงไม่ต้องใช้แมทชิงทรานสฟอร์เมอร์เพื่อคั่นภาครับ และได้ออกแบบให้เปลี่ยนอัตราขยายได้ เนื่องจากเป็นวงจรที่ได้รับการออกแบบอย่างง่าย ๆ จึงมีอัตราขยายไม่คงตัว โดยแปรผันกับความถี่ของสัญญาณ ดังแสดงอัตราขยายที่ความถี่ต่าง ๆ ไว้ดังตารางที่ ก.1 แต่สำหรับการทดลองหนึ่ง ๆ ก็จะใช้ความถี่คงตัวเพียงค่าเดียว

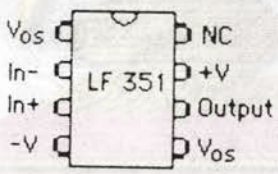
ตำแหน่งของสวิทช์เลือก	อัตราขยาย	
	ที่ 20 เฮิรทซ์	ที่ 90 เฮิรทซ์
1	0.26	0.78
2	0.51	1.53
3	3.54	10.61
4	6.62	18.88
5	12.69	32.65
6	43.85	56.12
7	90.77	60.20

ตารางที่ ก. 1 แสดงค่าอัตราขยายของเครื่องขยายสัญญาณขั้นต้นที่ตำแหน่งของสวิทช์ต่าง ๆ ที่ความถี่ของสัญญาณ 20 และ 90 เฮิรทซ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



EACH STATE OF PRE-AMPLIFIER



Pin layout of IC LF-351

ภาพที่ ก.1 แสดงวงจรเครื่องขยายสัญญาณขั้นต้น (เฉพาะขั้นเดียว)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

เครื่องแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล
สำหรับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แบบ Apple II

ในการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ที่มีการวัดค่าทางฟิสิกส์ต่าง ๆ นั้น เราสามารถใช้เครื่องวัดซึ่งสามารถแปลงค่าที่วัดได้ออกมาเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่จะเป็นค่าความต่างศักย์ ทำให้สามารถบันทึกเก็บไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไปได้ การบันทึกนั้นมักจะใช้เครื่องบันทึก (recorder) เก็บค่าต่าง ๆ ไว้ในรูปของกราฟ และเมื่อเราต้องการจะวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวก็ต้องทำการอ่านค่าต่าง ๆ จากกราฟที่บันทึกไว้ ซึ่งถ้ามีข้อมูลไม่มากนักก็สามารถอ่านออกมาได้โดยง่าย แต่ถ้ามีข้อมูลเป็นจำนวนมาก ก็เป็นการลำบากและต้องใช้เวลามากขึ้น นอกจากนี้ เมื่อได้อ่านค่าจากกราฟแล้วก็ต้องนำมาคำนวณ โดยอาจคำนวณด้วยมือ ซึ่งจะต้องใช้ความพยายามสูง และถ้าข้อมูลมีจำนวนมาก ๆ จะทำให้ยุ่งยากมาก จึงมักใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ การพัฒนาเครื่องแปลงสัญญาณนี้ขึ้นก็เพื่ออำนวยความสะดวกในการบันทึกข้อมูลและ นำมาคำนวณต่อไป โดยเมื่อใช้งานเครื่องแปลงสัญญาณนี้ร่วมกับชุดคำสั่งที่เขียนขึ้นอย่างเหมาะสม จะสามารถใช้แทนเครื่องบันทึกแบบกราฟได้ โดยยังสามารถเก็บค่าที่ได้เพื่อนำไปคำนวณต่อได้อีกด้วย

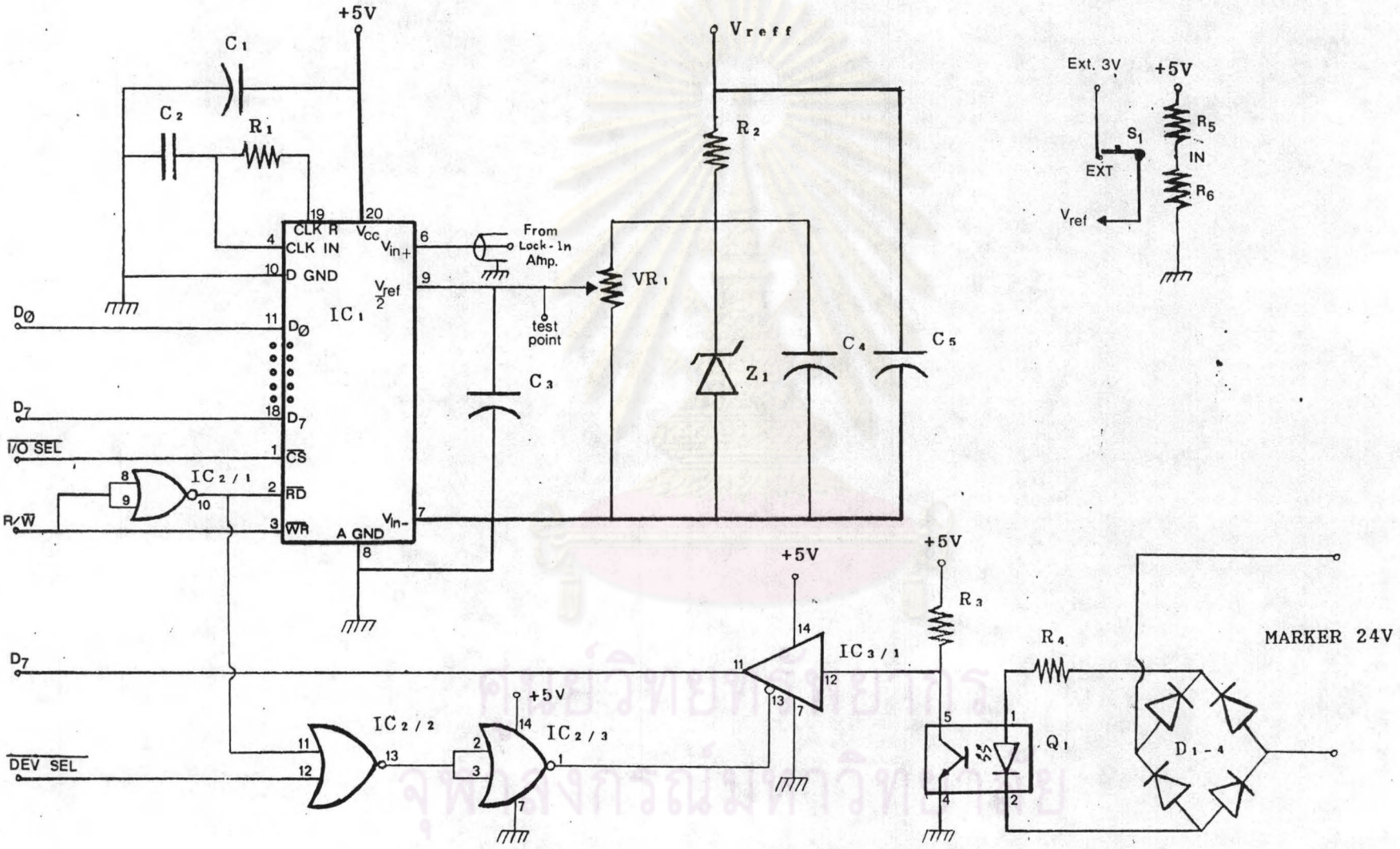
ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องแปลงสัญญาณนี้ ในขั้นแรกเพื่อที่จะใช้ในการทดลองเกี่ยวกับแสง ซึ่งใช้งานร่วมกับเครื่อง spectrometer "SPEX" ซึ่งมีสัญญาณบอกค่าความยาวคลื่นของแสงออกมาได้ จึงได้ออกแบบให้มีตัวตรวจจับสัญญาณดังกล่าวไว้ด้วย

