รายการอ้างอิง

1. มงคล วรรณประภา. การพัฒนาระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
2. Radon. Ber. Sachs Akad Wiss. 69, 262, 1917. Reprinted in Deans, S.R. The Radon Transfrom and some of its Application. New York: Wiley, 1983.
3. ธีรวัฒน์ ประกอบผล. การพัฒนาเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคโทรทัศน์สำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
4. วัลยา เอี่ยมสุรนันท์. การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปแบบคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีเพื่อการตรวจสอบชิ้นงานอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

1. นิวร ศรีคุณ. การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโพรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
2. บุษบา แซ่ลิ้ม. การพัฒนาระบบสร้างภาพสองมิติด้วยไมโครคอมพิวเตอร์จากการส่งผ่านรังสีแกมมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
3. ประวิทย์ เรืองไรรัตนโรจน์. การพัฒนาระบบสร้างภาพด้วยไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสีในอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

ภาษาอังกฤษ

1. Clayton, G. 1990. Some Comments on the Development of Radiation and Radioisotope Measurement Applications in Industry, International Jornal of Applied Radiation and Isotopes. Volume 41, No 10/11, pp. 917-934.
2. Crouthamel C.E. Applied Gamma-ray Spectrometry. 2nd edition by F. Adams and R. Dams. Hungary: Pergamon press, 1970.
3. Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurement. 2 nd edition, Singapore: John Wiley & Sons, Inc., 1989.
4. John R. Lamarsh. Introduction to Nuclear Engineering. 2 nd edition, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company Reading, 1983.
5. Sawicka B.D. 1990. Computed Tomography of radioactive objects and materials, Nuclear Instruments and Method in Physics Research. Volume A299, No 1, pp. 468-479.
6. Wells, P. 1994. Industrial Non-destructive Testing and Evaluation Using X-ray and gamma-ray Computed Tomography, Proceedings, 9th Pacific Basin Nuclear Conference. Volume 1, No 1, pp. 399-404.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรมควบคุมระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี เขียนขึ้นด้วยภาษา QuickBASIC โดยมีการแบ่งเป็นโปรแกรมย่อย (Subroutine) และได้แยกโปรแกรมย่อยที่มีการใช้งานร่วมกันไว้ในตอนท้าย เพื่อให้สามารถเข้าใจโปรแกรมได้ง่ายขึ้นควรทราบถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีการเรียกใช้ภายในโปรแกรมเสียก่อน ซึ่งตัวแปรที่ใช้จะแยกเป็น 2 กลุ่ม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรมทั่วไป

AREA(1-3)	เป็นตัวแปรที่ใช้รับข้อมูลจากเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง
CR(1-179, 1-3)	เป็นตัวแปรที่ใช้เก็บข้อมูลแต่ละเรย์ซัมตลอดโพรไฟล์ ของรังสีแต่ละพลังงาน
QN	เป็นตัวแปรที่ใช้รับคำตอบแบบจำนวนเต็ม
Q$	เป็นตัวแปรที่ใช้รับคำตอบแบบตัวอักษร
RMD	เป็นค่าหน่วงเวลาสำหรับการขับเคลื่อนหมุน
TMD	เป็นค่าหน่วงเวลาสำหรับการขับเคลื่อนในแนวเส้นตรง
SPACE	เป็นจำนวนข้อมูลที่ตัดทิ้งก่อนถึงข้อมูลที่ต้องการจากเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง
CSD	เป็นค่าหน่วงเวลาสำหรับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง
NEP	เป็นจำนวนพลังงานของรังสีที่วัด
RAYSUM	เป็นตำแหน่งเรย์ซัมที่ทำการวัดรังสี

2. ตัวแปรที่ใช้เฉพาะโปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

DFN(1-3)	เป็นชื่อของไฟล์ข้อมูลของรังสีแต่ละพลังงาน
DSA	เป็นจำนวนรอบคำสั่งที่ใช้ในการขับเคลื่อนหมุนไปสู่โพรไฟล์ถัดไป
NPF	เป็นจำนวนโพรไพล์ทั้งหมดที่ทำการเก็บข้อมูล
SPN	เป็นค่าโพรไฟล์เริ่มต้น

LPS	เป็นจำนวนรอบคำสั่งที่ใช้ในการขับเคลื่อนในแนวเส้นตรงสู่เรย์ซัมถัดไป
MPS	เป็นค่าระยะห่างระหว่างเรย์ซัมหน่วยเป็นมิลิเมตร
SRN	เป็นค่าตำแหน่งเรย์ซัมเริ่มต้นเมื่อเทียบกับกรณีเก็บข้อมูลโดยใช้จำนวนเรย์ซัมครบทุกจุดตลอดช่วงการสแกน
NRS	เป็นจำนวนเรย์ซัมในการเก็บข้อมูลแต่ล ; โพรไพล์
FREE	เป็นค่าปรับแก้ตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่
X0	เป็นค่าเรย์ซัมเริ่มต้นในการเก็บข้อมูลแต่ละโพรไฟล์
X1	เป็นค่าแสดงทิศทางในการเก็บข้อมูลแต่ละโพรไฟล์
Y0	เป็นค่าพิกัดในแกน Y ของข้อมูลจากเรย์ซัมที่วัดได้ก่อนหน้าหนึ่งเรย์ซัม
Y1	เป็นค่าพิกัดในแกน Y ของข้อมูลที่วัดได้ในขณะนั้น

โปรแกรมควบคุมระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

```
'********************* DECLARE VARIABLE *********************
DIM AREA(3) AS STRING * 7
DIM CR(179, 3) AS LONG
DIM QN, RMD, TMD, SPACE, CSD, NEP, RAYSUM AS INTEGER
CONST X2 = 240 'Value at normal state of port A
MENU: '********************* MAIN MENU *********************
 CLS : SCREEN 3:
 LINE (0, 0)-(719, 347), , B
 LINE (139, 39)-(580, 279), , B
 LINE (140, 40)-(579, 147), , B
 LOCATE 5, 22: PRINT "DEVELOPMENT OF THE COMPUTED TOMOGRAPHY"
 LOCATE 6, 19: PRINT "SCANNING SYSTEM USING MULTIENERGY GAMMA RAY"
 LOCATE 8, 28: PRINT "MR.SUPORN  KUNLAWATNUNCHAI"
 LOCATE 9, 25: PRINT "DEPARTMENT OF NUCLEAR TECHNOLOGY"
 LOCATE 10, 29: PRINT "CHULALONGKORN UNIVERSITY"
 LOCATE 12, 35: PRINT "MAIN MENU"
 LOCATE 14, 30: PRINT "1. SCANNING OBJECT"
 LOCATE 15, 30: PRINT "2. MCA TESTING"
 LOCATE 16, 30: PRINT "3. MOTION TESTING"
 LOCATE 17, 30: PRINT "4. EXIT"
 LOCATE 19, 36: PRINT "CHOOSE:": Q$ = " "
 WHILE INSTR("1234", Q$) = 0
   Q$ = INPUT$(1)
 WEND
 IF Q$ = "1" THEN GOTO SCAN
 IF Q$ = "2" THEN GOTO MCAT
 IF Q$ = "3" THEN GOTO MOTT
 OUT 771, 137: END
```

```
SCAN: '********** SCANNING OBJECT **********
'********** Declare variable **********
 DIM DFN(3) AS STRING * 8
 DIM DSA, NPF, SPN, LPS, MPS, SRN, NRS, FREE, X0, X1, YO, Y1 AS INTEGER
 FREE = 5 'Free step when change translation direction
'********** Input operating d  :cription **********
DO UNTIL Q$ = "Y" OR Q$ = "y"
 CLS: LOCATE 2, 25: PRINT "OPERATING DESCRIPTION"
 LOCATE 4, 10: PRINT "ROTATION MOTOR DELAY [MIN=80]: "; : INPUT "", RMD
 IF RMD < 80 THEN RMD = 80: LOCATE 4, 40: PRINT RMD
 LOCATE 5, 10: PRINT "TRANSLATION MOTER DELAY [MIN=50]: "; : INPUT "", TMD
 IF TMD < 50 THEN TMD = 50: LOCATE 5, 43: PRINT TMD
 LOCATE 6, 10: PRINT "MCA SERIES (1) 35 (2) 40 :": SPACE = 0
 DO UNTIL SPACE > 0
   LOCATE 6, 37: INPUT "", Q$
   IF Q$ = "1" THEN SPACE = 3: IF Q$ = "2" THEN SPACE = 6
 LOOP
 LOCATE 6, 40: PRINT "DELAY [MIN=2000]: "; : INPUT "", CSD
 IF CSD < 2000 THEN CSD = 2000: LOCATE 6, 57: PRINT CSD
 LOCATE 7, 10: PRINT "NUMBER OF ENERGY PEAK (1, 2 OR 3):": NEP = 0
 WHILE NEP < 1 OR NEP > 3
   LOCATE 7, 45: INPUT "", NEP
 WEND
 FOR I = 1 TO NEP
   LOCATE 7 + I, 10: PRINT "DATA FILE NAME FROM ENERGY"; I, I / 100
   LOCATE 7 + I, 39: PRINT "[CTDATA"
   LOCATE 7 + I, 47: PRINT "]: "; : INPUT "", DFN(I)
   IF ASC(DFN(I)) = 32 THEN
     I$ = MID$(STR$(I), 2, 1)
     DFN(I) = "CTDATA" + I$: LOCATE 7 + I, 50: PRINT DFN(I)
   END IF
 NEXT I
 LOCATE 7 + I, 10: PRINT "DEGREE OF STEP ANGLE (5, 10 OR 20):": DSA = 0
 DO UNTIL DSA > 0
   LOCATE 7 + I, 46: INPUT "", QN
   IF QN = 5 THEN DSA = 211
   IF QN = 10 THEN DSA = 422
   IF QN = 20 THEN DSA = 844
 LOOP
 LOCATE 8 + I, 10: PRINT "NUMBER OF PROFILE [MAX=": QN = 180 / QN
 LOCATE 8 + I, 33: PRINT MID$(STR$(QN), 2, 2); : PRINT "]:": NPF = 0
 WHILE NPF < 1 OR NPF > QN
   LOCATE 8 + I, 38: INPUT "", NPF
   IF NPF = 0 THEN NPF = QN: LOCATE 8 + I, 37: PRINT QN
 WEND
 LOCATE 9 + I, 10: PRINT "START AT PROFILE NUMBER [MAX=": SPN = 0
 IF NPF = QN THEN
   LOCATE 9 + I, 34: PRINT "1    ": SPN = 1
 ELSE
```

```
    LOCATE 9 + I, 39: PRINT MID$(STR$(QN - NPF + 1), 2, 2); : PRINT "]:"
    WHILE SPN < 1 OR SPN + NPF > QN + 1
      LOCATE 9 + I, 43: INPUT "", SPN
      IF SPN = 0 THEN SPN = QN - NPF + 1: LOCATE 9 + I, 42: PRINT SPN
    WEND
  END IF
  LOCATE 10 + I, 10: PRINT "[  ILIMETER PER STEP (2 OR 3):": LPS = 0: MPS = 0
  DO UNTIL LPS > 0
    LOCATE 10 + I, 39: INPUT "", MPS
    IF MPS = 2 THEN LPS = 67: IF MPS = 3 THEN LPS = 100
  LOOP
  LOCATE 11 + I, 10: PRINT "START AT RAYSUM NUMBER [MAX=": SRN = 0
  LOCATE 11 + I, 38: PRINT MID$(STR$(180 / MPS), 2, 2); : PRINT "]:"
  WHILE SRN < 1 OR SRN > 180 / MPS
    LOCATE 11 + I, 43: INPUT "", SRN
    IF SRN = 0 THEN SRN = 1: LOCATE 11 + I, 42: PRINT SRN
  WEND
  NRS = 1 + 360 / MPS - 2 * SRN
  LOCATE 12 + I, 10: PRINT "NUMBER OF RAYSUM :"; : PRINT NRS
  LOCATE 14 + I, 20: PRINT "ABOVE DESCRIPTION IS CORRECT (Y OR N):"
  WHILE INSTR("NnYy", Q$) = 0
    Q$ = INPUT$(1): LOCATE 14 + I, 57: PRINT Q$
  WEND
LOOP
OPENFD: '********** Open file and device **********
  IF SPN > 1 THEN
    LOCATE 19, 20: PRINT "APPEND DATA TO THE OLD FILE (Y OR N):": Q$ = " "
    WHILE INSTR("NnYy", Q$) = 0
      Q$ = INPUT$(1): LOCATE 19, 58: PRINT Q$
    WEND
  END IF
  IF SPN = 1 OR INSTR("Nn", Q$) = 0 THEN
    FOR I = 1 TO NEP
      ON ERROR GOTO DISKERR
      OPEN DFN(I) FOR OUTPUT AS #I + 1
      CLOSE #I + 1
    NEXT I
  END IF
  OUT 771, 137: OUT 768, X2 'Control port to normal state
DISKERR: '********** Error handling **********
  ERRNUM = ERR
  IF ERRNUM > 0 THEN
    BEEP
    SELECT CASE ERRNUM
      CASE 61
        PRINT "DISK IS FULL ..PLEASE REPLACE DISK"
      CASE 64
        PRINT "BAD FILE NAME ..PLEASE RENAME THE FILE"
```

```
    CASE 71
      PRINT "DRIVE IS NOT CLOSE ..PLEASE CHECK DRIVE"
    CASE ELSE
      PRINT "ERROR NO"; : PRINT ERRNUM
  END SELECT
  Q$ = INPUT$(1)  GOTO OPENFD
 END IF
'********************* Move to origin point *********************
 LOCATE 20, 20: PRINT "PLEASE CHECK MCA WHEN SETTING ORIGIN"
 OUT 768, 112: OUT 768, X2 'Stop collect in
 GOSUB RESETR: GOSUB RESETT
 X0 = 0: X1 = 1
DATOR: '********************* Detect at origin point *********************
 LOCATE 20 + X0, 20: PRINT "PRESS ANY KEY WHEN MCA READY TO TEST"
 Q$ = INPUT$(1): X0 = 1: RAYSUM = 1
 GOSUB MCAC: GOSUB MCAR
 FOR I = 1 TO NEP
  LOCATE 20 + I, 20: PRINT "ENERGY"; I; "INITIAL AREA"; CR(1, I)
  IF CR(1, I) > 1000000 THEN
    LOCATE 20, 20: PRINT "PLEASE REDUCE MCA MEASURING TIME   "
    GOSUB DATOR
  END IF
  IF CR(1, I) < 1000 THEN
    LOCATE 20, 20: PRINT "PLEASE INCREASE MCA MEASURING TIME  "
    GOSUB DATOR
  END IF
 NEXT I
'********************* Select mode *********************
 LOCATE 24, 20: PRINT "OPERATING IN CONTINUOUS MODE (Y OR N):"; : Q$ = " "
 WHILE INSTR("NnYy", Q$) = 0
  Q$ = INPUT$(1): LOCATE 24, 59: PRINT Q$;
 WEND
'********************* Move to starting point *********************
 OUT 769, 3 'Return first rotation step
 FOR ROT = 1 TO SPN
  GOSUB ROTL
 NEXT ROT
 OUT 769, 0 'Park rotation motor
 OUT 768, X2 + 3: 'Return first translation step
 FOR TRAN = 1 TO SRN + 12 / MPS 'Free distance
  GOSUB TRANSF
 NEXT TRAN
'********************* Display screen *********************
FOR ROT = 1 TO NPF
 CLS : SCREEN 3
 LINE (3 + 2 * MPS, 49)-(3 + 2 * (360 - (2 * SRN - 1) * MPS), 301), , B
 LOCATE 2, 34 - SRN * MPS / 6: PRINT "PROFILE NUMBER"; ROT
 PRINT "log N": LOCATE 18, 32: PRINT "RAYSUM NUMBER"
 FOR I = 1 TO NEP: LOCATE 18 + I, 32: PRINT "ENERGY"; I; "AREA": NEXT I
```

```
LINE (242, 244)-(450, 274 + 14 * NEP), , B
FOR I = 1 TO 7
  LOCATE 1 + I * 3, 1: PRINT MID$(STR$(7 - I), 2, 1); "-"
NEXT I
PRINT " 0": LOCATE 24, 35 - SRN * MPS / 6: PRINT "Distance (cm)";
FOR  = 1 TO INT((360 - (2 * SRN) * MPS) / 50)
  LO ATE 23, I * 11: PRINT I * 5
NEXT I
'******************** Detection and translation ********************
FOR RAYSUM = X0 TO NRS STEP X1 'Step 1 for forward -1 for revert
  GOSUB MCAC: GOSUB MCAR: LOCATE 18, 45: PRINT RAYSUM
  FOR I = 1 TO NEP
    IF CR(RAYSUM, I) < 1 THEN CR(RAYSUM, I) = 1
    LOCATE 18 + I, 45: PRINT CR(RAYSUM, I)
    Y1 = 301 - LOG(CR(RAYSUM, I)) / LOG(10) * 42
    CIRCLE (RAYSUM * 2 * MPS + 3, Y1), I'Plot profile
    IF RAYSUM = X0 THEN
      LOCATE Y1 / 14, 2 + X1 + X0 * MPS / 5: PRINT "Energy"; I
    ELSE
      Y0 = 301 - INT(LOG(CR(RAYSUM - X1, I)) / LOG(10) * 42)
      LINE ((RAYSUM - X1) * 2 * MPS + 3, Y0)-(RAYSUM * 2 * MPS + 3, Y1)
    END IF
  NEXT I
  OUT 768, 208: OUT 768, X2 + 3
  IF RAYSUM = NRS THEN 'Prepare to change translation direction
    SWAP FREE, LPS