หลักการของเครื่องแปลงสัญญาณ

เครื่องแปลงสัญญาณนี้ใช้ไอซีสำเร็จรูป สำหรับแปลงสัญญาณโดยเฉพาะ เบอร์ ADC-0801 ซึ่งเป็นไอซีสำหรับแปลงสัญญาณค่าความต่างศักย์ ให้เป็นข้อมูลแบบดิจิตอลขนาด 8 บิท (8-bit analog-to-digital converter) ซึ่งเราสามารถตั้งค่าความต่างศักย์สูงสุดให้เป็นเท่าไรก็ได้โดยไม่เกิน 5 โวลท์ ในการพัฒนานี้ได้ตั้งค่าให้แสดงค่าทางดิจิตอลเป็น 250 เมื่อมี สัญญาณความต่างศักย์เป็น 1 โวลท์ เพื่อความสะดวกในการอ่านข้อมูลมาคำนวณ ซึ่งค่าที่ตั้งไว้ดังกล่าวนี้จะทำให้เครื่องมือมีความละเอียดในการวัด 4 มิลลิโวลท์ต่อ 1 LSB (least significant bit-บิทที่มีความสำคัญน้อยที่สุด) และเนื่องจากเครื่องนี้สามารถแปลงสัญญาณได้ 8 บิท (เป็นเลข 0 ถึง 255) ทำให้สามารถแปลงสัญญาณได้ตั้งแต่ 0.000 ถึง 1.020 โวลท์

ในการเชื่อมต่อ (interface) เครื่องแปลงสัญญาณนี้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ได้เลือกต่อกับช่องขยายระบบ (expansion slot) ของเครื่อง ซึ่งมีทั้งหมด 7 ช่อง เราได้เลือกต่อกับช่องที่ 5 เพราะเป็นช่องที่มีโอกาสใช้น้อยที่สุด อย่างไรก็ดีเราก็สามารถย้ายไปช่องอื่นได้ โดยแก้ไขชุดคำสั่งที่มีอยู่ให้เข้าได้กับช่องอื่นนั้น

เราสามารถแบ่งเครื่องแปลงสัญญาณออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแปลงสัญญาณ และส่วนตรวจจับสัญญาณ marker โดย 2 ส่วนนี้ทำงานแยกจากกันเป็นอิสระ แต่สามารถใช้ชุดคำสั่งควบคุมให้ทั้ง 2 ส่วนทำงานร่วมกันได้ วงจรสมบูรณ์ของเครื่องแปลงสัญญาณแสดงได้ดังภาพที่ ข.1



ภาพที่ ข.1 แสดงวงจรของเครื่องแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทำงานของวงจร

1. ส่วนแปลงสัญญาณ

เนื่องจากเราเลือกใช้ไอซีสำเร็จรูปในการแปลงสัญญาณ ทำให้ใช้อุปกรณ์น้อยชิ้น เพื่อประกอบเพิ่มเติม โดยสามารถแยกเป็นภาคต่าง ๆ ได้ 3 ภาคคือ ภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (clock), ภาคความต่างศักย์เปรียบเทียบ (refference voltage) และภาคควบคุมจากเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ใช้ R_1 และ C_2 เป็นตัวสร้างสัญญาณนาฬิกาแบบง่าย ๆ และมี C_1 เป็นตัวกรองกระแสให้เรียบเพื่อมิให้กวนภาคอื่น ๆ ซึ่งวงจรดังกล่าวนี้จะได้สัญญาณนาฬิกาความถี่ประมาณ 640 kHz ซึ่งความถี่ขนาดนี้ทำให้ตัวแปลงสัญญาณสามารถแปลงสัญญาณให้สมบูรณ์ภายใน 25 ไมโครวินาทีเท่านั้น สำหรับตัว ADC-0801 นี้สามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงสุดถึง 1.46 MHz จึงอาจดึงสัญญาณนาฬิกาจากเครื่องแอปเปิลมาใช้งานได้ (ประมาณ 1.2 MHz) แต่ไม่ได้นำมาใช้เพื่อความสะดวกในการดัดแปลงไปใช้งานต่อไปในอนาคต