    IF X1 > 0 THEN GOSUB TRANSR ELSE GOSUB TRANSF
    SWAP LPS, FREE
  ELSE
    IF X1 > 0 THEN GOSUB TRANSF ELSE GOSUB TRANSR
  END IF
NEXT RAYSUM
'******************** Profile saving and rotation ********************
IF Q$ = "N" OR Q$ = "n" OR Q$ = "R" OR Q$ = "r" THEN
  LOCATE 20, 20: PRINT "CONTINUOUS MODE (Y OR N) OR REPEAT (R):": Q$ = " "
  WHILE INSTR("NnRrYy", Q$) = 0
    Q$ = INPUT$(1): LOCATE 20, 60: PRINT Q$
  WEND
END IF
IF Q$ = "R" OR Q$ = "r" THEN
  ROT = ROT - 1
ELSE
  FOR I = 1 TO NEP
    OPEN DFN(I) FOR APPEND AS #I + 1
    FOR RAYSUM = 1 TO NRS + X0 - 1
      WRITE #I + 1, CR(RAYSUM, I)
    NEXT RAYSUM
    CLOSE #I + I
  NEXT I
```

```
    OUT 769, 3
    IF ROT = NPF THEN
      FOR ROT = 1 TO NPF - 1: GOSUB ROTR: NEXT ROT
    ELSE
      GOSUB ROTL
    END IF
    OUT 769, 0
  END IF
  SWAP X0, NRS: X1 = X1 * -1 'Change translation direction
NEXT ROT
'********************* Move back *********************
OUT 768, X2 + 3
FOR TRAN = 1 TO SRN + X0: GOSUB TRANSR: NEXT TRAN
OUT 768, X2: GOTO MENU

MCAT: '********************* MCA TESTING *********************
  CLS : SCREEN 0
  LOCATE 4, 35: PRINT "MCA TESTING"
  LOCATE 6, 30: PRINT "OPERATING DESCRIPTION"
  LOCATE 8, 25: PRINT "MCA SERIES (1) 35 (2) 40 :"; SPACE = 0
    DO UNTIL SPACE > 0
      LOCATE 8, 52: INPUT "", QN
      IF QN = 1 THEN SPACE = 3
      IF QN = 2 THEN SPACE = 6
    LOOP
  LOCATE 9, 25: PRINT "COLLECT STATUS DELAY [MIN=100]: "; : INPUT "", CSD
  IF CSD < 100 THEN SCD = 100: LOCATE 9, 56: PRINT SCD
  LOCATE 10, 25: PRINT "NUMBER OF ENERGY PEAK (1, 2 OR 3):": NEP = 0
    WHILE NEP < 1 OR NEP > 3
      LOCATE 10, 60: INPUT "", NEP
    WEND
  LOCATE 12, 36: PRINT "MCA MENU"
  LOCATE 14, 22: PRINT "1. SET NEW OPERATION  5. CLEAR DATA"
  LOCATE 15, 22: PRINT "2. START COLLECT     6. CHECK COLLECT STATUS"
  LOCATE 16, 22: PRINT "3. STOP COLLECT      7. CHECK BUSY STATUS"
  LOCATE 17, 22: PRINT "4. READOUT DATA      8. EXIT"
  LOCATE 19, 36: PRINT "CHOOSE:": OUT 771, 137: OUT 768, X2
  WHILE INSTR("8", Q$) = 0
    Q$ = INPUT$(1): LOCATE 19, 43: PRINT Q$
    IF Q$ = "1" THEN CLOSE #1: GOTO MCAT
    IF Q$ = "2" THEN OUT 768, 224: OUT 768, X2
    IF Q$ = "3" THEN OUT 768, 112: OUT 768, X2
    IF Q$ = "4" THEN
      GOSUB MCAC: RAYSUM = 1: GOSUB MCAR
      FOR I = 1 TO NEP
        LOCATE 20 + I, 25: PRINT CR(1, I)
      NEXT I
    END IF
    IF Q$ = "5" THEN OUT 768, 208: OUT 768, X2
```

```
  IF Q$ = "6" THEN
    OUT 768, 224: OUT 768, X2
    FOR I = 1 TO CSD: NEXT I 'Collect status delay
    DO UNTIL QN = 64
      QN = 64 AND INP(770)
      LOCATE 21, 25: PRINT "COLLECT STATUS IS LOGIC ON (HIGH)";
    LOOP
    LOCATE 21, 25: PRINT "COLLECT STATUS IS LOGIC OFF (LOW)"; : QN = 0
  END IF
  IF Q$ = "7" THEN
    RAYSUM = 1: GOSUB MCAR
    FOR I = 1 TO CSD: NEXT I
    DO UNTIL QN = 64
      QN = 64 AND INP(770)
      LOCATE 21, 25: PRINT "BUSY STATUS IS LOGIC ON (HIGH)";
    LOOP
    LOCATE 21, 25: PRINT "BUSY STATUS IS LOGIC OFF (LOW)"; : QN = 0
  END IF
WEND
GOTO MENU

MOTT: '********************* MOTION TESTING *********************
 CLS : SCREEN 0
 LOCATE 4, 34: PRINT "MOTION TESTING"
 LOCATE 6, 30: PRINT "OPERATING DESCRIPTION"
 LOCATE 8, 24: PRINT "ROTATION MOTOR DELAY [MIN=10]: "; : INPUT "", RMD
 IF RMD < 10 THEN RMD = 10: LOCATE 8, 54: PRINT RMD
 LOCATE 9, 24: PRINT "TRANSLATION MOTOR DELAY [MIN=10]: "; : INPUT "", TMD
 IF TMD < 10 THEN TMD = 10: LOCATE 9, 57: PRINT TMD
 LOCATE 10, 24: PRINT "NUMBER OF REPETITION [MIN=1]: "; : INPUT "", DSA
 IF DSA < 1 THEN DSA = 100: LOCATE 10, 54: PRINT DSA:
 LOCATE 12, 35: PRINT "MOTION MENU": LPS = DSA
 LOCATE 14, 20: PRINT "1. SET NEW OPERATION  5. TRANSLATE FORWARD"
 LOCATE 15, 20: PRINT "2. ROTATE LEFT       6. TRANSLATE REVERT"
 LOCATE 16, 20: PRINT "3. ROTATE RIGHT      7. TRANSLATE TO ORIGIN"
 LOCATE 17, 20: PRINT "4. ROTATE TO ORIGIN   8. EXIT"
 LOCATE 19, 36: PRINT "CHOOSE:": OUT 771, 137
 WHILE INSTR("8", Q$) = 0
   Q$ = INPUT$(1): LOCATE 19, 43: PRINT Q$
   IF Q$ = "1" THEN GOTO MOTT
   IF Q$ = "2" THEN GOSUB ROTL
   IF Q$ = "3" THEN GOSUB ROTR
   IF Q$ = "4" THEN GOSUB RESETR
   IF Q$ = "5" THEN GOSUB TRANSF
   IF Q$ = "6" THEN GOSUB TRANSR
   IF Q$ = "7" THEN GOSUB RESETT
 WEND
 GOTO MENU
```

```
'********** SUBROUTINE MCA CONTROL **********
MCAC: '********** MCA start collect **********
 DO UNTIL QN = 192
   QN = 192 AND INP(770) 'Busy and collect status in
 LOOP
 OUT 768, 208: OUT 768, X2 'Clear data in
 FOR I = 1 TO CSD: NEXT I
 DO UNTIL QN = 128
   QN = 128 AND INP(770) 'Busy status out
 LOOP
 OUT 768, 224: OUT 768, X2 'Start collect in
 FOR I = 1 TO CSD: NEXT I
 DO UNTIL QN = 64
   QN = 64 AND INP(770) 'Collect status out
 LOOP
 RETURN
MCAR: '********** MCA readout **********
 OPEN "COM2:9600,n,8,1" FOR INPUT AS #1
 OUT 768, 176: OUT 768, X2 'Start readout in
 FOR I = 1 TO SPACE
   INPUT #1, A$
 NEXT I
 FOR I = 1 TO NEP
   FOR J = 1 TO 3
     INPUT #1, A$
   NEXT J
   AREA(I) = MID$(A$, 32, 7)
   CR(RAYSUM, I) = VAL(AREA(I))
 NEXT I
 CLOSE #1
 RETURN

'********** SUBROUTINE ROTATION **********
ROTL: '********** Rotation left **********
 FOR I = 1 TO DSA
   OUT 769, 3: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
   OUT 769, 6: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
   OUT 769, 12: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
   OUT 769, 9: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
 NEXT I
 RETURN
ROTR: '********** Rotation right **********
 FOR I = 1 TO DSA
   OUT 769, 3: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
   OUT 769, 9: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
   OUT 769, 12: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
   OUT 769, 6: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
 NEXT I
 RETURN
```

```
'********************* SUBROUTINE TRANSLATION *********************
TRANSF: '********************* Translation forward *********************
 FOR I = 1 TO LPS
  OUT 768, (3 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
  OUT 768, (9 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
  OUT 768, (12 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
  OUT 768, (6 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
 NEXT I
 RETURN

TRANSR: '********************* Translation revert *********************
 FOR I = 1 TO LPS
  OUT 768, (3 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
  OUT 768, (6 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
  OUT 768, (12 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
  OUT 768, (9 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
 NEXT I
 RETURN

'********************* SUBROUTINE SET ORIGIN POINT *********************
RESETR: '********************* Rotation to origin *********************
 OUT 769, 3: FOR I = 1 TO RMD: NEXT I
 A = (32 AND INP(770)): IF A = 32 THEN RETURN
 OUT 769, 9: FOR I = 1 TO RMD: NEXT I
 A = (32 AND INP(770)): IF A = 32 THEN RETURN
 OUT 769, 12: FOR I = 1 TO RMD: NEXT I
 A = (32 AND INP(770)): IF A = 32 THEN RETURN
 OUT 769, 6: FOR I = 1 TO RMD: NEXT I
 A = (32 AND INP(770)): IF A = 32 THEN RETURN
 GOTO RESETR
RESETT: '********************* Translation to origin *********************
 OUT 768, (3 OR X2): FOR I = 1 TO TMD: NEXT I
 A = (16 AND INP(770)): IF A = 16 THEN RETURN
 OUT 768, (6 OR X2): FOR I = 1 TO TMD: NEXT I
 A = (16 AND INP(770)): IF A = 16 THEN RETURN
 OUT 768, (12 OR X2): FOR I = 1 TO TMD: NEXT I
 A = (16 AND INP(770)): IF A = 16 THEN RETURN
 OUT 768, (9 OR X2): FOR I = 1 TO TMD: NEXT I
 A = (16 AND INP(770)): IF A = 16 THEN RETURN
 GOTO RESETT

'********************* COMPLETE PROGRAM VERSION 1 FOR *********************
'********************* MULTIENERGY GAMMA RAY SCANNING *********************
```

ภาคผนวก ข

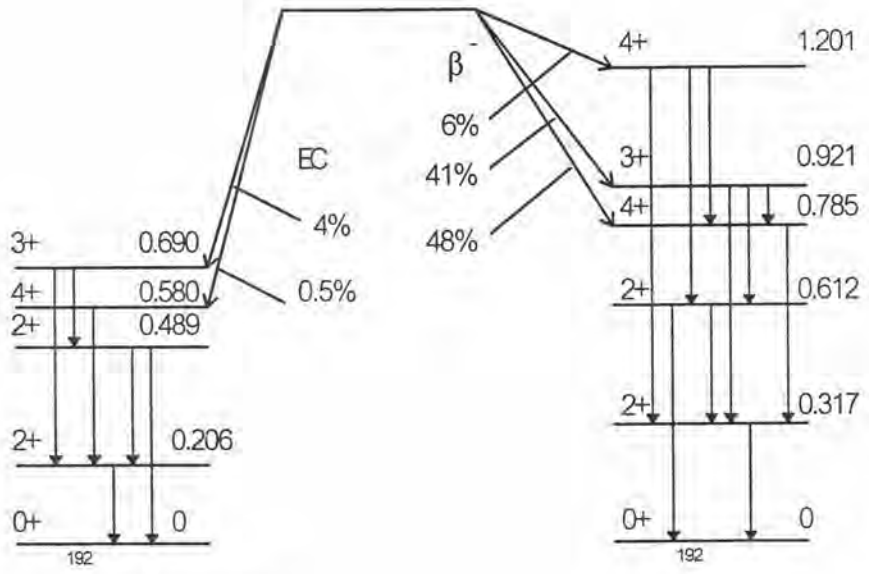
คุณสมบัติของต้นกำเนิดรังสีแกมมา และวัตถุต่างๆ

ข.1 แผนภาพแสดงการสลายตัว (decay scheme) ของต้นกำเนิดรังสี Ir 192 และต้นกำเนิดรังสี Cs 137

ข.2 แผนภาพแสดงคุณสมบัติของต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา

ข.3 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัตถุต่างๆ

ข.4 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของวัตถุต่างๆ

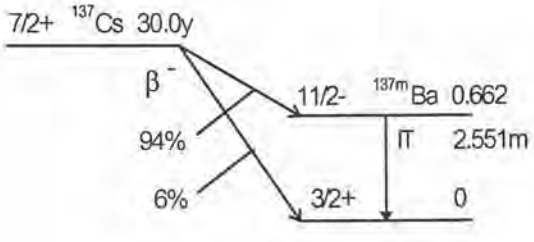


Ir-192 gamma ray source

half life 73.83 day

decay β^-	256 keV 6%	give γ 296.0 keV 28.7%
	536 keV 41%	308.5 keV 29.8%
	672 keV 48%	316.5 keV 83.1%
		468.1 keV 47.7%
		588.6 keV 4.49%
		604.4 keV 8.11%
		612.5 keV 5.28%
Electron capture	4.5%	give γ 206 keV 3.2%
		485 keV 3.1 %

รูปที่ ข.1 แผนภาพแสดงการสลายตัว (decay scheme) ของต้นกำเนิดรังสี Ir 192



Cs-137 gamma ray source

half life 30.0 year

decay β^- 512 keV 94% give γ 662 keV 85.2 %

1.17 MeV 6%

แผนภาพแสดงการสลายตัว (decay scheme) ของและต้นกำเนิดรังสี Cs 137

Gamma radiography sources and source holders

Iridium-192 sources available

Iridium metal discs encapsulated in welded stainless steel

Active dia mm	Active height mm	Focal size mm	Content Activity TBq	AKR µGy/s	Equivalent Activity Ci	Capsule X441 code	Capsule X447 code	Capsule X540 code
0·5	0·5	0·71	0·02	0·6	0·5	ICCQQ 500	ICCRQ 500	ICCSQ 500
1·0	1·0	1·41	0·08	2·3	2	ICCQP 002	ICCRP 002	ICCSP 002
			0·12	3·5	3	ICCQP 003	ICCRP 003	ICCSP 003
			0·16	4·7	4	ICCQP 004	ICCRP 004	ICCSP 004
			0·20	5·8	5	ICCQP 005	ICCRP 005	ICCSP 005
			0·24	7·0	6	ICCQP 006	ICCRP 006	ICCSP 006
1·3	1·3	1·84	0·33	9·3	8	ICCQJ 008	ICCRJ 008	ICCSJ 008
			0·37	10·5	9	ICCQJ 009	ICCRJ 009	ICCSJ 009
			0·41	11·6	10	ICCQJ 010	ICCRJ 010	ICCSJ 010
			0·45	12·8	11	ICCQJ 011	ICCRJ 011	ICCSJ 011
			0·49	14·0	12	ICCQJ 012	ICCRJ 012	ICCSJ 012
2·0	1·0	2·24	0·63	17·5	15	ICCQE 015	ICCRE 015	ICCSE 015
			0·67	18·6	16	ICCQE 016	ICCRE 016	ICCSE 016
			0·75	21·0	18	ICCQE 018	ICCRE 018	ICCSE 018
			0·84	23·3	20	ICCQE 020	ICCRE 020	ICCSE 020
2·0	1·5	2·50	0·90	23·3	20	ICCQG 020	ICCRG 020	ICCSG 020
			1·12	29·1	25	ICCQG 025	ICCRG 025	ICCSG 025
2·0	2·0	2·83	1·16	29·1	25	ICCQN 025	ICCRN 025	ICCSN 025
			1·39	34·9	30	ICCQN 030	ICCRN 030	ICCSN 030
			1·62	40·7	35	ICCQN 035	ICCRN 035	ICCSN 035
2·0	3·0	3·61	2·17	52·4	45	ICCQC 045	ICCRC 045	ICCSC 045
			2·40	58·2	50	ICCQC 050	ICCRC 050	ICCSC 050
2·0	2·5	3·20	1·90	46·6	40	ICCQH 040	ICCRH 040	ICCSH 040
			2·13	52·4	45	ICCQH 045	ICCRH 045	ICCSH 045
3·0	2·0	3·61	2·21	52·4	45	ICCQR 045	ICCRR 045	ICCSR 045
			2·46	58·2	50	ICCQR 050	ICCRR 050	ICCSR 050
			2·71	64·0	55	ICCQR 055	ICCRR 055	ICCSR 055
			2·95	69·8	60	ICCQR 060	ICCRR 060	ICCSR 060
			3·20	75·7	65	ICCQR 065	ICCRR 065	ICCSR 065
			3·44	81·5	70	ICCQR 070	ICCRR 070	ICCSR0 70
3·0	2·5	3·91	3·8	87·3	75	ICCQL 075	ICCRL 075	ICCSL 075
			4·06	93·1	80	ICCQL 080	ICCRL 080	ICCSL 080
			4·31	98·9	85	ICCQL 085	ICCRL 085	ICCSL 085
3·0	3·0	4·24	4·14	93·1	80	ICCQK 080	ICCRK 080	ICCSK 080
			4·40	98·9	85	ICCQK 085	ICCRK 085	ICCSK 085
			4·66	104·8	90	ICCQK 090	ICCRK 090	ICCSK 090
			4·92	110·6	95	ICCQK 095	ICCRK 095	ICCSK 095
			5·18	116·4	100	ICCQK 100	ICCRK 100	ICCSK 100
3·0	4·0	5·00	8·10	174·6	150			ICCST 150
4·0	4·0	5·66	10·5	221·2	190			ICCSM 190
			11·1	232·8	200			ICCSM 200
			12·2	256·0	220			ICCSM 220

Sources of higher output than those specified may be available, please enquire.