ภาคความต่างศักย์เปรียบเทียบ มีอุปกรณ์สร้างความต่างศักย์คงที่เป็นตัวสำคัญ ได้เลือกใช้ไอซี LM 336 เพราะมีความแน่นอนและเชื่อถือได้สูง และมี VR_1 แบบ 15 รอบเป็นตัวปรับอย่างละเอียด เราสามารถปรับความต่างศักย์ที่จุดนี้ได้สูงสุด 2.5 โวลท์ ถ้าต้องการให้รับสัญญาณ 1 โวลท์แล้วแสดงค่า 250 ก็ตั้งไว้ที่ 0.510 โวลท์ ควรใช้โวลท์มิเตอร์ที่มีแอมพิแดนซ์สูง ๆ ในการปรับแต่ง เพื่อจะได้ไม่รบกวนวงจรมากเกินไป (ควรใช้แบบดิจิตอล)

สำหรับความต่างศักย์ที่จะมาป้อนให้นั้นได้ให้ทางเลือกไว้ 2 ทางคือ สามารถใช้จากภายนอกหรือภายในก็ได้ หากจะใช้ภายในก็ต้องเพิ่ม S_1, R_5, และ R_6 สำหรับแบ่งความต่างศักย์ภายในออกมาใช้

ภาคควบคุมจากไมโครคอมพิวเตอร์ เนื่องจากตัว ADC-0801 ต้องการสัญญาณควบคุม 3 สัญญาณ คือ $\overline{CS}$ (Chip Select) , $\overline{RD}$ (ReaD) และ $\overline{WR}$ (WRite) ซึ่งทั้ง 3 สัญญาณนี้จะมีผลต่อ ADC-0801 เมื่อสัญญาณนั้นเป็นลอจิกต่ำ (low) สำหรับ $\overline{CS}$ นั้น เราดึงเอาสัญญาณ $\overline{I/O\ SEL}$ จากแอปเปิลซึ่งจะเป็นลอจิกต่ำเมื่ออ้างถึงแอดเดรส $CNOO ถึง $CNFF (เมื่อ N เป็นหมายเลขของช่องที่ติดตั้งเครื่องแปลงสัญญาณไว้) สำหรับสัญญาณ RD และ WR นั้น เราก็ดึงเอาสัญญาณ R/W จากแอปเปิลมาใช้เช่นกัน แต่เนื่องจากต้องมีสัญญาณตรงข้ามกันเสมอ จึงใช้ $IC_{2/1}$ เป็นตัวจัดสัญญาณให้เหมาะสม

เมื่อเราจะใช้งาน ADC-0801 ก่อนอื่นต้องส่งสัญญาณ WR ไปกระตุ้นให้เริ่มแปลงสัญญาณ (โดยการเขียนข้อมูลลงไปที่แอดเดรส $CNOO ถึง $CNFF ที่ใดก็ได้) สำหรับการคอยควรไม่น้อยกว่า 32 สัญญาณนาฬิกาของแอปเปิลจึงจะสมบูรณ์ (จะคอยมากกว่านี้ก็ได้ แต่ไม่ควรน้อยกว่า)

2. ส่วนตรวจจับ marker

เนื่องจากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์นี้สามารถส่งสัญญาณ marker ออกมาได้โดยออกมาทางขั้วต่อ marker ด้านหลัง และสัญญาณดังกล่าวเป็นพัลส์สั้น ๆ มีความแรงประมาณ 24 Vdc จึงได้นำมาใช้โดยตรง โดยใช้ไดโอดต่อเป็นวงจรเรคติฟายแบบบริดจ์เพื่อป้องกันการต่อกลับขั้ว และมีความต้านทานค่า 300 โอห์ม ต่ออนุกรมไว้เพื่อจำกัดกระแสที่ผ่านตัวเชื่อมโยงทางแสง (optocoupler) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นไดโอดเปล่งแสงและโฟโตทรานซิสเตอร์อยู่ในตัวเดียวกัน

เมื่อมีสัญญาณ marker จากสเปคโตรมิเตอร์จะมีกระแสผ่านไดโอดเปล่งแสงภายในตัวเชื่อมโยงทางแสงทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์สามารถนำกระแสได้ ทำให้ขาอินพุตของบัฟเฟอร์ $IC_{3/1}$ มีค่าเป็นลอจิกต่ำ แต่อย่างไรก็ดีก็ยังไม่ส่งออกไปยังดาต้าบัสของไมโครคอมพิวเตอร์ จนกว่าจะถูกกระตุ้น (enable) ด้วยสัญญาณ R/$\overline{W}$ และ $\overline{DEV\ SEL}$ พร้อมกัน

ซึ่งก็คือการอ่านข้อมูลจากแอดเดรส $COn0 ถึง $COnF เป็นต้น) โดยจะมี $IC_{2/2}$ และ $IC_{2/3}$ เป็นตัวจัดสัญญาณให้เหมาะสม ดังนั้นเมื่อยังไม่มีสัญญาณ marker เข้ามา เมื่ออ่านข้อมูลจากตำแหน่งดังกล่าวเข้ามาจะได้ค่ามากกว่า 127 ($7F) เสมอ และเมื่อมีสัญญาณ marker เข้ามาพร้อมกับอ่านข้อมูลเข้าพอดี ข้อมูลที่ได้จะมีค่า น้อยกว่า หรือเท่ากับ 127 ทำให้เราสามารถรู้ได้ว่ามีสัญญาณ marker เข้ามาแล้ว และเนื่องจากสัญญาณ marker เป็นช่วงที่สั้นมาก การตรวจจับด้วยภาษาเบสิกจึงอาจตรวจจับไม่ทัน จึงควรใช้ภาษาเครื่อง (machine code) ในการตรวจจับสัญญาณนี้