*AKR – Air kerma rate in micrograys per second at 1 metre

*Equivalent activity in curies – often known as 'emission'

Characteristics

Optimum working thickness	steel light alloys other materials	12·5 to 62·5mm 40 to 190mm 0·1 to 0·5g/mm²
Half life		74·0 days
Principle gamma energies		0·206 to 0·612MeV
Output at 1 metre for a nominal equivalent activity of 37GBq (1Ci) Exposure rate Air kerma rate		0·48R/h 1·164µGy/s

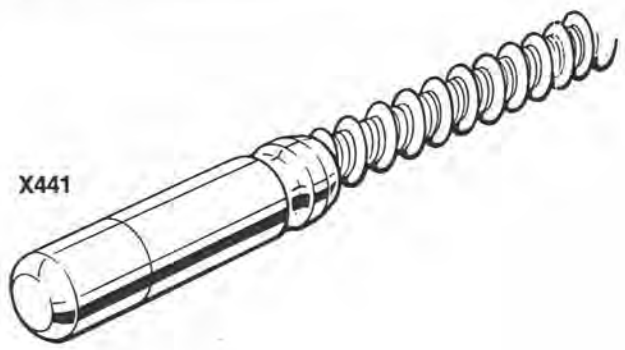
Cobalt-60 sources available

Active dimensions d mm	l mm	t mm	µGy/s	Air kerma rate at 1m TBq	Nominal equivalent activity Ci	Code
1·0	1·0	1·41	3·0	0·04	1·0	CKCP 001
2·0	1·0	2·24	3·0	0·04	1·0	CKCE 001
			6·0	0·07	2·0	CKCE 002
			9·0	0·11	3·0	CKCE 003
			12·0	0·15	4·0	CKCE 004
			15·0	0·19	5·0	CKCE 005
			18·0	0·22	6·0	CKCE 006
			21·0	0·26	7·0	CKCE 007
2·0	2·0	2·83	6·0	0·07	2·0	CKCN 002
			12·0	0·15	4·0	CKCN 004
			18·0	0·22	6·0	CKCN 006
			24·0	0·30	8·0	CKCN 008
			30·0	0·37	10·0	CKCN 010
			36·0	0·44	12·0	CKCN 012
			42·0	0·52	14·0	CKCN 014
3·0	2·0	3·61	45·0	0·56	15·0	CKCR 015
			60·0	0·70	20·0	CKCR 020
			75·0	0·92	25·0	CKCR 025
			90·0	1·1	30·0	CKCR 030
3·0	3·0	4·24	90·0	1·1	30·0	CKCK 030
			105·0	1·3	35·0	CKCK 035
			120·0	1·5	40·0	CKCK 040
			135·0	1·7	45·0	CKCK 045
4·0	2·0	4·47	135·0	1·7	45·0	CKCD 045
			150·0	1·9	50·0	CKCD 050
			165·0	2·0	55·0	CKCD 055
			180·0	2·2	60·0	CKCD 060
4·0	3·0	5·00	180·0	2·2	60·0	CKCF 060
			195·0	2·4	65·0	CKCF 065
			225·0	2·8	75·0	CKCF 075
			255·0	3·1	85·0	CKCF 085
4·0	4·0	5·66	270·0	3·3	90·0	CKCM 090
			300·0	3·7	100·0	CKCM 100

Sources of higher outputs than those specified may be available, please enquire.

Characteristics

Optimum working thickness	steel light alloys other materials	50 to 150mm 150 to 450mm 0·4 to 1·2g/mm²
Half life		5·27 years
Principle gamma energies		1·173 & 1·333MeV
Output at 1 metre for a nominal equivalent activity of 37GBq (1Ci) Exposure rate Air kerma rate		1·30R/h 3·152µGy/s



รูปที่ ข.2 แผนภาพแสดงคุณสมบัติของต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา

ข.3 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัตถุต่างๆ

Element or molecule	Symbol	Atomic number	Atomic or molecular weight*	Nominal density, g/cm³	Atoms or molecules per cm³† (× 10²⁴)	σ_a,‡ barns	σ_s‡ barns	Σ_a,† cm⁻¹	Σ_s,† cm⁻¹
Actinium	Ac	89	227			515			
Aluminum	Al	13	26.9815	2.699	0.06024	0.230	1.49	0.01386	0.08976
Antimony	Sb	51	121.75	6.62	0.03275	5.4	4.2	0.1769	0.1376
Argon	Ar	18	39.948	Gas		0.678	0.644		
Arsenic	As	33	74.9216	5.73	0.04606	4.3	7	0.1981	0.3224
Barium	Ba	56	137.34	3.5	0.01535	1.2		0.01842	
Beryllium	Be	4	9.0122	1.85	0.1236	0.0092	6.14	0.001137	0.7589
Bismuth	Bi	83	208.980	9.80	0.02824	0.033		0.0009319	
Boron	B	5	10.811	2.3	0.1281	759	3.6	97.23	0.4612
Bromine	Br	35	79.909	3.12	0.02351	6.8	6.1	0.1599	0.1434
Cadmium	Cd	48	112.40	8.65	0.04635	2450	5.6	113.56	0.2596
Calcium	Ca	20	40.08	1.55	0.02329	0.43		0.01001	
Carbon (graphite)§	C	6	12.01115	1.60	0.08023	0.0034	4.75	0.0002728	0.3811
Cerium	Ce	58	140.12	6.78	0.02914	0.63	4.7	0.01836	0.1370
Cesium	Cs	55	132.905	1.9	0.008610	29.0		0.2497	
Chlorine	Cl	17	35.453	Gas		33.2			
Chromium	Cr	24	51.996	7.19	0.08328	3.1	3.8	0.2582	0.3165
Cobalt	Co	27	58.9332	8.8	0.08993	37.2	6.7	3.345	0.6025
Copper	Cu	29	63.54	8.96	0.08493	3.79	7.9	0.3219	0.6709
Deuterium	D	1	2.01410	Gas		0.00053			
Dysprosium	Dy	66	162.50	8.56	0.03172	930	100	29.50	3.172
Erbium	Er	68	167.26	9.16	0.03203	162	11.0	5.189	0.3523
Europium	Eu	63	151.96	5.22	0.02069	4600	8.0	95.17	0.1655
Fluorine	F	9	18.9984	Gas		0.0095	4.0		
Gadolinium	Gd	64	157.25	7.95	0.03045	49000		1492	
Gallium	Ga	31	69.72	5.91	0.05105	2.9	6.5	0.1480	0.3318
Germanium	Ge	32	72.59	5.36	0.04447	2.3	7.5	0.1023	0.3335
Gold	Au	79	196.967	19.32	0.05907	98.8		5.836	
Hafnium	Hf	72	178.49	13.36	0.04508	102	8	4.598	0.3606
Heavy water¶	D_2O		20.0276	1.105	0.03323	0.00133	13.6	4.420×10^{-5}	0.4519
Helium	He	2	4.0026	Gas		<0.05			
Holmium	Ho	67	164.930	8.76	0.03199	66.5	9.4	2.127	0.3007
Hydrogen	H	1	1.00797	Gas		0.332			
Indium	In	49	114.82	7.31	0.03834	193.5		7.419	
Iodine	I	53	126.9044	4.93	0.02340	6.2		0.1451	
Iridium	Ir	77	192.2	22.5	0.07050	426	14	30.03	0.9870
Iron	Fe	26	55.847	7.87	0.08487	2.55	10.9	0.2164	0.9251
Krypton	Kr	36	83.80	Gas		25.0	7.50		
Lanthanum	La	57	138.91	6.19	0.02684	9.0	9.3	0.2416	0.2496
Lead	Pb	82	207.19	11.34	0.03296	0.170	11.4	0.005603	0.3757
Lithium	Li	3	6.942	0.53	0.04600	70.7		3.252	
Lutetium	Lu	71	174.97	9.74	0.03353	77	8	2.581	0.2682
Magnesium	Mg	12	24.312	1.74	0.04310	0.063	3.42	0.002715	0.1474
Manganese	Mn	25	54.9380	7.43	0.08145	13.3	2.1	1.083	0.1710
Mercury	Hg	80	200.59	13.55	0.04068	375		15.26	
Molybdenum	Mo	42	95.94	10.2	0.06403	2.65	5.8	0.1697	0.3714
Neodymium	Nd	60	144.24	6.98	0.02914	50.5	16	1.472	0.4662
Neon	Ne	10	20.183	Gas		0.038	2.42		
Nickel	Ni	28	58.71	8.90	0.09130	4.43	17.3	0.4045	1.579
Niobium	Nb	41	92.906	8.57	0.05555	1.15		0.06388	
Nitrogen	N	7	14.0067	Gas		1.85	10.6		
Osmium	Os	76	190.2	22.5	0.07124	15.3		1.090	
Oxygen	O	8	15.9994	Gas		0.00027	3.76		
Palladium	Pd	46	106.4	12.0	0.06792	6.9	5.0	0.4686	0.3396
Phosphorus (yeilow)	P	15	30.9738	1.82	0.03539	0.180		0.006370	
Platinum	Pt	78	195.09	21.45	0.06622	10.0	11.2	0.6622	0.7167
Plutonium	Pu	94	239.0522	19.6	0.04938	σ_a = 1011.3	7.7	49.93	0.3802
Polonium	Po	84	210	9.51	0.02727	σ_f = 742.5		36.66	
Potassium	K	19	39.102	0.86	0.01325	2.10	1.5	0.02783	0.01988
Praseodymium	Pr	59	140.907	6.78	0.02898	11.5	3.3	0.3333	0.09563
Promethium	Pm	61							
Protactinium	Pa	91	231.0359			210			
Radium	Ra	88	226.0254	5.0	0.01332	11.5		0.1532	
Rhenium	Re	75	186.2	20	0.06596	88	11.3	5.804	0.7453
Rhodium	Rh	45	102.905	12.41	0.07263	150		10.89	
Rubidium	Rb	37	85.47	1.53	0.01078	0.37	6.2	0.003989	0.06684
Ruthenium	Ru	44	101.07	12.2	0.07270	2.56		0.1861	
Samarium	Sm	62	150.35	6.93	0.02776	5800		161.0	
Scandium	Sc	21	44.956	2.5	0.03349	26.5	24	0.8875	0.8038
Selenium	Se	34	78.96	4.81	0.03669	11.7	9.7	0.4293	0.3559
Silicon	Si	14	28.086	2.33	0.04996	0.16	2.2	0.007994	0.1099
Silver	Ag	47	107.870	10.49	0.05857	63.6		3.725	
Sodium	Na	11	22.9898	0.97	0.02541	0.530	3.2	0.01347	0.08131