<u>การประกอบและการปรับแต่ง</u>

เมื่อประกอบวงจรทั้งหมดเสร็จแล้ว ให้เสียบแผ่นวงจรลงในช่องของเครื่องแอปเปิล นำแหล่งจ่ายไฟภายนอกขนาด 3 โวลท์มาต่อเข้าที่ช่อง EXT.REF. ใช้โวลท์มิเตอร์จับที่ test point เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วปรับ VR จนอ่านค่าจากโวลท์มิเตอร์ได้ตามต้องการ การคำนวณค่าความต่างศักย์ที่จุดนี้สามารถทำได้โดยนำค่าความต่างศักย์ต่อ 1 LSB คูณด้วย 127.5 เช่น ถ้าเราต้องการให้อ่านค่าได้ 250 เมื่อมีสัญญาณความต่างศักย์ 1 โวลท์เข้ามา ให้คำนวณค่าความต่างศักย์ต่อ 1 LSB ได้ 1/250 = .004 โวลท์ จากนั้นคูณด้วย 127.5 ได้ .510 โวลท์ ซึ่งต้องปรับค่าความต่างศักย์ที่จุดนี้ให้ได้ จึงจะสามารถแปลงสัญญาณตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ (ข้อสำคัญที่สุดคือ ต้องเสียบแผ่นวงจรก่อนจะเปิดเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ มิฉะนั้นอาจเกิดความเสียหายได้เนื่องจากการลัดวงจร และเพื่อความสะดวกในการปรับแต่ง ควรใช้สายต่อออกมาจากช่องขยายระบบโดยไม่ต้องเสียบเข้าไปโดยตรง)

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบวงจร A to D Converter

เซมิคอนดัคเตอร์

IC_1	ADC-0801
IC_2	74LS02
IC_3	74LS125
Q_1	TIL125 (Optocoupler)
D_1	1N4001
Z_1	LM 336H-2.5V

ตัวเก็บประจุ

C_1	1	μF	C_4 - C_5	100	μF
C_2	150	μF	C_6	1	μF
C_3	0.1	μF			

ความต้านทาน

R_1	10	kΩ	R_5	2	kΩ
R_2	500	Ω	R_6	3	kΩ
R_3	1	kΩ			
R_4	300	kΩ			
VR_1	10	kΩ	แบบ 15 turns		

อื่น ๆ

แผ่นวงจรพิมพ์ , สายต่อกับช่องขยายระบบของแอปเปิล , สวิทช์แบบ 2 ทาง

ตัวอย่างการใช้งานด้วยชุดคำสั่งภาษาเบสิก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เราสามารถนำเครื่องแปลงสัญญาณนี้ ไปใช้ในการแปลงสัญญาณแบบง่าย ๆ ได้ โดยอาจถือว่าเป็นการทดสอบว่าเครื่องสามารถแปลงสัญญาณได้สมบูรณ์เพียงใด โดยใช้อุปกรณ์ประกอบดังนี้

1. แหล่งจ่ายไฟปรับค่าได้ในช่วงที่เครื่องแปลงสัญญาณสามารถทำงานได้
2. โวลท์มิเตอร์แบบละเอียด (ควรใช้แบบดิจิตอล)
3. แหล่งจ่ายไฟที่สามารถจ่ายแรงดันประมาณ 20 ถึง 24 โวลท์

เราจะใช้ชุดคำสั่งภาษาเบสิกในการแปลงสัญญาณเบื้องต้นดังนี้

```
10    ADDRESS = 50432:REM $C050
20    TRIG = 49360:REM $CODO
30    REM * TEST ADC SECTION *
40    HOME
50    POKE ADDRESS,0:REM ACTIVATE THE ADC
60    DIGITAL = PEEK (ADDRESS):REM READ DATA
70    REM * TEST MARKER SECTION *
80    STTUS = PEEK (TRIG)
90    ST$ = "ON":IF STTUS > 127 THEN ST$ = "OFF"
100   REM * PRINT RESULT *
110   VTAB 10:PRINT "READ DATA  =  ";DIGITAL;"  "
120   VTAB 12:PRINT "MARKER STATUS  =  ";ST$;"  "
130   GOTO 50:REM LOOP AGAIN
```

โปรดสังเกตว่าในบรรทัดที่ 50 และ 60 นั้น เราไม่ได้สั่งให้เครื่องรอ ADC ในการแปลงสัญญาณเลย เนื่องจากการทำงานของชุดคำสั่งภาษาเบสิกนั้นช้ากว่าการแปลงสัญญาณจึงไม่จำเป็นต้องมีการรอ แต่ถ้าเป็นการทำงานโดยใช้ภาษาเครื่องซึ่งเร็วกว่าภาษาเบสิกมาก ก็จำเป็นต้องทำการรอเพื่อแปลงสัญญาณด้วย

เมื่อทำการป้อนชุดคำสั่งแล้วก็ RUN จะเห็นค่าสัญญาณที่แปลงออกมา และสถานะของ marker ถ้าเราป้อนความต่างศักย์ 20 ถึง 24 โวลท์เข้าที่ขั้ว marker จะทำให้สถานะเป็น ON ถ้าไม่ก็จะเป็น OFF ส่วนค่าสัญญาณที่แปลงได้นั้น ถ้าจะแปลงกลับเป็นค่าความต่างศักย์ก็คูณด้วยค่าความต่างศักย์ต่อ 1 LSB เข้าไป ก็จะได้ค่าความต่างศักย์โดยประมาณ เพื่อเทียบกับค่าความต่างศักย์ที่อ่านได้จากโวลท์มิเตอร์