ข.3 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัตถุต่างๆ (ต่อ)

Element or molecule	Symbol	Atomic number	Atomic or molecular weight*	Nominal density, g/cm³	Atoms or molecules per cm³† (× 10²⁴)	σ_a,‡ barns	σ_s‡ barns	Σ_a† cm⁻¹	Σ_s† cm⁻¹
Tantalum	Ta	73	180.948	16.6	0.05525	21.0	6.2	1.160	0.3426
Technetium	Tc	43	99			19			
Tellurium	Te	52	127.60	6.24	0.02945	4.7		0.1384	
Terbium	Tb	65	158.925	8.33	0.03157	25.5	20	0.8050	0.6314
Thallium	Tl	81	204.37	11.85	0.03492	3.4	9.7	0.1187	0.3387
Thorium	Th	90	232.038	11.71	0.03039	7.40	12.67	0.2249	0.3850
Thulium	Tm	69	168.934	9.35	0.03314	103	12	3.413	0.3977
Tin	Sn	50	118.69	7.298	0.03703	0.63		0.02333	
Titanium	Ti	22	47.90	4.51	0.05670	6.1	4.0	0.3459	0.2268
Tungsten	W	74	183.85	19.2	0.06289	18.5		1.163	
Uranium	U	92	238.03	19.1	0.04833	σ_a = 7.59	8.90	0.3668	0.4301
						σ_f = 4.19		0.2025	
Vanadium	V	23	50.942	6.1	0.07212	5.04	4.93	0.3635	0.3556
Water	H_2O		18.0153	1.0	0.03343	0.664	103	0.02220	3.443
Xenon	Xe	54	131.30	Gas		24.5	4.30		
Ytterbium	Yb	70	173.04	7.01	0.02440	36.6	25.0	0.8930	0.6100
Yttrium	Y	39	88.906	5.51	0.03733	1.28	7.60	0.04778	0.2837
Zinc	Zn	30	65.37	7.133	0.06572	1.10	4.2	0.07230	0.2760
Zirconium	Zr	40	91.22	6.5	0.04291	0.185	6.40	0.007938	0.2746

*Based on ^{12}C = 12.00000.

†Four-digit accuracy for computational purposes only; last digit(s) usually is not meaningful.

‡Cross sections at 0.0253 eV or 2200 m/sec. The scattering cross sections, except for those of H_2O and D_2O, are measured values in a thermal neutron spectrum and are assumed to be 0.0253 eV values because σ_s is usually constant at thermal energies. The errors in σ_s tend to be large, and the tabulated values of σ_s should be used with caution. (From BNL-325, 3rd ed., 1973).

§The value of σ_a given in the table is for pure graphite. Commercial, reactor-grade graphite contains varying amounts of contaminants and σ_a is somewhat larger, say, about 0.0048 barns, so that $\Sigma_a \cong 0.0003851\ cm^{-1}$.

¶The value of σ_a given in the table is for pure D_2O. Commercially available heavy water contains small amounts of ordinary water and σ_a in this case is somewhat larger.