เราจะสังเกตได้ว่าค่าสัญญาณที่แปลงได้จะมีค่าไม่แน่นอน เนื่องจากการแปลงสัญญาณนั้นได้แปลงจากค่าสัญญาณที่ต่อเนื่องมาเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง หากมีสัญญาณที่มีค่าอยู่ระหว่างค่าดิจิตอลนั้นจะทำให้การแปลงสัญญาณผิดพลาดไปได้เล็กน้อย การแก้ไขอาจทำได้โดยการอ่านค่าหลายครั้ง (เช่น 5 หรือ 10 ครั้ง) แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย จะทำให้อ่านค่าได้แม่นยำมากขึ้น อย่างไรก็ดีต้องคำนึงถึงเวลาที่ใช้ด้วยว่าจะเพียงพอสำหรับการแปลงสัญญาณหรือไม่ เพราะการอ่านมากครั้งขึ้นก็จะต้องใช้เวลามากขึ้นด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

ชุดคำสั่งสำหรับเก็บข้อมูลจากการทดลอง และชุดคำสั่งในการประมวลผลข้อมูล

ชุดคำสั่งต่าง ๆ ที่ใช้ร่วมกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แบบแอปเปิลทู อาจแบ่งออกได้เป็นสองพวกใหญ่ ๆ ได้แก่ ชุดคำสั่งสำหรับการจัดเก็บข้อมูลขณะทำการทดลอง และชุดคำสั่งสำหรับวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล ในภาคผนวกนี้จะกล่าวถึงชุดคำสั่งทั้งสองพวกนี้ และรูปแบบ (format) ของข้อมูลที่ได้ เพื่อการวิเคราะห์ผลในภายหน้า

ชุดคำสั่งสำหรับเก็บข้อมูลจากการทดลอง

ชุดคำสั่งสำหรับเก็บข้อมูลจากการทดลองนี้ ได้รับการออกแบบเพื่อใช้ร่วมกับเครื่องแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลที่ได้ออกแบบสร้างขึ้น (ภาคผนวก ข) ชุดคำสั่งที่ใช้ประกอบด้วยชุดคำสั่งภาษาเบสิกสองชุด ได้แก่ ชุดคำสั่ง BYTE INTERFACE และชุดคำสั่ง MAKE TEXT โดยชุดคำสั่ง BYTE INTERFACE จะทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากชุดการทดลองวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง แล้วเก็บไว้ในแผ่นจานบันทึกข้อมูล และชุดคำสั่ง MAKE TEXT จะทำหน้าที่อ่านและคำนวณค่าสัญญาณเพื่อให้เป็นอัตราขยายเดียวกัน แล้วบันทึกเก็บไว้ในแผ่นจานบันทึกข้อมูลสำหรับนำไปคำนวณต่อไป ทั้งสองชุดคำสั่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ชุดคำสั่ง BYTE INTERFACE

เป็นชุดคำสั่งที่ใช้ในการอ่านค่าจากชุดทดลองวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง ซึ่งในการอ่านจะต้องเรียกใช้ชุดคำสั่งย่อยภาษาเครื่อง TRIGGER เพื่อควบคุมเครื่องแปลง-สัญญาณ และอ่านค่าสัญญาณที่แปลงได้ แล้วนำมาเก็บไว้ในหน่วยความจำ จากนั้นชุดคำสั่งภาษาเบสิกจะจัดการย้ายไปตำแหน่งที่ต่อเนื่อง เมื่ออ่านข้อมูลถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้ จะทำการเก็บข้อมูลลงในแผ่นบันทึกข้อมูล ด้วยชื่อที่กำหนด สำหรับรูปแบบของข้อมูลที่บันทึกไว้แบ่งเป็น 2 ชุด ได้แก่ชุดข้อมูลแบบตัวอักษร (text file) และชุดข้อมูลแบบเลขฐานสอง (binary file) ชุดข้อมูลแบบตัวอักษรประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รับเมื่อตอนต้น เป็นลำดับดังนี้

1. ค่าความต่างศักย์แรงสูง (high voltage) ที่ป้อนให้หัววัดแสง
2. อัตราขยายของเครื่องขยายสัญญาณขั้นต้น
3. ค่าความไวของเครื่องขยายสัญญาณแบบลอกอินเมื่อเริ่มต้น
4. จำนวนข้อมูลที่เก็บไว้ทั้งหมด
5. ค่าความยาวคลื่นที่เริ่มเก็บข้อมูล (Å)
6. ระยะห่างระหว่างข้อมูลแต่ละค่า (Å)
7. ค่าความยาวคลื่นค่าสุดท้าย (Å)

สำหรับข้อมูลแบบเลขฐานสอง จะเป็นค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้ โดยมีจุดเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 16384 ($4000) และเก็บข้อมูลเรียงกันไปจนถึงตำแหน่งสุดท้ายของข้อมูล ความยาวของข้อมูลขึ้นกับจำนวนข้อมูลที่เก็บไว้

2. ชุดคำสั่ง MAKE TEXT

สำหรับข้อมูลที่ได้จากชุดคำสั่ง BYTE INTERFACE จะเป็นข้อมูลดิบที่เก็บไว้ในรูปเลขฐานสอง และยังไม่สามารถนำไปคำนวณได้โดยสะดวก เพราะขณะทดลองวัดได้มีการปรับค่าความไวของเครื่องขยายสัญญาณแบบลอกอินเป็นระยะ ๆ ดังนั้นจึงต้องใช้ชุดคำสั่ง MAKE TEXT นี้ช่วยปรับค่าข้อมูลที่วัดได้ให้อยู่ในเงื่อนไขเดียวกันตลอดย่านที่วัด โดยชุดคำสั่งนี้จะทำการคำนวณค่าสัญญาณที่ได้ โดยนำค่าที่วัดได้ (ซึ่งเป็นเลขฐานสอง) คูณกับค่าความไวของเครื่องขยายสัญญาณแบบลอกอิน ตามที่เราป้อนเข้าไป แล้วหารด้วยอัตราขยายของเครื่องขยายสัญญาณขั้นต้น ซึ่งได้ป้อนให้ตั้งแต่เมื่อใช้ชุดคำสั่ง BYTE INTERFACE แล้ว