ข.4 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของวัตถุต่างๆ

The mass attenuation coefficient (μ/ρ) for several materials, in cm^2/g*†

Material	Gamma-ray energy, MeV																	
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.25	1.5	2	3	4	5	6	8	10
H	.295	.265	.243	.212	.189	.173	.160	.140	.126	.113	.103	.0876	.0691	.0579	.0502	.0446	.0371	.0321
Be	.132	.119	.109	.0945	.0847	.0773	.0715	.0628	.0565	.0504	.0459	.0394	.0313	.0266	.0234	.0211	.0180	.0161
C	.149	.134	.122	.106	.0953	.0870	.0805	.0707	.0636	.0568	.0518	.0444	.0356	.0304	.0270	.0245	.0213	.0194
N	.150	.134	.123	.106	.0955	.0869	.0805	.0707	.0636	.0568	.0517	.0445	.0357	.0306	.0273	.0249	.0218	.0200
O	.151	.134	.123	.107	.0953	.0870	.0806	.0708	.0636	.0568	.0518	.0445	.0359	.0309	.0276	.0254	.0224	.0206
Na	.151	.130	.118	.102	.0912	.0833	.0770	.0676	.0608	.0546	.0496	.0427	.0348	.0303	.0274	.0254	.0229	.0215
Mg	.160	.135	.122	.106	.0944	.0860	.0795	.0699	.0627	.0560	.0512	.0442	.0360	.0315	.0286	.0266	.0242	.0228
Al	.161	.134	.120	.103	.0922	.0840	.0777	.0683	.0614	.0548	.0500	.0432	.0353	.0310	.0282	.0264	.0241	.0229
Si	.172	.139	.125	.107	.0954	.0869	.0802	.0706	.0635	.0567	.0517	.0447	.0367	.0323	.0296	.0277	.0254	.0243
P	.174	.137	.122	.104	.0928	.0846	.0780	.0685	.0617	.0551	.0502	.0436	.0358	.0316	.0290	.0273	.0252	.0242
S	.188	.144	.127	.108	.0958	.0874	.0806	.0707	.0635	.0568	.0519	.0448	.0371	.0328	.0302	.0284	.0266	.0255
Ar	.188	.135	.117	.0977	.0867	.0790	.0730	.0638	.0573	.0512	.0468	.0407	.0338	.0301	.0279	.0266	.0248	.0241
K	.215	.149	.127	.106	.0938	.0852	.0786	.0689	.0618	.0552	.0505	.0438	.0365	.0327	.0305	.0289	.0274	.0267
Ca	.238	.158	.132	.109	.0965	.0876	.0809	.0708	.0634	.0566	.0518	.0461	.0376	.0338	.0316	.0302	.0285	.0280
Fe	.344	.183	.138	.106	.0919	.0828	.0762	.0664	.0595	.0531	.0485	.0424	.0361	.0330	.0313	.0304	.0295	.0294
Cu	.427	.206	.147	.108	.0916	.0820	.0751	.0654	.0585	.0521	.0476	.0418	.0357	.0330	.0316	.0309	.0303	.0305
Mo	1.03	.389	.225	.130	.0998	.0851	.0761	.0648	.0575	.0510	.0467	.0414	.0365	.0349	.0344	.0344	.0349	.0359
Sn	1.58	.563	.303	.153	.109	.0886	.0776	.0647	.0568	.0501	.0459	.0408	.0367	.0355	.0355	.0358	.0368	.0383
I	1.83	.648	.339	.165	.114	.0913	.0792	.0653	.0571	.0502	.0460	.0409	.0370	.0360	.0361	.0365	.0377	.0394
W	4.21	1.44	.708	.293	.174	.125	.101	.0763	.0640	.0544	.0492	.0437	.0405	.0402	.0409	.0418	.0438	.0465
Pt	4.75	1.64	.795	.324	.191	.135	.107	.0800	.0659	.0554	.0501	.0445	.0414	.0411	.0418	.0427	.0448	.0477
Tl	5.16	1.80	.866	.346	.204	.143	.112	.0824	.0675	.0563	.0508	.0452	.0420	.0416	.0423	.0433	.0454	.0484
Pb	5.29	1.84	.896	.356	.208	.145	.114	.0836	.0684	.0569	.0512	.0457	.0421	.0420	.0426	.0436	.0459	.0489
U	10.60	2.42	1.17	.452	.259	.176	.136	.0952	.0757	.0615	.0548	.0484	.0445	.0440	.0446	.0455	.0479	.0511
Air	.151	.134	.123	.106	.0953	.0868	.0804	.0706	.0636	.0567	.0517	.0445	.0357	.0307	.0274	.0250	.0220	.0202
NaI	1.57	.568	.305	.155	.111	.0901	.0789	.0657	.0577	.0508	.0465	.0412	.0367	.0351	.0347	.0347	.0354	.0366
H_2O	.167	.149	.136	.118	.106	.0966	.0896	.0786	.0706	.0630	.0575	.0493	.0396	.0339	.0301	.0275	.0240	.0219
Concrete	.169	.139	.124	.107	.0954	.0870	.0804	.0706	.0635	.0567	.0517	.0445	.0363	.0317	.0287	.0268	.0243	.0229
Tissue	.163	.144	.132	.116	.100	.0936	.0867	.0761	.0683	.0600	.0556	.0478	.0384	.0329	.0292	.0267	.0233	.0212

*From L. T. Templin, editor, *Reactor Physics Constants*, ANL-5800, 2nd ed., 1963; based on G. W. Grodstein National Bureau of Standards circular 583, 1957.

†Nominal densities of the elements are given in Table II.3. For air at 1 atm and 0°C, $\rho = 1.293 \times 10^{-3}\ g/cm^3$; ρ (NaI) = 3.67 g/cm^3, ρ (tissue) ≃ (H_2O) = 1 g/cm^3; ρ (concrete) = 2.25–2.40 g/cm^3.

ภาคผนวก ค

การเชื่อมโยงสัญญาณ และวงจรเชื่อมโยง

ค.1 ตารางแสดงการจัดตำแหน่งพอร์ตของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

ค.2 ตารางแสดงการจัดขารับส่งสัญญาณที่พอร์ท EIA ของเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง

ค.3 แผนภาพแสดงโหมดการทำงาน และรหัสควบคุมไอซี 8255

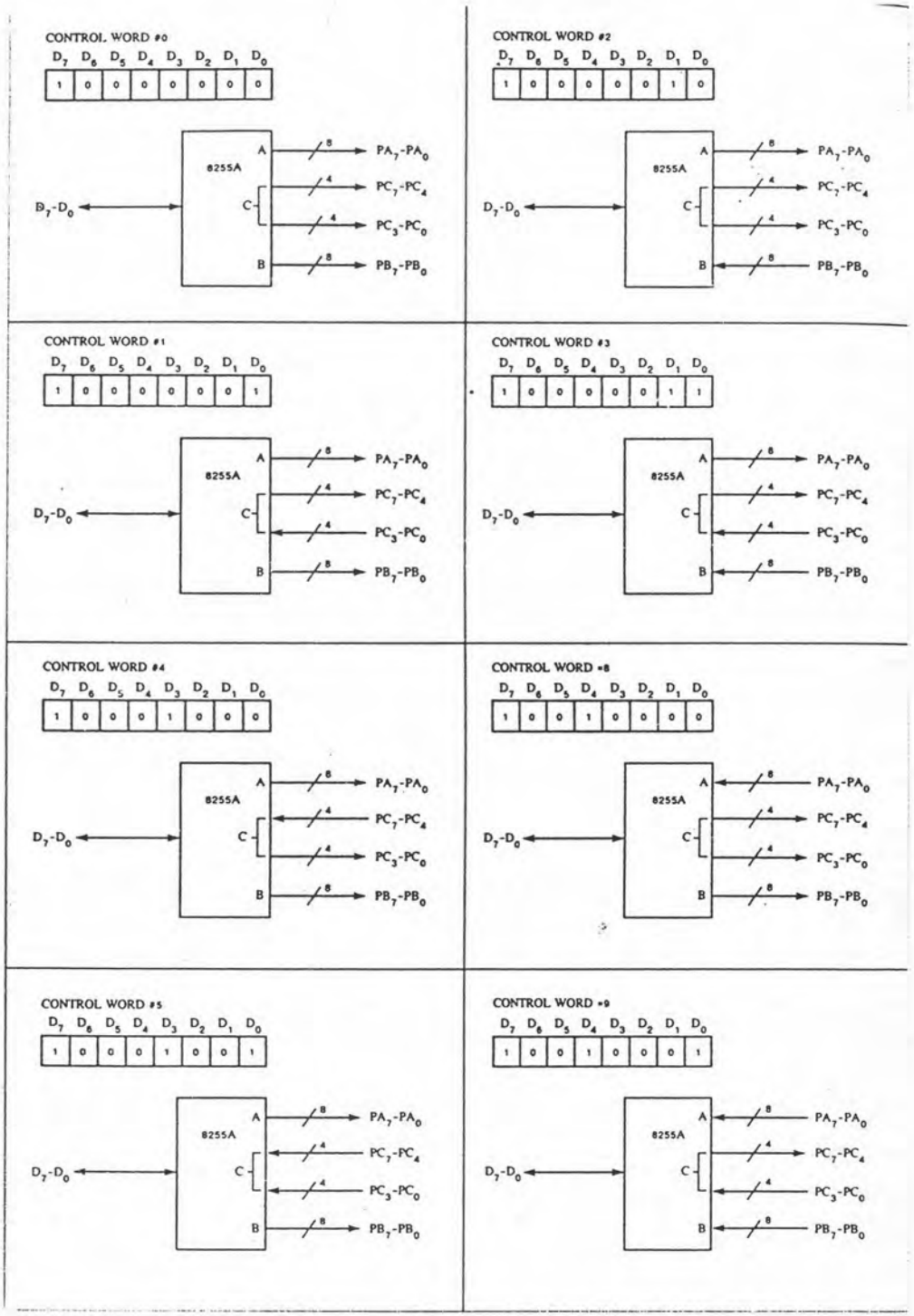
ค.4 แผนภาพแสดงการจัดตำแหน่งขารับส่งสัญญาณของสายเชื่อมโยงสัญญาณ ที่เชื่อมโยงแผ่นวงจรเชื่อมโยงสู่เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง และระบบขับเคลื่อน

ตารางที่ ค.1 ตารางแสดงการจัดตำแหน่งพอร์ตของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