เมื่อเรียกใช้ชุดคำสั่งนี้ จะต้องป้อนชื่อของแฟ้มข้อมูลที่เรากำหนดไว้ จากนั้นชุดคำสั่งนี้จะอ่านข้อมูลจากแผ่นจานบันทึกข้อมูล และวาดภาพข้อมูลบนจอภาพ เราจะต้องเลื่อนตัวชี้ไปตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนค่าความไวของเครื่องขยายสัญญาณแบบลอกอิน ซึ่งจะสามารถสังเกตได้จากความไม่ต่อเนื่องของข้อมูล แล้วป้อนค่าความไวเข้าไป เช่นนี้เป็นระยะ ๆ จนครบทุกครั้ง เครื่องจะถามช่วงที่ต้องการให้เก็บข้อมูลแบบความหนาแน่นสูง เนื่องจากข้อมูลที่เก็บได้แต่ละครั้งมีจำนวนมาก จึงเลือกเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 ตำแหน่ง แต่ในช่วงที่มีความหนาแน่นสูงนี้ จะเก็บข้อมูลทุกตัวที่วัดได้ จากนั้นเครื่องจะทำการสร้างแฟ้มข้อมูลแบบตัวอักษร โดยมีค่าแรกในแฟ้มข้อมูลนี้เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด ตามด้วยค่าความยาวคลื่นค่าแรก, ค่าที่วัดได้ค่าแรก, ค่าความยาวคลื่นค่าที่สอง, ค่าที่วัดได้ค่าที่สอง เช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงค่าสุดท้าย ลักษณะของแฟ้มข้อมูลที่สร้างขึ้นนี้จะสามารถนำไปคำนวณในงานต่าง ๆ ได้โดยง่าย

สำหรับชุดคำสั่งสำหรับประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ จำเป็นต้องเขียนใหม่ให้เหมาะสมกับความต้องการ จึงไม่สามารถนำมาแสดงได้อย่างรวบรัด

ชุดคำสั่ง BYTE INTERFACE

```
10  REM **********************
20  REM **                    **
30  REM ** BYTE INTERRFACE **
40  REM **                    **
50  REM **********************
60  REM
100  REM  ** MAIN CONTROL **
120  LOMEM: 19000
140  TEXT : HOME
160 D$ =  CHR$ (4)
180  PRINT D$;"BLOAD TRIGGER"
200  GOSUB 6100
220  GOSUB 1100
240  HOME :OWL = WL:SIG% = 0
260  VTAB 10: HTAB 14: PRINT "WAVELENGTH    SIGNAL"
280  VTAB 12: PRINT "LAST"
300  VTAB 14: PRINT "NEXT"
320  VTAB 16: PRINT " NEXT #"
340  PRINT "NEXT BYTE "
360 BYTE% = STRGE%:NUM% = 0
380  GOSUB 5100
400  IF FLAG = 1 THEN  GOSUB 2100: GOTO 420
420  GOSUB 3100
900  END
999  REM --------------------

1000  REM ** DATA SET UP **
1100 TRIG% = 8192: REM  $2000
1120 ANALG% = 8256: REM $2040
1140 STRGE% = 16384: REM $4000
1160 NUM% = 0: REM  NUMBER OF DATA
1180 ANS = 1
1200  IF ANS THEN  GOSUB 4100: GOTO 1200: REM  INPUT ROUTI
    NE
1220 FLAG = 1
1900  RETURN
1999  REM --------------------

2000  REM ** TRIGGER DETECT AND DATA READ **
2010  REM
2100  CALL TRIG%
2120 DTA =  PEEK (ANALG%) +  PEEK (ANALG% + 1) * 256
2140 SIG% =  INT (DTA / 50 + .5)
2160 OWL = WL:WL = WL + STP
2170 NUM% = NUM% + 1:BYTE% = STRGE% + NUM%: POKE BYTE%,SIG
    %
2180  GOSUB 5100: REM  SHOW RESULT
2200  IF WL > WEN THEN FLAG = 0
2900  RETURN
2990  REM ------------------
```

```
3000  REM ** SAVE TO DISK **
3010  REM
3100  HOME : VTAB 5: PRINT "       TOTAL ";NUM%;" DATA"
3110  PRINT "    ANY KEY TO CONTINUE ";
3115  GET A$
3120  PRINT : PRINT
3140  INPUT "       FILENAME : ";NAME$
3180  PRINT D$;"OPEN TEXT";NAME$
3200  PRINT D$;"WRITE TEXT";NAME$
3210  PRINT HV: PRINT GAIN: PRINT SENS
3220  PRINT NUM%: PRINT BEG: PRINT STP: PRINT WEN
3240  PRINT D$;"CLOSE TEXT";NAME$
3260  PRINT D$;"BSAVE BYTE";NAME$;",A$4000,L";NUM% + 5
3900  RETURN
3999  REM --------------------

4000  REM ** INPUT INITIAL **
4010  REM
4100  HOME : VTAB 5: HTAB 1
4110  INPUT " HIGH VOLTAGE = ";HV: PRINT : PRINT : INPUT "
     GAIN OF PRE-AMP ";GAIN: PRINT : PRINT
4115  INPUT " START WITH SENSITIVITY ";SENS: PRINT : PRINT

4120  INPUT " START AT WAVELENGTH ";WL:BEG = WL
4140  PRINT : PRINT
4160  INPUT " STEP OF EACH TRIGGER ";STP
4180  PRINT : PRINT
4200  INPUT " END AT WAVELENGTH ";WEN
4220  PRINT : PRINT
4240  PRINT "  CORRECT [Y/N]";
4260  GET A$: IF A$ <  > "Y" AND A$ <  > "N" THEN 4260
4280  IF A$ = "Y" THEN ANS = 0
4900  RETURN
4999  REM --------------------

5000  REM ** PRINT DATA **
5100  VTAB 12: HTAB 16: PRINT OWL;"    "
5120  VTAB 12: HTAB 30: PRINT SIG%;"    "
5140  VTAB 14: HTAB 16: PRINT WL;"    "
5260  VTAB 14: HTAB 30: FLASH : PRINT "WAITING"
5280  NORMAL
5300  VTAB 16: HTAB 12: PRINT NUM%;"  "
5320  VTAB 17: HTAB 12: PRINT BYTE%;"    "
5330  IF SIG% > 220 THEN  PRINT  CHR$ (7);: IF SIG% > 240 THEN
     PRINT  CHR$ (7);
5340  PRINT
5900  RETURN
5990  REM --------------------
```

```
6000  REM   ** WARNING MESSEGE **
6100  HOME : FLASH
6120  VTAB 8: HTAB 5: PRINT " INTERFACE CARD MUST BE INSTA
    LLED "
6140  VTAB 10: HTAB 5: PRINT "      IN  SLOT 5 ONLY
        "
6160  NORMAL
6180  VTAB 20: HTAB 10: PRINT " PRESS ANY KEY TO CONTINUE
    : ";
6200  GET A$
6900  RETURN
6999  REM ----------------------
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดคำสั่งย่อย TRIGGER

```
2000-   48          PHA
2001-   08          PHP
2002-   8E 50 20    STX   $2050
2005-   8C 51 20    STY   $2051
2008-   AD D0 C0    LDA   $C0D0
200B-   30 FB       BMI   $2008
200D-   A2 32       LDX   #$32
200F-   A9 00       LDA   #$00
2011-   8D 41 20    STA   $2041
2014-   8D 40 20    STA   $2040
2017-   8D 00 C5    STA   $C500
201A-   A0 20       LDY   #$20
201C-   88          DEY
201D-   D0 FD       BNE   $201C
201F-   AD 00 C5    LDA   $C500
2022-   18          CLC
2023-   6D 40 20    ADC   $2040
2026-   8D 40 20    STA   $2040
2029-   A9 00       LDA   #$00
202B-   6D 41 20    ADC   $2041
202E-   8D 41 20    STA   $2041
2031-   CA          DEX
2032-   D0 E3       BNE   $2017
2034-   AC 51 20    LDY   $2051
2037-   AE 50 20    LDX   $2050
203A-   28          PLP
203B-   68          PLA
203C-   60          RTS
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดคำสั่ง MAKE TEXT

```
10  REM ***************
20  REM **             **
30  REM ** MAKE TEXT **
40  REM **             **
50  REM ***************
60  REM
100  REM ** MAIN CONTROL **
120  LOMEM: 19000
140  TEXT : HOME
160  GOSUB 1100
180  GOSUB 2100
200  GOSUB 3100
900  END
999  REM --------------------

1000  REM ** INPUT ROUTINE **
1100  DIM SENS(10),BEG(10)
1120  INPUT "FILENAME  :";NAME$
1130 D$ =  CHR$ (4)
1140  PRINT D$;"OPEN TEXT";NAME$
1150  PRINT D$;"READ TEXT";NAME$
1160  INPUT HV: INPUT GAIN: INPUT SENS
1170  INPUT NUM%: INPUT BEG: INPUT INC: INPUT WEN
1180  PRINT D$;"CLOSE TEXT";NAME$
1200  PRINT D$;"BLOAD BYTE";NAME$;",A$4000"
1210 FLAG = 1
1900  RETURN
1999  REM --------------------

2000  REM ** SELECT RANGE **
2010  REM
2100 YRGE = 256: GOSUB 5100: REM PLOT GRAPH
2110 RNG = 1:SENS(RNG) = SENS:RNG = RNG + 1
2115 BEG(1) = 0
2120  IF FLAG THEN  GOSUB 6000: GOTO 2120: REM  SELECT
2140  GOSUB 9100: REM SELECT DENSITY RANGE
2900  RETURN
2999  REM --------------------

3000  REM ** MAKE TEXT FILE **
3100  TEXT : HOME
3120  VTAB 10: HTAB 10: FLASH : PRINT " INSERT DISK AND ":
     VTAB 12: HTAB 10: PRINT "  PRESS [RETURN]";
3140  GET A$: IF A$ <  > CHR$ (13) THEN 3140
3160  PRINT : PRINT
3180  HOME : VTAB 10: PRINT "  PLEASE WAIT"
3190  NORMAL
3200  PRINT : PRINT D$;"OPEN DATA";NAME$
3220  PRINT D$;"WRITE DATA";NAME$
3240  PRINT  INT (NUM% / 5 + 1) + 80
3260  FOR I = 1 TO NUM%: GOSUB 4100: NEXT I: REM SELECT
3280  PRINT D$;"CLOSE DATA";NAME$
3900  RETURN
3999  REM --------------------
```

```
4000  REM ** SELECT DATA **
4100  IF (I < P1 OR I > P2) AND I -  INT (I / 5) * 5 <  >
    1 THEN 4900
4120  FOR J = MXRG TO 1 STEP  - 1
4130  IF I < BEG(J) THEN 4160
4140 SENS = SENS(J):J = 1
4160  NEXT J
4180 WL = BEG + INC * (I - 1)
4200 SIG =  PEEK (16384 + I) * SENS / GAIN
4220  PRINT WL: PRINT SIG
4900  RETURN
4999  REM --------------------

5000  REM ** PLOT GRAPH **
5010  REM
5100 XSCL = 279 / (WEN - BEG)
5120 YSCL = 159 / (YRGE)
5130  HGR : HCOLOR= 3
5140  FOR I = 1 TO NUM%
5160 PX = I * INC * XSCL
5180 PY = 159 -  PEEK (16384 + I) * YSCL
5200  HPLOT PX,PY
5220  NEXT I
5900  RETURN
5999  REM --------------------

6000  REM **DRAW AND SELECT **
6100  HOME : VTAB 21: PRINT "USE <-,->,A,S AND [RETURN] TO