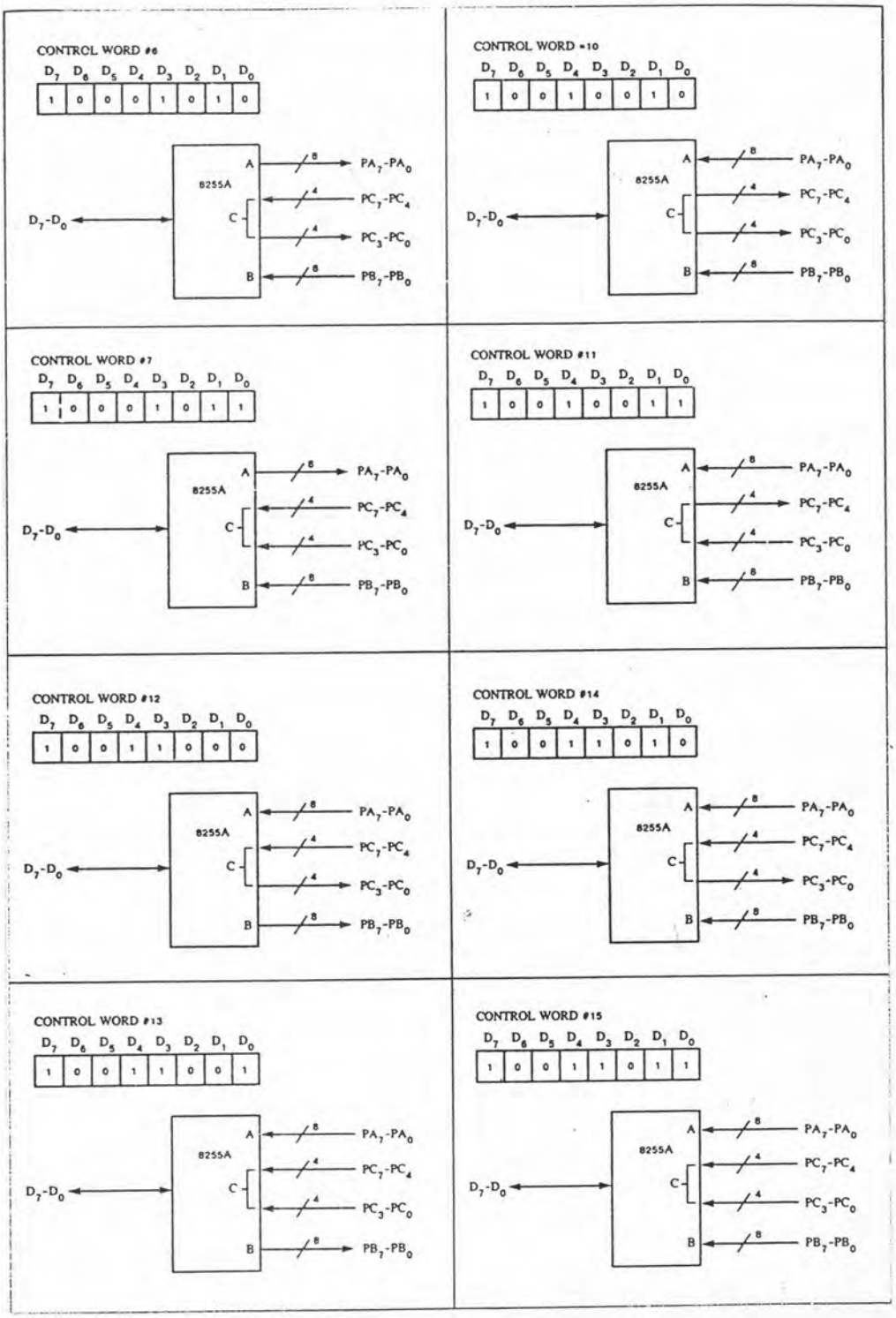
หมายเลขพอร์ต	การใช้งาน
000-01F	ตัวควบคุมดีเอ็มเอ 1, 8237A-5
020-03F	ตัวควบคุมอินเตอร์รัปต์ 1, 8259 (มาสเตอร์)
040-05F	ตัวควบคุมไทเมอร์เคาน์เตอร์ 8254-2
060-06F	ตัวควบคุมพอร์ขนาน และคีย์บอร์ด 8042
070-07F	Real time Clock, NMI ของระบบ
080-09F	ดีเอ็มเอเพจรีจิสเตอร์ 74LS612
0A0-0BF	ตัวควบคุมอินเตอร์รัปต์ 2 8259 (สเลฟ)
0C0-0DF	ตัวควบคุมดีเอ็มเอ 2, 8237A-5
0F0	เคลียร์แมธโคโปรเซสเซอร์
0F1	รีเซตแมธโคโปรเซสเซอร์
0F8-0FF	แมธโคโปรเซสเซอร์ 80287
1F0-1FB	ฮาร์ดดิสก์
200-207	เกมอินพุต/เอาต์พุต
278-27F	เครื่องพิมพ์ขนาน พอร์ต 2
2F8-2FF	เครื่องพิมพ์อนุกรม พอร์ต 2
300-31F	การ์ดโปรโตไทป์
360-36F	สงวนไว้
378-37F	เครื่องพิมพ์ขนาน พอร์ต 1
380-38F	SDLC ไบต์ซิงโครไนซ์ 1
3A0-3AF	ไบต์ซิงโครไนซ์ 1
3B0-3BF	อะแดปเตอร์โมโนโครม และเครื่องพิมพ์
3C0-3CF	สวงนไว้
3D0-3DF	อะแดปเตอร์สี/กราฟฟิกส์
3F0-3F7	ตัวควบคุมดิสก์ไดรฟ์
3F8-3FF	พอร์ทอนุกรม 1

ตารางที่ ค.2 แสดงการจัดขารับส่งสัญญาณที่พอร์ท EIA ของเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง

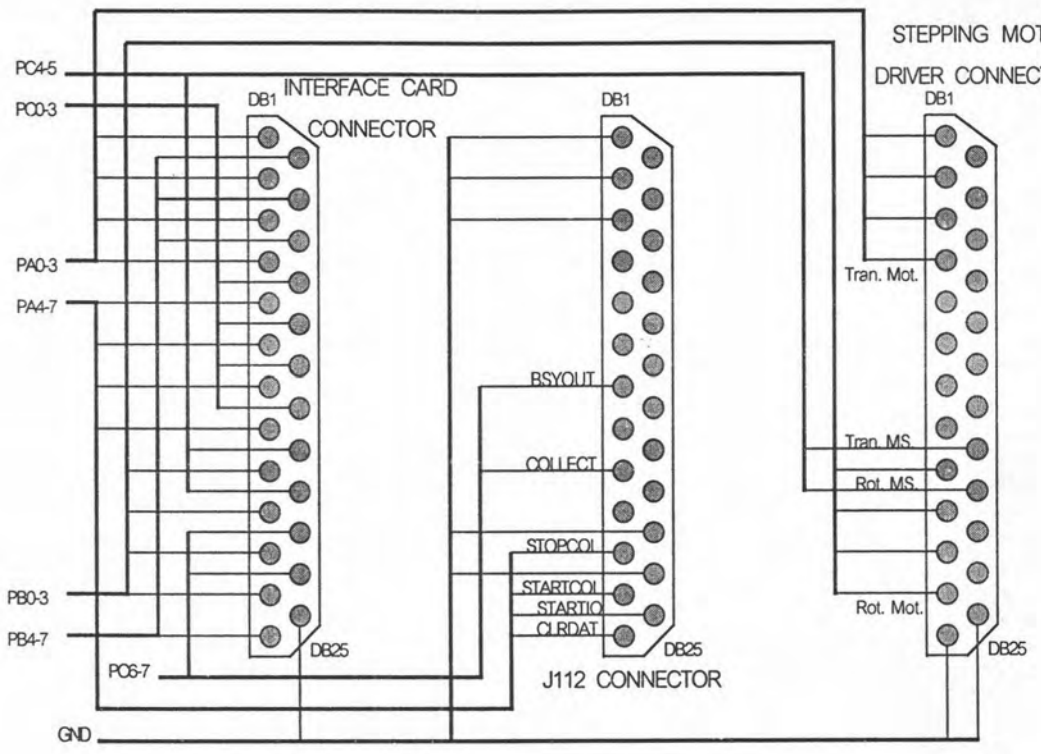
PIN	SIGNAL	DESCRIPTION
1	AA	GROUND
2	BA	RECEIVED DATA (IN FROM DEVICE)
3	BB	TRANSMITTED DATA (OUT TO DEVICE)
4	CA	READY TO SEND (IN FROM DEVICE)
5	CB	CLEAR TO SEND (OUT TO DEVICE)
6	CC	DATA SET READY
7	AB	GROUND
8	CF	RECEVED LINE SIGNAL DETECTOR
11	--	FLAG (IN FROM DEVICE)
18	--	5411 EXTERNAL ENABLE
20	CD	DATA TERMINAL READY
23	--	TTY BAUD SELECT
25	--	BUSY (TO DEVICE)



รูปที่ ค.3 แผนภาพแสดงโหมดการทำงาน และรหัสควบคุมไอซี 8255



รูปที่ ค.3 แผนภาพแสดงโหมดการทำงาน และรหัสควบคุมไอซี 8255 (ต่อ)



รูปที่ ค.4 แผนภาพแสดงการจัดตำแหน่งขารับส่งสัญญาณของสายเชื่อมโยงสัญญาณที่เชื่อมโยงแผ่นวงจรเชื่อมโยง สู่เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง และระบบขับเคลื่อน

ประวัติผู้เขียน

นายสุพร กุลวัฒนันท์ชัย เกิดเมื่อวันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2513 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2534 ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้ทำงานกับบริษัท เหมืองบ้านปู จำกัด ก่อนเข้าศึกษาต่อที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2537