     SELECT": VTAB 24: HTAB 10: FLASH : PRINT "SELECT SENS
     RANGE";: NORMAL
6110 HC = 3:PNT = 1: GOSUB 7100: GOTO 6210
6120  GET A$: IF A$ <  >  CHR$ (13) AND A$ <  >  CHR$ (8) AND
    A$ <  > "A" AND A$ <  > "S" AND A$ <  >  CHR$ (21) THEN
    6120
6140  IF A$ =  CHR$ (13) THEN  GOSUB 8100: REM  INPUT
6160  IF A$ =  CHR$ (8) THEN HC = 0: GOSUB 7100:PNT = PNT -
    1: IF PNT < 1 THEN PNT = 1: PRINT  CHR$ (7)
6170  IF A$ = "A" THEN HC = 0: GOSUB 7100:PNT = PNT - 10: IF
    PNT < 1 THEN PNT = 1: PRINT  CHR$ (7)
6180  IF A$ =  CHR$ (21) THEN HC = 0: GOSUB 7100:PNT = PNT
     + 1: IF PNT > NUM% THEN 6800
6190  IF A$ = "S" THEN HC = 0: GOSUB 7100:PNT = PNT + 10: IF
    PNT > NUM% THEN 6800
6200 HC = 3: GOSUB 7100: REM  LINE
6210  VTAB 22: HTAB 1: PRINT "NOW SENS = ";SENS(RNG - 1);"
    mV WL = ";BEG + PNT * INC - INC;"  "
6220  GOTO 6120
6800 FLAG =  NOT FLAG
6820 MXRG = RNG - 1
6900  RETURN
6999  REM --------------------
```

```
7000  REM ** LINE **
7100  HCOLOR= HC:PX = (INC * (PNT - 1)) * XSCL
7120 PY = 159 -  PEEK (16384 + PNT) * YSCL
7140  HPLOT PX,PY + 5 TO PX,159
7160  HCOLOR= 3: HPLOT PX,PY
7900  RETURN
7999  REM --------------------

8000  REM ** INPUT SENSE **
8100  VTAB 22: HTAB 17: INPUT "   NEXT SENS ";SENS(RNG)
8120 BEG(RNG) = PNT:RNG = RNG + 1
8200  VTAB 22: HTAB 1: PRINT  SPC( 38);
8900  RETURN
8999  REM --------------------

9000  REM ** SELECT HI-DENSITY RANGE **
9100 P1 = 1:P2 = NUM%:PNT = 1
9120  HOME : VTAB 21: PRINT "USE <-,->,A,S AND [RETURN] TO
     SELECT"
9140  VTAB 24: HTAB 10: FLASH : PRINT "SELECT HI-DENSITY R
    ANGE";: NORMAL
9160 HC = 3: GOSUB 7100: REM  LINE
9170 PNT = PNT + 100: GOSUB 7100:PNT = PNT - 100
9200  GET A$: IF A$ <  > "A" AND A$ <  > "S" AND A$ <  >  CHR$
    (21) AND A$ <  >  CHR$ (13) AND A$ <  >  CHR$ (8) THEN
    9200
9210 HC = 0: GOSUB 7100:PNT = PNT + 100: GOSUB 7100:PNT =
    PNT - 100
9220  IF A$ =  CHR$ (13) THEN  GOTO 9400
9240  IF A$ = "A" THEN PNT = PNT - 10: IF PNT < 1 THEN PNT
     = 1: PRINT  CHR$ (7)
9260  IF A$ =  CHR$ (8) THEN PNT = PNT - 1: IF PNT < 1 THEN
    PNT = 1: PRINT  CHR$ (7)
9280  IF A$ =  CHR$ (21) THEN PNT = PNT + 1: IF PNT > NUM%
     THEN PNT = NUM%: PRINT  CHR$ (7)
9290  IF A$ = "S" THEN PNT = PNT + 10: IF PNT > NUM% THEN
    PNT = NUM%: PRINT  CHR$ (7)
9300 HC = 3: GOSUB 7100:PNT = PNT + 100: GOSUB 7100:PNT =
    PNT - 100
9320  VTAB 22: HTAB 1: PRINT  SPC( 38): VTAB 22: HTAB 1
9340  PRINT " SELECT FROM WL = ";BEG + (PNT - 1) * INC;" A
    ";
9360  GOTO 9200
9400 P1 = PNT:P2 = PNT + 100
9420  FOR PNT = P1 TO P2:HC = 3: GOSUB 7100: NEXT PNT
9440  HOME : VTAB 22: PRINT " ACCEPT [Y/N] ";
9460  GET A$: IF A$ <  > "Y" AND A$ <  > "N" THEN 9460
9480  IF A$ = "N" THEN  GOSUB 5100: GOTO 9100
9900  RETURN
9999  REM --------------------
```

ประวัติผู้เขียน

นายพงษ์ ทรงพงษ์ เกิดเมื่อวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2508 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2528 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทในสาขาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขณะศึกษาได้รับทุนผู้ช่วยวิจัยคณะวิทยาศาสตร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย